

УДК 66.094.3.098

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЭКСТРАКТОВ ЛИСТЬЕВ *BERGENIA CRASSIFOLIA* (L.) FITSCH РАЗНЫХ СРОКОВ ВЕГЕТАЦИИ

© С.В. Цырендоржиева^{1*}, С.Д. Жамсаранова^{1,2}

¹ Восточно-Сибирский технологический университет технологии
и управления, ул. Ключевская, 40В-1, Улан-Удэ, 670013 (Россия),
e-mail: ts-svetlana1971@mail.ru

² Бурятский государственный университет, ул. Смолина, 24а, Улан-Удэ,
670013 (Россия)

В работе получены новые данные о химическом составе и об антиоксидантных свойствах водных экстрактов листьев *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch разных сроков вегетации, произрастающего в Республике Бурятия. Показано, что это одно из немногих растений, листья которого содержат значительное количество фенольных соединений. Максимальное содержание дубильных веществ отмечено в экстракте красных листьев бадана – 2.42%. В зависимости от фазы сбора сырья содержание флавоноидов в водных экстрактах листьев бадана варьировало от 3.88 до 5.42%. В экстракте черных листьев бадана наблюдалось более высокое накопление флавоноидов, что, по-видимому, связано с ферментацией листьев, при которой разрушается клеточная структура, происходит выделение ферментов и полифенолов. Лидером при определении общего содержания антоцианов, как и для флавоноидов, явился экстракт черных листьев бадана. Наибольшее количество арбутина содержалось в экстракте зеленых листьев бадана – 1.22%. Изученные экстракты обладали высокой способностью к поглощению свободных радикалов, однако экстракт зеленых листьев бадана обладал наибольшей антирадикальной активностью, имел минимальный показатель EC_{50} , равный 4 мг/см³. Железо-хелатирующая способность испытуемых водных экстрактов листьев бадана разных сроков вегетации *in vitro* показала, что экстракты листьев обладали слабой железо-хелатирующей активностью.

Ключевые слова: листья бадана, водный экстракт, фенольные вещества, антиоксидантная активность, свободные радикалы, железо-хелатирующая способность.

Работа выполнена в рамках Госзадания МОиН РФ №19.5486.2017/БЧ.

Введение

Урбанизация, ухудшение экологической обстановки, рост стрессовых факторов ведут к росту так называемых «болезней цивилизации», что является причиной возросшего интереса к фитотерапии, фитопрепаратам. Широкое практическое применение получили биологически активные природные соединения как терпеноиды, стероиды, алкалоиды, флавоноиды. Резко возрос интерес ученых всего мира к веществам растительного происхождения обладающим антиоксидантным эффектом. За последние 10 лет во всемирной биологической базе данных NCBJ (National Center for Biotechnology Information) по запросу «антиоксиданты» опубликовано свыше 460000 работ [1].

В последние годы большой интерес проявляют к флавоноидам не только ввиду широкого спектра фармакологической активности, но и всеобщего распространения в растительном мире. Интерес к флавоноидам возник не случайно, а связан с расширением спектра свободнорадикальных патологий и углублением наших знаний о возможном участии полифенольных соединений в профилактике и лечении различных заболеваний [2]. Одним из актуальных направлений этих исследований являются поиски новых природных источников полифенольных соединений.

Цырендоржиева Светлана Владимировна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: ts-svetlana1971@mail.ru
Жамсаранова Сэсэгма Дашиевна – доктор биологических наук, профессор, e-mail: zhamsarans@mail.ru

* Автор, с которым следует вести переписку.

Бадан толстолистный *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch – дикорастущее травянистое растение, издавна используемое в медицинской практике. Получаемые из корней отвары и настои применяют при лечении желудочно-кишечных заболеваний, болезней горла и полости рта, при лихорадках и головных болях, а также в стоматологической практике [3]. Количество биологически активных веществ в листьях бадана на разных фазах вегетации неодинаково, но их качественный состав сходен и представлен разными группами фенольных соединений, водорастворимыми и жирорастворимыми витаминами, минеральными веществами [4]. Противовоспалительные, мощные антимикробные, мочегонные, адаптогенные и другие свойства бадана лежат в основе лечения разных заболеваний. При оценке иммунокорректирующих свойств черных листьев бадана толстолистного установлено их благотворное влияние на все звенья иммунной защиты [5]. Однако листья бадана не находят широкого применения.

