

8. Matiz A., Mito P.T., Mayorga A.Y., Freschi L. and Mercier H. CAM Photosynthesis in Bromeliads and Agaves: What Can We Learn from These Plants? <http://dx.doi.org/10.5772/56219>
9. Schiller K. and Bräutigam A. Engineering of Crassulacean Acid Metabolism. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2021. V. 72; P. 77–103. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-071720-104814>
10. Shuo Qiu, Ke Xia, Yanni Yang, QiaofenWu and Zhiguo Zhao. Mechanisms Underlying the C3–CAM Photosynthetic Shift in Facultative CAM Plants. *Horticulturae* 2023, 9, 398. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030398>
11. Smith J.A.C. and Winter K. CAM photosynthesis: the acid test. *New Phytologist*, 2022. V. 233; P. 599–609.
12. Эдвардз Дж., Уокер Д. Фотосинтез C3- и C4- растений: механизмы и регуляция. Москва, «Мир», 1986. 598 с.

УДК 577.29

ПОДБОР МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ iPBS ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *TURBINICARPUS* (BACKBG.) BUXB. & BACKBG.

Татьяна Геннадьевна ШЛАПАКОВА

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь

e-mail: 654321zxcv@mail.com

SELECTION OF MOLECULAR MARKERS iPBS FOR THE STUDY OF GENETIC DIVERSITY OF REPRESENTATIVES OF THE GENUS *TURBINICARPUS* (BACKBG.) BUXB. & BACKBG.

Tatyana G. SHLAPAKOVA

Central Botanical Garden of NAS of Belarus, Minsk, Belarus

Аннотация. Выполнен подбор молекулярных iPBS маркеров для построения филогенетической схемы, основанной на генетическом расстоянии для уточнения происхождения и родства видов рода *Turbinicarpus*.

Ключевые слова: *Turbinicarpus*, iPBS маркеры, генетическое расстояние, кактусы.

Abstract. The selection of molecular iPBS markers was performed to build a phylogenetic tree based on genetic distance to clarify the origin and relationship of species of the genus *Turbinicarpus*.

Keywords: *Turbinicarpus*, iPBS markers, genetic distance, cacti.

Введение. В мире большое внимание уделяется изучению и охране биологического разнообразия – основе существования и устойчивого экономического развития общества. Представители семейства Cactaceae Juss. являются объектами исследования уже столетия, однако некоторые вопросы изучения их биологии и в настоящее время далеки от завершения. В местах естественного произрастания численность представителей этого семейства сокращается: около 25% видов занесен в список СИТЕС. Основные работы по сохранению редких и исчезающих видов кактусов ведутся в ботанических садах.

В качестве объектов исследования выбран род *Turbinicarpus* (Backbg.) Buxb.&Backbg. *Turbinicarpus* – это род мексиканских кактусов, который включает более 30 видов и подвидов, однако их количество варьируется среди авторов [1–3]. Род *Turbinicarpus* распространяется на северо-востоке регион Мексики (в Сонорской и Нагорно-Мексиканской провинциях Голарктического царства

(северо-восточные регионы: штаты Сан-Луис-Потоси, Гуанахуато, Нуэво-Леон, Керетаро, Идальго, Коауила, Тамаулипас и Сакатекас) [4]. Из-за незаконной добычи, изменения режима использования почвы и чрезмерного выпаса скота, все виды рода, за исключением *T. horripilus* (Lem. ex Förster) V. John & Riha, перечислены в NOM-059- СЕМАРНAT-2010 [5]. Кроме того, все виды этого рода включены в Приложение I СИТЕС [3] и Красный список Международного союза Охрана природы [6]. Немаловажным аспектом изучения биологии вида является работа над его систематикой. Посторонние филогенетических схем помогает разобраться с происхождением и родством видов.

