OKRĘGOWA BIBLIOTEKA PEDAGOGICZNA W GDAŃSKU z siedzibą w Sopocie
6180

ODZIEJCZYK

ROZMNAŻANIE SIĘ ROŚLIN

PAŃSTWOWE ZAKŁADY WYDAWNICTW SZKOLNYCH

Dr JANUARY KOŁODZIEJCZYK

ROZMNAŻANIE SIĘ ROŚLIN

DO UŻYTKU NAUCZYCIELI
BIOLOGII ORAZ UCZNIÓW
KLAS LICEALNYCH SZKÓŁ
OGÓLNOKSZTAŁCĄCYCH
I ZAWODOWYCH O TYPIE
PRZYRODNICZO-TECHNICZNYM

WARSZAWA 1951
PAŃSTWOWE ZAKŁADY
WYDAWNICTW SZKOLNYCH

Wydanie książkowe artykułu pt. „Rozmnażanie się roślin“ z wydawnictwa „Wielka Przyroda Ilustrowana“ T. II — uzupełnione, przerobione i przedstawione w ujęciu ewolucyjnym przez prof. dra TADEUSZA GORCZYŃSKIEGO

Książka zatwierdzona pismem Ministerstwa Oświaty Nr Oc-803/50 z 8. XII. 1950 jako pożądana w bibliotekach nauczycielskich

R-k. Ksiąg. Domu Książki Nr. 10/VIII
17. XI. 51
BIBLIOTEKA PEDAGOGICZNA K. O. S. GDAŃSK
Inw. 6180
Dz. 57

ZAKŁ. GRAF. PAŃSTWOWYCH ZAKŁADÓW WYDAWNICTW SZKOLNYCH W BYDGOSZCZY
C 306 — 10000 + 1000 + 65 egz. — E-2-13544 — VI. 51 — Zarządzenie 965
Arkuszy druku 6½ Papier 70×100 cm, 70 g, kl. V Zamówienie 6519

UWAGI DO NOWEGO WYDANIA

Na parę lat przed ostatnią wojną ukazało się wydawnictwo pt. „Wielka Przyroda Ilustrowana" w opracowaniu najlepszych polskich naukowców i popularyzatorów. Tom II poświęcony roślinie w znacznej części wypełnił trzema swymi artykułami January Kołodziejczyk. Wyodrębnioną całość pt. „Rozmnażanie się roślin", ze względu na oryginalne ujęcie i wartość tej pracy postanowiono wydać jako oddzielną książkę. Rzecz ta obejmuje zebrane syntetycznie problemy rozmnażania, przede wszystkim płciowego, roślin, ich cykle rozwojowe i na tym tle są podane porównawczo zagadnienia powstawania większości grup świata roślinnego.

Niewielka rozmiarami praca, bogato ilustrowana treść ujęta jest popularnie, mimo że autor porusza specjalne i niekiedy trudne zagadnienia. Takie ujęcie umożliwia korzystanie z dzieła szerokiemu ogółowi nauczycieli biologii, a nawet uczniom klas licealnych szkół ogólnokształcących i zawodowych. Polecić tu warto przede wszystkim jasno wyłożone problemy stopniowego komplikowania się procesów rozmnażania u roślin w interpretacji ewolucyjnej.

Pod tymi właśnie względami wymieniona praca Januarego Kołodziejczyka nie została dotychczas przez nas dostatecznie doceniona, choć w języku polskim nie było dotąd tego rodzaju syntetycznie, prawie monograficznie przedstawionych zjawisk rozmnażania się roślin. Słuszną więc wydaje mi się rzeczą bliższe udostępnienie nauczycielstwu pracy J. Kołodziejczyka pt. „Rozmnażanie się roślin", bo treść jej jest niezbędna dla zrozumienia najważniejszych podstaw i procesów w ewolucji świata roślinnego.

Zmarły w r. 1949 autor tej pracy i wielu podręczników szkolnych wkomponował treść swego dzieła w ramy systemu naturalnego, omawiając procesy rozmnażania płciowego i związane z nimi zagadnienia przemiany pokoleń w kierunku wstępującym, rozwojowo-filogenetycznym świata roślinnego. I to właśnie jest główną ideą i nicią łączącą zebrany materiał w nierozerwalną całość ewolucyjną. Zwracanie uwagi, a nawet podkreślanie wpływu różnych czynników środowiska na ewolucję procesów rozmnażania daje zasadniczą podstawę do zrozumienia nie tylko procesów już zaszłych w przyrodzie, ale, i to przede wszystkim, do zrozumienia możliwości powstawania zmian ewolucyjnych kierowanych przez człowieka, nazywanych inaczej twórczym darwinizmem lub ewolucją kierunkową. Praca ta ułatwi zadanie nauczycielowi w najbardziej trudnych zagadnieniach nauczania biologii, a może się stać w wielu wypadkach jedynym rzeczowym wykładnikiem procesów rozwojowych świata roślinnego w ręku interesującego się przedmiotem starszego ucznia lub często teraz spotykanego samouka.

Warszawa, I. V. 1950

TADEUSZ GORCZYŃSKI

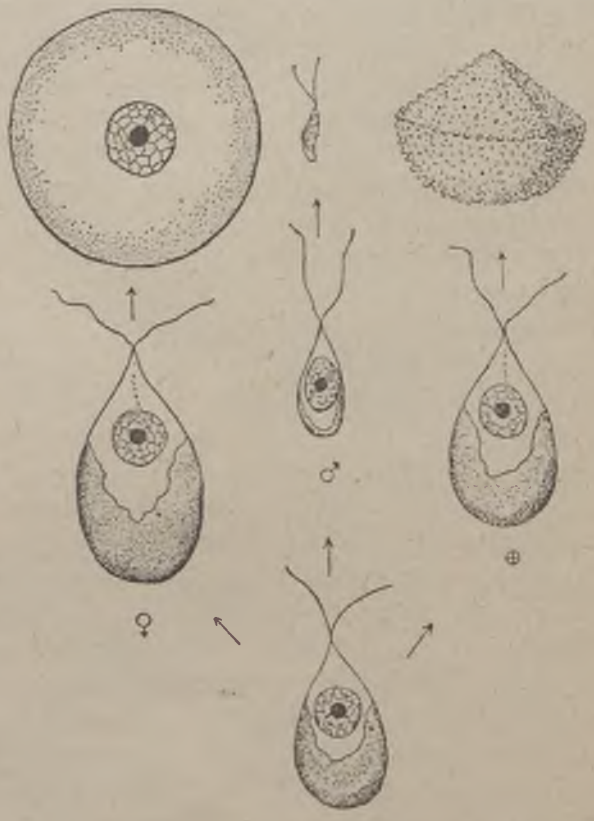
WSTĘP

Długość życia każdej rośliny, jak i wszystkich organizmów, jest ograniczona. Są rośliny, które żyją zaledwie kilka miesięcy, ale są i takie, jak niektóre drzewa, żyjące setki, a nawet tysiące lat. Niemniej jednak życie istoty żywej ma swój kres i kończy się śmiercią. Protoplasty komórek tracą swoje życiowe właściwości, ciało rośliny staje się martwe i cały organizm wskutek działania drobnoustrojów przetwarza się znów w te proste związki chemiczne, z których się wytworzył. Mimo to dzięki zdolności organizmów do rozmnażania się ciąg życia na ziemi jest utrzymany.

Istnieją w naturze dwie formy rozmnażania: wegetatywna i generatywna. Wegetatywna polega przede wszystkim na procesach wzrostu prowadzącego nie do powiększania się istniejącego już osobnika, lecz do wytworzenia nowego. U bardzo wielu roślin odcięty pień, gałązka, pączek, a u niektórych, jak np. u begonii, nawet pocięty liść może wydać nowe osobniki. Niezbędnym warunkiem rozmnażania wegetatywnego jest zdolność wytwarzania korzeni i pędów przybyszowych. Rośliny kwiatowe często zdolne są do wytwarzania specjalnych utworów bulwkowatych, które zwykle nazywamy rozmnóżkami (żywiec cebulkowaty, pszonka ziarnopłon i lilia bulwkowata, *Dentaria bulbifera*, *Ranunculus ficaria*, *Lilium bulbiferum*), które niekiedy mogą wytwarzać nowe rośliny na osobnikach macierzystych. Mamy tu do czynienia z pozorną żyworodnością (wyklina roczna, odmiana żyworodna, *Poa annua var. vivipara*). Rozmnażanie wegetatywne u roślin wyższych może być spowodowane licznymi przyczynami, wśród których degeneracja organów rozrodczych i zdolność do wytwarzania zarodków zastępczych najróżnorodniejszych typów odgrywa niepoślednią rolę. Całość tych zagadnień wymaga jednak specjalnego opracowania.

Oprócz tej formy rozmnażania wegetatywnego rośliny mogą się rozmnażać bezpłciowo, przez wytwarzanie specjalnych komórek, tzw. zarodników. Zdolnością rozmnażania się w ten sposób obdarzona jest znaczna ilość roślin zwanych zarodnikowymi, chociaż odpowiedniki zarodników występujących typowo u mszaków i paprotników, jak to zresztą wykażemy, znajdujemy również i u roślin nasiennych.

Najbardziej jednak interesujące jest rozmnażanie płciowe. Zdolnością tego rodzaju rozmnażania są obdarzone na ogół wszystkie organizmy, jedynie u bakterii i u sinic zjawisk typowego rozmnażania płciowego dotychczas nie obserwowano. W rozmnażaniu płciowym biorą udział zawsze dwie specjalne komórki rozrodcze. Komórki rozrodcze zlewają się ze sobą i ten niezwykle doniosły dla życia proces nazywamy zapłodnieniem. W procesie tym ważną rolę odgrywają jądra komórek rozrodczych. Dzięki zapłodnieniu powstają nowe osobniki potomne, o podobnych cechach, co i organizmy, z których wytworzyły się komórki rozrodcze. Nim się jednak zapuścimy w omawianie procesów rozmnażania u rozmaitych grup roślinnych, musimy przede wszystkim zapoznać się pokrótce z kilkoma zasadniczymi zjawiskami oraz z powszechnie przyjętą terminologią rozmnażania płciowego



Rys. 1. Filogenia komórek rozrodczych. 1 — szereg u dołu, pływki wegetatywne lub gamety jednakowych kształtów (izogamia), np. u *Protosiphon botryoides*; 2 — środkowy szereg — heterogamia komórki rozrodczej jednego typu, lecz różnej wielkości, np. *Eudorina elegans*; na prawo pływka bezpłciowa; 3 — u góry — komórki rozrodcze zróżnicowane na komórkę jajową i plemnik oraz ⁞ zarodnik przenoszony w powietrzu, przykład paprotniki

A więc komórki rozrodcze nazywamy powszechnie g a m e t a m i, a komórki (u grzybów i glonów), z których powstają gamety, nazywamy g a m e t a n g i a m i. Komórkę powstałą ze zlania się dwóch gamet nazywamy z y g o t ą. U glonów i grzybów zygota jest przeważnie przetrwalnikiem, natomiast u mszaków, paprotników i roślin nasiennych zygota dzieli się zaraz po zapłodnieniu i wytwa-

rza ciało wielokomórkowe, które u roślin nasiennych ma początkowo postać zarodka. Wiele roślin w tym stadium przechodzi okres spoczynkowy. Gamety od zygoty odróżniają się głównie liczbą chromozomów w jądrze: gamety mają x chromozomów, a zygoty $2x$ (rys. 1).

W ten sposób w rozwoju każdego osobnika odróżniamy dwie fazy: fazę haploidalną (haplofaza, x-chrom) z komórkami haploidalnymi, z których powstają komórki rozrodcze, i fazę diploidalną (diplofaza, $2x$-chrom) z komórkami diploidalnymi. U niektórych gatunków roślin, jak np. u pewnych glonów (sprzężnica — *Spirogyra*) i grzybów, przy kiełkowaniu zygoty następuje podział redukcyjny jądra i wtedy wszystkie komórki powstałego osobnika mają x chromozomów, a cały osobnik jest w fazie haploidalnej. U innych glonów podział redukcyjny następuje prawie bezpośrednio przed wytwarzaniem się komórek rozrodczych i całe organizmy reprezentują fazę diploidalną. U mszaków, paprotników i roślin nasiennych te dwie fazy w ciągu życia jednego osobnika zmieniają się kolejno. Bardzo plastycznie występuje to zwłaszcza u mszaków i paprotników. Fazę haploidalną nazywamy również pokoleniem płciowym, a komórki lub całe organy tego pokolenia — gametofitem, to jest rośliną wytwarzającą gamety. Fazę diploidalną nazywamy pokoleniem bezpłciowym, a komórki lub całe organy tego pokolenia — sporofitem, to jest rośliną, wytwarzającą zarodniki. Zjawisko zmieniania się dwóch faz albo, jak jeszcze mówimy, pokoleń, różniących się liczbą chromozomów w jądrach, a w wielu wypadkach (niektóre glony i wszystkie mszaki, paprotniki i rośliny nasienne) i budową morfologiczną, nazywamy przemianą pokoleń. Została ona wykryta w połowie XIX stulecia przez botanika niemieckiego Hofmeistera. Przemiana pokoleń, jako nić przewodnia, będzie punktem wyjścia rozpatrywania procesu rozmnażania u rozmaitych grup państwa roślinnego.

Glony *(Algae)*

Nazwą: glony oznaczamy organizmy plechowe, które dzięki temu, że mają chromatofory barwne, przeważnie chloroplasty, są istotami samożywnymi. Glony uważamy powszechnie za organizmy najprostsze, pierwotne, z których probujemy wyprowadzić wszystkie formy roślin wyższych. Nie ulega jednak wątpliwości, że glony dziś żyjące są organizmami wtórnymi, bardziej zróżnicowanymi, w porównaniu z nieznanymi nam zresztą glonami, które przodowały niegdyś w dawnych epokach życia na ziemi. Współczesne nam glony pod względem systematycznym nie są grupą jednolitą. Wyróżniamy wśród nich kilka typów różniących się przede wszystkim sposobem rozmnażania. Spośród tych grup pominiemy zupełnie sinice tworzące wraz z bakteriami typ rozprątek, u których wyraźnych zjawisk płciowości nie wykryto. Pozostałe natomiast glony możemy podzielić na wiciowce roślinne, okrzemki, sprzężnice. zielenice, brunatnice, krasnorosty i ramienice.

2

WICIOWCE ROŚLINNE

(FLAGELLATAE)

Punktem wyjścia wszystkich grup nie tylko glonów, ale i plechowców są wiciowce, zakres jednak tej najprostszej grupy nie jest ustalony. Autor popularnej systematyki roślin Wettstein zalicza do tej grupy drobne, jednokomórkowe organizmy opatrzone jedną lub wieloma rzęskami, odżywiające się samożywnie lub różnożywnie, nie mające przy tym zdolności rozmnażania płciowego. Najprawdopodobniej w wielu wypadkach ten sposób rozmnażania nie został wykryty. Organizmy te rozmnażają się wegetatywnie przez podłużny podział komórek. Wiciowce, według Wettsteina, są grupą prowizoryczną. Natomiast inni botanicy, jak np. Harder w „Bonner Lehrbuch", a przede wszystkim Kursanow, Komarnicki i Flerow w znanym podręczniku *Курс низших растений* r. 1945, zaliczają do wiciowców rośliny rozmnażające się płciowo. Komórki wegetatywne u tych roślin rozpadają się wtedy na pewną liczbę urzęsionych gamet: gamety te zlewają się ze sobą parami i powstają zygoty, które kiełkują i wytwarzają 4 urzęsione komórki. Jako organy przetrwalnikowe wytwarzają się tzw. cysty, które są komórkami pozbawionymi rzęsek i otoczonymi grubą błoną.

3

OKRZEMKI

(DIATOMEAE)

Mają dobrze zbadany przebieg rozmnażania wegetatywnego. Każda komórka potomna otrzymuje jedną część błony komórki macierzystej, drugą zaś (błona okrzemek składa się z dwóch części dopasowanych, jak podstawa i wieczko) wytwarza od nowa. Jest to błona wewnętrzna, mniejsza od odziedziczonej, ściśle do niej dopasowana. Wskutek tego jedna z komórek potomnych zawsze jest trochę mniejsza od komórki macierzystej. Z biegiem czasu, po wielu podziałach, takie malejące komórki okrzemek stają się zupełnie drobne.

Koniec karlenia stanowi przejście do rozmnażania płciowego. Jest rzeczą ciekawą, że stosunkowo dawno poznano niektóre szczegóły rozmnażania płciowego u różnych grup okrzemek, ale dotychczas nie ma wyraźnych, szczegółowych opracowań, które by pozwoliły na ustalenie linii ewolucyjnej tego typu roślin. I tak zwykle w grupie *Pennatae*, do której należy większość naszych okrzemek, proces płciowy odbywa się w sposób następujący (według Karstena): dwa jednokomórkowe osobniki, niczym na zewnątrz nie różniące się od siebie, łączą się w parę i otaczają grubą, galaretowatą powłoką. W każdej komórce następuje po-

dział redukcyjny (heterotypowy) i uzupełniający (homotypowy) jądra, czego rezultatem jest powstanie czterech nierównych jąder — dwóch mniejszych i dwóch większych — przy czym parę stanowi jedno większe i jedno mniejsze jądro. Treść plazmatyczna okrzemki dzieli się na dwie części, tworząc w ten sposób dwie gamety dwujądrowe jednakowe nieruchome. Takie gamety wydostają się z błon komórkowych i łączą parami po jednej z dwóch różnych okrzemek (zygoty nie może wytworzyć para gamet powstałych z tej samej komórki okrzemkowej). Rezultatem takiej kopulacji komórek jest powstanie dwóch zygot, w których duże jądra łączą się ze sobą dając jądro diploidalne, jądra małe zaś degenerują i zanikają. Nowopowstałe zygoty otoczywszy się cienką błoną szybko rosną uzyskując wielkość początkową (obserwowaną na osobnikach niekarlejących) i tworzą nowe błony krzemionkowe. W ten sposób powstałe komórki dzieląc się normalnie rozpoczynają nowy cykl rozwoju wegetatywnego. Opisany proces rozwoju poznano u gatunku *Navicula viridula* (rys. 2). U innych rodzajów grupy *Pennatae* rozmnażanie płciowe przebiega nieco inaczej. Np. u *Surirella* (rys. 3) po podziale redukcyjnym w każdej komórce zanikają 3 jądra, a tylko 1 tworzy z plazmą gametę; w ten sposób z pary okrzemek utworzy się tylko 1 para kopulujących gamet (nie dwie, jak w poprzednim wypadku) i 1 zygota. Dalsze losy zygoty jak u *Navicula viridula*.

Rys. 2. Tworzenie się auksospor (zygot) u okrzemki *Navicula viridula*. Powiększ. 500 razy

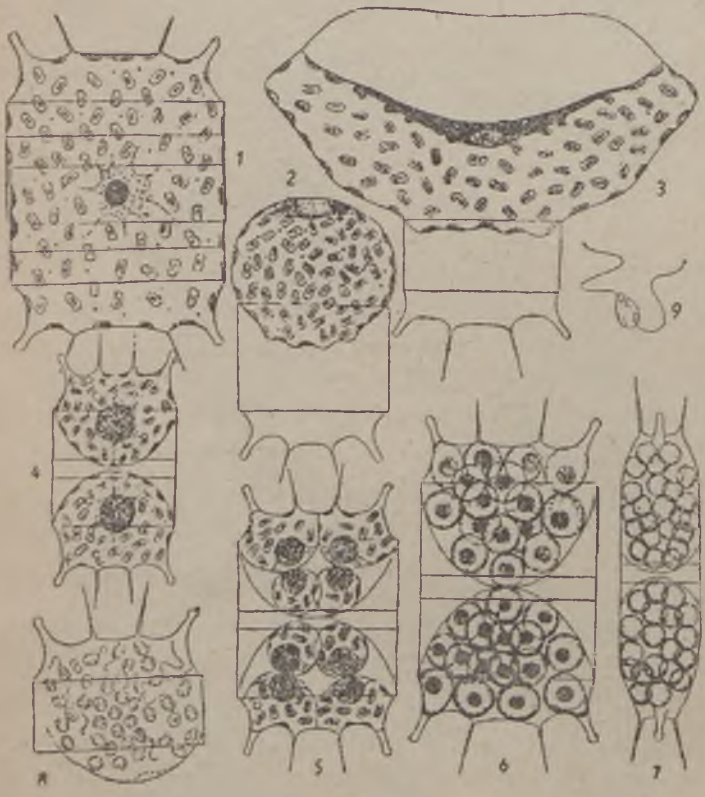
Rys. 3. Auksospora u *Surirella saxonica* z pozostałymi częściami pancerza. Powiększ. 500 razy

W rozmnażaniu płciowym u poszczególnych przedstawicieli grupy *Pennatae* zdarzają się (według Karstena) różne inne wypadki opisywane u rodzaju *Achnanthes subsessilis*, gdzie zygota może powstać z połączenia się gamet wytworzonych z jednej komórki. Zdarzają się także wypadki apogamii, tj. tworzenia się zygot z komórek rozrodczych wytworzonych najprawdopodobniej bez procesu redukcyjnego, np. u *Synedra affinis*. Planktonowe formy morskie okrzemek z grupy *Centriceae* (według Karstena 1904) mają formy rozmnażania podobnie skomplikowane, jak *Pennatae*. W wielu wypadkach

(jak podaje Kursanow, Komarnicki i Flerow w dziele *Курс низших растений*, str. 120) następuje całkowity zanik rozmnażania płciowego. Często można zaobserwować powstawanie zygot apogamicznych tworzących się w ten sposób, że protoplast okrzemki wydostaje się z błon komórkowych, rośnie osiągając wielkość z przed okresu normalnych podziałów wegetatywnych, wreszcie otacza się błonami z krzemionki i rozpoczyna nowy cykl rozwojowy. U okrzemki *Corethron Valdiviae* zaobserwowano tworzenie się zoospor lub (jak je Karsten nazywa) mikrospor (rys. 4).

