

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ЦВЕТОВ И ЛИСТЬЕВ ТЫСЯЧЕЛИСТНИКА

Е. И. ТАРУН¹⁾, А. Н. КУХТА¹⁾, А. А. НЕБОКАТКИНА¹⁾, В. П. КУРЧЕНКО²⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт
им. А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь
²⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Проведено сравнительное изучение антиоксидантной активности (АОА) 10 образцов экстрактов цветов тысячелистника и 10 образцов экстрактов листьев тысячелистника, собранных в России и Казахстане. Получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстрактов, из которых графически определены показатели IC_{50} и A_{max} . Экстракты цветов тысячелистника восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 76–88 % при концентрации образцов 0,1–1 %. Показатели IC_{50} находились в пределах $0,47–15,1 \cdot 10^{-3}$ %. Экстракты листьев тысячелистника восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 71–85 % при концентрации образцов 0,1–1 %. Показатели IC_{50} находились в пределах $0,53–2,63 \cdot 10^{-2}$ %. Сравнение показателей IC_{50} цветов и листьев тысячелистника свидетельствует о более высокой АОА экстрактов цветов. Минимальный показатель IC_{50} ($0,47 \cdot 10^{-3}$ %) получен для образца цветов тысячелистника азиатского (Кемерово) ($A_{max} = 83$ %), что свидетельствует о его максимальной антиоксидантной активности. Максимальную АОА показали образцы экстрактов листьев тысячелистника мелкоцветного и благородного, для которых получен минимальный показатель IC_{50} ($0,53 \cdot 10^{-2}$ %). Близкие к ним показатели IC_{50} ($0,59 \cdot 10^{-2}$ %) определены для образцов листьев тысячелистника каратавского и щетинистого. Для всех этих четырех образцов получены высокие показатели A_{max} (76–82 %). Минимальную АОА имеют образцы цветов тысячелистника обыкновенного и листьев тысячелистника азиатского (Кемерово). Различие при сравнении активности цветов и листьев может указывать на разный состав веществ, определяющих антиоксидантные свойства. Место произрастания тысячелистника влияет на качественный и количественный состав антиоксидантных веществ, что выявлено при сравнении трех образцов тысячелистника одного вида – азиатского, произрастающего в разных регионах (Казахстан, Хакасия и Кемерово).

Ключевые слова: антиоксидантная активность; экстракты цветов и листьев тысячелистника; флуоресцеин.

Образец цитирования:

Тарун ЕИ, Кухта АН, Небокаткина АА, Курченко ВП. Антиоксидантная активность экстрактов цветов и листьев тысячелистника. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2021;3:57–65.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-3-57-65>

For citation:

Tarun EI, Kuxta AN, Nebokatkina AA, Kurchenko VP. Antioxidant activity of extracts of milfoil flowers and leaves. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2021;3:57–65. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-3-57-65>

Авторы:

Екатерина Ивановна Тарун – кандидат химических наук; доцент кафедры экологической химии и биохимии.
Алеся Николаевна Кухта – студентка факультета медицинской экологии.
Анастасия Александровна Небокаткина – студентка факультета медицинской экологии.
Владимир Петрович Курченко – кандидат биологических наук, доцент; заведующий лабораторией прикладных проблем биологии.

Authors:

Ekaterina I. Tarun, PhD (chemistry); associate professor at the department of environmental chemistry and biochemistry.
ktarun@tut.by
Alesya N. Kuxta, student at the faculty of environmental medicine.
alesya.kuhta@gmail.com
Anastasiya A. Nebokatkina, student at the faculty of environmental medicine.
neboatkinan@gmail.com
Vladimir P. Kurchenko, PhD (biology), docent; head of the laboratory of applied biology.
kurchenko@tut.by

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF EXTRACTS OF MILFOIL FLOWERS AND LEAVES

E. I. TARUN^a, A. N. KUXTA^a, A. A. NEBOKATKINA^a, V. P. KURCHENKO^b

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daihabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

^bBelarusian State University,
4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus
Corresponding author: E. I. Tarun (ktarun@tut.by)

