

УДК 615.322:581.192

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНЫХ СВОЙСТВ РАСТЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА *SAMBUCUS* L.

© Л.Н. Скрыпник*, А.А. Курашова

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, ул. Университетская, 2, Калининград, 236040 (Россия), e-mail: LSkrypnik@kantiana.ru

В работе исследовались антиоксидантные свойства плодов, цветков, листьев, коры (или стеблей) бузины черной (*Sambucus nigra* L.), бузины красной (*Sambucus racemosa* L.) и бузины травянистой (*Sambucus ebulus* L.). В растениях спектрофотометрически определяли суммарное содержание антоциановых пигментов, фенольных соединений по методу Фолина-Чекольтеу, водорастворимых антиоксидантов амперометрическим методом. Антиоксидантную активность (АОА) экстрактов измеряли по способности улавливать радикалы 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) и 2,2'-азино-бис(3-этилбензотиазолино-6-сульфоновой кислоты) (ABTS), а также по восстанавливающей силе при взаимодействии с комплексом Fe(III)-2,4,6-трипиридил-5-триазин (FRAP). Установлено, что плоды растений рода *Sambucus* L. характеризовались максимальным уровнем всех исследуемых показателей. Высокое содержание антоцианов и суммы фенольных соединений определено также в листьях бузины черной и бузины травянистой. Цветки данных видов бузины отличались высоким суммарным содержанием водорастворимых антиоксидантов. Максимальной антиоксидантной активностью характеризовались экстракты плодов бузины по сравнению с другими частями растения. Более высокой антиоксидантной активностью отличались плоды бузины черной и бузины травянистой по сравнению с плодами бузины красной. Наиболее оптимальным методом оценки антиоксидантной активности экстрактов бузины явился метод FRAP, показавший максимальную корреляционную связь между АОА и отдельными антиоксидантными компонентами, по сравнению с методами DPPH и ABTS. Сравнительный анализ содержания антиоксидантов и антиоксидантной активности различных частей растений трех видов бузины показал, что наиболее перспективными источниками биологически активных веществ с антиоксидантными свойствами являются плоды и цветки бузины черной и бузины травянистой.

Ключевые слова: антиоксиданты, антоцианы, фенольные соединения, *Sambucus nigra* L., *Sambucus racemosa* L., *Sambucus ebulus* L.

Введение

Род бузина *Sambucus* L. относится к семейству адоксовые (*Adoxaceae*) и насчитывает 25 видов, распространенных в умеренной и субтропической областях обоих полушарий [1, 2]. В России произрастает около 10 видов – в лесной полосе Европейской части, на Кавказе и в Сибири. Наибольшее распространение в средней полосе имеют бузина черная (*S. nigra* L.), бузина красная (обыкновенная или кистистая *S. racemosa* L.) и бузина канадская (*S. canadensis* L.) [3, 4].

Наиболее широкое применение как источник лекарственного сырья, так и в пищевой промышленности нашли плоды и цветки бузины черной. Цветы бузины черной входят в фармакопею. Считается, что цветы и плоды бузины обладают обезболивающим, противовирусным, жаропонижающим, откаркивающим, противогрибковым, противодиуретическим действием [5, 6]. Плоды бузины черной содержат различные биологически активные соединения, такие, например, как антоцианы, флавонолы, оксикоричные кислоты, проантоцианидины, а также витамин С, терпены и лектины [7–10]. Во многом лекарственные свойства бузины черной связывают с наличием в ее плодах, цветках и листьях соединений фенольной природы, обладающих

Скрыпник Любовь Николаевна – доцент института живых систем, e-mail: luba.skrypnik@gmail.com, LSkrypnik@kantiana.ru

Курашова Алина Андреевна – студент, e-mail: alianakurashova@yandex.ru

высокой антиоксидантной активностью [11, 12]. Реже в фармацевтической и пищевой промышленности используются кора, молодые ветви и листья бузины. Однако эти части растений бузины черной

* Автор, с которым следует вести переписку.

также находят применение, в частности они входят в состав многих сборов для лечения патологий гепато-билиарной системы [13].

Менее изученным является вид бузины красной, относимой и к лекарственным, и к съедобным, и к ядовитым растениям [3]. Ограничительным фактором в использовании растений бузины красной является высокое содержание в ее коре, листьях, корнях, плодах и особенно – в семенах ядовитого гликозида самбунигрин, распадающегося при метаболизме в организме человека на бензальдегид и синильную кислоту. Однако гликозиды бузины являются термолабильными, их токсичность может быть снижена практически наполовину при термической обработке [14]. Кроме того, плоды и другие части бузины красной могут являться сырьем для выделения из них биологически активных соединений, в том числе фенольной природы.

Бузина травянистая издавна широко использовалась в народной медицине. Различные части растений применяли при желудочно-кишечных расстройствах, заболеваниях почек и легких, ревматоидном артрите, а также как противовоспалительное средство при обработке ран, укусов змей и насекомых [15, 16]. В последнее время многие исследования направлены на изучение качественного и количественного состава биологически активных компонентов бузины травянистой. Так, в работе [17] определен состав фенольных соединений, в работах [18, 19] проанализирован антоциановый профиль плодов *S. ebulus*. В ряде работ было показано, что растения бузины травянистой богаты витаминами, минералами, фитостеролами, тритерпенами, лектинами, сердечными гликозидами, а также соединениями фенольной природы (антоцианами, флавоноидами, производными кофейной кислоты) [20–22].

В последнее время вопрос о применении антиоксидантов в лечении различных заболеваний является все более дискуссионным [23]. Однако большинство сомнений связано, в первую очередь, с использованием синтетических препаратов [24]. Кроме того, несмотря на то, что во многих исследованиях *in vivo* была продемонстрирована неэффективность применения антиоксидантов при лечении ряда заболеваний, в то же время было доказано, что введение в ежедневный рацион продуктов, особенно растительного происхождения, богатых соединениями с антиоксидантными свойствами, существенно снижает риск развития сердечно-сосудистых, нейродегенеративных и онкологических заболеваний [25]. Также многие антиоксиданты, способные снижать интенсивность свободнорадикальных процессов, выполняют и ряд других метаболических функций. В особенности это относится к группе неферментативных антиоксидантов, таких как аскорбиновая кислота, биофлавоноиды, токоферолы, каротиноиды. Известны многочисленные биохимические реакции, идущие с их участием, напрямую не связанные с антиоксидантными свойствами данных соединений [26].

