Cytomorfologiczne badania nad kalozą łagiewek pyłkowych

Cytomorphological studies of callose in pollen tubes

A. GÓRSKA—BRYLASS

WSTĘP

Na podstawie dotychczasowych badań wiadomo, że kaloza jest polisacharydem z grupy hemiceluloz zbudowanym z glukozy (Mangin 1910; Eschrich 1954) połączonej wiązaniami β -1,3,glukozydowymi (Kessler 1958) w łańcuchy nierozgałęzione.

Występowanie kalozy w komórkach roślinnych jest szeroko rozpowszechnione. Poza ogólnie znanym występowaniem tej substancji w rurkach sitowych, strzępkach grzybów oraz w ziarnach i łagiewkach pyłkowych, kaloza została opisana także w ścianach szeregu innych komórek roślinnych (Eschrich 1956; Currier 1957; O'Kelley i Carr 1954; Lerch 1964a) oraz w cystolitach (Eschrich 1954; Lerch 1964b) i w otoczkach kryształów szczawianu wapnia (Thaler i Weber 1957).

W łagiewkach pyłkowych obecność kalozy jest regułą. Kaloza występuje zarówno w łagiewkach hodowanych *in vitro* jak i rosnących w warunkach naturalnych (Brink 1924; Yohri i Vasil 1961). W nielicznych jedynie przypadkach np. u *Gossypium*, kaloza występuje jedynie w łagiewkach rosnących wewnątrz słupka (Iyengar 1938 cyt. za Yohri i Vasil 1961).

Mimo że występowanie kalozy w łagiewkach pyłkowych jest powszechne i stałe, istnieje w dotychczasowej literaturze niewiele danych ilustrujących przebieg powstawania kalozy w tych komórkach.

Pracę niniejszą poświęcono cytomorfologicznym badaniom procesu tworzenia się kalozy w łagiewkach pyłkowych, w nadziei ustalenia jakiejś prawidłowości tego procesu.

MATERIAŁ I METODY

Podstawowym materiałem dla obserwacji zjawisk tworzenia się kalozy były łagiewki pyłkowe *Campanula persicifolia* L. Materiał porównawczy, na którym dokonana została część obserwacji stanowiły łagiewki *Begonia semperflorens* L., *Aquilegia vulgaris* L., *Asparagus officinalis* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Forsythia suspensa* Vahl., *Tradescantia zebrina* hort. oraz *Hyacinthus orientalis* L.

Badania przeprowadzałam głównie na materiale żywym, w wypadkach ko-

niecznych stosowałam utrwalanie w formalinie zbuforowanej fosforanami przy pH 7,2 lub w płynie Carnoy.

Łagiewki pyłkowe kiełkowane były w kulturach na agarze z sacharozą w temperaturze pokojowej. Dla uwidocznienia utworów kalozowych w materiale żywym, posługiwałam się barwieniem błękitem rezorcynowym, początkowo przygotowywanym wg Eschricha (1953), później gotowym barwnikiem firmy Gurr L.T.D. London S.W.6. England.

Materiał utrwalony barwiłam koraliną w roztworze węglańu sodu. Barwiłam błękitem rezorcynowym już wykiełkowane łagiewki, a niekiedy barwnik ten dodawałam do pożywki, na której kiełkował pyłek. Zabarwienie struktur kalozowych w łagiewkach wyrosłych na pożywce z dodatkiem błękitu rezorcynowego zjawiało się od 15–60 minut po wysianiu.

Stosowałam także barwienie podwójne dla jednoczesnego wyróżnienia kalozy i substancji pektynowych, przy użyciu błękitu rezorcynowego i czerwieni rutenowej.

Średnia długość łagiewek pyłkowych *Campanula persicifolia* ustalana była na podstawie pomiarów 100 łagiewek dla każdego okresu ich wzrostu.

OBSERWACJE

Większość wysiewanych ziaren pyłkowych *Campanula persicifolia* nie wykazywała obecności kalozy. Tylko nieliczne posiadały wąską kalozową wyściółkę przylegającą do wewnętrznej ściany ziarna pyłkowego.

