



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 543.242.5:543.544

doi: 10.17308/sorpchrom.2023.23/11702

Оценка антиоксидантных свойств антоцианов с использованием хроматографии

Виктор Иванович Дейнека^{1✉}, Владимир Федорович Селеменев²,
Татьяна Викторовна Елисеева², Ирина Петровна Блинова¹,
Татьяна Евгеньевна Нужных¹

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия, deineka@bsu.edu.ru[✉]

²Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Аннотация. Предложен способ оценки антиоксидантных свойств антоцианов, использующий реакцию с водным раствором перманганата калия с последующим хроматографическим определением концентрации различных антоцианов сложных смесей в сопоставлении с исходным раствором. Основная особенность способа состоит в том, что предполагается исключить реально наблюдаемое при использовании традиционных методов определения антиоксидантных свойств протекание цепи последовательных реакций окисления каждого исходного антоциана. Для этого используется недостаток оксиданта, который должен расходоваться, в основном, на первые стадии для каждого антиоксиданта при предположении о том, что активность исходного (наименее окисленного) антоциана выше, чем образующихся из него продуктов. Только такая схема позволяет сопоставлять антиоксидантную активность (как параметр, зависящий от времени вместо определяемой обычно антиоксидантной емкости) в зависимости от строения молекулы. На основе исследования окисления перманганатом калия 3-глюкозидов пяти различных основных природных антоцианидинов (в экстрактах плодов винограда и листьев багрянника канадского) установлена зависимость антиоксидантной активности, возрастающая в ряду: Pn3Glu < Cy3Glu < Mv3Glu < Pt3Glu < Dp3Glu. Следовательно, антиоксидантная активность однотипных антоцианов возрастает при добавлении ОН-группы в кольцо В агликона сильнее, чем добавление метокси-группы. Анализ антоцианов экстракта плодов винограда сорта Мерседес показал, что ацилирование 3-глюкозидов пеолидина и мальвидина *para*-кумаровой кислотой не приводит к более высокой устойчивости. Таким образом, утверждения о большей стабильности ацилированных антоцианов не всегда соответствуют истине. Анализ окисляемости перманганатом калия различных 3-гликозидов, выполненный на экстракте плодов черной смородины и калины красной показал, что в первом случае окисляемость достоверно не изменяется при переходах от 3-глюкозидов к 3-рутинозиду. При этом во втором случае добавление второго монозида к имеющемуся 3-глюкозиду как для арабинозида, так и для рамнозида привело к снижению активности. Это свидетельствует о том, что сопутствующие экстрактивные вещества могут изменять течение некоторых реакций.

Ключевые слова: антиоксидантные свойства, ВЭЖХ, KMnO₄, антоцианы.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2023-2025 годы, проект FZGU-2023-0009.

Для цитирования: Дейнека В.И., Селеменев В.Ф., Елисеева Т.В., Блинова И.П., Нужных Т.С. Оценка антиоксидантных свойства с использованием хроматографии // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2023. Т. 23, № 5. С. 772-779. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11702>

Original article

Evaluation of anthocyanines antioxidant properties using chromatography

Viktor I. Deineka^{1✉}, Vladimir F. Selemenev²,
Tatiana V. Eliseeva², Irina P. Blinova¹, Tatiana S. Nuzhnyh¹



¹Belgorod State University, Belgorod, Russia, deineka@bsu.edu.ru[✉]