Таким образом, несмотря на достаточно обширный экспериментальный материал, посвященный изучению химического состава растений рода *Sambucus* L., большинство работ связано с исследованиями бузины черной, преимущественно ее плодов. В то время как работ, связанных с изучением антиоксидантных свойств бузины красной и бузины травянистой, а также представляющих сравнительные исследования различных частей растений данных видов, недостаточно. В связи с этим целью данной работы явилось исследование антиоксидантных свойств плодов, цветков, листьев, коры (или стеблей) различных видов бузины: бузины черной (*Sambucus nigra* L.), бузины красной (*Sambucus racemosa* L.) и бузины травянистой (*Sambucus ebulus* L.).

Экспериментальная часть

Объектами исследований являлись плоды, цветки, листья, кора или стебли (для бузины травянистой) представителей трех видов семейства Адоксовые: *Sambucus nigra* L., *Sambucus racemosa* L., *Sambucus ebulus* L. Образцы для исследования собирали в течение двух вегетационных сезонов в период с июня по сентябрь 2016–2017 годов на территории Ботанического сада БФУ им. И. Канта (г. Калининград). Экстракция биологически активных веществ и анализ антиоксидантных свойств растительного сырья проводился в свежих образцах непосредственно в день их сбора.

Концентрацию антоциановых пигментов определяли спектрофотометрически в солянокислом водном экстракте при длине волны 510 нм (спектрофотометр UV-3600, Shimadzu, Япония). Предварительно гомогенизировали при 4500 г в течение 30 мин. Для внесения поправок на содержание зеленых пигментов определяли оптическую плотность полученных экстрактов при длине волны 657 нм. Содержание суммы антоцианов рассчитывали по цианидин-3,5-дигликозиду [26].

Фенольные соединения экстрагировали из растительного сырья 96%-ным этанолом и определяли их суммарное содержание по методу Фолина-Чокальтеу согласно [27] с некоторыми модификациями. Для проведения реакции 100 мкл раствора галловой кислоты (стандарт) или растительного экстракта смешивали

с 300 мкл 0.2 М раствора Фолина-Чокальтеу и инкубировали в течение 10 мин при комнатной температуре в темноте. Далее к смеси добавляли 6 мл раствора карбоната натрия с концентрацией 6.75% и выдерживали еще 20 мин. Оптическую плотность измеряли при 765 нм (спектрофотометр UV-3600, Shimadzu, Япония). Суммарное содержание полифенолов выражали в мг эквивалента галловой кислоты на грамм сухой массы.

Определение суммарного содержания антиоксидантов (ССА) осуществлялось амперометрическим методом на приборе ЦветЯуза-01-АА (НПО, Химавтоматика, Россия) согласно [28]. Для экстракции антиоксидантов 0.2–0.5 г растительного материала гомогенизировали с 50.0 мл 2.2 мМ раствора ортофосфорной кислоты. Полученную смесь центрифугировали при 4500 g в течение 30 мин. Супернатант использовали для последующего амперометрического анализа. Количественное содержание антиоксидантов определяли по калибровочному графику с использованием в качестве стандарта раствора кверцетина. Суммарное содержание антиоксидантов выражали в мг эквивалента кверцетина на грамм сухой массы (мг/г).

Антиоксидантную активность (АОА) экстрактов растительных образцов определяли с использованием различных методов: по способности улавливать свободные радикалы DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразила) и ABTS (2,2'-азино-бис(3-этилбензтиазолино-6-сульфоновой кислоты), а также по восстанавливающей силе при взаимодействии с комплексом Fe (III) - 2,4,6-трипиридил-5-триазин (FRAP). Для экстракции 0.1–0.2 г растительного материала гомогенизировали с 10 мл 96%-ного этанола, центрифугировали (4500g, 20 мин). Полученный супернатант использовали для определения антиоксидантной активности по всем трем методам.

При определении антиоксидантной активности по методу DPPH экстракты растений смешивали с 2.85 мл свежеприготовленного 0.1 мМ раствора 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила. Смесь инкубировали в темноте при комнатной температуре в течение 30 мин. Уменьшение оптической плотности по сравнению с контролем (96%-ный раствор этанола) снимали при 515 нм (спектрофотометр UV-3600, Shimadzu, Япония) [29].

Определение антиоксидантной активности по методам ABTS и FRAP осуществлялось согласно [30]. ABTS-радикал генерировали смешиванием аликвот 7.0 мМ водного раствора 2,2'-азино-бис(3-этилбензтиазолино-6-сульфоновой кислоты) и 2.45 мМ раствора персульфата калия. Для проведения реакции к 0.15 мл растительного экстракта добавляли 2.85 мл подготовленного раствора катион-радикала ABTS⁺. Оптическую плотность измеряли при 734 нм после инкубации смеси в течение 15 мин при 37 °С в темноте (UV-3600, Shimadzu, Япония).

Для определения восстанавливающей силы экстрактов использовали свежеприготовленный реактив FRAP, приготовленный смешиванием 10 частей 0.3 М ацетатного буфера (pH 3.6), одной части 10 мМ раствора 2,4,6-трипиридил-5-триазина в 40 мМ HCl и одной части водного 20 мМ раствора хлорида железа FeCl₃·6H₂O. Реакция запускалась смешиванием 3.0 мл FRAP-реактива и 0.1 мл исследуемого экстракта. Время реакции составляло 10 мин при 37 °С в темноте. Оптическую плотность измеряли при 593 нм (UV-3600, Shimadzu, Япония). В качестве холостой использовалась проба с 96%-ным этанолом и FRAP-реактивом.

При измерении антиоксидантной активности с использованием DPPH, ABTS и FRAP методов в качестве стандартного раствора использовали растворы Тролокса (6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбоновой кислоты) известной концентрации. Результаты анализов выражены в мкмоль эквивалента Тролокса на грамм сухой массы (мкмоль/г).

Полученные данные обработаны статистически с использованием программы Statistica ver. 12 (Statsoft Inc, США). На графиках и в таблицах представлены средние значения с указанием стандартной ошибки среднего (n=5). Для выявления статистически достоверных различий между вариантами эксперимента данные обрабатывались с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). В качестве критерия достоверности различий использовался тест Тьюки (Tukey's HSD test) при уровне значимости p<0.05. Корреляционный анализ проводился с помощью критерия Пирсона.

