

УДК 577.13: 544.02: 633.88

СОСТАВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИПИДОВ ИЗ ЛИСТЬЕВ И СОКА АЛОЭ ДРЕВОВИДНОГО (*ALOE ARBORESCENS* MILL.)

© А.Н. Смирнова, Л.И. Мазалецкая, В.О. Швыдкий*, Л.Н. Шишкина

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, ул. Косыгина, 4,
Москва, 119334 (Россия), e-mail: slavuta58@gmail.com

Изучены состав липидов, выделенных из срединных листьев и сока алоэ древовидного (*Aloe arborescens* Mill.) 7-летнего возраста, и ингибирующая эффективность липидов из листьев этого вида алоэ. Разделение фракций фосфолипидов проводили с помощью метода ТСХ. Количественное соотношение фракций фосфолипидов анализировали спектрофотометрически. Наиболее существенные различия в составе фосфолипидов (ФЛ) из листьев и сока алоэ выявлены в соотношении более трудноокисляемых фракций. Более низкое относительное содержание ФЛ в составе общих липидов из листьев алоэ по сравнению с аналогичным показателем в липидах из сока алоэ при достоверно не различающейся в них долей стеринов обуславливает уменьшение мольного отношения [стерины]/[ФЛ] в составе липидов из сока алоэ на 16%. Показано, что липиды из листьев алоэ характеризуются высокой ингибирующей эффективностью, что следует из определения их антиоксидантных свойств на модели низкотемпературного автоокисления метилолеата в тонком слое. Используя УФ-спектрометрию и математическую обработку УФ-спектров, с помощью метода Гаусса анализировали наличие биологически активных веществ, содержащихся в липидах. В хлороформном растворе липидов из сока алоэ присутствуют только флавоноиды, в то время как в липидах из листьев алоэ, помимо флавоноидов, обнаружено и незначительное содержание каротиноидов.

Ключевые слова: алоэ древовидный, липиды, состав, антиоксидантные свойства, УФ-спектрометрия, биологически активные вещества.

Работа выполнена в рамках гос. задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН ((тема 44.4, гос. №0084-2019-0014).

Введение

Растения рода *Aloe* издавна используются в традиционной медицине. Несколько видов *Aloe* широко используются в качестве источников лекарственного сырья, среди них алоэ древовидное (*Aloe Arborescens* Mill.). Разнообразные терапевтические свойства растений рода *Aloe* связывают с наличием биологически активных веществ (БАВ), главным образом, с присутствием фенольных метаболитов, представленных преимущественно флавоноидами и обладающих антиоксидантными (АО) свойствами [1, 2]. Однако полагают, что набор флавоноидов в растениях разных видов *Aloe* не слишком разнообразен. Так, у *A. Arborescens* среди основных фенольных соединений преобладает алоэнин [3, 4].

Основными субстратами окисления в биологических системах являются фосфолипиды (ФЛ), одни из главных структурных компонентов мембран, играющие важную роль в регуляции метаболизма в биологических системах.

Смирнова Александра Николаевна – аспирант, младший научный сотрудник, e-mail: sanya-bosanya@yandex.ru

Мазалецкая Лидия Ивановна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, e-mail: lim@sky.chph.ras.ru

Швыдкий Вячеслав Олегович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, e-mail: slavuta58@gmail.com

Шишкина Людмила Николаевна – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией, e-mail: shishkina@sky.chph.ras.ru

Необходимо отметить, что флавоноиды образуют комплексы с ФЛ, что приводит к снижению их антиоксидантных свойств [5, 6]. Поэтому адекватная оценка роли антиоксидантных (АО) свойств флавоноидов в проявлении их биологической активности невозможна без данных о составе ФЛ из алоэ. Однако подробный состав липидов *A. Arborescens* не исследовался. Кроме того, в листьях растений рода *Aloe* содержатся раститель-

* Автор, с которым следует вести переписку.