W pierwszych minutach po wysianiu ziarna pyłkowe nabrzmiewają. Po osiągnięciu pewnego stopnia napężnienia w ich wnętrzu zjawia się początkowo wolno, później coraz szybszy ruch cytoplazmy. Wkrótce potem, poprzez jedną z porbłony pyłkowej wysuwa się szczyt łagiewki. Przez pierwsze 15–20 minut młoda łagiewka pyłkowa wypełniona jest poruszającą się wolno, prawie homogenną cytoplazmą. Później w miarę wzrostu łagiewki jej cytoplazma ulega zróżnicowaniu wykazując inną strukturę w części szczytowej i podstawowej łagiewki.

Nowe strumienie cytoplazmy wypływające z ziarna pyłkowego przynoszą ze sobą większe inkluzje, w tej liczbie sferosomy, mitochondria, kuleczki tłuszczu, a niekiedy kryształki prawdopodobnie fosforanu wapnia. Cytoplazma przebiega wokół ścian ziarna pyłkowego do szczytu łagiewki i z powrotem. Mimo że ruch ten jest ciągły i nie urywa się w odcinku szczytowym łagiewki, do strefy wierzchołkowej nie docierają żadne większe elementy cytoplazmatyczne. Istnieje na granicy tej strefy jak gdyby jakaś niewidzialna zaporą. Strumień cytoplazmy w tym miejscu rozdwaja się: główny strumień zachowując dawny kierunek, biegnie dalej do wierzchołka w postaci homogennego pasma, w którym tkwią bardzo drobne (na granicy widzialności) ciemne ziarenka. Pozostała część cytoplazmy zawierająca większe elementy, jest porywana strumieniem płynącym z powrotem w kierunku podstawowej części łagiewki.

U wszystkich badanych roślin szczyt łagiewki, uznawany za jedyną aktywną

strefę jej wydłużania się (Schoch-Bodmer 1954, Haeckel 1951; O'Kelley i Carr 1954), wykazywał odrębną homogenną strukturę. Taka odrębność strukturalna utrzymywała się na odcinku 10–15 μ od wierzchołka, od momentu wykiełkowania aż do chwili ustania wzrostu łagiewki (Ryc. 6).

W przeciwieństwie do odcinka szczytowego, pozostała część łagiewki ulega w miarę wzrostu znacznym zmianom. W pierwszych dwu godzinach wzrostu łagiewki pyłkowe *Campanula* osiągające długość ok 80 μ , wypełnione są gęstą cytoplazmą, której szybkość ruchu wynosi ok. 0,35 μ /sek.

Regułą w tym okresie wzrostu jest tworzenie się na przeciwległym brzegu ziarna pyłkowego kilku wakuol, które powiększają się w miarę wzrostu łagiewki. Venema i Koopmans (1962) przypisują im rolę wypychania cytoplazmatycznej zawartości z ziarna do kanału łagiewki pyłkowej.

Począwszy od drugiej godziny wzrostu w niektórych łagiewkach daje się zauważyć szybkie tworzenie się wąskiej wyściółki kalozowej przylegającej do wewnętrznej ściany ziarna oraz do ścian podstawowego odcinka łagiewki.

Proces ten, obserwowany w łagiewkach rosnących na pożywce z dodatkiem błękitu rezorcynowego, zachodzi niemalże w oczach. Początkowo bezbarwna wewnętrzna ściana staje się jasnoniebieska, w kilka minut później jej kolor jest już intensywniejszy aż do ciemnoniebieskiego. Zjawisku temu nie towarzyszy żadne przemieszczenie elementów cytoplazmatycznych.

W miarę upływu czasu ruch cytoplazmy wzrasta osiągając swoją maksymalną szybkość ok. 4 do 5 godziny po wykiełkowaniu. Maksymalna szybkość ruchu cytoplazmy obliczona u *Campanula* na podstawie przesuwania się najlepiej widocznych sferosomów wynosiła 3 μ /sek (Górska-Bryllass 1965).

Z badań wcześniejszych (Górska-Bryllass 1959), a także badań Vasila (1961) wiadomo, że maksymalna szybkość strumieni cytoplazmatycznych odpowiada okresowi najszybszego wzrostu łagiewki.

