

МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА *ALOE*

П.В. Лапшин

к.б.н., ст. науч. сотрудник, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (Москва)

E-mail: p.lapshin@mail.ru

Л.В. Назаренко

к.б.н., доцент, Московский городской педагогический университет

E-mail: nlv.mgpu@mail.ru

Н.В. Загоскина

д.б.н., профессор, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (Москва)

E-mail: biophenol@gmail.com

Исследованы морфофизиологические показатели нескольких видов рода *Aloe*, выращиваемых в условиях оранжереи, и содержание в их листьях таких представителей фенольных соединений, как фенилпропаноиды и флавоноиды. Установлено, что различия в накоплении флавоноидов в листьях этих растений выражены в большей степени по сравнению с накоплением фенилпропаноидов.

Ключевые слова: алоэ, листья, флавоноиды, фенилпропаноиды.

Одним из активно развивающихся направлений современной науки является изучение фармацевтически ценных растений, в том числе таких «традиционных» их представителей, как различные виды алоэ, родиной которых является Южная Африка [1]. К роду алоэ (*Aloe*) подсемейства асфodelовые (*Asphodelaceae*) семейства ксанторреевые (*Xanthorrhoeaceae*) отнесено более 500 видов суккулентных растений [2]. В традиционной систематике этот род выделяли в своё собственное семейство – алоевые или алойные (*Aloaceae*), а иногда причисляли к семейству лилейные (*Liliaceae*) [3].

В последние годы все более успешно осуществляется выращивание различных видов алоэ в условиях оранжерей [4, 5]. Это обусловлено их декоративностью и использованием в лечебных целях. Показано, что препараты из алоэ (экстракты, мази, гели), проявляют иммуномодулирующие, противомикробные, противовоспалительные и ранозаживляющие свойства [6, 7].

Самыми известными и популярными видами рода *Aloe* являются алоэ древовидное (*A. arborescens* Mill.) и алоэ настоящее (*A. vera* L. Burm.f.), которые успешно применяют для получения препаратов с широким спектром действия [8]. Исследован состав и содержание различных биологически активных соединений сырья *A. arborescens*

(сухие листья, свежие листья и побеги) [9]. В настоящее время большое внимание уделяется *A. vera*, компоненты которого проявляют антирадикальную и противомикробную активность [7]. Сообщалось и о других представителях рода алоэ, в частности для *A. ferox*, используемом как общее профилактическое и противоопухолевое средство в народной медицине, показано антиоксидантное, противомикробное, противовоспалительное и противомаларийное действие [10].

Важными метаболитами алоэ являются фенольные соединения, обуславливающие многие их фармакологические свойства и биологическую активность [8, 9]. Эти представители вторичных метаболитов образуются практически во всех растительных клетках. Известно их участие в самых разнообразных физиологических процессах: фотосинтезе, дыхании, формировании клеточных стенок, защите от проникновения патогенов, действию низких температур, поллютантов и др. [11, 12]. Им также отводится важная роль в системе защиты клеток от действия активных форм кислорода [13]. Согласно литературным данным, состав фенольного комплекса листьев алоэ, как наиболее важного сырья для фармацевтической промышленности, разнообразен и зависит от условий произрастания растений [14].

Цель работы – изучение морфофизиологических характеристик и содержания различных классов фенольных соединений, включая фенилпропаноиды и флавоноиды, у нескольких видов рода *Aloe*, выращиваемых в условиях оранжереи.

Данный подход позволит не только сравнить их способность к накоплению вторичных метаболитов, которым отводится важная роль в поддержании жизнеспособности растений, особенно в неблагоприятные периоды для их роста, но и рекомендовать для использования в фармацевтической промышленности другие виды алоэ с высоким уровнем содержания этих веществ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования были выбраны пять видов алоэ – *A. arborescens* Mill. (алоэ древовидное), *A. bakeri* Scott-Elliot. (алоэ Бейкера), *A. vera* (L.) Burm. F. (алоэ настоящее), *A. pillansii* L. Guthrie (алоэ Пиланса) и *A. spinosissima* A. Berger (алоэ колючейшее). Растения выращивали методом горшечной культуры при естественном освещении в условиях оранжереи в коллекции суккулентов Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (Москва). Во время проведения работы (зима) температурный режим в оранжерее был +17–22 °С днем и +10–12 °С ночью. Для исследования использовали свежесрезанные взрослые (1–1,5-годичные) листья растений.