Бадан толстолистный растет повсеместно в прибрежной зоне Байкала на затемненных, влажных склонах, в сосновых, кедрово-пихтовых, березово-сосновых горных лесах, поселяется на сухих солнечных склонах, нормально переносит условия каменистых берегов горных рек. Достаточная обеспеченность Республики Бурятия сырьевыми запасами бадана не вызывает сомнения. Общая площадь бадановых зарослей на территории Бурятии занимает 600 тыс. га при средней урожайности сырых листьев 2.5, а корневищ – 2.1 кг/м² [3]. Бадан толстолистный относится к многолетним травянистым растениям семейства камнеломковых (*Saxifragaceae*). Особый интерес представляет его наземная часть. Благодаря своеобразному циклу развития на этом растении одновременно находятся зеленые листья (первого и второго года), красные (третьего и четвертого года) и черные (четвертого и пятого года). Черные листья, по существу, представляют отмершее ферментированное сырье. Их сбор можно начинать весной, сразу после таяния снега. Красные листья бадана образуются глубокой осенью, их заготовка в этот срок не причинит вреда растению.

Количество биологически активных веществ в листьях бадана на разных фазах вегетации неодинаково, но их качественный состав сходен и представлен разными группами фенольных соединений, водорастворимыми витаминами и минеральными веществами [4]. Благодаря наличию широкого спектра химических соединений бадан толстолистный с давних пор использовался в качестве лекарственного растения в народной, в частности тибетской и монгольской медицине. Противовоспалительные, мощные антимикробные, мочегонные, адаптогенные и другие свойства бадана лежат в основе лечения разных заболеваний. При оценке иммунокорректирующих свойств черных листьев бадана толстолистного установлено их благотворное влияние на все звенья иммунной защиты [5].

Бадан относится к растениям, накапливающим дубильные вещества в значительных количествах. В фенольный комплекс входят полимерные и мономерные соединения, соответственно флавоноиды и простые фенолы – гидрохинон и его гликозид арбутин [6]. Из числа реакций, в которых участвуют фенольные соединения, наибольший интерес и практическую ценность представляют реакции окисления, обуславливающие антиоксидантные свойства фенолов. Главным действующим началом, обеспечивающим фенольным антиоксидантам способность тормозить радикальные процессы окисления, являются ароматическое ядро и карбонильные и гидроксильные функциональные группы [2].

Антиоксидантные свойства фенольных соединений бадана могут быть использованы не только при создании лекарственных препаратов, но и в пищевой промышленности для замедления окислительных процессов, происходящих в сырье и готовых продуктах на разных стадиях технологического процесса и при хранении.

Цель настоящей работы – оценка антиоксидантной активности водных экстрактов листьев бадана толстолистного, собранных в разные периоды вегетации.

Экспериментальная часть

Растительное сырье – листья бадана были собраны в 2015–2017 гг. в фазу массового цветения. Листья бадана сушили в естественных условиях до воздушно-сухого состояния, упаковывали в бумажные пакеты и хранили в темном месте.

Объектами исследования являлись водные экстракты листьев бадана толстолистного.

Водные экстракты готовили по следующей методике: 10 г сырья измельчали до размера частиц 2 мм, помещали в колбу вместимостью 100 мл, заливали 100 мл горячей воды и экстрагировали на кипящей водяной бане при температуре 80–90 °С в течение 30 мин при периодическом перемешивании, после чего экстракт подвергали ультразвуковой активации.

Известно, что ультразвуковая экстракция приводит к сокращению времени экстрагирования и увеличению выхода экстрактивных веществ в получаемом экстракте [7]. В литературе вопросы использования ультразвукового воздействия для ускорения процессов экстракции оснащены достаточно скудно, при этом перспективы такого воздействия очевидны. При использовании ультразвука наблюдается не только значительное ускорение производственного процесса, но и увеличение по сравнению с другими способами экстрагирования основного продукта. Повышение эффективности экстракции обусловлено увеличением коэффициента массопереноса и величины межфазной поверхности [8]. При воздействии на процесс экстракции ультразвуком в жидкой среде возникают знакопеременное звуковое давление, способствующее проникновению жидкости в трещины и капилляры экстрагируемого вещества, а также быстрые течения (звуковой ветер, кавитация). Методика ультразвуковой экстракции особенно привлекательна своей простотой и низкой стоимостью оборудования. Она основана на использовании энергии, получаемой от ультразвука на частотах выше диапазона слышимых для человека (звуковых волн с частотой выше 20 кГц), облегчающей извлечение активных веществ из растительного сырья растворителем. Это приводит к разрушению клеточных стенок растений и, как следствие, увеличению проницаемости растворителя в растительную клетку. Происходит облегченная диффузия активных компонентов в растворитель. Обычно время экстракции уменьшается от 3 до 10 раз [3].

Для максимального извлечения общего количества сухих веществ из листьев бадана использован следующий режим ультразвуковой обработки: частота 22 кГц, мощность 180 Вт, экспозиция 5 мин. После ультразвуковой обработки водные извлечения фильтровали. Количество сухих веществ по данному варианту обработки составляет 4.51%, что позволяет повысить выход экстрактивных веществ в 3.9 раза, по сравнению с мацерацией и в 2 раза сократить время экстрагирования.