Począwszy od 5 godziny, ściany większości łagiewek posiadają już wewnętrzną kalozową warstwę, która urywa się dopiero w części wierzchołkowej, gdzie cytoplazma jest jednorodna. Warstwa kalozowa w ziarnie pyłkowym jest z reguły gładka, natomiast w łagiewce bardzo wcześnie tworzy wypukłości i nieregularne nawarstwienia,

W cytoplazmie łagiewek zaczynają się pojawiać coraz liczniejsze, najczęściej wrzecionowatego kształtu wakuole. Wygląd cytoplazmy w tym okresie ulega zmianie. Na jej terenie zjawiają się grudki zgęszczonej cytoplazmy, najczęściej w postaci kul. Cytoplazmatyczne kule barwią się po pewnym czasie błękitem rezorcynowym z różną intensywnością (Ryc. 1.).

W okresie od 12 do 24 godziny wzrostu następuje dalsze powiększenie się wakuol, które wypełniają teraz prawie całe światło łagiewki, spychając cytoplazmę do wąskiej przyściennej strefy. Pokład kalozy wyścielający łagiewkę grubieje i tworzy miejscami wydutne uwypuklenia do wnętrza komórki (Ryc. 2.). Podobne uwypuklenia tworzy niekiedy wewnętrzna pektynowa warstwa łagiewki powleczonea cienkim pokładem kalozy.

Ryc. 1—3. *Campanula persicifolia*.

1 — wycinek 10-godzinnej łagiewki pyłkowej, widoczne kule zgęszczonej cytoplazmy barwiącej się błękitem rezorcynowym; 2 — zakładający się korek kalozowy w łagiewce; 3 — wewnętrzne kokony kalozowe, elementy kalozowe, zaznaczone kolorem ciemniejszym (ok. 2000 $\times$).

1 — Fragment of the ten-hours-old pollen tube. The photograph shows spherules of dense cytoplasm, stained with resorcin blue, 2 — Arising callose plug, 3 — Interior callose cocoons. Callosic elements drawing dark coloured. (Magn. 2000 $\times$)

Wokół uwypukleń kalozowych obserwowałam często stopniowe nawarstwianie się kalozy dające początek korkom kalozowym. Cytoplazma przepływająca wokół rozbudowanych występów kalozowych, zwalnia swój bieg w ich zakolach. W ten sposób następuje okresowe spiętrzenie się mas cytoplazmatycznych przed tworzącymi się korkami kalozowymi. Tereny te, poza odcinkiem szczytowym, bywają miejscem największego zagęszczenia cytoplazmy w wyrośniętej, zwakuolizowanej łagiewce pyłkowej. W łagiewkach pyłkowych *Campanula persicifolia* cytoplazma gromadząca się przed korkami kalozowymi zawiera podobną jak we wcześniejszych okresach ilość sferosomów, mitochondriów i kuleczek tłuszczu. Natomiast w łagiewkach *Hyacinthus orientalis* i *Forsythia suspensa* pojawia się w tym okresie dodatkowo duża ilość kul tłuszczu o znacznych niekiedy wymiarach.

Powstałe wcześniej kule cytoplazmatyczne w miarę upływu czasu powiększają się, otaczają szklaną warstwą kalozy zamykając się w niej jak w kokonie (patrz Müller-Stoll i Lerch 1957). Warstwa ta barwi się błękitem rezorcynowym początkowo na kolor bładoniebieski, później intensywność zabarwienia wzrasta. W kalozowym kokonie większe ziarnistości cytoplazmatyczne drgają ruchem Browna, później nieruchomieją. Otaczająca je warstwa kalozy grubieje dzięki odkładanym od środka coraz to nowym pokładom (ryc. 3). Po zgnieceniu łagiewki można obserwować jak pod szkiełkiem nakrywkowym toczą się szkliste kulki, z których niektóre zawierają jeszcze w swym wnętrzu resztki ziarnistej cytoplazmy.

Ryc. 4. Różne postacie korków kalozowych w łągiewkach *Campanula persicifolia* (ok. 2000 $\times$)
Various forms of callose plugs in pollen tubes of *Campanula persicifolia*. Magn. 2000 $\times$

Ryc. 5. Plazmoptyza łągievek pyłkowych.

a — *Campanula persicifolia*; b, c — *Aesculus hippocastanum*, widoczne zewnętrzne kokony kalozowe. Na rysunkach elementy kalozowe są ciemniejsze. (ok. 2000 $\times$)

Plasmoptysis of the pollen tubes a—*Campanula persicifolia* b, c — *Aesculus hippocastanum* — note the exterior callose cocoons. Callosic elements dark coloured. Magn. 2000 $\times$

Barwią się one zarówno błękitem rezorcynowym jak i koraliną z różną intensywnością.

