

Методы извлечения антоцианов из растительного сырья и способы очистки (обзор)

И. А. Капитова✉, К. В. Павлов

Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва, Россия

✉E-mail: kiastandart@mail.ru

Аннотация. Целью настоящего обзора было представление современных достижений в области извлечения и очистки антоцианов, а также обсуждение результативности и эффективности этих методов. **Методы.** Проведен анализ научных материалов, статей и баз данных, содержащих информацию о методах извлечения антоцианов из различных растительных объектов и способах очистки антоцианов. **Научная новизна.** В последние десятилетия широко признано, что ежедневное употребление лекарственных трав, фруктов и овощей обеспечивает широкий спектр преимуществ для здоровья человека. Это благотворное влияние обусловлено составом продуктов, изобилующих биологически активными соединениями, способными модулировать различные процессы в организме человека, регулировать уровень глюкозы и укреплять иммунную систему. В последние десятилетия специалисты по всему миру изучают разнообразную биологическую активность антоцианов. Исследования показали, что антоцианы обладают противораковым, противомутагенным, антивозрастным действием, активны в профилактике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний, при этом будучи безопасными и нетоксичными. В настоящее время антоцианы широко применяются в качестве биологически активных добавок, косметике, продуктах здорового питания и пищевой промышленности. Исследования по методам экстракции и очистки антоцианов из растений в последнее время стали актуальными и востребованы. В обзоре проанализированы преимущества и недостатки современных и наиболее распространенных методов экстракции и очистки антоцианов. **Результаты.** В настоящей статье критически рассмотрены шесть видов экстракции антоцианов (жидкостная экстракция растворителем, ультразвуковая экстракция, микроволновая экстракция, экстракция сверхкритическим диоксидом углерода, экстракция глубокими эвтектическими растворителями, или ионными жидкостями, и экстракция с помощью ферментов), а также их комбинации и четыре метода очистки (колоночная хроматография, высокоскоростная противоточная хроматография, мембранная фильтрация и препаративная высокоэффективная жидкостная хроматография). В обзоре представлены последние достижения в области экстракции и очистки антоцианов, методы определения скорости экстракции и чистоты антоцианов.

Ключевые слова: антоцианы, методы извлечения, способы очистки, антиоксиданты

Для цитирования: Капитова И. А., Павлов К. В. Методы извлечения антоцианов из растительного сырья и способы очистки (обзор) // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 245–253. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-245-253>.

Дата поступления статьи: 06.08.2024, **дата рецензирования:** 22.10.2024, **дата принятия:** 30.10.2024.

Methods of extracting anthocyanins from plant material and purification techniques (review)

I. A. Kapitova✉, K. V. Pavlov

Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology, and Nursery, Moscow, Russia

✉E-mail: kiastandard@gmail.com

Abstract. The purpose of this review was to present the latest advancements in the extraction and purification of anthocyanins, as well as to discuss the effectiveness and efficiency of these methods. **Methods.** The analysis was conducted on scientific literature, articles, and databases containing information on methods for extracting anthocyanins from various plant sources and purification techniques. **Scientific novelty.** In recent decades, it has been widely recognized that the daily consumption of medicinal herbs, fruits, and vegetables provides a wide range of health benefits. This beneficial effect is attributed to the composition of these products, which are rich in bioactive compounds capable of modulating various processes in the human body, regulating glucose levels, and strengthening the immune system. In recent decades, researchers worldwide have been studying the diverse biological activities of anthocyanins. Studies have shown that anthocyanins possess anti-cancer, anti-mutagenic, anti-aging properties, and are active in the prevention and treatment of cardiovascular diseases, while being safe and non-toxic. Currently, anthocyanins are widely used as dietary supplements, in cosmetics, health foods, and the food industry. Research on the methods of anthocyanin extraction and purification from plants has recently gained relevance and demand. This review analyzes the advantages and disadvantages of modern and most common methods of anthocyanin extraction and purification. **Results.** This article critically reviews six types of anthocyanin extraction (solvent liquid extraction, ultrasonic extraction, microwave extraction, supercritical carbon dioxide extraction, deep eutectic solvent extraction or ionic liquids, and enzyme-assisted extraction), as well as their combinations and four purification methods (column chromatography, high-speed counter-current chromatography, membrane filtration, and preparative high-performance liquid chromatography). The review presents the latest advancements in the extraction and purification of anthocyanins, analyzes, and compares the effects of various extraction and purification methods, and methods for determining the extraction rate and purity of anthocyanins.

Keywords: anthocyanins, extraction methods, purification techniques, antioxidants

For citation: Kapitova I. A., Pavlov K. V. Methods of extracting anthocyanins from plant material and purification techniques (review). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 245–253. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-245-253>. (In Russ.)