Podobne zjawisko spotykano też u okrzemki *Biddulphia mobiliensis* (rys. 5).

Rys. 4. Tworzenie się mikrospor u okrzemki morskiej *Corethron Valdiviae*. 1 — Oddzielne indywiduum; 2, 3 — tworzenie się mikrospor; 4 — grupa mikrospor w śluzie na zewnątrz komórki; 5, 6 i 7 — kiełkujące zygoty

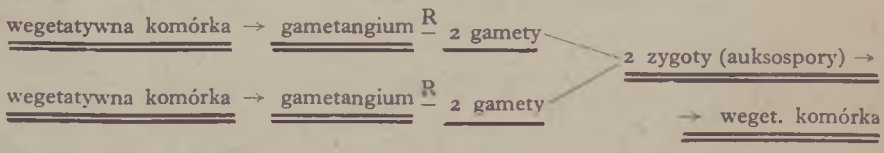


Rys. 5. Tworzenie się auksospor i mikrospor u okrzemki *Biddulphia mobiliensis*. 1 — Komórka wegetatywna; 2, 3 — tworzenie się auksospor; 4—7 — tworzenie się mikrospor; 7 — widok z boku; 8 — dojrzała zarodnia; 9 — mikrospora, silnie powiększone

Jak widzimy, sprawa rozmnażania wegetatywnego za pomocą pływek została zaobserwowana już u niektórych okrzemek.

Niektórzy autorowie przypisywali tym zoo- lub mikrosporom właściwość gamet, sprawa ta jednak nie była dość wyraźnie i ostatecznie opracowana. Badania Piersidskiego za Kursanowem wykazały, że w podziałach niektórych okrzemek z grupy *Centriceae* podziały tworzące mikrospory mają charakter redukcyjny, co by świadczyło o haploidalności mikrospor i ich płciowym charakterze. W każdym razie wyniki badań Piersidskiego ułatwiają zrozumienie procesów rozmnażania u okrzemek, ujednolicając pojęcia bytowania tych organizmów w fazie diploidalnej i pozostawiając fazie haploidalnej tylko krótki okres życia gamet.

Rozmnażanie okrzemki *Navicula* możemy przedstawić w następującym wzorze — schemacie:



(Podwójne podkreślenie oznacza fazę diploidalną, pojedyncze podkreślenie — fazę haploidalną; R — oznacza podział redukcyjny).

Ewolucyjnie okrzemki wywodzą się od wiciowców, ale ich dość oryginalne formy rozmnażania związane są zapewne z przystosowaniem do życia w błonach mineralnych, które, raz wytworzone, służą komórce przez cały okres jej bytowania. Okrzemki należą do mało zmiennych organizmów, jeśli będziemy brać pod uwagę charakter skorupek znajdowanych w pokładach ziemi okrzemkowej, w porównaniu z błonami współcześnie żyjących gatunków tych roślin.

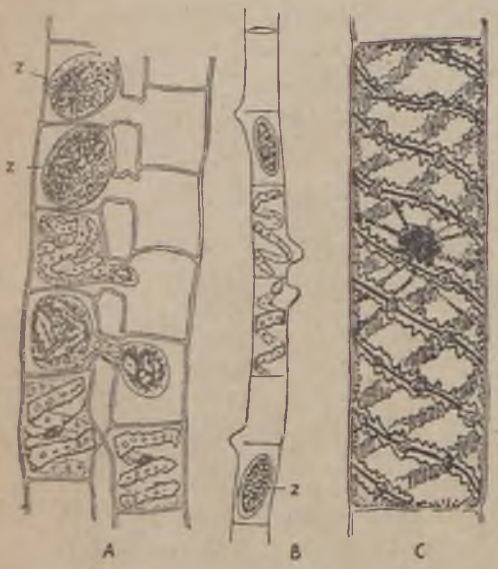
4

SPRZĘŻNICE

(CONIUGATAE)

Nie mają one zdolności wytwarzania pływek. Wegetatywnie rozmnażają się przez zwykły podział komórek, wydłużając w ten sposób nitkowate kolonie (np. skrętnica) lub zwiększając liczbę osobników u gatunków nietworzących kolonii (np. *Closterium* i in.). Dobrym przykładem rozwoju sprzężnic jest powszechnie znany rodzaj skrętnica *(Spirogyra)*. Znajomość przebiegu procesu płciowego i rozmnażania właśnie u tego glonu może nieć duże znaczenie w nauczaniu, gdyż

organizm ten jest na ogół dostępny, ma duże komórki i pod wpływem odpowiednio dobranych warunków „hodowli laboratoryjnej" łatwo można otrzymać dość materiału obserwacyjnego różnych stadiów rozmnażania płciowego. Stąd wniosek, że i w naturze warunki zewnętrzne otoczenia wpływają bezpośrednio na powstanie zjawisk związanych z rozmnażaniem płciowym u skrętnicy. Nitki

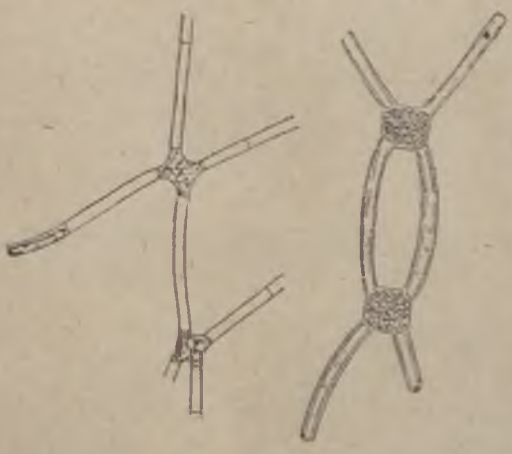


Rys. 6. Budowa komórki skrętnicy *(Spirogyra)* (*C*). Kopulacja gamet (*A*) i tworzenie się zygot (*B* — z).

Rys. 7. *A* i *B* — Kopulacja jąder w zygocie u skrętnicy; *C* — podział jądra zygoty na 4 jądra haploidalne; *D* — rozpad trzech mniejszych jąder

skrętnicy, zwłaszcza w większym zagęszczeniu, układają się równolegle. Sam przebieg kopulacji odbywa się w tym wypadku według pewnej kolejności (rys. 6 i 7). Kopulację poprzedza zwykle podział komórek, toteż właściwe komórki rozrodcze są młodymi elementami przekształconymi w gamety morfologicznie nie wykazujące różnic płciowych. Dwie nici skrętnicy leżące obok siebie często zlepiają się w miejscach odpowiadających sobie komórek rozrodczych, które wytwarzają swoiste wypukłości błon, tworzące stosunkowo szerokie kanaliki. Uwypuklenia te po wyrośnięciu tracą błony przegradzające treść obydwu gamet, które zlewają się z sobą. Oprócz sprzęgania się komórek z odrębnych nici, które w wielu wypadkach są nićmi różnopłciowymi, spotykamy jeszcze inne rodzaje kopulacji, polegającej na sprzęganiu się dwóch sąsiednich komórek tej samej nitki. Pierwszego rodzaju sprzęganie się komórek dwóch odrębnych nici nazywamy drabinkowym, a drugiego rodzaju — bocznym. Ten lub inny sposób kopulacji jest swoisty dla

niektórych gatunków sprzężnic, jednak u gatunków, mających możność kopulowania w jeden i w drugi sposób jest on zależny od warunków bytowania, w czym odżywianie odgrywa dużą rolę. Komórki rozrodcze skrętnicy różnią się od komórek wegetatywnych tym, że mają znaczniejszą ilość skrobi. Protoplasty obu komórek sprzężonych oddzielają się od błon, skupiają się w środku, w czym jedna z komórek rozrodczych wyprzedza drugą; protoplast pierwszej komórki powoli przelewa się przez otwór w kanaliku do komórki drugiej i tu następuje zlanie się



Rys. 8. Tworzenie się zygot przez kopulację gamet u *Mesocarpus*

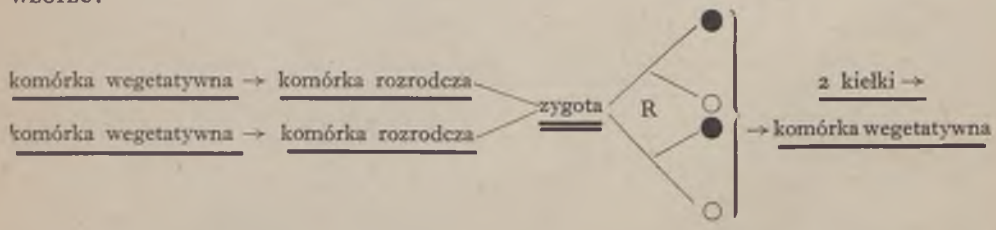
Rys. 9. Tworzenie się zygot u *Mougeotia Calcarea*

plazmy i jąder. Pomiędzy komórkami rozrodczymi nie ma prawie wcale różnic morfologicznych, natomiast istnieje różnica fizjologiczna w zachowaniu się komórek podczas procesu kopulacji. Jedne komórki pozostają nieruchome, bierne i uważamy je za komórki rozrodcze żeńskie, natomiast drugie komórki są czynne, treść ich przepływa do komórek żeńskich; uważamy je za komórki rozrodcze męskie.

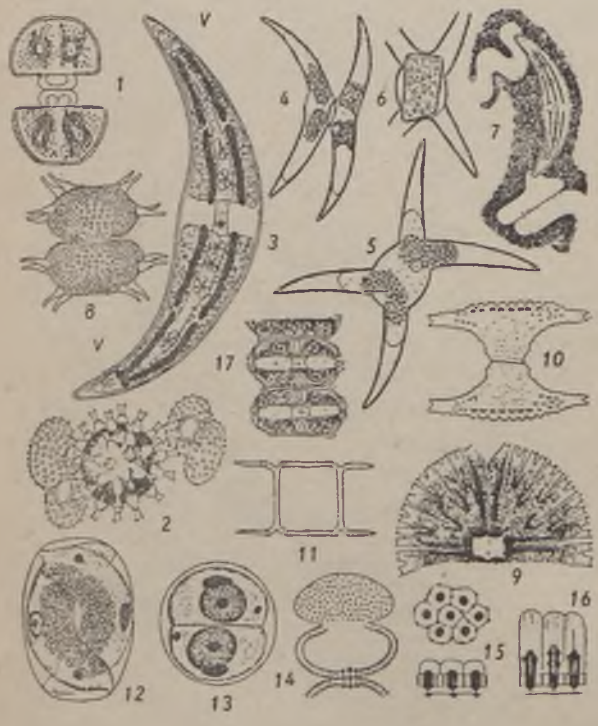
U pokrewnego skrętnicy rodzaju *Mesocarpus* i *Mougeotia* (rys. 8 i 9) zygota tworzy się w kanaliku, a komórki rozrodcze nie różnią się wtedy nawet fizjologicznie. W następstwie kopulacji wytwarza się kulista zygota, która jest komórką diploidalną. Komórka ta tworzy grubą błonę, wewnątrz niej nagromadzają się tłuszcze i zygota przechodzi w stan spoczynku. Ciekawie przedstawia się sprawa chloroplastu z komórki męskiej, który przepływa z całym protoplastem do komórki żeńskiej, jednak podczas dojrzewania zygoty ginie, przeto następne pokolenie dziedziczy tylko chloroplast żeński. Zygota po pewnym okresie spoczynkowym kiełkuje, przy czym przed kiełkowaniem zygoty zawarte w niej tłuszcze

przekształcają się w skrobię. Również przed kiełkowaniem *) zygoty jądro ulega podziałowi redukcyjnemu (rys. 7) — z czterech powstałych trzy jądra giną, a pozostałe jedno jądro razem z plazmą rozwija się w nową nić skrętnicy. Z zygoty powstaje nowa komórka, w kształcie zamkniętej rurki i ta dalej dzieli się błonami poprzecznymi, tworząc charakterystyczną nić złożoną z wielu komórek. Nitkowata plecha skrętnicy stanowi więc fazę haploidalną.

Cykl rozwojowy sprzężnicy *Cosmarium* możemy przedstawić w następującym wzorze:



(Podwójne podkreślenie oznacza fazę diploidalną, pojedyncze podkreślenie — fazę haploidalną; R — oznacza podział redukcyjny).



Rys. 10. *Desmidiaceae*. 1 — *Cosmarium* — początek podziału; 2 — zygota; 3 — *Closterium* i 4—6 jego kopulacja; 7 — *Closterium* w tuszu, widać wydzielanie się śluzu; 8 — *Xanthidium*; 9 — połówka *Micrasterias*; 10 — *Staurastrum*; 11 — *Hyalotheca*; 12—13 — kiełkowanie zygoty *Closterium* i *Cosmarium*; 14 — *Sphaerozosma* — widać pory; 15 i 16 — budowa ścianek komórkowych; 17 — *Desmidium Grevillei*

*) Jeszcze w obrębie błony zygoty następują podziały jądra. Kiełkowaniem zygoty nazywamy pęknięcie błony i wytworzenie się nowej komórki z typowymi chloroplastami.

W rozmnażaniu płciowym skrętnicy obserwuje się dużą różnorodność zjawisk, przy czym wyciągane z tego wnioski nie zawsze mogą być uogólniane. Tak np. łączenie się u pewnych gatunków komórek w ten sposób, że kolejno co trzecia komórka nie bierze udziału w procesie rozmnażania, wskazywałoby na pewnego rodzaju różnicowanie się komórek nitki na płciowe i wegetatywne. Znane są jednak wypadki, kiedy w nitce wszystkie komórki kopulują. Spotykano też gatunki, w których łączenie się komórek płciowych jest zawsze jednostronne. Zjawisko to może oznaczać pewną predestynację jednej płci w komórkach całych nici skrętnicy. Rzadziej spotykamy zygoty wytworzone z treści jednej tylko komórki; taką zygotę można by nazwać apogamiczną albo, jak to jest w użyciu w terminologii algologicznej: azygotą. Sprzężnice jednokomórkowe rozmnażają się płciowo i izogametycznie (rys. 10).

5

ZIELENICE

(CHLOROPHYCEAE)

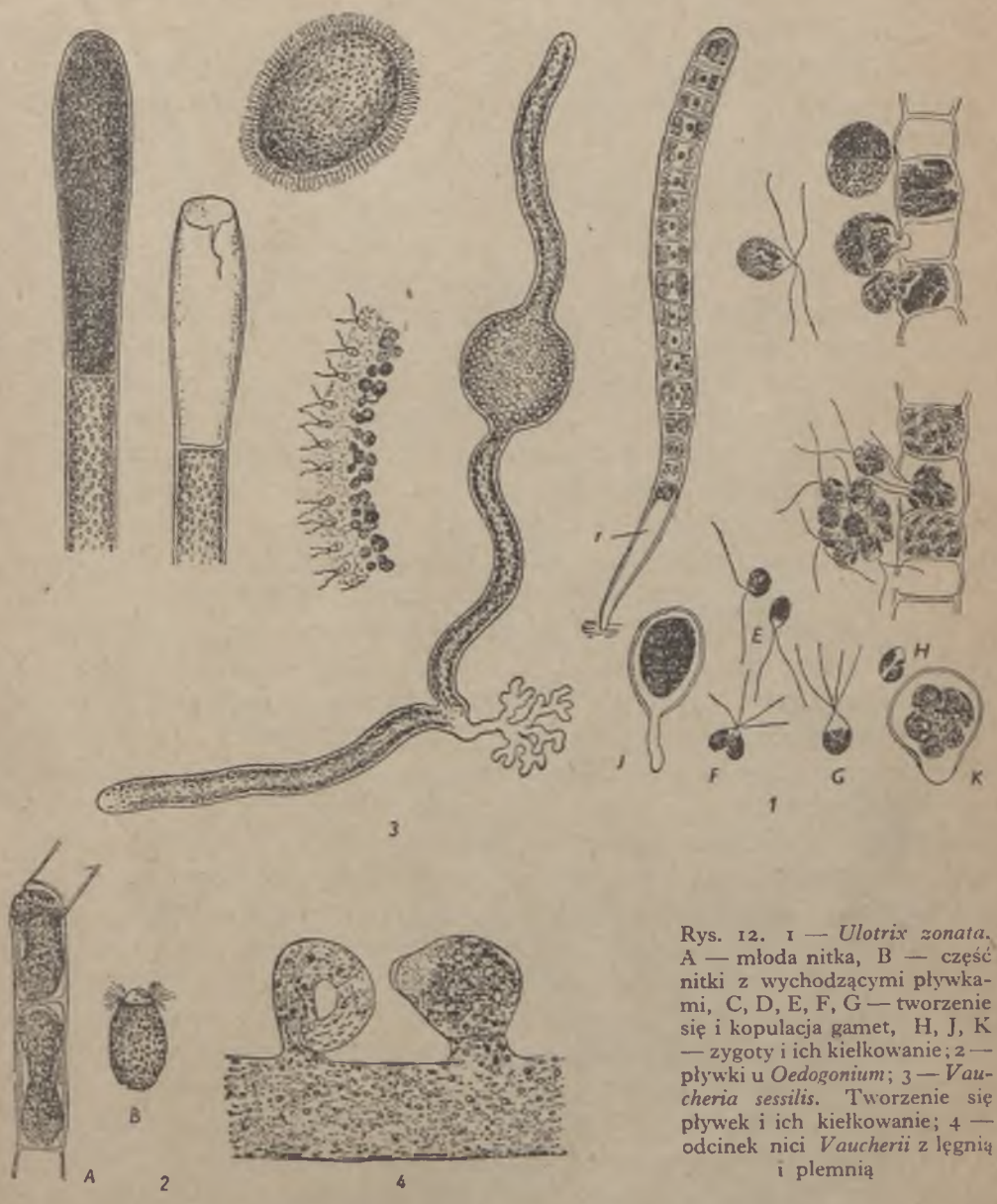
Zielenice ze swoimi wieloma różnorodnymi grupami organizmów stanowią swoisty świat glonów rozmnażających się dość różnorodnie: od pierwotnej izogamii przez heterogamię do oogamii. Stosunkowo najbliżej wiciowców stoi grupa zielenic *Volvocineae*, których komórki wegetatywne są urzęsione i mają zdolność ruchu czynnego. Zielenice rozmnażają się bardzo obficie, przede wszystkim bezpłciowo, przez wytwarzanie tzw. pływek. U znacznej liczby zielenic, jak np. *Chlamydomonas* (rys. 11), *Ulotrix* (rys. 12) i innych, pływki te są pojedynczymi, jednojądrowymi komórkami nieobłonionymi. U glonu jednokomórkowego *Chlamydomonas* powstają one z całego protoplastu osobnika, u nitkowatego zaś glonu *Ulotrix* — z pojedynczych komórek nitki. Pływki te mają również czerwoną plamkę, jak u typowych wiciowców. Pojedyncza pływka powstaje albo z całego protoplastu komórki, albo też protoplast dzieli się na pewną liczbę komórek (2, 4 lub więcej) i w ten sposób z jednej komórki powstaje więcej pływek. U zielenicy *Oedogonium* (rys. 12) pływki bezpłciowe powstają pojedynczo z komórki. Są one stosunkowo duże, mają bezbarwny szczyt, pod którym znajdują się liczne rzęski w formie wieńca. Szczególnego rodzaju pływki wytwarza zielenica *Vaucheria* (rys. 12). Glon ten jest organizmem, którego jednokomórkowa plecha-komórczak, kształtu rozgałęziającej się nitki, ma liczne jądra leżące na obwodzie protoplastu. Jeżeli glon taki umieścimy np. w ciemnym pokoju, to już po kilku dniach możemy zauważyć, że szczyty niektórych nici nieco nabrzmiewają, stają się ciemniej-

sze i oddzielają się od plechy poprzeczną błoną. Obserwując dalej na szczycie tym zauważymy ruch, następnie zaś widzimy, jak cały protoplast wypływa na

Rys. 11. Rozwój jednokomórkowych glonów z grupy *Volvocales*. 1, 2, 3 — *Chlamydomonas Braunii*, kopulacja różnych gamet (1) i wrzenie się zygoty (2, 3); 4, 5, 6 — *Chlamydomonas cifera*; 4 — podział komórki i tworzenie się plemników; 5 — plemniki; 6 — kopulacja plemnika z komórką jajową przeobrażoną ze zwykłej komórki ruchliwej opatrzonej 2 rzęskam

zewnątrz przez otwór na szczycie (rys. 12). Zjawisko to, zaobserwowane na początku ubiegłego stulecia, tak uderzyło wówczas botaników poszukujących zjawisk zwierzęcych u roślin, że przypuszczano nawet, iż to zwierzę wychodzi z rośliny; pływkę nazwano „zoosporą". Nazwa ta utrzymała się do czasów obecnych. Pływka zielenicy *Vaucheria* ma kształt stosunkowo dużej, zielonej kulki i zawiera liczne jądra leżące na obwodzie nieobłonionego protoplastu. Naprzeciw każdego jądra wytwarzają się po dwie rzęski. Każda pływka u zielenicy *Vaucheria* odpowiada całemu zespołowi pływek u innych zielenic, powstałych z jednej komórki. Wszystkie pływki poruszają się ku światłu, wokół nich wytwarzają się błony i po pewnym czasie pływki kiełkują w nowe rośliny.

