

УДК 582.998.2:547.587

ИНГИБИРОВАНИЕ ОКИСЛЕНИЯ ЛИПОСОМ ФОСФАТИДИЛХОЛИНА ФЕНОЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ЭКСТРАКТОВ *ALOE*: *A. ARBORESCENS*, *A. PILLANSII* И *A. SQUARROSA*

© Н.Н. Сажина^{1*}, П.В. Лапшин², Н.В. Загоскина², Н.П. Пальмина¹

¹ Институт биохимической физики им Н.М. Эмануэля РАН, ул. Косыгина, 4, Москва, 119334 (Россия), e-mail: Natnik48s@yandex.ru

² Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, ул. Ботаническая, 35, Москва, 127276 (Россия)

Разнообразные виды рода *Aloe*, которых в мире насчитывается более 500, считаются важными источниками биологически активных веществ и привлекают внимание исследователей многочисленными проявлениями их биологических свойств. Наиболее изученными и используемыми видами *Aloe* являются *A. arborescens* и *A. vera*, однако некоторые другие виды проявляют не меньшую биологическую активность, в частности антиоксидантную, чем упомянутые. В настоящей работе на модели инициированного окисления фосфатидилхолиновых липосом проведено сравнение антиоксидантной активности (АОА) экстрактов листьев *A. arborescens*, *A. pillansii* и *A. squarrosa*, а также суммарного содержания в них фенольных соединений. Установлено, что экстракт *A. pillansii* обладает примерно в 12 раз большей АОА, чем экстракт *A. arborescens*, и в 4 раза, чем *A. squarrosa*. Измеренные значения суммарного содержания фенольных соединений при этом показали значительно меньшую разницу между этими экстрактами. Это может свидетельствовать о наличии в листьях *A. pillansii* более сложного антиоксидантного профиля, чем у *A. arborescens*, и высокой концентрации активных фенольных метаболитов. Результаты работы позволяют рекомендовать *A. pillansii* для более углубленных исследований его биологической активности.

Ключевые слова: *Aloe*, окисление, липосомы, фосфатидилхолин, антиоксиданты, фенольные соединения.

Сокращения: ФХ – фосфатидилхолин, АОА – антиоксидантная активность, СФС – суммарное содержание фенольных соединений, ДК – диеновые конъюгаты, ААРН – 2,2'-азобис (амидинопропан) дигидрохлорид, ДФПГ – дифенилпикрилгидрозил, ORAC – oxygen-radical absorbing capacity.

Введение

Одной из актуальных задач современной фармацевтической науки является создание новых лекарственных средств и пищевых добавок на основе растительного сырья. В этом плане большой интерес вызывают суккулентные растения рода *Aloe*, включающего более 500 видов, для которых характерно формирование водозапасающих листьев. В обзоре [1] представлены данные об использовании различных видов *Aloe* в медицине, пищевой и косметической индустрии. Наиболее исследованными и используемыми видами *Aloe* являются *A. arborescens* Mill., *A. ferox* Mill. и *A. vera* (L.) Burm. f. [1]. Ранее был проведен скрининг 15 видов *Aloe* по оценке антиоксидантной активности (АОА) их экстрактов амперометрическим и хемилюминесцент-

ным методами [2]. Среди них выявлен наиболее активный представитель – *A. pillansii*, имеющий более высокие значения АОА по сравнению с остальными, что послужило причиной для дополнительного изучения этого вида.

В настоящее время проводится много работ по созданию и исследованию различных липосомных структур на основе фосфатидилхолина (ФХ) [3–8]. Они служат моделями для изучения

Сажина Наталья Николаевна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, e-mail: natnik48s@yandex.ru

Лапшин Петр Владимирович – кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: p.lapshin@mail.ru

Загоскина Наталья Викторовна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: nzagoskina@mail.ru

Пальмина Надежда Павловна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, e-mail: npalm@mail.ru

* Автор, с которым следует вести переписку.

биохимических процессов в мембранах клеток человека и животных, в частности перекисного окисления липидов, и регулирования этого окисления различными субстанциями, встроенными в липосомы [4–8]. Они также используются как наноконтейнеры для доставки в ткани и клетки живых организмов различных лекарственных препаратов, жизненно необходимых ненасыщенных ω -3 и ω -6 жирных кислот, витаминов и других соединений [9–11].

Цель настоящей работы – определение суммарного содержания фенольных соединений в экстрактах *Aloe*: *A. arborescens*, *A. pillansii* и *A. squarrosa* и изучение антиоксидантной активности этих экстрактов на модели инициированного окисления липосом ФХ.