Date of paper submission: 06.08.2024, **date of review:** 22.10.2024, **date of acceptance:** 30.10.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Все больше исследований подтверждают, что антоцианы обладают разнообразной биологической активностью, в том числе антиоксидантными, иммуномодулирующими, противоопухолевыми, омолаживающими и противовоспалительными свойствами. Антоцианы широко используются как функциональные добавки в продуктах питания, продуктах для здоровья, косметике, медицине, химической промышленности и других областях [1]. Способность антоцианов противодействовать окислительному стрессу, предотвращать развитие воспалительных процессов и защищать органы и клеточные компоненты человека служат предметом продолжающихся исследований [2].

Извлечение антоцианов из природного сырья и их очистка являются условиями их промышленного применения. Методы и способы наиболее эффективной и безопасной экстракции антоцианов

из растительного сырья и их очистки постоянно совершенствуются и представляют интерес для современных «зеленых» производств [3; 4].

Антоцианы широко распространены во всех частях растений: листьях, плодах, корнях и стеблях, — придавая им синюю, розовую, красную, пурпурную или черную окраску [5]. Многочисленные исследования антоцианов показывают, что они участвуют в тушении свободных радикалов, проявляют антимикробные [6], протвораковые [7] и защитные для организма свойства. Низкая токсичность и высокая безопасность антоцианов были подтверждены исследованиями *in vitro* и *in vivo* [8].

В настоящее время антоцианы извлекают главным образом из овощей и фруктов, окрашенных семян, отходов переработки плодов и ягод [9]. Виноградный жмых, мезга малины и шелковицы, другие остатки от переработки растительной продукции богаты антоцианами [10]. Комплексное

использование плодовоовощного сырья, в том числе отходов виноделия, производства соков и фруктово-ягодных консервов, не только может повысить коэффициент использования плодовой продукции, решить проблему утилизации промышленных отходов и снизить затраты на мероприятия по защите окружающей среды, но и позволяет получить ценные продукты с высокой добавленной стоимостью для повышения экономической прибыли. Согласно литературным данным, антоцианы могут применяться в качестве биологически активных добавок и лекарственных средств для профилактики и лечения различных заболеваний [11]. Для медицинского употребления необходимы особая степень очистки антоцианов и длительное сохранение их антиоксидантной активности. В настоящее время исследования по экстракции антоцианов в основном направлены на оптимизацию конкретного процесса экстракции или выбор оптимального метода экстракции путем сравнения различных процессы экстракции и определение скорости экстракции общего количества антоцианов в качестве показателя. Процесс лабораторной экстракции должен быть тесно связан с промышленным производством, и данные лабораторных исследований следует использовать для обеспечения большей информационной поддержки при моделировании промышленного производства

Этот обзор может послужить научной основой для дальнейших исследований и промышленного использования наиболее эффективных и безопасных методов экстракции антоцианов.

Методология и методы исследования (Methods)

Для аналитического обзора были использованы открытые источники, а также электронные научные библиотеки и базы данных (eLibrary, DPVweb.net, Google Scholar), содержащие информацию о методах извлечения антоцианов из растительного сырья и способах очистки.

Результаты (Results)

1. Структура и стабильность антоцианов

Антоцианы – это природные органические соединения, относящиеся к биофлавоноидам, они представляют собой окрашенные гликозиды, содержащие в качестве агликона гидроксид- и метоксизамещенные соли 2-фенилхроменилия, иногда дополнительно ацилированные различными органическими кислотами, связанные с моно- (обычно глюкозой, галактозой, рамнозой), ди- и трисахаридами. Самые распространенные среди них – цианидин, петунидин, пеонидин, пеларгонидин, дельфинидин и мальвидин. Различия в свойствах и окраске антоцианов обусловлены главным образом положением гликозидной связи в молекуле, типом и количеством остатков сахаров, количеством и положением гидроксильных и метоксильных групп, наличием ацильных остатков и т. д. Кроме того, на

окраску антоцианов – от красной до синей – сильно влияет кислотность среды. Антоцианы хорошо растворимы в воде, поэтому находятся в вакуолярном соке растительных клеток. Молекулы антоцианов содержат ненасыщенные двойные связи и легко окисляемые группы, что приводит к их крайней неустойчивости. Заряженное пирилийное кольцо пигментов легко раскрывается уже в слабощелочной среде ($\text{pH} > 8$) [12]. Основными факторами, влияющими на деградацию антоцианов, являются значение pH , температура и присутствие кислорода, а второстепенными – ферменты, ионы металлов, аскорбиновая кислота и продукты ее окисления. На стабильность антоцианов влияет их структура, т. е. количество и положение гидроксильных групп, степень гликозилирования, метилирования и ацилирования [13]. Поэтому условия экстракции (соотношение твердой матрицы и экстрагента, мощность примененного ультразвука или сверхвысокочастотного излучения, температуру и продолжительность экстракции) необходимо обоснованно контролировать для оптимизации скорости и полноты извлечения антоцианов.

2. Методы экстракции

С развитием технологий извлечения антоцианов их пищевое и медицинское использование приобретают все большее значение. К настоящему времени испробованы все известные методы экстракции.

