

УДК 615.322:615.27:577.13

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЖЕЛЕЗОХЕЛАТИРУЮЩЕЙ, АНТИРАДИКАЛЬНОЙ И ОБЩЕЙ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТЕЙ ЭКСТРАКТОВ ИЗ СЫРЬЯ ФИТОПРЕПАРАТОВ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

© *А.О. Логвина*

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, Минск,  
220030 (Республика Беларусь), e-mail: anna.logvina@mail.ru*

Данная работа посвящена сравнительному изучению железохелатирующего потенциала и других характеристик антиоксидантной активности экстрактов сырья ряда фитопрепаратов известных лекарственных растений, а также проведению анализа взаимосвязи между антиоксидантными свойствами фитопрепаратов и содержанием фенольных соединений, как одной из важнейших групп природных антиоксидантов. Общее содержание фенольных соединений определяли методом Фолина-Чокальтеу, хелатирующую активность – с использованием феррозинового метода, антирадикальную активность – методом DPPH, общую антиоксидантную (восстановительную) активность – фосфомолибденовым методом. Анализ совокупности полученных данных позволяет расположить изученные средства в следующем ряду в зависимости от количества фенольных соединений и значений хелатирующей, антирадикальной и общей антиоксидантной активностей экстрактов: Душицы трава > Толокнянки листья, Зверобоя трава > Бессмертника песчаного цветки > Тысячелистника трава > Хвоща полевого трава > Подорожника большого листья > Ромашки цветки > Ноготков цветки > Крапивы листья. Выявлена сильная положительная корреляция между содержанием фенольных соединений и всеми показателями антиоксидантных свойств протестированных фитопрепаратов. Среди исследуемых средств выделяются Душицы трава, Толокнянки листья, Зверобоя трава, как демонстрирующие наиболее высокую хелатирующую активность и высокий суммарный антиоксидантный потенциал. Представленные результаты являются основой для дальнейшего более детального изучения хелатирующих и иных антиоксидантных свойств растительного лекарственного сырья.

*Ключевые слова:* антиоксидантная активность, хелатирование, свободные радикалы, DPPH, антиоксиданты, фенольные соединения, фитопрепараты.

### **Введение**

Последние десятилетия пристальное внимание уделяется изучению механизмов развития оксидативного стресса и опосредованных им патологических процессов, а также поиску лекарственных форм, способных предотвратить или замедлить проявление последствий смещения редокс-потенциала в сторону избыточного образования активных форм кислорода (АФК) в клетках. Образование АФК является нормальным метаболическим процессом, свойственным всем организмам с аэробным дыханием. Но различные факторы, как, например, прием лекарственных препаратов, стрессоров и т.д., могут провоцировать нарушения в работе механизмов нейтрализации АФК и, как следствие, вызывать их избыточное накопление в клетках, приводящее к развитию окислительного стресса.

Известно, что повышение концентрации АФК в клетках может привести к повреждению важных клеточных структур и молекул, результатом чего становится развитие болезней, включая рак и другие серьезные заболевания [1–3]. Одним из способов снизить негативный эффект АФК на клеточные структуры является применение антиоксидантов. Человек, как правило, получает достаточное количество антиоксидантов с пищей. Однако в случае болезни или воздействия стресса (в этом случае подразумевается профилактика заболевания) может возникнуть необходимость в приеме дополнительных доз антиоксидантов в форме лекарственных средств.

---

*Логвина Анна Олеговна* – доцент кафедры клеточной биологии и биоинженерии растений,  
e-mail: anna.logvina@mail.ru

И хотя индустрия создания и производства синтетических лекарственных препаратов неуклонно развивается, в последние годы во всем

мире растет интерес к лекарственным средствам, созданным на основе натурального сырья. И здесь крайне важное значение принадлежит растениям. Экстракты лекарственных растений имеют преимущества перед применением синтетических фармацевтических средств, заключающиеся в разноплановости их лечебных эффектов, более мягком действии и лучшей переносимости пациентами, меньшей вероятности развития побочных эффектов и аллергических реакций вследствие натуральности и природной сбалансированности биохимического состава. Кроме этого, растительные экстракты являются предпочтительными и иногда единственными возможными лекарственными формами для применения у детей и у людей с ослабленным иммунитетом и хроническими заболеваниями. Исходя из вышесказанного, препараты растительного происхождения с выраженной антиоксидантной активностью могут сыграть важную роль в профилактике и лечении многих заболеваний, ассоциированных со свободно-радикальными процессами.

Антиоксидантная активность – показатель интегральный, учитывающий несколько характеристик антиоксидантного потенциала экстрактов. Среди них антирадикальная, восстановительная и металл-хелатирующая способности [4]. При этом хелатирующая активность представляет собой не только одно из проявлений антиоксидантных свойств, но и самостоятельный тип фармакологической активности [5]. Однако на данный момент возможности растительных средств в отношении хелатирующих свойств все еще слабо изучены. В этой связи важным видится проведение разнопланового анализа антиоксидантных эффектов растительных препаратов, заключающегося в том числе в изучении металлсвязывающей способности экстрактов.

Цель настоящего исследования – сравнительное изучение железохелатирующего потенциала и других характеристик антиоксидантной активности экстрактов сырья ряда фитопрепаратов известных лекарственных растений, а также проведение анализа взаимосвязи между антиоксидантными свойствами фитопрепаратов и содержанием фенольных соединений, как одной из важнейших групп природных антиоксидантов.

### **Экспериментальная часть**

*Растительное сырье.* Объектами исследования были фитопрепараты лекарственных растений (производства ООО «НПК Биотест», РБ), приобретенные в аптечной сети. Исследуемые фитопрепараты можно разделить на 3 типа: средства на основе листьев, на основе цветков, на основе цельной травы (включают кусочки листьев, стеблей и ветвей, а также фрагменты соцветий и отдельные цветки в случае цветковых растений).