Обсуждение результатов

В данной работе исследовалось суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов в различных частях (листьях, плодах, коре или стебле, цветках) растений бузины черной, бузины красной и бузины травянистой. Данные исследований представлены на рисунке 1. Максимальное суммарное содержание антиоксидантов обнаружено в плодах всех трех исследованных видов – от 8.93 до 10.34 мг/г. В растениях бузины черной и бузины травянистой высоким суммарным уровнем антиоксидантов отличались также цветки (6.45±0.37 и 7.68±0.38 мг/г соответственно). Минимальное содержание антиоксидантов выявлено в листьях

бузины красной (2.67 ± 0.08 мг/г) и стебле бузины травянистой (2.69 ± 0.07 мг/г). Статистический анализ достоверности различий в суммарном содержании антиоксидантов в различных видах показал, что плоды всех трех исследованных видов бузины обладают высокой антиоксидантной ценностью (содержание в них антиоксидантов достоверно неразличимо).

Существуют различные методы определения антиоксидантной активности (АОА) растительных экстрактов. Наибольшее распространение среди спектрофотометрических методов получили методы, основанные на взаимодействии антиоксидантов с радикалами (например, с DPPH-радикалом), а также на определении восстанавливающей способности экстрактов при их взаимодействии с комплексами Fe(III) с различными фотометрическими реагентами, например, трипиридилтриазином. Несмотря на то, что данные методы активно нашли применение при анализе различных биологических объектов, использование какого-либо одного метода не дает достоверного результата, а данные полученные различными методами не всегда сопоставимы [31]. В связи с этим в данной работе использовались три метода определения антиоксидантной активности: методы, основанные на взаимодействии с 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил-радикалом (DPPH) и с катион-радикалом 2,2'-азино-бис(3-этилбензтиазолино-6-сульфоной кислоты), а также FRAP-метод, позволяющий определять восстанавливающую силу экстрактов. Для сопоставления полученных данных во всех трех методах в качестве стандарта использовался Тролокс. Результаты измерений представлены на рисунках 2–4.

Максимальная антиоксидантная активность (по методу DPPH) определена для плодов бузины и составила от 40.7 до 62.9 мкмоль/г в зависимости от вида (рис. 2). Более высоким уровнем характеризовались плоды бузины черной и бузины травянистой. Антиоксидантная активность плодов бузины травянистой была в 1.5 раза ниже. Высокая антиоксидантная активностью обладали также экстракты из листьев, особенно бузина красной (33.3 ± 1.8 мкмоль/г) и бузины черной (29.8 ± 1.0 мкмоль/г). В качестве источника антиоксидантов с антирадикальной активностью также можно отметить цветки бузины черной, антиоксидантная активность экстрактов которых составила 26.9 ± 1.6 мкмоль/г.

Исследование антиоксидантной активности по методу ABTS подтвердило, что наиболее ценными по содержанию антиоксидантов являются плоды бузины – антиоксидантная активность варьировала от 93.1 до 124.6 мкмоль/г в зависимости от вида (рис. 3). Однако при использовании данного метода различия в антиоксидантной активности между видами были не столь значительными. Высокой антиоксидантной активностью характеризовались также листья бузины черной (98.7 ± 1.9 мкмоль/г) и бузины красной (90.3 ± 0.7 мкмоль/г). Антиоксидантная активность цветков всех трех видов достоверно не различалась и составляла от 69.2 до 70.9 мкмоль/г.

Максимальной железовосстанавливающей силой обладали экстракты плодов бузины. Для плодов бузины черной данный показатель составил 298.6 ± 5.8 мкмоль/г, бузины красной – 236.8 ± 4.9 мкмоль/г, бузины травянистой – 265.7 ± 5.5 мкмоль/г (рис. 4). Наименьшей антиоксидантной активностью обладали экстракты коры и цветков бузины черной (154.3 ± 3.7 и 158.7 ± 3.5 мкмоль/г соответственно), цветков бузины красной (159.7 ± 2.9 мкмоль/г) и стебля бузины травянистой (152.9 ± 3.7 мкмоль/г). Таким образом, несмотря на расхождение в данных по антиоксидантной активности, полученных с использованием различных методов, в ходе проведенного сравнительного анализа было установлено, что плоды всех исследованных видов бузины характеризовались максимальной антиоксидантной активностью по сравнению с другими частями растений бузины. Кроме того, независимо от используемого метода более высокой антиоксидантной активностью отличались плоды бузины черной и бузины травянистой по сравнению с плодами бузины красной.

Существенный вклад в общую антиоксидантную активность экстрактов лекарственных растений, в том числе и растений бузины, вносят соединения фенольной природы – флавоноиды, оксигенные, оксикоричные кислоты, кумарины, а также их полимерные формы (танины) [7–9, 17]. В результате проведенного нами исследования различных частей растений бузины было установлено, что максимальное количество фенольных соединений содержалось в плодах и варьировало от 10.2 до 13.6 мг/г в зависимости от вида (рис. 5). Высоким содержанием отличались также листья бузины (7.12 – 10.1 мг/г). Перспективным источником антиоксидантов фенольной природы можно рассматривать кору бузины черной, суммарное содержание фенольных соединений в которой составило 7.62 ± 0.38 мг/г, что сопоставимо с их содержанием в листьях и более чем в 1.5 раза превышало содержание в коре бузины красной и стебле бузины травянистой. В целом, за исключением цветков, более высокий уровень фенольных соединений выявлен в растениях бузины черной.

Рис. 1. Суммарное содержание антиоксидантов в различных частях растений *S. nigra*, *S. racemosa* и *S. Ebulus*

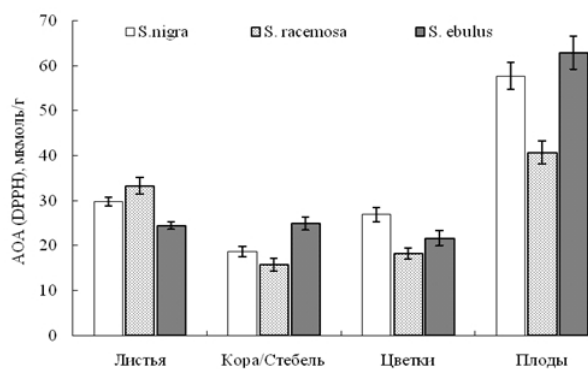


Рис. 2. Антиоксидантная активность экстрактов из различных частей растений *S. nigra*, *S. racemosa* и *S. Ebulus*, определенная по их способности улавливать DPPH-радикалы

