

CISTOLITI I DRUGA ZADEBLJANJA
STANIČNIH STIJENKI U VRSTE
ECBALLIUM ELATERIUM (L.) A. RICH.

Mit deutscher Zusammenfassung

KATARINA DUBRAVEC

(Iz Instituta za botaniku Sveučilišta u Zagrebu)

Primljeno za štampu 21. X 1967.

Uvod

Cistoliti su centripetalna zadebljanja staničnih stijenki, koja su inkrustrirana kalcijevim karbonatom (Weddel 1954; cit. po Küsteru 1956). Oni se obrazuju u nekim porodicama kao što su npr. *Moraceae*, *Oleaceae*, *Cannabinaceae*, *Cucurbitaceae* itd. Među njima najbolje su proučeni cistoliti vrste *Ficus elastica*.

Prvi je cistolite kod porodice *Cucurbitaceae* opisao Penzig (1881), i to kod vrste *Momordica charantia* i *M. echinata*. Treba istaknuti da je autor kasnije istraživao i listove *Momordica huberi* i *M. elaterium* (*Ecballium elaterium*), ali u njima nije primijetio cistolite. Autor je istražio i kemizam staničnih membrana, te ustanovio da su od celuloze. Neki autori su u cistolitnim membranama ustanovili osim celuloze i kalozu (Lerch 1964). Ustanovljeno je da se kalozu u cistolitima nepravilno izmjenjuje sa celuloznim slojevima. Najbogatiji je kalozom vanjski dio cistolita.

Predmet ranijih istraživanja su bila i optička svojstva cistolita. Zbog micelarne građe celuloznih membrana cistoliti vrste *Ficus elastica* optički su vrlo anizotropni (Frey-Wyssling 1935), te intenzivno svijetle u polariziranom svjetlu među unakrštenim nikolima. Anizotropnost cistolita vrste *Ficus elastica* potječe od njegovih celuloznih membrana, koja se odlikuju svojstvom optičkog dvoloma, a ne od inkrustiranog kalcijeva karbonata. Okolnost da kalcijev karbonat ne svijetli u cistolitima ne mora značiti da je kalcijev karbonat u cistolitima amorfan; on može biti i kri-

staliničan ali su tada kristalići submikroskopske veličine i nepravilno položeni unutar celuloznih membrana, zbog čega dolazi do statističke izotropnosti. Pitanje da li je kalcijev karbonat u cistolitima amorfan ili kristaliničan može se riješiti pomoću rendgenske strukturne analize.

Morfologija cistolita

Cistoliti štrcalice (*Ecballium elaterium* (L.) A. Rich.) dosta variraju s obzirom na morfologiju. Gotovo redovito zahvaćaju više stanica šireći se vjerojatno iz jednog centra (sl. 1, 2, 3). Vrlo često je po dvadeset i više epidermalnih stanica ispunjenih cistolitnim masama, koje očito međusobno stoje u vezi. Često se u cistolitima, naročito u središnjim dijelovima, može zamijetiti slojanje, dok rubni dijelovi imaju više bradavičastu površinu. Čini se da su oni dijelovi koji imaju bradavičastu površinu jako inkrustirani kalcijevim karbonatom; oni su tamni, slabije propusni za svjetlo. Za razliku od toga, dijelovi sa slojanjem su svijetli i vjerojatno slabo inkrustirani ili uopće nisu inkrustirani kalcijevim karbonatom (sl. 3).

