

studies and breeding research. 3 autumn pear cultivars were used as objects of research: 'Triumph Pakgama', 'Lesnaya krasavitsa', 'Talgarskaya krasavitsa'. As a result of a four-year study of pear cultivars by biochemical composition, it has been revealed that the control cultivar Triumph Pakgama is characterized by the highest content of soluble solids (%) (14.9–15.7), while the average level is marked in the cultivar 'Talgarskaya krasavitsa' (14.3–15.2) and the low level is recorded in 'Lesnaya krasavitsa' (12.3–14.2). It has been found that the signs of the soluble solids content in all the studied cultivars are subject to less change ability and variability over the years. According to sugar content, the cultivars 'Triumph Pakgama' and 'Lesnaya krasavitsa' are distinguished, depending on the cultivar, this indicator ranges from 11.5 % ('Triumph Pakgama') to 10.6 % ('Lesnaya krasavitsa'). Pear cultivars also differ in the content of ascorbic acid, the highest amount of vitamin C (7.5–7.9 mg/100 mg) is noted in the cultivar 'Lesnaya Krasavitsa', the average fruits content is specific for the cultivar 'Talgarskaya Krasavitsa' (6.1–8.0 mg/100 mg), and a relatively small content of vitamin C is recorded in the control cultivar 'Triumph Pakgama' (5.6–7.4 mg/100 mg). The results of the conducted research can be applied in the breeding process for an increased fruit content of biochemical components and raw materials for obtaining natural high-vitamin foods from pears.

Key words: introduced cultivars, pear fruits, biochemical composition, dry matter, sum of sugars, ascorbic acid, replenishment of the gene pool.

УДК 581.1

doi: 10.31360/2225-3068-2021-79-125-132

ИЗМЕНЕНИЯ В СОДЕРЖАНИИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ *ALOE VERA* И *ALOE ARBORESCENS* ПРИ ДЕЙСТВИИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Лапшин П.В.¹, Назаренко Л.В.², Загоскина Н.В.¹

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева
Российской академии наук

² Московский городской педагогический университет
г. Москва, Россия, e-mail: nlv.mgpi@mail.ru

Изучали влияние воздействия низкой температуры на накопление фенольных соединений, в том числе фенилпропаноидов, в листьях двух видов алоэ – *Aloe vera* и *Aloe arborescens*. Показано, что суммарное содержание фенольных соединений и фенилпропаноидов в листьях *A. arborescens* контрольного варианта превышало таковое у *A. vera* на 25 % и 30 %, соответственно. После воздействия низкой температуры количество фенольных соединений у них повышалось практически в равной степени (примерно на 200 %), а содержание фенилпропаноидов увеличивалось у *A. arborescens* на 320 % и на 250 % – у *A. vera*. Обсуждается специфичность ответной реакции фенольного метаболизма у различных видов алоэ на действие низкой температуры.

Ключевые слова: алоэ, *Aloe*, низкая температура, фенольные соединения, фенолпропаноиды, содержание.

Различные представители рода *Aloe*, родиной которых является Южная Африка, успешно используются в биомедицине, фармакологии и косметологии [2, 21]. С давних времен их применяли при лечении травм и инфекционных заболеваний, а также в качестве глистогонного средства [2, 11]. Достигнуты успехи применения экстрактов алоэ для лечения рака кожи, лейкемии, артрита, диабета, экземы, ожогов, псориаза и других заболеваний человека [14, 16].

Использование алоэ, как фармакологически ценного растения, в значительной степени обусловлено накоплением в его листьях различных биологически активных веществ, в том числе фенольных соединений или полифенолов [14, 19]. Эти вещества вторичного метаболизма чрезвычайно разнообразны по своей структуре и функциональной роли, связанной с процессами роста, энергетического обмена, устойчивостью к экологическим воздействиям [4, 17, 21].

Фитохимический анализ листьев *A. vera* показал присутствие в них танина, сапонина и антрохинонов [20]. Сообщалось об образовании салициловой кислоты в растениях алоэ [6]. Содержание таких соединений фенольной природы как алоэнин, алоин, алоэ-эмодин, возрастало по мере их онтогенеза [8]. Видовая принадлежность растений алоэ, условия их произрастания, а также действие биотических и абиотических факторов влияло на содержание и состав фенольных соединений [12, 21].