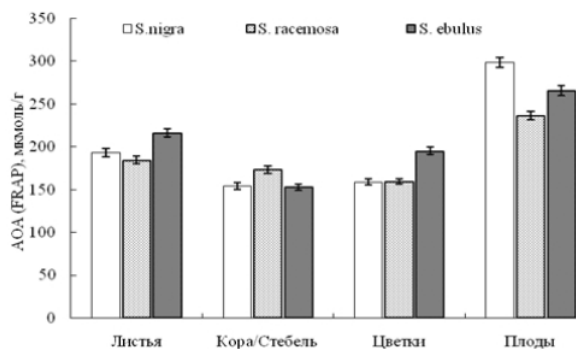


Рис. 4. Антиоксидантная активность экстрактов из различных частей растений *S. nigra*, *S. racemosa* и *S. Ebulus*, определенная по их восстанавливающей силе по методу FRAP

Растительные фенольные соединения отличаются широким структурным разнообразием и, соответственно, различными механизмами утилизации в клетках свободных радикалов и иных активных форм кислорода. Так, среди флавоноидов одни (рутин, катехин) действуют как ловушки гидроксил-радикала, а другие (кверцетин) не снижают содержание гидроксила, зато ингибируют продукцию супероксидного анион-радикала (СОД-подобная активность) [26]. Как правило, растительные экстракты обладают комплексным действием благодаря наличию в них разнообразных биологически активных соединений фенольной природы. К фенольным соединениям, обладающими антирадикальными и антиокислительными функциями, относятся антоциановые пигменты. Антоцианы – это группа окрашенных соединений, относящихся к классу флавоноидов, кото-

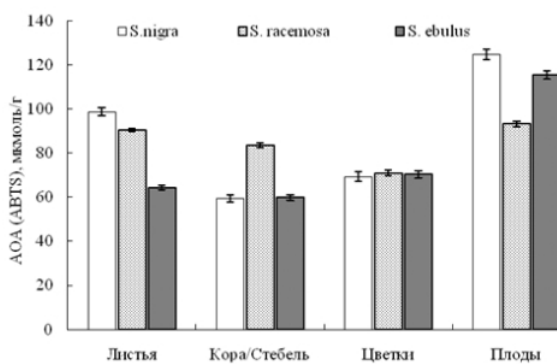
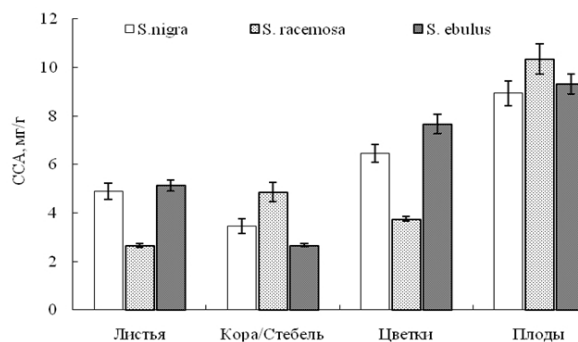


Рис. 3. Антиоксидантная активность экстрактов из различных частей растений *S. nigra*, *S. racemosa* и *S. Ebulus*, определенная по их способности улавливать ABTS-радикалы

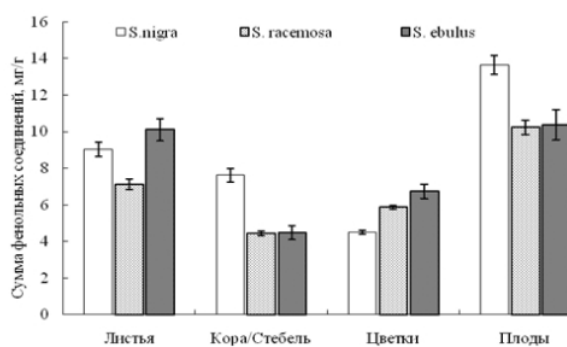


Рис. 5. Суммарное содержание фенольных соединений в различных частях растений *S. nigra*, *S. racemosa* и *S. Ebulus*

рые являются активными метаболитами клеточного обмена и играют ключевую роль в различных физиологических процессах растений: фотосинтезе, дыхании, росте, устойчивости растений к инфекционным болезням [32]. Значительное внимание уделяется антоциановым пигментам и в фармакологических исследованиях. На сегодняшний день в многочисленных экспериментах достоверно доказаны их антиоксидантные, сосудоукрепляющие, антимикробные и противовоспалительные свойства, имеются сведения об антиканцерогенном и антидиабетическом действии антоцианов [33, 34]. Данные исследований качественного и количественного содержания антоцианов в растениях бузины представлены в литературе достаточно широко [7, 18, 19]. Однако, как правило, эти данные ограничены только плодами, хотя в лечебных целях могут использоваться и другие части растения, и относятся к наиболее изученному виду – бузине черной. В результате проведенного нами сравнительного анализа содержания антоциановых пигментов в различных частях растений трех видов рода *Sambucus L.* было показано, что максимальное количество антоцианов у всех исследованных видов бузины содержалось в плодах, а наименьшее – в цветках растений. При этом содержание антоцианов в различных частях бузины черной варьировало от 0.056 до 1.34 мг/г, бузины красной – от 0.047 до 0.97 мг/г., бузины травянистой – от 0.035 до 1.13 мг/г (рис. 6). Статистический анализ достоверности различий в содержании антоцианов в растениях различных видов показал, что содержание пигментов в плодах и листьях бузины черной и бузины травянистой статистически не различается, но достоверно выше, чем в бузине красной. Более высокий уровень антоцианов выявлен в коре бузины черной по сравнению с корой бузины красной и стеблем бузины травянистой. Таким образом, основным источником антоциановых пигментов являются плоды растений бузины и содержание данных биологически активных веществ в плодах бузины черной и бузины травянистой достоверно неразлично.

Корреляционный анализ полученных данных о содержании антоцианов, фенольных соединений, суммы антиоксидантов и антиоксидантной активности представлен в таблице.