²Voronezh State University, Voronezh, Russia

Abstract. A method for assessing the antioxidant properties of anthocyanins was proposed, using a reaction with an aqueous solution of potassium permanganate followed by chromatographic determination of the concentration of various anthocyanins in complex mixtures in comparison with the original solution. The main feature of the method is the exclusion of the occurrence of a chain of successive oxidation reactions of each initial anthocyanin, which is actually observed when using traditional methods for determining antioxidant properties. For this purpose, a lack of oxidant was used, which should be consumed mainly in the first stages for each antioxidant, under the assumption that the activity of the initial (least oxidized) anthocyanin is higher than that of the products formed from it. Only such a scheme allows comparing antioxidant activity (as a time-dependent parameter instead of the usually determined antioxidant capacity) depending on the structure of the molecule. Based on a study of the oxidation of 3-glucosides with potassium permanganate of five different main natural anthocyanidins (in extracts of grape fruits and leaves of *Cercis canadensis*), a dependence of antioxidant activity was established, which increased in the series: Pn3Glu < Cy3Glu < Mv3Glu < Pt3Glu < Dp3Glu. Consequently, the antioxidant activity of anthocyanins of the same type increased with the addition of an OH group to the B ring of the aglycone more strongly than the addition of a methoxy group. The analysis of anthocyanins from the fruits of grape variety Mercedes extract showed that the acylation of peonidin and malvidin 3-glucosides by *p*-coumaric acid did not lead to higher resistance. Therefore, the conclusion about higher stability of acylated anthocyanins are not always true. An analysis of the oxidability of various 3-glycosides by potassium permanganate was performed on the extract of black currant and red viburnum fruits and showed that in the first case, the oxidability does not reliably change when moving from 3-glucosides to 3-rutinoside. Moreover, in the second case, the addition of a second monoside to the existing 3-glucoside for both arabinoside and rhamnoside led to a decrease in activity. This indicates that accompanying extractives can alter the course of some reactions.

Keywords: antioxidant properties, HPLC, KMnO₄, anthocyanins

Acknowledgments: the study was supported by the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment to universities in the field of scientific activity for 2023-2025, project FZGU-2023-0009.

For citation: Selemenev V.F., Deineka V.I., Eliseeva T.V., Blinova I.P., Nuzhnyh T.S. Evaluation of antioxidant properties using chromatography. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*. 2023. 23(5): 772-779. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11702>

Введение

Антиоксидантные свойства соединений принципиально важны, поскольку многие заболевания начинаются с оксидативного стресса [1]. К настоящему времени разработано много методик, позволяющих оценивать эти свойства [1-6]. Но, как правило, в работах редко поднимается вопрос о том, какой параметр определяется при использовании конкретного метода определения антиоксидантных свойств [7]. В работе [8] было обращено внимание на то, что антиоксидантные свойства могут измеряться по кинетическим зависимостям, позволяющим определять антиоксидантную активность, и по термодинамическим, позволяющие определять антиоксидантную емкость. Относительно антиоксидантной емкости

следует учесть, что это оценка протекающей окислительно-восстановительной реакции, в которой только на первой стадии происходит процесс окисления исходного антиоксиданта, A⁽⁰⁾ окислителем, Ox, в результате чего образуется продукт окисления A⁽¹⁾, который также может быть окислен до A⁽²⁾ и т.д., схема 1:

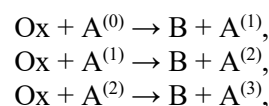


Схема 1. Ряд последовательных реакций окисления антиоксиданта

Ограничение во времени выдерживания смеси, содержащей избыток окислителя и антиоксиданта [9], позволяет определить неполную антиоксидантную емкость с неизвестной степенью завершенности процесса. Так по данным работы [8] аскорбиновая кислота теряет только два электрона на молекулу, а в случае

кверцетина при потере до 10 электронов еще не заканчивается реакция окисления комплексом Fe^{3+} с дипиридиллом, т.е. проходят не менее пяти стадий последовательного окисления. Впрочем, хорошо известно, что окислительно-восстановительная реакция самопроизвольно может протекать тогда, когда электродный потенциал окислителя больше электродного потенциала восстановителя. Поскольку различные окислители могут иметь различные электродные потенциалы, то корректное сопоставление антиоксидантной емкости, определенной различными методами [10-12], должно выполняться при одинаковых или близких электродных потенциалах окислителей. Практика отнесения антиоксидантных свойств к определенному в тех же условиях свойству некоторого стандартного вещества (тролокса, галловой кислоты, аскорбиновой кислоты и т.д.) удобна, но при традиционном использовании не имеет строгого обоснования, более того, при смене температуры такой показатель может измениться.

Известно использование ВЭЖХ при определении антиоксидантных свойств. В простейшем случае, хроматографический метод вместо спектрофотометрического используется, например, при оценке способности окрашенных веществ (мешающих определению окислителя) к гашению свободных радикалов – 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила [13]. Наиболее интересны примеры использования ВЭЖХ при пост-колоночном смешивании элюата с раствором окислителя с контролем изменения площадей пиков компонентов подходящим способом детектирования [14].

