



УДК 581.8:581.4

АНАТОМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОСЛИН РОДИНИ САСТАСЕАЕ JUSS.: ІСТОРИЧНИЙ АСПЕКТ

Галина В. Калашник * і Марина М. Гайдаржи

Анотація. Родина Састасеае представлена багаторічними стебловими сукулентами, які морфологічно значно відрізняються між собою. При цьому незвичність їх структури та форм викликає підвищений інтерес до цієї групи рослин з боку дослідників. У цій статті наведено огляд літературних даних, які стосуються анатомічних досліджень представників родини Састасеае, починаючи з середини ХІХ ст. і до нашого часу. Важливо, що в останні роки зацікавленість даною тематикою не знижується. При цьому зростає кількість досліджень, які стосуються будови та особливостей проростків, впливу на них різноманітних зовнішніх факторів. Такі дослідження мають особливе практичне значення при інтродукції та реінтродукції, а також, для визначення особливостей адаптації даних рослин до умов навколишнього середовища.

Ключові слова: Састасеае, анатомічні дослідження, історія анатомії, анатомія кактусів

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННЦ «Інститут біології», Ботанічний сад імені акад. О.В. Фоміна, вул. С. Петлюри, 1, м. Київ, 01032, Україна; * Gal4enok28@ukr.net

Родина кактусових (Састасеае) – це спеціалізована родина, представники якої є багаторічними стебловими сукулентами. При цьому, напевно, жодна родина вищих рослин не перевищує Састасеае за багатоманітністю структур та форм; до її складу входять дерева, кущики, ліани, епіфіти, геофіти, розмірами від 1-2 см до 15-20 м. Згідно з пропозиціями Міжнародної групи із систематики кактусів, родина кактусових (Састасеае), включає в себе 4 підродини, 130 родів та 1870 видів. Представники даної родини у природі поширені на Американському континенті: від південно-західних штатів Канади, через всю західну частину США, Мексиканське нагір'я, масиви Анд Південної Америки і аж до Бразильського плоскогір'я та Патагонії (MAUSETH 2006; Гайдаржи *та ін.* 2011).

Характерні еколого-біологічні особливості родини постійно викликали підвищений інтерес до неї з боку дослідників та колекціонерів. При цьому, перші дослідження основних анатомічних ознак представників родини Састасеае були

виконані ще у ХVІ ст. Однак, серйозні анатомо-морфологічні дослідження кактусів почали проводити лише у середині ХІХ ст. – початку ХХ ст. Зокрема, у цей час були встановлені такі особливості представників родини Састасеае, як варіативність товщини кутикули, кількість шарів клітин гіподерми, товщина клітинних стінок гіподерми (SCHLEIDEN 1845; SOLEREDER 1908). У 1898 році GANONG (1898) провів порівняльний аналіз морфології зародків та проростків Састасеае, пізніше FRAINE (1910) дослідив структуру проростків 47 видів даної родини (SECORUN & DE SOUZA 2011). Першим вченим, який підкреслив зв'язок між анатомічною будовою та габітусом рослин був BOOSFELD (1920). Він відмітив, що таксони, які мають дуже відмінні зовнішні форми, мають також і дуже відмінну внутрішню структуру (NOBEL 2002).

Середина ХХ ст. відзначилась значним зростанням зацікавленості анатомією рослин, у тому числі родини Састасеае. У цей час виходять сотні публікацій та наукових

праць, присвячених даному питанню (WENIGER 1984). Так, у цей час розпочинає свою діяльність N.H. Voke (1913–1996), добре відомий своєю інтерпретацією гінецею квітки кактусів (ВОКЕ 1964). До його праць належить також зонування апексу стебла у *Trichocereus spachianus* Lem. та *Opuntia cylindrica* (Lam.) DC. (ВОКЕ 1941); вивчення гістогенезу та розвитку листків і ареол у *O. cylindrica* (ВОКЕ 1944), *Coryphantha* (Engelm.) Lem. (ВОКЕ 1952), ареол у *Epithelantha* F.A.C. Weber ex Britton et Rose (ВОКЕ 1955), *Homalocephala* Britton et Rose (ВОКЕ 1957a), *Echinocactus* Link et Otto (ВОКЕ 1957a), *Mammillaria lasiacantha* Engelm. (ВОКЕ 1958) та ін. N.H. Voke також провадив дослідження анатомічної будови та розвитку стебел *Echinocereus* Engelm. (ВОКЕ 1951), *Pereskia* Mill. (ВОКЕ 1954), *Toumeyia* Br. et R. (ВОКЕ 1957b), *Solisia* (B. Stein) Br. et R. (ВОКЕ 1960), *Dolichothele* (K. Schumann) Britton et Rose (ВОКЕ 1961).