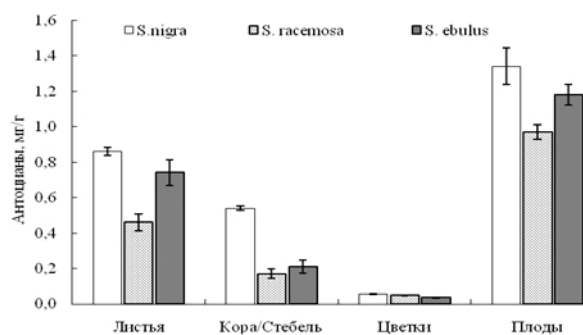


Рис. 6. Содержание антоцианов в различных частях растений *S. nigra*, *S. racemosa* и *S. ebulus*

Коэффициенты корреляции Пирсона между содержанием антоцианов, фенольных соединений, суммой антиоксидантов и антиоксидантной активностью экстрактов растений рода *Sambucus L.*

Показатели	Антоцианы	Сумма фенольных соединений	ССА	АОА (DPPH)	АОА (ABTS)	АОА (FRAP)
Антоцианы	1.00	0.93**	0.56 ^{нз}	0.83**	0.78**	0.86**
Сумма фенольных соединений	0.93**	1.00	0.61*	0.75**	0.70*	0.90**
ССА	0.56 ^{нз}	0.61*	1.00	0.69*	0.61*	0.78**
АОА (DPPH)	0.83**	0.75**	0.69*	1.00	0.86**	0.88**
АОА (ABTS)	0.78**	0.70*	0.61*	0.86**	1.00	0.84**
АОА (FRAP)	0.86**	0.90**	0.78**	0.88**	0.84**	1.00

Примечание. ССА – суммарное содержание антиоксидантов; АОА – антиоксидантная активность; * – коэффициент корреляции значим при $p < 0.05$, ** – коэффициент корреляции значим при $p < 0.01$; нз – коэффициент корреляции статистически незначим.

Как следует из представленных в таблице данных, между содержанием антоцианов и антиоксидантной активностью выявлено наличие значимой корреляции – коэффициент корреляции r составил от 0.78 до 0.86 в зависимости от метода измерения АОА ($p < 0.01$). При этом между содержанием антоцианов и суммарным содержанием антиоксидантов корреляционная зависимость была средней силы ($r = 0.56$, $p > 0.05$), что свидетельствует о наличии в растениях бузины широкого спектра веществ, обладающих антиоксидантными свойствами, помимо антоцианов. Значимая корреляционная зависимость была установлена также между суммарным содержанием фенольных соединений и антиоксидантной активностью ($r = 0.70-0.90$; $p < 0.05$),

что в целом подтверждает гипотезу, что именно фенольные соединения вносят существенный вклад в антиоксидантные свойства растений бузины. Несмотря на то, что данные по уровню антиоксидантной активности экстрактов бузины, полученные с использованием трех методов, достаточно различались (при применении метода FRAP они были в среднем в 7 раз выше значений, полученных с использованием метода DPPH и в 2 раза выше – с использованием метода ABTS), коэффициенты корреляции для них были высокими ($r = 0.84-0.88$; $p < 0.01$). Причин различий в полученных результатах антиоксидантной активности экстрактов может быть несколько. Во-первых, DPPH и ABTS радикалы не являются абсолютными аналогами биологических радикалов и, как отмечают некоторые авторы, некоторые растительные антиоксиданты, которые в клетках активно реагируют с пероксидными и гидроксильными радикалами, с DPPH и ABTS⁺ реагируют очень медленно или вообще остаются инертными по отношению к ним, что объясняет более низкие значения антиоксидантной активности, полученные при использовании данных методов [35, 36]. Кроме того, для метода DPPH характерна непрямолинейная кинетическая зависимость протекания реакции, что обуславливает необходимость подбора времени реакции в зависимости от каждого конкретного образца и его химического состава и усложняет стандартизацию методики [37]. Проведенный нами анализ коэффициентов корреляции между антиоксидантной активностью и отдельными антиоксидантными компонентами, представленных в таблице, также позволяет выделить метод FRAP как наиболее оптимальный при исследовании антиоксидантных свойств экстрактов бузины. Данный метод показал наиболее высокую корреляционную зависимость между антиоксидантной активностью экстрактов и уровнем антоцианов, суммарным содержанием фенольных соединений и суммой антиоксидантов по сравнению с методами DPPH и ABTS.

Выводы

1. Наиболее высокий уровень антиоксидантов (суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов, антоцианов, фенольных соединений, а также антиоксидантная активность) отмечался в плодах растений рода *Sambucus* L.
2. Высокие показатели содержания суммы фенольных соединений и антоцианов выявлены в листьях бузины черной и бузины травянистой, суммарного содержания водорастворимых антиоксидантов – в цветках данных видов бузины.
3. Максимальной антиоксидантной активностью характеризовались плоды бузины по сравнению с другими частями растения. Более высокой антиоксидантной активностью отличались плоды бузины черной и бузины травянистой, по сравнению с плодами бузины красной.
4. Наиболее оптимальным методом оценки антиоксидантной активности экстрактов бузины явился метод FRAP, показавший максимальную корреляционную связь между АОА и отдельными антиоксидантными компонентами.
5. Сравнительный анализ содержания антиоксидантов и антиоксидантной активности различных частей растений трех видов бузины показал, что наиболее перспективными для включения в рацион питания или в качестве сырья для разработки БАДов и продуктов функционального питания являются различные части (в особенности плоды и цветки) двух видов: бузины черной и бузины травянистой, которые характеризовались более высоким уровнем биологически активных компонентов с антиоксидантным действием.

Список литературы

1. Eriksson T., Donoghue M.J. Phylogenetic relationships of *Sambucus* and *Adoxa* (Adoxoideae, Adoxaceae) based on nuclear ribosomal ITS sequences and preliminary morphological data // *Systematic Botany*. 1997. Vol. 22. N3. Pp. 555–573. DOI: 10.2307/2419828.
2. Jacobs B., Huysmans S., Smets E. Evolution and systematic value of fruit and seed characters in Adoxaceae (Dipsacales) // *Taxon*. 2010. Vol. 59. N3. Pp. 850–866.
3. Гостищев Д.А., Дейнека В.И., Сорокопудов В.Н., Волощенко Л.В., Ширина Л.С., Рыбцкий С.М. Антоцианы плодов некоторых видов рода бузина // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация*. 2011. Т. 15. №16. С. 261–266.
4. Волощенко Л.В. Селекционная оценка исходного материала бузины черной (*Sambucus nigra* L.) в условиях юго-запада ЦЧР: дис. ... канд. с.-х. наук. Рамонь, 2015. 124 с.
5. Яхудин Р., Кароматов И.Д. Лекарственные травы бузина чёрная, бузина травянистая // *Биология и интегративная медицина*. 2016. №4. С. 36–44.
6. Вандышев В.В., Павлова М.Е., Сердечная О.И., Мирошникова Е.А., Сурков В.А. Морфолого-анатомическое изучение свежих и высушенных плодов и семян бузины черной (*Sambucus nigra* L.) как возможных источников