Технически в основе метода *жидкостной экстракции растворителем* лежит принцип растворимости подобного в подобном. Чаще всего для экстракции антоцианов используют метанол, этанол, подкисленную воду или подкисленный этанол [14]. Анализ известных источников показывает, что оптимальные условия для экстракции растворителями имеют следующие параметры: время экстракции от 5 мин. до 4,2 ч, температура экстракции 34–52 °С, соотношение массы сырья к объему экстрагента от 1 : 15 до 1 : 30 [15; 16]. В целом метод экстракции растворителем обладает рядом преимуществ, такими как простота оборудования и технологического оформления, но имеет существенные недостатки, среди которых низкая эффективность, большой расход растворителя и высокая температура.

Для устранения ограничений традиционной жидкофазной экстракции растворителем были испробованы другие современные и эффективные методы экстракции, позволившие увеличить выход антоцианов. Среди них широко используются ультразвуковая экстракция, микроволновая экстракция, экстракция сверхкритическим диоксидом углерода, ультразвуковая ферментативная экстракция, ультразвуковая глубокая эвтектическая экстракция растворителями (ионными жидкостями), экстракция с одновременным использованием ультразвука и микроволн.

Ультразвуковая экстракция использует эффект кавитации и силы трения в жидкости, создаваемыми ультразвуком с частотой от 20 кГц до 50 МГц, для повышения производительности процесса и сокращения времени операции [17]. Применение ультразвука до определенной степени улучшает экстракцию антоцианов по сравнению с экстракцией растворителем. Выход антоцианов значительно выше при ультразвуковой экстракции, это явление можно объяснить модификацией микроструктуры сырья, что приводит к увеличению выхода специфических антоцианов, таких как цианидин-3-галактозид, дельфинидинхлорид, цианидин и петунидин. Однако извлечение антоцианов ультразвуком может разрушать структуру антоцианов, тем самым понижать их выход и антиоксидантные свойства, поэтому необходимо строго контролировать условия процесса (мощность ультразвука, температуру процесса, соотношение сырья и растворителя).

Микроволновая экстракция используется для увеличения степени извлечения антоцианов и большей эффективности по сравнению с обычной жидкостной экстракцией. Механизм микроволновой экстракции основан на собственной ионной проводимости и дипольной релаксации в диэлектрических материалах [18]. Микроволновое излучение быстро повышает температуру растворителя, что снижает вязкость экстрагента и повышает растворимость целевых соединений. Таким образом, эффективность извлечения целевых компонентов повышается с помощью микроволнового излучения. Кроме того, высокочастотное излучение разрушает микроструктуру растительных клеток, что заметно снижает сопротивление массопереносу и усиливает диффузию антоцианов из сырья. В настоящее время этот метод широко используется для экстракции биологически активных соединений из растительных источников, например из фиолетового батата, краснокочанной капусты, ежевики, клюквы, малины [19]. Однако микроволновая экстракция также может привести к разрушению антоцианов из-за чрезмерной вибрации и высокой температуры экстракта. Более того, параметры экстракции (мощность микроволн, время экстракции и соотношение твердого вещества к жидкости) следует строго контролировать для получения высокого выхода антоцианов.

Экстракция сверхкритическим диоксидом углерода как экологически чистая технология быстро совершенствуется и расширяет области своего применения. Преимущества этого метода заключаются в отсутствии отходов, более быстром времени экстракции и сниженном расходе растворителя. Экстракция натуральных пигментов сверхкритическим диоксидом углерода имеет большие перспективы в пищевой промышленности, фармацевтике, косметике и текстиле, а также в других областях при-

менения. Флюидная экстракция сверхкритическим диоксидом углерода в последние годы используется для извлечения антоцианов из природных источников, таких как ягоды жимолости, ягоды и выжимки черники [20]. Вещества переходят в состояние сверхкритического флюида при температурах и давлении выше критических (для углекислоты это 30 °С и 7,38 МПа). По свойствам сверхкритический диоксид углерода находится между газом и жидкостью, он обладает промежуточной плотностью (0,468 г/см³), низкой вязкостью, не имеет поверхностного натяжения из-за отсутствия межфазных границ. Он отличается от традиционных растворителей высокой растворяющей способностью, большим коэффициентом массопередачи, низкой токсичностью, высокой экономичностью затрат и доступностью. Поэтому технология сверхкритической флюидной экстракции имеет многочисленные преимущества, такие как высокая эффективность, экологичность, безопасность, отсутствие загрязняющих выбросов и т. д. [21]. Применение низких температур в процессе извлечения антоцианов из растительного сырья способствует сохранности структуры антоцианов и их антиоксидантных свойств. Данная технология пока не нашла широкого применения в пищевой промышленности из-за высокой стоимости оборудования, значительных технических затрат и высоких профессиональных требований к обслуживающему персоналу.