Количественное содержание дубильных веществ в пересчете на танин, антоцианов в пересчете на цианидин-3,5-диглюкозид, флавоноидов в пересчете на рутин, арбутин определяли по методикам ГФ [9].

Анализ содержащихся в экстрактах антиоксидантов проводили с применением амперометрического метода на приборе «Цвет Яуза-01-АА», используя градуировочный график зависимости выходного сигнала от концентрации кверцетина. Способность экстрактов листьев бадана к связыванию свободного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (ДФПГ) определяли спектрофотометрическим методом [10, 11].

Железо-хелатирующую активность определяли спектрофотометрическим методом, который основан на конкуренции исследуемого вещества с известным хелатором железа феррозином, образующим окрашенный комплекс с Fe^{2+} с пиком поглощения 562 нм [12].

Суммарные экспериментальные данные обрабатывали, вычисляя стандартную ошибку и доверительный интервал. Каждый результат показан как среднее значение из не менее, чем трех независимых экспериментов $\pm \Delta$ (стандартная ошибка среднего). Достоверность различий оценивали согласно t-критерию Стьюдента, различия считались значимыми при $p < 0.05$. Статистическая и математическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью пакета статистических программ «Microsoft Excel», при этом статистическая ошибка не превышала 1–3% от определяемой величины.

Результаты и обсуждение

Из литературных данных известно, что бадан толстолистный – это одно из немногих растений, листья которого содержат значительное количество фенольных соединений [6]. Нами изучено содержание фенольных соединений в экстрактах листьев *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch разных сроков вегетации.

Результаты количественного определения фенольных соединений в водных экстрактах листьев бадана приведены в таблице.

Результаты табличных данных показывают, что максимальное содержание дубильных веществ отмечено в экстракте красных листьев бадана, сумма составила 2.42%.

Из литературных данных известно, что на способность растения накапливать танины оказывают влияние разные факторы, причем для каждого растения существуют свои закономерности, определяющие индивидуальный уровень дубильных веществ. А общая закономерность характеризуется тем, что молодые растения более богаты танином, чем старые. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что высокое содержание дубильных веществ в красных листьях бадана, которые образуются глубокой осенью, по всей видимости, связано с влиянием таких природных факторов, как количество солнца, влажность почвы, время суток и т.д.

Содержание фенольных соединений в водных экстрактах листьев бадана

Наименование экстракта	Содержание фенольных соединений, %			
	дубильные вещества, в пересчете на танин	флавоноиды, в пересчете на рутин	антоцианы	арбутин
Экстракт зеленых листьев бадана	2.24±0.66	3.88±0.06	0.62±0.05	11.22±0.5
Экстракт красных листьев бадана	2.42±0.2 ^{*1}	4.61±0.05 ^{*1}	1.35±0.08 ^{*1}	7.74±0.27 ^{*1}
Экстракт черных листьев бадана	1.43±0.33 ^{*1,2}	5.42±0.124 ^{*1,2}	2.46±0.05 ^{*1,2}	4.41±0.06 ^{*1,2}

Примечание: ^{*1}, ^{*1,2} – достоверно относительно 1 или 1 и 2 групп, соответственно (P≤0.05).

Образование дубильных веществ происходит в основном путем превращения сахаров в полифенолы через промежуточное образование инозита. В дальнейшем путем реакции присоединения и конденсации полифенолы и их производные образуют дубильные вещества. При старении листа катехиновая фракция (содержание которой в нежных листьях доходит до 70% от общего содержания дубильных веществ) постепенно переходит в танинную, а затем в связанный танин. Это происходит за счет окисления и уплотнения катехинов и их галловых эфиров [13].

Биологическая роль танинов для растений выяснена не полностью [14].

Растительные полимерные фенольные соединения – дубильные вещества являются перспективными ингибиторами процессов окисления органических кислот наравне со своими мономерными аналогами (фенолкарбоновыми, оксикоричными кислотами, флавоноидами), антиоксидантная активность которых известна давно и широко исследуется [15]. Хотя антиокислительная способность дубильных веществ мало изучена, что связано, прежде всего, с их сложной химической структурой, тем не менее данная группа веществ, имея ряд преимуществ перед простыми фенолами (хорошая растворимость в воде, высокое содержание в растительном дубильном сырье, простота в получении), может быть во многих случаях разумной альтернативой мономерным фенольным антиоксидантам.

Другая группа фенольных соединений, обнаруженных в экстрактах листьев бадана толстолистного, представлена флавоноидами. Флавоноидам присуща высокая биологическая активность, обусловленная присутствием в молекуле фенольных гидроксильных и карбонильных групп, которые подвергаются различным биохимическим изменениям, принимают участие в ряде физиологических процессов и обладают широким спектром фармакологической активности. Флавоноиды оказывают мочегонное, антимикробное, противовоспалительное, противоопухолевое, капилляроукрепляющее действие [15].