Экспериментальная часть

Объекты исследования. Листья *A. arborescens*, *A. pillansii* и *A. squarrosa* срезали со взрослых растений (годовалых), выращенных в коллекции суккулентных растений Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (Москва) при естественном освещении и 16-часовом фотопериоде.

Общие экспериментальные условия. Суммарное содержание фенольных соединений (СФС), выраженное в мг-экв. галловой кислоты на 1 г свежих листьев, определяли спектрофотометрическим методом (725 нм) с помощью реактива Фолина-Чокальтеу [12]. В качестве вещества сравнения использовали галловую кислоту (SigmaAldrich). Погрешность определения СФС составила не более 3%.

Получение экстрактов Aloe. Для получения экстрактов свежие листья *Aloe* (0.5 г) гомогенизировали в 96% этаноле (1 мл), выдерживали на миксере (СМ70М-07, Elmi) при +45 °С (30 мин), центрифугировали (13000 об/мин) 20 мин при +4 °С, затем отбирали надосадочную жидкость (экстракт), которую хранили при +4 °С.

Приготовление суспензии липосом. Для приготовления липосом использовали суспензию соевого ФХ марки L- α -phosphatidylcholine (тип IV-S, $\geq 30\%$; кат. № P3644; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) в фосфатном буфере (рН 7.4, ионная сила 1 мМ). Содержание ЖК в % к общему их количеству составило: пальмитиновая – 17, стеариновая – 4, олеиновая – 9, линолевая – 60, линоленовая – 7. Суспензию готовили из навески ФХ с объемом буфера, необходимым для получения концентрации 1 мг/мл. Смесь перемешивали 20 мин в шейкере, добавляя разные объемы спиртовых экстрактов *Aloe*. Далее проводили механическую гомогенизацию суспензии при помощи гомогенизатора (Heidolph, Германия). Липосомы формировали с использованием ультразвукового гомогенизатора VCX-130 (Sonics & Materials, США). Для предохранения липосом от нагревания и окисления во время озвучивания, сосуд с суспензией помещали в смесь воды со льдом. Затем липосомы пропускали через мембранный фильтр экструдера AVANTI (PolarLipid, США) с диаметром пор 100 нм [11]. Из-за затруднений при взвешивании ФХ его навески имели неодинаковую величину, поэтому для определения концентрационных зависимостей ингибирующего действия вводимых экстрактов мы ввели величину удельного содержания экстрактов в липосомах (в мкл/мг): $C = V_{\text{Э}} / m_{\text{ФХ}}$, где $V_{\text{Э}}$ – объем экстракта (в мкл), $m_{\text{ФХ}}$ – масса навески ФХ (в мг). Концентрация экстрактов, определяемая по массе свежих листьев и объему этанола, для всех видов *Aloe* была одинаковой и составляла 0.5 г/мл.

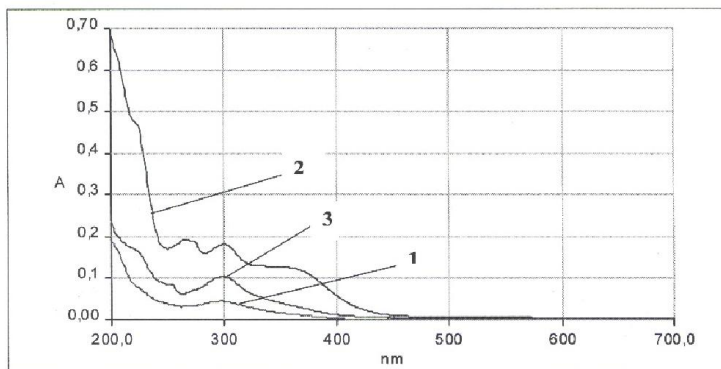
Инициирование окисления липосом. Для инициирования окисления липосом использовали водорастворимый азо-инициатор 2,2'-азобис (амидинопропан) дигидрохлорид (AAPH, Fluka, Германия) с конечной концентрацией в растворе липосом 0.3 мМ. Степень развития перекисного окисления липидов (ПОЛ) контролировали по регистрации во времени УФ-спектров поглощения (от 200 до 300 нм) на спектрофотометре (Perkin Elmer, Lambda-25, Германия). Окисление липосом с концентрацией 0.1 мг/мл проводили в спектрофотометрических кварцевых кюветах, термостатированных при физиологической температуре (37 °С). Кинетику образования продуктов ПОЛ – диеновых конъюгатов (ДК), регистрировали во времени при длине волны 234 нм. Статистическую обработку результатов экспериментов осуществляли с использованием компьютерных программ Microsoft® Office Excel. Измерения повторяли не менее 3 раз. Погрешность определения антиоксидантной активности экстрактов *Aloe* не превышала 10%.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 приведены спектры поглощения исследуемых экстрактов *Aloe*, разбавленных в буферном растворе в 1000 раз.