Iz poprečnog presjeka kroz epidermu može se ustanoviti da su cistoliti većinom prislonjeni na vanjsku membranu epiderme ali se ne drže tankim dršcima, nego priležu uz membranu širokom površinom (sl. 4, sl. 5). Kako se vidi iz tih presjeka, mogu se cistoliti vrlo često srasti i s bočnim membranama epiderme. U mnogim slučajevima dobiva se utisak, da su neke stanice naročito zapornice ispunjene cistolitnim masama (sl. 4). Kad je cistolit, kao što je to obično prislonjen na gornju epidermu, ostaje drugi dio stanice bez cistolita, te redovito sačuva živi protoplast. Ovi veliki cistoliti, kako smo spomenuli, zahvaćaju redovito više stanica epiderme. Oni se vrlo često stvaraju oko određenih centara. To su u mnogim slučajevima puči (sl. 3 i 4). U drugim slučajevima može tome biti uzrok bazalna stanica dlake (sl. 1) ili oštećene stanice epiderme. Kod mnogih slučajeva »cistolit« nije imao bradavičaste površine, nego slojevitú strukturu, koja se više ili manje pružala koncentrično oko centra stvaranja (sl. 3 i sl. 6). Čini se da takve forme nisu jako inkrustirane s kalcijevim karbonatom. Zbog nedostatka kalcijeva karbonata možda ove tvorevine ne bi trebalo nazvati cistoliti. Slične oblike opisao je Penzig (1881) i označio ih je kao mlade cistolite. Možda bi se i u ovom slučaju ove tvorevine moglo smatrati kao jedan stadij cistolita.

U toku istraživanja cistolita imali smo prilike pronaći i zadebljanja membrana u formi polukugle (sl. 7). Nije isključeno, da te tvorevine ne čine također ishodište od kojih u daljem razvoju mogu nastati cistoliti. Ova zadebljanja nisu bila jače inkrustirana kalcijevim karbonatom (sl. 6). Membranska zadebljanja smo često nalazili i oko nekrotiziranih stanica epiderme (sl. 8 i sl. 9). Tako se na sl. 9 zapaža jedna produžena nekrotizirana stanica ispunjena nepoznatom masom. Sve okolne stanice, kojih ima preko šest, pokazuju znatna membranska zadebljanja uz stijenke, koja ih dijeli od nekrotizirane stanice. Na slici 8 zapaža se da je oko nekrotične stanice došlo do naknadnih dioba. Novo nastale stanice orijentirane su u radijalnim nizovima, koji se pružaju prema uginuloj stanici. Nije isključeno da i takve uginule stanice ne mogu postati centar oko kojih se obrazuju cistolitne mase.

Optička svojstva cistolita i kemizam njihovih membrana

Vrlo su interesantna optička svojstva cistolita vrste *Ecballium elaterium*. Dok je kod vrste *Ficus elastica* inkrustirani kalcijev karbonat optički izotropan, dotle inkrustirani kalcijev karbonat u štrcalice vrlo jako svijetli među unakrštenim polarizacijskim prizmama. Ponekada cistoliti štrcalice svijetle intenzivno bijelo, a ponekada u raznim bojama (sl. 10). Ako se ovakvi cistoliti obrade octenom ili drugom kiselinom, kalcijev karbonat se otapa i pri tome se oslobađa ugljični dioksid. Za vrijeme otapanja postepeno slabi svijetljenje u polarizacijskom mikroskopu i konačno nestane. Čini se, prema tome, da se kalcijev karbonat u membranama cistolita štrcalice nalazi u kristaliničnoj formi.

Kod istraživanja cistolita skrenuli smo pažnju i na kemizam njihovih membrana. Cistolitne membrane štrcalice su se uz prisustvo sumporne kiseline i uz dodatak joda obojile modro, sa jodkalijem smeđe, a sa 1% otopinom kongo crvenila crveno; to dokazuje da su cistolitne membrane od celuloze.

U literaturi je poznato da se u cistolitnim membranama osim celuloze nalazi i kaloza. Tako je L e r c h (1964) ustanovio da se u membranama cistolita listova vrste *Ficus elastica* kaloza nepravilno izmjenjuje s celulozom. Najbogatiji kalozom je vanjski dio cistolita. Za vrijeme tih istraživanja nismo ispitivali da li se i u cistolitnim membranama štrcalice nalazi kaloza.

