

В ПОИСКАХ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО КРАЯ: ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФАЦИАЛЬНОСТИ ЛИСТА У СУККУЛЕНТОВ ИЗ РОДА *CURIO* P.V.Heath (ASTERACEAE)

Алексей Павлович ФЕДОТОВ^{1,2}, Александр Константинович ТИМОНИН¹¹ МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва² РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва

e-mail: alex-f96@yandex.ru

IN SEARCH OF A MORPHOLOGICAL EDGE: A GEOMETRIC APPROACH TO DETERMINING LEAF FACIALITY IN SUCCULENTS OF THE GENUS *CURIO* P.V.Heath (ASTERACEAE)

Alexey P. FEDOTOV^{1,2}, Alexander C. TIMONIN¹¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow² Russian State Agrarian University, Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow

Аннотация. Отдельные части листа могут быть бифациальными или унифациальными. Однако фациальность зачастую трудно установить на конкретном поперечном срезе в силу отсутствия надёжных критериев для определения бифациальной или унифациальной структуры. Нами предложен метод, основанный на автоматизированном измерении отношения диаметров вписанной и описанной окружностей очертаний каждого отдельного среза из серии поперечных срезов. Эффективность метода подтверждена на сериях срезов развивающихся листьев суккулентов из рода *Curio* P.V.Heath (Asteraceae), среди которых встречаются виды как с бифациальными, так и с унифациальными листьями. Показано, что на основании изменения фациальности может быть произведено разграничение частей листа уже на ранних этапах морфогенеза.

Ключевые слова: *Curio*, развитие листьев, унифациальность, бифациальность, зоны листа.

Abstract. Different parts of a leaf can differ in being bifacial or unifacial, respectively. However, faciality is often hard detectable in a cross-section due to the lack of reliable criteria for determining the bifacial or unifacial structure in a particular section. We have proposed a method to detect leaf faciality which is based on automated calculation of inscribed circle diameter of leaf section to circumscribed one ratio each serial transverse sections. The method is confirmed on developing leaves of succulents from the genus *Curio* P.V.Heath (Asteraceae), among which there are species with bifacial and unifacial leaves. It has been shown that changes in faciality through serial sections enable the leaf parts to be discriminated already at the early stages of leaf morphogenesis.

Keywords: *Curio*, leaf development, bifacial leaves, unifacial leaves, leaf zones.

Хотя большинство листьев покрытосеменных растений уплощены в трансверсальной плоскости, как среди однодольных (Rudall, Buzgo, 2002), так и среди двудольных (Melo-de-Pinna et al., 2016), возникали листья, име-