Со временем были предложены некоторые комбинированные технологии экстракции, например *ультразвуковая ферментная экстракция и ультразвуковая экстракция глубокими эвтектическими растворителями, или ионными жидкостями*. Использование ферментов для разрушения клеточных стенок растений, например целлюлаз и пектиназ, как и обработка ультразвуком, увеличивает выход антоцианов. Ультразвуковая ферментная экстракция широко используется для извлечения антоцианов из виноградной кожуры, выжимок от производства вина [22]. Поскольку обычно антоцианы извлекают органическими растворителями, следует учитывать их токсичность и вред для окружающей среды. Однако, хотя комбинированный метод экстракции может в определенной степени повысить выход антоцианов, сам процесс невозможно точно контролировать. Для реализации крупномасштабного извлечения антоцианов с использованием комбинированного метода экстракции в промышленности необходимо решить множество проблем. Разработка быстрого, безвредного для окружающей среды и эффективного метода извлечения антоцианов из растительных ресурсов требует дальнейшего изучения.

В настоящее время актуально развивать экологически чистые и эффективные методы экстракции антоцианов, сохраняющие их антиоксидантную ак-

тивность. В последние годы все больше исследователей пытаются использовать глубокие эвтектические растворители, или ионные жидкости, вместо классических органических растворителей. Ионные жидкости представляют собой легкоплавкие эвтектические жидкие смеси солей. С момента своего появления ионные жидкости как потенциальные «зеленые» растворители привлекли широкое внимание в различных промышленных областях, включая извлечение биоактивных соединений из различных природных растительных источников [23].

3. Методы очистки антоцианов

В процессе экстракции одновременно извлекаются не только антоцианы, но и растворимые сахара, белки, органические кислоты и другие экстрактивные вещества. Наличие примесей оказывает значительное влияние на физиологическую активность, стабильность и качество антоцианов. Поэтому разделение и очистка экстракта-сырца являются важным этапом для получения антоцианов с высокой стабильностью, физиологической активностью и надлежащим качеством. В настоящее время методы очистки антоцианов в основном включают колоночную хроматографию, мембранное разделение, высокоскоростную противоточную хроматографию и высокоэффективную препаративную жидкостную хроматографию.

Колончатая хроматография является наиболее распространенным методом для разделения и очистки антоцианов. Принцип заключается в том, что коэффициенты распределения антоцианов в твердой и подвижной фазах различны, что позволяет лучше отделять антоцианы от примесей [24]. Насадочная колонна обычно содержит макропористые смолы, Сефадекс G-100 и полиамидные смолы. Макропористая смола, являясь адсорбентом, состоит из высокополимера, имеет пористый каркас и не содержит ионных обменных групп. Кроме того, она обладает такими преимуществами, как высокая скорость адсорбции, большая адсорбционная способность, низкая себестоимость производства и переработки [25]. Таким образом, колончатая хроматография стала очень быстрым методом очистки, который широко используется при разделении и очистке растительных активных компонентов. Чистота антоцианов, полученных элюированием с помощью 40-процентного раствора этанола, в 8,5 раза превышает концентрацию неочищенного экстракта. Однако эта технология не позволяет реализовать крупномасштабную очистку антоцианов в промышленности из-за больших объемов растворителей, энергопотребления, трудоемкости и потому высокой стоимости.

Мембранное фракционирование основано на размерах молекул или частиц (процессы, управляемые давлением), на их заряде (процессы с электрическим приводом) или зависит как от размера, так

и от заряда. В последние годы были разработаны мембранные процессы без воздействия давления (осмотическое давление и воздействие давления пара), которые используются в качестве альтернатив для разделения или фракционирования биологически активных соединений в условиях окружающей среды без ухудшения качества продукта [26]. Эти технологии применяются либо по отдельности, либо в комбинации в виде интегрированной мембранной системы для удовлетворения различных требований к выделению биологически активных соединений. Технология мембранного разделения – это метод, в котором используются искусственные и натуральные синтетические мембраны для разделения и очистки веществ. Весь процесс разделения относится к физическому процессу, который не включает химическую реакцию и обладает преимуществами мягкого действия, отсутствия фазовых переходов при разделении, устойчивостью к кислотам и щелочам, низким энергопотреблением. Технология мембранного разделения основана на различии размеров молекул целевых веществ и примесей и их селективной способности проникать через натуральные или синтетические мембраны с микро-, ультра- или нанопорами. Поэтому эта технология широко используется в биологии, медицине, пищевом производстве и водоподготовке [27].

Высокоскоростная противоточная хроматография как непрерывный метод разделения веществ в системе жидкость – жидкость применяется для выделения биологически активных соединений из природных растительных источников [24]. Этот метод позволяет избежать необратимой адсорбции образцов на твердой фазе, может увеличить объем загрузки образца и облегчить быстрое и крупномасштабное получение биоактивных соединений по сравнению с традиционной колончатой хроматографией. Выбор подходящей системы экстракционных растворителей по-прежнему остается актуальной проблемой, которая не решена окончательно, а технология нуждается в дальнейших исследованиях.

Препаративная высокоэффективная жидкостная хроматография основана на различиях физико-химических свойств каждого компонента в смеси, из-за чего они по-разному распределены в двух несмешивающихся фазах [29]. Преимуществами метода являются эффективность разделения и очистки, высокая точность идентификации целевого компонента и автоматическое непрерывное разделение. Эта технология часто используется для разделения продуктов с высокой добавленной стоимостью, таких как ценные биологически активные вещества, в том числе флавоноиды. Однако для этого метода требуется дорогостоящее оборудование при невысоких объемах переработки сырья.