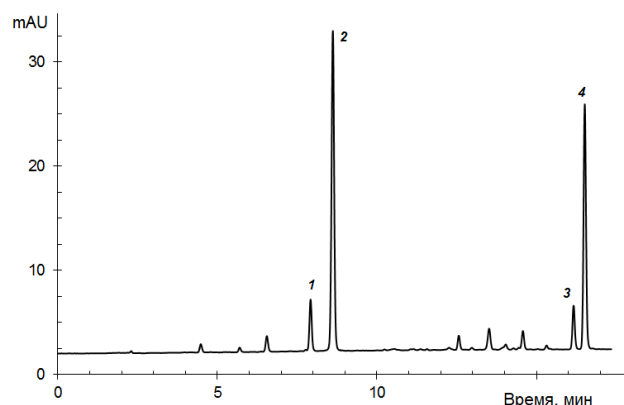
Основная идея настоящей работы, близким аналогом которой является работа [15], состоит в том, что к анализируемой смеси добавляется недостаток окислителя, в качестве которого предлагается использовать подкисленный водный раствор перманганата калия. В таком случае

для каждого из веществ смеси антиоксидантов вероятность протекания только первой стадии (из предложенной выше схемы последовательных реакции) может быть наивысшей, если восстановительная активность исходного антоциана будет выше активности его последовательных продуктов окисления. Это позволит сопоставить относительные кинетические параметры (т.е. активность) по хроматографическому контролю площадей пиков. Только такой параметр напрямую зависит от строения антиоксиданта и поэтому может быть использован для сопоставления строения антиоксиданта и его антиоксидантных свойств.

Экспериментальная часть

В работе использовали экстракты антоцианов из природных растительных материалов, полученные настаиванием в 0.05 М водном растворе серной кислоты с последующей частичной очисткой методом твердофазной экстракции. Для реэкстракции использовали смесь этанола с 0.05 М водным раствором серной кислоты. Этанол из раствора удаляли на вакуумном ротационном испарителе. Перманганат калия растворяли в дистиллированной воде.

Разделение антоцианов осуществляли на оборудовании Agilent 1200 Infinity с диодно-матричным детектором. Хроматограммы записывали при 515 нм, рис. 1. В работе использовали хроматографическую колонку 150×4.6 мм Symmetry C18 (3.5 мкм). Для элюирования применяли как изократическое, так и градиентное элюирование, используя компонент А: 6 об.% ацетонитрила, 10 об.% муравьиной кислоты в воде, и компонент Б: 30 об.% ацетонитрила, 10 об.% муравьиной кислоты в воде. Градиентный режим: 0 мин – 0% Б, до 30 мин – 100% Б. Элюирование осуществляли со скоростью подачи подвижной фазы 0.8 см³/мин. Хроматограммы регистрировали и обрабатывали в программе ChemStation, а расчеты выполняли в MS Excel.



1 – дельфинидин-3-глюкозид (Dp3Glu), 2 – цианидин-3-глюкозид (Cy3Glu), 3 – петунидин-3-глюкозид (Pt3Glu), 4 – пеонидин-3-глюкозид (Pn3Glu), 5 – мальвидин-3-глюкозид (Mv3Glu)

Рис.1. Хроматограмма антоцианов плодов винограда сорта Мерседес

Fig.1. Anthocyanin chromatogram of fruits of grape variety Mercedes

Обсуждение результатов

В работе использовали смеси антоцианов, поскольку только в смеси условия окисления всех антиоксидантов одинаковы. Для этого готовили экстракты антоцианов частично очищенные методом твердофазной экстракции, но не отделенные от всех сопутствующих экстрактивных веществ (фенольных кислот, флавоноидов и т.д.). Затем подбирали требуемое для достижения недостатка соотношение объемов антиоксидантов и окислителя. Наконец, проводили опыты, в которых добавление раствора окислителя производили с одновременным встряхиванием для быстрого смешивания компонентов. В контрольном опыте вместо окислителя добавлялось такое же количество воды. Полученные растворы вводили непосредственно в хроматограф. Полученные результаты будут изложены по объектам.