Фитопрепараты из цельной травы: Душицы трава (*Origanum herba*), Зверобоя трава (*Hyperici herba*), Хвоща полевого трава (*Equisetum arvense herba*), Тысячелистника трава (*Millefolii herba*) на основе сырья душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.), зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.), хвоща полевого (*Equisetum arvense* L.), тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) соответственно.

Фитопрепараты из цветков: Бессмертника песчаного цветки (*Helichrysi arenarii flores*), Ноготков цветки (*Calendulae flores*), Цветки ромашки (*Chamomillae flores*) на основе сырья бессмертника песчаного (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench), календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.), ромашки аптечной (*Matricaria chamomilla* L.) соответственно.

Фитопрепараты из листьев: Крапивы листья (*Urticae folia*), Подорожника большого листья (*Plantaginis majoris folia*), Толокнянки листья (*Uvae Ursi folia*) на основе сырья крапивы дурдомной (*Urtica dioica* L.), подорожника большого (*Plantago major* L.), толокнянки обыкновенной (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng) соответственно.

*Приготовление водно-спиртовых экстрактов.* Экстракты готовили после дополнительного измельчения сырья до размера частиц, проходящих сквозь сито с отверстиями диаметром 1 мм, проводимого непосредственно перед экстрагированием. Экстракцию осуществляли 70%-ным этанолом при соотношении сырья и экстрагента 1 : 50, путем настаивания смеси в течение 24 ч на ротормном шейкере при непрерывном встряхивании при комнатной температуре с последующим нагреванием на водяной бане в течение 2 ч при 70 °С. После остывания экстракты фильтровали через бумажный фильтр. Фильтрат центрифугировали в течение 15 мин при 3500 об./мин. Надосадочную жидкость использовали в экспериментах по определению биохимических показателей.

*Определение общего содержания фенольных соединений (ОСФС).* В ходе количественного анализа фенолов в растительных объектах использовали метод Фолина-Чокальтеу [6] с небольшими модификациями [7]. К 0.2 мл 70%-го водно-спиртового экстракта добавляли 1.6 мл дистиллированной воды с последующим внесением 0.1 мл реактива Фолина-Чокальтеу. Через 5 мин в раствор вносили 0.3 мл 20%-го раствора

карбоната натрия и хорошо перемешивали. Полученную смесь выдерживали в темноте при комнатной температуре. По прошествии 2 ч в пробирки добавляли по 2 мл дистиллированной воды и определяли оптическую плотность опытных растворов на спектрофотометре «Сару 50 Bio» (Varian, Австралия) в кювете с толщиной слоя 1 см при длине волны 750 нм. Контролем служил раствор, приготовленный описанным выше способом, но включающий вместо экстракта 0.2 мл 70%-го этанола. ОСФС выражали в эквиваленте галловой кислоты (ГК) – мг экв. ГК/г сухой массы. Для построения калибровочной кривой готовили растворы стандарта различной концентрации (0.01–0.1 мг/мл) с использованием 70%-го этанола.

*Антиоксидантная активность.* Антиоксидантную активность экстрактов фитопрепаратов тестировали с использованием трех методов. Для каждого метода строили калибровочную кривую с использованием аскорбиновой кислоты (АК) в качестве стандарта. Выбор АК объясняется описанной в литературе мультипрофильностью ее антиоксидантных свойств, одновременно характеризующейся радикалингибирующей, восстановительной и хелатирующей способностями, что обусловлено структурными особенностями молекул [8, 9]. С целью построения калибровочных кривых готовили растворы стандарта различной концентрации (0.001–0.01 мг/мл) с использованием 70%-го этанола.

*Определение антирадикальной активности (АРА).* Для определения АРА экстрактов использовали метод DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил) [10]. К 1 мл 0.3 мМ свежеприготовленного спиртового раствора DPPH добавляли 2.5 мл 70%-го водно-спиртового экстракта. Для приготовления нулевого раствора 1 мл 96%-го этанола смешивали с 2.5 мл 70%-го этанола. Негативный контроль включал 1 мл 0.3 мМ раствора DPPH и 2.5 мл 70%-го этанола. Оптическую плотность раствора измеряли на спектрофотометре «Сару 50 Bio» (Varian, Австралия) при 520 нм через 30 мин после начала реакции. С момента внесения раствора DPPH до измерения оптической плотности все пробы держали в темноте. В ходе расчетов сначала определяли процент ингибирования радикалов DPPH для каждой пробы. Далее на основании полученных значений с использованием калибровочной кривой рассчитывали АРА экстрактов в эквиваленте активности АК и выражали ее в мг экв. АК/г сухой массы растительного сырья.

*Определение железохелатирующей активности (ЖХА).* ЖХА исследуемых образцов оценивали по методу [11], в который были внесены небольшие модификации [7]. В ходе проведения эксперимента к 1 мл 70%-го водно-спиртового экстракта добавляли 3.7 мл 96%-го этанола и 0.1 мл 2 мМ раствора FeCl<sub>2</sub>. Реакцию инициировали добавлением 0.2 мл 5 мМ водного раствора феррозина. Смесь хорошо встряхивали и оставляли при комнатной температуре на 10 мин. После чего измеряли поглощение образца на спектрофотометре «Сару 50 Bio» (Varian, Австралия) при длине волны 562 нм. Негативный контроль готовили аналогичным образом, но вместо экстракта добавляли 1 мл 70 %-го этанола. Для приготовления нулевого раствора к 1 мл 70%-го этанола добавляли 3.7 мл 96%-го этанола, 0.1 мл 2 мМ раствора FeCl<sub>2</sub> и 0.2 мл дистиллированной воды. Как и в случае определения АРА, сначала находили процент ингибирования формирования комплекса феррозин-Fe<sup>2+</sup> для каждого опытного варианта. ЖХА экстрактов в эквиваленте соответствующей активности аскорбиновой кислоты определяли с использованием калибровочной кривой и выражали ее в мг экв. АК/г сухой массы растительного сырья.