- пищевых и лекарственных веществ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2013. №3. С. 13–21.
7. Татвидзе М., Алеко К. Исследование содержания флавоноидов и антоцианов в спелых плодах бузины // Химия растительного сырья. 2013. №4. С. 265–267. DOI: 10.14258/jcprm.1304265.
 8. Vrchotová N., Dadáková E., Matějček A., Tříška J., Kaplan J. Effect of variety on content of bioactive phenolic compounds in common elder (*Sambucus nigra* L.) // Natural product research. 2017. Vol. 31. N6. Pp. 700–703. DOI: 10.1080/14786419.2016.1214826.
 9. Viapiana A., Wesolowski M. The Phenolic Contents and Antioxidant Activities of Infusions of *Sambucus nigra* L. // Plant Foods for Human Nutrition. 2017. Vol. 72. N1. Pp. 82–87. DOI: 10.1007/s11130-016-0594-x.
 10. Senica M., Stampar F., Veberic R., Mikulic-Petkovsek M. Processed elderberry (*Sambucus nigra* L.) products: A beneficial or harmful food alternative? // LWT-Food Science and Technology. 2016. Vol. 72. Pp. 182–188. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.04.056.
 11. Sidor A., Gramza-Michałowska A. Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra*) in food—a review // Journal of functional foods. 2015. Vol. 18. Pp. 941–958. DOI: 10.1016/j.jff.2014.07.012.
 12. Mikulic-Petkovsek M., Samoticha J., Eler K., Stampar F., Veberic R. Traditional elderflower beverages: A rich source of phenolic compounds with high antioxidant activity // Journal of agricultural and food chemistry. 2015. Vol. 63. N5. Pp. 1477–1487. DOI: 10.1021/jf506005b.
 13. Джафарова Р.Э., Зулфугарова М.Б., Джавадова Г.Ч. Исследование действия экстрактов цветков, листьев и плодов бузины черной на функциональное состояние печени на фоне экспериментальной модели токсического гепатита // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2017. №1. С. 124–128.
 14. Losey R.J., Stenholm N., Whereat-Phillips P., Vallianatos H. Exploring the use of red elderberry (*Sambucus racemosa*) fruit on the southern Northwest Coast of North America // Journal of Archaeological Science. 2003. Vol. 30. N6. Pp. 695–707. DOI: 10.1016/S0305-4403(02)00242-X.
 15. Tasinov O., Kiselova-Kaneva Y., Ivanova D. *Sambucus ebulus* – from traditional medicine to recent studies // Scripta Scientifica Medica. 2013. Vol. 4. N2. Pp. 36–42. DOI: 10.13140/RG.2.1.3990.2167.
 16. Shokrzadeh M., Saravi S.S. The chemistry, pharmacology and clinical properties of *Sambucus ebulus*: A review // Journal of medicinal plants research. 2010. Vol. 4. N2. Pp. 95–103. DOI: 10.5897/JMPR09.026.
 17. Mikulic-Petkovsek M., Ivancic A., Todorovic B., Veberic R., Stampar F. Fruit phenolic composition of different elderberry species and hybrids // Journal of food science. 2015. Vol. 80. N10. Pp. 2180–2190. DOI: 10.1111/1750-3841.13008.
 18. Зулфугарова М.Б., Новрузов Э.Н. Состав и содержание антоцианов плодов *Sambucus ebulus* L // Химия растительного сырья. 2017. №1. С. 163–167. DOI: 10.14258/jcprm.2017011422.19.
 19. Mikulic-Petkovsek M., Schmitzer V., Slatnar A., Todorovic B., Veberic R., Stampar F., Ivancic A. Investigation of anthocyanin profile of four elderberry species and interspecific hybrids // Journal of agricultural and food chemistry. 2014. Vol. 62. N24. Pp. 5573–5580. DOI: 10.1021/jf5011947.
 20. Jabbari M., Daneshfard B., Emtiazy M., Khiveh A., Hashempur M.H. Biological Effects and Clinical Applications of Dwarf Elder (*Sambucus ebulus* L): A Review // Journal of evidence-based complementary & alternative medicine. 2017. Vol. 22. N4. Pp. 996–1001. DOI: 10.1177/2156587217701322.
 21. Bulbulica M.V., Chirigiu L., Popescu M., Simionescu A., Anoaica G., Popescu A. Analysis of sterol compounds from *Sambucus ebulus* // Chemistry of natural compounds. 2012. Vol. 48. N3. Pp. 520–521.
 22. Pieri V., Schwaiger S., Ellmerer E.P., Stuppner H. Iridoid glycosides from the leaves of *Sambucus ebulus* // Journal of natural products. 2009. Vol. 72. N10. Pp. 1798–1803. DOI: 10.1021/np900373u.
 23. Rajendran P., Nandakumar N., Rengarajan T., Palaniswami R., Gnanadhas E.N., Lakshminarasaiah U., Gopas J., Nishigaki I. Antioxidants and human diseases // Clinica Chimica Acta. 2014. Vol. 436. Pp. 332–347. DOI: 10.1016/j.cca.2014.06.004.
 24. Lima G.P.P., Vianello F., Corrêa C.R., Campos R.A.D.S., Borguini M.G. Polyphenols in fruits and vegetables and its effect on human health // Food and nutrition sciences. 2014. Vol. 5. N11. Pp. 1065–1082. DOI: 10.4236/fns.2014.511117.
 25. Olas B. Berry Phenolic Antioxidants – Implications for Human Health? // Frontiers in Pharmacology. 2018. Vol. 9. Article 78. DOI: 10.3389/fphar.2018.00078.
 26. Чупахина Г.Н., Масленников П.В., Скрыпник Л.Н., Чупахина Н.Ю., Федурев П.В. Антиоксидантные свойства культурных растений Калининградской области: монография. Калининград, 2016. 145 с.
 27. Денисенко Т.А., Вишник А.Б., Цыганок Л.П. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19. №4. С. 373–380. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.4.012.
 28. Yashin A.Y. A flow-injection system with amperometric detection for selective determination of antioxidants in food-stuffs and drinks // Russian Journal of General Chemistry. 2008. Vol. 78. N12. Pp. 2566–2571. DOI: 10.1134/S1070363208120360.
 29. Tõnutare T. Possibilities to Affect Antioxidant Properties of Strawberries and Some Methodical Aspects in Their Determination: A Thesis for applying for the degree of Doctor of Philosophy in Agriculture, Estonian University of Life Sciences. Tartu, 2015. 152 p.