К абиотическим факторам, приводящим к значительным изменениям в метаболизме растений, относится низкая температура [9]. Известно её регуляторное влияние на накопление углеводов, активность ферментов, образование стрессовых белков, а также накопление фенольных соединений [7, 15, 18].

Наиболее популярными и исследованными видами алоэ являются *A. arborescens* и *A. vera*, для которых характерна антирадикальная, противомикробная и иммуномодулирующая активности [1, 8, 13]. *A. arborescens* можно отнести к традиционным видам алоэ, которые уже длительное время используются в целях поддержания здоровья человека [1, 2, 19]. В последние десятилетия большое внимание уделяется изучению *A. vera*, как потенциального фармакологически-ценного продуцента [5, 13, 14, 16, 20]. Имеются сведения и о других представителях алоэ. Например, препараты, полученные из *A. ferox*, оказывали антиоксидантное, противомикробное, противовоспалительное и противомаларийное действие [10]. Отмечена и антиоксидантная активность экстрактов *A. greatheadii* [12]. Всё это свидетельствует об

уникальных свойствах различных представителей рода *Aloe*, что может быть следствием накопления в них различных вторичных метаболитов, в том числе фенольных соединений – веществ с высокой антиоксидантной активностью [4, 19, 21].

Целью работы было изучение накопления фенольных соединений, в том числе фенилпропаноидов, после воздействия низкой температуры на листья *A. arborescens* и *A. vera*. Такой подход позволит оценить характер изменений в образовании этих вторичных метаболитов при адаптации растений алоэ к низкотемпературному воздействию.

Объекты и методы исследований. Объектом исследования были растения *Aloe vera* и *Aloe arborescens*. Их выращивали методом горшечной культуры в коллекции суккулентов Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (г. Москва) в условиях оранжереи при естественном уровне солнечного освещения и температурном режиме +17–22 °С днём и +10–12 °С ночью. При постановке опытов использовали листья, отделённые от 1,5-годовалых растений. Их заворачивали в фольгу и выдерживали в течение 7 дней в темноте при +24 °С (контроль) или +6 °С (опыт).

Фенольные соединения извлекали из измельчённых листьев алоэ 70%-ным этанолом при 45 °С в течение 45 мин [7]. Этанольные экстракты, полученные после центрифугирования гомогената (13 000 g, 10 мин), использовали для спектрофотометрического определения суммарного содержания фенольных соединений (реактив Фолина-Дениса) и фенилпропаноидов (методом прямого спектрофотометрирования) [3, 23]. Содержание фенольных соединений выражали в мг-экв. рутина/г сырой массы, содержание фенилпропаноидов – в мг-экв. кофейной кислоты/г сырой массы.

При проведении исследований использовали следующее оборудование: микроцентрифуга MiniSpin (Eppendorf, Германия), спектрофотометр СФ-46 (ЛОМО, Россия), термостаты Гном (ДНК-технологии, Россия) и BD-115 (Binder, Германия).

Все определения проводили в трёх биологических и трёх аналитических повторностях. Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием программы Statistica for Windows. На гистограммах представлены средние арифметические значения определений (M) и их стандартные ошибки ($\pm SEM$).

Результаты и их обсуждение. К роду *Aloe* относятся многолетние листовые травянистые, кустарниковые или древовидные суккуленты с толстыми мясистыми листьями, собранными в густые розетки и расположенными в них по спирали [5, 19]. Как уже отмечалось выше к наиболее изученным и широко используемым в фармакологических целях относятся растения *A. vera* и *A. arborescens*. Они отличались по внешнему виду и некоторым морфометрическим параметрам (рис. 1, табл. 1).

Высота растений *A. arborescens* и *A. vera*, выращиваемых в течение 1,5 лет методом горшечной культуры в теплице, была практически одинаковой. Для них характерны некоторые отличия в расположении и морфологии листьев (рис. 1, 2). У *A. arborescens* они растут поочерёдно, расположены почти горизонтально, имеют линейно-ланцетовидную форму с заострённой верхушкой и зубчатым краем. Листья *A. vera* вертикально направлены. Они мечевидные, сизоватые, с зубцами по краю.



Рис. 1. Внешний вид *Aloe vera* (А) и *Aloe arborescens* (Б), выращиваемых в коллекции суккулентов ИФР РАН. Возраст растений – 1,5 года.