Нами установлено, что в зависимости от фазы сбора сырья содержание флавоноидов в водных экстрактах листьев бадана составляет от 3.88 до 5.42%. В экстракте черных листьев бадана наблюдается наиболее высокое накопление флавоноидов, что, по-видимому, связано с ферментацией листьев, при которой разрушается клеточная структура, происходит выделение ферментов и полифенолов. Ферментативные превращения флавоноидов наблюдаются и в ходе некоторых технологических процессов, таких как ферментация чая [16].

Многие флавоноиды способны окисляться растительными пероксидазами с достаточно высокими скоростями. Не исключено, что для данного типа ферментов фенольные соединения являются одними из природных субстратов [17]. Под действием данных ферментов флавоноиды могут подвергаться реакциям окислительного расщепления, дегидрирования либо конденсации. В случае некоторых флавоноидов, отличающихся наличием резонансных структур, эти реакции могут протекать параллельно, что приводит к образованию большого числа реакционных продуктов [14]. Так, окисление кверцетина пероксидазой из корневищ хрена приводит к накоплению в реакционной смеси минимум двадцати индивидуальных соединений, многие из которых обладают весьма схожими физико-химическими свойствами. В тех же условиях несколько меньшее количество продуктов образуется при окислении кемпферола. В случае пероксидазного окисления катехина, отличающегося отсутствием двойной связи в C₂–C₃ положении, в смеси обнаруживаются лишь продукты окислительной конденсации данного флавоноида в виде олигомерных соединений [18].

Учитывая эти факты, можно предположить, что после взаимодействия с пероксидазами флавоноиды претерпевают ряд ферментативных превращений, причем их число и степень зависят от свойств промежуточного продукта окисления. Ситуация может иметь и более сложный характер, если допустить, что промежуточные продукты окисления флавоноидов могут вступать в новый цикл окислительно-восстановительных взаимодействий с белковой молекулой. Данные примеры иллюстрируют сложный химизм реакций пероксидазного окисления флавоноидов [17].

Лидер по количеству антоцианов, как и для флавоноидов, является экстракт из черных листьев. Антоцианы являются природными соединениями, обладающими в определенных условиях окраской, вследствие чего они представляют интерес как колоранты для пищевой и медицинской промышленности. Антоцианы не только свободны от вредного действия на организм (поэтому должны вытеснить канцерогенные азокрасители из пищевой промышленности), но и наоборот, – обладают высокой антиоксидантной активностью, способствующей проявлению ими многочисленных вариантов биологической активности – от противовоспалительной до антиканцерогенной [15]. Это объясняет интерес к растительным источникам антоцианов как для прямого употребления в пищу, так и для выделения из них колорантов для пищевой и медицинской промышленности. Однако в различных растениях синтезируются различные виды антоцианов, при этом известно, что антиоксидантная активность антоцианов зависит от их строения [2].

Выявленные изменения содержания антоцианов в экстрактах связаны с особенностями их биохимического состава, поскольку таковые образованы производными цианидина и показывают наибольшую устойчивость при хранении. Черные листья на перезимовавших растениях претерпевают усиленный биосинтез антоцианов.

Определение содержания арбутина показало, что наибольшее его количество содержится в экстракте зеленых листьев бадана и составляет 1.22%. Считается, что арбутин и продукт его гидролиза гидрохинон обуславливают мочегонное, противовоспалительное и антисептическое действие многих растений, применяемых в урологической практике [15]. Кроме того, установлено, что арбутин тормозит перекисное окисление линолевой кислоты, а с гидрохиноном связывают антигипоксические свойства листьев толокнянки [14]. Экспериментально доказано, что экстракты растений, содержащих арбутин, в опытах на животных оказывают выраженное антиоксидантное действие [2]. Известно, что арбутин является фенолгликозидом и имеет в молекуле один фенольный гидроксил. Гидрохинон же при наличии двух фенольных гидроксильных групп активнее связывает Fe^{2+} , препятствуя тем самым образованию свободных радикалов.

Исходя из вышесказанного, листья бадана толстолистного представляют интерес как источник соединений, обладающих антиоксидантной активностью.

На следующем этапе исследований нами изучена суммарная антиоксидантная активность (АОА) водных экстрактов листьев *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch разных сроков вегетации.

На рисунке 1 представлены результаты исследований по определению суммарной АОА в экстрактах листьев бадана.

Данные, приведенные на рисунке 1, подтвердили наличие выраженной суммарной АОА у всех исследованных экстрактов, полученные значения отличались незначительно и находились в пределах от 38 до 40%. Полученные данные указывают на достаточно высокое содержание антиоксидантов флавоноидной структуры и свидетельствуют о перспективности использования листьев бадана в качестве антиоксидантных средств. Антиоксидантная активность экстрактов из листьев бадана сравнима с таким известным источником антиоксидантов, как листья крапивы (15.57 мг/г).