Морфофизиологическое состояние растений оценивали по таким параметрам, как их высота, а также длина и ширина листьев.

Содержание воды в растительных тканях определяли после их высушивания до постоянной массы при +70 °С.

Фенольные соединения извлекали из листьев алоэ 96%-ным этанолом при 45 °С в течение 45 мин [15]. Этанольные экстракты, полученные после центрифугирования гомогената (13000 г, 10 мин), использовали для спектрофотометрического определения различных классов фенольных соединений. Содержание флавоноидов определяли с использованием 1%-ного водного раствора хлористого алюминия при 415 нм, а содержание фенилпропаноидов – методом прямого спектрофотометрирования экстрактов при 330 нм [15, 16]. Содержание флавоноидов выражали в миллиграмм-эквивалентах рутина на один грамм сырой массы, а содержание фенилпропаноидов – в миллиграмм-эквивалентах кофейной кислоты на один грамм сырой массы.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Statistica for Windows и графопостроителя Microsoft Office Excel 2007. В экспериментах использовали 3–5-кратную биологическую (на основе анализа листьев с разных растений каждого вида алоэ) и в каждом случае 3-кратную аналитическую повторяемость измерений. В таблицах и на рисунках представлены средние арифметические значения определений и их стандартные отклонения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Род *Aloe* объединяет многолетние листовые травянистые, кустарниковые или древовидные суккуленты с толстыми мясистыми листьями, собранными в густые розетки и расположенными в них по спирали [1]. Края листьев могут быть гладкими или зубчатыми, с острыми или мягкими «шипами» [17].

Исследованные виды алоэ отличались по морфофизиологическим характеристикам (рис. 1). Наиболее высокими были растения *A. pillansii*, а самыми низкими – *A. bakeri* (таблица). Другие виды были ниже *A. pillansii* на 30–35%.

Для всех растений алоэ характерно формирование «толстых» листьев, которые с верхней стороны – вогнуты, а с нижней – выпуклы (рис. 2). Они имеют восковой налет, мечевидную форму и шиповато-зубчатый край. У *A. arborescens*, *A. pillansii* и *A. spinosissima* цвет листьев зеленовато-бурый, а в случае *A. vera* и *A. bakeri* – буровато-коричневый. Вид *A. vera*, который в настоящее время привлекает внимание многих исследователей, значительно отличается от других исследованных видов очень коротким стволом и почти вертикальным расположением листьев, что является его характерной особенностью [7].

Были проанализированы размеры листьев алоэ, физиологическое состояние которых имеет большое значение для продуктивности растений (таблица). Наибольшая ширина листовой пластинки оказалась у *A. pillansii*. У *A. vera* этот показатель был в 2 раза меньше. Еще более низкие значения отмечены у остальных видов алоэ. Наибольшие и практически равные значения длины листьев были у *A. vera*, *A. pillansii* и *A. spinosissima*, чуть меньше – у *A. arborescens* и самые низкие – у *A. bakeri*. Следствием этих различий являлись отличия в площади листьев, которая была самой большой у *A. pillansii* и почти вдвое меньше у *A. vera*.