Рис. 2. Внешний вид листьев *Aloe vera* (1) и *Aloe arborescens* (2)

У *A. vera* листья в 1,5–2 раза длиннее, чем у *A. arborescens*. Показатели их ширины и толщины были достаточно близки (табл. 1).

Таким образом, растения алоэ, выращиваемые методом горшечной культуры в условиях теплицы, отличались по типу роста и некоторым морфометрическим параметрам, включая размеры листьев. Это свидетельствует о видовых особенностях различных представителей рода *Aloe*, о чём сообщалось в литературе [19].

Таблица 1

**Морфометрические
параметры растений алоэ и тип их роста**

Вид	Высота расте- ния	Длина листьев	Ширина листьев (в основа- нии)	Толщина листьев (в осно- вании)	Тип роста растений в теплице
	см				
<i>A. vera</i>	40–50	30–40	3–4	1–2	Розетки на укороченном стебле
<i>A. arborescens</i>	40–70	15–25	2–3	1–2	Кустарник с восходящими побегами

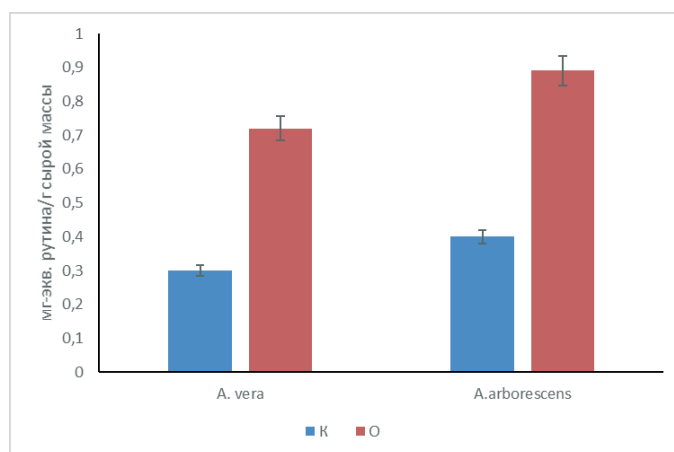


Рис. 3. Изменения в содержании суммы фенольных соединений в листьях *Aloe vera* и *Aloe arborescens* после воздействия низкой температуры.

Варианты: К – контроль, О – опыт

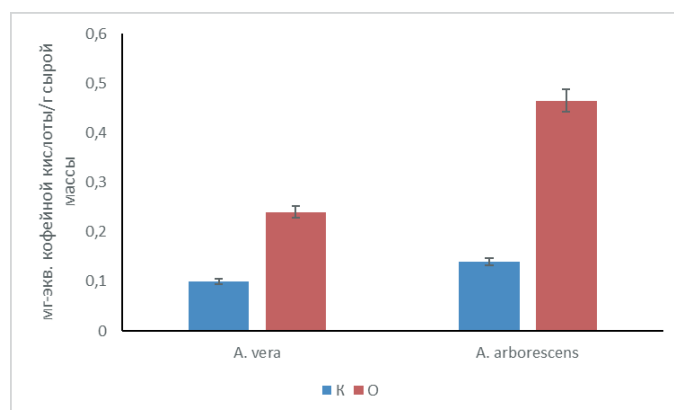


Рис. 4. Изменения в содержании фенилпропаноидов в листьях *Aloe vera* и *Aloe arborescens* после воздействия низкой температуры.

Варианты: К – контроль, О – опыт

Основной задачей нашего исследования было изучение влияния низкотемпературного воздействия на накопление фенольных соединений, в том числе фенилпропаноидов, в листьях алоэ. Согласно полученным данным, содержание в них суммы фенольных соединений у *A. arborescens* контрольного варианта превышало таковое у *A. vera* на 25 % (рис. 3).

После низкотемпературного воздействия оно повышалось практически в равной степени у обоих видов (примерно в 2 раза). Это согласуется с литературными данными об активации накопления полифенолов в условиях низкотемпературного стресса [7, 18].

Фенилпропаноиды – соединения фенольной природы, образование которых происходит на начальных этапах биосинтеза полифенолов [4]. Они могут не только накапливаться в растительных клетках, но и использоваться в качестве предшественников для биосинтеза флавоноидов и фенольного полимера лигнина. Известно участие фенилпропаноидов как компонентов системы защиты растительных клеток от стрессовых воздействий [17].