A comparative study of the antioxidant activity (AOA) of 10 samples of milfoil flower extracts and 10 samples of milfoil leaf extracts collected in Russia and Kazakhstan was carried out. Fluorescein fluorescence intensity dependencies are obtained on the logarithm of the concentration of infant formula, from which IC_{50} and A_{max} values are graphically determined. Milfoil flowers extracts restored fluorescence of fluorescein to 76–88 % at a sample concentration of 0,1–1 %. IC_{50} values were in the range of $0,47–15,1 \cdot 10^{-3}$ %. Milfoil leaves extracts restored fluorescence of fluorescein to 71–85 % at a sample concentration of 0,1–1 %. IC_{50} values were in the range of $0,53–2,63 \cdot 10^{-2}$ %. Comparison of IC_{50} values of flowers and leaves of milfoil indicates a higher AOA of flower extracts. The minimum IC_{50} ($0,47 \cdot 10^{-3}$ %) was obtained for a sample of Asian milfoil flowers (Kemerovo) ($A_{max} = 83$ %), which indicates its maximum antioxidant activity. The maximum AOA was shown by samples of extracts of leaves of small-colored milfoil and noble milfoil, for which the minimum IC_{50} ($0,53 \cdot 10^{-2}$ %) value was obtained. IC_{50} indices ($0,59 \cdot 10^{-2}$ %) close to them were obtained for samples of leaves of caratavian and bristly milfoil. For all these four samples, high A_{max} values (76–82 %) were obtained. The minimum AOA was shown by samples of flowers of ordinary milfoil and leaves of Asian milfoil (Kemerovo). The difference when comparing the activity of flowers and leaves may indicate a different composition of substances that determine antioxidant properties. The place where the milfoil grows affects the qualitative and quantitative composition of antioxidant substances, which was shown by a comparison of 3 samples of the same species of milfoil – Asian, growing in different regions (Kazakhstan, Khakassia and Kemerovo).

Keywords: antioxidant activity, extracts of milfoil flowers and leaves, fluorescein.

Введение

Род тысячелистника (*Achillea*) включает более 100 видов, которые в основном распространены в северном полушарии [1]. Они широко используются в традиционной европейской медицине для лечения лихорадок, гипертонии, желудочно-кишечных расстройств, остановки кровотечения и заживления ран [2]. Проведенные ранее исследования показывают, что различные виды тысячелистников обладают антиоксидантной и антипролиферативной активностью [3–8]. Фитохимические исследования показали, что многие виды рода *Achillea* содержат фенолпропаноиды, флавоноиды, флавонолы, флавоны и такие их производные, как хлорогеновая [3–5; 8], протокатеховая [4], галловая [3], кофейная [3; 4; 6; 8], ферулиновая [4; 6] кислоты, рутин [3–6; 8], кверцетин [4; 6; 8], лютеолин и лютеолин глюкозид [3; 5; 6–8], апигенин и апигенин глюкозид [3–6]. Хроматографический анализ тысячелистника Биберштейна и благородного свидетельствует о высоком содержании кверцетин глюкозида [6; 7]. Сравнительный хроматографический анализ цветов и листьев *Achillea grandifolia* показал различное содержание в них фенолпропаноидов и флавоноидов [8]. Так, цветы содержат большее количество рутина, лютеолина и лютеолин глюкозида и не содержат кверцетина, кофейной и хлорогеновой кислот, которые обнаружены в листьях данного вида тысячелистника. Ведутся работы по расширению объектов фитохимического анализа тысячелистников для изучения состава различных вторичных метаболитов – сесквитерпеновых лактонов, флавоноидов, эфирных масел [9]. Широко изучены виды *Achillea*, включая *A. asplenifolia* и *A. collina*, на содержание флавоноидов [10]. Все перечисленные вещества определяют антиоксидантные свойства тысячелистника. Необходимо отметить, что в зависимости от региона произрастания, климатических условий состав вторичных метаболитов будет иметь внутривидовые различия.

Цель исследования – сравнительный анализ антиоксидантной активности 10 образцов экстрактов цветов тысячелистника и 10 образцов экстрактов листьев нескольких видов тысячелистника, собранных в разных регионах России и Казахстана.

Материалы и методы исследования

В качестве веществ, способных проявить антиоксидантную активность взяты образцы экстрактов цветов и листьев тысячелистника. В табл. 1 представлены виды исследованных цветов и листьев тысячелистников и места их сбора.

Виды исследованных цветов и листьев тысячелистников и места их сбора

Table 1

Types of flowers and leaves of milfoil investigated and places of their collection

№	Вид	Место сбора
1	Тысячелистник азиатский (<i>Achillea asiatica</i> Serg.)	Кемеровская обл., Беловский р-н, окр. с. Каракан (54,353912° с. ш., 86,77906° в. д.)
2	Тысячелистник азиатский (<i>Achillea asiatica</i> Serg.)	Хакасия, Орджоникидзевский р-н, окр. оз. Сульфатное
3	Тысячелистник азиатский (<i>Achillea asiatica</i> Serg.)	Казахстан, Восточно-Казахстанская область, хребет Саур (47,43306° с.ш., 85,27296° в.д., А=669 м.)
4	Тысячелистник Биберштейна (<i>Achillea biebersteinii</i> Afan.)	Казахстан, Южно-Казахстанская обл., хребет Каратау (42,86126° с. ш., 69,86825° в. д.)
5	Тысячелистник мелкоцветный (<i>Achillea micrantha</i> Willd.)	Казахстан, Восточно-Казахстанская обл., Кокпектинский р-н (43,83109° с. ш., 83,38052° в.д., А = 427 м)
6	Тысячелистник щетинистый (<i>Achillea setacea</i> Waldst. & Kit.)	Казахстан, Восточно-Казахстанская обл., Тарбагатайский р-н, хребет Манырак (47,49057° с. ш., 81,07756° в. д.)
7	Тысячелистник каратавский (<i>Achillea karatavica</i> Kamelin)	Казахстан, Южно-Казахстанская обл., хребет Каратау (42,86062° с. ш., 069,90652° в. д.)
8	Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea millefolium</i> L.)	Казахстан, Восточно-Казахстанская обл., Зайсанская впадина (48,88318° с. ш., 83,35517° в. д.)
9	Тысячелистник таволговый (<i>Achillea filipendulina</i> L.)	Казахстан, Южно-Казахстанская обл., хребет Каратау (42,86126° с. ш., 69,86825° в. д.)
10	Тысячелистник благородный (<i>Achillea nobilis</i> L.)	Казахстан, Восточно-Казахстанская обл., Зайсанский р-н, хребет Манырак (47,47036° с. ш., 084,74066° в. д.)