Prilikom istraživanja anatomije vrste *Ecballium elaterium* nalazili smo cistolite u gornjoj epidermi lista i u epidermalnim stanicama starih stabljika. Cistoliti su kod navedene vrste u epidermi listova vrlo rijetki. Oni se u listu nalaze samo u nekim stanicama gornje epiderme, koje okružuju dlake, kao i u bazalnim stanicama dlaka (sl. 1). Kod toga je važno napomenuti da je već P e n z i g (1881) istraživao listove vrste *Ecballium elaterium*, ali nije naišao na cistolite; vjerojatno zato što su oni rijetki i dosta teško zamjetljivi. Za razliku od toga, cistoliti su u epidermi stabljike vrlo gusto raspoređeni. Veliki cistoliti stabljike, koji zahvaćaju redovito više stanica, vide se i prostim okom kao žutosmeđe mrlje. Prema tome u našoj se vrsti cistoliti redovno nalaze u epidermalnim stanicama. Za razliku od toga Z i m m e r m a n n (1922) ustanovio je da se cistoliti proširuju iz epiderme i u palisadni parenhim (*Coccinia engleri*, *Hanburia mexicana*, *Momordica* itd.).

Usporedimo li cistolite iz lista štrcalice s cistolitima stabljike možemo zaključiti, da se razlikuju po strukturi kao i po obliku. U gornjoj epidermi lista konstatirali smo samo inkrustirane cistolite s bradavičastim površinama. Cistoliti stabljike su veliki i gusto raspoređeni. Osim toga smo u epidermi stabljike ustanovili centripetalna zadebljanja staničnih stijenki u formi polukuglastih zadebljanja iz kojih nije isključeno da u daljnjem razvoju ne nastaju cistoliti.

Ako usporedimo cistolite koje je proučavao Penzig (1881) na listovima vrsta *Momordica charantia* i *M. echinata* sa našima, vidimo da se razlikuju po obliku kao i strukturi. Naime cistoliti u listovima istraženih vrsta *Momordica* su zvjezdastog ili gljivolikog oblika, a naši cistoliti nemaju nikada drška, a isto tako ni zvjezdastih forma.

O s v r t

U epidermi starih stabljika nalazimo brojne velike cistolite, koji se vide i prostim okom kao žutosmeđe mrlje. Oni gotovo redovito zahvaćaju više stanica šireći se iz jednog centra. U cistolitima naročito u središnjim dijelovima može se zamijetiti slojanje, dok rubni dijelovi imaju bradavičastu površinu. Čini se da su dijelovi s bradavičastim površinama jako inkrustirani kalcijevim karbonatom; oni su tamni i slabije propusni za svjetlo od onih sa slojevitom strukturom, koji su svjetliji i vjerojatno slabo ili uopće nisu inkrustirani kalcijevim karbonatom.

Interesantna su i optička svojstva cistolita vrste *Ecballium elaterium*. Cistoliti štrcalice naime intenzivno svijetle među unakrštenim polarizacijskim prizmama bijelo, a ponekada u raznim bojama. Nakon otapanja u octenoj kiselini iščezava gotovo potpuno optička anizotropnost. Ovo je posebno važno zato što je kalcijev karbonat u cistolitima vrste *Ficus elastica* optički izotropan, pa ne svijetli uopće među unakrštenim polarizacijskim prizmama, već svijetljenje potječe od celuloznih dijelova cistolita.

Cistoliti se u epidermi stvaraju često oko određenih centara, kao npr. oko puči, bazalnih stanica dlaka ili oko nekrotiziranih stanica epiderme. U mnogim slučajevima cistoliti nisu imali bradavičaste površine, nego slojevitu strukturu, koja se više ili manje pružala koncentrično oko centra stvaranja. Osim toga, u epidermi stabljike nalaze se zadebljanja staničnih stijenki u formi polukugle. I ove tvorevine čini se da su ishodište od kojih se u daljem razvoju mogu razviti cistoliti, tj. da predstavljaju mlade forme cistolita.