Содержание фенилпропаноидов в листьях *A. arborescens* контрольного варианта превышало таковое у *A. vera* на 30 % (рис. 4).

После низкотемпературного воздействия их накопление повышалось: у *A. arborescens* – на 320 %, у *A. vera* – на 250 %. В результате этих изменений различия в содержании фенилпропаноидов в листьях исследованных видов алоэ достигали 200 %, а наибольший их уровень был у *A. arborescens*.

Заключение. Все вышеизложенное свидетельствует о том, что низкотемпературный стресс активировал накопление полифенолов в листьях алоэ. При этом изменения в суммарном накоплении фенольных соединений у них одинаковы, но отмечается видоспецифичная реакция на уровне накопления фенилпропаноидов – биогенетически ранних соединений фенольного метаболизма. Так, в листьях *A. arborescens* их количество возросло в большей степени, чем у *A. vera*. Этот аспект регуляции биосинтеза полифенолов у различных видов алоэ представляет интерес для дальнейших исследований.

*Работа выполнена при финансовой поддержке
Минобрнауки РФ в рамках темы государственного задания
Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева
Российской академии наук № АААА-А19-119041890054-8.*

Библиографический список

1. Виноградова Т.А., Гажев Б.Н., Виноградов В.М., Мартынов В.К. Практическая фитотерапия. – М.: СПб.: Нева, Олма-Пресс, Валери СПД, 1998. – 640 с. – ISBN 5-224-00074-2.
2. Даников Н. И. Целебное алоэ. – М.: Эксмо, 2012. – 224 с. – ISBN 978-5-699-57120-8.
3. Запрометов М.Н. Основы биохимии фенольных соединений. – М.: Высшая школа, 1974. – 213 с.
4. Запрометов М.Н. Фенольные соединения. Распространение, метаболизм и функции в растениях. – М.: Наука, 1993. – 272 с. – ISBN 5-02-004-141-6.
5. Куркин В.А., Шмыгарева А.А., Саньков А.Н., Витвинина С.Н. Сравнительное морфолого-анатомическое исследование Алоэ древовидного и Алоэ пёстрого // Медицинский альманах. – 2016. – Т. 2(42). – С. 147-149.
6. Озерова В. Алоэ: лечение воспалительных болезней кожи и внутренних органов. – СПб.: ИГ «Весь», 2017. – 128 с. – ISBN 978-5-9573-3187-2.
7. Олениченко Н.А., Загоскина Н.В. Ответная реакция озимой пшеницы на действие низких температур: образование фенольных соединений и активность *L*-фенилаланинаммиаклигазы // Прикладная биохимия и микробиология. – 2005. – Т. 41. – № 6. – С. 600-603.
8. Оленников Д.Н., Зилфикаров И.Н., Ибрагимов Т.А. Химический состав сока алоэ древовидного (*Aloe arborescens* Mill.) и его антиоксидантная активность (*in vitro*) // Химия растительного сырья. – 2010. – № 3. – С. 83-90.
9. Трунова Т.И. Растение и низкотемпературный стресс. 64-е Тимирязевские чтения. М.: Наука. 2007. – 54 с.
10. 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. – Vol. 13(5). – P. 401-407. – [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1573\(199911\)13:7<609::AID-PTR566>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1573(199911)13:7<609::AID-PTR566>3.0.CO;2-I)
11. Amoo S.O., Aremu A.O., Van Staden J. Unraveling the medicinal potential of South African *Aloe* species // Journal of ethnopharmacology. – 2014. – Vol. 153 (1). – P. 19-41. – <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.01.036>.
12. Botes L., Van Der Westhuizen F.H., Loots D.T. Phytochemical content and antioxidant capacities of two *Aloe greatheadii* var. *davyana* extracts // Molecules. – 2008. – Vol. 13. – P. 2169-2180. – <https://doi.org/10.5455/jice:10.5455/jice:2013061203530010.3390/molecules13092169.-PMid:18830148>.
13. Cock I.E. Problems of reproducibility and efficacy of bioassays using crude extracts, with reference to *Aloe vera* // Pharmacognosy communications. – 2011. – Vol. 1(1). – P. 52-62. – <https://doi.org/10.5455/jice:10.5455/jice:2013061203530010.5530/pc.2011.1.3>.
14. Hossain M.S., Mamun-Or-Rashid A.N.M., Towfique N.M., Sen M.K. A review on ethnopharmacological potential of *Aloe vera* L. // Journal of intercultural ethnopharmacology. – 2013. – Vol. 2(2). – P. 113-120. – <https://doi.org/10.5455/jice:10.5455/jice:20130612035300>
15. Król A., Amarowicz R., Weidner S. The effects of cold stress on the phenolic compounds and antioxidant capacity of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves // Plant physiology. – 2015. – Vol. 189. – P. 97-104. – <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.10.002>.
16. Maharjan R., Laxmipriya N.P. Evaluation of biological properties and clinical effectiveness of *Aloe vera*: a systematic review // Journal of traditional and complementary medicine. – 2014. – Vol. 5. – P. 21-26. – <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2014.10.006>.
17. Naikoo M.I., Dar M.I., Raghieb F., Jaleel H., Ahmad B., Raina A., Khan F.A., Naushin F. Role and regulation of plants phenolics in abiotic stress tolerance: an overview // Plant signaling molecules: role and regulation under stressful environments. Eds. Khan M.I.R.,