Приготовление спиртового экстракта из цветов тысячелистника. Навески цветов тысячелистника измельчали в электрической кофемолке. Из измельченного стандартизированного по размерам частиц сырья (0,1 г) экстрагировали 70 % метиловым спиртом в течение одного часа на водяной бане, затем экстрагировали 48 ч при комнатной температуре. Соотношение сырья (г): экстрагент (мл) составило – 1:10. После экстракции сырье пропускали через бумажный фильтр.

Приготовление водного экстракта из листьев тысячелистника. Навески листьев тысячелистника измельчали в электрической кофемолке. Из измельченного стандартизированного по размерам частиц сырья (0,1 г) экстрагировали водой в течение одного часа на водяной бане, затем экстрагировали 48 ч при комнатной температуре. Соотношение сырья (г): экстрагент (мл) составило – 1:10. После экстракции сырье пропускали через бумажный фильтр.

Приготовление растворов экстракта цветов и листьев тысячелистника. Концентрацию исходного раствора экстракта принимали за 100 %. Делали ряд разведений исходного раствора экстракта, концентрации которых составляли 50–10⁻³ %. Концентрации растворов экстракта в пробе уменьшались в 10 раз и составляли 5–10⁻⁴ %.

Методика определения антиоксидантной активности экстракта цветов и листьев тысячелистника. Метод определения антиоксидантной активности (АОА) по отношению к активированным формам кислорода (АФК) основан на измерении интенсивности флуоресценции окисляемого соединения и ее уменьшении под воздействием АФК. В настоящей работе для детектирования свободных радикалов использован флуоресцеин, обладающий высоким коэффициентом экстинкции и близким к 1 квантовым выходом флуоресценции. Генерирование свободных радикалов осуществляли при использовании системы Фентона, в которой образуются гидроксильные радикалы при взаимодействии комплекса железа (Fe²⁺) с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA) и пероксида водорода [11; 12]. При взаимодействии флуоресцеина со свободными радикалами происходит тушение его флуоресценции, восстановить которую можно при добавлении в систему веществ, проявляющих антиоксидантные свойства.

Общий объем пробы, помещаемый в кювету, составлял 2 мл. В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10⁻⁶ М) и 1,98 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера. Прописывали спектр. Полученные значения пика флуоресценции принимали за 100 %.

В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М), 0,2 мл Fe^{2+} с этилендиаминтетрауксусной кислотой (ЭДТА) (10^{-3} М), 1,58 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера и 0,2 мл пероксида водорода (10^{-2} М). При взаимодействии Fe^{2+} с H_2O_2 (реакция Фентона) образующиеся радикалы подавляли свечение флуоресцеина. Полученные значения пика флуоресценции принимали за минимальное.

В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М), 0,2 мл Fe^{2+} с ЭДТА (10^{-3} М), 0,2 мл раствора экстракта цветов или листьев тысячелистника (10^{-3} – 50%) и 1,38 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера. Реакцию начинали добавлением 0,2 мл пероксида водорода (10^{-2} М).

Конечные концентрации: флуоресцеин – 10^{-8} М, Fe^{2+} – 10^{-4} М, ЭДТА – 10^{-4} М, H_2O_2 – 10^{-3} М, раствор экстракта цветов и листьев тысячелистника – 10^{-4} – 5% .

Измерения флуоресценции проводили на флуориметре RF-5301 PC («Shimadzu», Япония). Регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 514 нм. Длина волны возбуждения – 490 нм.

Статистическая обработка экспериментальных данных. Построение графиков и математическую обработку результатов исследований осуществляли при помощи компьютерной программы «Microsoft Office Excel 2003» (Microsoft Corporation, США). Результаты независимых экспериментов представлены как среднее арифметическое значение \pm доверительный интервал. Достоверность различий между выборками данных определяли методом доверительных интервалов.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования ингибирования реакций свободных радикалов, генерируемых в системе Фентона, получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации всех образцов экстрактов цветов и листьев тысячелистника.