Наибольшее поглощение компонентами экстрактов наблюдается в диапазоне 200–400 нм, что характерно для таких вторичных фенольных метаболитов *Aloe* как: алоины А и В, алоэнин, алоэ-эмодин, алоэзин, алоэрезин, алоэнозид, алоэзон, алоэсапанол и др. [13–16].

Рис. 1. Спектры поглощения экстрактов *Aloe* (1 мкл экстракта в 1 мл буфера): 1 – *A. arborescens*, 2 – *A. pillansii*, 3 – *A. squarrosa*



Для *A. arborescens* содержание алоэина может составлять до 20.7% от суммы фенольных соединений, на долю алоинов приходится 26.2% [14]. Как показано в [15] для *A. arborescens* и *A. vera*, эти фенольные метаболиты определяют, главным образом, антирадикальную активность. Спектры поглощения некоторых указанных выше чистых метаболитов *Aloe* приведены в [13]. Для алоэина максимумы поглощения находятся при 218 и 308 нм, у алоина – 268, 296 и 353 нм, для алоэрезина – при 216 и 302 нм, у барбалоина 4 пика поглощения: при 226, 270, 298 и 360 нм.

Согласно полученным данным спектров поглощения концентрации фенольных метаболитов, имеющих пики поглощения в области 200–400 нм, для *A. pillansii* значительно превышают их концентрации в *A. arborescens* (в 4.2 раза при 300 нм, в 6 раз при 266 нм и в 12 раз при 353 нм). Максимумы поглощения *A. squarrosa* также в 1.5–2 раза интенсивней максимумов спектра *A. arborescens*. Это свидетельствует о том, что в экстракте *A. pillansii* содержание активных фенольных метаболитов существенно выше. Вероятно наличие в нем и в остальных экстрактах антронов, антрохинонов, алоэсапонаринов, производных эмолина и бензохинонов, имеющих несколько полос поглощения в этой области спектра [1].

Суммарное содержание фенольных соединений в исследуемых экстрактах *Aloe* составило: для *A. arborescens* 0.26 ± 0.01 мг/г, для *A. pillansii* 1.28 ± 0.04 мг/г и для *A. squarrosa* 0.52 ± 0.02 мг/г.

На следующем этапе исследований нами изучены процессы инициированного окисления липосом ФХ и ингибирования окисления различными дозами экстрактов *Aloe*, введенными в липосомы. Механизм и соответствующие уравнения инициированного ААРН радикально-цепного окисления ЖК в липосомах подробно рассмотрены в [11, 17]. На рисунке 2 представлены кинетические кривые увеличения оптического поглощения ДК (А) в липосомах (234 нм) без учета его начального значения (A_0) при $t=0$ в процессе инициированного окисления липосом: без экстракта *Aloe* (0) и с включенными в них экстрактами трех видов *Aloe* с одинаковым значением С.

Степень ингибирования окисления липосом экстрактами *Aloe* характеризовалась разницей $\tau - \tau_0$, где τ – период индукции (время от начала окисления до точки пересечения касательной к кривой с временной осью), а τ_0 – период индукции в отсутствие экстрактов для кривой 0 ($\tau_0 = 6 \pm 1$ мин), обусловленный кинетикой процесса накопления ДК, зависящей от концентраций ФХ и ААРН [11, 17]. Погрешность определения $\tau - \tau_0$ по трем повторным измерениям для каждого значения удельного содержания экстрактов в липосомах (С) не превышала 10% [18].

При одинаковых значениях С самый продолжительный период индукции демонстрирует экстракт *A. pillansii* (рис. 2). При этом максимальная скорость окисления примерно в 2.3 раза снижается по сравнению с остальными экстрактами и чистым ФХ, что, видимо, связано с расходом к этому времени ненасыщенных липидов ФХ, от концентрации которых, главным образом, и зависит скорость окисления [11]. Накопление ДК в максимуме кривой для *A. pillansii* немного увеличивается (~10%), что говорит о возможном присутствии в экстракте *A. pillansii*, достаточного для наработки ДК количества фитостеролов и других липидных субстратов [1].

На рисунке 3 приведены зависимости $\tau - \tau_0$ от удельного содержания экстрактов в ФХ-липосомах (С) для трех экстрактов *Aloe*. В указанных пределах концентраций эти зависимости линейны ($r^2 = 0.98 - 0.99$, $p < 0.001$), а наклон их определяет антиоксидантную активность (АОА) экстрактов *Aloe*. Уравнения регрессии для зависимостей составили: $y = 3.28 \cdot x - 0.12$, $y = 6.06 \cdot x + 0.011$ и $y = 34.09 \cdot x + 1.2$, т.е. наклон для *A. pillansii* примерно в 10 раз больше, чем для *A. arborescens*.