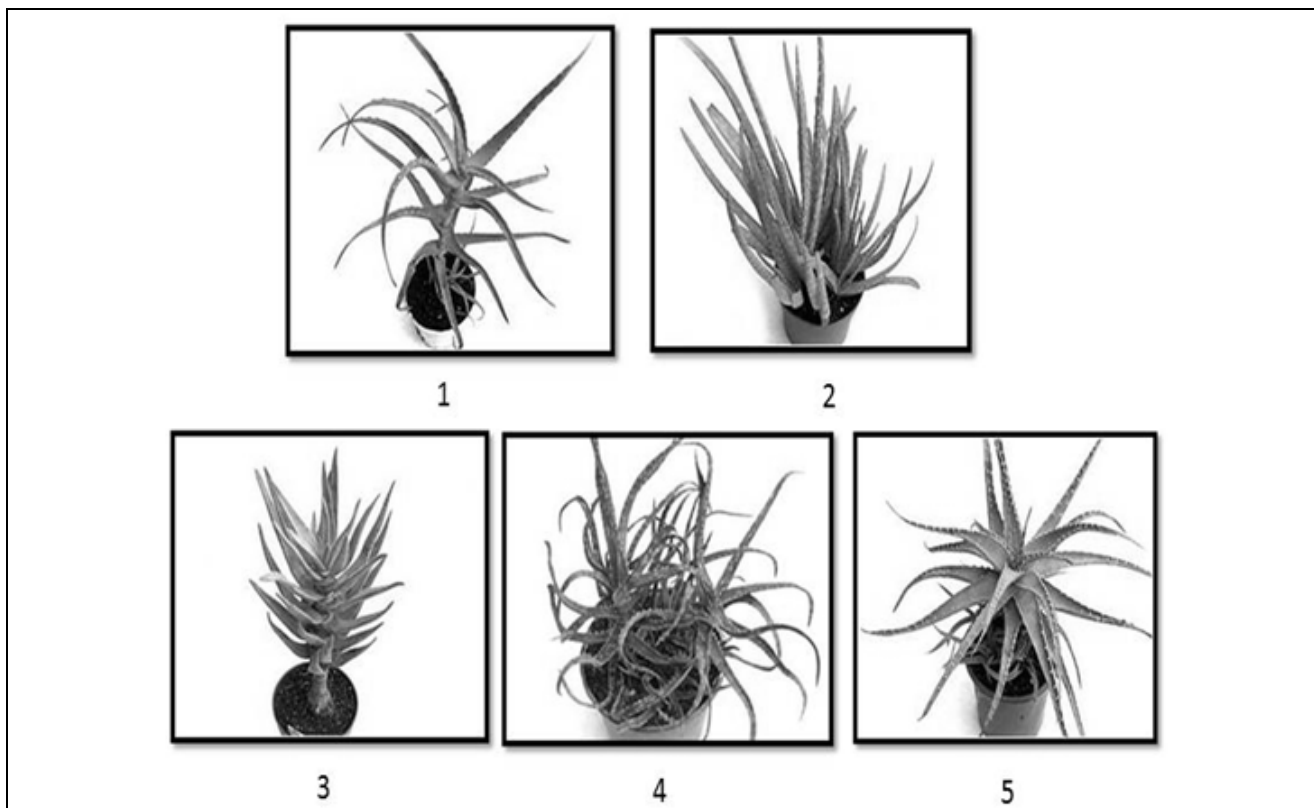


Рис. 1. Внешний вид растений алоэ из коллекции суккулентов ИФР РАН: 1 – *A. arborescens*; 2 – *A. vera*; 3 – *A. pillansii*; 4 – *A. bakeri*; 5 – *A. spinosissima*