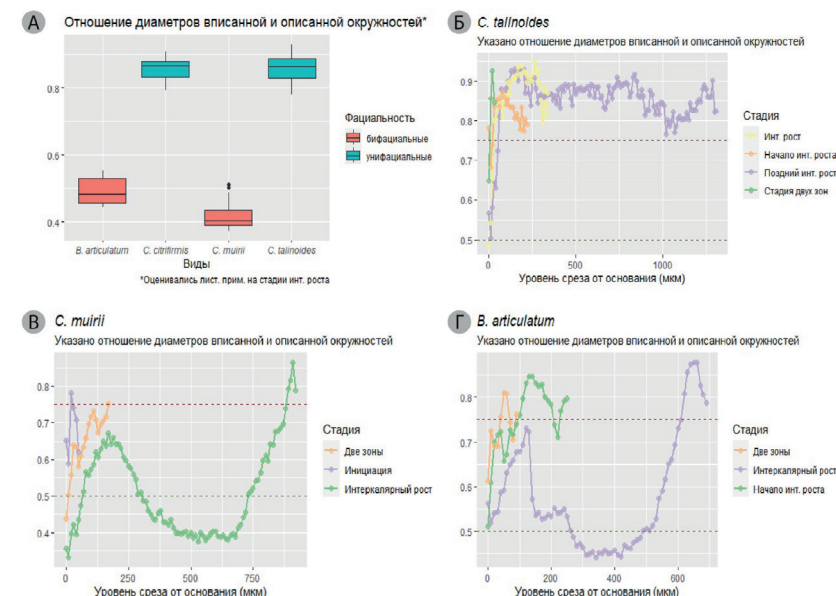


Рис 1. А – Указано распределение отношения диаметров вписанной и описанной окружностей. Б–Г – Указаны значения отношения диаметров вписанной и описанной окружностей на серийных срезах в зависимости от уровня среза, считая от основания листа, для *C. talinoides* с унифациальными листьями (Б); *C. muirii* (В), *B. articulatum* (Г) с бифациальными листьями.

ющие радиально-симметричное строение. В типичных уплощенных листьях выделяют абаксиальную (нижнюю) и адаксиальную (верхнюю) стороны, разделённые краями листа. Такие листья называют бифациальными. В радиально-симметричных листьях адаксиальная сторона редуцирована, а морфологический край отсутствует. Такие листья называют унифациальными.

Род *Curio* P.V.Heath (Asteraceae: Senecioneae), представленный южноафриканскими суккулентами, и круг его ближайших родственников образуют уникальную группу двудольных растений, в которой присутствуют виды как с унифациальными, так и бифациальными листьями (Тимонин, Озерова, 1993), что делает их привлекательными объектами для исследования эволюции морфогенеза унифациальных листьев (Fedotov et al., 2023). Однако исследование морфогенеза оказывается сопряжено с рядом трудностей, связанных со сложностями определения фациальности отдельных областей развивающихся листьев на сериях поперечных срезов.

Целью исследования стала разработка эффективных методов определения фациальности структуры листа в целом и его отдельных частей на любых стадиях его генезиса в сериях поперечных срезов.

Для настоящего исследования были выбраны: *C. muirii* (L. Bolus) van Jaarsv., единственный представитель рода с бифациальными листьями; *C. citriformis* (G.D. Rowley) P.V. Heath и *C. talinoides* P.V. Heath с унифациальными листьями. Кроме того, был изучен *Baculellum articulatum* (L.f) L.V. Ozerova & A.C. Timonin с бифациальными листьями, поскольку его тип листа полагали исходным для этого рода (Fedotov et al., 2016). Растительный материал был получен из коллекции ГБС им. Н.В. Цицина РАН.

Растения были размножены черенкованием и выращены в световой комнате при стандартных условиях (+23°C, 16 ч./8 ч. день/ночь). Пробоподготовка материала и анатомическое исследование проводили в соответствии с методиками описанными в Fedotov et al. (2023). При окрашивании препаратов использовали автоматический аппарат для окрашивания предметных стекол Varistain Gemini ES (Thermo Fisher Scientific). Изображения срезов получали, используя слайд-сканер BX61VS (Olympus). Первичную обработку полученных изображений проводили в программе Adobe Photoshop, а все дальнейшие операции выполняли в пакете для обработки изображений Fiji (Schindelin et al., 2012) при помощи написанных авторами скриптов. Для визуализации полученных результатов использовали RStudio 4.2.3. Морфологическое исследование с использованием сканирующей электронной микроскопии выполняли в соответствии с протоколом, представленном в Fedotov et al. (2023). Эта часть работы была проведена в общефакультетской лаборатории электронной микроскопии биологического факультета МГУ.

Поскольку очертания срезов из унифациальных областей листьев приближаются по форме к окружности, а очертания срезов из бифациальных областей наоборот далеки от округлой формы, для анализа серий срезов было решено использовать меру «округлости» формы поперечных срезов. В качестве такой меры выбрали отношение диаметров вписанной и описанной окружностей (параметр R).

У радиально симметричных структур величина R должна стремиться к 1, тогда как у уплощённых структур она должна быть значительно меньше.