Для выражения антиоксидантной активности (АОА) изученных экстрактов *Aloe* в эквивалентах тролокса ($T_{гэкв}$) была проведена калибровка с этанольным раствором тролокса ($c=1$ мМ), вводимом в известных объемах ($V_{тр}$) в липосомы. АОА исследуемых образцов определялась по калибровочной прямой зависимости $\tau-t_0$ для тролокса от его удельного содержания в ФХ-липосомах ($c \cdot V_{тр}$, моль / $m_{фх}$, мг). В таблице представлены результаты измерений суммарного содержания фенольных соединений (СФС) и АОА изученных экстрактов.

Если сравнить СФС *A. pillansii* и *A. arborescens*, то его значение у первого образца в 5 раз выше, чем у второго, но при этом АОА *A. pillansii* почти в 12 раз больше АОА *A. arborescens*. Это может свидетельствовать о значительной разнице в антиоксидантной активности составляющих их фенольных компонентов. СФС у *A. squarrosa* в 2 раза больше, чем у *A. arborescens*, в то время как АОА *A. squarrosa* выше АОА *A. arborescens* более, чем в 3 раза.

В работе [15] для экстрактов разных частей листьев *A. arborescens* были определены значения антирадикальной активности на модели со стабильным ДФПГ-радикалом и методом ORAC (oxygen-radical absorbing capacity) [19–21]. Этими же методами измерены значения антирадикальной активности у 6 чистых вторичных фенольных метаболитов: алоина, алоэ-эмодин, алоэрезина, алоэзина А, алоэзон, алоэзина А. В первом методе самыми активными соединениями оказались алоэзон, алоэзин, алоэ-эмодин (351, 343 и 222 мкМ $T_{гэкв}$, соответственно), во втором – алоэрезин А и алоэ-эмодин (144 и 116 мкМ $T_{гэкв}$, соответственно), остальные метаболиты проявили в 2–30 раз меньшую антирадикальную активность [15]. Алоин, считающийся главным антиоксидантом в *Aloe*, показал в ДФПГ-системе меньшую антирадикальную активность (90 мкМ $T_{гэкв}$), так же как и в системе ORAC (84 мкМ $T_{гэкв}$) [15]. В работе [16] для сока *A. arborescens* в методе с ДФПГ-радикалом наибольшее влияние на проявление антирадикального эффекта также оказывают производные алоэзина. Масс-спектрометрический скрининг *A. arborescens* [15] и *A. vera* [15, 22] выявил такие классы антиоксидантов, как: антроны (алоин, алоэ барбендол, алоэсапонарин), пироны (алоэнин), хромоны (алоэзин, алоэзон, алоэрезин и др.), флавоны (изовитексин и др.), изофлавоны (генистеин, дайдзеин), фенольные димеры (фералолиды), гидроксикислоты (хлорогеновая, феруловая, кофейная и их производные) и другие [22].

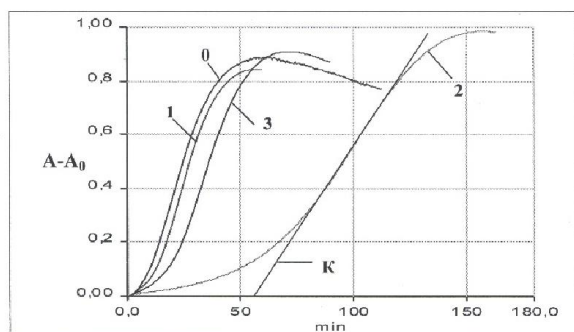


Рис. 2. Кинетические кривые накопления ДК ($A-A_0$) в процессе инициированного окисления ФХ-липосом: без включения в них экстрактов *Aloe* (0), с включенными экстрактами 1 – *A. arborescens*, 2 – *A. pillansii*, 3 – *A. squarrosa*. $[ФХ] = 0.1$ мг/мл, $[AAPH] = 0.3$ мМ, $C=1.5$ мкл/мг, $T=37$ °С, A – оптическое поглощение ДК при 234 нм, A_0 – оптическое поглощение ДК при $t = 0$. К – касательная к кривой в точке максимальной скорости окисления