ные стерины [7], роль которых в регуляции окислительных процессов пока исследована слабо. Необходимо иметь в виду, что для любых природных объектов состав липидов и их физико-химические свойства зависят от многих факторов, в том числе и от возраста растения. Существенные различия в содержании БАВ в разных частях листа в зависимости от возраста выявлены и для алоэ древовидного [8].

В связи с изложенным целью настоящей работы – сравнительное исследование состава липидов, выделенных из листьев и сока алоэ древовидного, наличие в них БАВ и ингибирующей эффективности липидов из листьев алоэ.

Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись липиды, выделенные из листьев и сока алоэ древовидного (*A. Arborescens*) семилетнего возраста. Листья срезали в срединной части у комнатных растений, выращиваемых на балконе в Москве. Для биостимуляции субстрата перед извлечением липидов листья алоэ оставляли на 10 суток в темном месте при температуре 4–8 °С (по методу академика В.П. Филатова). Затем после взвешивания листья растирали в ступке, сок выдавливали из листьев с помощью пестика.

Липиды из листьев и сока алоэ извлекали по методу Фолча в модификации Кейтса [9]. Качественный состав ФЛ определяли методом ТСХ, используя силикагель типа Н «Sigma» (USA), стеклянные пластинки размером 90×120 мм и смесь хлороформ : метанол : ледяная уксусная кислота : вода в объемном соотношении 12.5 : 7.5 : 2 : 1 в качестве мобильной фазы [10]. Проявление хроматограмм проводили в парах йода. Количественный анализ состава ФЛ после удаления пятен с пластинки и сжигания до неорганического фосфата (Р) хлорной кислотой проводили на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ (Группа компаний «ЭКРОС», Россия) при длине волны 815 нм по образованию фосфорномолибденового комплекса в присутствии аскорбиновой кислоты. Подробности метода анализа состав ФЛ приведены в работе [11].

Помимо количественного содержания отдельных фракций ФЛ, оценивали также обобщенные показатели состава липидов: доли ФЛ (%) и стеринов (%) в составе общих липидов, отношение сумм более легкоокисляемых и более трудноокисляемых фракций ФЛ ($\Sigma\text{ЛОФЛ}/\Sigma\text{ТОФЛ}$), характеризующее способность липидов к окислению [11]. Последнее вычисляли по формуле $\Sigma\text{ЛОФЛ}/\Sigma\text{ТОФЛ} = (\text{ФИ} + \text{ФС} + \text{ФЭ} + \text{КЛ} + \text{ФК})/(\text{ЛФХ} + \text{СЛ} + \text{ФХ})$, где ФИ – фосфатидилинозит, ФС – фосфатидилсерин, ФЭ – фосфатидилэтаноламин, КЛ – кардиолипин, ФК – фосфатидная кислота, ЛФХ – лизоформы фосфолипидов, СЛ – сфинголипиды, ФХ – фосфатидилхолин. Стерины определяли по методу [12].

УФ-спектры хлороформных растворов липидов регистрировали на спектрофотометре «Shimadzu UV-1700 PharmaSpec» (Shimadzu, Япония) в диапазоне длин волн от 240 до 500 нм. Полученные УФ-спектры подвергали математической обработке по методу Гаусса в программе Excel solver путем минимизации суммы квадратов разности между экспериментальным и расчетным спектрами при условии совпадения контура исходного спектра с расчетным после аппроксимации на уровне $1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-5}$.

АО свойства липидов определяли по их способности тормозить автоокисление метилолеата (RH) в тонком слое при 323 К в диффузионной области, когда концентрация кислорода обусловлена скоростью его диффузии в слой метилолеата. Для этого липиды после отгонки хлороформа растворяли в метилолеате в концентрациях 2.86×10^{-3} моль·л⁻¹ (2 мг/мл). Процесс окисления контролировали по накоплению гидропероксидов (ROOH), концентрацию которых определяли методом йодометрического титрования (ошибка измерения не превышала 5%). За период индукции (τ) принимали время до накопления пероксидов в концентрации 0.03 ммоль/г. Ингибирующую эффективность оценивали по разности величин периодов индукции окисления RH в присутствии и отсутствие добавки ($\Delta\tau$), отнесенной к периоду индукции окисления метилолеата (τ_{RH}).