- Reddy P.S., Ferrante A., Khan N. Elsevier. Duxford, United Kindom. – 2019. – P. 157-168. – [https://doi.org/ 10.1016/B978-0-12-816451-8.00009-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816451-8.00009-5).
18. Ritonga F.N., Chen S. Physiological and molecular mechanism involved in cold stress tolerance in plants // *Plants*. – 2020. – Vol. 9(5). – P. 560. – <https://doi.org/10.3390/plants9050560>.
19. Salehi B., Albayrak S., Antolak H., Kręgiel D., Pawlikowska E., Sharifi-Rad M., Uprety Y., Fokou P.V., Zubaida Y., Zakaria Z.A., Varoni E.M., Sharopov F., Martins N., Sharifi-Rad M.I.J. *Aloe genus* plants: from farm to food applications and phytopharmacotherapy // *International journal of molecular sciences*. – 2018. – Vol. 19. – P. 2843. – [https://doi.org/ 10.3390/ijms19092843](https://doi.org/10.3390/ijms19092843)
20. Sathyaprabha G., Kumaravel S., Ruffina D., Praveenkumar P.A. Comparative study on antioxidant, proximate analysis, antimicrobial activity and phytochemical analysis of *Aloe vera* and *Cissus quadrangularis* by GC-MS // *Journal of Pharmacy Research*. – 2010. – Vol. 3. – P. 2970-2973. – ISSN 0974-6943.
21. Sazhina N.N., Lapshin P.V., Zagorskina N.V. Biologically active compounds search among *Aloe* spp. // *Temperate horticulture for sustainable development and environment: ecological aspects* / eds. Weisfeld L.I., Opalko A.I., Bekuzarova S.A. Canada: Apple Academic Press, 2019. – P. 163-176.
22. Zagorskina N.V., Kazantseva V.V., Fesenko A.N., Shirokova A.V. Accumulation of phenolic compounds at the initial steps of ontogenesis of *Fagopyrum esculentum* plants that differ in their ploidy levels // *Biology bulletin* – 2018. – Vol. 45. – P. 171-178. – <https://doi.org/10.1134/S1062359018020140>.

CHANGES IN THE CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS IN *ALOE VERA* AND *ALOE ARBORESCENS* LEAVES UNDER EXPOSURE TO LOW TEMPERATURE

Lapshin P.V.¹, Nazarenko L.V.², Zagorskina N.V.¹

¹ K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology of RAS

² Moscow City Pedagogical University

Moscow, Russia, e-mail: nlv.mgpu@mail.ru

The effect of low temperature on the accumulation of phenolic compounds, including phenylpropanoids, in the leaves of two aloe species, *Aloe vera* and *Aloe arborescens*, was studied. It was shown that the total content of phenolic compounds and phenylpropanoids in the leaves of *A. arborescens* of the control variant exceeded that in *A. vera* by 25 % and 30 %, respectively. After exposure to low temperatures, the amount of phenolic compounds in them increased almost equally (by about 200 %), and the content of phenylpropanides increased in *A. arborescens* by 320 % and, while in *A. vera* – by 250 %. The specificity of the response of phenolic metabolism in various aloe species to the effect of low temperature is being discussed.

Key words: aloe, *Aloe*, low temperature, phenolic compounds, phenylpropanoids, accumulation.