Растительный материал. Для исследования использовали следующие виды рода *Turbinicarpus* (Backbg.) Buxb. & Backbg коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси: *T. schmiedickeanus* subsp. *klinkerianus* (Backeb. & W. Jacobsen) Glass & R.A. Foster, *T. schmiedickeanus* subsp. *klinkerianus* "lilinkeuiduus", *T. lophophoroides* (Werderm.) Buxb. & Backeb., *T. lophophoroides* f. *roseiflorus*, *T. pseudomacrochele* subsp. *lausseri* (Diers & G. Frank) Glass, *T. schmiedickeanus* subsp. *andersonii* Mosco, *T. schmiedickeanus* subsp. *flaviflorus* (G. Frank & A.B. Lau) Glass & R.A. Foster, *T. graminispinus* Matusz., *T. hoferi* Lüthy & A.B. Lau, *T. jauernigii* G. Frank, *T. pseudopectinatus* (Backeb.) Glass & R.A. Foster, *T. pseudopectinatus* var. *albiflorus*, *T. pseudopectinatus* var. *rubriflorus*, *T. valdezianus* (Møller) Glass & R.A. Foster, *T. valdezianus* var. *albiflorus*, *T. zaragozae* (Glass & R.A. Foster) Glass & Hofer, *T. schmiedickeanus* subsp. *bonatzii* (G. Frank) Panar., *T. schwarzii* (Shurly) Backeb., *T. schwarzii* var. *rubriflorus* Gerhart Frank, *T. spacellatus*, *T. × mombergeri* Riha, *T. gielsdorfianus* (Werderm.) John & Riha, *T. schmiedickeanus* subsp. *gracilis* (Glass & R.A. Foster) Glass., *T. saueri* subsp. *knuthianus* (Boed.) Lüthy, *T. saueri* ssp. *nelissae*, *T. pseudomacrochele* subsp. *minus* (G. Frank) Lüthy & A. Hofer, *T. pseudomacrochele* subsp. *lausseri* (Diers & G. Frank) Glass, *T. schmiedickeanus* subsp. *macrochele* (Werderm.) N.P. Taylor, *T. macrochele* var. *kupackii*, *T. macrochele* var. *frailensis*, *T. polaskii* Backeb., *T. pseudomacrochele* (Backeb.) Buxb. & Backeb., *T. pseudomacrochele* var. *alenae*, *T. schmiedickeanus* subsp. *dickisoniae* (Glass & R.A. Foster) N.P. Taylor, *T. swobodae* Diers & Esteves, *T. saueri* subsp. *ysabelae* (Schlange) Lüthy., *T. saueri* (Boed.) John & Riha, *T. saueri* ssp. *gonzalezii*, *T. beguinii* var. *senilis* f. *nobile*, *T. mandragora* (Frič ex A. Berger) A.D. Zimmerman, *T. alonsoi* Glass & S. Arias, *T. laui* Glass & R.A. Foster, *T. roseiflorus* Backeb.

Цель работы. Выполнить подбор молекулярных iPBS маркеров для следующего построения филодендрограммы рода *Turbinicarpus*.

Материалы и методы. Для выделения ДНК использовали годовалые сеянцы. Семена кактусов высевали в субстрат, в качестве которого использовали следующую смесь: 18 частей промытого кварцевого песка, 9 частей биогумуса, 1,5 части угольной крошки. Субстрат для посева простерилизован при температуре +180°C в течение 120 минут. Предварительно замоченные семена раскладывали на поверхности субстрата и помещали в световой шкаф. Температуру поддерживали на уровне +25–30°C. Влажностный режим создавали ежедневными опрыскиваниями. ДНК выделяли с помощью набора реагентов «ДНК-Экстрэн-3» для растений. Качество и количество выделенной ДНК проверяли с помощью NanoPhotometer Pearl Implen GmbH (Мюнхен, Германия). В исследовании использовали 30 iPBS праймеров (таблица 1) [7]. ПЦР проводили в 25 мкл реакционной смеси, содержащей 25–50 нг ДНК, 5 мкл готовой смеси для ПЦР ScreenMix (Евроген), 1 мМ праймера для 12–13 п.н. праймеров или 0,6 мМ для 18 п.н. праймеров, и воды.

Программа ПЦР состояла из: 1 цикла при 95°C в течение 5 мин.; 38 – при +95°C в течение 15 с., 50 при – +65.2°C (в зависимости от праймера) в течение 60 с. и +68°C в течение 90 с.; финальная элонгация +72°C в течение 8 мин. Амплификацию проводили в программируемом терморегуляторе C1000 Touch Thermal Cycler (MJ Research Inc., Bio-Rad Laboratories, США). Электрофорез выполняли 2,5 часа при напряжении 75 V в 2% агарозном геле. Окрашивание геля проводили бромидом этидия в течении 30 мин. и визуализировали с использованием системы UV Imager Gel Doc XR + (Bio-Rad, США). Данные ПЦР использовали для поиска подходящих праймеров.

Для изучения генетического разнообразия и генетической дифференциации *Turbinicarpus* отобраны 17 маркеров из 30 используемых (2389, 2373, 2277, 2375, 2377, 2378, 2374, 2095, 2237, 2272, 2077, 2232, 2390, 2394, 2415, 2078, 2081) (Табл. 1).

Заключение. Полученные данные позволяют построить филодендрограмму основанную на генетическом расстоянии, что поможет разобраться с происхождением и родством видов. Также данные исследования в дальнейшем будут использованы для уточнения систематического положения представителей семейства Cactaceae в коллекции ЦБС НАН Беларуси.