По данным некоторых авторов существенный вклад в суммарную АОА водных экстрактов листьев бадана вносят флавоноиды и антоцианы [15]. В других работах основным компонентом водорастворимых полифенолов черных листьев бадана является галловая кислота [13], обладающая АОА на разных моделях окисления, сопоставимой с активностью признанного антиоксиданта-аскорбиновой кислоты. АОА водных экстрактов листьев бадана обеспечивают также водорастворимые танины, спектр АОА которых довольно широк [4].

Флавоноиды в силу своего химического строения способны участвовать в окислительно-восстановительных реакциях гомолитического (радикального) типа. В такой реакции молекула флавоноида выступает в роли восстановителя (донора электрона) по отношению к радикальному субстрату [19]. И важнейшей характеристикой антиоксидантов является их способность восстанавливать радикалы. Показатели радикал-связывающей активности экстрактов из листьев бадана приведены на рисунке 2.

Как видно из приведенных данных (рис. 2), все изученные экстракты обладали высокой способностью к поглощению свободных радикалов, однако экстракт зеленых листьев *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch обладал наибольшей антирадикальной активностью, имел минимальный показатель EC_{50} , равный 4 мг/см³. Такой характер поведения является, по всей видимости, следствием наличия в экстрактах зеленых листьев ряда соединений, способных улавливать радикалы. Эта величина сопоставима с соответствующими показателями водных экстрактов растений с установленной АОА [20]. Так, по данным Д.Н. Оленникова с соавторами [21],

которые изучали антирадикальную активность надземной части *S. fragrans*, экстрагируемой разными органическими растворителями, наибольшей радикал-связывающей активностью обладал водный экстракт, который был равен $EC_{50}=0.032$ мг/мл. П.Б. Лубсандоржиевой установлена наибольшая АОА для этилацетатного экстракта зеленых листьев бадана, содержащих дубильные вещества и флавоноиды. По мнению автора, присутствие высоких концентраций арбутина в экстрактах зеленых листьев бадана существенного влияния на суммарную АОА извлечений не оказывало [22].

Одним из факторов, инициирующих окислительный стресс, является наличие свободных ионов железа в цитоплазме. В нормальных условиях большая часть ионов железа в организме находится в связанном состоянии, обеспечивая функционирование большого числа жизненно важных молекул, а содержание свободного железа в цитоплазме строго контролируется. При стрессах и воздействии экстремальных факторов концентрация свободного железа может превышать критические уровни и способствовать прямо или косвенно окислительному стрессу и далее развитию патологий. Потенциально некоторые лекарственные препараты с известными специфическими терапевтическими эффектами, могут одновременно проявлять хелатирующие свойства, однако детальные исследования в этой области немногочисленны [15].

Структура флавоноидов обеспечивает еще одно важное свойство, заключающееся в способности к образованию хелатных соединений с металлами [17]. Связывая ионы металлов, хелатирующие вещества не оказывают прямого антиоксидантного действия, однако предотвращают генерацию перекисных радикалов и, как следствие, перекисное окисление липидов, вызываемое ионами переходных металлов.

Изучение хелатирующей способности имеет значение, как для фундаментальной науки, так и для биотехнологии и медицины, поскольку расширяет наши познания о молекулярных механизмах действия лекарственных препаратов и позволяет с помощью тест-систем *in vitro* выявить новые источники природных соединений, в том числе из дикоросов Бурятии, обладающие высокой хелатирующей активностью.

Железо-хелатирующая способность испытуемых водных экстрактов листьев бадана разных сроков вегетации *in vitro* показала, что экстракты листьев обладали слабой железо-хелатирующей активностью. Хотя, согласно некоторым литературным данным, флавоноиды и дубильные вещества являются эффективными хелаторами ионов тяжелых металлов [23]. Хелатирующие свойства экстрактов могут быть обусловлены не только метаболитами фенольной природы, но и другими соединениями, такими как полисахариды, обладающими способностью к образованию сетчатых структур для эффективного хелатирования ионов тяжелых металлов. Данное свойство полисахаридов является известным фактом, так, например, пектиновые вещества оказывают выраженное детоксицирующее действие при отравлении солями тяжелых металлов, вследствие образования сложных полидентатных структур [13]. Необходимы дополнительные исследования по оценке хелатирующих свойств водных экстрактов листьев бадана.

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют о наличии в водных экстрактах листьев *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch антиоксидантной активности, обусловленной присутствием природных флавоноидов, что определяет перспективность данного растения в качестве возобновляемого источника антиоксидантов.