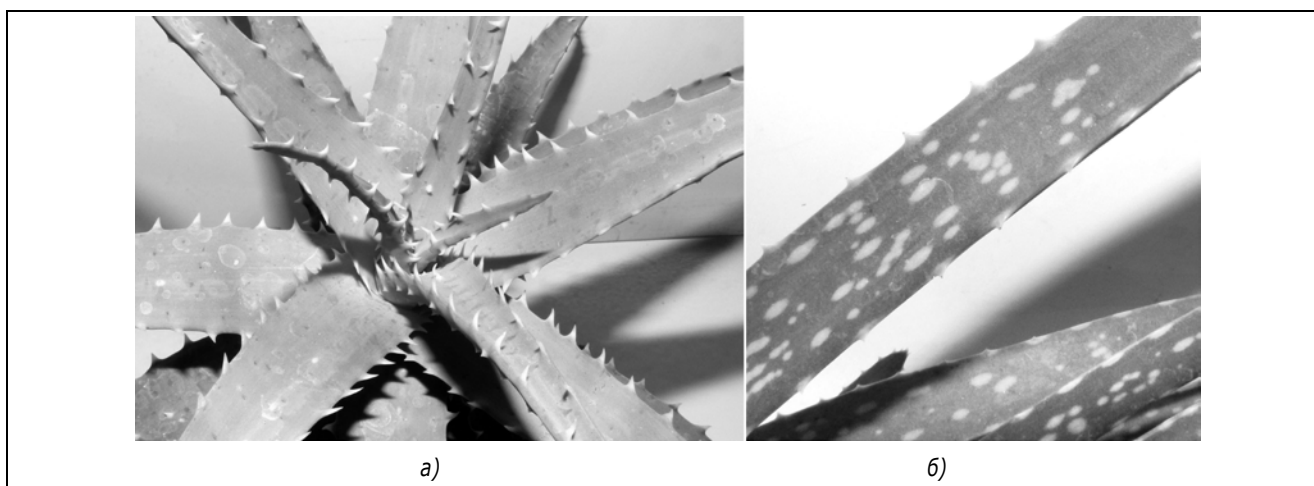


Рис. 2. Листья растений алоэ: а – *A. arborescens*; б – *A. vera*

Таблица. Морфофизиологические характеристики различных видов алоэ

Показатель	<i>A. arborescens</i>	<i>A. vera</i>	<i>A. pillansii</i>	<i>A. bakeri</i>	<i>A. spinosissima</i>
Высота растения, см	21,3±2,5	20,3±2,8	29,1±1,9	19,5±2,1	20,8±2,4
Ширина листовой пластинки, см	1,5±0,3	2,8±0,4	5,1±0,6	1,1±0,2	1,5±0,5
Длина листовой пластинки, см	13,8±1,5	15,1±1,8	15,3±1,7	8,4±0,9	15,2±1,3
Площадь листовой пластинки, см ²	20,7±0,45	42,28±0,72	78,03±1,02	9,24±0,18	22,8±0,65
Содержание воды, %	97,33±5,75	97,33±6,41	91,8±4,93	86,8±4,12	94,5±5,17

Еще более низкие и практически равные показатели были у *A. arborescens* и *A. spinosissima*, а наименьшие – у *A. bakeri*.

Физиологическое состояние растений (особенно суккулентного типа) определяется содержанием воды в их тканях. Наибольшая и практически равная оводненность характерна для листьев *A. arborescens* и *A. vera*, и эти значения были близки к таковым других авторов [3]. Самое низкое содержание воды наблюдалось у *A. pillansii*.

Полученные результаты свидетельствуют об отличиях в морфофизиологических характеристиках исследованных видов алоэ, что согласуется с литературными данными [17, 18]. Возможно, что эти различия в физиологическом состоянии растений алоэ, выращиваемых в условиях оранжереи в зимний период времени, для которого характерен низкий уровень освещения и короткий день, были даже более выражены, чем в летний период их роста.

В листьях растений рода *Aloe* содержится много биологически активных веществ, к числу которых относятся и фенольные соединения [8, 9]. Достаточно часто основными компонентами фенольного комплекса листьев растений являются флавоноиды, накопление которых в определенной степени обусловлено функционированием хлоропластов – основного места их биосинтеза [11, 12]. Как свидетельствуют полученные данные, наибольшее содержание флавоноидов отмечено в листьях *A. spinosissima* (рис. 3,а). У *A. bakeri* оно было почти вдвое ниже. У наиболее популярных представителей алоэ *A. arborescens* и *A. vera* количество флавоноидов было практически одинаковым и почти в 10 раз ниже, по сравнению с *A. spinosissima*. Самый низкий уровень этих метаболитов отмечен в листьях *A. pillansii*. Все это свидетельствует о значительных различиях в накоплении флавоноидов у представителей рода *Aloe*, что может быть следствием низкой эффективности процесса фотосинтеза в зимний период роста растений в оранжерее [19].