Экспериментальные данные обрабатывали стандартными статистическими методами, используя программный продукт MS Excel и пакет компьютерных программ KINS [13].

Обсуждение результатов

Обобщенные показатели состава липидов, выделенных из листьев и сока алоэ древовидного, приведены в таблице 1. Сравнительный анализ полученных данных позволяет сделать следующие заключения.

Как содержание субстратов окисления (%ФЛ), так и способность липидов к окислению ($\Sigma\text{ЛОФЛ}/\Sigma\text{ТОФЛ}$) в липидах из сока алоэ достоверно выше, чем аналогичные показатели состава липидов из листьев алоэ. Практически одинаковая доля стеринов в составе общих липидов при меньшей доле ФЛ в

составе общих липидов из листьев алоэ обуславливает незначительное возрастание мольного отношения [стерины]/[ФЛ] у липидов из листьев алоэ по сравнению с аналогичным показателем у липидов из сока алоэ, что свидетельствует о большей структурированности мембранной системы липидов из листьев алоэ.

Несмотря на то, что обобщенные показатели состава липидов из листьев и сока алоэ различаются не столь значительно, в количественном соотношении фракций ФЛ выявлены существенные различия. Это четко следует из данных, представленных в таблице 2.

Сравнительный анализ результатов, представленных в таблице 2, показывает, что наиболее существенные различия в относительном содержании фракций ФЛ при выделении липидов из листьев и сока алоэ наблюдаются среди более трудноокисляемых фракций. Так, доля лизоформ ФЛ в 2 раза выше, а доля СЛ в 2.4 раза ниже в составе ФЛ из листьев алоэ по сравнению с аналогичными показателями в ФЛ из сока алоэ. При этом относительное содержание более легкоокисляемых фракций ФЛ в липидах и листьях и сока алоэ достоверно не различаются. Минимальное содержание в ФЛ из листьев алоэ выявлено для СЛ и ФЭ, а в ФЛ из сока алоэ – для ФЭ (табл. 2). В целом, распределение количественного соотношения фракций ФЛ из сока алоэ древесного более равномерно, чем в ФЛ из цельных листьев. Высокая доля лизоформ ФЛ, обладающих выраженным литическим действием на биологические мембраны [14], в липидах из листьев алоэ позволяет предположить более значительное воздействие листьев алоэ на структурное состояние мембран при их практическом применении, чем при использовании сока алоэ.

Для обнаружения БАВ, извлекаемых из растительных объектов вместе с липидами в процессе их выделения, в работе использовали УФ-спектрофотометрию с разложением УФ-спектров по методу Гаусса. Как известно, использование при этом хлороформа в качестве растворителя позволяет выявить наличие в пробе компонентов, характеризующихся максимумами полос поглощения в области $\lambda > 240$ нм. Необходимо отметить, что обычно экстракцию растительного сырья преимущественно осуществляют полярными элюентами, что обуславливает выявление существенных различий как количественного соотношения фракций ФЛ, так и наличия в них БАВ [15]. Хлороформные растворы липидов из листьев алоэ были прозрачными, однако имели насыщенную зеленую окраску. При этом хлороформный раствор липидов из сока алоэ был светлого желто-зеленого цвета. УФ-спектры липидов из листьев и сока алоэ древесного и их гауссианы приведены на рисунках 1 и 2.

Сравнительный анализ УФ-спектров, представленных на рисунках 1 и 2, позволяет заключить, что хлороформные растворы липидов из листьев и сока алоэ характеризуются неодинаковым набором БАВ, что следует из различия ряда величин максимумов полос поглощения в диапазоне длин волн от 250 нм до 380 нм и отсутствием БАВ, имеющих полосы поглощения при $\lambda > 370$ нм в хлороформных растворах липидов из сока алоэ. Первая область полос поглощения характерна для УФ-спектров флавоноидов [15, 16], а полосы поглощения в области $\lambda > 400$ нм характерны для растворов каротиноидов в хлороформе [17], незначительное количество которых обнаружено в липидах из листьев алоэ (рис. 1).