Основные показатели антиоксидантной активности при сравнительном анализе: A_{\max} – интенсивность флуоресценции, соответствующая максимальному ингибированию свободных радикалов, выраженная в %; C_{\max} – концентрация экстракта, при которой достигается A_{\max} ; IC_{50} – концентрация экстракта, при которой достигается 50 % ингибирования свободных радикалов. В табл. 2 представлены показатели антиоксидантной активности экстрактов цветов и листьев тысячелистника.

Экстракты цветов тысячелистника восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до 76–88 %. Экстракты листьев тысячелистника имели несколько более низкий интервал показателя A_{\max} , восстанавливая флуоресценцию флуоресцеина до 71–85 %. Однако в случае тысячелистников таволгового и каратавского A_{\max} листьев оказался выше, чем для цветов.

Сравнение показателей IC_{50} цветов и листьев тысячелистника свидетельствует о более высокой АОА экстрактов цветов. Для образцов тысячелистников Биберштейна, таволгового, благородного и азиатского (Казахстан) показатели IC_{50} , полученные для цветов, в 2–2,8 раза ниже IC_{50} листьев. Более существенная разница получена для образцов тысячелистников щетинистого, мелкоцветного и азиатского (Хакасия) – IC_{50} , полученные для цветов, в 3–4,7 раза ниже IC_{50} листьев. Самая значительная разница получена для образца тысячелистника азиатский (Кемерово) – IC_{50} цветов в 56 раз ниже IC_{50} листьев. И только для тысячелистника обыкновенного IC_{50} цветов в 1,3 раза выше IC_{50} листьев.

Сравнение показателей A_{\max} и IC_{50} , полученных для листьев и цветов тысячелистника каратавского, показывают близкую АОА цветов и листьев. A_{\max} цветов и листьев тысячелистника каратавского – 76 и 79 %, а IC_{50} цветов в 1,3 раза ниже IC_{50} листьев.

Минимальный показатель IC_{50} ($0,47 \cdot 10^{-3}\%$) получен для образца цветов тысячелистника азиатского (Кемерово), что свидетельствует о его максимальной антиоксидантной активности. Показатель IC_{50} цветов тысячелистника мелкоцветного ($1,3 \cdot 10^{-3}\%$) в 2,8 раза выше. Показатели IC_{50} цветов тысячелистника щетинистого, азиатского (Хакасия) и благородного близки по значениям (2 – $2,4 \cdot 10^{-3}\%$) и в 4,3–5 раз выше аналогичного показателя тысячелистника азиатского (Кемерово). Еще более высокие значения показателя IC_{50} получены для образцов цветов тысячелистника азиатского (Казахстан), таволгового, каратавского и Биберштейна ($3,63$ – $5 \cdot 10^{-3}\%$), в 7,7–10,6 раз выше аналогичного показателя тысячелистника азиатского (Кемерово). Максимальный показатель IC_{50} ($15,1 \cdot 10^{-3}\%$) определен для образца цветов тысячелистника обыкновенного. Он в 32 раза превышает IC_{50} тысячелистника азиатского (Кемерово), что может свидетельствовать о минимальной активности данного образца.

Образцы цветов тысячелистника мелкоцветного, щетинистого и Биберштейна восстанавливали флуоресценцию флуоресцеина до максимально высоких значений 87–88 %. Экстракт цветов тысячелистника обыкновенного восстанавливал флуоресценцию флуоресцеина до 85 %, однако при этом его концентрация была на порядок выше остальных образцов. Самый низкий показатель A_{\max} (76 %) определен для образца цветов тысячелистника каратавского.

Представляет интерес сравнение трех экстрактов цветов тысячелистника одного вида – азиатского, произрастающего в разных регионах (Казахстан, Хакасия и Кемерово). Показатели A_{\max} тысячелистника

азиатского (Казахстан) и азиатского (Хакасия) одинаковы (81 %). Несколько выше (83 %) значение этого показателя у тысячелистника азиатского (Кемерово). Все образцы достигают максимальной активности при одинаковой концентрации (0,1 %). Более существенные различия наблюдаются в показателях IC_{50} . Показатель IC_{50} тысячелистника азиатского (Кемерово) ($0,47 \cdot 10^{-3}$ %) – минимальный. Показатели IC_{50} тысячелистника азиатского (Хакасия) ($2,14 \cdot 10^{-3}$ %) и (Казахстан) ($3,63 \cdot 10^{-3}$ %) выше в 4,6 и 7,7 раза. Таким образом, антиоксидантная активность экстрактов из цветов тысячелистников убывает в ряду: азиатский (Кемерово) > азиатский (Хакасия) > азиатский (Казахстан).