Табл. 1. Праймеры, используемые в исследовании: I – название праймера, II – оптимальная температура отжига Ta (°C), III – последовательность (5' – 3')

I	II	III	I	II	III
2389	50.0	ACATCCTTCCCA	2390	52.4	GCAACAACCCCA
2373	51.0	GAAC TTGCTCCGATGCCA	2273	52.4	GCTCATCATGCCA
2277	52.0	GGCGATGATACCA	2394	56.5	GAGCCTAGGCCA
2376	52.0	TAGATGGCACCA	2220	57.0	ACCTGGCTCATGATGCCA
2375	49.4	TCGCATCAACCA	2242	57.0	GCCCCATGGTGGGCGCCA
2377	48.0	ACGAAGGGACCA	2076	55.4	GCTCCGATGCCA
2378	53.0	GGTCTCATCCA	2271	60.0	GGCTCGGATGCCA
2383	53.6	GCATGGCCTCCA	2415	61.0	CATCGTAGGTGGGCGCCA
2374	53.5	CCCAGCAAACCA	2078	63.6	GCGGAGTCGCCA
2095	53.7	GCTCGGATACCA	2399	63.0	AAACTGGCAACGGCGCCA
2083	54.6	CTTCTAGCGCCA	2080	63.3	CAGACGGCGCCA
2237	55.0	CCCCTACTGGCGTGCCA	2081	63.6	GCAACGGCGCCA
2239	51.0	ACCTAGGCTCGGATGCCA	2270	65.0	ACCTGGCGTGCCA
2272	55.0	GGCTCAGATGCCA	2079	65.2	AGGTGGGCGCCA
2077	55.1	CTCACGATGCCA	2232	53.4	AGAGAGGCTCGGATACCA

Список литературы

1. Anderson, E.F. The Cactus Family / E.F. Anderson. – Portland, Or: Timber Press, Incorporated, 2001. – 776 p.
2. Donati, D. Knowing Understanding and Growing *Turbincarpus-Rapicactus*. A trip across the mexican states of Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo Leon, Queretaro... / D. Donati, C. Zanovello; пер. A. Delladdio. – Trento: Cactus Trentino Südtirol, 2005. – 256 p.
3. C.I.T.E.S cactaceae checklist / D.R. Hunt [et al.]. – 2016.
4. Тахтаджян А.Л. Флористические области Земли / Тахтаджян А.Л. – Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1978. – 248 с.
5. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>. – Дата доступа: 01.02.2021.
6. The IUCN Red List of Threatened Species / J. Duarte [et al.] // The IUCN Red List of Threatened Species. – 2015. – Vol. 1 – P. 1.
7. iPBS: a universal method for DNA fingerprinting and retrotransposon isolation / R. Kalendar [et al.] // TAG Theor. Appl. Genet. Theor. Angew. Genet. – 2010. – Vol. 121, № 8. – P. 1419–1430.

УДК 58.006: 582.5/9

ОРАНЖЕРЕЙНАЯ КОЛЛЕКЦИЯ СУККУЛЕНТОВ УЧЕБНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА ИМ. А.Г.ГЕНКЕЛЯ

Дмитрий Григорьевич ШУМИГАЙ

Учебный ботанический сад им. А.Г. Генкеля Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь

e-mail: shumigajdg@yandex.ru

GREENHOUSE COLLECTION OF SUCCULENTS OF THE BOTANICAL GARDEN OF PERM STATE UNIVERSITY

Dmitry G. SHUMIGAI

Botanical garden of Perm State University, Perm

Аннотация. В статье приводятся сведения о современном состоянии коллекции суккулентов в оранжереях Учебного ботанического сада им А.Г. Генкеля. Коллекционный фонд насчитывает 637 видов из 154 родов 22 семейств.

Ключевые слова: ботанические сады, оранжерейные коллекции, суккуленты

Abstract. The information about the current state of the greenhouse collection of the succulent plants in the Botanical garden of Perm State University is provided. The collection fund includes 637 species from 154 genera 22 families.

Keywords: botanical gardens, greenhouse collections, succulent plants

Оранжереи ботанических садов в современных условиях выполняют в основном две функции: коллекционную, связанную с сохранением генофонда растений, и экспозиционную, способствующую расширению и улучшению просветительской деятельности на базе коллекций. Особое значение оранжерейные коллекции приобретают в умеренных и северных широтах, поскольку появляется возможность показать посетителям богатство флоры тропиков и субтропиков (Арнаутова, 2018).

Учебный ботанический сад им. А.Г. Генкеля Пермского университета создан в 1922 г., имеет несколько отделов с коллекциями растений открытого и закрытого грунта. Коллекционный фонд отдела закрытого грунта ботанического сада размещен в двух оранжереях – мемориальной и фондовой. До 2009-го г. вся коллекция растений закрытого грунта находилась в мемориальной оранжерее, после завершения строительства фондовой оранжереи большая часть коллекции тропических растений была перемещена в нее (Шумигай, 2021).