Таблица 1. Обобщенные показатели состава липидов, выделенных из листьев и сока *A. Arborescens* (возраст 7 лет)

Объект выделения липидов	Доля фосфолипидов в составе общих липидов, %	Σ ЛОФЛ/ Σ ТОФЛ	Доля стерина в составе общих липидов, %	[стерины]/[ФЛ], М/М
Листья алоэ	9.9±0.7 (n*=7)	1.070±0.050 (n=5)	19.2	2.9
Сок алоэ	11.5±0.3 (n=7)	1.38±0.07 (n=5)	18.9	2.5

*Примечание: n – число измерений.

Таблица 2. Состав фосфолипидов в липидах, выделенных из листьев и сока алоэ *A. Arborescens* (возраст 7 лет)

Фракция (%P)	Листья алоэ (n*=5)	Сок алоэ (n=5)
ЛФХ	20.6±1.9	10.0±1.0
СЛ	7.54±0.26	17.9±2.1
ФХ	20.3±2.1	14.2±0.8
ФИ	22.5±0.8	14.35±0.28
ФС	9.5±1.4	10.4±2.1
ФЭ	19.6±0.7	9.9±0.2
КЛ		12.6±0.2
ФК		10.60±0.95

* Примечание: n – число хроматографических дорожек.

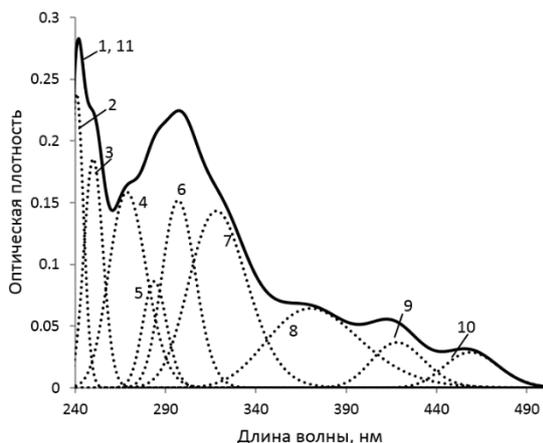


Рис. 1. УФ-спектр хлороформного раствора липидов, выделенных из листьев *A. Arborescens* (возраст 7 лет) и их гауссианы: 1, 11 – исходный и расчетный спектры; 2 – 240.8 нм; 3 – 250.0 нм; 4 – 268.6 нм; 5 – 283.9 нм; 6 – 297.0 нм; 7 – 318.3 нм; 8 – 370.4 нм; 9 – 418.1 нм; 10 – 458.8 нм. Концентрация липидов 2.62×10^{-5} М

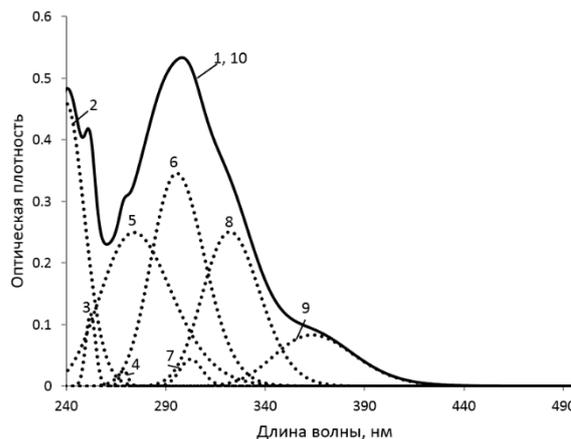


Рис. 2. УФ-спектр хлороформного раствора липидов, выделенных из сока *A. Arborescens* (возраст 7 лет), и их гауссианы: 1, 10 – исходный и расчетный спектры; 2 – 240.0; 3 – 252.2; 4 – 268.8; 5 – 274.0; 6 – 295.6; 7 – 302.6; 8 – 322.3; 9 – 363.8. Концентрация липидов 2.38×10^{-5} М

Для определения АО свойств липидов из листьев алоэ древовидного была использована модель автоокисления метилолеата в тонком слое как наиболее адекватная для оценки ингибирующей эффективности БАВ в биологических системах [18]. Кинетика накопления пероксидов при окислении метилолеата в присутствии липидов из листьев алоэ приведена на рисунке 3.