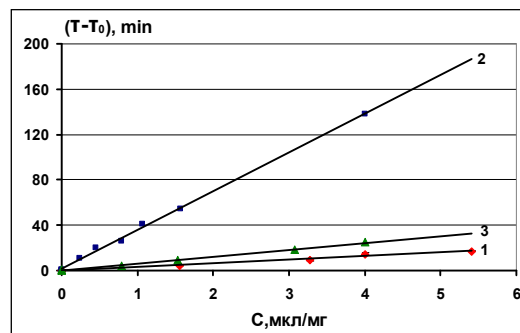


Рис. 3. Зависимости $\tau-t_0$ от удельного содержания экстрактов *Aloe* в ФХ-липосомах (C): 1 – *A. arborescens*, 2 – *A. pillansii*, 3 – *A. squarrosa*. ($C=V_э$, мкл / $m_{фх}$, мг)

Антиоксидантная активность (АОА) экстрактов листьев *Aloe* и суммарное содержание в них фенольных соединений (СФС)

Вид	АОА, мМ $T_{гэкв} \pm SD$	СФС, мг/г $\pm SD$
<i>A. arborescens</i>	0.85±0.08	0.26±0.01
<i>A. pillansii</i>	10.14±0.71	1.28±0.04
<i>A. squarrosa</i>	2.66±0.22	0.52±0.02

Для экстрактов из целых листьев *A. arborescens* результаты измерений антирадикальной активности составили: 71 мкМ $T_{ГРКВ}$ с ДФПГ-радикалом и 2671 мкМ $T_{ГРКВ}$ в ORAC-системе [15]. Такая разница объясняется, по-видимому, тем, что в этих системах значительно отличаются значения активности к захвату радикалов ДФПГ и ААРН разными фенольными метаболитами.

Согласно нашим данным АОА экстрактов целых листьев *A. arborescens* составила 850 мкМ $T_{ГРКВ}$, а *A. pillansii* – 10140 мкМ $T_{ГРКВ}$, что может означать различие антиоксидантного фенольного профиля в листьях этих растений. В свободно-радикальных цепных реакциях инициированного окисления ненасыщенных липидных компонентов в бислое липосом, кроме пероксидного радикала инициатора ААРН, образуются промежуточные радикальные интермедиаты фосфолипидов и жирных кислот (алкильные, пероксильные радикалы), с которыми взаимодействуют антиоксиданты экстрактов и обрывают цепь окисления [13, 23]. Подобные реакции происходят и в мембранах живых клеток [23], поэтому ингибирование окисления липосом антиоксидантами дает более реальную «физиологическую» модель для определения антиоксидантной активности различных соединений. Более чем 10-ти кратное превышение АОА *A. pillansii* над АОА *A. arborescens* может говорить о наличии в листьях этого вида фенольных метаболитов с высокой антиоксидантной активностью и в больших количествах.

Выводы

1. Впервые изучена антиоксидантная активность (АОА) трех видов *Aloe*: *A. arborescens*, *A. pillansii*, *A. squarrosa* в модельной системе ААРН-индуцированного окисления фосфатидилхолиновых липосом.
2. Установлено, что экстракт *A. pillansii* обладает примерно в 12 раз большей антиоксидантной активностью, чем экстракт *A. arborescens*, и в 4 раза, чем *A. squarrosa*. Измеренные значения суммарного содержания фенольных соединений при этом показали значительно меньшую разницу между этими экстрактами, что может свидетельствовать о наличии в *A. pillansii* очень активных фенольных антиоксидантов в высоких концентрациях, которые отсутствуют в двух других.
3. Результаты данной работы позволяют рекомендовать *A. pillansii* для более углубленных исследований его биологической активности и создания на его основе различных медицинских препаратов.