*Определение общей антиоксидантной активности (ОАА).* ОАА экстрактов оценивали фосфомолибденовым методом [12]. В ходе проведения эксперимента 0.4 мл 70%-го водно-спиртового экстракта добавляли к 4 мл реагента (0.6 М серной кислоты, 28 мМ фосфата натрия, 4 мМ молибдата аммония). Для приготовления нулевого раствора в реакционную смесь вместо экстракта вносили 0.4 мл 70%-го этанола. Пробирки с раствором закрывали и выдерживали на водяной бане при температуре 80 °С в течение 90 мин. После охлаждения до комнатной температуры измеряли оптическую плотность растворов на спектрофотометре «Сару 50 Bio» (Varian, Австралия) при 695 нм. ОАА исследуемых объектов в мг экв. АК/г сухой массы рассчитывали с помощью калибровочной кривой.

*Статистическая обработка данных.* Эксперименты проводили в 3–5-кратной повторности. Для обработки полученных результатов были использованы стандартные методы вариационной статистики. В таблицах приведены средние величины ± ошибка средней величины. Различия между средними показателями оценивались как достоверные при уровне значимости ( $p$ ) ≤ 0.05. Оценку линейной связи между двумя количественными переменными проводили с помощью коэффициента Пирсона ( $r_{xy}$ ). Гипотезу о наличии достоверной положительной корреляции между анализируемым числом пар значений переменных ( $n$ ) считали подтвержденной при  $p < 0.05$ . Данные величины рассчитывали с помощью пакетов программ Microsoft Excel и Statistica 10.0.

### Результаты и обсуждение

Анализ литературных сведений о растениях душицы обыкновенной, зверобоя продырявленного, хвоща полевого, тысячелистника обыкновенного, бессмертника песчаного, календулы лекарственной, ромашки аптечной, крапивы дудомной, подорожника большого, толокнянки обыкновенной, являющихся сырьем в изучаемых фитопрепаратах, показал, что одними из основных биологически активных веществ, определяющих многие их терапевтические свойства, являются фенольные соединения. Основу их фенольных комплексов составляют один или несколько классов фенольных соединений: фенольные кислоты, фенолпропаноиды, флавоноиды, танины [13–22]. Фенольные соединения – одна из важнейших групп природных антиоксидантов [23–25]. По своей активности они опережают такие мощные антиокислители, как витамин С, Е и бета-каротин [25, 26]. Появляется все больше доказательств их протекторной активности в отношении множества неинфекционных заболеваний человека [27].

Количественная оценка фенольных соединений в тестируемых фитопрепаратах показала, что наиболее высокое ОСФС было обнаружено в экстрактах средств Толокнянки листья, Душицы трава и Зверобоя трава, составив  $36.30 \pm 0.28$ ,  $34.14 \pm 0.46$  и  $32.34 \pm 0.47$  мг экв. ГК/г сух. м. соответственно (рис. 1). Наиболее низкое ОСФС было найдено в экстрактах из препаратов Крапивы листья и Ноготков цветки –  $6.54 \pm 0.23$  и  $7.47 \pm 0.46$  мг экв. ГК/г сух. м. соответственно.

Суммарный антиоксидантный потенциал складывается из нескольких составляющих: протон- и электрон-донорных свойств, металлсвязывающей способности компонентов опытных растворов. Поэтому в исследованиях последних лет, как правило, применяются сразу несколько методических подходов, позволяющих дать более полную оценку антиоксидантной активности.

При определении ЖХА экстрактов применяли метод, основанный на количественной оценке формирования комплекса феррозин- $\text{Fe}^{2+}$  [11]. Полученные результаты представлены на рисунке 2. Максимальная ЖХА обнаруживается для вытяжки из фитопрепарата Душицы трава –  $25.44 \pm 2.63$  мг экв. АК/г сух. м. Выраженными хелатирующими свойствами также обладали экстракты Зверобоя трава, Хвоща полевого трава, Бессмертника песчаного цветки, Толокнянки листья ( $18\text{--}21$  мг экв. АК/г сух. м.). Хелатирующий потенциал сырья фитосредства Крапивы листья оказался самым низким, равным  $7.92 \pm 0.15$  мг экв. АК/г сух. м.

Для установления антирадикальных свойств экстрактов применяли метод DPPH. DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил) – стабильные свободные радикалы, спиртовой раствор которых окрашен в ярко-фиолетовый цвет. При взаимодействии с антиоксидантами образуется восстановленный 2,2-дифенил-1-пикрилгидразин, что влечет за собой обесцвечивание раствора [10]. Установлено, что экстракты из сырья Зверобоя трава, Душицы трава, Бессмертника песчаного цветки демонстрировали более высокую АРА по сравнению с другими тестируемыми фитосредствами (около 12 мг экв. АК/г сух. м.) (рис. 3). Антирадикальный потенциал фитопрепаратов Подорожника большого листья, Ромашки цветки, Ноготков цветки был в 2 раза ниже относительно фитопрепаратов с более высокой радикал-ингибирующей активностью. Минимальная антирадикальная активность, равная  $3.42 \pm 0.03$  мг экв. АК/г сух. м., обнаружена у экстракта на основе средства Крапивы листья.