При обогащении и очистке антоцианов предварительная обработка образцов может помочь повысить скорость экстракции и чистоту антоцианов, сэкономить время, сократить использование органических растворителей и тем самым защитить окружающую среду. В соответствии с производственными требованиями выбор соответствующего оборудования и совместное использование технологии очистки способствуют быстрому получению антоцианов высокой чистоты.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Антоцианы при выделении их из естественной среды нестабильны и в различной степени разлагаются при нагревании в зависимости от нескольких параметров процесса и присутствия других воздействующих молекул. Знание механизма, с помощью которого эти биомолекулы разлагаются, важно для максимизации их биологически активных свойств и визуального качества при промышленной термической обработке или домашнем приготовлении пищи с материалами, богатыми антоцианами. Термическое поведение антоцианов может отличаться в более сложных пищевых матрицах, например в продуктах, обогащенных антоцианами, из-за взаимодействия с некоторыми питательными веществами (белками, полисахаридами), которые могут стабилизировать эти пигменты. Знание механизма разложения антоцианов в различных условиях окружающей среды имеет большое значение для разработки технологий. Основными факторами, влияющими на извлечение антоцианов из ягод и фруктовых остатков, являются характеристики образца (такие как активность воды в образце, жесткость клеточной стенки растения и т. д.) и параметры процесса экстракции (такие как значение pH, растворитель, температура, продолжительность и т. д.). В настоящее время методы экстракции перешли от традиционной жидкостной экстракции растворителем к новым технологиям, таким как экстракция глубоким эвтектическим растворителем, экстракция с помощью ультразвука, экстракция с помощью микроволн и т. д. По сравнению с традиционной экстракцией растворителем новые технологии обладают очевидными преимуществами в отношении скоро-

сти экстрагирования, энергопотребления, времени экстракции и защиты окружающей среды. Однако у новых технологий есть и некоторые недостатки, такие как высокие требования к оборудованию. Исследования по экстракции антоцианов в основном направлены на оптимизацию конкретного процесса экстракции или выбор оптимального метода экстракции путем сравнения скорости экстракции антоцианов. При очистке антоцианов необходимо учитывать такие факторы, как эффективность, стоимость производства и простоту в эксплуатации. Для получения антоцианов высокой чистоты исследуются различные технологии, усовершенствование экстракционного оборудования, оптимизация методов предварительной обработки образцов (таких как тонкое измельчение образца, предварительное замачивание и размягчение, добавление целлюлозы в сырье, паровой взрыв, обработка высоким давлением и т. д.). Большинство процессов пищевой промышленности требуют высокой температуры, главным образом для обеспечения безопасности пищевых продуктов и продления срока их хранения. Температура процесса является критическим параметром, который влияет на матрицу пищевых продуктов, изменяя термочувствительные соединения, такие как антоцианы, в зависимости от величины и продолжительности нагрева. Как правило, термическая обработка простых пищевых продуктов, фруктов и овощей оказывает сильное влияние на антоцианы, при этом потеря их содержания варьируется от 28 до 80 %.

Обзор научных и экспериментальных данных в области методов эффективной экстракции и очистки антоцианов пользуется большим спросом, в частности, у исследователей, занимающихся извлечением и применением антоцианов, а также у производителей продуктов питания, в основном заинтересованных в разработке новых продуктов и функциональных продуктов питания. Также современное развитие пищевых производств направлено на экологичность и энергосбережение, что требует новых знаний о методах очистки и переработки сырья, длительного сохранения ценных и полезных свойств конечных продуктов.

Библиографический список

1. Khoo H. E., Azlan A., Tang S. T., Lim S. M. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits // Food and Nutrition Research. 2017. Vol. 61 (1). Article number 1361779. DOI: 10.1080/16546628.2017.1361779
2. Егорова О. С., Розина Л. И., Акбулатова Д. Р., Шилкин А. А., Свиридов Д. А., Апрельев А. В. [и др.]. Анализ антоцианового комплекса красителей, полученных из вторичных ресурсов плодового виноделия // Пиво и напитки. 2021. № 4. С. 38–41. DOI: 10.52653/PIN.2021.4.4.010.
3. Соломинова Л. В., Онина С. А., Козлова Г. Г. Извлечение и исследование антоцианов растительного сырья // Бюллетень науки и практики. 2019. № 4. С. 69–75. DOI: 10.33619/2414-2948/41/07.
4. Саласина Я. Ю., Калинин Д. А., Дейнека В. И., Дейнека Л. А. Некоторые закономерности экстракции антоцианов из растительных источников // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10 (4). С. 691–699. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-691-699.