Антоцианы винограда сорта Мерседес. Этот сорт винограда уникален необычно большим количеством ацилированных *para*-кумаровой кислотой (по положению 6'' глюкозидного радикала – 6''CoumGlu) основных, характерных для *Vitis vinifera* [16] антоцианов – 3-глюкозидов мальвидина (Mv3Glu) и пеонида (Pn3Glu) – соответственно, рис. 1. Такой набор антоцианов удобен для сравнения влияния добавки метокси-группы (при

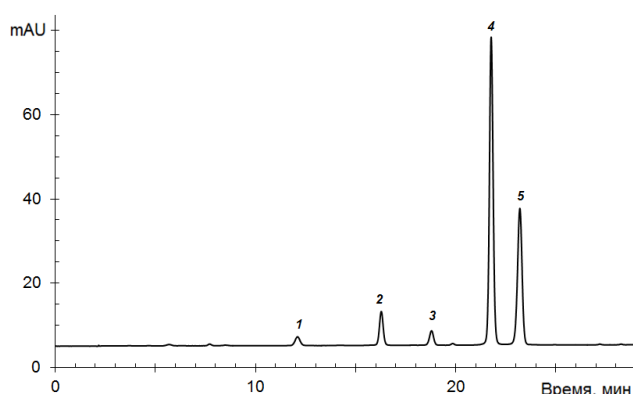
переходе от производных пеонида к производным мальвидина) и ацилирования глюкозидного радикала *para*-кумаровой кислотой.

В результате выполненного исследования четыре антоциана расположились в ряд по возрастанию степени превращения:

$$Pn3Glu \approx Pn3(6''CoumGlu) < Mv3Glu \approx Mv3(6''CoumGlu). \quad (1)$$

Таким образом, добавка метокси-группы приводит к росту антиоксидантной активности антоцианов по отношению к перманганату калия, а ацилирование практически не сказывается на этом свойстве, что не соответствует утверждению о большей стабильности ацилированных антоцианов [17].

Антоцианы винограда сорта Ася. Этот сорт винограда содержит в качестве основных компонентов 3-глюкозиды всех пяти характерных для *Vitis vinifera* 3-глюкозидов: дельфинидина (Dp3Glu), цианидина (Cy3Glu), петунидина (Pt3Glu), пеонида (Pn3Glu) и мальвидина (Mv3Glu), с преобладанием Pn3Glu концентрация которого больше, чем Mv3Glu, рис. 2. В данном случае акцент был сделан, но сопоставление антиоксидантных свойств антоцианов в зависимости от строения кольца Б, схема 2.



1 – дельфинидин-3-глюкозид (Dp3Glu), 2 – цианидин-3-глюкозид (Cy3Glu), 3 – петунидин-3-глюкозид (Pt3Glu), 4 – пеонидин-3-глюкозид (Pn3Glu), 5 – мальвидин-3-глюкозид (Mv3Glu)

Рис. 2. Хроматограмма антоцианов плодов винограда сорта Ася
 Fig. 2. Chromatogram of anthocyanins of fruits of grape variety Asya

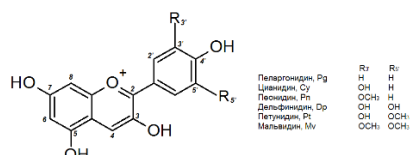
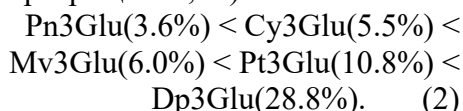
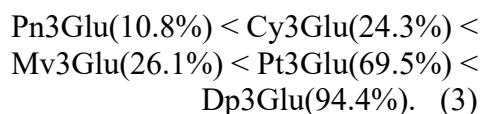


Схема 2. Строение основных природных антоцианидинов

При небольшой (но различной для всех антоцианов) степени превращения антоцианы расположились в ряд по росту скорости окисления (в скобках приведена степень превращения, %):



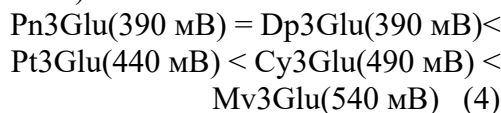
И при существенно большей степени превращения в ряду не обнаружено изменений:



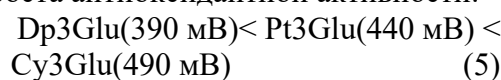
Отметим, что первые два антоциана представляют группу, в которой в кольце В содержится по два заместителя – одна общая ОН-группа в положении 4', а также метокси-группа в положении 3' в случае производного пеонида и ОН-группа в этом же положении в цианидин-3-глюкозиде. При этом скорость окисления возрастает сильнее при добавлении ОН-группы по сравнению с добавлением метокси-группы. Остальные три компонента имеют по три заместителя в кольце

Б, и в них скорость окисления также возрастает сильнее при замене метокси-группы ОН-группой.

