

WANDA RUDNICKA-STERNA, MAŁGORZATA WYRZYKIEWICZ

CZY KONKRECJE KRZEMIONKOWE MOGĄ BYĆ PRZYDATNE W TAKSONOMII KARPOLOGICZNEJ TRAW?

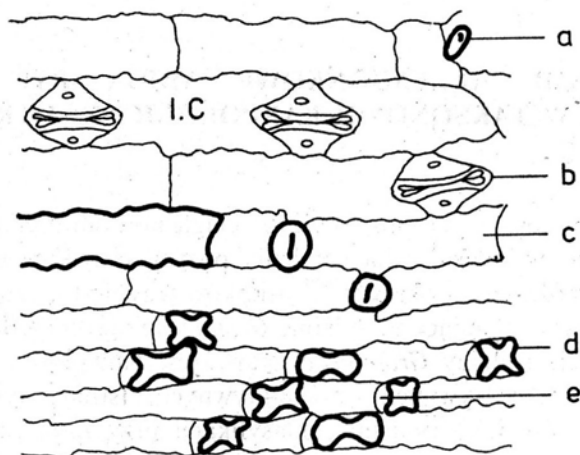
W pracach karpologicznych poszukuje się ciągle nowych cech taksonomicznych, które dałyby pewne wskazówki dla ustalenia pozycji określonego gatunku w systemie. Problem wyróżniania i określenia gatunków traw jest szczególnie skomplikowany ze względu na występującą w rodzinie *Gramineae* ogromną ilość form mieszańcowych. Klasyfikacja rodziny *Gramineae* oparta jest głównie na cechach morfologicznych organów generatywnych i wegetatywnych. Istnieje tylko niewiele prac systematycznych, które jako podstawę klasyfikacji przyjmują cechy anatomiczne, cytologiczne, kariologiczne czy też cechy chemiczne [3, 6, 7, 16]. Kompleksowe włączenie badań różnych gałęzi botaniki do systematyki, pozwoliłoby na pełniejsze rozwiązanie zagadnienia zróżnicowania czy pokrewieństwa poszczególnych taksonów. Stąd też w trakcie badań, prowadzonych w Katedrze Botaniki Ogólnej AR w Poznaniu, nad oplewionymi ziarniakami traw, zwrócono uwagę na możliwość wykorzystania występujących w nich charakterystycznych związków chemicznych jako wskaźników taksonomicznych.

Pośród wielu związków chemicznych o szczególnych wartościach systematycznych wymienić należy związki krzemu, odkładane w komórkach w postaci mineralnej i organicznej, a więc w formie nierozpuszczalnej w wodzie, jako fitolit opalowy, czyli spolimeryzowany kwas krzemowy [2]. Rośliny poszczególnych grup systematycznych mogą wytwarzać kryształy o wyraźnie określonym i odmiennym kształcie, dlatego też kryształy krzemu mają dużą wartość taksonomiczną [8, 18].

Obecność krzemionki w roślinach znana jest w nauce od dawna, mimo to występowanie jej w rodzinie *Gramineae* nie jest jeszcze w pełni zbadane [4, 11, 14]. Krzemionka absorbowana przez roślinę w postaci kwasu monokrzemowego, przenoszona jest do części nadziemnych, w których monokrzem ulega polimeryzacji na żel krzemowy i fitolit opalowy. Największe nagromadzenie krzemionki obserwowano w świetle komórek epidermy [14], natomiast w komórkach tkanek głębiej położonych jest jej mniej.

Epiderma u *Gramineae* ze względu na swoją morfologiczną różnorodność,

wykorzystana została dla celów taksonomicznych i brana jest pod uwagę w dyskusjach dotyczących ewolucji tej grupy roślin [1, 10, 17]. Skórka liścia zbudowana jest zwykle z trzech lub więcej typów komórek rozmieszczonych równoległe do nerwów (ryc. 1). Są to komórki długie i dwa rodzaje krótkich — komórki krzemionkowe i komórki korkowe. Krótkie komórki występują zwykle parami. Komórki krzemionkowe prawie zawsze wypełnione są krzemionką. Komórki korkowe mają zsuberynizowane ściany i także mogą być skrzemieniałe. Komórki krótkie tworzą często wypuklenia ponad powierzchnię liścia w formie szczecinek, papili, kolców lub włosków.