Большой интерес представляло также исследование накопления фенолпропаноидов – биогенетически ранних представителей фенольного метаболизма [11, 12]. Как следует из полученных данных, их содержание было практически одинаковым в листьях *A. arborescens*, *A. pillansii* и *A. spinosissima*, у *A. bakeri* – почти вдвое ниже, а самым низким – у *A. vera*. (рис. 3,б). Однако различия в накоплении фенолпропаноидов в листьях алоэ были выражены в меньшей степени по сравнению с накоплением флавоноидов. Возможно, это связано с тем, что фенолпропаноиды могут либо накапливаться в тканях растений, либо являться предшественниками для биосинтеза других соединений фенольной природы [11].

Следует отметить различную способность растений алоэ к накоплению фенольных соединений, включая фенолпропаноиды и флавоноиды. Высокий уровень этих веществ выявлен в листьях *A. spinosissima* и *A. bakeri*, что свидетельствует об активности как фенолпропаноидного, так и флавоноидного путей фенольного метаболизма. В определенной степени эта тенденция проявлялась у *A. vera*, хотя и в значительно меньшей степени. Однако для традиционного представителя алоэ – *A. arborescens*, у которого количество флавоноидов в листьях было невелико по сравнению с дру-

нению с накоплением флавоноидов. Возможно, это связано с тем, что фенолпропаноиды могут либо накапливаться в тканях растений, либо являться предшественниками для биосинтеза других соединений фенольной природы [11].

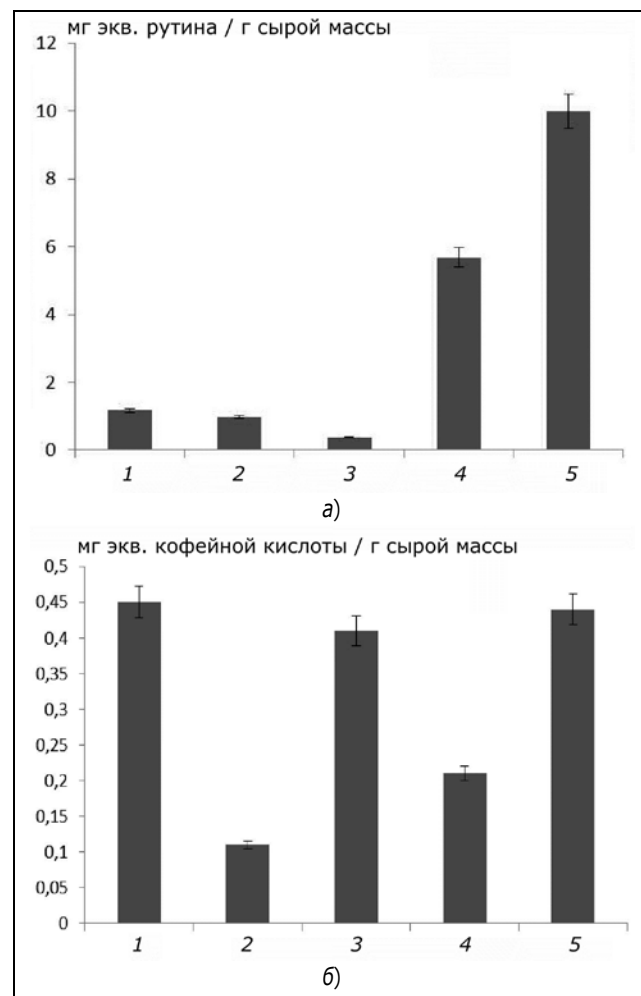


Рис. 3. Содержание флавоноидов (а) и фенолпропаноидов (б) в листьях различных видов алоэ: 1 – *A. arborescens*; 2 – *A. vera*; 3 – *A. pillansii*; 4 – *A. bakeri*; 5 – *A. spinosissima*

гими видами (в отличие от содержания фенилпропаноидов), возможна более высокая эффективность фенилпропаноидного пути биосинтеза, чем флавоноидного. Аналогичная тенденция прослеживалась и у *A. pillansii*. Все это указывает на отличия в путях биосинтеза фенольных соединений у различных представителей алоэ.