Таблица 2

Показатели антиоксидантной активности экстрактов цветов и листьев тысячелистника

Table 2

Indicators of antioxidant activity of extracts of flowers and leaves of milfoil

№	Название образца	A_{max} , %	C_{max} , %	$IC_{50} \cdot 10^{-3}$, %	$IC_{50 л} / IC_{50 ц}$
1	Тысячелистник азиатский (Кемерово)				
	Цветы	83	0,1	0,47	56
	Листья	73	1	26,3	
2	Тысячелистник мелкоцветный				
	Цветы	88	0,1	1,3	4,1
	Листья	82	0,1	5,3	
3	Тысячелистник щетинистый				
	Цветы	88	0,1	2	3
	Листья	76	0,1	5,9	
4	Тысячелистник азиатский (Хакасия)				
	Цветы	81	0,1	2,14	4,7
	Листья	71	1	10	
5	Тысячелистник благородный				
	Цветы	81	0,1	2,4	2,2
	Листья	78	0,1	5,3	
6	Тысячелистник азиатский (Казахстан)				
	Цветы	81	0,1	3,63	2,8
	Листья	74	0,1	10	
7	Тысячелистник таволговый				
	Цветы	81	0,1	4,1	2
	Листья	85	1	8,3	
8	Тысячелистник каратавский				
	цветы	76	0,1	4,5	1,3
	Листья	79	0,1	5,9	
9	Тысячелистник Биберштейна				
	Цветы	87	0,1	5	2
	Листья	72	1	10	
10	Тысячелистник обыкновенный				
	Цветы	85	1	15,1	0,8
	Листья	71	0,1	12	

На рис. 1 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации экстрактов цветов тысячелистника азиатского (Кемерово) (1) и азиатского (Хакасия) (2). Зависимости практически аналогичны, что может свидетельствовать об одинаковом составе веществ, отвечающих за антиоксидантные свойства, отличающихся по количественному составу.

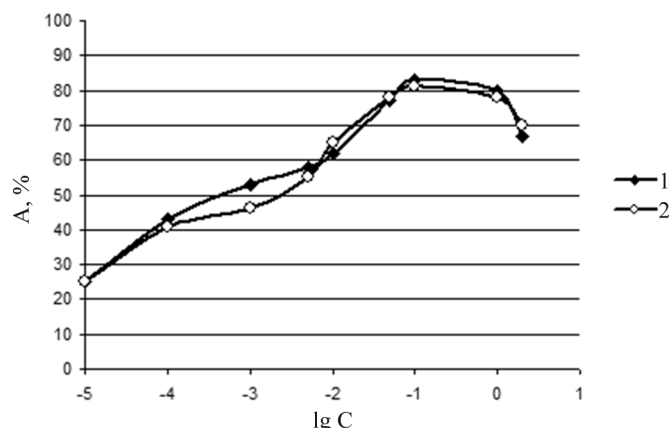


Рис. 1. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) экстракта цветов тысячелистника азиатского (Кемерово) (1) и азиатского (Хакасия) (2)

Fig. 1. The dependence of the fluorescence intensity of fluorescein (A) of the logarithm of the concentration (C) milfoil flower extract Asian (Kemerovo) (1) and Asian (Khakassia) (2)

На рис. 2 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации экстрактов цветов тысячелистника мелкоцветного (1), щетинистого (2), Биберштейна (3) и азиатского (Казахстан) (4). Схожая структура полученных зависимостей, особенно для образцов 1 и 2, также может свидетельствовать об одинаковом качественном составе веществ, отвечающих за антиоксидантные свойства. Кроме того, характер этих зависимостей отличается от рассмотренных на рис. 1, что свидетельствует о различном качественном составе антиоксидантных веществ данных четырех образцов и образцов тысячелистника азиатского (Кемерово) и азиатского (Хакасия).

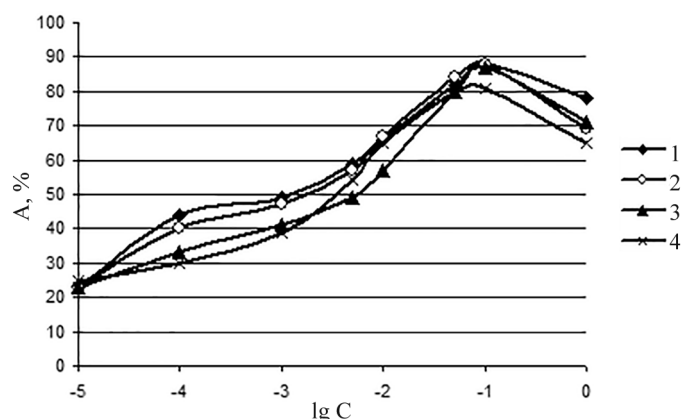


Рис. 2. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) экстракта цветов тысячелистника мелкоцветного (1), щетинистого (2), Биберштейна (3) и азиатского (Казахстан) (4)

Fig. 2. The dependence of the fluorescence intensity of fluorescein (A) of the logarithm of the concentration (C) milfoil flower extract small-colored (1), bristly (2), Bieberstein (3) and Asian (Kazakhstan) (4)

На рис. 3 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации экстрактов цветов тысячелистника благородного (1), таволгового (2) и каратавского (3). Зависимости, полученные для этих образцов, также имеют одинаковую тенденцию, предполагающую идентичный качественный состав антиоксидантных веществ.