Ryc. 1. Schemat budowy epidermy liścia kukurydzy (*Zea mays* L.) z ciałkami krzemionkowymi. (wg P. C. Twiss, E. Suess, R. M. Smith, 1969). a) podstawa mikrowłosa, b) szparka, c) komórki długie, d) komórka krótka krzemionkowa, e) komórka krótka skorkowaciała

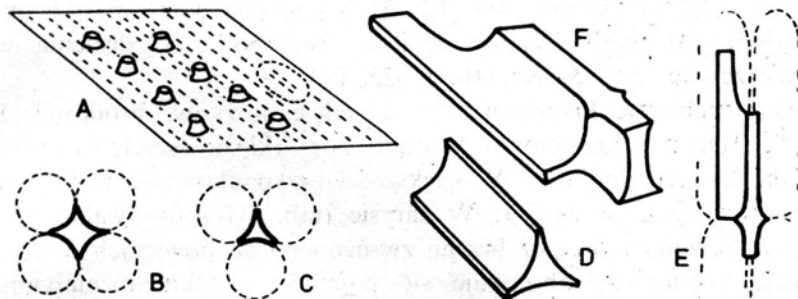
Typ kryształów krzemionkowych, spotykanych w rodzinie *Gramineae*, jest ściśle skorelowany z miejscem powstawania ich w epidermie [13]. Krzemionka może akumulować się na ścianach komórkowych, w przestrzeniach międzykomórkowych oraz w świetle komórek.

Krzemienie ścian komórkowych, polega na adkrustacji krzemionką zewnętrznych, kontaktujących się z otoczeniem ścian komórek skórki. Otrzymujemy wówczas cienką blaszkę krzemionkową, na której zachowane są odciski epidermalnych struktur (ryc. 2 — A; tab. I — 1,2).

Krzemienie międzykomórkowe odbywa się poprzez wnikanie substancji krzemionkowych w przestrzeń dwóch lub kilku sąsiadujących ze sobą komórek. Otrzymujemy wówczas kryształy w kształcie wydłużonych prętów o charakterystycznych bocznych łukowatych wklęsłościach (ryc. 2 — B — F; tab. I — 3).

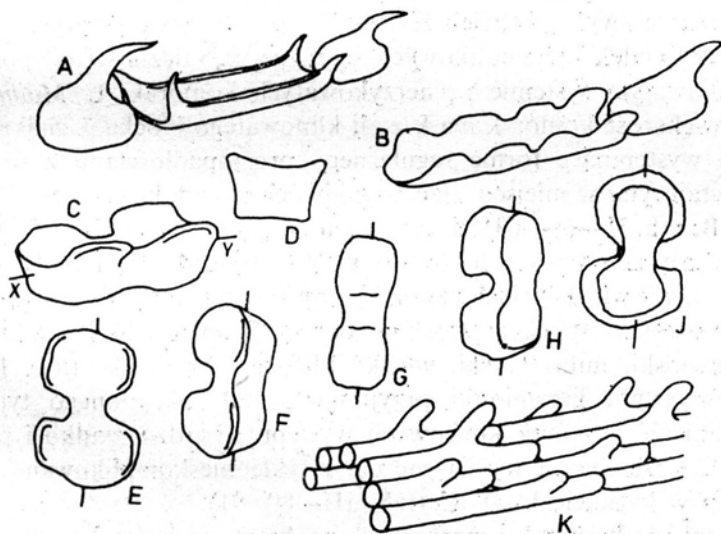
Trzeci i najważniejszy sposób krzemiennienia polega na całkowitym lub częściowym wypełnianiu światła komórek epidermy krzemionkowymi fitolitami. Kształt ciałek krzemionkowych jest bardzo rozmaity. W zależności od rodzaju komórek, w których powstają, wyróżnia się następujące grupy kryształów:

— krzemionka żebrowa w kształcie „pałeczek” i „hantli”. Żebrowane pałeczki



Ryc. 2. Schematyczne kształty ciał krzemionkowych (wg D. W. Parry i F. Smithson, 1964). A — z powierzchniowych warstw epidermy, B — F z przestworów międzykomórkowych (linią przerywaną zaznaczono zarys komórek)

mają długość od 20 do 100 μ a szerokość 10—12 μ . U niektórych gatunków brzegi pałeczek są gładkie lub tylko lekko pofałdowane (tab. I—8; tab. II—60), u innych np. *Calamagrostis* występują wyraźne garbki, czasami powyżej 10 na każdym brzegu (tab. I—4—7, 10, 12—15). Końce pałeczek są zaokrąglone i wypukłe, ale niektóre mają wklęsłe zagłębienia służące do lepszego dopasowania się ich do sąsiadującego komponenta epidermy, np. kolczastych włosków (ryc. 3—A, B; tab. I—10, 18). U pewnych gatunków rodzaju *Molinia* i *Sieglingia* pałeczki krzemionkowe posiadają po dwa garbki na końcach, tak że swymi kształtami przypominają hantle (ryc. 3—C—J; tab. I—20, 22, 23). Zarówno pałeczki jak i hantle mogą występować pojedynczo lub tworzyć szeregi (tab. I—12—17). Stwierdzono również (rodzaj *Nardus*) tzw.



Ryc. 3. Modele różnych form fitolitów. (wg D. W. Parry i F. Smithson, 1964). A — żebrowa krzemionka i skrzemieniałe włoski kłujące u *Calamagrostis canescens*, B — żebrowa krzemionka i skrzemieniałe włoski kłujące u *Dactylis glomerata*, C — krzemionka w kształcie hantli u *Sieglingia decumbens*, xy — płaszczyna równoległa do powierzchni epidermy, D — model C w przekroju poprzecznym, E — J — model C obserwowany z różnych stron (obróć o 45° w osi xy), K — rozgałęzione pałeczki krzemionkowe w epidermie *Nardus stricta*

„rozgałęzione pałeczki” krzemionki [12]. Powstają one wówczas, gdy główna jej część ustawiona jest zgodnie z powierzchnią epidermy a odgałęzienia występują ponad powierzchnię (ryc. 3—K; tab. I—25, 26).

— wewnątrzbrzewska krzemionka w kształcie stożków, brodawek lub tzw. „kapeluszy”. Ten typ krzemionki zajmuje komórki powszechnie opisane jako krótkie komórki krzemionkowe. W większości przypadków nie mają zróżnicowanych rozmiarów, średnio 5—7 μ . W zarysie (tab. III—80) owalne, stożkowate z wklęsłym zagłębieniem wzdłuż brzegu zwróconego do powierzchni liści. Stożkowate rodzaje krzemionki obserwuje się pomiędzy nieskrzemieniałymi długimi komórkami i krótkimi komórkami korkowymi. Istnieje stała sekwencja: długie komórki, komórki krótkie krzemionkowe, komórki korkowe i długie komórki itd. U pewnych gatunków rodzaju *Festuca*, *Puccinella* zaobserwowano obecność stożkowatych komórek krzemionkowych bez sąsiedztwa komórek korkowych (tab. II—46, 47, 51).

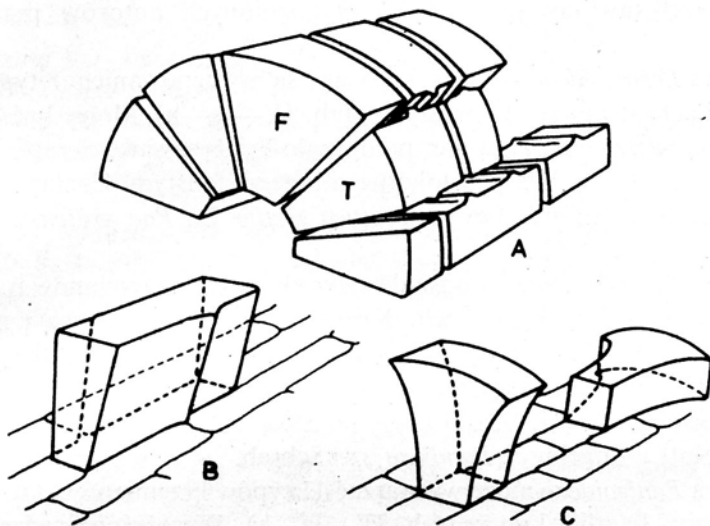
— krzemienienie międzybrzewszych długich komórek. Ten typ krzemienienia jest najbardziej zróżnicowany pomiędzy gatunkami traw. Długość ciałek krzemionkowych wynosi zwykle powyżej 100 μ , a u niektórych gatunków np. *Dactylis glomerata* L. może dochodzić do 300 μ , natomiast szerokość 10—15 μ . Brzegi krzemionki mogą być gładkie (tab. II—51, 55) lub szorstkie i kolczaste (tab. II—52, 54).