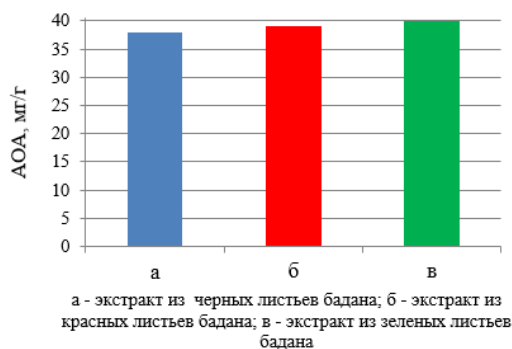


Рис. 1. Суммарная АОА водных экстрактов из листьев бадана разных сроков вегетации

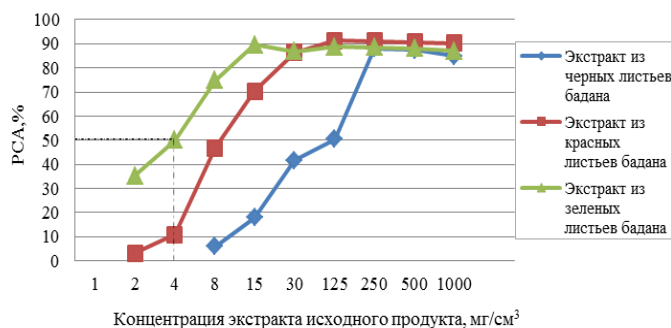


Рис. 2. Показатели радикал-связывающей активности экстрактов из листьев бадана

Выводы

Проведенные исследования показали, что водные экстракты листьев бадана толстолистного, собранные в различные фазы развития, проявляли выраженные антиоксидантные свойства, и значительных отличий не выявлено. Исследования антирадикальной активности по отношению к «гашению» свободных радикалов активных форм кислорода показали, что максимальной антирадикальной активностью обладал экстракт зеленых листьев бадана. Данный факт обусловлен особенностями состава и количественного содержания полифенольного комплекса в зеленых листьях бадана, который участвует в процессах нейтрализации влияния свободных радикалов и оказывает влияние на различные этапы окислительных процессов с участием активных форм кислорода.

Экстракты листьев бадана характеризовались слабой железо-хелатирующей активностью. Большую железо-хелатирующую активность проявили экстракты зеленых листьев бадана. Необходимы дополнительные эксперименты по исследованию хелатирующей способности водных экстрактов листьев бадана толстолистного.

Пути и механизмы антиоксидантного действия водных экстрактов листьев бадана толстолистного зависят от их химического состава на разные сроки вегетации. Выделить вклад каждого из компонентов, входящих в состав экстрактов, представляет чрезвычайно сложную задачу.

Список литературы

1. Halliwell B. The antioxidant paradox // *The Lancet*. 2000. Vol. 355. N9210. Pp. 1179–1180. DOI: 10.1016/s0140-6736(00)02075-4.
2. Lee M.T., Lin W.C., Yu B., Lee T.T. Antioxidant capacity of phytochemicals and their potential effects on oxidative status in animals – a review // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS)*. 2017. Vol. 30. N3. Pp. 299–308. DOI: 10.5713/ajas.16.0438.
3. Цырендоржиева С.В., Ширеторова Е.Ч. Поиск путей использования бадана толстолистного // Сборник научных трудов. Секция: Пищевые технологии. Товароведение продовольственных товаров. Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2015. Вып. 2. С. 54–56.
4. Федосеева Л.М. Изучение дубильных веществ подземных и надземных вегетативных органов бадана толстолистного (*Bergenia crassifolia* (L.) Fitch), произрастающего на Алтае // *Химия растительного сырья*. 2005. №3. С. 45–50.
5. Седунова Е.Г., Лебедева С.Н., Жамсаранова С.Д. Возможность использования черных листьев бадана толстолистного в качестве природного иммуномодулятора // *Новые научные технологии в Дальневосточном регионе*. Благовещенск, 1999. С. 51–52.
6. Цырендоржиева С.В., Чиркина Т.Ф., Пластинина З.А. Биологически активные вещества перезимовавших листьев бадана // Сборник научных трудов. Серия. Химия биологически активных веществ. Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 1999. Вып. 5. С. 159–165.
7. Потороко И.Ю., Калинина И.В. Перспективы использования ультразвукового воздействия в технологии экстракционных процессов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2014. Т. 2. №1. С. 42–47.
8. Зибарева Л.Н., Филоненко Е.С. Влияние ультразвукового воздействия на экстракцию биологически активных соединений растений семейства *Caryophyllaceae* // *Химия растительного сырья*. 2018. №2. С. 145–151. DOI: 10.14258/jcrpm2018023703.
9. Государственная фармакопея СССР. XI изд. М., 1987. Вып. 2. 340 с.
10. Тринеева О.В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации (обзор) // *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2017. №4(21). С. 180–197.
11. Волков В.А., Пахомов П.М. Кинетика взаимодействия радикала ДФПГ с экстрактивными веществами растений в различных средах // *Ползуновский вестник*. 2008. №3. С. 309–313.
12. Патент №2170930 (РФ). Способ определения антиокислительной активности / Т.В. Максимова. 2001.
13. Chabert P., Auger C., Pincemail J., Schini-Kerth V.B. Overview of Plant-Derived Antioxidants // *Systems biology of free radicals and antioxidants*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014. Pp. 4005–4022.
14. Лапин А.А., Борисенков М.Ф., Карманов А.П., Бердник И.В., Кочева Л.С., Мусин Р.З., Магдеев И.М. Антиоксидантные свойства продуктов растительного происхождения // *Химия растительного сырья*. 2007. №2. С. 79–83.
15. Плавинский С.Л., Плавинская С.И. Роль антиоксидантов в лечении и профилактике заболеваний человека // *Рос. семейный врач*. 2004. Т. 8. С. 65–75.
16. Рябинина Е.И., Зотова Е.Е., Пономарева Н.И. Танины чая и травяных экстрактов: природа, содержание, активность // *Вестник ВГУ, серия: Химия. Биология. Фармация*. 2014. №4. С. 47–51.
17. Федосеева Л.М., Мызникова О.А., Кудрикова Л.Е. Изучение фенольных соединений надземной части хатмы тюрингенской, произрастающей на территории алтайского края // *Химия растительного сырья*. 2017. №2. С. 107–112. DOI: 10.14258/jcrpm.2017021519.