Образцы экстрактов листьев тысячелистника мелкоцветного и благородного имели минимальные значения показателя IC_{50} ($0,53 \cdot 10^{-2} \%$), что свидетельствует об их максимальной антиоксидантной активности. Близкие к ним показатели IC_{50} ($0,59 \cdot 10^{-2} \%$) получены для образцов листьев тысячелистника каратавского и щетинистого. Для всех этих четырех образцов получены высокие показатели A_{max} (76–82 %).

Экстракт листьев тысячелистника таволгового восстанавливал флуоресценцию флуоресцеина на максимальную величину – до 85 %. Близкий к нему показатель A_{max} (82 %) имел тысячелистник мелкоцветный. Однако максимальная активность образца тысячелистника таволгового достигается при концентрации в 10 раз выше (1 %), чем для образцов тысячелистника мелкоцветного (0,1 %). Показатель IC_{50}

тысячелистника таволгового ($0,83 \cdot 10^{-2} \%$) в 1,6 раза выше аналогичного показателя тысячелистника мелкоцветного и благородного. Таким образом, АОА тысячелистника таволгового ниже образца тысячелистника мелкоцветного.

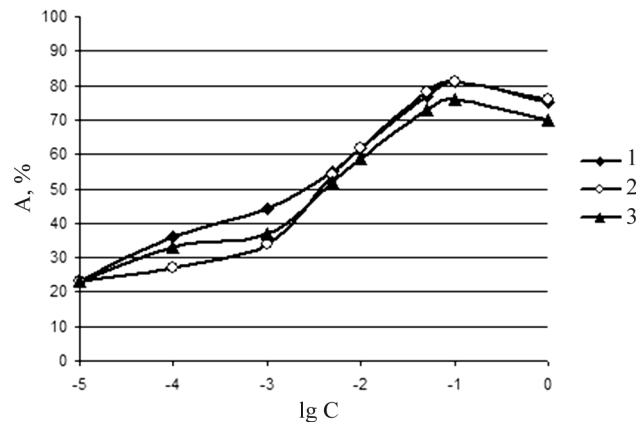


Рис. 3. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) экстракта цветов тысячелистника благородного (1), таволгового (2), и каратавского (3)

Fig. 3. The dependence of the fluorescence intensity of fluorescein (A) of the logarithm of the concentration (C) of the extract of flowers of milfoil noble (1), meadowsweet (2), and caratavian (3)

Показатель IC_{50} образцов листьев тысячелистника азиатского (Казахстан), Биберштейна, азиатского (Хакасия) и обыкновенного ($1-1,2 \cdot 10^{-2} \%$) в 1,9–2,3 раза выше аналогичного показателя тысячелистника мелкоцветного и благородного, а их показатели A_{max} (71–74 %) в 1,2 раза ниже аналогичного показателя тысячелистника таволгового, что свидетельствует о более низких антиоксидантных свойствах.

Максимальный показатель IC_{50} ($2,63 \cdot 10^{-2} \%$), полученный для образца листьев тысячелистника азиатского (Кемерово), в 5 раз выше аналогичных показателей тысячелистника мелкоцветного и благородного и в 2,2 раза выше IC_{50} тысячелистника обыкновенного. Его показатель A_{max} (73 %) находится на уровне аналогичных показателей тысячелистника азиатского (Казахстан), Биберштейна, азиатского (Хакасия) и обыкновенного. Кроме того, максимальная активность образца тысячелистника азиатского (Кемерово) достигается при концентрации в 10 раз выше (1 %), чем для образцов тысячелистника мелкоцветного, благородного, каратавского, щетинистого и обыкновенного (0,1 %). Все это свидетельствует о самой низкой антиоксидантной активности данного образца.

Представляет интерес сравнение трех экстрактов листьев тысячелистника одного вида – азиатского, произрастающего в разных регионах: Казахстан, Хакасия и Кемерово. Показатели A_{max} тысячелистника азиатского (Казахстан) и азиатского (Кемерово) близки (74 и 73 % соответственно). Несколько ниже (71 %) значение этого показателя тысячелистника азиатского (Хакасия). Однако максимальная активность образца тысячелистника азиатского (Казахстан) достигается при концентрации в 10 раз ниже (0,1 %), чем для образцов тысячелистника азиатского (Хакасия) и (Кемерово). Показатели IC_{50} образцов тысячелистника азиатского (Казахстан) и (Хакасия) совпадают ($1 \cdot 10^{-2} \%$), тогда как для тысячелистника азиатского (Кемерово) этот показатель в 2,63 раза выше. Таким образом, антиоксидантная активность экстрактов из листьев тысячелистника убывает в ряду: азиатский (Казахстан) > азиатский (Хакасия) > азиатский (Кемерово).