Przechodzimy teraz do rozpatrywania rozmnażania płciowego zielenic; wyróżniamy w nim trzy typy, które są niejako stopniami różnicowania się zjawisk płciowych. Pierwszy typ rozmnażania płciowego spotykamy np. u niektórych gatunków rodzaju *Chlamydomonas* lub u nitkowatego *Ulotrix*. Protoplast komórki tych roślin dzieli się na pewną liczbę (4—64) urzęsionych pływek płciowych albo gamet. Pływki te są zewnętrznie podobne do pływek bezpłciowych, są jednak nieco mniejsze od nich i unikają światła. U gatunków *Ulotrix* (rys. 12)



Rys. 12. 1 — *Ulotrix zonata*. A — młoda nitka, B — część nitki z wychodzącymi pływkami, C, D, E, F, G — tworzenie się i kopulacja gamet, H, J, K — zygoty i ich kiełkowanie; 2 — pływki u *Oedogonium*; 3 — *Vaucheria sessilis*. Tworzenie się pływek i ich kiełkowanie; 4 — odcinek nici *Vaucherii* z lęgnią i plemnią

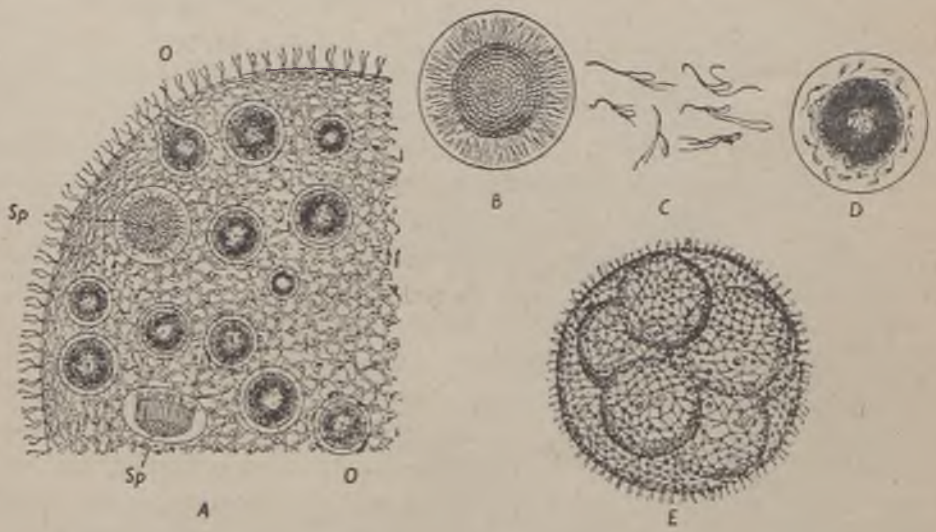
pływki bezpłciowe mają po cztery rzęski, natomiast pływki płciowe po dwie. Pływki płciowe parami podpływają do siebie, stykają się ze sobą ze strony przedniej urzęsionej i zlewają ze sobą — powstaje zygota, wokół której wytwarzają się grube błony. Po pewnym czasie spoczynkowym zygota kiełkuje, przy czym pierwszy podział komórek przy kiełkowaniu jest podziałem redukcyjnym. W rezultacie

BIBLIOTEKA PEDAGOGICZNA K. O. S. GDAŃSK

kiełkowania powstają pływki bezpłciowe, z których wytwarzają się nowe osobniki. To zjawisko płciowe łączenia się gamet niczym nie różniących się od siebie nazywamy izogamią. Jest to najprostszy i najprawdopodobniej pierwotny sposób rozmnażania płciowego.

Zjawisko izogamii spotykamy również u niektórych glonów tworzących kolonie, jak np. u zielenicy *Pandorina*. Już jednak u niektórych innych gatunków w rodzaju *Chlamydomonas* spotykamy się ze zróżnicowaniem pływek płciowych na pływkę mniejszą, którą uważamy za gametę męską i pływkę większą — gametę żeńską. Jak wykazano, pływki te powstają z rozmaitych osobników. U gatunku *Chlamydomonas Braunii* (rys. 11). powstają z pojedynczych komórek w kształcie pływek dwie gamety męskie i dwie lub cztery gamety żeńskie. Pływki te są obłonione i łączą się po dwie (męska i żeńska) śluzowaciejącymi brodawkami, które wytwarzają się na błonach. W tym stadium połączone pływki przez pewien czas poruszają się razem, wreszcie tracą rzęski, protoplasty obu gamet oddzielają się od błon, kurczą i zwracają się głównie ku miejscu zetknięcia. W miejscu zetknięcia się pływek błony ich rozpuszczają się i powstaje kanalik, przez który protoplast gamety męskiej przepływa do gamety żeńskiej. Powstała przy procesie zapłodnienia kulista zygota okrywa się dwiema błonami i po pewnym czasie kiełkuje jak u poprzednich gatunków. To zjawisko płciowości, w którym pływki różnią się między sobą tylko wielkością, nosi nazwę heterogamii; jest to niewątpliwie pierwszy stopień zróżnicowania się płci u roślin. Trzeci wreszcie stopień spotykamy również w gatunku *Chlamydomonas coccifera* (rys. 11). Komórka płciowa żeńska powstaje tutaj z całej komórki wegetatywnej, przy czym komórka ta traci rzęski. Taką komórkę (gametę) żeńską nieruchomą nazywamy komórką jajową, a komórki (gamety) męskie mniejsze ruchome nazywamy plemnikami. Tego rodzaju zjawisko płciowe, w którym komórka rozrodcza żeńska jest nieruchoma, bierna, a komórka męska ruchoma i czynna, nazywamy oogamią. Wyraźną oogamię spotykamy u gatunków rodzaju *Volvox* (rys. 13), które są koloniami wielokomórkowymi, przy czym komórki leżą na obwodzie i tworzą plechę o kształcie kuli. Wśród licznych komórek wegetatywnych urzęsionych możemy dojrzeć komórki rozrodcze jajowe, które w stanie dojrzałym są większe, pozbawione rzęsek i obfitsze w treść. Mają one kształt kulisty i ze strony zewnętrznej plechy przedłużają się w dziobek. Tego rodzaju organ zawierający komórkę jajową (w tym wypadku tylko jedną) nazywamy lęgnią *(oogonium)*. Oprócz lęgni spotykamy w sąsiedztwie również inaczej zbudowane komórki, których treść dzieli się na liczne drobne, nagie, żółto-zielone plemniki opatrzone dwiema długimi rzęskami. Komórkę, z której powstają plemniki, nazywamy plemnią *(antheridium)*. Po zapłodnieniu komórki jajowej powstaje zygota, którą u zielenic również nazywamy oosporą, a która ma zarazem charakter przetrwalnika. Nigdy cała kolonia toczka *(Volvox)* nie przekształca się w lęgnie i plemnie. Zwykle pozostaje

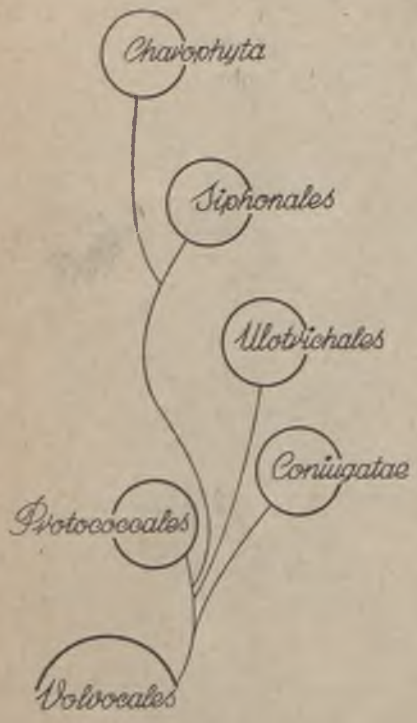
znaczna ilość komórek wegetatywnych, które po wytworzeniu się oospor giną. Jak wykazano, jedne gatunki toczków *(Volvox)* są obupłciowe, inne — jednopłciowe (łęgnie i p'emnie wytwarzają się na oddzielnych osobnikach). W osobni-



Rys. 13. Toczek *(Volvox globator)*. *A* — część kolonii z łęgniami *O* i plemniami *Sp*; *B* — grupa plemników; *C* — oddzielne plemniki; *D* — komórka jajowa w otoczeniu plemników; *E* — *Volvox aureus* kula z nowopowstałymi osobnikami

kach obupłciowych, mających organy rozmnażania na jednej i tej samej plesze, plemnie i łęgnie nie dojrzewają jednocześnie, dlatego zapłodnienie w obrębie tej samej kolonii jest niemożliwe. Wybitne zjawisko oogamii występuje również u opisywanej zielenicy *Vaucheria* (rys. 12). Łęgnie i plemnie u tego glonu powstają na tej samej plesze jako krótkie, boczne rozgałęzienia, które od pozostałej plechy oddzielają się błonami. Przy powstawaniu łęgni wnika do niej z plechy macierzystej razem z plazmą i ciałkami zieleni znaczna liczba jąder, które ustawiają się na obwodzie łęgni. Przed powstaniem błony oddzielającej łęgnie od plechy macierzystej wszystkie jądra (z wyjątkiem jednego) przechodzą znów do plechy macierzystej. W okresie dojrzałości łęgnia zawiera tylko jedną komórkę jajową. Na komórce tej *) wytwarza się rodzaj dziobka, wypełnionego bezbarwną plazmą. W dziobku tworzy się otwór. Plemnie leżą obok łęgni, mają one kształt skręconego rożka. Wytwarzają się w nich liczne jednokomórkowe plemniki wypływające z otworu na szczycie plemni. Plemniki są bardzo drobne, bezbarwne, mają po dwie wyrastające z boku rzęski. Plemniki przenikają przez otwór na łęgni

*) Oczywiście łęgni, która w tym okresie jest zarazem (zawiera wewnątrz błony) komórką jajową.



Rys. 14. Schemat rozwojowy glonów zielonych według Kursanowa

i jeden z nich zlewa się z komórką jajową. Powstaje oospora, która otacza się błoną, przechodzi okres spoczynkowy, po czym kiełkuje w nową roślinę.

Wszystkie zielenice możemy podzielić na dwie grupy. U jednych *(Chlamydomonas, Ulotrix)* przy kiełkowaniu zygoty następuje podział redukcyjny, pochodne komórki są więc haploidalne, a cała roślina — w fazie haploidalnej (gametofit). Jedynie zygoty stanowią u tych roślin fazę diploidalną (sporofit). U innych gatunków *(Cladophora)* podczas podziału zygoty odbywa się zwykły podział jądra, cała zaś roślina stanowi fazę diploidalną (sporofit). Faza haploidalna trwa jedynie od czasu powstania komórek płciowych do wytworzenia się zygoty. Podział redukcyjny zachodzi więc tutaj bezpośrednio przed wytworzeniem komórek płciowych. Zjawiskiem również częstym wśród zielenic jest partenogeneza (dzieworództwo). Zjawisko to, rzadkie w świecie roślin wyższych, polega na rozwoju komórki jajowej bez zapłodnienia; jest bardziej rozpowszechnione w świecie zwierzęcym.

6

BRUNATNICE

(PHAEOPHYCEAE)

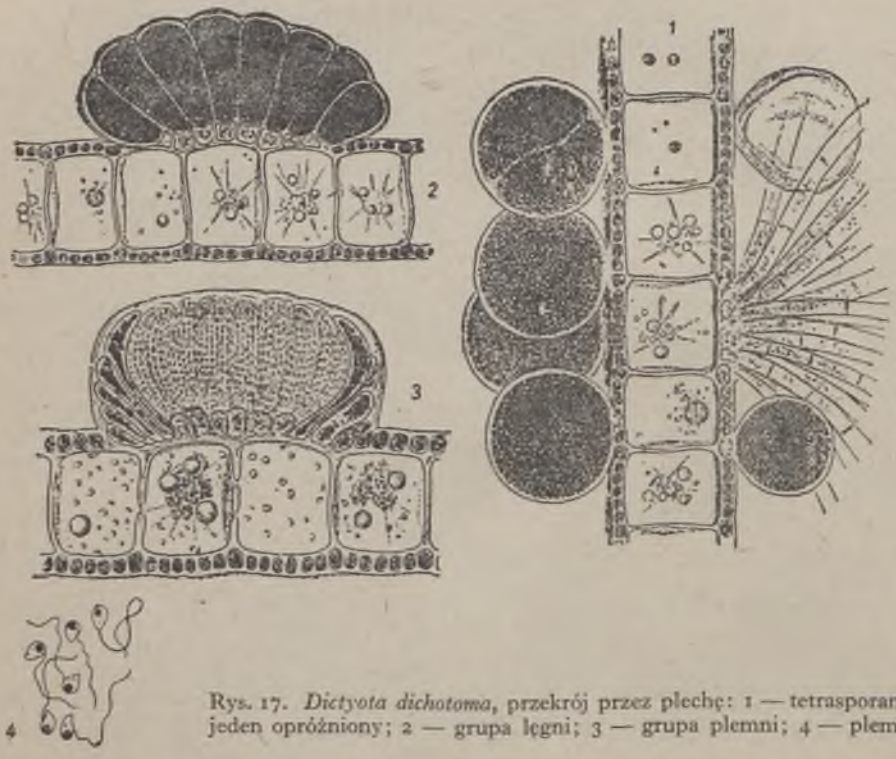
Pochodzą one, podobnie jak i zielenice, od wiciowców i stanowią gałąź równoległą do zielenic. Jednym z prostszych typów brunatnic jest gatunek *Ectocarpus siliculosus* (rys. 15 i 16), który rośnie u nas w Bałtyku. Glon ten tworzy plechy brunatne składające się z licznych, obficie rozgałęziających się nitek i pokrojem swym przypomina niektóre zielenice. Na nitkach tych powstają pęcherzykowate zarodnie, w których wytwarzają się liczne pływki bezpłciowe, kształtu gruszkowatego, opatrzone z boku dwiema rzęskami. Rzęski ustawione są w ten sposób,

Rys. 15. Gamety i ich kopulacja u brunatnicy — *Ectocarpus siliculosus*

powstaje jedna pływka płciowa (gameta). Wśród pływek o jednakowej budowie wyróżniamy żeńskie, które w okresie zapłodnienia nie poruszają się, i ruchome — męskie. Pływki męskie otaczają pływkę żeńską dotykając ją rzęskami — wreszcie jedna z pływek męskich zlewa się z pływką żeńską i powstaje zygota, która zostaje otoczona błoną i wyrasta w nową roślinę. Podział redukcyjny u brunatnicy *Ectocarpus* występuje przy tworzeniu się pływek bezpłciowych. Osobnik wytwarzający takie pływki jest w fazie diploidalnej (sporofit). Natomiast osobnik powstały z kiełkowania pływki bezpłciowej i wytwarzający pływki płciowe jest w fazie haploidalnej (gametofit). U tego więc glonu widzimy wyraźną przemianę pokoleń. Zjawisko to wykryto i u niektórych zielenic, nie występuje ono jednak w tej grupie glonów jeszcze w wyraźnej formie.

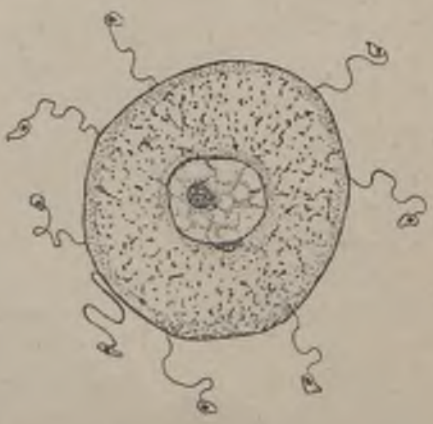
że przy ruchu jedna rzęska jest zwrócona ku przodowi, a druga ku tyłowi. Pływki mają również czerwoną plamkę oraz chromatofor brunatny, leżący w rozszerzonej dolnej części komórki. Po wydostaniu się z zarodni pływki bezpłciowe kiełkują i wytwarzają nową plechę. Jako organy rozmnażania płciowego powstają u tej brunatnicy wielokomórkowe gametangia. Z każdej komórki gametangium

Rycs. 16. *A* — gametangium u *Ectocarpus*; *B*, *C*, *D* — stopniowy rozwój gametangium u *Sphacelaria*

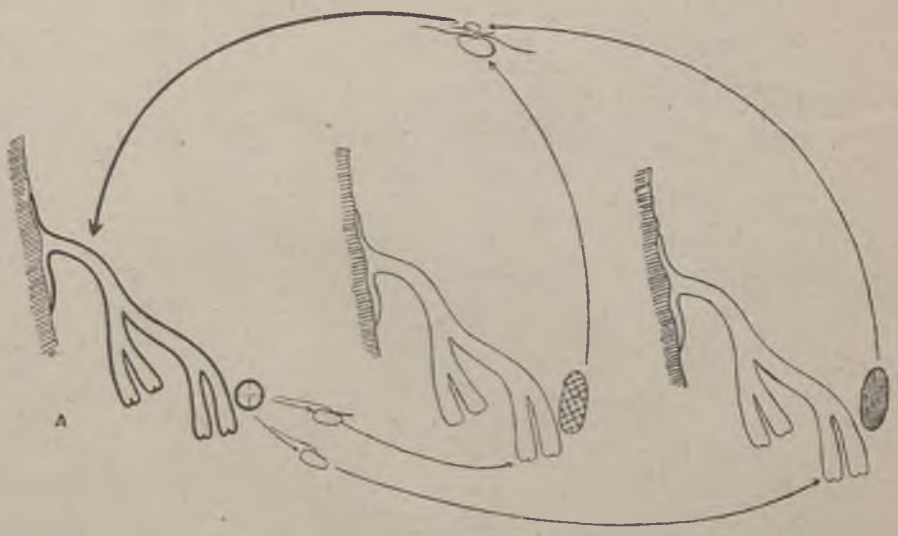


Rys. 17. *Dictyota dichotoma*, przekrój przez plechę: 1 — tetrasporangia, jeden opróżniony; 2 — grupa lęgni; 3 — grupa plemni; 4 — plemniki

U brunatnic przeciwnie przemiana pokoleń występuje już bardzo wyraźnie. Wyróżniamy tu cztery typy, które nas jednocześnie zapoznają z rozwojem przedstawicieli tej grupy roślin. Pierwszy typ reprezentuje brunatnica *Dictyota dichotoma* (rys. 17), która często występuje w morzach Europy. Ma ona kształt nitkowatej, widełkowato rozgałęzionej plechy wielkości kilku centymetrów. Na zewnętrznych częściach nitek tej plechy możemy znaleźć kuliste utwory, z których powstają cztery nieruchome zarodniki bez błon i rzęsek (rys. 17). Są one niewątpliwie odpowiednikami pływek bezpłciowych i noszą nazwę tetraspor. Tetrasporangia są to organy w których powstają tetraspory. Przy powstawaniu tetraspor zachodzi podział redukcyjny; są one

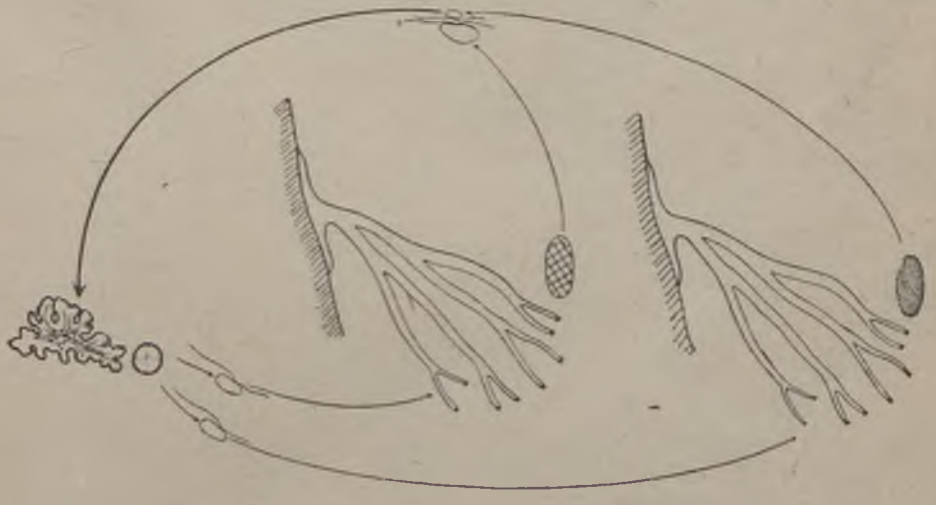


Rys. 18. Oogam a u *Dictyota dichotoma* (proces zapłodnienia)