30. Taneva I., Petkova N., Dimov I., Ivanov I., Denev P. Characterization of rose hip (*Rosa canina* L.) fruits extracts and evaluation of their in vitro antioxidant activity // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2016. Vol. 5. N2. Pp. 35–38.
31. Хасанов В.В., Рыжова Г.Л., Мальцева Е.В. Методы исследования антиоксидантов // *Химия растительного сырья*. 2004. №3. С. 63–75.
32. Запрометов М.Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях. М., 1993. 185 с.
33. Yousuf B., Gul K., Wani A.A., Singh P. Health benefits of anthocyanins and their encapsulation for potential use in food systems: a review // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2016. Vol. 56. N13. Pp. 2223–2230. DOI: 10.1080/10408398.2013.805316.
34. Дейнека В.И., Кульченко Я.Ю., Блинова И.П., Чулков А.Н., Дейнека Л.А. Антоцианы листьев базилика: определение и получение сухих инкапсулированных форм // *Химия растительного сырья*. 2018. №1. С. 129–135. DOI: 10.14258/jcprm.2018013296.
35. Boligon A.A., Machado M.M., Athayde M.L. Technical evaluation of antioxidant activity // *Medicinal chemistry*. 2014. Vol. 4. N7. Pp. 517–522. DOI: 10.4172/2161-0444.1000188.
36. Pokorna J., Venskutonis P.R., Kraujalyte V., Kraujalis P., Dvořák P., Tremlova B., Kopřiva V., Ošťádalová M. Comparison of different methods of antioxidant activity evaluation of green and roast *C. Arabica* and *C. Robusta* coffee beans // *Acta alimentaria*. 2015. Vol. 44. N3. Pp. 454–460. DOI: 10.1556/066.2015.44.0017.
37. Huang D., Ou B., Prior R.L. The chemistry behind antioxidant capacity assays // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2005. Vol. 53. N6. Pp. 1841–1856. DOI: 10.1021/jf030723c.

Поступила в редакцию 26 апреля 2018 г.

После переработки 1 сентября 2018 г.

Принята к публикации 4 сентября 2018 г.

Для цитирования: Скрыпник Л.Н., Курашова А.А. Сравнительное исследование антиоксидантных свойств растений некоторых видов рода *Sambucus* L. // *Химия растительного сырья*. 2019. №1. С. 127–137. DOI: 10.14258/jcprm.2019014037.

*Skrypnik L.N.**, *Kurashova A.A.* THE COMPARATIVE STUDY OF ANTIOXIDANT PROPERTIES OF SOME *SAMBUCUS* L. SPECIES

*Baltic Federal University. I. Kant, ul. Universitetskaya, 2, Kaliningrad, 236040 (Russia),
e-mail: LSkrypnik@kantiana.ru*

The antioxidant properties of fruits, flowers, leaves, bark (or stem) of elderberry (*Sambucus nigra* L.), red elderberry (*Sambucus racemosa* L.) and dwarf elder (*Sambucus ebulus* L.) were investigated. The total content of anthocyanins and total phenolic compounds content by using of Folin-Ciocalteu assay were determined spectrophotometrically. The total content of water-soluble antioxidants was investigated by amperometric method. The antioxidant activity (AOA) of plant extracts was measured using DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical, ABTS (2,2'-azinobis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) radical and FRAP (ferric reducing antioxidant power) assays. It was established that the fruits of plants of the genus *Sambucus* L. were characterized by the maximum level of all studied antioxidants. High content of anthocyanins and phenolic compounds was determined in the leaves of elderberry and dwarf elder. The flowers of these elderberry species were distinguished by a high total content of water-soluble antioxidants. The highest antioxidant activity was observed in fruits extracts in comparison with other parts of the plant. Higher antioxidant activity was identified in the extract of the fruits of elderberry and dwarf elder than of the red elderberry fruits. The most optimal method for evaluating the antioxidant activity of elder extracts was the FRAP assay, which showed the highest correlation between AOA and individual antioxidant components, compared to DPPH and ABTS assays. Comparative analysis of antioxidant content and antioxidant activity of various plant parts of three elderberry species showed that the most promising sources of biologically active substances with antioxidant properties are fruits and flowers of elderberry and dwarf elder.

Keywords: antioxidants, anthocyanins, phenolic compounds, *Sambucus nigra* L., *Sambucus racemosa* L., *Sambucus ebulus* L.