5. Alvarez-Suarez J. M., Cuadrado C., Ballesteros I., Giampieri F., Buelga C.S. Novel approaches in anthocyanin research-plant fortification and bioavailability issues // *Trends in Food Science and Technology*. 2021. Vol. 117. Pp. 92–105. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.01.049.
6. Pertuzatti P. B., Barcia M. T., Rebello L. P. G., Gomez-Alonso S., Duarte R. M. T., Duarte M. C. T., Hermosin-Gutierrez I. Antimicrobial activity and differentiation of anthocyanin profiles of rabbiteye and highbush blueberries using HPLC-DAD-ESI-MSn and multivariate analysis // *Journal of Functional Foods*. 2016. Vol. 26. Pp. 506–516. DOI: 10.1016/j.jff.2016.07.026.
7. Eroglu Ozkan E., Seyhan M. F., Kurt Sirin O., Yilmaz-Ozden T., Ersoy E., Hatipoglu Cakmar S. D., Goren A. C., Yilmaz Aydogan H., Ozturk O. Antiproliferative effects of Turkish pomegranate (*Punica granatum* L.) extracts on MCF-7 human breast cancer cell lines with focus on antioxidant potential and bioactive compounds analyzed by LC-MS/MS // *Journal of Food Biochemistry*. 2021. Vol. 45. Article number e13904. DOI: 10.1111/jfbc.13904.
8. Zhao X., Yuan Z. Anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum* L.) and their role in antioxidant capacities in vitro // *Chemistry and Biodiversity*. 2021. Vol. 18. Article number e2100399. DOI: 10.1002/cbdv.202100399.
9. Степанович Е. Ю., Алиев П. Н. Анализ содержания антоцианов цианидина, дельфинидина, мальвидина и пеларгонидина в пищевой продукции методом ИК-спектроскопии // *Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества*. 2023. Т. 20. № 4. С. 71–78. DOI: 10.31429/vestnik-20-4-71-78.
10. Соломинова Л. В., Онина С. А., Козлова Г. Г. Извлечение и исследование антоцианов растительного сырья // *Бюллетень науки и практики*. 2019. Т. 5, № 4. DOI: 10.33619/2414-2948/41.
11. Ockermann P., Headley L., Lizio R., Hansmann J. A review of the properties of anthocyanins and their influence on factors affecting cardiometabolic and cognitive health // *Nutrients*. 2021. Vol. 13. Article number 2831. DOI: 10.3390/nu13082831.
12. Zhao Y. W., Wang C. K., Huang X. Y., Hu D. G. Anthocyanin stability and degradation in plants // *Plant Signaling and Behavior*. 2021. Vol. 16. Article number e1987767.
13. West M. E., Mauer L. J. Color and chemical stability of a variety of anthocyanins and ascorbic acid in solution and powder forms // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013. Vol. 61. Pp. 4169–4179.
14. Muangrat R., Williams P. T., Saengcharoenrat P. Subcritical solvent extraction of total anthocyanins from dried purple waxy corn: influence of process conditions // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017. Vol. 41. Pp. 46–50. DOI: 10.1111/jfpp.13252.
15. Herrera-Ramirez J., Meneses-Marentes N., Tarazona Diaz M. P. Optimizing the extraction of anthocyanins from purple passion fruit peel using response surface methodology // *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2020. Vol. 14. Pp. 72–79.
16. Azman E. M., Charalampopoulos D., Chatzifragkou A. Acetic acid buffer as extraction medium for free and bound phenolics from dried blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) skins // *Journal of Food Science*. 2020. Vol. 85. Pp. 3745–3755. DOI: 10.1111/1750-3841.15466.
17. Xue H., Xu H., Wang X., Shen L., Liu H., Liu C., Li Q. Effects of microwave power on extraction kinetic of anthocyanin from blueberry powder considering absorption of microwave energy // *Journal of Food Quality*. 2018. DOI: 10.1155/2018/9680184.
18. Sun Y., Liao X., Wang Z., Hu X., Chen F. Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanin of extracts using high-performance liquid chromatography-mass spectrometry // *European Food Research and Technology*. 2007. Vol. 225. Pp. 511–523.
19. Liu W., Yang C., Zhou C., Wen Z., Dong X. An improved microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple sweet potato in favor of subsequent comprehensive utilization of pomace // *Food and Bioprocess Technology*. 2019. Vol. 5. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.02.003.
20. Jiao G., Kermanshahi pour A. Extraction of anthocyanins from Haskap berry pulp using supercritical carbon dioxide: influence of co-solvent composition and pretreatment // *LWT*. 2018. Vol. 6. Pp. 237–244. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.08.042.
21. Tian M. X., Li Y. D., Hu W. Z., Wang Y. Y., Jiang A. L., Liu C. H. Optimization of supercritical CO₂ extraction of blueberry anthocyanins using response surface methodology // *Science and Technology of Food Industry*. 2016. Vol. 37. Pp. 208–212. DOI: 10.1126/sciadv.abf1937.
22. Tan J., Li Q., Xue H., Tang J. Ultrasound-assisted enzymatic extraction of anthocyanins from grape skins: optimization, identification, and antitumor activity // *Journal of Food Science*. 2020. Vol. 85. Pp. 3731–3744. DOI: 10.3390/foods9101409.
23. Xue H., Tan J., Li Q., Tang J., Cai X. Optimization ultrasound-assisted deep eutectic solvent extraction of anthocyanins from raspberry using response surface methodology coupled with genetic algorithm // *Foods*. 2020. Vol. 9. Article number 1409. DOI: 10.3390/foods9101409.