Список литературы

1. Salehi B., Albayrak S., Antolak H., Kręgiel D., Pawlikowska E., Sharifi-Rad M., Uprety Y., Tsouh Fokou P.V., Yousef Z., Amiruddin Zakaria Z., Varoni E.M., Sharopov F., Martins N., Iriti M., Sharifi-Rad J. Aloe genus plants: From farm to food applications and phytopharmacotherapy // International Journal Molecular Sciences. 2018. Vol. 19. P. 2843. DOI: 10.3390/ijms19092843.
2. Сажина Н.Н., Лапшин П.В., Загоскина Н.В., Мисин В.М. Сравнительное изучение антиоксидантных свойств экстрактов различных видов алоэ // Химия растительного сырья. 2015. №2. С. 169–176. DOI: 10.14258/jcprpm.201502527.
3. McClements D.J. Nanoparticle- and Microparticle-based delivery systems: Encapsulation, protection and release of active compounds. CRC Press Taylor and Francis Group. New York, 2014. Pp. 548–620.
4. Thomas A.H., Catala A., Vignoni M. Soybean phosphatidylcholine liposomes as model membranes to study lipid peroxidation photoinduced by pterin // Biochimica and Biophysica Acta. 2016. Vol. 1858. Pp. 139–145. DOI: 10.1016/j.bbammem.2015.11.002.
5. Mosca M., Cerlie A., Ambrosone L. Effect of membrane composition on lipid oxidation in liposomes // Chemistry and Physics of Lipids. 2011. Vol. 164. Pp. 158–165. DOI: 10.1016/j.chemphyslip.2010.12.006.
6. Palmina N.P., Maltseva E.L., Chasovskaya T.E., Kasparov V.V., Bogdanova N.G., Menshov V.A., Trofimov A.V. Effects of different phases of cigarette smoke on lipid peroxidation and membrane structure in liposomes // Australian Journal of Chemistry. 2014. Vol. 67. Pp. 858–866. DOI: 10.1071/CH13663.
7. Altunkaya A., Gokmen V., Skibsted L.H. PH dependent antioxidant activity of lettuce (*L. sativa*) and synergism with added phenolic antioxidants // Food Chemistry. 2016. Vol. 190. Pp. 25–32. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.63.069.
8. Lokhmatikov A.V., Voskoboynikova N., Cherepanov D.A., Skulachev M.V., Steihoff H.J., Skulachev V.P., Armen Y., Mulkidjanian A.Y. Impact of Antioxidants on Cardiolipin Oxidation in Liposomes: Why Mitochondrial Cardiolipin Serves as an Apoptotic Signal? // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2016. Vol. 1. Pp. 1–19. DOI: 10.1155/2016/8679469.
9. Kuznetsova N., Kandyba A., Vostrov V., Kadykov V., Gaenko G., Vodovozova E. Liposomes loaded with lipophilic prodrugs of methotrexate and melphalan as convenient drug delivery vehicles // Journal of Drug Delivery Science Technology. 2009. Vol. 19. N1. Pp. 51–59. DOI: 10.1016/S1773-2247(09)50007-X.
10. Semenova M.G., Antipova A.S., Misharina T.A., Alinkina E.S., Zelikina D.V., Martirosova E.I., Palmina N.P., Binyukov V.I., Maltseva E.L., Kasparov V.V., Ozerova N.S., Shumilina E.A., Baeva K.A., Bogdanova N.G. Role of the

- covalent conjugate (sodium caseinate + maltodextrin) and a plant antioxidant in the protection against oxidation of the composite food ingredients, containing the equimass amount of w-3 and w-6 polyunsaturated fatty acids. Gums and Stabilisers for the Food Industry 18: Hydrocolloid Functionality for Affordable and Sustainable Global Food Solutions. Cambridge. Publ.: Royal Society of Chemistry, 2016. Pp. 182–189.
11. Sazhina N.N., Antipova A.S., Semenova M.G., Palmina N.P. Initiated Oxidation of Phosphatidylcholine Liposomes with Some Functional Nutraceuticals // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2019. Vol. 45. N1. Pp. 34–41. DOI: 10.1134/S1068162019010138.
 12. Запрометов М.Н. Фенольные соединения и методы их исследования. Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971. С. 185–197.
 13. Gutterman Y., Chauser-Volfson E. The distribution of the phenolic metabolites barbaloin, aloeresin and aloenin as a peripheral defense strategy in the succulent leaf parts of *Aloe arborescens* // Biochemical Systematics and Ecology. 2000. Vol. 28. N9. Pp. 825–838.
 14. Оленников Д.Н., Зилфикаров И.Н., Ибрагимов Т.А. Исследование химического состава алое древовидного (*Aloe arborescens* Mill.) // Химия растительного сырья. 2010. №3. С. 77–82.
 15. Lucinia L., Pellizzonia M., Pellegrinob R., Molinaria G.P., Collac G. Phytochemical constituents and in vitro radical scavenging activity of different *Aloe* species // Food Chemistry. 2015. Vol. 170. Pp. 501–507. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.08.034.
 16. Оленников Д.Н., Зилфикаров И.Н., Ибрагимов Т.А., Торопова А.А., Танхаева Л.М. Химический состав состав сока алое древовидного (*Aloe arborescens* Mill.) и его антиоксидантная активность (*in vitro*) // Химия растительного сырья. 2010. №3. С. 83–90.
 17. McPherson P.A.C., Bole A., Cruz K.A., Young I.S., McEneny J. Curvilinear approach to the kinetic analysis of linoleate peroxidation in aqueous liposomes by 2,2'-azobis (amidinopropane) dihydrochloride // Chemistry and Physics of Lipids. 2012. Vol. 165. Pp. 682–688. DOI: 10.1016/j.chemphyslip.2012.07.004.
 18. Дерффель К. Статистика в аналитической химии. М.: Мир, 1994. 268 с.
 19. Seyoum A., Asres K., El-Fiky F.K. Structure-radical scavenging relationships of flavanoids // Phytochemistry. 2006. Vol. 67. Pp. 2058–2070. DOI: 10.4236/ns.2018.104014.
 20. Hu H., Hu X., Qiuhui H. Evaluation of antioxidant potential of *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) extracts // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003. Vol. 51. Pp. 7788–7791. DOI: 10.1021/jf034255i.
 21. Huang D., Ou B., Hampsch-Woodil M., Flanagan J., Prior R. High throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96 well format // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002. Vol. 50. Pp. 4437–4444. DOI: 10.1021/jf0201529.
 22. Lee S., Do S.G., Kim S.Y., Kim J., Jin Y., Lee C.H. Mass spectrometry-based metabolite profiling and antioxidant activity of *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) in different growth stages // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2012. Vol. 60. Pp. 11222–11228. DOI: 10.1021/jf3026309.
 23. Эмануэль Н.М., Денисов Е.Т., Майзус З.К. Цепные реакции окисления углеводов в жидкой фазе. М.: Наука, 1965. 374 с.