Еще один показатель антиоксидантных свойств, который определяли – ОАА (рис. 4). Для этого использовали фосфолибденовый метод, позволяющий оценить восстановительную способность экстрактов, то есть способность атомов и молекул, входящих в их состав, отдавать электроны, восстанавливая молибден (VI) в молибден (V) [12]. По проявлению ОАА лидировали экстракты фитопрепарата Душицы трава: их восстановительные свойства составили  $90.73 \pm 9.03$  мг экв. АК/г сух. м. Также довольно высокие значения ОАА показали вытяжки из средств Зверобоя трава и Толокнянки листья. Остальные протестированные фитопрепараты значительно уступали по восстановительной способности. Наиболее низкую активность демонстрировали экстракты из средств Ноготков цветки и Крапивы листья, в среднем составившую около 20 мг экв. АК/г сух. м.

Корреляционный анализ показал сильную достоверную положительную корреляцию ( $p < 0.01$ ) между ОСФС и ЖХА, АРА и ОАА экстрактов фитопрепаратов (табл. 1). Положительная корреляция между содержанием фенольных соединений и антиоксидантной активностью экстрактов была показана для многих растений [7, 28–30]. Несмотря на структурные различия фенолов разных классов (фенольных кислот, фенолкарбоновых кислот, флавоноидов, танинов), их радикалингибирующая и восстановительная активности определяются количеством, доступностью и взаимным расположением гидроксильных групп [29–32]. Способность фенолов к хелатированию также обусловлена особенностями их химической структуры: главным образом, наличием нейтральных электрондонорных групп (СО,  $\text{CH}_3$ ) и групп, содержащих подвижный протон (СООН, ОН) [5, 33, 34].