Z a k l j u č a k

Cistoliti vrste *Ecballium elaterium* se stvaraju u epidermi stabljika, a ponekad i u epidermalnim stanicama lista, i to oko određenih centara, kao npr. oko puči, bazalnih stanica dlaka i nekrotiziranih stanica epiderme. Dijelovi cistolita s bradavičastim površinama jako su inkrustirani kalcijevim karbonatom, za razliku od cistolita sa slojevitom strukturom, koji su slabo ili uopće nisu inkrustirani kalcijevim karbonatom. Cistoliti vrste *Ecballium elaterium* intenzivno svijetle među unakrštenim polarizacijskim prizmama (sl. 10). Optička anizotropnost potječe od kristaliničnog kalcijeva karbonata. U epidermi stabljike nalaze se i polukuglasta zadebljanja staničnih stijenki. Čini se da su to mladi stadiji cistolita.

Zahvaljujem se prof. dru D. Miličiću za pomoć pri izradi mog rada. Isto tako dugujem zahvalnost doc. dru N. Plavšić i dru V. Gaži za korisne sugestije, a asistentici mr Z. Udbinac za pomoć pri izradi mikro-fotografija.

Tabla I — Tafel I

- Sl. 1. Cistolitna grupa u dlačnoj stanici i u epidermalnim stanicama stabljike
Abb. 1. Zystolithengruppe in der basalen Haarzelle und in den benachbarten Epidermiszellen des Stengels
- Sl. 2. Cistolitna grupa u epidermalnim stanicama stare stabljike
Abb. 2. Zystolithengruppe in den Epidermiszellen eines alten Stengels
- Sl. 3. Plošni presjek kroz epidermu stabljike. Mlada cistolitna grupa oko puči. U neinkrustiranom ili slabo inkrustiranom središnjem dijelu cistolitne grupe vidi se slojanje, dok rubni dijelovi, koji su jako inkrustirani, imaju bradavičastu površinu
Abb. 3. Flächenschnitt durch die Stengelepidermis. Junge Zystolithengruppe um die Spaltöffnung herum. Der Zentralteil der Kalkfreien oder nur schwach inkrustierten Zystolithengruppe zeigt Schichtung, während die stark inkrustierten Randteile eine warzenartige Oberfläche aufweisen
- Sl. 4. Poprečni presjek cistolita u zapornicama i u susjednoj stanici
Abb. 4. Zystolithen in der Schließzellen und in einer Nebenzelle (im Querschnitt)

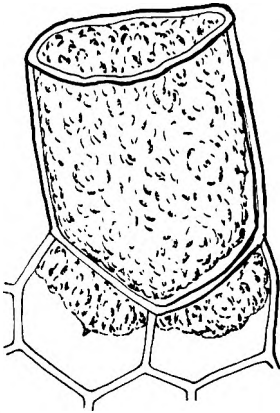
Tabla II — Tafel II

- Sl. 5. Poprečni presjek epiderme stabljike sa dva cistolita
Abb. 5. Querschnitt der Stengelepidermis mit zwei Zystolithen
- Sl. 6. Slojevita struktura mlade cistolitne grupe oko puči stabljike
Abb. 6. Schichtenstruktur einer noch nicht voll ausgewachsenen Zystolithengruppe um die Spaltöffnung des Stengels herum
- Sl. 7. Polukuglasta zadebljanja staničnih stijenki u epidermi stabljike
Abb. 7. Halbkugelförmige Zellwandverdickungen in der Stengelepidermis
- Sl. 8. Zadebljanja staničnih stijenki oko nekrotizirane stanice epiderme
Abb. 8. Zellwandverdickungen um eine nekrotisierte Epidermiszelle herum

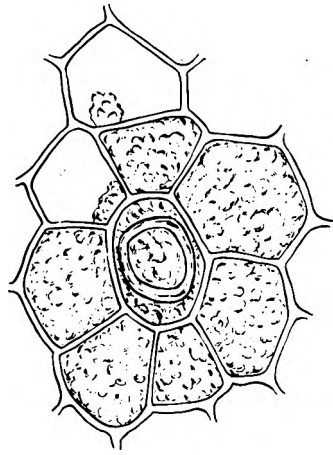
Tabla III — Tafel III

- Sl. 9. Zadebljanja staničnih stijenki oko nekrotizirane stanice ispunjene nepoznatom masom
Abb. 9. Zellwandverdickungen um eine nekrotisierte Zelle, die mit einer unbekanntem Masse ausgefüllt ist
- Sl. 10. Cistolitna grupa u polariziranom svjetlu među unakrštenim Nikolima
Abb. 10. Zystolithengruppe in polarisiertem Licht, zwischen den gekreuzten Nicolischen Prismen