У 1950 році видав свою монографію «Морфологія кактусів» австрійський ботанік ВУХВАУМ (1950). Franz Vuxbaum (1900-1979) був першим, хто поклав в основу систематики кактусів будову їх насіння. За довге наукове життя Vuxbaum опублікував 343 наукові роботи.

У 60-х роках виходять 7 статей I.W. Bailey (1964) (одна в співавторстві – Bailey & Srivastava (1962)), присвячених порівняльній анатомії кактусів, що мають справжні листки (*Pereskia*, *Pereskopsis* Britton & Rose та *Quiabentia* Britton & Rose).

Дещо пізніше розпочинає свою наукову діяльність А.С. Gibson, який провів порівняльний аналіз вторинної ксилеми у *Sactoidae* (GIBSON 1973), дослідив анатомію деревини у опунцій та платіопунцій (GIBSON 1978), анатомію вегетативних органів *Maihuenia* (Phil. ex F.A.C. Weber) K. Schum. (GIBSON 1977).

З кінця 70-х років XX ст. інформація про родину *Sactaceae* поповнюється роботами J.D. Mauseth. Він дослідив гормональний контроль органогенезу у *Opuntia polyacantha* Haw. (MAUSETH & HALPERIN 1975), морфогенетичні

механізми, які впливають на розвиток зон апікальної меристеми пагонів проростків (MAUSETH 1978), зробив широкий огляд анатомії стебел (MAUSETH & PLEMONS 1995) і структури апікальної меристеми стебла *Sactaceae* (MAUSETH 1992, 2004), розглянувши близько 200 видів даної родини, а також проаналізував нюанси запасання води деревиною кактусів (MAUSETH 1993; MAUSETH & PLEMONS-RODRIGUEZ 1997) та ін. Загалом починаючи з 1977 вийшло близько 90 його статей (частина із співавторами) присвячених даній родині.

У другій половині XX ст. над анатомією родини *Sactaceae* працювали також ряд інших вчених. Так, FREEMAN (1969) описав морфологію та анатомію *Opuntia basilaris* Engelm. et J.M. Bigelow; HAMILTON (1970) вивчав структуру проростків *O. brandtiana*; CONDE (1975) з'ясував особливості будови п'яти видів роду *Opuntia*; SMITH *et al.* (1984) вивчали толерантність до високих температур 14 видів південноамериканських кактусів, враховуючи при цьому редукцію пропорцій хлоренхіми, як індикатор; С.О. Волгін (VOLGIN 1986) досліджував структуру квітки та насіння *Rhipsalinae*; SALLES (1987) проаналізував морфологію проростків *Cephalocereus fluminensis*. DARLING (1989) дослідив анатомічні особливості епідерми та гіподерми *Cereus giganteus*; SAJEVA & MAUSETH (1991) провели порівняльний аналіз структури листя рослин підродини *Pereskoidae* та фотосинтетичних стебел представників *Sactoidae*; VONA *et al.* (1997) вивчали проростки *Hattoria gaertneri*. ARNOLD & MAUSETH (1999) досліджували вплив зовнішніх факторів на розвиток деревини у видів *Cereus peruvianus* та *C. tetragonus* (SECORUN ET DE SOUZA 2011).

Початок XXI ст. характеризується появою нових імен на теренах анатомічних досліджень родини *Sactaceae*, підвищенням інтересу до вивчення впливів зовнішніх факторів на морфологію кактусів, а також до особливостей структури їх проростків і насіння. Тож, за останні 13 років були оприлюднені ґрунтовні дослідження. LOZA-CORNEJO *et al.* (2003)