— krzemienienie pęcherzykowatych komórek epidermy. Komórki pęcherzykowate są duże, cienkościenne, silnie zwakuolizowane. Pokrywają one albo całą górną powierzchnię liścia albo tylko zagłębienia między nerwami liścia. Na przekroju poprzecznym widoczne jako pasmo wachlarzowato ułożonych komórek. Komórki środkowe pasma są zwykle największe i mają nieco klinowaty zarys. Kształty występujących tutaj ciałek krzemionkowych są różne, w zależności od pozycji, którą zajmują w łukowatym systemie pęcherzykowatych komórek. U *Molinia coerulea* (L.) Moench większość komórek ma kształt klinowatego klocka, a ciała krzemionkowe w nich występujące formę regularnego prostopadłościanu z równoległymi żebrami, powstającymi w miejscu złączenia dwóch sąsiadujących ze sobą komórek (ryc. 4 — A, B; tab. II—61—63), natomiast u *Sieglingia decumbens* (L.) Lam. boki prostopadłościanu są wyraźnie łukowato wklęsłe (ryc. 4—C; tab. II—66).

— krzemienienie włosków i ich nasad. Formy krzemienienia w tej grupie związane są z ogólnie przyjętą klasyfikacją włosków rodziny *Gramineae* [4, 10], w której wyróżnia się makrowłoski, mikrowłoski, włoski kłujące i brodawki (tab. III — 68 — 79). Kształt kryształu krzemionki przyjmuje kształt określonego typu włoska.

— krzemienienie komórek korkowych występuje bardzo rzadko i raczej przypadkowo [13]. Krzemionka tego typu ma zwykle nieskomplikowane zarysy np. półokrągłe lub w kształcie litery U (tab. III—80, 91).

— krzemienienie komórek szparkowych zaobserwowano zwłaszcza w starszych liściach, gdzie istnieje wiele skrzemieniałych komórek długich. Skrzemienieniu ulegać mogą albo tylko duże komórki szparkowe (tab. III—86) lub zarówno komórki szparkowe jak i przyszparkowe. Nie zaobserwowano skrzemienienia wyłącz-



Ryc. 4. Schemat układu pęcherzykowatych komórek epidermy z występującymi w nich ciałkami krzemionkowymi. (wg D. W. Parry i F. Smithson, 1964). A — wachlarzykowato ułożone pasmo ciałek krzemionkowych, B — trójwymiarowe ciało krzemionkowe z równoległym żebrowaniem, C — trójwymiarowe ciało krzemionkowe o łukowato wklęsłych bokach

nie komórek przyspawkowych, podczas gdy komórki szparkowe nie byłyby skrzemieniałe.

— krzemienie sklerenchymy jest wynikiem tworzenia się igieł krzemionki. Kryształy są bardzo kruche, często lekko skrzywione i stożkowato zbiegają ku ostrym zakończeniom sklerenchymy. Długość pojedynczej igły wynosi 350—680 μ (tab. III—87—91). Krzemionkę tego typu znajdowano np. u *Nardus stricta* L.

— krzemienie subepidermalnych warstw blaszek liściowych [9] zaobserwowane u *Zea* i *Sorghum*, charakteryzuje się tym, że ciałka opalu są prostokątne, występują w długich szeregach tuż pod epidermą i zawierają nieregularnie ukształtowane cząstki krzemionki.