References

1. Eriksson T., Donoghue M.J. *Systematic Botany*, 1997, vol. 22, no. 3, pp. 555–573, DOI: 10.2307/2419828.
2. Jacobs B., Huysmans S., Smets E. *Taxon.*, 2010, vol. 59, no. 3, pp. 850–866.
3. Gostishchev D.A., Deyneka V.I., Sorokopudov V.N., Voloshchenko L.V., Shirina L.S., Rybitskiy S.M. *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*, 2011, vol. 15, no. 16, pp. 261–266. (in Russ.).
4. Voloshchenko L.V. *Seleksionnaya otsenka iskhodnogo materiala buziny chernoy (Sambucus nigra L.) v usloviyakh yugo-zapada TSCHR: dis. ... kand. s.-kh. nauk.* [Selection evaluation of the source material of the black elderberry (*Sambucus nigra* L.) in the conditions of the south-west of the Central Black Earth Region: dis. ... Candidate of Agricultural Sciences]. Ramon', 2015, 124 p. (in Russ.).
5. Yakhudin R., Karomatov I.D. *Biologiya i integrativnaya meditsina*, 2016, no. 4, pp. 36–44. (in Russ.).
6. Vandyshev V.V., Pavlova M.Ye., Serdechnaya O.I., Miroshnikova Ye.A., Surkov V.A. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*, 2013, no. 3, pp. 13–21. (in Russ.).
7. Tatvidze M., Aleko K. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 4, pp. 265–267, DOI: 10.14258/jcprm.1304265. (in Russ.).
8. Vrchotová N., Dadáková E., Matějčíček A., Tříška J., Kaplan J. *Natural product research*, 2017, vol. 31, no. 6, pp. 700–703, DOI: 10.1080/14786419.2016.1214826.
9. Viapiana A., Wesolowski M. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2017, vol. 72, no. 1, pp. 82–87, DOI: 10.1007/s11130-016-0594-x.
10. Senica M., Stampar F., Veberic R., Mikulic-Petkovsek M. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, vol. 72, pp. 182–188, DOI: 10.1016/j.lwt.2016.04.056.
11. Sidor A., Gramza-Michałowska A. *Journal of functional foods*, 2015, vol. 18, pp. 941–958, DOI: 10.1016/j.jff.2014.07.012.
12. Mikulic-Petkovsek M., Samoticha J., Eler K., Stampar F., Veberic R. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2015, vol. 63, no. 5, pp. 1477–1487, DOI: 10.1021/jf506005b.
13. Dzhafarova R.E., Zul'fugarova M.B., Dzhavadova G.Ch. *Vestnik Rossiyskoy voyenno-meditsinskoy akademii*, 2017, no. 1, pp. 124–128. (in Russ.).
14. Losey R.J., Stenholm N., Whereat-Phillips P., Vallianatos H. *Journal of Archaeological Science*, 2003, vol. 30, no. 6, pp. 695–707, DOI: 10.1016/S0305-4403(02)00242-X.
15. Tasinov O., Kiselova-Kaneva Y., Ivanova D. *Scripta Scientifica Medica*, 2013, vol. 4, no. 2, pp. 36–42, DOI: 10.13140/RG.2.1.3990.2167.
16. Shokrzadeh M., Saravi S.S. *Journal of medicinal plants research*, 2010, vol. 4, no. 2, pp. 95–103, DOI: 10.5897/JMPR09.026.
17. Mikulic-Petkovsek M., Ivancic A., Todorovic B., Veberic R., Stampar F. *Journal of food science*, 2015, vol. 80, no. 10, pp. 2180–2190. DOI: 10.1111/1750-3841.13008.
18. Zul'fugarova M.B., Novruzov E.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2017, no. 1, pp. 163–167, DOI: 10.14258/jcprm.2017011422.19 (in Russ.).
19. Mikulic-Petkovsek M., Schmitzer V., Slatnar A., Todorovic B., Veberic R., Stampar F., Ivancic A. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2014, vol. 62, no. 24, pp. 5573–5580, DOI: 10.1021/jf5011947.
20. Jabbari M., Daneshfard B., Emteazy M., Khiveh A., Hashempour M.H. *Journal of evidence-based complementary & alternative medicine*, 2017, vol. 22, no. 4, pp. 996–1001, DOI: 10.1177/2156587217701322.

* Corresponding author.

21. Bubulica M.V., Chirigiu L., Popescu M., Simionescu A., Anoaica G., Popescu A. *Chemistry of natural compounds*, 2012, vol. 48, no. 3, pp. 520–521.
22. Pieri V., Schwaiger S., Ellmerer E.P., Stuppner H. *Journal of natural products*, 2009, vol. 72, no. 10, pp. 1798–1803, DOI: 10.1021/np900373u.
23. Rajendran P., Nandakumar N., Rengarajan T., Palaniswami R., Gnanadhas E.N., Lakshminarasiah U., Gopas J., Nishigaki I. *Clinica Chimica Acta*, 2014, vol. 436, pp. 332–347, DOI: 10.1016/j.cca.2014.06.004.
24. Lima G.P.P., Vianello F., Corrêa C.R., Campos R.A.D.S., Borguini M.G. *Food and nutrition sciences*, 2014, vol. 5, no. 11, pp. 1065–1082. DOI: 10.4236/fns.2014.511117.
25. Olas B. *Frontiers in Pharmacology*, 2018, vol. 9, article 78, DOI: 10.3389/fphar.2018.00078.
26. Chupakhina G.N., Maslennikov P.V., Skrypnik L.N., Chupakhina N.Yu., Fedurayev P.V. *Antioksidantnyye svoystva kul'turnykh rasteniy Kaliningradskoy oblasti: monografiya*. [Antioxidant properties of cultivated plants of the Kaliningrad region: monograph]. Kaliningrad, 2016, 145 p. (in Russ.).
27. Denisenko T.A., Vishnikin A.B., Tsyganok L.P. *Analitika i kontrol'*, 2015, vol. 19, no. 4, pp. 373–380. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.4.012. (in Russ.).
28. Yashin A.Y. *Russian Journal of General Chemistry*, 2008, vol. 78, no. 12, pp. 2566–2571, DOI: 10.1134/S1070363208120360.
29. Tõnutare T. *Possibilities to Affect Antioxidant Properties of Strawberries and Some Methodical Aspects in Their Determination: A Thesis for applying for the degree of Doctor of Philosophy in Agriculture*, Estonian University of Life Sciences. Tartu, 2015. 152 p.
30. Taneva I., Petkova N., Dimov I., Ivanov I., Denev P. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2016, vol. 5, no. 2, pp. 35–38.
31. Khasanov V.V., Ryzhova G.L., Mal'tseva Ye.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2004, no. 3, pp. 63–75. (in Russ.).
32. Zaprometov M.N. *Fenol'nyye soyedineniya: rasprostraneniye, metabolizm i funktsii v rasteniyakh*. [Phenolic compounds: distribution, metabolism and function in plants]. Moscow, 1993, 185 p. (in Russ.).
33. Yousuf B., Gul K., Wani A.A., Singh P. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2016, vol. 56, no. 13, pp. 2223–2230, DOI: 10.1080/10408398.2013.805316.
34. Deyneka V.I., Kul'chenko Ya.Yu., Blinova I.P., Chulkov A.N., Deyneka L.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 1, pp. 129–135. DOI: 10.14258/jcprm.2018013296. (in Russ.).
35. Boligon A.A., Machado M.M., Athayde M.L. *Medicinal chemistry*, 2014, vol. 4, no. 7, pp. 517–522, DOI: 10.4172/2161-0444.1000188.
36. Pokorna J., Venskutonis P.R., Kraujalyte V., Kraujalis P., Dvořák P., Tremlova B., Kopriva V., Ošťádalová M. *Acta alimentaria*, 2015, vol. 44, no. 3, pp. 454–460, DOI: 10.1556/066.2015.44.0017.
37. Huang D., Ou B., Prior R.L. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2005, vol. 53, no. 6, pp. 1841–1856, DOI: 10.1021/jf030723c.

Received April 26, 2018

Revised September 1, 2018

Accepted September 4, 2018

For citing: Skrypnik L.N., Kurashova A.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 1, pp. 127–137. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019014037.