дослідили морфологію, анатомію та фотосинтетичний метаболізм проростків *Stenocereus queretaroensis*. У цьому ж році була також опублікована робота LOZA-CORNEJO & TERRAZAS (2003), присвячена вивченню епідерми та гіподерми у 70 видів південноамериканських кактусів. MALAININE *et al.* (2003) визначили структуру та хімічний склад колючок у *Opuntia ficus-indica* (L.) P. Miller, а MOSCO (2009) – мікро-морфологію та анатомію колючок *Turbincarpus*. AYALA-CORDERO *et al.* (2006) встановили анатомо-морфологічні особливості проростків *Stenocereus beneckei* за умови дефіциту вологи. ALMEIDA (2009) проаналізувала структуру проростків *Epiphyllum phyllanthus*, а SECORUN & DE SOUZA (2011) дослідили морфологію та анатомію проростків *Rhipsalis cereuscula*, *R. floccosa* subsp. *hohenauensis* та *Lepismium cruciforme*. SOFFIATTI & ANGYALOSSY (2005) опублікували дослідження анатомії деревини 4 видів ендемічного бразильського роду *Cipocereus* F. Ritter, а у 2007 р. провели анатомічні дослідження трьох ендемічних видів бразильських цереусів (SOFFIATTI & ANGYALOSSY 2007). ALTESOR *et al.* (2008) провели порівняльне дослідження ксилеми у шести видів з різним габітусом (двох дерев'янистих зі справжніми листками і чотирьох сукулентних) з метою аналізу ролі гетерохронії в еволюції сукулентності кактусів. DOS SANTOS GARCIA *et al.* (2012) провели порівняльні дослідження анатомії стебел та коренів у *Echinopsis calochlora* та *E. rhodotricha*. ROSAS *et al.* (2012) дослідили анатомічні особливості проростків *Polaskia chichipe* та *Echinocactus platyacanthus* під впливом дефіциту вологи. У 2013 році O.J.G. Almeida зі співавторами. проаналізували анатомічні особливості проростків *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. (ALMEIDA *et al.* 2013).

Таким чином, до теперішнього часу найбільш детально вивчались анатомо-морфологічні особливості представників під родини Opuntioideae, роду *Cereus* та близьких до нього родів, а також деяких видів

епіфітних кактусів і окремих представників під родини Cactoideae. Крім того, увага дослідників приділялася вивченню особливостей проростків та насіння деяких видів даної родини. Однак, варто зазначити, що недостатньо уваги попередників було приділено розвитку окремих анатомічних структур в онтогенезі, що дозволило б отримати відповіді на деякі питання пов'язані з інтродукцією та утриманням цих рослин в умовах культури. Зважаючи на те, що більшість представників родини Cactaceae є рідкісними та зникаючими (Гайдаржи *та ін.* 2011), варто відзначити, що анатомічні дослідження цих рослин залишаються актуальними і у наш час.

Використані джерела

- ГАЙДАРЖИ М.М., НІКІТИНА В.В., БАГАЙ К.М. 2011. Сукулентні рослини (анатомо-морфологічні особливості, поширення й використання). ВПЦ «Київський університет», Київ.
- ALMEIDA O.J.G. 2009. Morfoanatomia dos órgãos reprodutivos e plântula de *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. (Cactaceae). Dissertação Mestrado, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, S.P.
- ALMEIDA O.J.G., PAOLI A.A.S., SOUZA L.A., COTA-SÁNCHEZ J.H. 2013. Seedling morphology and development in the epiphytic cactus *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. (Cactaceae: Hylocereeae). *J. Torrey Bot. Soc.* 140: 196–214.
- ALTESOR A., SILVA C., EZCURRA E. 1994. Allometric neoteny and the evolution of succulence in cacti. *Bot. J. Linn. Soc.* 114: 283–292.
- ARNOLD D.H., MAUSETH J.D. 1999. Effects of environmental factors on development of wood. *Am. J. Bot.* 86: 367–371.
- AYALA-CORDERO G., TERRAZAS T., LO PEZ-MATA L., TREJO C. 2006. Morpho-anatomical changes and photosynthetic metabolism of *Stenocereus beneckei* seedlings under soil water deficit. *J. Exp. Bot.* 57: 3165–3174.
- BAILEY I.W. 1964. Comparative anatomy of the leaf-bearing Cactaceae. XI. *J. Arnold Arbor.* 45: 140–149.
- BAILEY I.W., SRIVASTAVA L.M. 1962. Comparative anatomy of the leafbearing Cactaceae. IV. The fusiform initials of the cambium and the form and structure of their derivatives. *J. Arnold Arbor.* 43: 187–197.
- ВОКЕ N.H. 1941. Zonation in the shoot apices of *Trichocereus spachianus* and *Opuntia cylindrica*. *Am. J. Bot.* 28: 656–664.
- ВОКЕ N.H. 1944. Histogenesis of the leaf and areole in *Opuntia cylindrica*. *Am. J. Bot.* 31: 299–316.