На рис. 4 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации экстрактов листьев тысячелистника мелкоцветного (1), каратавского (2), азиатского (Казахстан) (3) и обыкновенного (4). Одинаковая структура полученных зависимостей может свидетельствовать об аналогичном составе веществ, отвечающих за антиоксидантные свойства, отличающихся по количественному составу.

На рис. 5 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации экстрактов листьев тысячелистника благородного (1) и щетинистого (2). Зависимости практически аналогичны, что также может свидетельствовать об одинаковом качественном и количественном составе веществ, отвечающих за антиоксидантные свойства. Кроме того, характер этих зависимостей существенно отличается от представленных на рис. 4, что свидетельствует о различном качественном составе антиоксидантных веществ данных двух образцов и образцов тысячелистника мелкоцветного, каратавского, азиатского (Казахстан) и обыкновенного.

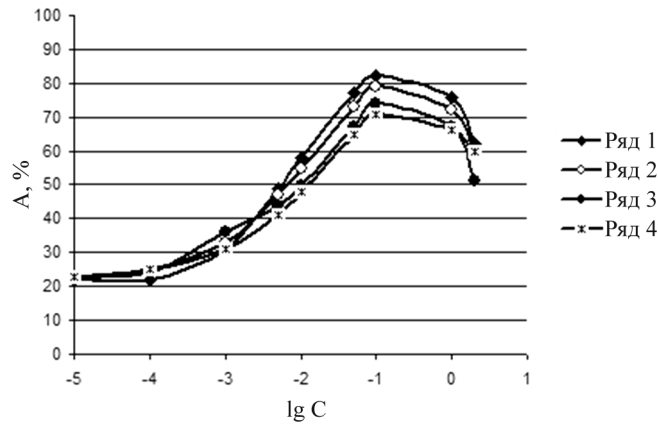


Рис. 4. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) экстракта листьев тысячелистника мелкоцветного (1), каратавского (2), азиатского (Казахстан) (3) и обыкновенного (4)

Fig. 4. The dependence of the fluorescence intensity of fluorescein (A) of the logarithm of the concentration (C) of the extract of the leaves of milfoil small-colored (1), caratavian (2), Asian (Kazakhstan) (3) and ordinary (4)

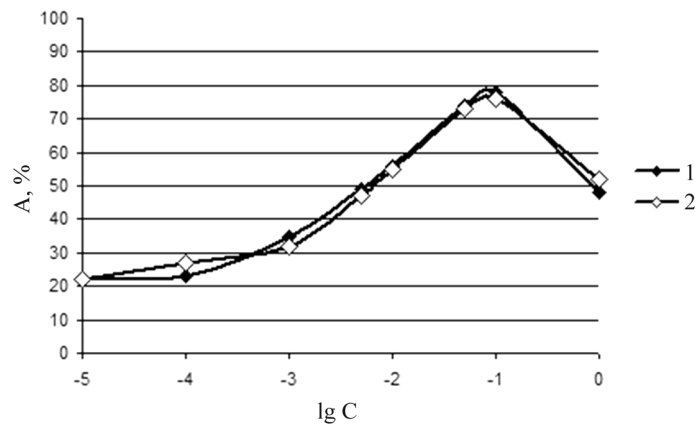


Рис. 5. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) экстракта листьев тысячелистника благородного (1) и щетинистого (2)

Fig. 5. The dependence of the fluorescence intensity of fluorescein (A) of the logarithm of the concentration (C) of the extract of the leaves of milfoil noble (1) and bristly (2)

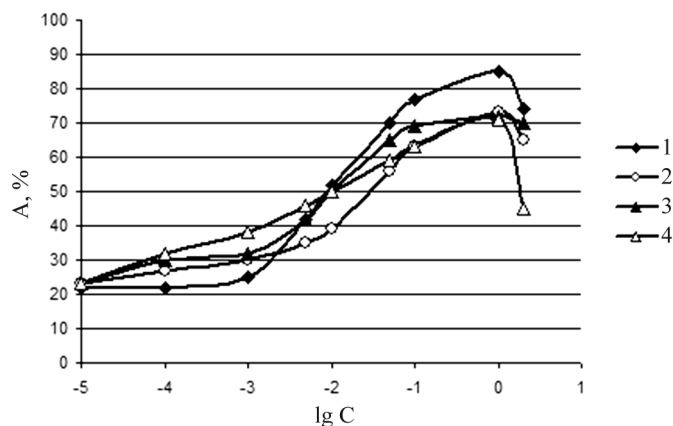


Рис. 6. Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации (C) экстракта листьев тысячелистника таволгового (1), азиатского (Кемерово) (2), Биберштейна (3) и азиатского (Хакасия) (4)

Fig. 6. The dependence of the fluorescence intensity of fluorescein (A) of the logarithm of the concentration (C) of the extract of the leaves of milfoil of meadowsweet (1), Asian (Kemerovo) (2), Biberstein (3) and Asian (Khakassia) (4)

На рис. 6 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации экстрактов листьев тысячелистника таволгового (1), азиатского (Кемерово) (2), Биберштейна

(3) и азиатского (Хакасия) (4). Все образцы достигают максимальной активности при одинаковой концентрации 1 % и их зависимости имеют одинаковую тенденцию. В большей степени это видно при сравнении образцов тысячелистника таволгового (1) и азиатского (Хакасия) (4).