ВЫВОДЫ

Среди изученных представителей рода *Aloe* выявлены: два вида, наиболее значимых с точки зрения содержания флавоноидов – *A. bakeri* и *A. spinosissima*; два вида, наиболее значимых с точки зрения содержания фенилпропаноидов – *A. spinosissima* и *A. pillansii*. Они могут оказаться не менее перспективными в фармации и медицине источниками биологически активных соединений, чем широко используемые в настоящее время такие виды алоэ, как *A. vera* и *A. arborescens*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Удалова Р. Алоэ, агавы. Сер. Растения в доме. СПб: Терция. 2003. 61 с.
2. Егорова Т.В. Семейство асфodelовые (*Asphodelaceae*) // Жизнь растений. В 6-ти томах. / Под ред. А.Л. Тахтаджян. М.: Просвещение. 1981. Т. 6. Цветковые растения. С. 127–148.
3. Monson R.K. On the evolutionary pathways resulting in C4 photosynthesis and Crassulacean acid metabolism (CAM) // *Advances in Ecological Research*. 1989. № 19. P. 57–110.
4. Корнева В.В. Создание экспозиции суккулентов для демонстрационных и учебных целей // Самарская Лука: Бул. 2007. V. 16. № 1–2(19–20). С. 245–259.
5. Лапшин П.В. Скромное Алоэ // Садовник. 2007. Т. 8. № 31. С. 60–63.
6. Ali M.I., Shalaby N.M., Elgamal M.H., Mousa A.S. Antifungal effects of different plant extracts and their major components of selected *Aloe* species // *Phytotherapy Research*. 1999. V. 13. № 5. P. 401–407.
7. Christaki E.V., Florou-Paneri P.C. *Aloe vera*: A plant for many uses // *J. Food, Agriculture and Environment*. 2010. V. 8. № 2. P. 245–249.
8. Куркин В.А. Фармакогнозия: Учеб. для студентов фармацевтических вузов (факультетов). Изд. 2-е, перераб. и доп. Самара: ООО «Офорт», ГОУ ВПО «СамГМУ Росздрава». 2007. 859 с.
9. Оленников Д.Н., Зилфикаров И.Н., Ибрагимов Т.А. и др. Химический состав сока алоэ древовидного (*Aloe arborescens* Mill.) и его антиоксидантная активность (*in vitro*) // *Химия растительного сырья*. 2010. № 3. P. 83–90.
10. Cock I.E. Problems of reproducibility and efficacy of bioassays using crude extracts, with reference to *Aloe vera* // *Pharmacogn Commun*. 2011. V. 1. № 1. P. 52–62.
11. Запрометов М.Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях. М.: Наука. 1993. 272 с.
12. Cheynier V., Comte G., Davis K.M., et al. Plant phenolics: Recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2013. № 72. P. 1–20.
13. Глыбина А.А., Загоскина Н.В., Лапшин П.В., Назаренко Л.В. Растения рода *Anacampseros* и их реакция на действие ксенобиотика // *Вестник Московского городского педагогического университета. Сер. Естественные науки*. 2013. № 2. P. 44–56.
14. Верпу Н., Kawai K., Shimpo K., et al. Studies on the components of *Aloe arborescens* from Japan – monthly variation and differences due to part and position of the leaf // *Biochem. Syst. Ecol*. 2004. № 32. P. 783–795.
15. Олениченко Н.А., Загоскина Н.В. Ответная реакция озимой пшеницы на действие низких температур: образование фенольных соединений и активность L-фенилаланинамиак-лигазы // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2005. № 41. С. 600–603.
16. Куркин В.А., Вельямкина Е.И. Разработка методик качественного и количественного анализа сиропа эхинацеи пурпурной // *Фармация*. 2011. № 7. С. 10–13.
17. Куркин В.А., Шмыгарева А.А., Саньков А.Н., Витвина С.Н. Сравнительное морфолого-анатомическое исследование Алоэ древовидного и Алоэ пестрого // *Медицинский альманах*. 2016. Т. 2. № 42. С. 147–149.
18. López A., Suárez de Tangil M., Vega-Orellana O., et al. Phenolic constituents, antioxidant and preliminary antimycoplasmic activities of leaf skin and flowers of *Aloe vera* (L.) Burm. f. (syn. *A. barbadensis* Mill.) from the Canary Islands (Spain) // *Molecules*. 2013. № 18. P. 4942–4954.
19. Запрометов М.Н., Загоскина Н.В. Еще об одном доказательстве участия хлоропластов в биосинтезе фенольных соединений // *Физиология растений*. 1987. № 34. С. 165–172.