- BOKE N.H. 1951.** Histogenesis of the vegetative shoot in *Echinocereus*. *Am. J. Bot.* **38**: 23–38.
- BOKE N.H. 1952.** Leaf and areole development in *Coryphantha*. *Am. J. Bot.* **39**: 134–145.
- BOKE N.H. 1954.** Organogenesis of the vegetative shoot in *Pereskia*. *Am. J. Bot.* **41**: 619–637.
- BOKE N. H. 1955.** Dimorphic areoles of *Epithelantha*. *Am. J. Bot.* **42**:725–733.
- BOKE N.H. 1957a.** Comparative histogenesis of the areoles in *Homalocephala* and *Echinocactus*. *Am. J. Bot.* **44**: 368–380.
- BOKE N.H. 1957b.** Structure and development of the shoot in *Toumeyia*. *Am. J. Bot.* **44**: 888–896.
- BOKE N.H. 1958.** Areole histogenesis in *Mammillaria lasiacantha*. *Am. J. Bot.* **45**: 473–479.
- BOKE N.H. 1960.** Anatomy and development in *Solisia*. *Am. J. Bot.* **47**: 59–65.
- BOKE N.H. 1961.** Structure and development of the shoot in *Dolichothele*. *Am. J. Bot.* **48**: 316–321.
- BOKE N.H. 1964.** The cactus gynoeceum: a new interpretation. *Am. J. Bot.* **51**: 598–610.
- BONA C., KAEHLER M., TAKEMORI N.K., CERVI A.C., ALQUINI Y. 1997.** Análise morfo-anatômica de *Hattiora gaertneri* (Regel) Barthlott (Cactaceae). *Arquivos de Biologia e Tecnologia* **40**: 752–759.
- BOOSFELD A. 1920.** Beiträge zur vergleichenden Anatomie stamm-sukkulenter Pflanzen. *Beihefte zum Botanischen Centralblatt* **37**: 217–258.
- BUXBAUM F. 1950.** Morphology of cacti. Abbey Garden Press, California.
- DARLING M.S. 1989.** Epidermis and hypodermis of the saguaro cactus (*Cereus giganteus*): Anatomy and spectral properties. *Am. J. Bot.* **76**: 1698–1706.
- DOS SANTOS GARCIA J., SCREMIN-DIAS E., SOFFIATI P. 2012.** Stem and root anatomy of two species of *Echinopsis* (Trichocereae: Cactaceae). *Rev. Mex. Biodivers.* **83**: 1036–1044.
- FRAINE E. 1910.** The seedling structure of certain Cactaceae. *Ann. Bot.* **24**: 125–175.
- FREEMAN T.P. 1969.** The developmental anatomy of *Opuntia basilaris*. I. Embryo, root, and transition zone. *Am. J. Bot.* **56**: 1067–1074.
- GANONG W.F. 1898.** Contributions to a knowledge of the morphology and ecology of the Cactaceae: II. The comparative morphology of the embryos and seedlings. *Ann. Bot.* **12**: 423–476.
- GIBSON A.C. 1973.** Comparative anatomy of secondary xylem in Cactoideae (Cactaceae). *Biotropica* **5**: 29–65.
- GIBSON A.C. 1977.** Vegetative anatomy of *Maihuenia* (Cactaceae) with some theoretical discussions of ontogenetic changes in xylem cell types. *Bull. Torrey Bot. Club* **104**: 35–48.
- GIBSON A.C. 1978.** Wood anatomy of *Platyopuntias*. *Aliso* **9**: 279–307.
- HAMILTON M.W. 1970.** The comparative morphology of three *Cylindropuntias*. *Am. J. Bot.* **57**: 1255–1263.
- LOZA-CORNEJO S., TERRAZAS T. 2003.** Epidermal and hypodermal characteristics in North American Cactoideae (Cactaceae). *J. Plant Res.* **116**: 27–35.
- LOZA-CORNEJO S., TERRAZAS T., LÓPEZ-MATA L., TREJO C. 2003.** Características morfo-anatômicas y metabolismo fotossintético em plântulas de *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae): su significado adaptativo. *Interciencia* **28**: 1–26.
- MALAININE M.E., DUFRESNE A., DUPEYRE D., MAHROUZ V., VUONG R., VIGNON M. 2003.** Structure and morphology of cladodes and spines of *Opuntia ficus-indica*. Cellulose extraction and characterization. *Carbohydr. Polym.* **51**:77–83.
- MAUSETH J.D. 1978.** An investigation of the morphogenetic mechanisms which control the development of zonation in seedling shoot apical meristems. *Am. J. Bot.* **65**: 158–167.
- MAUSETH J.D. 1992.** Apical meristems. 1992 Yearbook of Science & Technology. McGraw-Hill Book Company.
- MAUSETH J.D. 1993.** Water-storing and cavitation-preventing adaptations in wood of cacti. *Ann. Bot.* **72**: 81–89.
- MAUSETH J.D. 2004.** Giant shoot apical meristems in cacti have ordinary leaf primordia but altered phyllotaxy and shoot diameter. *Ann. Bot.* **94**: 145–153.
- MAUSETH J.D. 2006.** Structure-function relationships in highly modified shoots of Cactaceae. *Ann. Bot.* **98**: 901–926.
- MAUSETH J.D., HALPERIN W. 1975.** Hormonal control of organogenesis in *Opuntia polyacantha* (Cactaceae). *Am. J. Bot.* **62**: 869–877.
- MAUSETH J.D., PLEMONS B.J. 1995.** Developmentally variable, polymorphic woods in cacti. *Am. J. Bot.* **82**: 1199–1205.
- MAUSETH J.D., PLEMONS-RODRIGUEZ B.J. 1997.** Presence of paratracheal water storage tissue does not alter vessel characters in cactus wood. *Am. J. Bot.* **84**: 815–822.
- MOSCO A. 2009.** Micro-morphology and anatomy of *Turbinicarpus* (Cactaceae) spines. *Rev. Mex. Biodivers.* **80**: 119–128.
- NOBEL P.S. (ed.) 2002.** Cacti: Biology and uses. University of California Press.
- ROSAS U., ZHOU R.W., CASTILLO G., COLLAZO-ORTEGA M. 2012.** Developmental reaction norms for water stressed seedlings of succulent cacti. *PLoS ONE* **7** (3): e33936. doi: 10.1371/journal.pone.0033936.
- SAJEVA M., MAUSETH J.D. 1991.** Leaflike structure in the photosynthetic, succulent stems of cacti. *Ann. Bot.* **68**: 405–411.
- SALLES H.G. 1987.** Expressão morfológica de sementes e plântulas. I. – *Cephalocereus fluminensis* (Miq) Britton e Rose (Cactaceae). *Revista Brasileira de Sementes* **9**: 73–81.