Różnice w intensywności zabarwienia tymi barwnikami obserwowałam we wszystkich utworach kalozowych. Przyczyna może być dwójaka. Stopień zabarwienia może być spowodowany różną zawartością pektyny występującej jako domieszka kalozy lub różnym stopniem polimeryzacji glukozy. Substancja pektynowa nie występuje w otoczkach tworzących kalozowe kokony, wobec tego rozmaita intensywność ich zabarwienia związana jest raczej ze stopniem polimeryzacji glukozy tworzącej kaloze.

Powstałe kule kalozowe nie dają początku korkom kalozy. Zdarza się jednak, że kule te osadzają się na powstałych wcześniej korkach (ryc. 4d). Niekiedy są dobudowywane do występow przyściennej warstwy kalozy (ryc. 2). Bardzo rzadko napotykałam duże kule kalozowe zamykające całe światło łagiewki (ryc. 4c). Pewna ilość homogennych kul kalozowych pozostaje luźno rozrzucona w łagiewce do końca jej wzrostu. Ma to najczęściej miejsce w odcinkach położonych bliżej szczytu.

Równoległe z procesem tworzenia się kul kalozowych na terenie cytoplazmy postępuje proces tworzenia się korków kalozowych przez rozbudowę kalozy ścian. Początkowo korki kalozowe zacopowują tylko częściowo światło łagiewki. W miarę upływu czasu powiększają się przez osadzanie nowych pokładów. Kaloza osadza się w sposób różnorodny dając najrozmaitsze postacie korków (ryc. 4a, b, c, d).

Z obydwu stron kalozowego korka mogą powstawać gładkie lub nieregularne uwypuklenia, palcowate wyrostki lub zęby opisywane od dawna w literaturze (Brandscheidt 1930; Küster 1951; Steffen 1953; Hartmann-Dick i Müller-Stoll 1955).

W korkach kalozowych badanych roślin nie obserwowałam zróżnicowania na stronę podstawową i szczytową. Rozbudowują się one zarówno wszerek zamykając światło łagiewki, jak i na długość. Długość korków kalozowych w badanych przeze mnie materiale wynosiła od 1–65 μ .

Pierwsze korki kalozowe u *Campanula persicifolia* powstają w znacznej odległości od ziarna pyłkowego. Odległość ta w łagiewce 24-godzinnej osiagającej średnio 700 μ długości wynosi 500 μ . W przeciwieństwie do tego przypadku łagiewki pyłkowe *Forsythia suspensa* i *Aquilegia vulgaris* wytwarzają pierwszy korek kalozy bardzo blisko ziarna pyłkowego.

U wszystkich badanych przeze mnie roślin powstawanie korków kalozy w łagiewkach pyłkowych jest zjawiskiem stałym. Wyjątek stanowią łagiewki *Asparagus officinalis*, w których obserwowałam niemal zupełny brak tych utworów kalozowych, mimo dość znacznej długości łagiewek. Kaloza w łagiewkach pyłkowych tego gatunku otacza równomiernie grubą warstwą światło łagiewki tworząc niekiedy nieznaczne uwypuklenia.

Zupełne przedzielenie łagiewki przez korek kalozowy na dwie części nie powoduje jednoczesnego przerwania ruchu cytoplazmy w żadnej w tych części. Szybkość ruchu w odcinku podstawowym staje się jednak stopniowo mniejsza i po kilku godzinach ustaje zupełnie.

Po 24 godzinach wzrostu łagiewki, mają miejsce coraz częstsze plazmoptozy, tzn. pękanie łagiewek z wypływaniem ich zawartości. Plazmoptozy zdarzają się wprawdzie we wszystkich wcześniejszych okresach wzrostu łagiewki, lecz są wtedy zjawiskiem sporadycznym. Pęknięciu ulega najczęściej ściana wierzchołkowa łagiewki (ryc. 5).

Rozerwanie ściany wierzchołkowej jest zawsze poprzedzone określonymi zmianami w cytoplazmie szczytu łagiewki. W cytoplazmie odcinka szczytowego, zachowującej przez cały okres wzrostu homogenną strukturę, zjawiają się drobne wodniczki. Znika istniejąca dotąd granica stref i sferosomy, kuleczki tłuszczu, mitochondria oraz wszystkie inne elementy cytoplazmatyczne wędrują do samego szczytu łagiewki. Z chwilą przeniknięcia tych inkluzji do szczytu łagiewki wzrost jej ustaje. W takim momencie może nastąpić plazmoptozy.