Поступила в редакцию 23 декабря 2018 г.

Принята к публикации 22 января 2019 г.

Для цитирования: Сажина Н.Н., Лапшин П.В., Загоскина Н.В., Пальмина Н.П. Ингибирование окисления липосом фосфатидилхолина фенольными соединениями экстрактов *Aloe*: *A. Arborescens*, *A. Pillansii* и *A. Squarrosa* // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 83–90. DOI: 10.14258/jcprm.2019024885.

Sazhina N.N.^{1*}, Lapshin P.V.², Zagoskina N.V.², Palmira N.P.¹ INHIBITION OF PHOSPHATIDYLCHOLINE LIPOSOMES OXIDATION BY PHENOLIC COMPOUNDS OF ALOE EXTRACTS: *A. ARBORESCENS*, *A. PILLANSII* AND *A. SQUARROSA*

¹ Institute of Biochemical Physics named after NM Emanuel, Russian Academy of Sciences, ul. Kosygina, 4, Moscow, 119334 (Russia), e-mail: Natnik48s@yandex.ru

² Institute of Plant Physiology. K.A. Timiryazev RAN, ul. Botanicheskaya, 35, Moscow, 127276 (Russia)

Various species of the genus *Aloe* which there are in the world more than 500 are considered as important sources of biologically active substances and attract an attention of researchers by numerous manifestations of their biological properties. The most studied and used *Aloe* species are *A. arborescens* and *A. vera*, however some other species show not smaller biological activity, in particular antioxidant, than made mention. In the present work on model of the initiated oxidation of phosphatidylcholine liposomes comparison of the antioxidant activity (AOA) of leaves extracts of *A. arborescens*, *A. pillansii*, *A. squarrosa* and also the total content of their phenolic compounds was carried out. It is established that *A. pillansii* extract has approximately by 12 times higher AOA, than *A. arborescens* extract, and by 4 times, than *A. squarrosa*. The measured values of the total phenolic compounds content showed considerably smaller difference between these extracts. It can demonstrate existence in *A. pillansii* leaves of more difficult antioxidant profile, than in *A. arborescens*, and higher concentration of active phenolic metabolites. Results of this work allow recommending *A. pillansii* for more depth studies of its different biological activities.

Keywords: *Aloe*, oxidation, liposomes, phosphatidylcholine, antioxidants, phenolic compounds.