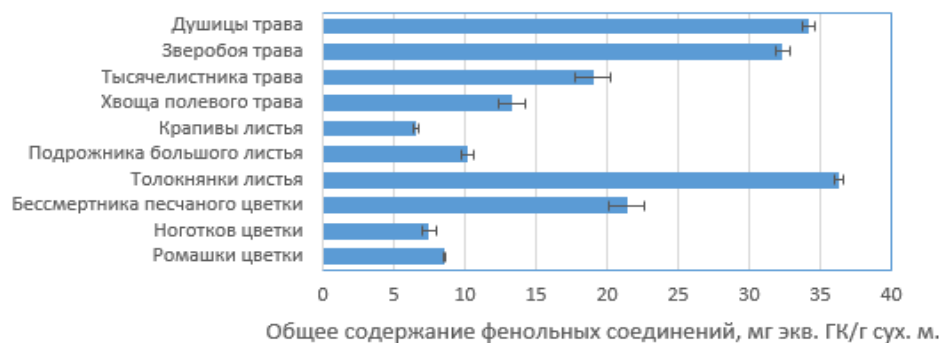


Рис. 1. ОСФС в сырье фитопрепаратов лекарственных растений

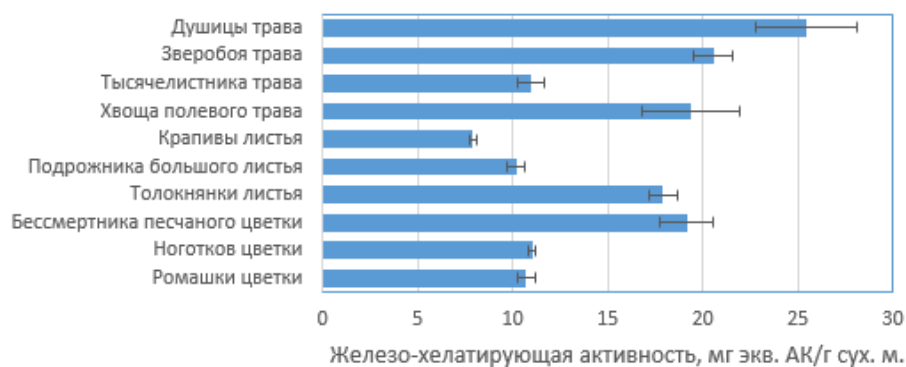


Рис. 2. ЖХА водно-спиртовых экстрактов фитопрепаратов лекарственных растений

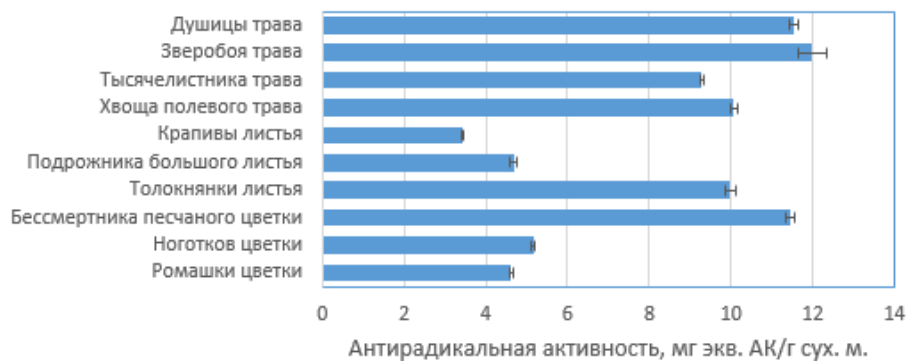


Рис. 3. АРА водно-спиртовых экстрактов фитопрепаратов лекарственных растений

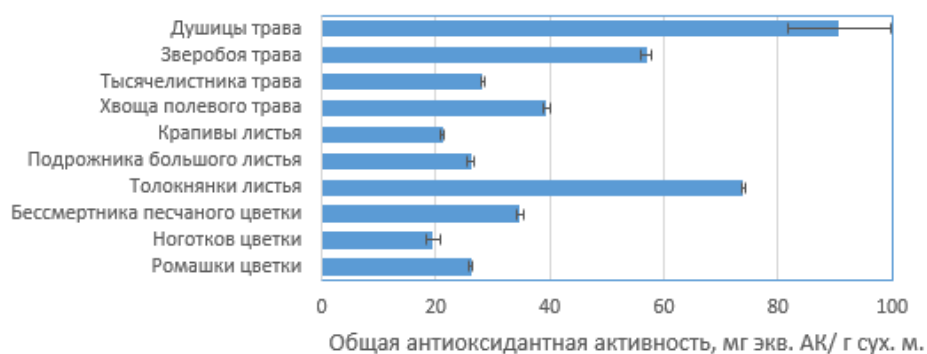


Рис. 4. ОАА водно-спиртовых экстрактов фитопрепаратов лекарственных растений

Оценка выраженности совокупности исследуемых показателей фитопрепаратов позволила представить их в следующем ряду: Душицы трава > Толокнянки листья, Зверобоя трава > Бессмертника песчаного цветки > Тысячелистника трава > Хвоща полевого трава > Подорожника большого листья > Ромашки цветки > Ноготков цветки > Крапивы листья (табл. 2). Четкой зависимости в выраженности определяемых показателей антиоксидантной активности фитопрепаратов от типа сырья, из которого они изготовлены (цельная трава, листья или цветки), не обнаруживается.

Таблица 1. Данные корреляционного анализа при оценке характера взаимосвязи между изменением ОСФС и показателями антиоксидантной активности экстрактов исследуемых фитопрепаратов

Показатель антиоксидантной активности	$r_{xy}$	n	p
ЖХА	0.80	10	<0.01
АРА	0.82	10	<0.01
ОАА	0.91	10	<0.01

Таблица 2. Сравнительная характеристика экстрактов фитопрепаратов по степени выраженности определяемых биохимических показателей

Фитопрепараты		Показатели			
Тип сырья	Наименование	ОСФС	ЖХА	АРА	ОАА
Цельная трава	Душица	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Зверобой	↑↑	↑	↑↑	↑
	Тысячелистник	~	~	↑	↓
	Хвощ полевой	~	↑	↑	~
Листья	Крапива	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓
	Подорожник большой	↓	~	↓	↓
	Толокнянка	↑↑	↑	↑↑	↑
Цветки	Бессмертник песчаный	~	↑	↑↑	~
	Ноготки	↓	~	↓	↓↓
	Ромашка	↓	~	↓	↓

Условные обозначения: ↑↑ – наиболее высокое значение показателя среди экстрактов тестируемых фитопрепаратов; ↑ – значение показателя выше среднего; ~ – среднее значение показателя (около 50% от максимального); ↓ – значение показателя ниже среднего; ↓↓ – минимальное значение показателя среди протестированных фитопрепаратов

### Выводы

1. В работе были определены ОСФС и показатели антиоксидантного потенциала экстрактов фитопрепаратов известных лекарственных растений: Бессмертника песчаного цветки, Душицы трава, Зверобоя трава, Крапивы листья, Ноготков цветки, Подорожника большого листья, Ромашки цветки, Толокнянки листья, Тысячелистника трава, Хвоща полевого трава. ОСФС в протестированных фитопрепаратах варьирует от 7 до 36 мг экв. ГК/г сух. м. ЖХА фитопрепаратов изменяется от 8 до 25 мг экв. АК/г сух. м., АРА – от 8 до 25 мг экв. АК/г сух. м., ОАА – от 20 до 91 мг экв. АК/г сух. м.

2. Среди протестированных средств выделяется Душицы трава, характеризующееся высоким ОСФС (34.14±0.46 мг экв. ГК/г сух. м.), а также максимальными значениями ЖХА (25.44±2.63 мг экв. АК/г сух. м.), АРА (11.53±0.12 мг экв. АК/г сух. м.) и ОАА (90.73±9.03 мг экв. АК/г сух. м.). Препараты Толокнянки листья и Зверобоя трава также отличаются высокими значениями определяемых параметров. Сырье трех данных фитопрепаратов представляют наибольший интерес для последующих исследований.

3. Показана сильная положительная взаимосвязь между уровнем фенольных соединений и хелатирующей, антирадикальной и общей антиоксидантной (восстановительной) активностями водно-спиртовых экстрактов тестируемых фитопрепаратов.

### Список литературы

1. Pizzino G., Irrera N., Cucinotta M., Pallio G., Mannino F., Arcoraci V., Squadrito F., Altavilla D., Bitto A. Oxidative stress: harms and benefits for human health // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2017. Vol. 2017. 8416763. DOI: 10.1155/2017/8416763.
2. Dreher D., Junod A.F. Role of oxygen free radicals in cancer development // *European Journal of Cancer*. 1996. Vol. 32. N1. Pp. 30–38. DOI: 10.1016/0959-8049(95)00531-5.
3. Kumari S., Badana A.K., Murali Mohan G, Shailender G., Malla R.R. Reactive oxygen species: a key constituent in cancer survival // *Biomarker Insights*. 2018. Vol. 13. Pp. 1–9. DOI: 10.1177/1177271918755391.