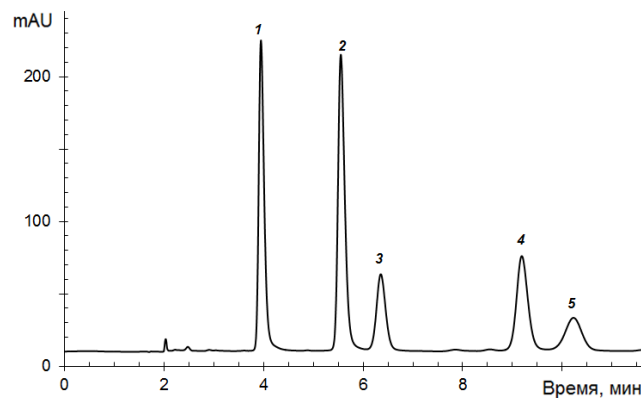
По данным работы [18] потенциал одноэлектронного окисления кольца Б антоцианов винограда также (но в ином порядке) зависит от строения этого фрагмента (в скобках указаны величины потенциалов):



Впрочем, для трех соединений совпадение с полученными нами результатами вполне приемлемо с учетом требования уменьшения электродного потенциала для роста антиоксидантной активности:



Полученные в настоящей работе результаты не согласуются с результатами амперометрического метода определения антиоксидантных свойств антоцианов винограда при электрохимическом детектировании на стеклоуглеродном электроде (на приборе Цвет Яуза-01-АА, НПО «Химавтоматика», Москва) [19], поскольку в данном методе окисление антоцианов на аноде (по нашим данным) осуществляется по многостадийному варианту без десорбции с электрода.



1 – дельфинидин-3-глюкозид (Dp3Glu), 2 – цианидин-3-глюкозид (Cy3Glu), 3 – петунидин-3-глюкозид (Pt3Glu), 4 – пеонидин-3-глюкозид (Pn3Glu), 5 – мальвидин-3-глюкозид (Mv3Glu)

Рис. 3. Хроматограмма антоцианов листьев багрянника канадского

Fig. 3. Chromatogram of anthocyanins of *Cercis canadensis* leaves

Антоцианы листьев багрянника канадского, *Cercis canadensis*. Экстракт красных листьев этого дерева интересен тем, что в нем не такое большое различие в концентрации тех же пяти основных антоцианов, как и предыдущем опыте, рис. 3. Этот образец позволил проверить сходимость результатов при различном количественно соотношении их в исследуемом образце. Было установлено, что предложенный выше ряд (2) полностью совпадает с найденным в данном случае:

$$\text{Pn3Glu}(10.2\%) < \text{Cy3Glu}(12.7\%) < \text{Mv3Glu}(13.0\%) < \text{Pt3Glu}(14.8\%) < \text{Dp3Glu}(16.9\%). \quad (6)$$

Антоцианы плодов черной смородины. В дальнейшем были исследованы различные гликозиды одного и того же агликона. В плодах черной смородины в коже накапливаются по два 3-глюкозида и 3-рутинозида дельфинидина и цианидина [20]. Для этого объекта установлено, что, как и было найдено выше, замена производных цианидина на производные дельфинидина приводит к росту скорости окисления. При этом присоединение рамнозильного радикала к глюкозидному (при переходе от 3-глюкозидов к 3-рутинозидам) мало влияет на антиоксидантные свойства - эти четыре производные выстроились в ряд:

$$\text{Cy3Rut}(12.4\%) \approx \text{Cy3Glu}(13.5\%) \ll \text{Dp3Rut}(23.0\%) \approx \text{Dp3Glu}(24.2\%). \quad (7)$$

Антоцианы плодов калины красной. Плоды *Viburnum opulus* интересны тем, что в них кроме цианидин-3-глюкозида содержатся два диглюкозида – арабинозилглюкозид (Cy3AraGlu) и рутинозид (Cy3Rut) [21]. Для этого экстракта были получены результаты, отличающиеся от результатов окисления антоцианов плодов черной смородины:

$$\text{Cy3AraGlu}(10.1\%) \approx \text{Cy3Rut}(10.8\%) < \text{Cy3Glu}(18.3\%). \quad (8)$$

Резкое уменьшение скорости окисления Cy3Rut по сравнению с Cy3Glu указывает на то, что ряд активностей антоцианов зависит и от присутствия посторонних соединений.