Rys. 19. Schemat przemiany pokoleń u brunatnicy *Dictyota*

komórkami haploidalnymi. Po wydostaniu się do wody kiełkują w plechę, morfologicznie podobną do plechy, na której powstają tetrasporangia. Na wyrośniętej plesze gametofitowej tworzą się liczne, wielokomórkowe plemnie zebrane razem w rodzaj kupek. Z każdej komórki plemni powstaje plemnik kształtu gruszkowatego z jedną długą rzęską wystającą z boku. Na innych plechach tej brunatnicy (jest ona jednopiciowa) powstają lęgnie również zebrane grupami. Każda



1. Sporofit *(Aglaozonia)* z zarodnią: 2. gametofit żeński gametofit męski

Rys. 20. Schemat przemiany pokoleń u brunatnicy *Cutleria*

Rys. 21. Brunatnica — *Laminaria saccharina* — sporofit

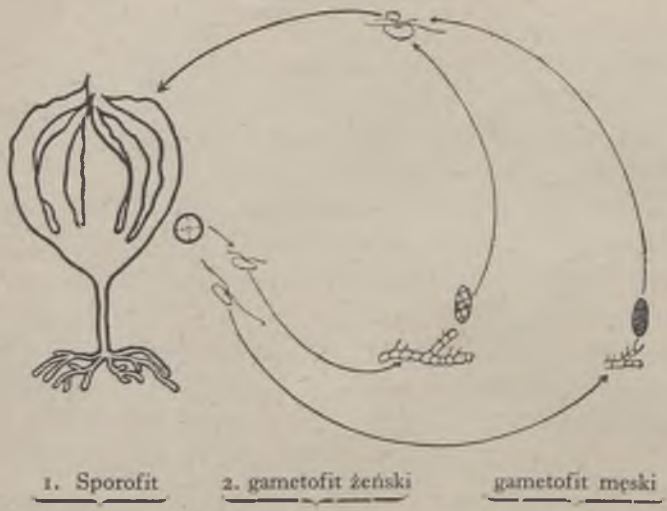
lęgnia ma jedną dużą komórkę jajową. Powstała z zapłodnienia zygota bez okresu spoczynkowego wyrasta w plechę sporofitową wytwarzającą tetraspory. U tej brunatnicy spotykamy się z wyraźną oogamią i regularną przemianą pokoleń, przy czym gametofit i sporofit mają budowę jednakową, a różnią się jedynie liczbą chromozomów i sposobem rozmnażania.

Drugi typ reprezentuje rodzaj *Cutleria* (rys. 20), drobna brunatnica o plesze tarczowatej i taśmowatej, jeden z gatunków, *C. multifida*, występuje w Morzu Śródziemnym. Gametofit ma kształt plechy wzniesionej, taśmowatej, widełkowato rozgałęziającej się, natomiast plecha sporofitowa przypomina kształtem swoim płaski listek. Toteż zanim poznano cykl rozwojowy tej brunatnicy, uważano sporofit za zupełnie odrębny gatunek i nazywano go *Aglaozonia*.

Trzeci typ reprezentuje listownica — *Laminaria* (rys. 21). Rozmnażanie tej brunatnicy zostało poznane dokładnie dopiero w ostatnich latach. Duża płaska plecha listownicy jest sporofitem. Na zewnętrznej części tej plechy powstają liczne zarodnie, które mają kształt worków osadzonych na buławkach. Między zarodniami znajdują się płone komórki — wstawki. Z zarodni powstają liczne dwurzęskowe pływki. Przy tworzeniu się pływek następuje podział redukcyjny. Z pływki powstaje gametofit bardzo drobny, widoczny pod mikroskopem. Gametofit męski (rys. 22) ma kształt rozgałęziających się nitek, na szczytach których tworzą się jednokomórkowe plemnie. Z każdej plemni powstaje jeden dwurzęskowy plemnik. Gametofit żeński (rys. 22) ma również kształt rozgałęziających się nitek, a każda komórka może być lęgnią. Niekiedy cały gametofit składa się tylko z jednej lęgni jednokomórkowej, przy czym w okresie zapłodnienia naga komórka jajowa wychodzi na szczyt lęgni. Z powstałej zygoty wyrasta sporofit, który stanowi duże plechy.

Rys. 22. Płciowe pokolenie listownicy *(Laminaria digitata)*: *A* — gametofit męski, *a* — opróżniona plemnia; *B*, *C*, *D* — żeńskie gametofity, *og* — lęgnia, *o* — komórka jajowa; *E* — młody sporofit siedzący na opróżnionej lęgni

Czwarty wreszcie typ reprezentuje pospolita u nas w Bałtyku brunatnica morszczyn *(Fucus vesiculosus)* (rys. 24). Brunatnica ta rozmnaża się tylko płciowo. Organy rozmnażania płciowego powstają na szczycie plech w specjal-

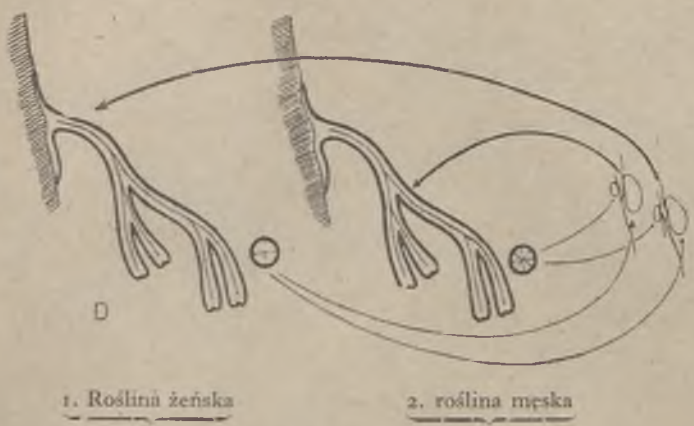


Rys. 23. Schemat przemiany pokoleń u brunatnicy *Laminaria*

Rys. 24. Morszczyn — *Fucus vesiculosus*

Rys. 25. Rozwój morszczynu *(Fucus vesiculosus)*: 1 — przekrój przez zagłębienie z narządami żeńskimi; *O* — lęgnie, *p* — wstawki (parafizy); 2 — dojrzała lęgnia wśród wstawek; 3 — jajo otoczone plemnikami; 4 — kiełkujący zarodek; 5 — przekrój przez zagłębienie z plemniami; 6 — dojrzałe plemnie; 7 — plemniki wychodzące z plemni

nych zagłębieniach (conceptaculum). Plemnie mają kształt owalny, są barwy pomarańczowej i gęsto wyrastają na rozgałęzionych, krótkich nitkach. Komórka macierzysta plemni rozpada się na 64 drobne plemniki podobne do plemników u zielenicy *Volvox*. U innych osobników w podobnych zagłębieniach powstają lęgnie. Są to utwory duże, kuliste, brązowawe. Taka komórka macierzysta lęgni rozpada się na 8 komórek jajowych, które są otoczone błoną komórki macierzystej. Błona ta pęka. Komórki jajowe przez pewien czas są otoczone własną cienką błonką i wypływają do morza. Tutaj błonka się rozrywa i wyswabadza się 8 nieruchomych, kulistych komórek jajowych. Również dojrzałe plemniki wypływają do morza i w morzu, na zewnątrz roślin macierzystych następuje zapłodnienie. Zygota otacza się grubą błoną, opada na dno morza, zaraz kiełkuje i wytwarza się nowy osobnik

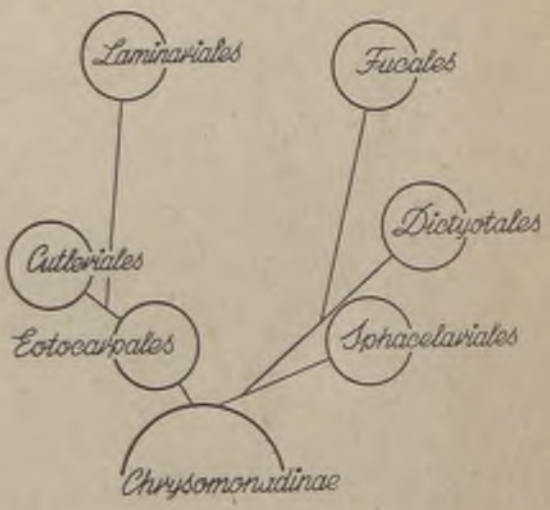


Rys. 26. Schemat przemiany pokoleń u brunatnic, *Fucaceae*. Sporofit zakreślony linią grubszą gametofit — linią cieńszą

Rys. 27. Schematyczny zarys przemiany pokoleń u brunatnic. Górny szereg — sporofity (pokolenie diploidalne), dolny szereg — gametofity ♀ (pok. haploidalne). Od strony lewej; 1. *Aglaozonia* (u góry) i *Cutleria* (u dołu); 2. *Dictyota* — oba pokolenia nie różnią się; 3. — *Laminaria* z mikroskopijnym pokoleniem płciowym; 4. — *Fucus* cała roślina diploidalna z wyjątkiem komórek płciowych

(rys. 25). Podział redukcyjny odbywa się przy powstawaniu komórek płciowych, a więc cała roślina jest sporofitem. Gdybyśmy u brunatnic typ *Dictyota* przyjęli

za pierwotny, to można by zaobserwować stopniową redukcję gametofitu, która u morszczynu osiąga punkt szczytowy. Jest to niejako analogia do tych zjawisk ewolucyjnych, które zobaczymy w rozwoju paprotników i roślin nasiennych.



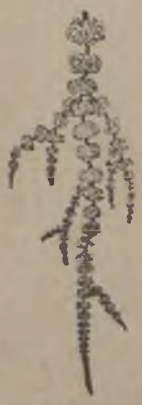
Rys. 28. Schemat rozwoju ewolucyjnego brunatnic według Kursanowa

7

KRASNOROSTY

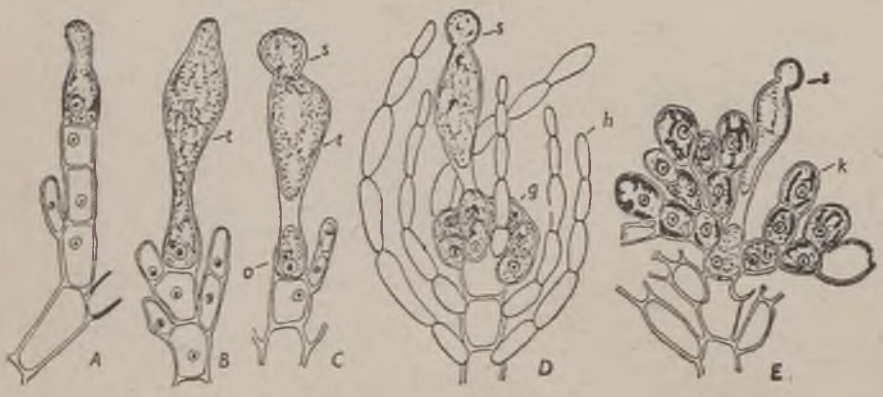
(RHODOPHYCEAE)

Wyróżniają się one przede wszystkim tym, że komórki rozmnażania wegetatywnego oraz komórki rozrodcze męskie są nieruchome. Szczególną również budowę ma lęgnia — zwana u krasnorostów karpogonem — wydłuża się ona w nitkowaty włostek (trichogyn). Plemnie skupiają się zwykle w większej ilości. Z każdej plemni powstaje jeden nieruchomy, nagi plemnik (spermatium). Spermacje zostają przenoszone biernie ruchem wody do włostka na karpogonie i przystają do niego. W miejscu zetknięcia się błona włostka rozpuszcza się i cały protoplast z jądrem spermacjum przenika do wnę-



Rys. 29. Krasnorost słodkowodny *Batrachospermum moniliforme*

Rys. 30. Plecha krasnorostu *Phyllophora Brodei*

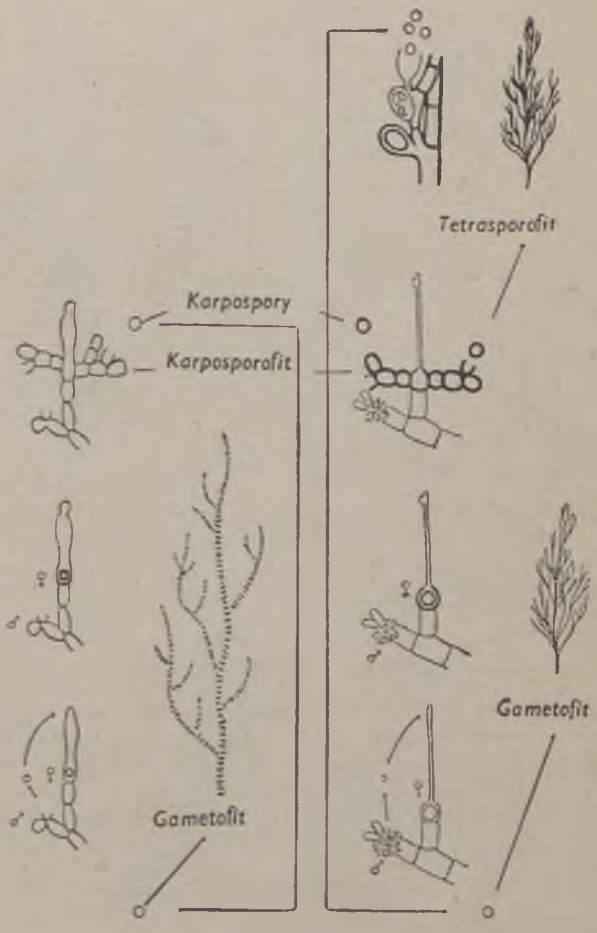


Rys. 31. Rozwój krasnorostu *Batrachospermum moniliforme* : *A* — młody karpogon; *B* — dojrzały t — włostek (trichogina); *C* — po zapłodnieniu przez spermacjum s; *D* — rozwój zarodnikotwórczych nitek — *g* i nitek okrywy *h*; *E* — dojrzałe karpospory *k*

trza, a następnie opuszcza się w dół, gdzie następuje zapłodnienie komórki jajowej. Dolna część karpogonu, zawierająca jądro, oddziela się błoną, a włostek odpada. Po zapłodnieniu zygota kiełkuje wewnątrz karpogonu i z niej wytwarzają się we wszystkie strony wyrostki kształtu nitek (rys. 31). Na końcu nitek powstają nowe zarodniki — karpospory, które wyrastają w nowe osobniki. Jednocześnie z wytwarzaniem się nici z karpogonu gałązki boczne glonu rosną i obrastają nitki zarodnikonośne. Tworzy się cystocarp (rys. 32). U niektórych krasnorostów, jak np. u występującej u nas w górskich wodach *Batrachospermum*, podział redukcyjny następuje przy pierwszym podziale zapłodnionej komórki jajowej. Cała roślina jest gametofitem, sporofit stanowi jedynie zygota. U tych krasnorostów

Rys. 32. A — Rozwój zapłodnionego karpogonu u *Dudresnaya*; *t* — trichogina; *s* — spermacje; *sf* — nici zarodnikotwórcze; a_1—a_6 — komórki pomocnicze; *B* — dojrzały kłębek z karposporami

występuje regularna przemiana pokoleń (rys. 33). U wielu gatunków, jak np. *Delesseria*, karpospory wyrastają nie w gametofit, lecz w roślinę podobną do niego budową — karposporofit, który jest pokoleniem bezpłciowym. Na roślinie tej wytwarzają się przez podwójny podział zarodniki nieruchome, tetraspory. Podział redukcyjny odbywa się przy wytwarzaniu się tetraspor. U tych więc krasnorostów mamy trzy generacje: gametofit, karposporofit i tetrasporofit, które zmieniają się kolejno (rys. 33).



Rys. 33. Schematyczny obraz przemiany pokoleń i faz u krasnorostów. Z lewej strony — typ haplobiontu *(Batrachospermum)*: faza diploidalna ogranicza się do zygoty. Z prawej strony— typ diplobiontu: karposporofit i tetrasporofit są diploidalne

8

RAMIENICE

(CHARACEAE)

Grupę zupełnie odosobnioną, o plesze najbardziej zróżnicowanej i wyraźnej oogamii tworzą ramienice (rys. 34). Plechy tych glonów są bardzo prawidłowo zbudowane i mają wybitnie zróżnicowane organy wegetatywne i organy rozmnażania płciowego. Cechą szczególną tej grupy glonów jest zupełny brak organów rozmnażania bezpłciowego. Lęgnie i plemnie tworzą się w miejscach ściśle określonych w węzłach i na listkokształtnych rozgałęzieniach (rys. 34 i 35). Plemnie są poma-

Rys. 34. Ramienice *(Characeae)* rodzaj Nitella z plechą wegetatywną=gametofit

Rys. 35. Ramienice *(Characeae)*. 1 — Ramienica *(Chara)*, komórki szczytowe plechy; 2 — łodyżka z lęgnią i plemnią; 3 i 4 — tworzenie się lęgni; 5 — tworzenie się plemni; 6 — jeden segment plemni z plemnikotwórczymi nitkami; 7 i 8 — macierzyste komórki plemników; 9 — plemniki; 10 — oospora; 11 — kiełkowanie

rańczowe i mają kształt kuli (rys. 35). W stanie dojrzałym zawierają one 8 płaskich, tarczowatych komórek leżących na zewnątrz. Z komórek tych do środka plemni wytwarza się wyrostek, do którego są przyczepione wielokomórkowe, poskręcane nici wypełniające wnętrze plemni. Z każdej komórki nitki powstaje jeden plemnik; jest on bardzo drobny, kilka razy skręcony w kształcie śruby, na jednym końcu zgrubiały, na drugim ma dwie cieniutkie rzęski (rys. 35). Obok plemni znajdują się lęgnie (rys. 35). Wnętrze lęgni wypełnia duża komórka jajowa, obficie wypełniona skrobią i tłuszczami. Komórka jajowa w dojrzalej lęgni jest otoczona 5 lub 10 komórkami śrubowato skręconymi. Końce każdej z tych komórek zgrupowane razem tworzą szyjkę. Kiedy plemnia dojrzewa, wyswobodzone plemniki przedostają się przez otwory między komórkami szyjki dojrzalej lęgni do komórki jajowej. Następuje zapłodnienie, a powstała zygota otacza się grubą błoną i opada na dno zbiornika, gdzie zimuje i kiełkuje dopiero wiosną. Przy kiełkowaniu zygoty jądro dzieli się dwukrotnie i podczas tych podziałów następuje redukcja chromosomów. Z powstałych jąder trzy giną, a czwarte zostaje jako jądro komórki, z której wyrośnie cała roślina. Plechy ramienic stanowią więc fazę haploidalną, są gametofitem.

9
GRZYBY
(FUNGI)

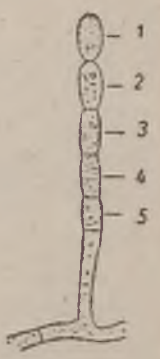
Rozpatrując grzyby, wkraczamy w zupełnie odrębne formy życia. Powstały one najprawdopodobniej z glonów, a w związku z niemożliwością przyswajania węgla i brakiem ciałek zieleni stały się pasożytami lub roztoczami. W odróżnieniu od glonów większość grzybów to rośliny lądowe. Sposób rozmnażania się grzybów (zwłaszcza grzybów wyższych) odbiega od tego typu, który obserwowaliśmy u glonów. Grzyby niższe, glonowce, bardzo przypominają glony swoją budową i sposobem rozmnażania. Badania nad rozmnażaniem, zwłaszcza płciowym, u grzybów trwają od niedawna, a dokładnie zbadana jest tylko pewna ilość gatunków grzybów. Na ogół badania te wykazują u niektórych grup grzybów tendencję do zaniku organów płciowych i wytwarzania organów wegetatywnych, przy pomocy których grzyby zimują i rozsiewają się. Organy te powstają w związku z apogamią polegającą na uwstecznieniu zjawisk płciowości, to jest w pewnych wypadkach zamienianiu się komórki jajowej w zygotę bez udziału plemnika. Niemniej jednak i u grzybów da się wyróżnić rozmnażanie bezpłciowe oraz płciowe, które omówimy osobno.