18. Ботиров Э.Х., Каримов А., Юлдашев М.П. Флавоноиды *Scutellaria adenostegia* BRIQ // Химия растительного сырья. 2014. №1. С. 63–68. DOI: 10.14258/jcprm.201501463.
19. Сизова Н.В. Определение токоферолов как липидных антиоксидантов в растительных маслах и животных жирах // Химия растительного сырья. 2013. №1. С. 157–163. DOI: 10.14258/jcprm.1301157.
20. Володин В.В., Безматерных К.В., Смирнова Г.В., Октябрьский О.Н., Алексеева Л.И., Канев В.А. Антиоксидантные свойства экстрактов растений семейства Lamiaceae, произрастающих в Республике Коми // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2014. Вып. 1(17). С. 27–31.
21. Оленников Д.Н., Зилфикаров И.Н., Торопова А.А., Ибрагимов Т.А. Химический состав каллизии душистой (*Callisia fragrans* Wood.) и его антиоксидантная активность (*in vitro*) // Химия растительного сырья. 2008. №4. С. 95–100.
22. Лубсандоржиева П.Б. Антиоксидантная активность экстрактов из *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch и *vaccinium vitis-idaea* L. *in vitro* // Химия растительного сырья. 2006. №4. С. 45–48.
23. Шишкина Л.Н. Ингибирующая эффективность фенольных соединений *in vitro* и *in vivo* // Сборник материалов IX международного симпозиума. Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты. М.: ИФР РАН; РУДН, 2012. С. 195–200.

Поступила в редакцию 6 сентября 2018 г.

После переработки 22 января 2020 г.

Принята к публикации 23 января 2020 г.

Для цитирования: Цырендоржиева С.В., Жамсаранова С.Д. Сравнительная оценка антиоксидантной активности экстрактов листьев *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch разных сроков вегетации // Химия растительного сырья. 2020. №2. С. 231–239. DOI: 10.14258/jcprm.2020024349.

Tsyrendorzhiyeva S.V.^{1*}, *Zhamsaranova S.D.*^{1,2} COMPARATIVE EVALUATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY OF EXTRACTS OF *BERGENIA CRASSIFOLIA* (L.) FITSCH LEAVES OF DIFFERENT TERMS OF VEGETATION

¹ Eastern Siberian Technological University of Technology and Management, ul. Klyuchevskaya, 40V-1, Ulan-Ude, 670013 (Russia), e-mail: ts-svetlana1971@mail.ru

² Buryat State University, ul. Smolina, 24a, Ulan-Ude, 670013 (Russia)

New data on the chemical composition and antioxidant properties of aqueous leaf extracts of *Bergenia crassifolia* (L.) Fitch of different periods of vegetation growing in the Republic of Buryatia were obtained. It is shown that this is one of the few plants whose leaves contain a significant amount of phenolic compounds. The maximum content of tannins was noted in the extract of red leaves of the incense – 2.42%. Depending on the phase of the collection of raw materials, the content of flavonoids in the water extracts of the leaves of the frangipani varied from 3.88 to 5.42%. A higher accumulation of flavonoids was observed in the extract of black leaves of badan, which is apparently associated with leaf fermentation, in which the cellular structure is destroyed, enzymes and polyphenols are released. The leader in determining the total content of anthocyanins, as well as for flavonoids, was the extract of black leaves of frankincense. The largest amount of arbutin was contained in the extract of green leaves of frankincense – 1.22%. The studied extracts had a high ability to absorb free radicals, however, the extract of green leaves of badan had the highest antiradical activity, had a minimum EC_{50} of 4 mg/cm³. The iron-chelating ability of the tested aqueous extracts of frankincense leaves of different periods of *in vitro* vegetation showed that the leaf extracts had weak iron-chelating activity.