Jeśli po wystąpieniu opisanych zmian w szczycie łagiewki jej ściana nie ulegnie od razu pęknięciu, zaczyna się w tym miejscu proces osadzania kalozy. Osadza się ona tutaj znacznie szybciej niż to zachodzi w opisanych poprzednio odcinkach. Kaloza w wierzchołkowym odcinku łagiewki przybiera zwykle postać równomiernie wykształconych listewek, które czasem tworzą nieregularne zgrubienia (podobnie jak to widać na ryc. 5a, która przedstawia łagiewkę już pękniętą). Wierzchołek łagiewki w tym okresie wykazuje często także zgrubienia błony celulozowo-pektynowej. Sam kontur wierzchołka bywa wtedy często falisty. Plazmoptozy, która następuje już po wytworzeniu kalozy w wierzchołku łagiewki, zachodzi w miejscu gdzie warstwa kalozy jest najcieńsza. W wyniku przzerwania ściany łagiewki następuje zazwyczaj wypływanie zawartości łagiewki. Cytoplazma łagiewek pyłkowych *Campanula persicifolia*, która znalazła się na zewnątrz, szybko degeneruje. Struktura jej staje się siateczkowata (ryc. 5a).

Podczas plazmoptozy innych badanych gatunków obserwowałam bardzo interesujące zjawisko powstawania zewnętrznych kokonów kalozowych. Cytoplazma po wypłynięciu w szybkim czasie zostaje obłoniona warstwą kalozy tworząc liczne kokony zewnętrzne (ryc. 5b, c, 7). W zawartej wewnątrz kokonu cytoplazmie dają się wyróżnić sferosomy i niekiedy większe kuleczki tłuszczu. Obserwowane fragmenty cytoplazmy otaczające się kalozą pozbawione były jąder. Otoczka kalozowa zamykająca w swym wnętrzu cytoplazmę, grubiej niekiedy dość znacznie, przez nakładanie od środka coraz to nowych warstw (ryc. 7). Proces ten zachodzący na zewnątrz łagiewki jest zupełnie analogiczny do powstawania kalozowych kokonów wewnątrz żywej rosnącej łagiewki. W przypadku bocznej plazmoptozy zdarza się, że powstały kokon zachowuje połączenie z boczną ścianą łagiewki. Powstaje wtedy charakterystyczny obraz „pączkującej” łagiewki (ryc. 8).

Zewnętrzne kokony kalozowe obserwowałam dość powszechnie u *Begonia semperflorens*, *Aesculus hippocastanum*, rzadziej u *Asparagus officinalis* i *Tradescantia zebrina*.

Pękanie łagiewek pyłkowych nie jest regułą. Większość łagiewek zarówno *Campanula persicifolia* jak i innych badanych gatunków nie ulega plazmoptozie.

Po 24 godzinach wzrost większości łagiewek w kulturze zostaje zahamowany, tylko nieliczne rosną dalej aż do 36 godziny po wykiełkowaniu.

Po zakończonym wzroście łagiewki pyłkowe *Campanula persicifolia* zawierają tylko jeden większy korek kalozowy, który zamyka ich światło. Nieznaczna ilość łagiewek tego gatunku nie wytwarza w ogóle korków kalozy. Kaloza takich łagiewek występuje wtedy wyłącznie w postaci listewek wyszczelniających ściany, wewnętrznych kokonów oraz homogennych kul kalozowych.

Łagiewki pyłkowe innych gatunków roślin wytwarzały więcej niż jeden korek kalozy. Tak np. u *Begonia semperflorens* i *Hyacinthus orientalis* łagiewki po zakończonym wzroście wykazywały obecność 3–7 korków kalozy, u *Aquilegia vulgaris* i *Forsythia suspensa* ilość ich wynosiła 2–7.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Przeprowadzone badania wykazały, że obserwowane procesy tworzenia się kalozy przebiegają na terenie cytoplazmy lub w bezpośrednim jej sąsiedztwie. Kaloza w zbadanych łagiewkach pyłkowych występuje w postaci listewek wyszczelniających wewnętrzną ścianę ziarna i łagiewki pyłkowej, korków kalozowych zaczopowujących częściowo lub całkowicie światło łagiewki oraz zewnętrznych i wewnętrznych kokonów kalozowych. Tworzenie się zewnętrznych kokonów kalozowych, które Müller-Stoll i Lerch (1957) określają jako zjawisko niezwykle rzadkie, obserwowałam dość powszechnie u *Asparagus officinalis* i *Tradescantia zebrina*.