Поступила после доработки 13 июня 2017 г.

THE MORPHO-PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND ACCUMULATION OF PHENOLIC COMPOUNDS IN SOME SPECIES OF *ALOE*

© Authors, 2017

P.V. Lapshin

Ph.D. (Biol.), Senior Research Scientist, Timiryazev Institute of Plant Physiology Russian Academy of Sciences (Moscow)

E-mail: p.lapshin@mail.ru

L.V. Nazarenko

Ph.D. (Biol.), Associate Professor, Moscow City University

E-mail: nlv.mgpu@mail.ru

N.V. Zagoskina

Dr.Sc. (Biol.), Professor, Timiryazev Institute of Plant Physiology Russian Academy of Sciences (Moscow)

E-mail: biophenol@gmail.com

In spite of numerous researches of plants of an aloe, still there are not enough data on their ability for accumulation of phenolic compounds – one of the secondary metabolites most widespread in the higher plants with high biological and antioxidant activity.

Research objective was studying of morpho-physiological characteristics and content of such phenolic compounds as fenilpropanoids and flavonoids at five species of the genus *Aloe* (*A. arborescens*, *A. bakeri*, *A. vera*, *A. pillansii*, *A. spinosissima*) which are grown in the conditions of a greenhouse.

Morpho-physiological status of plants was estimated by their height, length and width of leaves and on water contents in its. Phenol compounds were extracted by 96% ethanol. Content of flavonoids was determined by reaction with 1% $AlCl_3$ solution (415 nm), the contents of fenilpropanoids by method of a direct spectrophotometry of extracts (330 nm).

Differences in the morpho-physiological characteristics and water content of the leaves of various aloe species are revealed. It is shown that the highest content of flavonoids was in the leaves of *A. spinosissima* and the lowest in *A. arborescens* and *A. vera*. The content of phenylpropanoids was high in *A. arborescens*, *A. pillansii* and *A. spinosissima* and the lowest in *A. vera*.

The conclusion is drawn that concerning accumulation of flavonoids were perspective *A. bakeri* and *A. spinosissima*, and on the contents of fenilpropanoids – *A. spinosissima* and *A. pillansii*. These species of an aloe can be the perspective sources of the biologically active phenolic compounds which are not to be inferior to *A. vera* – and *A. arborescens*.