24. Xiao H. U., Sun A. D., Zhang D. Q. Separation of anthocyanins from *Perilla frutescens* by high speed counter-current chromatography // *Journal of Chinese Medicinal Materials*. 2010. Vol. 33. Pp. 1586–1588.
25. Wang X. X., Hansen C., Allen K. Identification of anthocyanins isolated from black bean canning waste water by macroporous resin using optimized conditions // *Food and Nutrition Science*. 2013. Vol. 4. Pp. 174–181. DOI: 10.4236/fns.2013.48A021.
26. Martin J., Enrique J., Diaz M., Asuero A. G. Recovery of anthocyanins using membrane technologies: a review // *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2017. Vol. 48. Pp. 143–175. DOI: 10.1080/10408347.2017.1411249.
27. Dong C., Yan X., Li X., Liu S., Liu C. Optimization of ultrasonic-microwave assisted extraction of anthocyanins from mulberry and their antioxidant activities // *China Condiments*. 2020. Vol. 45. Pp. 172–178.
28. Liu Y. Y., Nobutoshi M., Wang L., Zhang S. Preparative high-performance liquid chromatography for the purification of natural acylated anthocyanins from red radish (*Raphanus sativus* L.) // *Journal of Chromatographic Science*. 2008. Vol. 5. Pp. 743–746.

Об авторах:

Ирина Александровна Капитова, кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и вирусологических исследований, Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва, Россия; ORCID 0000-0003-3629-4461, Author ID 1114778. E-mail: kiastandart@gmail.com

Константин Витальевич Павлов, кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и вирусологических исследований, Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва, Россия; ORCID 0009-0004-4445-6314, Author ID 49932. E-mail: pavlovkonsta@yandex.ru

References

1. Khoo H. E., Azlan A., Tang S. T., Lim S. M. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food and Nutrition Research*. 2017; 61 (1): 1361779. DOI: 10.1080/16546628.2017.1361779.
2. Egorova O. S., Rozina L. I., Akbulatova D. R., Shilkin A. A., Sviridov D. A., Aprelev A. V., et al. Analysis of the anthocyanin complex of dyes obtained from fruit winemaking secondary resources. *Beer and Beverages*. 2021; 4: 38–41. DOI: 10.52653/PIN.2021.4.4.010. (In Russ.)
3. Solominova L. V., Onina S. A., Kozlova G. G. Extraction and study of anthocyanins from plant raw materials. *Bulletin of Science and Practice*. 2019; 4: 69–75. DOI: 10.33619/2414-2948/41/07. (In Russ.)
4. Salasina Y. Yu., Kalinikin D. A., Deineka V. I., Deineka L. A. Some regularities of anthocyanin extraction from plant sources. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020; 10 (4): 691–699. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-691-699. (In Russ.)
5. Alvarez-Suarez J. M., Cuadrado C., Ballesteros I., Giampieri F., Buelga C. S. Novel approaches in anthocyanin research-plant fortification and bioavailability issues. *Trends in Food Science and Technology*. 2021; 117: 92–105. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.01.049.
6. Pertuzatti P. B., Barcia M. T., Rebello L. P. G., Gomez-Alonso S., Duarte R. M. T., Duarte M. C. T., Hermosin-Gutierrez I. Antimicrobial activity and differentiation of anthocyanin profiles of rabbiteye and highbush blueberries using HPLC-DAD-ESI-MSn and multivariate analysis. *Journal of Functional Foods*. 2016; 26: 506–516. DOI: 10.1016/j.jff.2016.07.026.
7. Eroglu Ozkan E., Seyhan M. F., Kurt Sirin O., Yilmaz-Ozden T., Ersoy E., Hatipoglu Cakmar S. D., Goren A. C., Yilmaz Aydogan H., Ozturk O. Antiproliferative effects of Turkish pomegranate (*Punica granatum* L.) extracts on MCF-7 human breast cancer cell lines with focus on antioxidant potential and bioactive compounds analyzed by LC-MS/MS. *Journal of Food Biochemistry*. 2021; 45: e13904. DOI: 10.1111/jfbc.13904.
8. Zhao X., Yuan Z. Anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum* L.) and their role in antioxidant capacities in vitro. *Chemistry and Biodiversity*. 2021; 18: e2100399. DOI: 10.1002/cbdv.202100399.
9. Stepanovich E. Yu., Aliev P. N. Analysis of anthocyanin content of cyanidin, delphinidin, malvidin, and pelargonidin in food products by IR spectroscopy. *Ecological Bulletin of Scientific Centers of the Black Sea Economic Cooperation*. 2023; 20 (4): 71–78. DOI: 10.31429/vestnik-20-4-71-78. (In Russ.)
10. Solominova L. V., Onina S. A., Kozlova G. G. Extraction and study of anthocyanins from plant raw materials. *Bulletin of Science and Practice*. 2019; 5 (4). DOI: 10.33619/2414-2948/41. (In Russ.)
11. Ockermann P., Headley L., Lizio R., Hansmann J. A review of the properties of anthocyanins and their influence on factors affecting cardiometabolic and cognitive health. *Nutrients*. 2021; 13: 2831. DOI: 10.3390/nu13082831.