4. Lü J.-M., Lin P.H., Yao Q., Chen C. Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: experimental approaches and model systems // *J. Cell Mol. Med.* 2010. Vol. 14 (4). Pp. 840–860. DOI: 10.1111/j.1582-4934.2009.00897.x.
5. Michalak A. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress // *Polish J. of Environ. Stud.* 2006. Vol. 15. N4. Pp. 523–530.
6. Slinkard K., Singleton V.L. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods // *American journal of enology and viticulture.* 1977. Vol. 28. Pp. 49–55.
7. Lohvina H., Sándor M., Wink M. Effect of ethanol solvents on total phenolic content and antioxidant properties of seed extracts of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) varieties and determination of phenolic composition by HPLC-ESI-MS // *Diversity.* 2022. Vol. 14 (1). P. 7. DOI: 10.3390/d14010007.
8. Boulebd H. Comparative study of the radical scavenging behavior of ascorbic acid, BHT, BHA and Trolox: experimental and theoretical study // *Journal of Molecular Structure.* 2019. Vol. 1201. 127210. DOI: 10.1016/j.molstruc.2019.127210.
9. Martell A.E. Chelates of ascorbic acid. Formation and catalytic properties // *Advances in Chemistry. Ascorbic Acid: Chemistry, Metabolism, and Uses.* 1982. Vol. 200. Pp. 153–178. DOI: 10.1021/ba-1982-0200.ch007.
10. Kedare S.B., Singh R.P. Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay // *J. Food Sci. Technol.* 2011. Vol. 48. N4. Pp. 412–422. DOI: 10.1007/s13197-011-0251-1.
11. Dinis T.C.P., Madeira V.M.C., Almeida L.M. Action of phenolic derivatives (acetaminophen, salicylate, and 5-aminosalicylate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxy radical scavengers // *Archives of Biochemistry and Biophysics.* 1994. Vol. 315. N1. Pp. 161–169. DOI: 10.1006/abbi.1994.1485.
12. Prieto P., Pineda M., Aguilar M. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E // *Anal. Biochem.* 1999. Vol. 269. Pp. 337–341. DOI: 10.1006/abio.1999.4019.
13. Pljevljakušić D., Bigović D., Janković T., Jelačić S., Šavikin K. Sandy everlasting (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench): botanical, chemical and biological Properties // *Front. Plant Sci.* 2018. Vol. 9. 1123. DOI: 10.3389/fpls.2018.01123
14. Gutiérrez-Grijalva E.P., Picos-Salas M.A., Leyva-López N., Criollo-Mendoza M.S., Vazquez-Olivo G., Heredia J.B. Flavonoids and phenolic acids from oregano: occurrence, biological activity and health benefits // *Plants.* 2017. Vol. 7 (1). P. 2. DOI: 10.3390/plants7010002.
15. Barnes J., Anderson L.A., Phillipson J.D. St John's wort (*Hypericum perforatum* L.): a review of its chemistry, pharmacology and clinical properties // *Journal of Pharmacy and Pharmacology.* 2001. Vol. 53. N5. Pp. 583–600. DOI: 10.1211/0022357011775910.
16. Полупанова Ю.В., Качкин К.В. Фармакологический анализ отдельных сортов календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.) // *Вестник ВГУ. Серия: химия, биология, фармация.* 2019. №1. С. 153–158.
17. Ботиров Э.Х., Боначева В.М., Коломиец Н.Э. Химический состав и биологическая активность метаболитов растений рода *Equisetum* L. // *Химия растительного сырья.* 2021. №1. С. 5–26. DOI: 10.14258/jcprm.2021017760.
18. Imtiyaz Ali S., Gopalakrishnan B., Venkatesalu V. Pharmacognosy, phytochemistry and pharmacological properties of *Achillea millefolium* L.: A Review // *Phytother. Res.* 2017. Vol. 31. N8. Pp. 1140–1161. DOI: 10.1002/ptr.5840.
19. Ștefănescu B.E., Szabo K., Mocan A., Crișan G. Phenolic compounds from five *Ericaceae* species leaves and their related bioavailability and health benefits // *Molecules.* 2019. Vol. 24. 2046. DOI: 10.3390/molecules24112046.
20. Grauso L., De Falco B., Lanzotti V., Motti R. Stinging nettle, *Urtica dioica* L.: botanical, phytochemical and pharmacological overview // *Phytochemistry Reviews.* 2020. Vol. 19. Pp. 1341–1377.
21. Adom M.B., Taher M., Mutalabisin M.F., Amri M.S., Kudos M.B.A., Wan Sulaiman M.W.A., Sengupta P., Susanti D. Chemical constituents and medical benefits of *Plantago major*. Review // *Biomedicine and Pharmacotherapy.* 2017. Vol. 96. Pp. 348–360. DOI: 10.1016/j.biopha.2017.09.152.
22. Singh O., Khanam Z., Misra N., Srivastava M.K. Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): an overview // *Pharmacogn Rev.* 2011. Vol. 5. N9. Pp. 82–95. DOI: 10.4103/0973-7847.79103.
23. Arora A., Nair M.G., Strasburg G.M. Structure-activity relationships for antioxidant activities of a series of flavonoids in a liposomal system // *Free Radic. Biol. Med.* 1998. Vol. 24. Pp. 1355–1363. DOI: 10.1016/s0891-5849(97)00458-9.
24. Cao G., Sofic G.E., Prior R.L. Antioxidant and prooxidant behavior of flavonoids: structure-activity relationships // *Free Rad. Bio. Med.* 1997. Vol. 22. Pp. 749–760. DOI: 10.1016/s0891-5849(96)00351-6.
25. Rice-Evans C.A., Miller N.J., Paganga G. Antioxidant properties of phenolic compounds // *Trends Plant Sci.* 1997. Vol. 2. N4. Pp. 152–159. DOI: 10.1016/S1360-1385(97)01018-2.
26. Vinson J.A., Su X., Zubik L., Bose P. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: vegetables // *J. Agric. Food Chem.* 1998. Vol. 46. Pp. 3630–3634. DOI: 10.1021/jf0009293.
27. Sakaki J., Melough M., GilLee S., Pounis G., Chun O.K. Polyphenol-rich diets in cardiovascular disease prevention // *Analysis in Nutrition Research. Principles of Statistical Methodology and Interpretation of the Results.* 2019. Pp. 259–298. DOI: 10.1016/B978-0-12-814556-2.00010-5.
28. Wu N., Fu K., Fu Y.-J., Zu Y.-G., Chang F.-R., Chen Y.-H., Liu X.-L., Kong Y., Liu W., Gu C.-B. Antioxidant activities of extracts and main components of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) leaves // *Molecules.* 2009. Vol. 14. Pp. 1032–1043. DOI: 10.3390/molecules14031032.
29. Malenčić D., Popović M., Miladinović J. Phenolic content and antioxidant properties of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seeds // *Molecules.* 2007. Vol. 12. Pp. 576–581. DOI: 10.3390/12030576.