Действительно, окисление веществ перманганат-ионом зависит от pH и других условий, включая автокаталитические процессы с участием соединений Mn(IV) [22-25]. Изучение условий и направления соответствующих превращений предполагается сделать направлением дальнейшего развития работы.

Заключение

Предложен вариант использования ВЭЖХ для сопоставления скоростей окисления антоцианов сложных смесей по первым стадиям, чему должен способствовать недостаток окислителя. Определены закономерности изменения скоростей реакций окисления для однотипных



гликозидов пяти основных антоцианидинов. Показано, что для различных гликозидов одного и того же антоцианидина результаты могут зависеть от условий проведения эксперимента.

Список литературы/References

1. Oksidativnyj stress i vospalenie: patogeneticheskoe partnerstvo: Monografiya / Pod red. O. G. Hurcilavy, N. N. Pluzhnikova, YA. A. Nakatisa. SPb.: SZGMU by. I. I. Mechnikov, 2012. 340 p. (In Russ).

2. Karadag A., Ozcelik B., Saner S. Review of Methods to Determine Antioxidant Capacities. *Food Anal. Methods*. 2009; 2: 41-60. <https://doi.org/10.1007/s12161-008-9067-7>

3. Apak R., Gorinstein S., Böhm V., Schaich K.M., Özyürek M., Güçlü K. Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/activity (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem*. 2013; 85(5): 957-998. <http://dx.doi.org/10.1351/PAC-REP-12-07-15/>

4. Pisoschi A.M., Negulescu G.P. Methods for Total Antioxidant Activity Determination: A Review. *Biochem. Anal. Biochem*. 2011; 1: 1000106. <https://doi.org/10.4172/2161-1009.1000106>

5. Antolovich M., Prenzler P.D., Patsalides E., McDonald S., Robards K. Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*. 2002; 127: 183-198. <https://doi.org/10.1039/b009171p>

6. Shahidi F., Zhong Y. Measurement of antioxidant activity. *J. Funct. Foods*. 2015; 18: 757-781. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>

7. Bartosz G., Bartosz M. Antioxidant activity: what do we measure? *Acta Biochimica Polonica*. 1999; 46(1): 23-39.

8. Anisimovich I.P., Deineka V.I., Deineka L.A., Frolov P.A., Myasnikova P.A. Parametry antioksidantnoj aktivnosti soedinenij: otноситel'naya antioksidantnaya aktivnost' chaya. *Nauchnye vedomosti BelGU*. 2010; 9(80)11: 104-111. (In Russ).

9. Kedare S.B., Singh R.P. Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *J. Food Sci. Technol*. 2011; 48(4): 412-

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

422. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0251-1>

10. Thaipong K., Boonprakob U., Crosby K., Cisneros-Zevallos L., Byrne D.H. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *J. Food Compos. Anal*. 2006; 19: 669-675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>

11. Apak R., Güçlü K., Demirata B., Özyürek M., Çelik S.E., Bektaşoğlu B., Berker K.I., Özyurt D. Comparative Evaluation of Various Total Antioxidant Capacity Assays Applied to Phenolic Compounds with the CUPRAC Assay. *Molecules* 2007; 12: 1496-1547. <https://doi.org/10.3390/12071496>

12. Tabart J., Kevers C., Pincemail J., Defraigne J.-O., Dommese J. Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests. *Food Chem*. 2009; 113: 1226-1233. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.013>

13. Chandrasekar D., Madhusudhana K., Ramakrishna S., Diwan P.V. Determination of DPPH free radical scavenging activity by reversed-phase HPLC: A sensitive screening method for polyherbal formulations. *J. Pharm. Biomed. Anal*. 2006; 40: 460-464. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2005.07.042>

14. Dapkevicius A., van Beek T.A., Niederländer H.A.G. Evaluation and comparison of two improved techniques for the on-line detection of antioxidants in liquid chromatography eluates. *J. Chromatogr. A*. 2001. 912: 73-82. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(01\)00548-9](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(01)00548-9)

15. Qiu J., Chen L., Zhu Q., Wang D., Wang W., Sun X., Liu X., Du F. Screening natural antioxidants in peanut shell using DPPH-HPLC-DAD-TOF/MS methods. *Food Chem*. 2012; 135: 2366-2371 <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.042>