Rozmnażanie bezpłciowe. Grzyby glonowce, zwłaszcza grupa grzybów występujących w wodzie, wytwarzają (podobnie jak glony zielenice) urzęsione pływki bezpłciowe. Powstają one na szczytach wydętych nieco strzępek, w utworach, które odpowiadają zarodniom u glonów. Jak wiemy, strzępki glonowców są przeważnie pozbawione błon poprzecznych i tworzą rurki, w których błony od wewnątrz są wysłane cytoplazmą z licznymi jądrami. W okresie rozmnażania bezpłciowego na końcach strzępek w niewielkiej odległości od szczytu powstaje błona poprzeczna odcinająca komórkę szczytową (również wielojądrową) od pozostałej części grzyba. W ten sposób tworzy się zarodnia (rys. 36). Protoplast w zarodni rozpada się na liczne, drobne, kształtu jajowatego, nagie pływki o jednej, lub dwóch rzęskach. Pływki wydostają się z zarodni przez otwór na szczycie, poruszają się przez pewien czas w wodzie, następnie obłaniają się i niekiedy przechodzą w stan spoczynku. Pływki bezpłciowe wytwarzają jedynie grzyby-

Rys. 36. Grzyb-glonowiec *Saprolegnia* wyrzucający pływki

glonowce rozwijające się w wodzie. Innego rodzaju zarodniki widzimy u pleśniaków *(Mucorinae)*, które są grzybami lądowymi. U pleśniaków (rys. 37) z grzybni wyrastają pionowo długie strzępki nabrzmiewające na szczycie i oddzielające się błoną poprzeczną od reszty grzybni. W ten sposób powstaje zarodnia (rys. 37). Błona poprzeczna u niektórych gatunków pleśniaków jest płaska lub nieco wypukła. U najpospolitszego gatunku pleśniaka, *Mucor mucedo*, wskutek ciśnienia plazmy błona uwypukla się silnie do wewnątrz zarodni, tworząc rodzaj słupka, który nazywamy podpórką (columella). Protoplast w zarodni jest wielojądrowy. W okresie powstawania zarodników rozpada się na liczne fragmenty, wokół których tworzą się błony. W ten sposób wewnątrz zarodni powstają liczne zarodniki, które nie mają rzęsek. Tkwią one w śluzowatej substancji, pod naporem której błona zarodni pęka. Zarodniki wypadają i są przenoszone głównie przez prądy powietrzne. U niektórych gatunków pokrewnych pleśniakom, ilość zarodników jest znacznie mniejsza. W wypadku krańcowym powstaje tylko jeden zarodnik, którego błona zrasta się z błoną zarodni. Tego rodzaju zarodniki są swoiste dla większości grzybów i nazywamy je konidiami (rys. 38 i 39).

Rys. 37. 1 — Biała pleśń *(Mucor mucedo)*; 2 — Zarodnia z zarodnikami



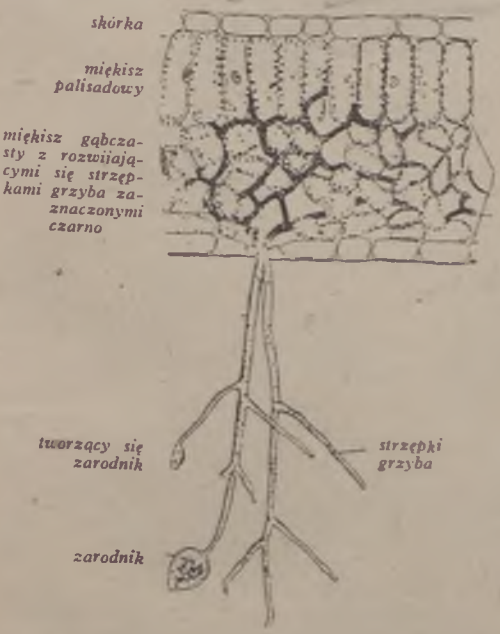
Rys. 38. Szczyt grzybni mączniaka z zarodnikami konidialnymi; liczbami oznaczona kolejność tworzenia się zarodników

Rys. 39. Układ konidii na końcach strzępek pleśni; na lewo — kropidlak *(Aspergillus)*, na prawo — pędzlak *(Penicillium)*

U glonowców z grupy wroślików *(Peronosporaceae)*, jak np. u zarazy ziemniaczanej *(Phytophtora infestans)*, spotykamy zjawisko przekształcania się zarodników konidialnych w pływki bezpłciowe. Zaraza ziemniaczana (rys. 40, 41 i 42), rozwija się w tkankach miękiszowych liścia ziemniaka i wytwarza specjalne strzępki, które wyrastają przez szparki liścia w formie niewielkich „gałązek" ustawiających się

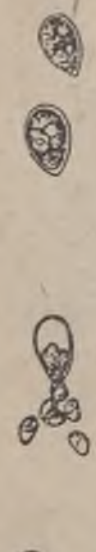
prostopadle do powierzchni liścia. Strzępki, słabo rozgałęzione na szczytach, nabrzmiewają i wytwarzają nieliczne komórki kształtu cytrynkowatego (rys. 41). Komórki te oddzielają się błoną poprzeczną od strzępki macierzystej. W ten sposób tworzą się zarodniki konidialne. Odrywają się one bardzo łatwo od grzybni i zostają przenoszone przez wiatr lub owady na liście ziemniaka. Jeśli zarodniki padną na liść suchy, kiełkują wytwarzając bezpośrednio grzybnię. Jeżeli zarodnik padnie na liść zwilżony wodą, to tworzą się z niego *) dwurzęskowe pływki, podobnie jak u grzybów wodnych (rys 42). Pod względem rozmnażania bezpłciowego grzyb ten łączy w sobie cechy grzybów wodnych i lądowych i jedynie warunki zewnętrzne decydują o tym, czy wytwarzają się pływki, czy też zarodnik kiełkuje wprost w grzybnię. W bardzo prosty sposób powstają zarodniki konidialne u innych grzybów, zwłaszcza

Rys. 40. Liść ziemniaka porażony grzybem — zarazą ziemniaczaną *(Phytophtora infestans)*



Rys. 41. Przekrój poprzeczny przez liść ziemniaka z rozwijającym się w nim i wytwarzającym zarodniki grzybem — zarazą ziemniaczaną; zaraza rozwija się głównie w dolnej części liścia w tkance miękiszowej gąbczastej, wyrastające więc ponad powierzchnię liścia strzępki z zarodnikami są zwrócone ku dołowi

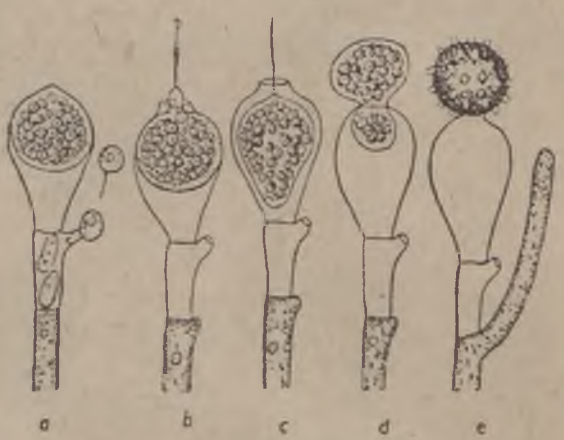
*) Z zarodnika konidialnego w liściu



Rys. 42. Zarodnik i tworzące się pływki zarazy ziemniaczanej

z klasy workowców, jak np. u mączniaków (rys. 38), kropidlaka (rys. 39) i innych. U grzybów tych zarodniki konidialne powstają z podziału komórek szczytowych strzępki. Strzępka ma wtedy wygląd nitki składającej się z uszeregowanych paciorków, przy czym najstarszy zarodnik znajduje się zawsze u góry strzępki, a im niżej, tym młodsze są zarodniki. Konidia są niewątpliwie homologami zarodni. Zarodniki konidialne nie kiełkują w wodzie, utraciły więc zdolność wytwarzania rzęsek.

Rozmnażanie płciowe. Glonowce *(Phycomycetes)*. Podobnie jak w rozmnażaniu bezpłciowym, tak i w rozmnażaniu płciowym żyjące w wodzie glonowce wykazują wiele podobieństwa do niektórych glonów. Na opadłych, zmokniętych liściach znajdziemy wiosną białą, luźną grzybnię *Monoblepharis*. Strzępki tego grzyba składają się z drobnych, rurkowatych, jednokomórkowych nitek (rys. 43). W okresie rozmnażania płciowego część strzępki poniżej szczytu odcina się błoną poprzeczną od reszty grzybni, nabrzmiewa, a plazma jej skupia się w środku w kulistą komórkę jajową. Powstaje lęgnia zawierająca jedną komórkę jajową jednojądrową. Część strzępki pod lęgnią odcina się również błoną poprzeczną i z tej komórki powstaje cieńsza plemnia, której treść rozpada się na kilka (4—7) jednojądrowych



Rys. 43 *Monoblepharis sphaerica*. Zakończenie strzępki grzyba z lęgnią (oogonium) na szczycie i z plemnią (antheridium) utworzoną z komórki niżej leżącej. W kolejnych stadiach widzimy wypełzanie plemników, proces zapłodnienia i wytworzenia zygoty

plemników z jedną rzęską. Plemniki wypływają przez otwór tuż pod lęgnią i poruszają się nie tylko przy pomocy rzęsek, ale wykonują ruchy ameboidalne

na błonie lęgni, dzięki czemu przypełzają do znajdującej się na szczycie komórki jajowej i zapładniają ją; jądra jednak zlewają się dopiero po pewnym czasie.

Rezultatem zapłodnienia jest zygota otoczona grubą, podwójną błoną o charakterystycznym urzeźbieniu. Zygota tkwi u wylotu lęgni, przechodzi okres spoczynku, wiosną zaś albo wytwarza kilka pływek jednorzęskowych, albo też wyrasta bezpośrednio w strzępkę grzyba. Grzyb ten jest z tego względu bardzo ciekawy, że stanowi jedyny wypadek wytwarzania plemników ruchomych wśród grzybów.

Nieco inaczej przedstawia się proces płciowy u grzybów z grupy roztoczków, np. u *Saprolegnia*. Na tej samej grzybni wytwarzają się lęgnie i plemnie, oddzielone od pozostałych części grzybni błonami poprzecznymi. Lęgnie mają kształt kul i zawierają wiele jąder, które jednak w znacznej ilości giną. Wokół pozostałych jąder plazma się zgęszcza i tworzy kilka komórek jajowych. Plemnia wyrasta z rozgałęzienia tej samej strzępki i obrasta wokół lęgnię. W plemni nie wytwarzają się pojedyncze plemniki, ale cała jej zawartość przepływa do lęgni. Jądra plemni i lęgni przez pewien czas leżą obok siebie, a dopiero w dojrzewających zygotach zlewają się ze sobą. Wokół zygot wytwarzają się błony. Należy zaznaczyć, że obserwowano u *Saprolegnia* wytwarzanie się zygot bez udziału plemni.

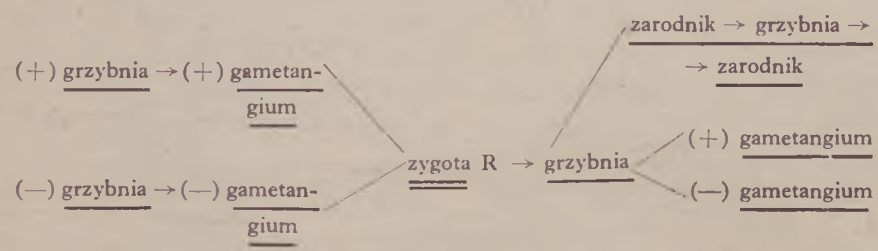
Rys. 44. Tworzenie się zygot przez kopulację gamet u białej pleśni *(Mucor mucedo)*

U pleśniaków, np. u *Mucor mucedo* (rys. 44), szczyty dwóch strzępek zbliżają się ku sobie, stykają, nabrzmiewają i od całej grzybni oddzielają się błonami poprzecznymi. Tworzą się wielojądrowe, jednakowe z wyglądu, komórki rozrodcze — gametangia. Treść obu komórek łączy się ze sobą i tworzy zygotę, na zewnątrz której powstaje gruba, czarna błona z charakterystycznymi wyrostkami (rys. 44).

Jądra zygot przez pewien czas leżą obok siebie parami, następnie łączą się ze sobą tworząc jądra diploidalne. Zygoty przechodzą pewien okres spoczynkowy, po którym następuje kiełkowanie. Przy kiełkowaniu zachodzi proces redukcji chromozomów. Na początku XX wieku wykryto, że niektóre gatunki pleśniaków są rozdzielnopłciowe, to znaczy, że komórki rozrodcze zlewają się tylko wtedy, gdy pochodzą z dwóch różnych grzybni.

U pleśniaków cała grzybnia wegetatywna wraz z zarodnią i zarodnikami jest w fazie haploidalnej (gametofit). Faza diploidalna trwa jedynie od czasu zlania się jąder aż do kiełkowania zygoty.

Rozwój więc pleśniaków rozdzielnopłciowych, różnoplechowych np. u grzyba *Phycomyces nitens* możemy ująć w następujący wzór:

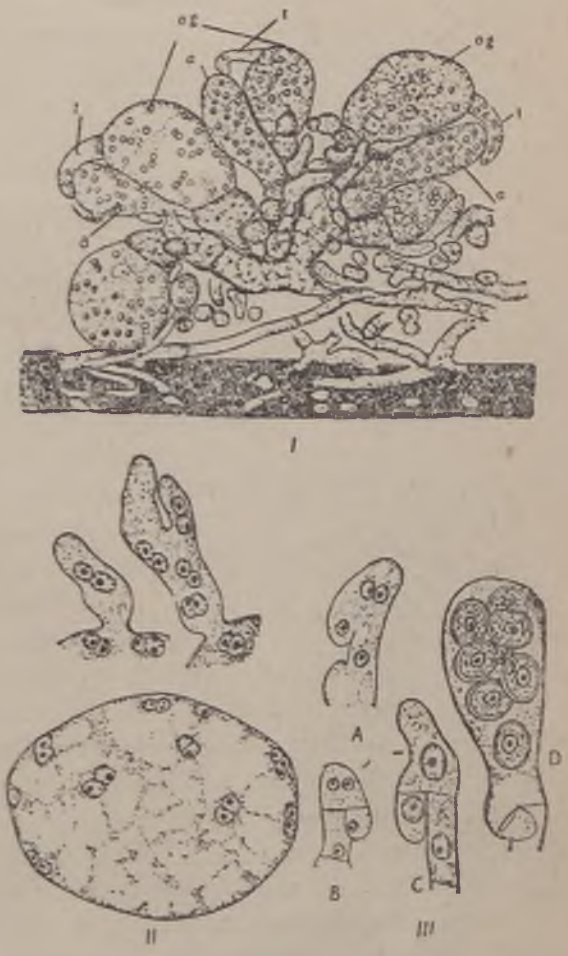


(Uwaga: Faza haploidalna podkreślona jedną kreską, faza diploidalna — dwiema kreskami; R oznacza podział redukcyjny).

Grzyby wyższe. Workowce *(Ascomycetes)*. Zjawiska płciowe u grzybów wyższych są na ogół bardzo trudne do dostrzeżenia i tak zamaskowane, że przez długi czas nawet toczyła się dyskusja, czy grzyby te mają zdolność rozmnażania płciowego, czy też zdolność tę utraciły. Dopiero badania w XX wieku wykryły zjawiska płciowe u niektórych grzybów z tej grupy. Przeważnie mają one jednak tu zupełnie odrębny charakter.

U wielu grzybów wyższych nie wytwarzają się wcale organy rozmnażania płciowego, lecz w procesie tym biorą udział głównie jądra, które przez pewien czas leżą parami obok siebie w formie tzw. jąder sprzężonych. W tym stadium podlegają podziałom parzystym i zlewają się ze sobą. Istnieje różnica w czasie między zlaniem się plazmy (plazmogamia) i jąder (kariogamia). Zlewanie jąder odbywa się stale przed wytworzeniem się zarodników workowych lub podstawkowych. Cechą charakterystyczną, wspólną dla wszystkich workowców jest wytwarzanie zarodników workowych wewnątrz worków (ascus). Powstawanie tych worków jest stosunkowo najlepiej poznane u drobnego grzyba, często występującego na pogorzeliskach leśnych, *Pyronema*. Grzyb ten tworzy czerwone, soczewkowate owocniki wielkości kilku milimetrów. W białej, nitkowatej grzybni wegetatywnej na końcach strzępek wytwarzają się wielojądrowe plemnie i lęgnie (rys. 45). Lęgnie są rozdęte, niesymetryczne, a ze względu na to, że z nich powstaną worki, nazwano je również komórkami workotwórczymi (ascogon). Plemnie są cieńsze, walcowate i leżą zawsze obok lęgni. Na szczycie lęgni wyrasta charakterystyczny, wydłużony, zgięty wyrostek, który, podobnie jak u krasnorostów, nazywamy włostkiem (trichogyn). Włostek zawiera protoplast wielojądrowy i styka się bezpośrednio z plemnią. Jądra włostka ulegają degeneracji, błony oddzielające komórkę workotwórczą od włostka rozpuszczają się i przez włostek jądra z plemni przelewają do komórki workotwórczej. Jądra lęgni i plemni nie łączą

się ze sobą, lecz pozostają ustawione obok siebie jako jądra sprzężone (rys. 45). Z komórki workotwórczej wyrastają liczne rozgałęziające się strzępki workowe; do strzępek tych przenikają sprzężone jądra i tam ulegają równoczesnemu podziałowi. Tworzy się pewna ilość par jąder sprzężonych. Między jądrami sprzężonymi powstają błony. W ten sposób w strzępce workowej tworzy się pewna ilość komórek, z których każda zawiera po jednej parze jąder sprzężonych. Na wierzchołku komórka szczytowa strzępki workowej nabrzmiewa, a z boku jej wyrasta charakterystyczny haczyk (rys. 45). Para jąder sprzężonych dzieli się w komórce, po czym dwa jądra sprzężone pozostają na szczycie komórki, jedno przenika do haczyka, a drugie — do dolnej części komórki. Tuż nad haczykiem powstaje błona poprzeczna w kształcie rozwartego kąta zwróconego ku górze. W ten sposób na szczycie strzępki workowej powstaje utwór trójkomórkowy, w którym komórka szczytowa zawiera dwa jądra sprzężone, a dwie pozostałe — po jednym jądrze różnopłciowym. Jądra sprzężone komórki szczytowej zlewają się i tworzy się zygota z jądrem diploidalnym. Jądro to podlega potrójnemu podziałowi (pierwszy podział redukcyjny). Każde z powstałych 8 jąder wraz z pewną ilością cytoplazmy otacza się błoną. Tak powstaje worek, wewnątrz którego znajduje się 8 zarodników workowych (rys. 45). Komórka haczykowata i komórka dolna zlewają się ze sobą i z nich powstaje nowy worek. W ten sposób w grzybie wytwarza się warstwa worków wzniesionych do góry. Między workami powstają z grzybni płone nitki —



Rys. 45. *Pyronema confluens*. I — końce strzępki tworzą lęgnie (*og*) z włostkiem (*t*) (ascogon i trichogyna) a obok nich plemnie (*a*); II — układanie się jąder męskich i żeńskich parami i ich wędrówka do nitek workowych; III — 4 kolejne stadia rozwoju worka (*ascus*) z zarodnikami

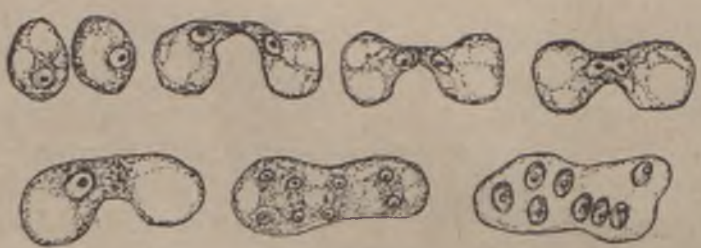
wstawki. Worki i wstawki tworzą hymenium, warstwę wytwarzającą zarodniki. Warstwa zarodnikotwórcza z zewnątrz zostaje otoczona strzępkami grzybni; tworzy się owocnik. U smardzów owocnik ten składa się z trzonka i jajowatego kapelusza przylegającego do trzonka (rys. 46), a warstwa zarodnikotwórcza znajduje się na zewnątrz kapelusza (rys. 47). Rozmieszczenie hymenium może być i wewnętrzne, jak np. u trufli.

Rys. 46. Owocnik smardza *(Morchella esculenta)*

Rys. 47. Fragment hymenium smardza z. workami *(ascus)* i wstawkami *(paraphysae)*

W tworzeniu się zarodników workowych zostaje użyta tylko część cytoplazmy, pozostała część znajduje się pomiędzy zarodnikami. Cytoplazma ta pęcznieje, na szczycie worków wytwarzają się otwory, przez które zarodniki zostają wyrzucone i przenoszone przeważnie prądami powietrznymi. Z zarodników tych powstaje grzybnia z jądrami haploidalnymi. Cała grzybnia aż do wytworzenia się jąder sprzężonych jest w fazie haploidalnej.