Korki kalozowe w łagiewkach badanych roślin nie wykazywały stałego zróżnicowania na stronę podstawową i szczytową, o których pisze Schlösser (1961). Zakładanie się pierwszego korka kalozowego w znacznej odległości od ziarna pyłku, opisywane przez innych autorów (Müller-Stoll i Lerch 1957; Vasil 1960) w różnych gatunkach roślin, nie jest regułą jak to sugerują Yohri i Vasil (1961). Dla badanych przeze mnie łagiewek pyłkowych *Forsythia suspensa* i *Aquilegia vulgaris*, prawidłowością bowiem jest tworzenie się pierwszego korka kalozowego bardzo blisko ziarna pyłkowego.

Godny uwagi wydaje się fakt, że nie cała cytoplazma łagiewki wytwarza kalozę. W obserwowanych przeze mnie łagiewkach funkcji tej nie spełnia cytoplazma szczytowego odcinka. W cytoplazmie tej brak jest kul tłuszczu, sferosomów, mitochondriów oraz leukoplastów występujących niekiedy w łagiewkach pyłkowych. Niewidoczne są również wakuole. Strefa szczytowego odcinka cytoplazmy odcina się wyraźną granicą od pozostałej cytoplazmy łagiewki, której nie przekraczają żadne większe elementy cytoplazmatyczne. Proces powstawania kalozy zaczyna się w szczycie łagiewki dopiero z chwilą zniknięcia tej granicy, po przejściu większych organelli komórkowych do odcinka wierzchołkowego.

Zjawisko powyższe, które występuje stale u wszystkich badanych łagiewek, może nasunąć przypuszczenie, że powstawanie kalozy jest związane z funkcją którejś z organelli komórkowych nie występujących w cytoplazmie odcinka szczytowego,

Ryc. 6. Wierzchołki rosnących łagiewek pyłkowych *Campanula persicifolia*, materiał nie zabarwiony, żywy. (ok. 1500 $\times$)

Tips of growing pollen tubes of *Campanula persicifolia*, living material, unstained. Magn. 1500 $\times$

Ryc. 7. Zewnętrzne kokony kалozowe wokół pękniętej łagiewki *Begonia semperflorens*; barwienie błękitem rezorcynowym (ok. 1400 $\times$)

Exterior callose cocoons around the bursted pollen tube, *Begonia semper florens*, stained with resorcin blue. Magn. 1400 $\times$

Ryc. 8. „Pączkująca“ łagiewka pyłkowa *Begonia semperflorens*.

Na fotografii kaloza jest ciemniejsza. (ok. 1400 $\times$)

„Budding„ pollen tube of *Begonia semper florens*. The photograph shows dark stained callose structures. Magn. 1400 $\times$

a będącej stałym składnikiem ziarnistej cytoplazmy w podstawowym odcinku łagiewki. Która z organelli spełnia tę funkcję, trudno na podstawie przeprowadzonych obserwacji sądzić. Wykluczyć jedynie można by w tym procesie bezpośredni udział jąder łagiewkowych. Bezpośredniemu udziałowi tych organelli w procesie powstawania kalozy zaprzeczają bowiem obserwowane zjawiska powstawania zewnętrznych kokonów kalozowych, polegające na otaczaniu się kalożą beżądrowych fragmentów cytoplazmy. Mało prawdopodobny jest udział leukoplastów w powstawaniu kalozy, już tylko z uwagi na fakt, że leukoplasty występują tylko w niektórych z badanych łagiewek pyłkowych. Przeprowadzone obserwacje nie wykluczają jednak możliwości udziału w procesie tworzenia się kalozy takich organelli jak mitochondria, struktury Golgiego czy sferosomy.