Z powyższej charakterystyki wynika, że wzór opalu krzemionkowego jest odmienny dla poszczególnych rodzajów czy gatunków traw. Stąd niektórzy badacze próbowali wykorzystać rozmieszczenie i kształt kryształów krzemionki dla celów systematycznych. Najwięcej światła do zagadnienia, czy konkretne mogą być cechą systematyczną, wniosła praca autorów amerykańskich P. C. Twiss, E. Suess i R. M. Smith *Morphological Classification of Grass Phytoliths* z 1969 r. Przebadali oni 17 gatunków traw pospolicie rosnących w stanie Kansas i na tej podstawie wyróżnili 26 rodzajów różnych form kryształów krzemionki zgrupowanych w 4 klasach: *Festucoid*, *Chloridoid*, *Panicoid* i *Elongate* (tab. IV), które z kolei stanowiły kryterium dla podzielenia rodziny *Gramineae* na 3 podrodziny: *Festucoideae*, *Chloridoideae* i *Panicoideae*. Podrodziny te odpowiadają trzem zasadniczym klasom wyróżnionych typów kształtów krzemionkowych. Klasa czwarta o długich ciałkach krzemionkowych spotykana jest u wszystkich traw i trudno dać jej jakąś charakterystyczną przynależność systematyczną (tab. IV—4a—e).

Podział przedstawiony przez wyżej wymienionych autorów przedstawia się następująco:

Podrodzina *Festucoideae* — charakteryzuje się występowaniem 8 typów krzemianów o kształtach stosunkowo prostych (tab. IV—1a—h). Mogą być one kuliste, kwadratowe, eliptyczne, stożkowate, półokrągło-księżycowate, okrągłe na brzegach karbowane, prostokątne lub prostokątne o brzegu falistym. Znalazły się tu takie gatunki jak: *Bromus inermis* Leyss., *Festuca elatior* L., *Poa pratensis* L., *Triticum aestivum* L., *Aristida* sp. L.

Podrodzina *Chloridoideae* — posiada tylko dwa typy krzemianów o charakterystycznie siodlasto wyciętych końcach. Krysztaly te są tak typowe i niespotykane w innych podrodzinach, że mogą stanowić doskonałą podstawę klasyfikacji (tab. IV—2a, b). Zaliczono tu następujące gatunki traw: *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., *Bouteloua gracilis* (H. B. K.) Lag. and Steed., *Bouteloua hirsuta* Lag., *Buchloea dactyloides* (Nutt.) Engelm. i *Bambusa* sp. Schreb.

Podrodzina *Panicoideae* może wytwarzać 11 typów krzemianów, których kształty są kombinacjami hantli i krzyży (tab. IV—3a—k). Wyróżnione rodzaje kształtów to: krzyż w części środkowej gruby lub silnie przewężony, hantle o długim i cienkim przewężeniu w środku, hantle o krótkim przewężeniu, hantle o długim przewężeniu na końcu proste lub soczewkowato zagłębione, hantle o przewężeniu krótkim zakończone jak grupa poprzednia, hantle o krótkim przewężeniu z łagodnym garbkiem w przewężeniu, hantle o krótkim przewężeniu i z ostrym garbkiem, hantle z dwoma garbkami rozmieszczonymi symetrycznie, hantle z dwoma garbkami niesymetrycznymi i hantle karbowane. Wymienione typy krysztalów znaleziono u *Sorghum vulgare* Pers., *Panicum virgatum* L., *Andropogon gerardi* Vitman, *Andropogon scoparius* Michx., *Sorghastrum nutans* (L.) Nash, *Zea mays* L. i *Hilaria mutica* (Buckl.) Benth.

W dotychczasowych opracowaniach karpologicznych niektórych rodzajów traw stwierdzono ogromne podobieństwo budowy anatomicznej epidermy plew i plewek z epidermą liści i pędów [5, 7, 10, 15]. Nasuwa się w związku z tym koncepcja możliwości przebadania oplewionych ziarniaków również i pod względem zawartości, sposobu występowania oraz różnorodności kształtów znajdujących się w nich ciał krzemionkowych. Otrzymane wyniki mogłyby dostarczyć nowej cechy taksonomicznej, stanowiącej uzupełnienie cech uzyskanych na drodze analizy morfologicznej i anatomicznej. Koncepcja taka wydaje się tym bardziej słuszna, ponieważ najnowsze badania wykonane przy pomocy mikroanalizatora elektronowego [5] wykazały obecność krzemionki również w organach generatywnych. Poza tym stwierdzono, że poziom krzemionki w epidermie plew, plewek oraz łupiny owoconasiennej może być dwukrotnie większy, od tego, który występuje w epidermie liści [5].