Do workowców zaliczamy również i drożdże *(Saccharomycetes)*. Są to organizmy jednokomórkowe, u których obserwowano wytwarzanie się worków. Powstają one w sposób dość prymitywny: dwie jednakowe komórki tworzą dziobkowate wyrostki, którymi się łączą, a protoplasty ich zlewają się (rys. 48). Powstaje zygota, w kształcie mostka, do którego wchodzą oba jądra. Jądra zlewają się, tworzy się worek, w którym jądra dzieląc się wytwarzają 8 zarodników workowych. Trudno jest jednak rozstrzygnąć, czy tego rodzaju powstawanie worków jest pierwotne, czy też stanowi rezultat redukcji, a więc ma pochodzenie wtórne. W pewnych wypadkach worki powstają w drodze apogamii, tj. bez uprzedniego łączenia się komórek.



Rys. 48. Proces płciowy i wytwarzanie worka *(ascus)* oraz zarodników workowych u *Schizosaccharomyces octosporus*

Rys. 49. Proces płciowy i wytwarzanie worka *(ascus)* i zarodników workowych u *Eremascus fertilis*

Drożdżaki, stanowiące bardzo ważną grupę grzybów, z właściwości których zaczęto korzystać daleko wcześniej, niż dokładnie je poznano, są organizmami ciekawymi nie tylko z punktu widzenia rozwoju płciowego, ale przede wszystkim wegetatywnego. Pączkowanie drożdżaków jest rodzajem rozmnażania się organizmów rzadko spotykanym w przyrodzie. Bezpośredni wpływ warunków zewnętrznych na sposób, szybkość i charakter rozmnażania stawia te grzyby nie tylko na pierwszym miejscu wśród roślin ważnych z punktu widzenia gospodarczego, ale też i naukowo-doświadczalnego. Niestety, w tym kierunku mamy bardzo niewielu specjalizujących się mykologów.

Rozwój grzyba workowego *Pyronema* możemy ująć w następujący schemat:

Zarodnik workowy → grzybnia ↗ lęgnia (komór. workotwór.) ↘ plemnia; ↘ zapłodniona lęgnia (jądra sprzężone) ↗ → → strzępka workowa → zygota (zlanie się jąder) → R (w worku) → 8 zarodników workowych

Rozwój drożdży np. u gatunku *Schizosaccharomyces octosporus* możemy ująć w następujący schemat:

Zarod. work. → komór. wegetat. ↗ gameta ↘ gameta ↘ zygota (worek) → R (w worku) → 8 zarod. workowych

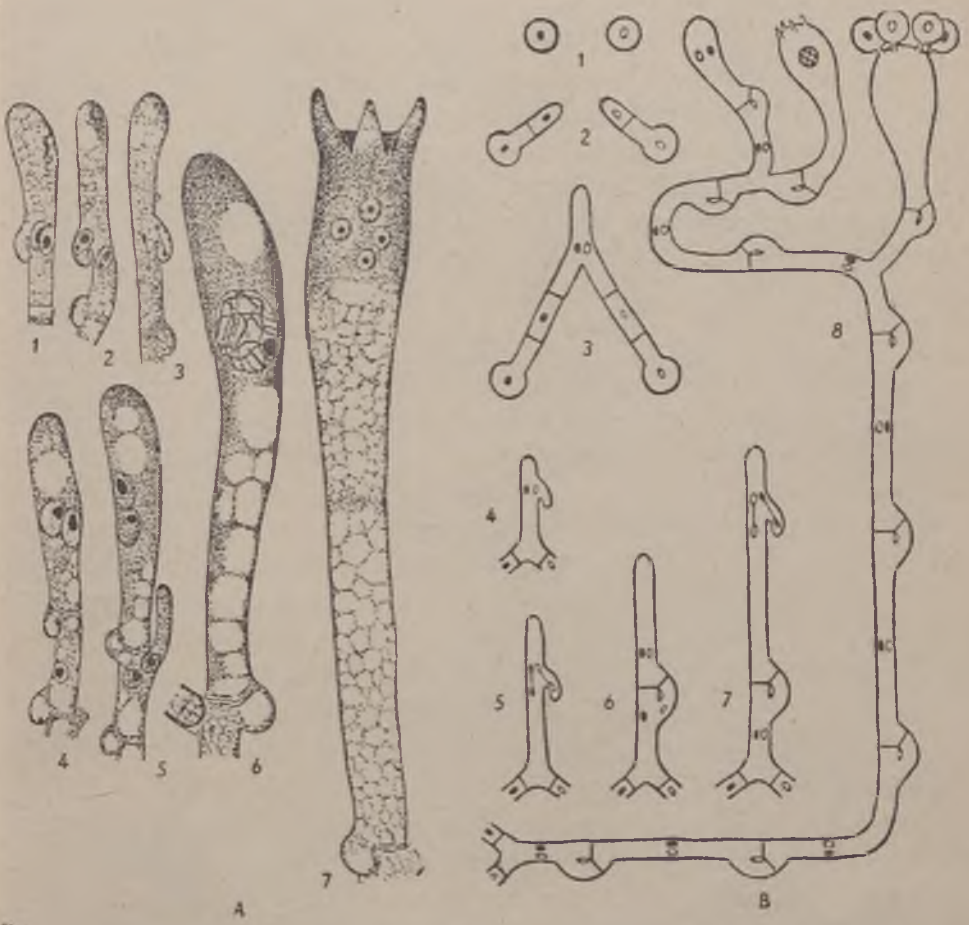
Podstawczaki *(Basidiomycetes)*. Grupa grzybów zwana obłoczniakami *(Hymenomycetes)* obejmuje znaczną ilość grzybów kapeluszowych. Wiele spośród tych grzybów, jak np. pieczarka, rydz lub borowik, tworzą owocnik składający się z tzw. kapelusza i trzonka. Na zewnętrznej lub dolnej części kapelusza tworzy się warstwa zarodnikująca. U pieczarki wyściela ona blaszki promienisto ustawione (rys. 51), u borowika mieści się w rurkach cienkich, przebiegających prosto-

Rys. 50. Warstwa podstawek z zarodnikami na blaszce kapelusza serowiatki *(Russula rubra)*; *b* — podstawki (basidia), *p* — wstawki (parafizy). *s* — sterigmy, *sp* — zarodniki

padle do kapelusza. W warstwie zarodnikującej znajdują się stosunkowo duże, rozszerzone utwory — podstawki (basidia). Na szczycie podstawek tworzą się cztery jednojądrowe zarodniki podstawkowe (rys. 50 i 52). Z badań Kniepa wynika, że zarodniki te są różnopłciowe. Odpadają one od podstawki, kiełkują w humusie leśnym, tworząc grzybnię wegetatywną składającą się z licznych komórek jednojądrowych. Teoretycznie biorąc grzybnia ta ma wzrost nieograniczony i nie wytwarza organów rozmnażania. Dopiero gdy dwie grzybnie wyrosłe z zarodników różnych płci spotkają się ze sobą, wtedy dwie komórki każdej grzybni łączą się ze sobą. Powstaje strzępka wtórna, której komórki mają po dwa jądra sprzężone. Komórki te ulegają podziałowi, a jednocześnie dzielą się i jądra sprzężone. Podczas podziału jąder wytwarza się na komórce haczykowaty wyrostek — sprzączka (rys. 53). Jedna para jąder sprzężonych pozostaje w górnej części komórki, a z dwóch pozostałych jedno wędruje do sprzączki, drugie znajduje się w dolnej części komórki. Powyżej sprzączki wytwarza się błona, która odcina komórkę szczytową. W ten sposób powstają trzy komórki: szczytowa, o parze jąder sprzę-

Rys. 51. Ciało owocnika pieczarki *(Psalliota campestris)*

Rys. 52. Warstwa zarodnikująca u pieczarki



Rys. 53. Kolejne stadia rozwoju podstawek z zarodnikami u grzybów-podstawczaków *(Basidiomycetes)*. *A* — sposób powstawania podstawki i podziału jąder; *B* — schemat sprzęgania się różnopłciowych jąder podczas wytwarzania podstawek

żonych, i dwie dolne, zawierające po jednym jądrze różnopłciowym. U dołu sprzączki tworzy się otwór, przez który jądro przesuwa się do komórki niżej leżącej. Obecnie i ona zawiera dwa jądra sprzężone. Szczytowa komórka wyrasta, dzieli się dalej w podobny sposób, wytwarzając sprzączkę. Tak powstaje grzybnia składająca się z licznych komórek dwujądrowych mających sprzączki. Stadium to odpowiada strzępkom workowym u workowców. W tym stadium grzyb może rosnąć przez wiele lat. Jeśli znajdzie się w warunkach odpowiednich, wytwarza owocnik zbudowany z gęsto splecionych ze sobą strzępek (rys. 51). Na owocnikach, w pewnym określonym miejscu, szczytowe komórki nabrzmiewają i tworzą rozszerzone podstawki, które już dalej nie rosną ani się

nie dzielą (rys. 50 i 52). Dopiero w tych podstawkach jądra sprzężone zlewają się ze sobą. Jądro diploidalne dzieli się dwukrotnie, przy czym pierwszy podział jest redukcyjny. Na szczycie podstawki tworzą się cztery wyrostki — sterigmy w kształcie krótkich i cienkich nitek na wierzchołku kulisto nabrzmiałych. Do każdego z tych wyrostków wnika po jednym jądrze. Następnie wyrostki te oddzielają się błonami od podstawki. Na szczycie podstawki powstają cztery ułożone obok siebie zarodniki podstawkowe zawierające po jednym jądrze haploidalnym. Zarodniki podstawkowe, chociaż podobne do siebie, różnią się. Powstałe z nich strzępki zlewają się tylko wtedy, gdy pochodzą od różnych zarodników. U niektórych gatunków na jednej podstawce są dwie grupy różnopłciowych zarodników, u innych — cztery grupy zarodników różnej płci.

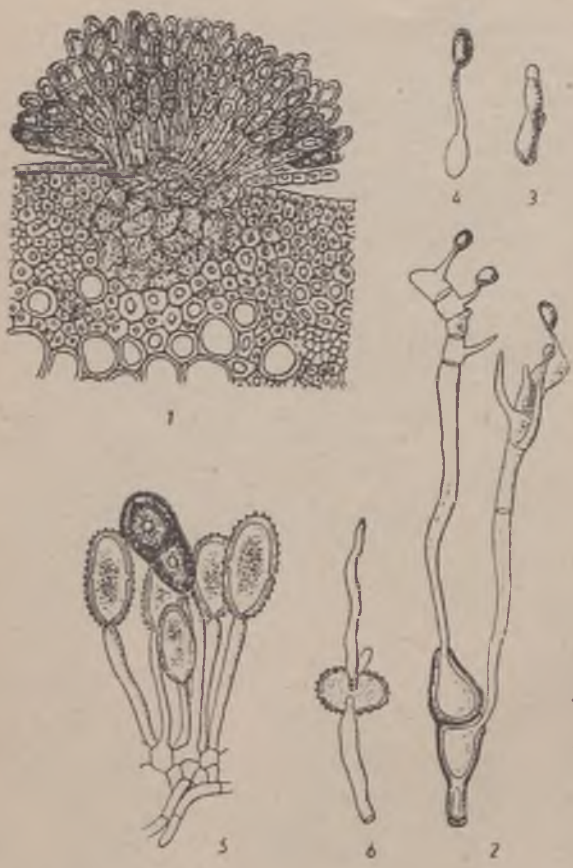
Z porównania z workowcami widzimy, że podstawki odpowiadają homologicznie workom. Różnica polega na tym, że u podstawczaków zarodniki powstają zewnętrznie, u workowców natomiast wewnętrznie. Najprawdopodobniej podstawczaki są grupą rozwojową równoległą do workowców. Podstawczaki wykazują przemianę pokoleń. Podstawka po zlaniu się jąder jest zygotą diploidalną, stanowi więc fazę diploidalną. Zarodniki podstawkowe i rozwijające się z nich strzępki o jądrach haploidalnych są w fazie haploidalnej, która trwa aż do połączenia się dwóch komórek dwóch odrębnych grzybni. Od tego momentu rozpoczyna się faza diploidalna o jądrach sprzężonych. Ponadto podstawczaki nie wytwarzają zupełnie typowych komórek płciowych: lęgni i plemni, prawdopodobnie uległy one redukcji.

Do podstawczaków zaliczamy także rdze *(Uredinae)*, które są pasożytami. Wytwarzają one również zarodniki podstawkowe. Owocnika zaś na ogół nie wytwarzają. Podstawki ich są podzielone błonami poprzecznymi na kilka komórek. Na źdźbłach zbóż np. spotykamy rdzę zbożową *(Puccinia graminis)* (rys. 54). Jej zarodniki podstawkowe kiełkują z początku na liściach berberysu. Nitki grzybni rozgałęziają się w tkance liścia i tworzą pod górną skórką zagłębienia wypełnione strzępkami grzybni — tzw. spermogonia. Po rozerwaniu skórki wydzielają one jednojądrowe zarodniki, zwane spermacjami, odgrywające rolę komórek płciowych. Na dolnej połowie liścia rozwijają się większe, pomarańczowe, kubkowate w przekroju plamy — ogniki (aecidia), wypełnione szeregami dwujądrowych zarodników. Zarodniki te powstają w ten sposób, że przy kopulacji końców dwóch strzępków, odgrywających rolę gamet, rozpuszczają się tylko błony komórkowe górnej części komórek, jądra zaś ich leżą obok siebie jako jądra sprzężone. Powstała z tych komórek grzybnia wytwarza aecidiospory (rys. 55). Z berberysu zarodniki ognikowe zostają przeniesione na źdźbła zbóż. Aecidiospory kiełkują i wytwarzają rozgałęziającą się w tkankach traw grzybnię, która wytwarza w lecie rdzawe plamy z jednokomórkowymi, lecz dwujądrowymi zarodnikami

Rys. 54. Schemat rozwojowy rdzy zbożowej *(Puccinia graminis)*. 1 — zarodniki zimujące dwujądrowe, teleutospory; 2 — w teleutosporach przed kiełkowaniem następuje łączenie się jąder; 3 — podziały kiełkowania są redukcyjne; tworzenie się podstawek i zarodników podstawkowych; 4 — z zarodników podstawkowych tworzy się grzybnia o komórkach jednojądrowych, która wytwarza (5) pyknidia i pyknospory; 6—w jednojądrowych, haploidalnych, różnoimiennych grzybniach komórki zbliżone kopulują (proces płciowy, ale jądra ich nie łączą się, powstałe utwory dają początek komórkom i grzybni tworzącej ogniki (aecidia) (7) i w nich aecidiospory dwujądrowe. Te zarażają trawy tworząc (8) grzybnię o komórkach dwujądrowych, która znów zdolna jest wytwarzać zarodniki letnie; 9 i 10 — uredospory. Na dojrzewających trawach tworzą się wreszcie dwukomórkowe i dwujądrowe (11) zarodniki przetrwalnikowe (teleutospory)

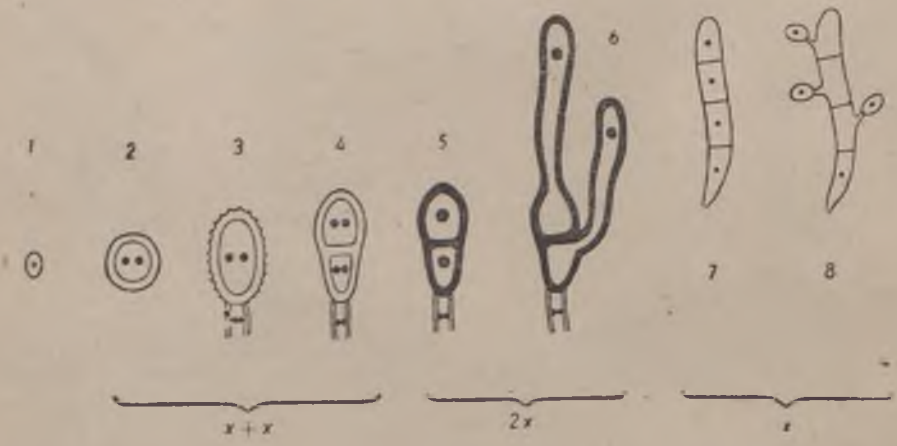
Rys 55. Wytwarzanie się zarodników *(aecidiospory)* na dolnej powierzchni liścia berberysu jako stadium w rozwoju rdzy *(Puccinia graminis)*

letnimi — uredosporami. Te zaś przenoszone przez wiatr, łatwo zarażają inne osobniki zbóż. Pod koniec lata na źdźbłach zbóż widzimy prawie czarne plamy z zarodnikami zimowymi przetrwalnikowymi (teleutospory) dwukomórkowymi



(rys. 56). W pewnym momencie w zarodnikach zimowych jądra sprzężone zlewają się ze sobą i wtedy teleutospory przybierają charakter jednojądrowych diploidalnych zygot (rys. 57). Wiosną z każdej komórki zarodnika wyrasta nitkowaty strzępek, który dzieli się na szczycie błonami poprzecznymi na cztery komórki. Z każdej komórki wytwarza się zarodnik podstawkowy (basidiospora), który może

Rys. 56. Rdza pszenicy *(Puccinia graminis)*. 1 — zarodniki zimowe (teleutospory); 2 — ich kiełkowanie; 3 i 4 — kiełkujące basidiospory; 5 — zarodniki letnie (uredospory) i 6 — ich kiełkowanie



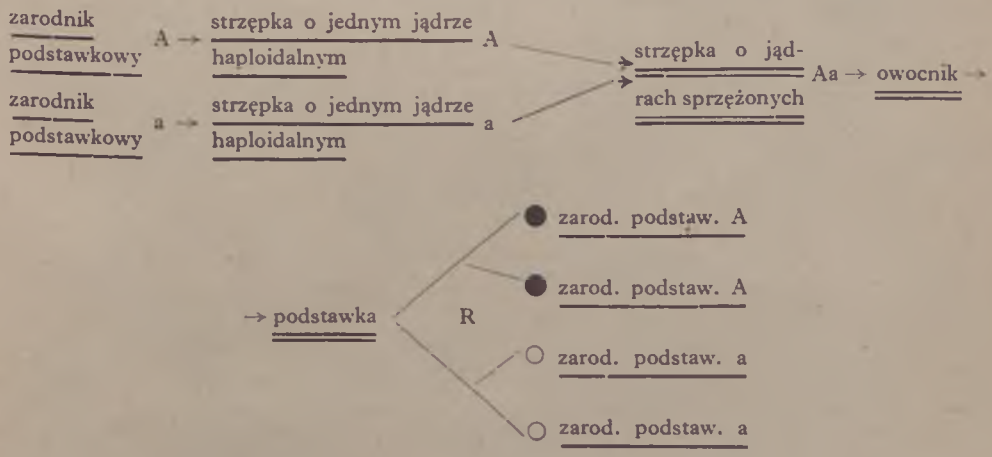
Rys. 57. Schematyczne przedstawienie kolejności rozwoju zarodników rdzy — *Puccinia graminis*: 1 — basidiospora; 2 — aecidiospora; 3, 4, 5, 6 — uredo - i teleutospory, 7 i 8 — rozwój podstawek i basidiospor

kiełkować na liściach berberysu. Rozwój tych zarodników odbywa się przez podział redukcyjny; zarodniki te są zatem haploidalne.

Rys. 58. Formy podstawek. 1 — *Coprinus*; 2 — *Tulostoma*; 3 — *Tremella* i 4 — *Endophyllum*

W cyklu rozwojowym rdzy widzimy dość wyraźną rytmiczną przemianę wraz ze zmianą żywiciela i wytwarzaniem 5 rodzajów zarodników. Inne gatunki rdzy mają rozwój bardziej uproszczony. W systematyce grzybów dużą rolę odgrywają cechy charakterystyczne podstawek (rys. 58) różnie u różnych podstawczaków wykształconych.