Из полученных данных следует, что липиды из листьев алоэ древовидного 7-летнего возраста обладают высокой ингибирующей эффективностью: $\Delta t/\tau_{RH} = 9$, которая существенно превышает аналогичные значения для липидов из цветков календулы лекарственной и плодов облепихи крушиновидной [15]. Возможно, это обусловлено как неодинаковой способностью флавоноидов разного строения к образованию комплексов с ФЛ, так и составом ФЛ растительного сырья.

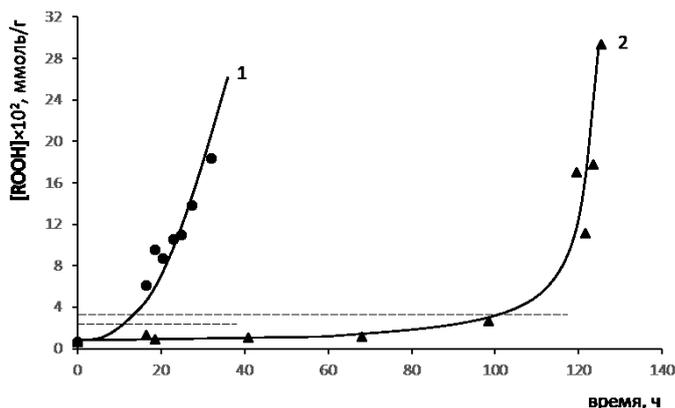


Рис. 3. Кинетические кривые накопления пероксидов при автоокислении метилолеата в тонком слое при 323 К: 1 – без добавки, 2 – в присутствии 2 мг/мл липидов из листьев алоэ древовидного. Пунктирными линиями обозначен интервал точности анализа пероксидов при определении периода индукции

Выводы

1. Определен количественный состав липидов и соотношение в них фракций фосфолипидов в липидах из листьев и сока алоэ древовидного (возраст 7 лет).
2. Показано, что в липидах из сока алоэ доля фосфолипидов и соотношение сумм более легкоокисляемых и более трудноокисляемых фракций фосфолипидов выше, а мольное отношение [стерины]/[фосфолипиды] на 16% меньше, чем в липидах из листьев алоэ.

3. В количественном составе фосфолипидов наиболее выраженные различия в составе фосфолипидов из листьев и сока алоэ выявлены среди более трудноокисляемых фракций.

4. Математическая обработка УФ-спектров хлороформных растворов липидов выявила наличие флавоноидов и каротиноидов в липидах из листьев и только флавоноидов в липидах из сока алоэ.

5. Показана высокая ингибирующая эффективность липидов из листьев алоэ при низкотемпературном автоокислении метилолеата в тонком слое.