References

1. Salehi B., Albayrak S., Antolak H., Kręgiel D., Pawlikowska E., Sharifi-Rad M., Uprety Y., Tsouh Fokou P.V., Yousef Z., Amiruddin Zakaria Z., Varoni E.M., Sharopov F., Martins N., Iriti M., Sharifi-Rad J. *International Journal Molecular Sciences*, 2018, vol. 19, p. 2843, DOI: 10.3390/ijms19092843.
2. Sazhina H.H., Lapshin P.V., Zagoskina N.V., Misin V.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2015, no. 2, pp. 169–176, DOI: 10.14258/jcprm.201502527. (in Russ.).
3. McClements D.J. *Nanoparticle- and Microparticle-based delivery systems: Encapsulation, protection and release of active compounds*. CRC Press Taylor and Francis Group. New York, 2014, pp. 548–620.
4. Thomas A.H., Catala A., Vignoni M. *Biochimica and Biophysica Acta*, 2016, vol. 1858, pp. 139–145, DOI: 10.1016/j.bbamem.2015.11.002.
5. Mosca M., Cerlie A., Ambrosone L. *Chemistry and Physics of Lipids*, 2011, vol. 164, pp. 158–165, DOI: 10.1016/j.chemphyslip.2010.12.006.
6. Palmira N.P., Maltseva E.L., Chasovskaya T.E., Kasparov V.V., Bogdanova N.G., Menshov V.A., Trofimov A.V. *Australian Journal of Chemistry*, 2014, vol. 67, pp. 858–866, DOI: 10.1071/CH13663.
7. Altunkaya A., Gokmen V., Skibsted L.H. *Food Chemistry*, 2016, vol. 190, pp. 25–32, DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.63.069.
8. Lokhmatikov A.V., Voskoboynikova N., Cherepanov D.A., Skulachev M.V., Steihoff H.J., Skulachev V.P., Armen Y., Mulkidjanian A.Y. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, vol. 1, pp. 1–19, DOI: 10.1155/2016/8679469.
9. Kuznetsova N., Kandyba A., Vostrov V., Kadykov V., Gaenko G., Vodovozova E. *Journal of Drug Delivery Science Technology*, 2009, vol. 19, no. 1, pp. 51–59, DOI: 10.1016/S1773-2247(09)50007-X.
10. Semenova M.G., Antipova A.S., Misharina T.A., Alinkina E.S., Zelikina D.V., Martirosova E.I., Palmira N.P., Binyukov V.I., Maltseva E.L., Kasparov V.V., Ozerova N.S., Shumilina E.A., Baeva K.A., Bogdanova N.G. *Role of the covalent conjugate (sodium caseinate + maltodextrin) and a plant antioxidant in the protection against oxidation of the composite food ingredients, containing the equimass amount of w-3 and w-6 polyunsaturated fatty acids. Gums and Stabilisers for the Food Industry 18: Hydrocolloid Functionality for Affordable and Sustainable Global Food Solutions*. Cambridge. Publ.: Royal Society of Chemistry, 2016, pp. 182–189.
11. Sazhina N.N., Antipova A.S., Semenova M.G., Palmira N.P. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2019, vol. 45, no. 1, pp. 34–41, DOI: 10.1134/S1068162019010138.
12. Zaprometov M.N. *Fenol'nyye soyedineniya i metody ikh issledovaniya. Biokhimicheskiye metody v fiziologii rasteniy*. [Phenolic compounds and methods for their study. Biochemical methods in plant physiology]. Moscow, 1971, pp. 185–197. (in Russ.).
13. Gutterman Y., Chauser-Volfson E. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2000, vol. 28, no. 9, pp. 825–838.
14. Olennikov D.N., Zilfikarov I.N., Ibragimov T.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 3, pp. 77–82. (in Russ.).
15. Lucinia L., Pellizzonia M., Pellegrinob R., Molinaria G.P., Collac G. *Food Chemistry*, 2015, vol. 170, pp. 501–507, DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.08.034.
16. Olennikov D.N., Zilfikarov I.N., Ibragimov T.A., Toropova A.A., Tankhayeva L.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 3, pp. 83–90. (in Russ.).
17. McPherson P.A.C., Bole A., Cruz K.A., Young I.S., McEneny J. *Chemistry and Physics of Lipids*, 2012, vol. 165, pp. 682–688, DOI: 10.1016/j.chemphyslip.2012.07.004.
18. Derffel' K. *Statistika v analiticheskoy khimii*. [Statistics in analytical chemistry]. Moscow, 1994, 268 p. (in Russ.).
19. Seyoum A., Asres K., El-Fiky F.K. *Phytochemistry*, 2006, vol. 67, pp. 2058–2070, DOI: 10.4236/ns.2018.104014.
20. Hu H., Hu X., Qiuhui H. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, vol. 51, pp. 7788–7791, DOI: 10.1021/jf034255i.

* Corresponding author.

21. Huang D., Ou B., Hampsch-Woodil M., Flanagan J., Prior R. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, vol. 50, pp. 4437–4444, DOI: 10.1021/jf0201529.
22. Lee S., Do S.G., Kim S.Y., Kim J., Jin Y., Lee C.H. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, vol. 60, pp. 11222–11228, DOI: 10.1021/jf3026309.
23. Emanuel' N.M., Denisov Ye.T., Mayzus Z.K. *Tsepnyye reaktsii okisleniya uglevodorodov v zhidkoy faze*. [Chain reactions of oxidation of hydrocarbons in the liquid phase]. Moscow, 1965, 374 p. (in Russ.).

Received December 23, 2018

Accepted January 22, 2019

For citing: Sazhina N.N., Lapshin P.V., Zagoskina N.V., Palmina N.P. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 83–90. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019024885.