Заключение

Ранее проведенные исследования свидетельствуют, что в состав разных видов тысячелистника входят многочисленные вещества, отвечающие за их антиоксидантную активность (фенилпропаноиды, флавоноиды, флавонолы, флавоны и их производные, такие кислоты, как хлорогеновая, протокатеховая, галловая, кофейная и ферулиновая). Полученные данные показывают, что каждый вид тысячелистника содержит в своем составе индивидуальный набор веществ, отвечающих за антиоксидантную активность. Различия при сравнении активности цветов и листьев также могут указывать на разный состав веществ, определяющих антиоксидантные свойства. Место произрастания тысячелистника влияет на качественный и количественный состав антиоксидантных веществ, о чем свидетельствует сравнение 3-х образцов тысячелистника одного вида – азиатского, произрастающего в разных регионах (Казахстан, Хакасия и Кемерово).

Образцы цветов тысячелистника, имеющие предположительно близкий состав веществ, отвечающих за антиоксидантные свойства, можно объединить в три группы:

- 1) тысячелистник азиатский (Кемерово) и азиатский (Хакасия);
- 2) тысячелистник мелкоцветный, щетинистый, Биберштейна и азиатский (Казахстан);
- 3) тысячелистник благородный, таволговый и каратавский.

Образцы листьев тысячелистника, имеющие предположительно близкий состав веществ, отвечающих за антиоксидантные свойства:

- 1) тысячелистник мелкоцветный, каратавский, азиатский (Казахстан) и обыкновенный;
- 2) тысячелистник благородный и щетинистый;
- 3) тысячелистник таволговый, азиатский (Хакасия), азиатский (Кемерово) и Биберштейна.

Экстракты цветов показали более высокую антиоксидантную активность, чем листья тысячелистника, о чем свидетельствуют более высокие показатели восстановления свечения флуоресцеина.

Библиографические ссылки / References

1. Nemeth E, Bernath J. Biological activities of yarrow species (*Achillea* spp.). *Current Pharmaceutical Design*. 2008;14:3151–3167. DOI: 10.2174/138161208786404281.
2. Benedek B, Kopp B. *Achillea millefolium* L. s. l. revisited: recent findings confirm the traditional use. *Wiener Medizinische Wochenschrift*. 2007;157:312–314. DOI: 10.1007/s10354-007-0431-9.
3. Vitalini S, et al. Phenolic compounds from *Achillea millefolium* L. and their bioactivity. *Acta Biochimica*. 2011;58:203–209.
4. Serdar G, Munevver S, Ezgi D. Extraction of antioxidative principles of *Achillea biserrata* M. Bieb. and chromatographic analyses. *Journal of Secondary Metabolite*. 2015;2:3–15.
5. Benetis R, Radusiene J, Janulis V. Variability of phenolic compounds in flowers of *Achillea millefolium* wild populations in Lithuania. *Medicina*. 2008;44(10):775–781.
6. Hammad H, Albu C, Matar S. Biological activities of the hydro-alcoholic and aqueous extracts of *Achillea biebersteinii* Afan. (Asteraceae) grown in Jordan. *African journal of pharmacy and pharmacology*. 2013;7(25):1686–1694.
7. Taskin D, Alkaya D, Dolen E. Analysis of natural dyestuffs in *Achillea grandifolia* Friv. Using HPLC-DAD and Q-TOF LC/MS. *Indian Journal of Traditional Knowledge*. 2017;16(1):83–88.
8. Trendafilova A, et al. Flavonoids in flower heads of three *Achillea* species belonging to *Achillea millefolium* group Duddeck. *Chemistry of Natural Compounds*. 2007;43(2):212–213.
9. Ivancheva S, Stancheva B. Exudate flavonoid aglycones of *Achillea* sp. Sect. Millefolium and sect. Ptar mica. *Phytologia Balcanica*. 1996;2:102–105.
10. Valant-Vetschera K, Wollenweber E. Leaf flavonoids of the *Achillea millefolium* group part II: distribution patterns of free aglycones in leaf exudates. *Biochemical Systematics and Ecology*. 2001;16(7,8):605–614. DOI: 10.1016/s0305-1978(00)00033-8.
11. Cao GH, Alessio HM, Cutler R. G. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radicals In Biology And Medicine*. 1993;3(14):303–311. DOI: 10.1016/0891-5849(93)90027-r.
12. Wei Y. A novel H₂O₂-triggered anti-Fenton fluorescent pro-chelator excitable with visible light. *Chemical Communications*. 2009;11:1413–1415. DOI: 10.1039/b819204a.

Статья поступила в редакцию 12.05.2021.
Received by editorial board 12.05.2021.