30. Rababah T.M., Hettiarachchy N.S., Horax R. Total phenolics and antioxidant activities of fenugreek, green tea, black tea, grape seed, ginger, rosemary, gotu kola, and ginkgo extracts, vitamin e, and tert-butylhydroquinone // *J. Agric. Food Chem.* 2004. Vol. 52. Pp. 5183–5186. DOI: 10.1021/jf049645z.
31. Rice-Evans C.A., Miller N.J., Paganga G. Structure-antioxidant activity relationship of flavonoids and phenolic acids // *Free Rad. Bio. Med.* 1996. Vol. 20. Pp. 933–956. DOI: 10.1016/0891-5849(95)02227-9.
32. Bors W., Heller W., Michel C., Saran M. Flavonoids as antioxidants: determination of radical-scavenging efficiency // *Meth. Enzymol.* 1990. Vol. 186. P. 343. DOI: 10.1016/0076-6879(90)86128-I.
33. Balasundram N., Sundram K., Samman S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses // *Food Chemistry.* 2006. Vol. 99. Pp. 191–203. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.07.042.
34. Psotová J., Lasovský J., Vičar J. Metal-chelating properties, electrochemical behavior, scavenging and cytoprotective activities of six natural phenolics // *Biomed. Papers.* 2003. Vol. 147. N2. Pp. 147–153. DOI: 10.5507/bp.2003.020.

*Поступила в редакцию 28 сентября 2021 г.*

*После переработки 23 февраля 2022 г.*

*Принята к публикации 18 марта 2022 г.*

**Для цитирования:** Логвина А.О. Сравнительная оценка железохелатирующей, антирадикальной и общей антиоксидантной активностей экстрактов из сырья фитопрепаратов распространенных лекарственных растений // *Химия растительного сырья.* 2022. №2. С. 193–201. DOI: 10.14258/jscrpm.20220210429.

*Lohvina H.O. COMPARATIVE EVALUATION OF THE IRON-CHELATING PROPERTIES, ANTIRADICAL AND TOTAL ANTIOXIDANT ACTIVITY OF EXTRACTS FROM THE RAW MATERIAL OF PHYTOPREPARATIONS OF COMMON MEDICINAL HERBS*

*Belarusian State University, pr. Nezavisimosti, 4, Minsk, 220030 (Republic of Belarus), e-mail: anna.logvina@mail.ru*

The paper presents results of the comparative study of the iron-chelating potential and antioxidant activity of the raw material of phytopreparations and analysis of correlations between these activities and the content of phenolic compounds as the most important plant antioxidants. The total content of phenolic compounds was determined by the Folin-Chokalteu method, chelating activity was evaluated using the ferrozine method, antiradical activity was determined by DPPH assay, and total antioxidant (reducing) capacity was assessed by the phosphomolybdenum method. A strong positive correlation was found between the content of phenolic compounds and all the parameters of antioxidant properties of the phytopreparations. The analysis of the dataset (total phenolics, chelating, antiradical and reducing activities) allows arranging the phytopreparations in the order: *Origanum herba* > *Uvae Ursi folia*, *Hyperici herba* > *Helichrysi arenarii flores* > *Millefolii herba* > *Equiseti arvensis herba* > *Plantaginis majoris folia* > *Chamomillae flores* > *Calendulae flores* > *Urticae folia*. Phytopreparations *Origanum herba*, *Uvae Ursi folia*, and *Hyperici herba* are demonstrated the highest chelating activity and antioxidant potential. These results can be used as a basis for further studies of chelating and antioxidant properties of medicinal plant raw material.

*Keywords:* chelating activity, antioxidant activity, antiradical activity, antioxidants, phenolic compounds, DPPH, Folin-Chokalteu method, ferrozine, phytopreparations, medicinal plant raw material, medicinal plants.