Список литературы

1. 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.
2. Сажина Н.Н., Лапшин П.В., Загоскина Н.В., Пальмина Н.П. Ингибирование окисления липосом фосфатидилхолина фенольными соединениями экстрактов Алоэ: *A. arborescens*, *A. pillansii* и *A. squarrosa* // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 83–90.
3. Оленников Д.Н., Зилфикаров И.Н., Ибрагимов Т.А., Торопова А.А., Танхаева Н.Л. Химический состав сока алоэ древовидного (*Aloe arborescens* Mill.) и его антиоксидантная активность (in vitro) // Химия растительного сырья. 2010. №3. С. 83–90.
4. Lucini L., Pellizzoni M., Pellegrino R., Molinari G.P., Colla G. Phytochemical constituents and in vitro radical scavenging activity of different *Aloe species* // Food Chem. 2015. Vol. 170. Pp. 501–507.
5. Xu K., Liu B., Ma Y., Du J., Li G., Gao H., Zhang W., Ning G. Physicochemical properties and antioxidant activity of luteolin-phospholipid complex // Molecules. 2009. Vol. 14. Pp. 3486–3493.
6. Mazaletskaya L.I., Sheludchenko N.I., Shishkina L.N. Lecithin influence on the effectiveness of the antioxidant effect of flavonoids and α -tocopherol // Applied Biochemistry and Microbiology. 2010. Vol. 46. N2. Pp. 135–139.
7. Cock I.E. The Genus Aloe: Phytochemistry and Therapeutic Uses Including Treatments for Gastrointestinal Conditions and Chronic Inflammation // Novel Natural Products: Therapeutic Effects in Pain, Arthritis and Gastro-intestinal Diseases. Progress in Drug Research. Basel: Springer, 2015. Vol. 70.
8. Оленников Д.Н., Зилфикаров И.Н., Ибрагимов Т.А. Исследование химического состава алоэ древовидного (*Aloe arborescens* Mill.) // Химия растительного сырья. 2010. №3. С. 77–82.
9. Кейтс М. Техника липидологии. М., 1975. 322 с.
10. Биологические мембраны: методы / под ред. Дж.Б.С. Финдлея, В.Х. Эванза. М., 1990. 423 с.
11. Shishkina L.N., Kushnireva Ye.V., Smotryaeva M.A. The combined effect of surfactant and acute irradiation at low dose on lipid peroxidation in tissues and DNA content in blood plasma of mice // Oxidation Commun. 2001. Vol. 24. N2. Pp. 276–286.
12. Sperry W.M., Webb M. A revision of the schoenheimer-sperry method for cholesterol determination // J. Biol. Chem. 1950. Vol. 187. Pp. 97–106.
13. Брин Э.Ф., Травин С.О. Моделирование механизмов химических реакций // Химическая физика. 1991. Т. 10. №6. С. 830–837.
14. Геннис Р. Биомембраны: молекулярная структура и функции. М., 1997. 624 с.
15. Шишкина Л.Н., Мазалецкая Л.И., Смирнова А.Н., Швыдкий В.О. Ингибирующая эффективность липидного компонента растительных объектов в зависимости от полярности элюента // Биофизика. 2021. Т. 66. №3. С. 482–488.
16. Тарховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрасилов Б.С., Музафаров Е.Н. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. Пушино, 2013. 310 с.
17. Курегян А.Г. Спектрофотометрия в анализе каротиноидов // Фундаментальные исследования. 2015. №2-23. С. 5166–5172.
18. Shishkina LN., Kozlov M.V., Mazaletskaya L.I., Povkh A.Yu., Shvydkiy V.O., Sheludchenko N.I. Regulatory System of Lipid Peroxidation as a Basis for Ecological Testing // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2020. Vol. 14. N3. Pp. 498–503.

Поступила в редакцию 25 июня 2021 г.

После переработки 14 августа 2021 г.

Принята к публикации 20 августа 2021 г.

Для цитирования: Смирнова А.Н., Мазалецкая Л.И., Швыдкий В.О., Шишкина Л.Н. Состав и физико-химические свойства липидов из листьев и сока алоэ древовидного (*Aloe Arborescens* Mill.) // Химия растительного сырья. 2021. №4. С. 193–198. DOI: 10.14258/jcrpm.2021049745.

Smirnova A.N., Mazaletskaia L.I., Shvydkiy V.O.*, Shishkina L.N. INHIBITORY EFFICIENCY AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF LIPIDS FROM LEAVES AND JUICE OF *ALOE ARBORESCENS* Mill.

Emanuel Institute of Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences, ul. Kosygina, 4, Moscow, 119334 (Russia), e-mail:slavuta58@gmail.com

The composition of lipids isolated from leaves and juice of *A. arborescens* (7 years ago) and the inhibitory efficiency of lipids from leaves of *A. arborescens* were studied. The phospholipid (PL) fractions were divided by means of TLC method. The quantitative proportion of PL fractions was determined by spectrophotometrically. The more substantial differences in the composition of PL from leaves and juice of *A. arborescens* are revealed in the proportion of the more poorly oxidizable fractions of PL. The more low relative content of PL in the total lipid composition from leaves compared with than in lipids from juice, and shares of sterols are the same for lipids from leaves and juice cause 16% diminution of the molar ratio of [sterols]/[PL] in lipids from juice of *A. arborescens*. Lipids from leaves are known to characterize the high inhibitory efficiency that is demonstrated by model of the low temperature autooxidation of methyl oleate in the thin layer. Using UV-spectroscopy and the mathematic analysis of spectra by Gauss method the presence of the biologically active substances which contain in lipids was analysed. There are only flavonoids in the chloroform solution of lipids from juice and flavonoids and carotenoids in the small quantity in the chloroform solution of lipids from the leaves of *A. arborescens*.