- SCHLEIDEN M.J. 1845.** Beitrage zur Anatomie des Cacteen. *Mem. l'Acad. Imp. d. Sci. d. St. Petersb., ser. 6* 4: 335–380.
- SECORUN A.C., DE SOUZA L.A. 2011.** Morphology and anatomy of *Rhipsalis cereuscula*, *Rhipsalis floccosa* subsp. *hohenauensis* and *Lepismium cruciforme* (Cactaceae) seedlings. *Rev. Mex. Biodivers.* 82: 131–143.
- SMITH S.D., DIDDEN-ZOPFY B., NOBEL P.S. 1984.** High-temperature responses of North American cacti. *Ecology* 65: 643–651.
- SOFFIATI P., ANGYALOSSY V. 2005.** Wood anatomy of *Cipocereus* (Cactaceae). *IAWA J.* 26: 299–308.
- SOFFIATI P., ANGYALOSSY V. 2007.** Anatomy of Brazilian Cereae (subfamily Cactoideae, Cactaceae): *Arrojadoa* Britton & Rose, *Stephanocereus* A. Berger and *Brasilicereus* Backeberg. *Acta Bot. Bras.* 21: 813–822.
- SOLEREDER H. 1908.** Systematic Anatomy of the Dicotyledons: A handbook for laboratories of pure and applied botany: 406–415. Clarendon Press, Oxford.
- VOLGIN S.A. 1986.** Taxonomic revision of the subtribe Rhipsalinae Britt et Rose emend F. Buxb (Cactaceae, Cereoideae). *Feddes Repert.* 10: 553–564.
- WENIGER D. 1984.** Cacti of Texas and neighboring states: A field guide. University of Texas Press, Texas.

ANATOMICAL INVESTIGATION ON CACTACEAE JUSS.: A HISTORICAL RETROSPECT

GALINA V. KALASHNYK * & MARINA M. GAJDARZY

Abstract. Cactaceae consists of perennial stem succulents with diverse morphology. Due the distinctive structure and form the interest of researchers to this group of plants is increasing nowadays. The present paper provides an overview of published data concerning anatomical studies on the family Cactaceae since the mid-nineteenth century to our days. It is important to consider that recent interest in this field does not reduce, while the number of studies dealing with the structure and features of seedlings, the effect of various environmental factors on them is uprising. Such studies have a great practical importance for introduction and reintroduction of cacti, as well as for determination of their adaptive characteristics to environmental conditions.

Key words: Cactaceae, anatomical studies, the history of anatomy, anatomy of cacti

Taras Shevchenko National University of Kyiv, ESC "Institute of Biology", O.V. Fomin Botanical Garden, S. Petlura str. 1, 01032 Kyiv, Ukraine; * Gal4enok28@ukr.net