16. Makarevich S.L., Chulkov A.N., Deineka V.I., Kostenko M.O., Dejneka L.A., Tohtar' V.K. VEZHKH v opredelenii antocianov plodov nekotorykh vidov vinograda. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2014; 14: 1024-1031. (In Russ.)
17. Zhao C.-L., Yu Y.-Q., Chen Z.-J., Wen G.-S., Wei F.-G., Zheng Q., Wang C.-D., Xiao X.-L. Stability-increasing effects of anthocyanin glycosyl acylation. *Food Chem*. 2017; 214: 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.073>
18. Janeiro P., Oliveira Brett A.M. Redox Behavior of Anthocyanins Present in *Vitis vinifera* L. *Electroanal*. 2007; 19(17): 1779-1786. <https://doi.org/10.1002/elan.200703941>
19. Deineka L., Makarevich S.L., Deineka V., Chulkov A.N. HPLC of anthocyanins with an amperometric detector: Evaluation of the antioxidant activity. *J. Anal. Chem*. 2015; 70(8): 989-994. <https://doi.org/10.1134/S1061934815080079>
20. Dejneka L.A., Shaposhnik E.I., Gostishchev D.A., Dejneka V.I., Sorokopudov V.N., Selemenev V.F. VEZHKH v kontrole antocianovogo sostava plodov chernoj smorodiny. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2009; 9(4): 529-536. (In Russ.)
21. Dejneka V.I., Chulkov A.N., Dejneka L.A., Zhandarmova P.A., Sorokopudov V.N., Rybickij S.M. Opredelenie antocianov plodov nekotorykh vidov kaliny metodom VEZHKH. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2014; 14(3): 434-442. (In Russ.)
22. Mohammed Y., Iyun J.F., Idris S.O. Kinetic approach to the mechanism of the redox reaction of malachite green and permanganate ion in aqueous acidic medium. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*. 2009; 3(12): 269-274. <https://doi.org/10.5897/AJPAC.9000084>
23. Jones F., Anweting I.B., Okon I.E. Electron Transfer Reaction of Theobromine and Permanganate Ion in Aqueous Acidic Media. *Asian Journal of Applied Chemistry Research*. 2023; 13(2): 46-54. <https://doi.org/10.9734/ajacr/2023/v13i2242>
24. Insausti M.J., Mata-Perez F., Alvarez-Machom P. Kinetic Study of the Oxidation of L-Phenylalanine by Potassium Permanganate in Acid Medium. *International Journal of Chemical Kinetics*. 1995; 27: 507-515. <https://doi.org/10.1002/kin.550270509>
25. Panari R.G., Chougale R.B., Nandibewoor S.T. Oxidation of mandelic acid by alkaline potassium permanganate. A kinetic study. *Journal of Physical Organic Chemistry*. 1998; 11: 448-454. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1395\(199807\)11:7<448::AID-POC23>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1395(199807)11:7<448::AID-POC23>3.0.CO;2-A)

Информация об авторах / Information about the authors

В.Ф. Семенов – д.х.н., проф. каф. аналитической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

В.И. Дейнека – профессор кафедры общей химии, д.х.н., Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Т.В. Елисева – к.х.н., зав. кафедрой аналитической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

И.П. Блинова – к.х.н., доцент кафедры общей химии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Т.Е. Нужных – аспирант кафедры общей химии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

V.F. Selemenev – DSci in chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russia, e-mail: common@chem.vsu.ru

V.I. Deineka – Professor of General Chemistry Department. Dr. Sci.(Chemistry), Belgorod State University, Belgorod, Russia, e-mail: deineka@bsuedu.ru

T.V. Eliseeva – Head of the Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russia, e-mail: tatyanaeliseeva@yandex.ru

I.P. Blinova – Docent of General Chemistry Department. Dr. Ph.(Chemistry), Belgorod State University, Belgorod, Russia, e-mail: blinova@bsuedu.ru

T.E. Nuzhnykh – PhD student, Department of General Chemistry, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia, e-mail: 1112801@bsu.edu.ru

Статья поступила в редакцию 17.09.2023; одобрена после рецензирования 11.10.2023; принята к публикации 18.10.2023.

The article was submitted 17.09.2023; approved after reviewing 11.10.2023; accepted for publication 18.10.2023.