Pewne sugestie w kierunku udziału sferosomów w tworzeniu się kalozy nasuwają z jednej strony badania Haeckel (1951) i Schlössera (1961) wykazujących wzmożoną aktywność kwaśnej fosfatazy przed korkami kalozowymi, z drugiej zaś wyniki prac Wałek-Czerneckiej (1962) i Górskiej-Brylass (1965) wykazujących, że nosicielami kwaśnej fosfatazy są przede wszystkim sferosomy. Zdaniem Schlössera (1961) kwaśna fosfataza uwalnia grupy fosforanowe biorące udział w tworzeniu kalozy. Świadczyć o tym mogłyby obserwowane wewnątrz utworów kalozowych łagiewek złogi polifosforanów (Górska-Brylass 1966).

Ostateczne stwierdzenie, czy i która z organelli spełnia rolę w procesie powstawania kalozy lub w niej pośredniczy, wymaga dalszych badań, które są w toku.

STRESZCZENIE

Przeprowadzono cytomorfologiczne obserwacje nad powstawaniem kalozy w łagiewkach pyłkowych ośmiu gatunków roślin. Wykazano, że proces tworzenia się kalozy zjawia się z reguły wkrótce po wykiełkowaniu ziarna pyłkowego, trwa nieprzerwanie przez cały okres wzrostu łagiewki i utrzymuje się jeszcze jakiś czas po zakończonym jej wzroście. Kaloza łagiewek pyłkowych występuje w postaci listewek wyścielających wewnętrzną ścianę łagiewki, korków kalozowych zaczopowujących częściowo lub całkowicie światło łagiewki oraz wewnętrznych i zewnętrznych kokonów kalozowych. Kokony kalozowe powstają przez oblanianie się warstwą kalozy fragmentów cytoplazmy znajdującej się wewnątrz łagiewki lub tej, która na skutek pęknięcia ściany łagiewki znalazła się poza nią.

Proces powstawania kalozy zachodzi na terenie cytoplazmy. Jednakże nie cała cytoplazma bierze w niej udział. Roli takiej nie spełnia cytoplazma szczytowego odcinka rosnącej łagiewki pyłkowej. Cytoplazma tego odcinka, posiadająca odrębną homogenną strukturę, odcina się wyraźną granicą od pozostałej ziarnistej cytoplazmy łagiewki.

Granica zróżnicowanych strukturalnie odcinków cytoplazmy jest jednocześnie granicą dla występowania kalozy. Proces powstawania kalozy zaczyna się w szczycie łagiewki dopiero po przejściu widocznych organelli komórkowych do odcinka wierzchołkowego. Następuje to zazwyczaj po zakończeniu wzrostu łagiewki lub na skutek jej uszkodzenia.

Wysunięto przypuszczenie, że powstawanie kalozy jest związane z funkcją którejś z organelli komórkowych nie występujących w cytoplazmie odcinka szczytowego, a będącej stałym składnikiem cytoplazmy w podstawowym odcinku łagiewki.

Pani Prof. dr Annie Wałek-Czerneckiej pragnę złożyć serdeczne podziękowanie za cenne rady i wskazówki udzielane mi w czasie wykonywania niniejszej pracy. Dziękuję również Panu Doc. dr Bohdanowi Rodkiewiczowi, Kierownikowi Katedry za życzliwe uwagi krytyczne przy redagowaniu pracy.

Katedra Anatomii i Cytologii Roślin
Uniwersytetu Łódzkiego

(Wpłynęło dn. 31.5.1965 r.)

SUMMARY

Cytomorphological observations on the formation of callose in pollen tubes were carried on eight species of plants. It has been demonstrated, that the formation of callose takes place as a rule soon after the germination of the pollen grain. Callose occurs during the whole period of growth of the pollen tube and subsist for a time after the growth is finished. The callose of pollen tubes appears in the form of layers which line the inner wall of the pollen tube (Fig. 1—6), in the form of callose plugs (Fig. 4) and in the form of interior and exterior callose cocoons. The formation of callose cocoons is due to the sheathing of cytoplasm fragments by callose. That may happen inside of the pollen tube (Fig. 3), or outside, when its wall bursts and cytoplasm flows out (Fig. 5b, c; 7).

The formation of callose occurs in the cytoplasm. Yet the apical cytoplasm of pollen tube does not participate in it. This cytoplasm has a distinct homogeneous structure. The apical part of the cytoplasm is separated from the remaining granular cytoplasm of pollen tube by a clear-cut limit which is not transgressed by any microscopically visible particles (Fig. 6).

The border of the differentiated cytoplasm sections is simultaneously the limit of callose formation. The formation of callose begins at the tip of the pollen tube only when microscopically visible particles of cytoplasm have passed to the apical part. This happens usually when the pollen tube's growth is finished, or when the pollen tube is injured.