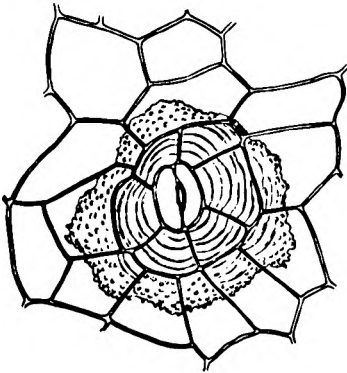
TABLA I — TAFEL I



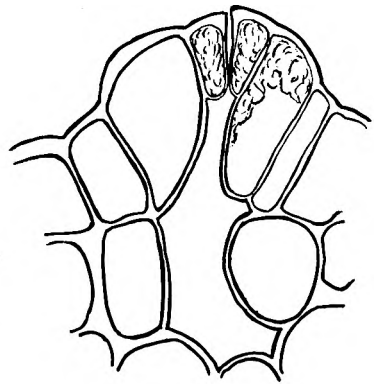
50 μ



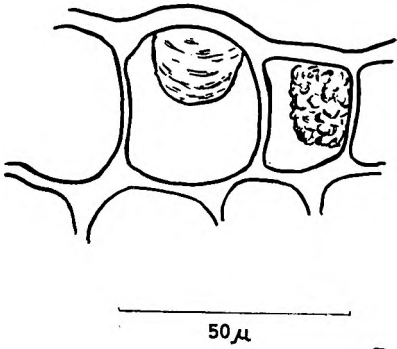
50 μ



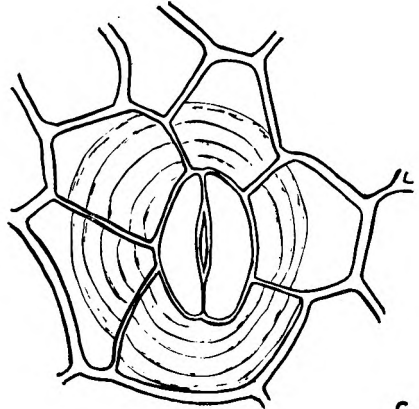
50 μ



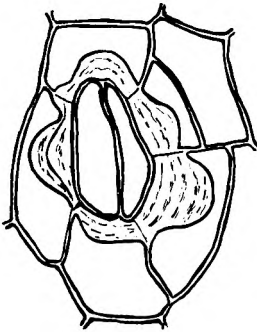
50 μ



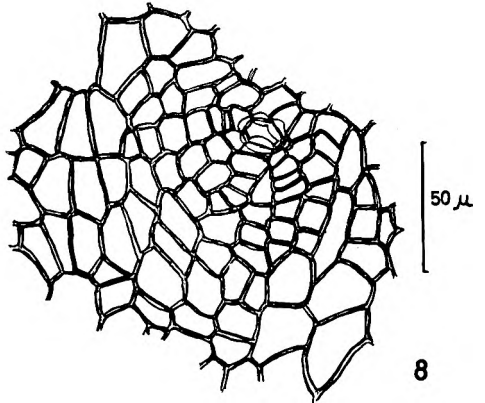
5



6

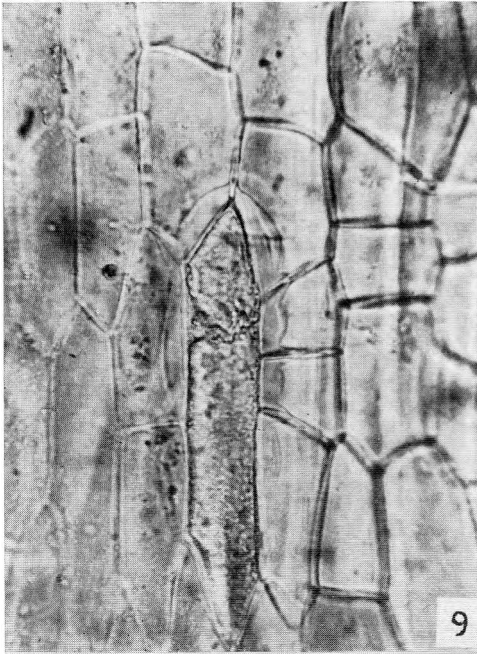


7



8

TABLA III — TAFEL III



Literatura — Schrifttum

- Bailey, L. H., 1947: The standard cyclopedia of Horticulture. Macmillan company, New York.
- Frey — Wyssling, A., 1930: Vergleich zwischen der Ausscheidung von Kieselsäure und Kalziumsalzen in der Pflanzen. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 48, 184—191.
- Frey — Wyssling, A., 1938: Submikroskopische Morphologie des Protoplasmas und seiner Derivate. Verlag Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Giesenhagen, C., 1891: Die radialen Stränge der Zystolithen von *Ficus elastica*. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 9, 74—77
- Küster, E., 1942/43: Beiträge zur Kenntnis der Rosanoffchen Kristalle und verwandter Gebilde. Flora 136.
- Küster, E., 1925: Pathologische Pflanzenanatomie. Verlag Gustav Fischer, Jena.
- Küster, E., 1956: Die Pflanzenzelle. Verlag Gustav Fischer, Jena.
- Lerch, G., 1964: Über Struktur und Bildung der Zystolithenkallose. Biologia Plantarum, 6, 48—56.
- Matek, K., 1965: Prilog poznavanju anatomske grade vrste *Echballium elaterium* (L.) A. Rich. Magistarski rad. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.
- Molisch, H., 1882: Über kalkfreie Zystolithen. Österr. Bot. Z. 32, 345—347.