## References

1. Pizzino G., Irrera N., Cucinotta M., Pallio G., Mannino F., Arcoraci V., Squadrito F., Altavilla D., Bitto A. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, vol. 2017, 8416763. DOI: 10.1155/2017/8416763.
2. Dreher D., Junod A.F. *European Journal of Cancer*, 1996, vol. 32, no. 1, pp. 30–38. DOI: 10.1016/0959-8049(95)00531-5.
3. Kumari S., Badana A.K., Murali Mohan G., Shailender G., Malla R.R. *Biomarker Insights*, 2018, vol. 13, pp. 1–9. DOI: 10.1177/1177271918755391.
4. Lü J.-M., Lin P.H., Yao Q., Chen C. *J. Cell Mol. Med.*, 2010, vol. 14 (4), pp. 840–860. DOI: 10.1111/j.1582-4934.2009.00897.x.
5. Michalak A. *Polish J. of Environ. Stud.*, 2006, vol. 15, no. 4, pp. 523–530.
6. Slinkard K., Singleton V.L. *American journal of enology and viticulture*, 1977, vol. 28, pp. 49–55.
7. Lohvina H., Sándor M., Wink M. *Diversity*, 2022, vol. 14 (1), p. 7. DOI: 10.3390/d14010007.
8. Boulebd H. *Journal of Molecular Structure*, 2019, vol. 1201, 127210. DOI: 10.1016/j.molstruc.2019.127210.
9. Martell A.E. *Advances in Chemistry. Ascorbic Acid: Chemistry, Metabolism, and Uses*, 1982, vol. 200, pp. 153–178. DOI: 10.1021/ba-1982-0200.ch007.
10. Kedare S.B., Singh R.P. *J. Food Sci. Technol.*, 2011, vol. 48, no. 4, pp. 412–422. DOI: 10.1007/s13197-011-0251-1.
11. Dinis T.C.P., Madeira V.M.C., Almeida L.M. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1994, vol. 315, no. 1, pp. 161–169. DOI: 10.1006/abbi.1994.1485.
12. Prieto P., Pineda M., Aguilar M. *Anal. Biochem.*, 1999, vol. 269, pp. 337–341. DOI: 10.1006/abio.1999.4019.
13. Pljevljakušić D., Bigović D., Janković T., Jelačić S., Šavikin K. *Front. Plant Sci.*, 2018, vol. 9, 1123. DOI: 10.3389/fpls.2018.01123.
14. Gutiérrez-Grijalva E.P., Picos-Salas M.A., Leyva-López N., Criollo-Mendoza M.S., Vazquez-Olivo G., Heredia J.B. *Plants*, 2017, vol. 7 (1), p. 2. DOI: 10.3390/plants7010002.
15. Barnes J., Anderson L.A., Phillipson J.D. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2001, vol. 53, no. 5, pp. 583–600. DOI: 10.1211/0022357011775910.
16. Polupanova Yu.V., Kachkin K.V. *Vestnik VGU. Seriya: khimiya, biologiya, farmatsiya*, 2019, no. 1, pp. 153–158. (in Russ.).
17. Botirov E.Kh., Bonacheva V.M., Kolomiyets N.E. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2021, no. 1, pp. 5–26. DOI: 10.14258/jcprm.2021017760. (in Russ.).
18. Imtiyaz Ali S., Gopalakrishnan B., Venkatesalu V. *Phytother. Res.*, 2017, vol. 31, no. 8, pp. 1140–1161. DOI: 10.1002/ptr.5840.
19. Ștefănescu B.E., Szabo K., Mocan A., Crișan G. *Molecules*, 2019, vol. 24, 2046. DOI: 10.3390/molecules24112046.
20. Grauso L., De Falco B., Lanzotti V., Motti R. *Phytochemistry Reviews*, 2020, vol. 19, pp. 1341–1377.
21. Adom M.B., Taher M., Mutalabisin M.F., Amri M.S., Kudos M.B.A., Wan Sulaiman M.W.A., Sengupta P., Susanti D. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 2017, vol. 96, pp. 348–360. DOI: 10.1016/j.biopha.2017.09.152.
22. Singh O., Khanam Z., Misra N., Srivastava M.K. *Pharmacogn Rev.*, 2011, vol. 5, no. 9, pp. 82–95. DOI: 10.4103/0973-7847.79103.
23. Arora A., Nair M.G., Strasburg G.M. *Free Radic. Biol. Med.*, 1998, vol. 24, pp. 1355–1363. DOI: 10.1016/s0891-5849(97)00458-9.
24. Cao G., Sofic G.E., Prior R.L. *Free Rad. Bio. Med.*, 1997, vol. 22, pp. 749–760. DOI: 10.1016/s0891-5849(96)00351-6.
25. Rice-Evans C.A., Miller N.J., Paganga G. *Trends Plant Sci.*, 1997, vol. 2, no. 4, pp. 152–159. DOI: 10.1016/S1360-1385(97)01018-2.
26. Vinson J.A., Su X., Zubik L., Bose P. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, vol. 46, pp. 3630–3634. DOI: 10.1021/jf0009293.
27. Sakaki J., Melough M., GilLee S., Pounis G., Chun O.K. *Analysis in Nutrition Research. Principles of Statistical Methodology and Interpretation of the Results*, 2019, pp. 259–298. DOI: 10.1016/B978-0-12-814556-2.00010-5.
28. Wu N., Fu K., Fu Y.-J., Zu Y.-G., Chang F.-R., Chen Y.-H., Liu X.-L., Kong Y., Liu W., Gu C.-B. *Molecules*, 2009, vol. 14, pp. 1032–1043. DOI: 10.3390/molecules14031032.
29. Malenčić D., Popović M., Miladinović J. *Molecules*, 2007, vol. 12, pp. 576–581. DOI: 10.3390/12030576.
30. Rababah T.M., Hettiarachchy N.S., Horax R. *J. Agric. Food Chem.*, 2004, vol. 52, pp. 5183–5186. DOI: 10.1021/jf049645z.
31. Rice-Evans C.A., Miller N.J., Paganga G. *Free Rad. Bio. Med.*, 1996, vol. 20, pp. 933–956. DOI: 10.1016/0891-5849(95)02227-9.
32. Bors W., Heller W., Michel C., Saran M. *Meth. Enzymol.*, 1990, vol. 186, p. 343. DOI: 10.1016/0076-6879(90)86128-I.
33. Balasundram N., Sundram K., Samman S. *Food Chemistry*, 2006, vol. 99, pp. 191–203. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.07.042.
34. Psoťová J., Lasovský J., Vičar J. *Biomed. Papers*, 2003, vol. 147, no. 2, pp. 147–153. DOI: 10.5507/bp.2003.020.

Received September 28, 2021

Revised February 23, 2022

Accepted March 18, 2022

**For citing:** Lohvina H.O. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 2, pp. 193–201. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220210429.