Prawdopodobnie istnieje więc w pracach karpologicznych jeszcze jedna możliwość pozyskania nowych cech taksonomicznych, opartych nie tylko na stwierdzeniu obecności związków krzemu w poszczególnych tkankach, lecz na specyficznej strukturze krysztalów krzemionkowych, odmiennie ukształtowanych w poszczególnych rodzajach czy gatunkach traw.

LITERATURA

- [1] Davies J., 1959. The use of epidermal characteristics for the identification of grasses in the leafy stage. *Jour. Brit. Grassl. Soc.* 14: 7—16.
- [2] Falkowski M., Kukułka L., (w druku). Ilościowe występowanie krzemu jako cecha charakterystyczna roślin z klasy jedno- i dwuliściennych. *Zesz. Probl. Postępów Nauk Rolniczych*.
- [3] Frey L., 1973. Niektóre problemy z kariologii i systematyki traw w Polsce. *Wiad. Bot.* XVII, 3: 151—161.
- [4] Grob A., 1896. Beiträge zur Anatomie der Epidermis der Gramineenblätter. *Bibl. Bot.* 7: 1—122.
- [5] Hayward D. M., Parry D. W., 1973. Electron — probe microanalysis studies of silica distribution in barley (*Hordeum sativum* L.) *Ann. Bot.* 37: 579—591.
- [6] Kohlmünzer S., 1969. Wartość taksonomiczna cech chemicznych u roślin. *Wiad. Bot.* XIII, 1: 55—64.
- [7] Kowal T., Rudnicka-Sternowa W., 1969. Morfologia i anatomia ziarniaków krajowych gatunków rodzaju *Bromus* L. *Monographiae Botanicae* XXIX: 1—68.
- [8] Küster E., 1956. *Die Pflanzenzelle*. 3 rd ed. Jena, Gustav Fischer.
- [9] Laning C., Ponnaiya B. W. X., Crumpton C. F., 1958. The chemical nature of silica plants. *Plant Physiology*. 33, 5: 339—343.
- [10] Metcalfe C. R., 1960. *Anatomy of Monocotyledones. I. Gramineae*. Clarendon Press, Oxford. s. 34—41.
- [11] Netolitzky F., 1929. Die Kieselkörper. *Linsbauer's Handb. der Pflanzenanatomie*. Berlin. 3/Ia: 1—19.
- [12] Parry D. W., Smithson F., 1958. Silicification of branched cells in the leaves of *Nardus stricta* L. *Nature* 182: 1460.
- [13] Parry D. W., Smithson F., 1964. Types of opaline silica depositions in the leaves of British grasses. *Ann. Bot.* 28: 169—185.
- [14] Prat H., 1931, 1932. *L'Épiderme des Graminees. Etude Anatomique et Systematique*. These, Paris.
- [15] Rudnicka-Sterna W., 1972. Studia systematyczne nad morfologią i anatomią ziarniaków krajowych gatunków rodzaju wiechlina — *Poa* L. *Monographiae Botanicae*. XXXVII: 51—103.
- [16] Rudnicka-Sterna W., 1979. Systematyka traw w świetle badań karpologicznych. *Wiad. Bot.* XXIII, 2: 121—124.
- [17] Tateoka T., 1957. Miscellaneous papers on the phylogeny of *Poaceae* (10). Proposition of a new phylogenetic system of *Poaceae*. *Jour. Jap. Bot.* 32: 275—287.
- [18] Twiss P. C., Suess E., Smith R. M., 1969. Morphological classification of grass phytoliths. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 33: 109—115.

Dr WANDA RUDNICKA-STERNA

Mgr MAŁGORZATA WYRZYKIEWICZ

Katedra Botaniki Ogólnej AR, ul. Wojska Polskiego 71 c, 60—625 Poznań