- Penzig, O., 1881: Zur Verbreitung der Zystolithen in Pflanzenreich. Bot. Centralbl. 8, 393—401.
- Werner, O., 1931: Haar- und Zystolithenscheiben in Blattgeweben bei *Urticales*, *Bryonia dioica* und *Zexmenia longipetiolata*. Österr. Bot. Z. 80, 81—97.
- Zimmermann, A., 1891: Über die radialen Stränge der Zystolithen von *Ficus elastica*. Ber. d. D. Bot. Ges. 9, 126—128.

ZUSAMMENFASSUNG

ZYSTOLITHEN UND ANDERE ZELLWANDVERDICKUNGEN BEI ECBALLIUM ELATERIUM (L.) A. RICH

Katarina Dubravec

(Aus dem Botanischen Institut der Universität Zagreb)

Die Zystolithen bilden sich bei der Springgurke in der Epidermis alter Stengel, manchmal auch in den Epidermiszellen der Blätter, und zwar um bestimmte Zentren herum, wie zum Beispiel um die Spaltöffnungen, in basalen Haarzellen und alterierten Epidermiszellen. Die Zystolithen mit warzenartiger Oberfläche sind mit Kalk inkrustiert, wogegen die Zystolithen mit Schichtenstruktur entweder schwach oder überhaupt nicht mit Kalk inkrustiert sind. Die ersteren Zystolithen leuchten intensiv zwischen den gekreuzten Nikolschen Prismen; ihre optische Anisotropie wird durch kristallisierten Kalk hervorgerufen. In der Stengenlepidermis sind auch halbkugelförmige Zellwandverdickungen zu beobachten. Es scheint, daß diese Verdickungen Jugendstadien von Zystolithen darstellen.

Da sich die Zystolithen nur in den älteren Pflanzenteilen befinden und da sie in den Geweben unregelmäßig angeordnet sind, meinen wir, daß sie mehr pathologische als normale Gebilde darstellen.