Для проверки гипотезы использовали тестовые выборки поперечных срезов, взятых из унифациальных и бифациальных листовых пластинок молодых листьев на стадии интеркалярного роста. Для каждого среза были получены его очертания в Adobe Photoshop, затем измерены диаметры вписанной и описанной окружностей в Fiji (Рис. 1А). Исходя из полученных результатов, заключили, что область унифациальности находится в диапазоне $R \geq 0,75$, тогда как область бифациальности $R \leq 0,5$. Промежуточные значения были отнесены к переходным зонам, возникающим между структурами с различной фациальностью.

У исследованных видов в дефинитивном листе выделяют листовое основание, черешок, листовую пластинку и Vorläuferspitze (Fedotov, 2016; 2023), причем их фациальность может различаться. Листовое основание всегда остаётся бифациальным у листьев всех морфологических типов. Фациальность черешка часто совпадает с фациальностью листовой пластинки в унифациальных листьях. Однако для бифациальных листьев *B. articulatum* характерен радиально-симметричный черешок. Таким образом, считаем возможным использовать различия в фациальности частей листа для определения границ между ними на ранних этапах морфогенеза листьев.

У видов с унифациальными листьями черешок и листовая пластинка, дифференцирующиеся на стадии интеркалярного роста, попадают в область унифациальности (Рис. 1, Б), тогда как листовое основание образует длинную переходную зону к черешку, что соотносится с данными СЭМ.

Графики, построенные для видов с бифациальными листьями, имеют два пика (Рис. 1, В–Г). Первый пик соответствует границе между листовым основанием и черешком, тогда как второй, находящийся в области унифациальности, соответствует верхушке листа. Унифациальная область в конце листа *B. articulatum* составляет 12% от высоты молодого листа, тогда как у *C. muirii* эта область занимает всего 7%.

В предыдущей работе был сделан вывод о наличии у *C. muirii* Vorläuferspitze на основании данных СЭМ (Fedotov et al., 2023). Основываясь на новых данных, можно заключить, что у *C. muirii* Vorläuferspitze имеет бифациальное строение на большем своем протяжении. Кроме того, из наших данных следует, что у всех исследованных видов, вне зависимости от

морфологического типа листа, дистальная часть листа имеет унифациальное строение.

Графики значений R в зависимости от уровня среза для молодых примордиев на стадии двух зон у большинства исследованных видов имеют выраженный пик (Рис. 1, Б–Г). При анализе данных анатомического и морфологического исследования было установлено, что область пика соответствует границе между нижней и верхней зонами листа.

Таким образом, использование отношения вписанной и описанной окружностей может быть эффективным методом для автоматизированной оценки наличия морфологического края на поперечных срезах и определения фациальности и ее изменения в морфогенезе листа. Изменение фациальности можно также использовать для разграничения частей листа начиная со стадии двух зон.

Список литературы

1. Тимонин А.К., Озерова Л.В. Строение, происхождение и эволюция вальковатых листьев в секции Rowleyani C. Jeffrey рода *Senecio* L. (Asteraceae) // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. - 1993. - №13. - С. 393-401.
2. Fedotov A.P., Ozerova L.V., Timonin A.C. Development of the leaf forerunner tip (Vorläuferspitze) in *Curio* affinities (Asteraceae: Senecioneae), a structure unique to dicots // Botanica Pacifica. - 2023. - Vol. 12, №1 - P. 39-46.
3. Fedotov A.P., Ozerova L.V., Timonin A.C. Leaf development in *Curio articulatus* (L. f.) P. V. Heath (Asteraceae – Senecioneae) // Wulfenia. - 2016. - Vol. 23 - P. 135-146.
4. Melo-de-Pinna G.F.A., Hernandez-Lopes J., Ogura A.S., Santos L.K., Silva D.C., Haevermans T. Growth patterns and different arrangements of vascular tissues in succulent leaves // Int. J. Plant Sci. - 2016. - Vol. 177, №8. - P. 643–660.
5. Rudall P.J., Buzgo M. Evolutionary history of the monocot leaf // In: Developmental genetics and plant evolution (Ed. Quentin C.B. Cronk, Richard M. Bateman, Julie A. Hawkins), 2002 - P. 431-458.
6. Schindelin J., Arganda-Carreras I., Frise E., Kaynig V., Longair M., Pietzsch T., Preibisch S., Rueden C., Saalfeld S., Schmid B., Tinevez J.-Y., White D.J., Hartenstein V., Eliceiri K., Tomancak P., Cardona A. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis // Nat Methods. - 2012. - Vol. 9, №7. - P. 676 – 682.