Rozwój więc podstawczaków różnopłciowych z grupy obłoczniaków możemy ująć w następujący schemat:

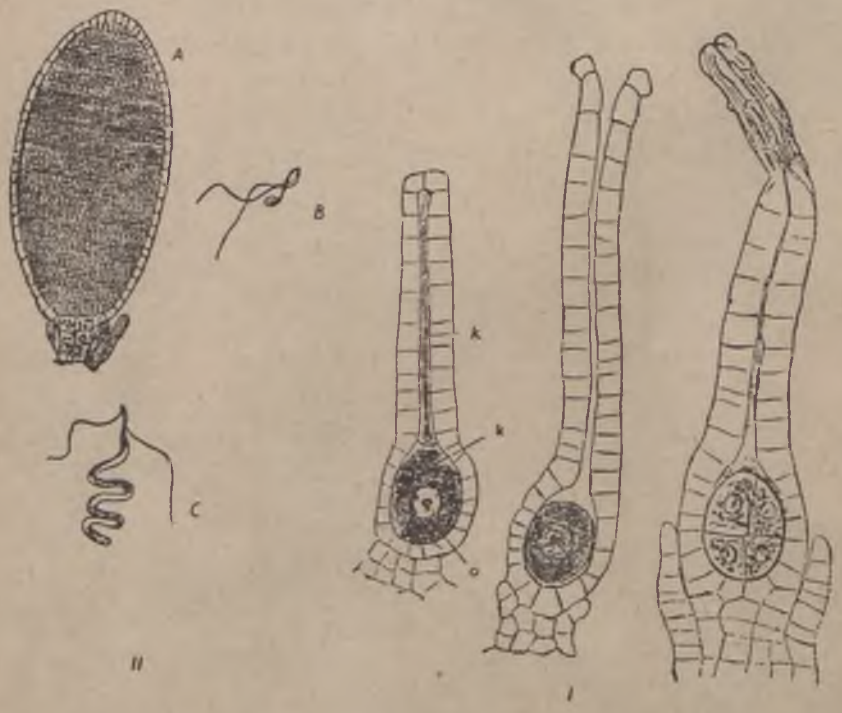


10

MSZAKI

(BRYOPHYTA)

W przeciwieństwie do glonów i grzybów, odznaczających się różnorodnością form i typów rozmnażania, wśród mszaków pod tym względem panuje jednostajność. Nie ulega wątpliwości, że mszaki powstały z glonów o typie rozmnażania oogamicznym, w którym komórki rozrodcze wyróżnicowują się na komórkę jajową znajdującą się w rodni oraz na komórki plemnikowe powstające w plemni. Oprócz tego u mszaków wytwarzają się komórki rozmnażania bezpłciowego — zarodniki, odpowiadające pływkom bezpłciowym u niektórych glonów. Plemnie (antheridia) (rys. 59) mszaków odpowiadają w zupełności plemniom u plechowców, zwłaszcza tych, których plemnie składają się z licznych komórek. U glonów jednak wszystkie te komórki wytwarzały plemniki, u mszaków natomiast zewnętrzne warstwy komórek plemni stały się bezpłodne i z nich powstała ściana.



Rys. 59. Rodnie i plemnie u wątrobowca *Marchantia polymorpha*. I — rozwój rodni; *o* — jaja *k* i *k* — komórki kanałowe szyjkowe, II *A* — plemnia; *B* i *C* — plemniki

Rys. 60. *A* — koniec otwartej plemni u *Polytrichum*, *B* — otwarta szyjka rodni mchu *Mnium*

Zjawisko to niewątpliwie zostało wywołane życiem lądowym mchów. Komórki ścianki plemni zawierają często chromoplasty, które nadają zabarwienie całym workowatym plemniom. Z wewnętrznych komórek plemni wytwarzają się plemniki. Z chwilą gdy na plemnię dojrzałą padnie woda, wtedy jedna lub więcej komórek znajdujących się na szczycie i zawierających śluz pęka. Plemnia otwiera się (rys. 60), a z każdej komórki płodnej wypływa jeden plemnik. Plemnik jest bardzo drobny, ma formę kilkakrotnie skręconej spiralnie nitki opatrzonej na szczycie dwiema rzęskami stosunkowo długimi (rys. 59). Plemnik jest komórką nagą i składa się głównie z substancji jądrowej. U mszaków po raz pierwszy spotykamy się z rodniami (archegonia). Ze względu na rodzaj czynności oraz posiadanie komórki jajowej rodnie odpowiadają lęgni u glonów, różnią się natomiast od lęgni rozwojem i ostateczną swą budową. Wyrosła rodnia ma kształt butelki, która jest szersza u dołu, w miejscu, w którym znajduje się komórka jajowa. Powyżej rodnia ma szyjkę, wewnątrz której znajdują się komórki kanałowe. Ścianka szyjki składa się z jednej warstwy komórek. W dojrzałej rodni nad komórką jajową znajduje się tzw. komórka kanałowa brzuszna, powstała z podziału komórki macierzystej. Znaczenie jej jest nam nieznane; jest to, być może, bezpłodna komórka gametangium. Rodnie bowiem wyprowadzamy również z wielokomórkowej lęgni przypuszczając, że płodność zachowała jedynie komórka jajowa, a pozostałe komórki stały się bezpłodne. W dojrzałej rodni (rys. 59 i 60) komórki kanałowe szyjki i komórka kanałowa brzuszna śluzowacieją, błony szczytowych ściennych komórek szyjkowych zawierających śluz silnie pęcznieją, dzięki czemu komórki szczytowe szyjki rodni rozchylają się, tworząc otwór wiodący do wnętrza rodni, do nieobłonionej komórki jajowej. Badania wykryły, że plemniki zostają przyciągane u wątrobowców przez substancje białkowe (proteinowe), a u mchów liściastych przez roztwór cukru trzcinowego. Zapłodnienie u mszaków może nastąpić jedynie w wodnym środowisku. Proces ten zachodzi zwykle po deszczu, kiedy rodnie i plemnie są zanurzone w wodzie, przeto plemnik może przepłynąć do rodni, przeniknąć przez jej szyjkę i zlać się z komórką jajową. U mchów liściastych rodnie i plemnie znajdują się na szczytach ulistnionych gałązek. U płonnika nawet szczyt gałązki zawierającej plemnie, a w nich plemniki, ma listki barwne, wyrastające w formie kubeczka (rys. 61 i 62). Od dawien dawna listki te razem z ukrytymi w nich plemniami nazywano kwiatem mchów. U jednych gatunków

plemnie i rodnie znajdują się na szczycie tej samej gałązki (mchy obupłciowe), u innych natomiast plemnie i rodnie wytwarzają się na gałązkach oddzielnych (mchy rozdzielnopłciowe). Rezultatem zapłodnienia jest zygota, która dzieli się i wewnątrz rodni rozwija się w zarodek. Zarodek dolną częścią wrasta w tkankę poniżej rodni, górną zaś częścią przerasta w dłuższą lub krótszą nóżkę, na szczycie której wytwarza się puszka zawierająca zarodniki. Puszka u mszaków jest więc zarodnią. Puszkę razem z nóżką nazywamy również sporogonem (rys. 62 i 64).

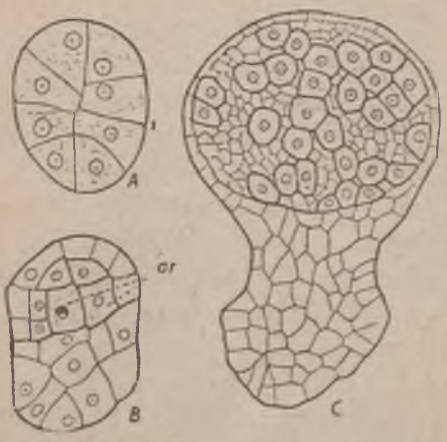
Rys. 61. Mech liściasty płonnik, gametofit męski i żeński. Wykształcony sporofit

Rys. 62. Mech liściasty *Funaria hygrometrica*: 1 — puszka z czepcem; 2 — komórki pierścienia; 3 — część rąbka (peristomium); 4 — całość rośliny; 5 — zarodnik kiełkujący w splątek; 6 — komórki liścia; 7 — przekrój liścia wraz ze środkowym żeberkiem; 8 — rodnie na szczycie pędu; 9 — plemnia; 10 — rodnia; 11 — przekrój przez łodyżkę; 12 — plemnie na szczycie

Rys. 63. Wstawka, plemnia, rodnia i plemnik płonnika *(Polytrichum commune)*

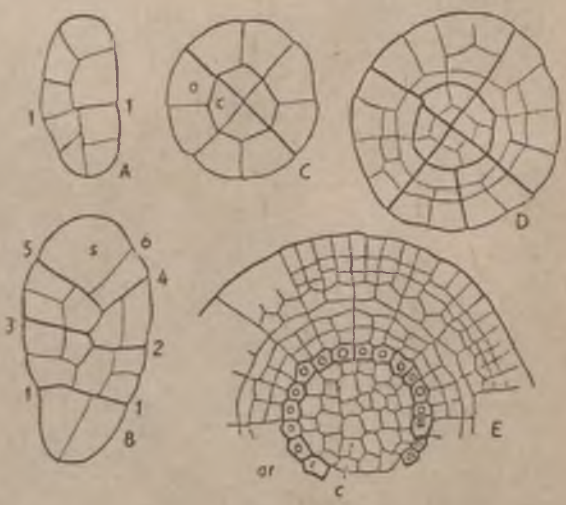
U wątrobowców zygota dzieli się naprzód błonami poprzecznymi i podłużną na osiem komórek, które następnie błonami promienistymi dzielą się na 16 komórek, te znów dzielą się błonami na komórki zewnętrzne i komórki wewnętrzne (rys. 65 i 66). Z komórek dolnej połowy zarodka powstaje nóżka i krótki trzonek. Spośród komórek górnych komórka środkowa staje się komórką macierzystą, z której przez podział wytwarza się tkanka zarodnikotwórcza (archesporium). Każda komórka w pewnym momencie dzieli się na dwie komórki, węższą i szerszą. Z komórek szerszych bezpośrednio lub po podziałach powstają komórki macierzyste zarodników, natomiast komórki węższe wyrastają

Rys. 64. Torfowiec *(Sphagnum)*; 1 — wygląd ogólny; 2 — część łodyżki: *a* — gałązki odstające, *b* — przytulone, *c* — liście łodygowe; 3, 4 — puszka i jej przekrój; 6 — pędy rodnionośne (żeńskie) i plemienionośne (męskie); 7 — rodnie; 8—schem. przekrój przez pęd plemnionośny; 9 — przekrój poprzeczny przez liść; 10 — dwojakiego rodzaju komórki liścia.



Rys. 65. Stopniowe stadia rozwoju sporogonu u wątrobowców; *ar* — archesporium, w *C* widzimy zaczątek puszki z macierzystymi komórkami zarodników

w rodzaj włókienek ze zgrubialymi błonami; są to włośnie (elatery). Po dojrzeniu zarodników włośnie dzięki swym ruchom higroskopijnym rozsiewają zarodniki. Bardziej skomplikowaną budowę ma sporogon u mchów liściastych. W pewnym okresie rozwoju zarodka możemy spotkać w nim kilka warstw (rys. 66), a mianowicie warstwy zewnętrzne (amphithecium) i warstwy wewnętrzne (endothecium). Zewnętrzny pokład komórek warstwy wewnętrznej staje się tkanką zarodnikotwórczą, z której wytwarzają się komórki macierzyste zarodników, z wewnętrznych zaś komórek powstaje tkanka bezpłodna, kolumienka, (columella), tworząca rodzaj walca wewnątrz puszki. Zadaniem komórek kolumienki jest doprowadzanie wody i substancji odżywczych dla wytwarzających się zarodników. U torfowców tkanka twórcza zarodników ma kształt czepka górną stroną zwróconego ku szczytowi puszki (rys. 64). U grupy *Marchantiales* kolumienka nie wytwarza się wcale. Szyjka rodni u mchów liściastych jest zbyt wąska, ażeby przez nią mógł przesunąć się zarodek, toteż szyjka ta pęka u dołu, wznosi się razem z wystającą puszką ku górze i na jej szczycie tworzy bardzo charakterystyczny czepeczek (rys. 61). Z każdej komórki macierzystej przez podwójny podział powstają 4 zarodniki, nadto podczas tego procesu odbywa się podział redukcyjny. Zarodniki u mszaków są więc komórkami haploidalnymi. Mają one po dwie błony, wewnętrzną cienką i zewnętrzną skutynizowaną. U mchów jednopłciowych w jednej zarodni powstają zarodniki dające gałązki plemnionośne i zarodniki dające gałązki rodnionośne. U jednego



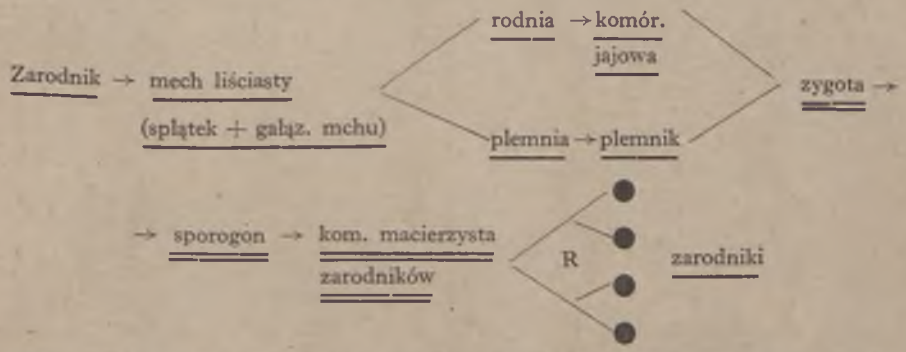
Rys. 66. Stopniowe stadia rozwoju sporogonu u *Funaria hygrometrica*; *ar* — archesporium, *a* — amphithecium, *e* — endothecium

z wątrobowców wykryto, że spośród czterech zarodników powstałych z jednej komórki macierzystej z 2 wyrastają osobniki męskie, z pozostałych dwóch — żeńskie.

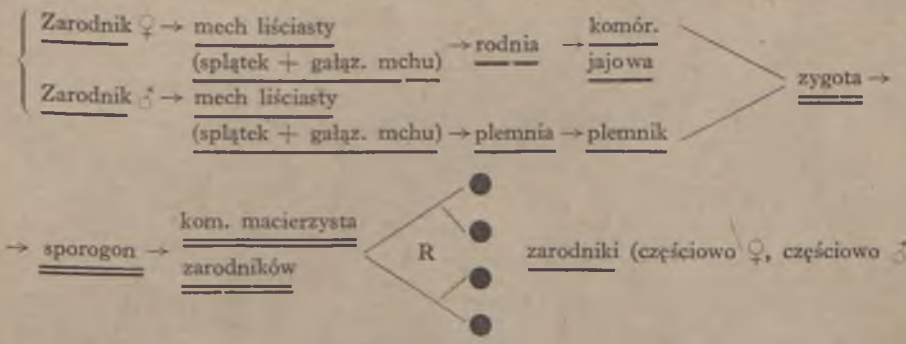
Przy procesie kiełkowania zarodników błona zewnętrzna pęka i u mchów liściastych zarodnik wyrasta początkowo w nić przypominającą glony nitkowate, różni się jednak od nich tworzeniem błon poprzecznych, skośnych. Nitki te tworzą splątek (protonema). U mchów liściastych ze splątka wyrastają gałązki ulistnione, na szczytach których tworzą się rodnie i plemnie. U wątrobowców ze splątka powstaje roślina kształtu plechy. Całe więc rośliny w kształcie gałązek ulistnionych lub plech, wytwarzające się z haploidalnej komórki zarodnika, są pokoleniem płciowym (gametofit), natomiast puszka z zarodnikami i nóżką (sporogon) jest pokoleniem bezpłciowym (sporofit). W życiu jednego osobnika oba te pokolenia, płciowe i bezpłciowe, kolejno się zmieniają; przemiana pokoleń występuje więc bardzo wyraźnie.

Całkowity rozwój osobnika mchu możemy ująć w następujące schematy:

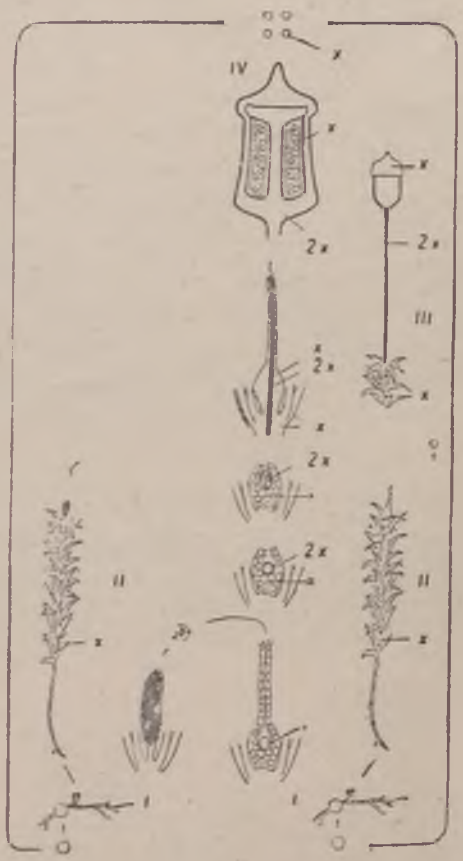
A — dla mchów obupłciowych (dla gatunków *Funaria*):



B — dla mszaków rozdzielnopłciowych (gatunek *Ceratodon purpureus*):

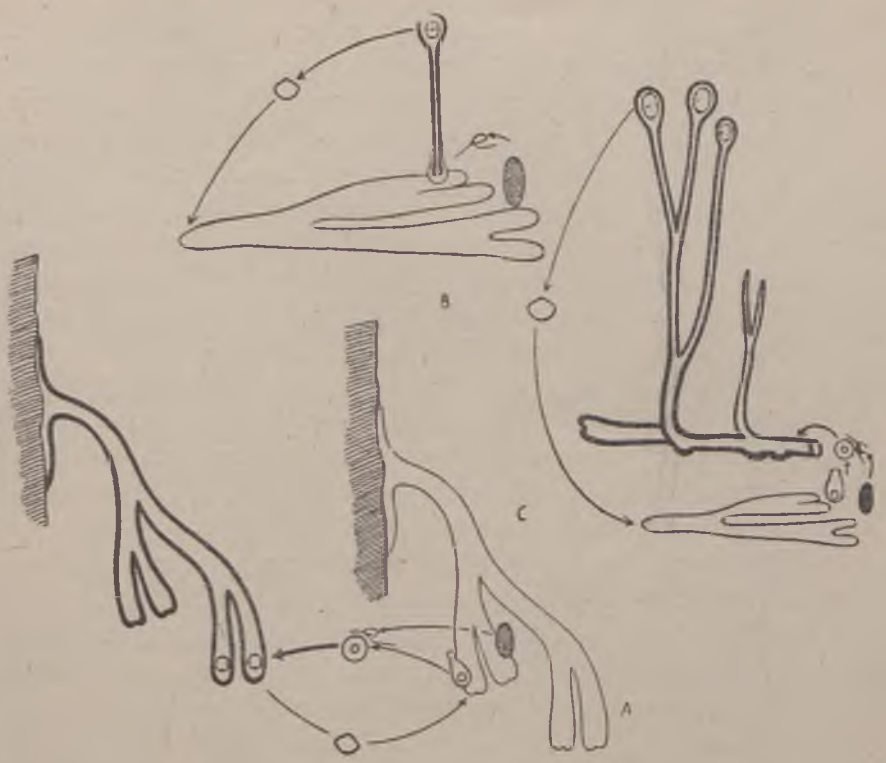


Pokolenie płciowe u mszaków jest przystosowane do życia lądowego, końcowy natomiast okres życia tego pokolenia, zapłodnienie, odbywa się w środowisku



Rys. 67. Schemat rozwoju mchu: I — zarodnik i splątek (protonema), II — gametofit. zapłodnienie i rozwój sporofitu, III — sporofit, IV — rozwój zarodników w puszce, x — haploid. (cienkie linie), 2x — diploid. (grube linie)

wodnym. Pokolenia płciowe i bezpłciowe u współcześnie żyjących mszaków różnią się budową, przy czym pokolenie bezpłciowe do pewnego stopnia pasożytuje na pokoleniu płciowym, chociaż posiadanie ciałek zieleni w komórkach pozwala mu również wytwarzać substancje organiczne (rys. 67). Najprawdopodobniej jednak pierwsze, nieznane nam rośliny, z których powstały mszaki, miały oba pokolenia zbudowane jednakowo (rys. 68). Przypuszczalnie pierwsze, wyjściowe formy mszaków miały podobny rozwój, jak dziś żyjąca brunatnica *Dictyota*, i dopiero później nastąpiło zróżnicowanie się obu pokoleń, być może, pod wpływem zmian w warunkach życiowych.



Rys. 68. Schemat przemiany pokoleń u rodniowców *(Archegoniatae)*. *A* — typ hipotetyczny początkowy z jednakowo wykształconym sporofitem i gametofitem; *B* — typ mszaków *(Bryophyta)*. Sporofit zredukowany i zależny od gametofitu. *C* — typ paprotników *(Pteridophyta)*. Sporofit ma przewagę, gametofit zredukowany

11

PAPROTNIKI

(PTERIDOPHYTA)

W badaniach nad rozwojem paprotników wybija się praca Polaka Leszczyc-Sumińskiego pt. „Zur Entwickelungs-Geschichte der Farnkrauter", drukowana w roku 1848. W pracy tej Sumiński po raz pierwszy opisał u paproci, głównie u gatunku *Pteris serrulata*, budowę plemni, rodni oraz rozwój zarodka. Wprawdzie już przedtem znano i opisywano przedrośla paproci, ale nie zdawano sobie sprawy z ich charakteru oraz z tego, z jakiej komórki przedrośla wyrasta cała paproć; to właśnie wyjaśnił Sumiński. Zjawisko zapłodnienia u paproci zbadał i opisał w r. 1867 również Polak, wielokrotnie już wymieniany Strasburger.