Keywords: frankincense leaves, water extract, phenolic substances, antioxidant activity, free radicals, iron-chelating ability.

* Corresponding author.

References

1. Halliwell B. *The Lancet*, 2000, vol. 355, no. 9210, pp. 1179–1180. DOI: 10.1016/s0140-6736(00)02075-4.
2. Lee M.T., Lin W.C., Yu B., Lee T.T. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS)*, 2017, vol. 30, no. 3, pp. 299–308. DOI: 10.5713/ajas.16.0438.
3. Tsyrendorzhiyeva S.V., Shiretorova Ye.CH. *Sbornik nauchnykh trudov. Sektsiya: Pishchevyye tekhnologii. Tovarovedeniye prodovol'stvennykh tovarov*. [Collection of scientific papers. Section: Food Technology. Commodity research of food products]. Ulan-Ude, 2015, no. 2, pp. 54–56. (in Russ.).
4. Fedoseyeva L.M. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2005, no. 3, pp. 45–50. (in Russ.).
5. Sedunova Ye.G., Lebedeva S.N., Zhamsaranova S.D. *Novyye nauchnyye tekhnologii v Dal'nevostochnom regione*. [New scientific technologies in the Far Eastern region]. Blagoveshchensk, 1999, pp. 51–52. (in Russ.).
6. Tsyrendorzhiyeva S.V., Chirkina T.F., Plastinina Z.A. *Sbornik nauchnykh trudov. Seriya. Khimiya biologicheskii aktivnykh veshchestv*. [Collection of scientific papers. Series. Chemistry of biologically active substances]. Ulan-Ude, 1999, no. 5, pp. 159–165. (in Russ.).
7. Potoroko I.Yu., Kalinina I.V. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Pishchevyye i biotekhnologii»*. 2014, vol. 2, no. 1, pp. 42–47. (in Russ.).
8. Zibareva L.N., Filonenko E.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 2, pp. 145–151. DOI: 10.14258/jcprm2018023703. (in Russ.).
9. *Gosudarstvennaya Farmakopeya SSSR. XI izdaniye*. [The State Pharmacopoeia of the USSR. XI edition]. Moscow, 1987, no. 2, 340 p. (in Russ.).
10. Trineyeva O.V. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*, 2017, no. 4(21), pp. 180–197. (in Russ.).
11. Volkov V.A., Pakhomov P.M. *Polzunovskiy vestnik*, 2008, no. 3, pp. 309–313. (in Russ.).
12. Patent 2170930 (RU). 2001. (in Russ.).
13. Chabert P., Auger C., Pincemail J., Schini-Kerth V.B. *Systems biology of free radicals and antioxidants*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 4005–4022. (in Russ.).
14. Lapin A.A., Borisenkov M.F., Karmanov A.P., Berdnik I.V., Kocheva L.S., Musin R.Z., Magdeyev I.M. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2007, no. 2, pp. 79–83. (in Russ.).
15. Plavinskiy C.L., Plavinskaya S.I. *Rossiyskiy semeynyy vrach*, 2004, vol. 8, pp. 65–75. (in Russ.).
16. Ryabinina E.I., Zotova E.E., Ponomareva N.I. *Vestnik VGU, seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2014, no. 4, pp. 47–51. (in Russ.).
17. Fedoseyeva L.M., Myznikova O.A., Kudrikova L.Ye. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2017, no. 2, pp. 107–112. DOI: 10.14258/jcprm.2017021519. (in Russ.).
18. Botirov E.KH., Karimov A., Yuldashev M.P. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2014, no. 1, pp. 63–68. DOI: 10.14258/jcprm.201501463. (in Russ.).
19. Sizova N.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2013, no. 1, pp. 157–163. DOI: 10.14258/jcprm.1301157. (in Russ.).
20. Volodin V.V., Bezmaternykh K.V., Smirnova G.V., Oktyabr'skiy O.N., Alekseyeva L.I., Kanev V.A. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN*, 2014, no. 1(17), pp. 27–31. (in Russ.).
21. Olennikov D.N., Zilfikarov I.N., Toropova A.A., Ibragimov T.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2008, no. 4, pp. 95–100. (in Russ.).
22. Lubsandorzhiyeva P.B. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2006, no. 4, pp. 45–48. (in Russ.).
23. Shishkina L.N. *Sbornik materialov IX mezhdunarodnogo simpoziuma. Fenol'nyye soyedineniya: fundamental'nyye i prikladnyye aspekty*. [Collection of materials of the IX international symposium. Phenolic compounds: fundamental and applied aspects]. Moscow, 2012, pp. 195–200. (in Russ.).

Received September 6, 2018

Revised January 22, 2020

Accepted January 23, 2020

For citing: Tsyrendorzhiyeva S.V., Zhamsaranova S.D. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 2, pp. 231–239. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020024349.