УДК 621.039.332:677.163.1

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОЛАТА АЛОЭ ВЕРА (*ALOE VERA* L.), КАК ПРИРОДНОГО ТОНИКА

Елена Сергеевна ЧИЧКАНОВА¹, Татьяна Павловна САТАЕВА²,
Оксана Михайловна ШЕВЧУК¹, Надежда Николаевна БАКОВА¹, Анфиса Евгеньевна ПАЛИЙ¹,
Ирина Анатольевна ФЕДОТОВА¹, Екатерина Анатольевна МЕЛКОЗЁРОВА¹

¹ ФГБУН «Никитский ботанический сад – Национальный Научный Центр РАН», г. Ялта

² Институт «Медицинская академия им. С.И. Георгиевского», Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

e-mail*: lena.chichkanovarevenko@mail.ru
tanzcool@mail.ru

THE PROSPECT OF USING *ALOE VERA* L. HYDROLATE AS A NATURAL TONIC

Elena S. CHICHKANOVA¹, Tatyana P. SATAEVA², Oksana M. SHEVCHUK¹,
Nadezhda N. BAKOVA¹, Anfisa E. PALIY¹, Irina A. FEDOTOVA¹, Ekaterina A. MELKOZEROVA¹

¹ Nikita Botanic Gardens – National scientific Center of RAS, Yalta

² Institute «S.I. Georgievsky Medical Academy», V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

Аннотация. Выявлен компонентный состав гидролата алоэ вера (*Aloe vera* L.), который представлен летучими соединениями: Eucalyptol (0,14 мг/дм³), Isomenthone (0,08 мг/дм³), α-Bisabolone oxide A (0,36 мг/дм³), α-Bisabolol (0,45 мг/дм³) и α-Bisabolol oxide (0,09 мг/дм³). Определено суммарное содержание фенольных соединений в гидролате (10 мг/дм³, его антиоксидантная активность (0,20±0,06 мг/дм³) и антимикробное воздействие на штаммы патогенных микроорганизмов (*Staphylococcus aureus* (штамм – ATCC 25923), *Escherichia coli* (штамм – ATCC 25922)). Присутствие в гидролате алоэ вера эвкалиптола, бисаболола и изоментона обуславливает его противовоспалительные, бактерицидные, антисептические, спазмолитические, дезодорирующие, тонизирующие, успокаивающие, заживляющие, увлажняющие и питательные свойства. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования гидролата алоэ вера в производстве косметологических препаратов с антибактериальным и антисептическим действием.

Ключевые слова: *Aloe vera* L.; гидролат; антимикробная и антиоксидантная активность

Abstract. The component composition of aloe vera hydrolate (*Aloe vera* L.) was revealed, which is represented by volatile compounds: Eucalyptol (0.14 mg/dm³), Isomenthone (0.08 mg/dm³), α-Bisabolone oxide A (0.36 mg/dm³), α-Bisabolol (0.45 mg/dm³) and α-Bisabolol oxide (0.09 mg/dm³). The total content of phenolic compounds in the hydrolate (10 mg/dm³), its antioxidant activity (0.20±0.06 mg/dm³) and antimicrobial effect on strains of pathogenic microorganisms (*Staphylococcus aureus* (strain – ATCC 25923), *Escherichia coli* (strain – ATCC 25922)). The presence of eucalyptol, bisabolol and isomentone in aloe vera hydrolate causes its anti-inflammatory, bactericidal, antiseptic, antispasmodic, deodorizing, tonic, soothing, healing, moisturizing and nourishing properties, with antibacterial and antiseptic action.

Keywords: *Aloe vera* L.; hydrolate; antimicrobial and antioxidant activity; biochemical analysis