Suggestions were made that the formation of callose may be connected with the function of one or several of the cellular organelles, which does not appear in cytoplasm of the apical part, but are permanent components of cytoplasm in the basal part of the pollen tube.

Literatura

- Bradscheidt P., 1930, Zur Physiologie der Pollenkeimung und ihrer experimentellen Beeinflussung, *Planta* 11: 368—453.
- Brink R. A., 1924, The physiology of pollen, *Am. J. Bot.* 11: 218—228.
- Currier H. B., 1957, Callose substance in plant cells, *Am. J. Bot.* 44: 478—488.
- Eschrich W., 1953, Beiträge zur Kenntnis der Wundsiebröhrenentwicklung bei *Impatiens holstii*, *Planta* 43: 25.
- Eschrich W., 1954, Beitrag zur Kenntnis der Kallose, *Planta* 44: 532.
- Eschrich W., 1956, Kallose, *Protoplasma* 3—4: 487—534.
- Górska-Brylass A., 1959, L'influence de la kinétine sur la germination des grains de pollen et sur la croissance des tubes polliniques, *Bull. Sci. Lettres Łódź. Cl. II.* 10: 1—7.
- Górska-Brylass A., 1965, Hydrolases in pollen grains and pollen tubes, *Acta Soc. Bot. Pol.* 34 (3): 589—604.
- Górska-Brylass A., 1966, The inorganic polyphosphates in pollen tubes, *Acta Soc. Bot. Pol.* 36 (1) — w druku.
- Haeckel A., 1951, Beitrag zur Kenntnis der Pollenfermente, *Planta* 39: 431—459.
- Hartmann-Dick U., W. Müller-Stoll, 1955, Zytomorfologische Studien über das normale und pathologische Verhalten von Pollenschläuchen in künstlicher Kultur, *Öster. Bot. Zeitschr.* 102: 273.

- Kessler G., 1958, Zur Charakterisierung der Siebröhrenkallose, Ber. Schweiz. Bot. Ges. 68: 5:43.
- Küster E., 1951, Die Pflanzenzelle, Gustav Fischer, Jena.
- Lerch G., 1964a, Kallose in der Epidermis höherer Pflanzen, Flora Bd. 154:36:52.
- Lerch G., 1964b, Über Struktur und Bildung der Zytolithenkallose, Biologia Plantarum (Praha) 6 (1): 48—56.
- Mangin L., 1910, Nouvelles observations sur la callose, C. r. Acad. Sci. Pari, 151:279.
- Müller-Stoll W. R., G. Lerch, 1957, Über Nachweis Entstehung und Eigenschaften der Kallosebildungen in Pollenschläuchen, Flora Bd. 114: 297—334.
- O'Kelley J. C., P. H. Carr, 1954, An elektronmicroscopic study of cell walls of elongation cotton fibres, root hair and pollen tube, Am. J. Bot. 41: 267—274.
- Schlösser K., 1961, Cytoplogische und cytochemische Untersuchungen über das Pollenschlauchwachstum Selbsteriler Petunien, Zeitschr. für Bot. 3: 266—289.
- Schoch-Bodmer 1945, Über das Spitzenwachstum der Pollenschläuche, Ber. Schweiz. Bot. Ges. 55: 154.
- Steffen K., 1953, Zytologische Untersuchungen an Pollen-Korn und Schläuch, Flora Bd. 140: 140—174.
- Thaler I., F. Weber, 1957, Kallosechülle um Kalziumoxalatdrusen Phytton 7:8..
- Vasil J. K., 1960, Studies on pollen germination of certain *Cucurbitaceae*, Am. J. Bot. 47: 239—247.
- Venema G., A. Koopmans, 1962, A phase contrast microscopic study of pollen grain. Germination, nuclear movement and pollen tube. Mitosis in *Tradescantia virginiana*, Cytologia (Jap.) 27: 11—24.
- Wałek-Czernecka A., 1962, Mise en évidence de la phosphatase acide (monophosphoestérase II) dans les sphérosomes des cellules épidermiques des écailles bulbaires d'*Allium cepa*, Acta Soc. Bot. Pol. 31 (3): 539—543.
- Yohri B. M., J. K. Vasil, 1961, Physiology of pollen, The Bot. Rev. 27: 326—381.