Keywords: aloe tree, lipids, ingredients, antioxidant properties, UV spectrometry, biologically active substances.

References

1. Sazhina N.N., Lapshin P.V., Zagoskina N.V., Misin V.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2015, no. 2, pp. 169–176. (in Russ.).
2. Sazhina N.N., Lapshin P.V., Zagoskina N.V., Pal'mina N.P. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 83–90. (in Russ.).
3. Olennikov D.N., Zilfikarov I.N., Ibragimov T.A., Toropova A.A., Tankhayeva N.L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 3, pp. 83–90. (in Russ.).
4. Lucini L., Pellizzoni M., Pellegrino R., Molinari G.P., Colla G. *Food Chem.*, 2015, vol. 170, pp. 501–507.
5. Xu K., Liu B., Ma Y., Du J., Li G., Gao H., Zhang W., Ning G. *Molecules*, 2009, vol. 14, pp. 3486–3493.
6. Mazaletskaia L.I., Sheludchenko N.I., Shishkina L.N. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2010, vol. 46, no. 2, pp. 135–139.
7. Cock I.E. *Novel Natural Products: Therapeutic Effects in Pain, Arthritis and Gastro-intestinal Diseases. Progress in Drug Research*. Basel: Springer, 2015, vol. 70.
8. Olennikov D.N., Zilfikarov I.N., Ibragimov T.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 3, pp. 77–82. (in Russ.).
9. Keyts M. *Tekhnika lipidologii*. [Technique of lipidology]. Moscow, 1975, 322 p. (in Russ.).
10. *Biologicheskiye membrany: metody* [Biological membranes: methods], ed. Dzh.B.S. Findlay, V.Kh. Evans. Moscow, 1990, 423 p. (in Russ.).
11. Shishkina L.N., Kushnireva Ye.V., Smotryaeva M.A. *Oxidation Commun*, 2001, vol. 24, no. 2, pp. 276–286.
12. Sperry W.M., Webb M. *J. Biol. Chem.*, 1950, vol. 187, pp. 97–106.
13. Brin E.F., Travin S.O. *Khimicheskaya fizika*, 1991, vol. 10, no. 6, pp. 830–837. (in Russ.).
14. Gennis R. *Biomembrany: molekulyarnaya struktura i funktsii*. [Biomembranes: molecular structure and functions]. Moscow, 1997, 624 p. (in Russ.).
15. Shishkina L.N., Mazaletskaia L.I., Smirnova A.N., Shvydkiy V.O. *Biofizika*, 2021, vol. 66, no. 3, pp. 482–488. (in Russ.).
16. Tarkhovskiy Yu.S., Kim Yu.A., Abdrasilov B.S., Muzafarov Ye.N. *Flavonoidy: biokhimiya, biofizika, meditsina*. [Flavonoids: biochemistry, biophysics, medicine]. Pushchino, 2013, 310 p. (in Russ.).
17. Kuregyan A.G. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2015, no. 2-23, pp. 5166–5172. (in Russ.).
18. Shishkina L.N., Kozlov M.V., Mazaletskaia L.I., Povkh A.Yu., Shvydkiy V.O., Sheludchenko N.I. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2020, vol. 14, no. 3, pp. 498–503.

Received June 25, 2021

Revised August 14, 2021

Accepted August 20, 2021

For citing: Smirnova A.N., Mazaletskaia L.I., Shvydkiy V.O., Shishkina L.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 4, pp. 193–198. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021049745.

* Corresponding author.