12. Zhao Y. W., Wang C. K., Huang X. Y., Hu D. G. Anthocyanin stability and degradation in plants. *Plant Signaling and Behavior*. 2021; 16: e1987767.
13. West M. E., Mauer L. J. Color and chemical stability of a variety of anthocyanins and ascorbic acid in solution and powder forms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013; 61: 4169–4179.
14. Muangrat R., Williams P. T., Saengcharoenrat P. Subcritical solvent extraction of total anthocyanins from dried purple waxy corn: influence of process conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017; 41: 46–50. DOI: 10.1111/jfpp.13252.
15. Herrera-Ramirez J., Meneses-Marentes N., Tarazona Diaz M. P. Optimizing the extraction of anthocyanins from purple passion fruit peel using response surface methodology. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2020; 14: 72–79.
16. Azman E. M., Charalampopoulos D., Chatzifragkou A. Acetic acid buffer as extraction medium for free and bound phenolics from dried blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) skins. *Journal of Food Science*. 2020; 85: 3745–3755. DOI: 10.1111/1750-3841.15466.
17. Xue H., Xu H., Wang X., Shen L., Liu H., Liu C., Li Q. Effects of microwave power on extraction kinetic of anthocyanin from blueberry powder considering absorption of microwave energy. *Journal of Food Quality*. 2018: 1–13. DOI: 10.1155/2018/9680184.
18. Sun Y., Liao X., Wang Z., Hu X., Chen F. Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanin of extracts using high-performance liquid chromatography-mass spectrometry. *European Food Research and Technology*. 2007; 225: 511–523.
19. Liu W., Yang C., Zhou C., Wen Z., Dong X. An improved microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple sweet potato in favor of subsequent comprehensive utilization of pomace. *Food and Bioprocess Technology*. 2019; 5. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.02.003.
20. Jiao G. L., Kermanshahi pour A. Extraction of anthocyanins from Haskap berry pulp using supercritical carbon dioxide: influence of co-solvent composition and pretreatment. *LWT*. 2018; 6: 947. DOI: 10.5555/20183362959.
21. Tian M. X., Li Y. D., Hu W. Z., Wang Y. Y., Jiang A. L., Liu C. H. Optimization of supercritical CO₂ extraction of blueberry anthocyanins using response surface methodology. *Science and Technology of Food Industry*. 2016; 37: 208–212. DOI: 10.1126/sciadv.abf1937.
22. Tan J., Li Q., Xue H., Tang J. Ultrasound-assisted enzymatic extraction of anthocyanins from grape skins: optimization, identification, and antitumor activity. *Journal of Food Science*. 2020; 85: 3731–3744. DOI: 10.3390/foods9101409.
23. Xue H., Tan J., Li Q., Tang J., Cai X. Optimization ultrasound-assisted deep eutectic solvent extraction of anthocyanins from raspberry using response surface methodology coupled with genetic algorithm. *Foods*. 2020; 9: 1409. DOI: 10.3390/foods9101409.
24. Xiao H. U., Sun A. D., Zhang D. Q. Separation of anthocyanins from *Perilla frutescens* by high-speed counter-current chromatography. *Journal of Chinese Medicinal Materials*. 2010; 33: 1586–1588.
25. Wang X. X., Hansen C., Allen K. Identification of anthocyanins isolated from black bean canning wastewater by macroporous resin using optimized conditions. *Food and Nutrition Science*. 2013; 4: 174–181. DOI: 10.4236/fns.2013.48A021.
26. Martin J., Enrique J., Diaz M., Asuero A. G. Recovery of anthocyanins using membrane technologies: a review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2017; 48: 143–175. DOI: 10.1080/10408347.2017.1411249.
27. Dong C., Yan X., Li X., Liu S., Liu C. Optimization of ultrasonic-microwave assisted extraction of anthocyanins from mulberry and their antioxidant activities. *China Condiments*. 2020; 45: 172–178.
28. Liu Y., Nobutoshi M., Wang L., Zhang S. Preparative high-performance liquid chromatography for the purification of natural acylated anthocyanins from red radish (*Raphanus sativus* L.). *Journal of Chromatographic Science*. 2008; 5: 743–746.

Authors' information:

Irina A. Kapitova, candidate of chemical sciences, senior researcher at the laboratory of molecular genetic and virological research, Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia; ORCID 0000-0003-3629-4461, Author ID 1114778. *E-mail*: kiastandard@gmail.com

Konstantin V. Pavlov, candidate of chemical sciences, senior researcher at the laboratory of molecular genetic and virological research, Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia; ORCID 0009-0004-4445-6314, Author ID 44932. *E-mail*: pavlovkonsta@yandex.ru