Key words: *aloe, leaves, flavonoids, phenylpropanoids.*

REFERENCES

1. Udalova R. Aloe, agavy. Ser. Rasteniya v dome. SPb: Tercija. 2003. 61 s.
2. Egorova T.V. Semejstvo asfodelovye (Asphodelaceae) // Zhizn' rastenij. V 6-ti tomah. / Pod red. A.L. Tahtadzhan. M.: Prosveshhenie, 1981. T. 6. Cvetkovye rasteniya. S. 127–148.
3. Monson R.K. On the evolutionary pathways resulting in C4 photosynthesis and Crassulacean acid metabolism (CAM) // Advances in Ecological Research. 1989. № 19. P. 57–110.
4. Korneva V.V. Sozdanie jekspozicii sukkulentov dlja demonstracionnyh i uchebnyh celej // Samarskaja Luka: Bjul. 2007. V. 16. № 1–2(19–20). S. 245–259.
5. Lapshin P.V. Skromnoe Aloe // Sadovnik. 2007. T. 8. № 31. S. 60–63.
6. Ali M.I., Shalaby N.M., Elgamal M.H., Mousa A.S. Antifungal effects of different plant extracts and their major components of selected Aloe species // Phytotherapy Research. 1999. V. 13. № 5. P. 401–407.
7. Christaki E.V., Florou-Paneri P.C. Aloe vera: A plant for many uses // J. Food, Agriculture and Environment. 2010. V. 8. № 2. P. 245–249.
8. Kurkin V.A. Farmakognozija: Ucheb. dlja studentov farmaceuticheskikh vuzov (fakul'tetov). Izd. 2-e, pererab. i dop. Samara: OOO «Ofort», GOU VPO «SamGMU Roszdrava». 2007. 859 s.
9. Olennikov D.N., Zilfikarov I.N., Ibragimov T.A. i dr. Himicheskij sostav soka aloje drevovidnogo (*Aloe arborescens* Mill.) i ego antioksidantnaja aktivnost' (in vitro) // Himija rastitel'nogo syr'ja. 2010. № 3. R. 83–90.
10. Cock I.E. Problems of reproducibility and efficacy of bioassays using crude extracts, with reference to Aloe vera // Pharmacogn Commun. 2011. V. 1. № 1. P. 52–62.
11. Zaprometov M.N. Fenol'nye soedinenija: rasprostranenie, metabolizm i funkcii v rastenijah. M.: Nauka. 1993. 272 s.
12. Cheynier V., Comte G., Davis K.M., et. al. Plant phenolics: Recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology // Plant Physiology and Biochemistry. 2013. № 72. P. 1–20.
13. Glybina A.A., Zagoskina N.V., Lapshin P.V., Nazarenko L.V. Rasteniya roda *Anacampseros* i ih reakcija na dejstvie ksenobiotika // Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Ser. Estestvennye nauki. 2013. № 2. R. 44–56.
14. Beppu H., Kawai K., Shimpo K., et. al. Studies on the components of Aloe arborescens from Japan – monthly variation and differences due to part and position of the leaf // Biochem. Syst. Ecol. 2004. № 32. P. 783–795.
15. Olenichenko N.A., Zagoskina N.V. Otvetnaja reakcija ozimozj pshenicy na dejstvie nizkix temperatur: obrazovanie fenol'nyh soedinenij i aktivnost' L-fenilalaninammiak-ligazy // Prikladnaja biohimija i mikrobiologija. 2005. № 41. S. 600–603.
16. Kurkin V.A., Vel'mjajkina E.I. Razrabotka metodik kachestvennogo i kolichestvennogo analiza siropa jehinacej purpurnoj // Farmacija. 2011. № 7. S. 10–13.
17. Kurkin V.A., Shmygareva A.A., San'kov A.N., Vitvinina S.N. Sravnitel'noe morfologo-anatomicheskoe issledovanie Aloe drevovidnogo i Aloe pestrogo // Medicinskij al'manah. 2016. T. 2. № 42. S. 147–149.
18. López A., Suárez de Tangil M., Vega-Orellana O., et. al. Phenolic constituents, antioxidant and preliminary antimycoplasmic activities of leaf skin and flowers of Aloe vera (L.) Burm. f. (syn. *A. barbadensis* Mill.) from the Canary Islands (Spain) // Molecules. 2013. № 18. P. 4942–4954.
19. Zaprometov M.N., Zagoskina N.V. Eshhe ob odnom dokazatel'stve uchastija hloroplastov v biosinteze fenol'nyh soedinenij // Fiziologija rastenij. 1987. № 34. S. 165–172.