Paprotniki, zupełnie podobnie jak mszaki i niektóre plechowce, wytwarzają trojakiego rodzaju komórki rozmnażania: komórki jajowe, plemniki i zarodniki.

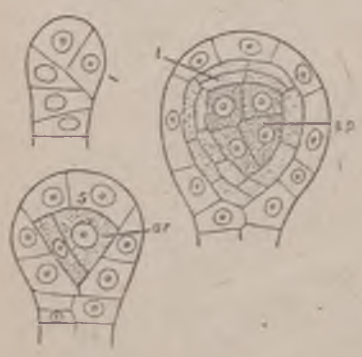
Zarodniki powstają stale w wielokomórkowych zarodniach wyrastających na liściach zarodniowych (sporofilach). Można wśród tych organów wyróżnić kilka charakterystycznych typów. Najstarszą i najprostszą formą są typy opisane u kopalnych gatunków *Rhynia* (Lilpop. „Historia roślin". *Wielka Przyroda Ilustrowana*, tom I, str. 242). U tych paprotników zarodnie tkwią na szczytach rozgałęziającego się plechowatego ciała i mają ścianki wielokomórkowe. Cała właściwie mówiąc roślina może być tu uważana za sporofit. Drugim typem są listki zarodnionośne, w których zarodnie wyrastają na brzegu liścia lub, jak u większości paproci, na dolnej stronie liścia. Zarodnie te są skupione w kupki (sori). Okryte są one zewnątrz zawiniętym brzegiem liścia lub specjalną powłoką-zawijką (indusium). U niektórych paproci sporofile są jednocześnie normalnymi organami przyswajania i niczym nie różnią się od liści przyswajających, niewytwarzających zarodników.

U niektórych jednak gatunków paproci, jak np. *Struthiopteris*, *Osmunda*, *Botrychium*, występuje specjalizacja: sporofile różnią się od liści przyswajających, ich blaszki mają mniejszą powierzchnię, w komórkach brak chloroplastów — stają się one organami tylko zarodnionośnymi. Odrębną budową, zupełnie inną niż liście przyswajające, odznaczają się sporofile u skrzypów. Listek zarodniowy ma tu kształt tarczy osadzonej na krótkim trzonku wyrastającym ze środka sporofilu. Listki zarodnionośne są ze sobą złączone w rodzaj kłoska lub szyszki, która jest wyraźnie odgraniczona od części wegetatywnej skrzypu. Na wewnętrznej stronie listka sporonośnego znajduje się 5—10 workowatych zarodni wypełnionych zarodnikami. Trzeci typ rozmieszczenia zarodni spotykamy u widłaków *(Lycopodinae)*. Zarodnie są tu umieszczone pojedynczo w kącie liści, na ich górnej stronie, przy czym u jednych gatunków, jak np. *Lycopodium selago*, listki zarodnionośne niczym nie różnią się od liści przyswajających wykazując pewną pierwotność budowy. U innych gatunków widłaka listki te są mniejsze i przypuszczalnie przystosowane do ochrony zarodni. Odmienna budowa listków zarodnionośnych została zapewne wywołana dalszym różnicowaniem się warunków zewnętrznych. U wielu widłaków oraz skrzypów sporofile wyrastają na pędach w skupieniu, tworząc kłoski. Mają one normalnie ograniczony wzrost i niekiedy są wyraźnie oddzielone od części wegetatywnej pędu. W kłosach sporofilowych, zwłaszcza u gatunków *Selaginella*, zawierających w jednym kłosku zarodnie i zarodniki małe oraz zarodnie i zarodniki duże, widzimy niejako pierwsze elementy kwiatów (rys. 69). Kłoski te często uważane są za organy homologiczne z kwiatami. U paprotników występujących w dolnym i środkowym dewonie, a ponadto u wielu paprotników współczesnych wszystkie zarodniki są jednakowe. Te paprotniki nazywamy jednakozarodnikowymi (isosporae). Od górnego dewonu zjawiają się paprotniki wytwarzające dwojakiego rodzaju zarodniki: jedne mniejsze — mikrospory, które są w zasadzie mało zmienionymi zarodnikami paprotników jednakozarodnikowych, oraz drugie — zarodniki większe, makrospory, które są większe,

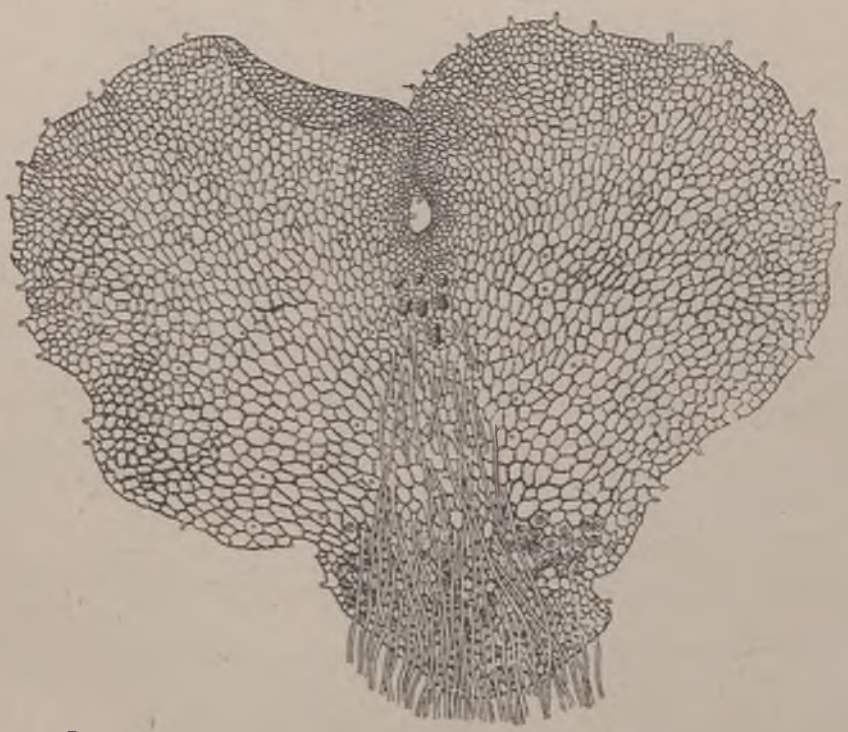
Rys. 69. Rozwój widliczki *(Selaginella)*. 1 — przekrój przez kłos zarodnionośny: *M* — zarodnia duża, *m* — zarodnia mała; 2 — przekrój przez zarodnię małą; 3 — przekrój przez zarodnię dużą; 4 — przekrój przez zarodnik mały; wewnątrz maleńkie przedrośle z 2 plemniami; 5 — dalszy rozwój plemników i redukcja przedrośla; 6 — pęknięty zarodnik duży z tkanką przedroślową; 7 — przekrój — widać rodnię; 8 — 9 — rozwój rodni; 10 — przekrój przez zarodnik duży po zapłodnieniu. *k* — zarodek, 11 — zarodek-embrion; 12 — Wyrastanie nowych roślin z kłoska sporonośnego rośliny matecznej u *Selaginella Apus*.

mają obfitsze substancje zapasowe i występują w mniejszej ilości. Każdy z tych rodzajów zarodników wytwarza przedrośle zdolne do produkowania organów rozrodczych tylko jednej płci. Paprotniki tworzące dwojakiego rodzaju zarodniki nazywamy różnozarodnikowymi (heterosporae). Zarodniki małe wytwarzają się w zarodniach małych (mikrosporangia), a te znów powstają na listkach zarodnionośnych małych (mikrosporofile). Ta sama nomenklatura jest przyjęta i dla organów wytwarzających zarodniki duże: makrosporofile i makrosporangia.

To zróżnicowanie się zarodników jest zjawiskiem niezmiernie ważnym. Jest to jeden z wyraźnych etapów ewolucyjnych, które doprowadziły świat roślinny do wytworzenia organów kwiatowych, a wraz z nimi roślin nasiennych. Powstawanie zarodn ikówu paprotników jednakozarodnikowych oraz obu typów zarodników u paprotników różnozarodnikowych przebiega prawie jednakowo. Zarodniki powstają z komórek zarodnikotwórczych tkanki archesporialnej, wytwarzanej wewnątrz rozwijających się zarodni, przy czym najpierw powstają komórki macierzyste zarodników (rys. 70). Podobnie jak u mszaków, komórki te dzielą się dwukrotnie, tworząc po 4 zarodniki. Zachodzi tu podział redukcyjny. Zarodniki są więc również komórkami haploidalnymi. Ale prócz tego w rozwijających się zarodniach paprotników spotykamy się po raz pierwszy z komórkami wyścielającymi (tapetowymi). Są to komórki leżącena zewnątrz od komórek zarodnikotwórczych, mia nowicie między tymi komórkami a ściankami zarodni (rys.70). Komórki wyścielające są wypełnione gęstą plazmą. U paproci i skrzypów błony tych komórek ulegają rozpuszczeniu, a zawartość w postaci osłuźni (periplasmodium) przenika między młode zarodniki, stanowi ich produkt odżywiania się oraz jest surowcem, z którego tworzą się zewnętrzne błony zarodnikowe. W zarodniach dużych u gatunków rodzaju *Selaginella* z wielu komórek macierzystych zarodników dużych rozwija się tylko jedna, która się dzieli, na skutek czego powstają cztery zarodniki duże. Pozostałe komórki macierzyste najczęściej degenerują podczas powstawania wymienionych czterech zarodników (zdolnych do kiełkowania). U częstej u nas paproci wodnej *Salvinia* dojrzała zarodnia duża zawiera nawet tylko jeden zarodnik. Wszystkie zarodniki paprotników mają dwie błony: zewnętrzną skutynizowaną — egzynę i wewnętrzną, cienką, błonnikową — intynę. U niektórych gatunków, jak np. u skrzypów, tworzy się jeszcze trzecia błona, powstała z osłuźni. Zarodniki paprotników (z nielicznymi wyjątkami) wypadają z zarodni i kiełkują poza rośliną. Powstaje z nich twór swoisty o niewielkich rozmiarach, tzw. przedrośle (prothalium) (rys. 71), które wytwarza rodnie i plemnie. U paprotników różnozarodnikowych rodnie powstają na jednych przedroślach (rodnionośne, żeńskie), a plemnie na innych (plemnionośne, męskie). Przedrośla te różnią się od siebie budową i wielkością. Wszystkie komórki przedrośla są komórkami haploidalnymi. Całe przedrośle jest gametofitem. Ma ono budowę dosyć różnorodną. Przedrośla są przeważnie utworami plechowatymi, nie mają zróżnicowanych organów wegetatywnych (liście, korzenie) oraz nie mają zróżnico-



Rys. 70. Rozwój zarodni u paproci *Asplenium*; *ar* — archesporium, *sp* — komórki macierzyste zarodników, *t*—warstwa wyścielająca. Pow. 300 razy

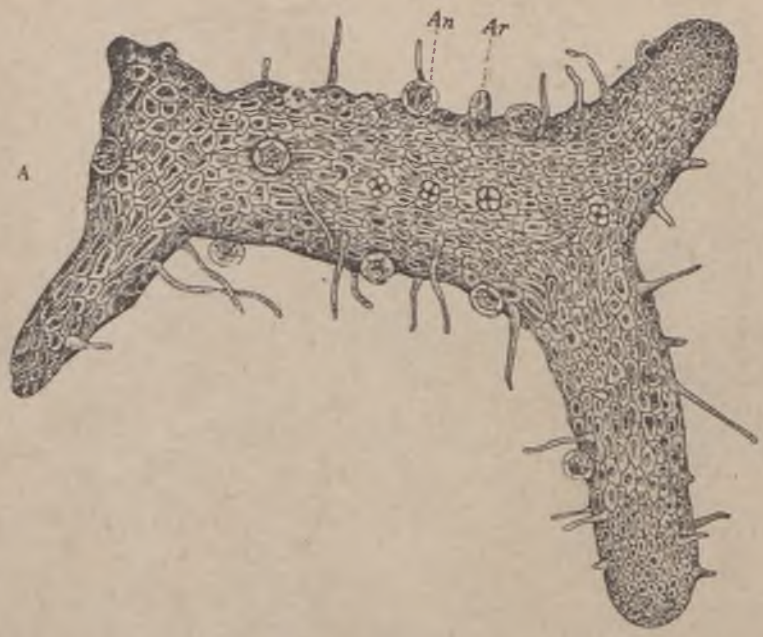


Rys. 71. Przedrośle *(prothalium)* paproci *(Dryopteris)*; widać chwytniki, wyżej rodnie, niżej plemnie

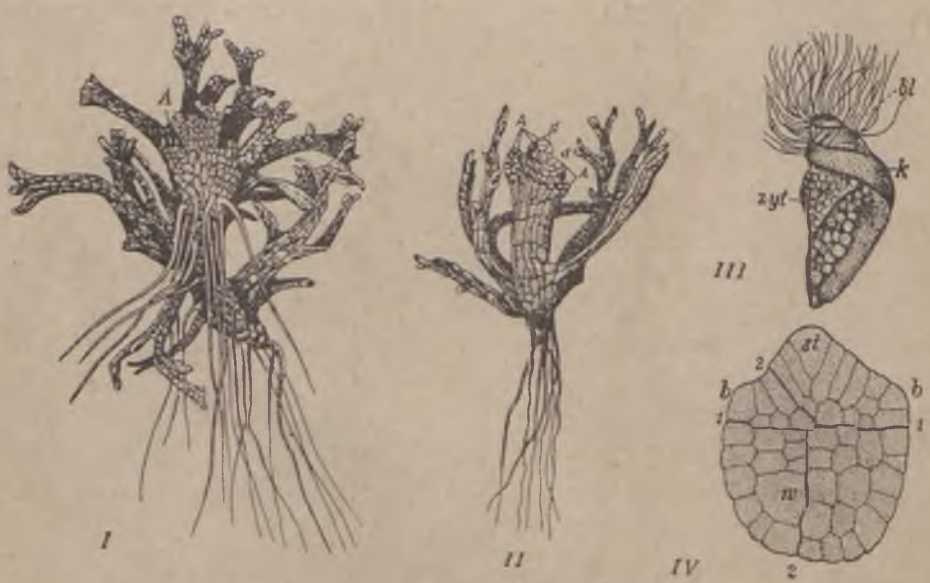
wania anatomicznego jak sporofit (rys. 72). W grupie *Psilotales* u gatunku *Psilotum triquetrum* przedrośle ma budowę bulwiastą, podobną zresztą do pędu podziemnego sporofitu (rys. 73). Jest to jedyny wypadek u paprotników, u których gametofit jest podobny z kształtu do sporofitu, ściśle mówiąc do jednego z organów sporofitu.

U paproci przedrośla mają kształt cienkiej blaszki sercowatej, często wielkości $\frac{1}{4}$ cm^2 i przy-

Rys. 72. Budowa łodygi orlicy *(Pteridium aquilinum)*. Sporofit o skomplikowanej tkankowej budowie łodygi



Rys. 73. Podziemne bulwkowate przedrośle paprotnika *Psilotum triquetrum*. *An* — plemnie, *Ar* — rodnie. Pow. 41 razy



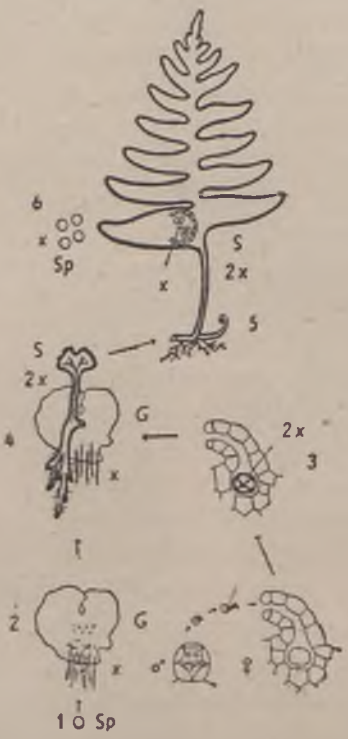
Rys. 74. Przedrośla skrzypów *(Equisetum)*. I — żeńskie z rodniami, pow. 17 razy, II — męskie z plemniami, pow. 12 razy, III — plemnik pow. 1250 razy. IV — zarodek (embrion) we wczesnych stadiach rozwoju

pominają plechę niektórych wątrobowców (rys. 71). Przedrośle składa się głównie z komórek miękiszowych zawierających chloroplasty. Na dolnej, odwróconej od światła stronie rozwijają się rodnie i plemnie. U skrzypów, mimo że zarodniki mają budowę jednakową, przedrośla są dwóch rodzajów; przedrośla rodnionośne są nieco większe i odznaczają się obfitszą ilością rozgałęzień. (rys. 74). Należy podkreślić, iż wielu wśród uczonych jest tego zdania, że przedrośla plemnionośne powstają w gorszych warunkach odżywiania, w lepszych natomiast tworzą się przedrośla rodnionośne. A więc warunki zewnętrzne mogą bezpośrednio wpływać na kształtowanie się płci. Bardzo charakterystyczną budowę mają przedrośla u widłaków. Były one trudne do znalezienia z tego powodu, że kiełkowanie zarodników odbywa się bardzo powoli, a wyrastanie przedrośli i powstawanie plemni i rodni wymaga często kilku lat. U *Lycopodium selago* i *L. clavatum* zarodniki są przenoszone z wodą w głąb ziemi, wskutek czego przedrośla wyrastają pod ziemią. Zarodniki kiełkują dopiero po kilku latach. Początkowo powstaje przedrośle pięciokomórkowe, które przechodzi okres spoczynkowy (rys. 75). Następnie w rosnącym przedroślu rozwija się grzyb tworząc opilśnię, podobnie jak u niektórych roślin kwiatowych. Dojrzałe przedrośle ma kształt wydłużonej, białej bulwki prawie 2 cm długiej. Na rozszerzonym szczycie tej bulwki znajdują się rodnie i plemnie (rys. 75), na zewnątrz wyrastają długie, pobierające wodę chwytniki, w wewnętrznych komórkach przedrośla, poniżej szczytu, rozwijają się strzępki grzyba. Przedrośla u tych roślin mogą właściwie rozwijać się tylko dzięki mykorhyzie.

Rys. 75. Kiełkujący zarodnik (*A* i *B*) i rozwinięte przedrośle widłaka (*C*) *Lycopodium annotinum*, którego część podziemna żyje w symbiozie z grzybem, nad ziemią zaś wystaje zielona, plechowata część

Najbardziej krańcowe formy przedrośli spotykamy u paprotników różnozarodnikowych, jak np. u gatunków *Selaginella* (rys. 69). Przedrośla rodnionośne tworzą się tutaj wewnątrz zarodnika dużego i mają kształt bardzo drobnych kulek wypełnionych komórkami. Na szczycie dojrzewającego przedrośla błona zarodnika pęka i tworzą się trzy płaty, odsłaniające komórki przedrośla, wśród których powstają rodnie. Po zapłodnieniu z zygoty na przedroślu rodnionośnym powstaje nowa roślina. Przedrośla plemnikowe u *Selaginella* są bardzo drobne, dostrzegalne jedynie pod mikroskopem (rys. 69). Zarodniki małe kiełkują już wewnątrz zarodni. W ostatecznym swym rozwoju przedrośla tkwią w błonie zarodnika; składają się one tylko ze ścianki, której błony komórkowe rozpuściły się, i licznych plemników. Część wegetatywną przedrośla stanowi zaledwie jedna komórka. W porównaniu z przedroślami np. paproci jednakozarodnikowych a nawet różnozarodnikowych przedrośla plemnionośne u *Selaginella* możemy uważać za bardzo zredukowane *). Rodnie i plemnie u paprotników mają prawie taką samą budowę,

Rys. 76. dojrzałe plemnie (*A* i *B*) paproci, *C* — plemnik, pow. 850 razy



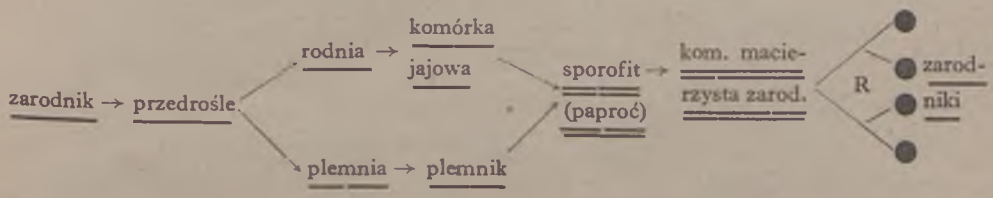
Rys. 77. Schemat rozwoju paproci jednakozarodnikowych. *G*—gametofit, *S* — sporofit, *Sp* — zarodniki; *x*—faza haploidalna (cienka linia), *2x* — faza diploidalna (gruba linia)

*) Przedrośla natomiast rodnionośne są, porównawczo biorąc, podobne tak u *Selaginella* jak i u przedstawicieli paproci różnozarodnikowych *(Filicales heterosporeae* albo *Hydropteridales)* np. u *Salvinia natans*.

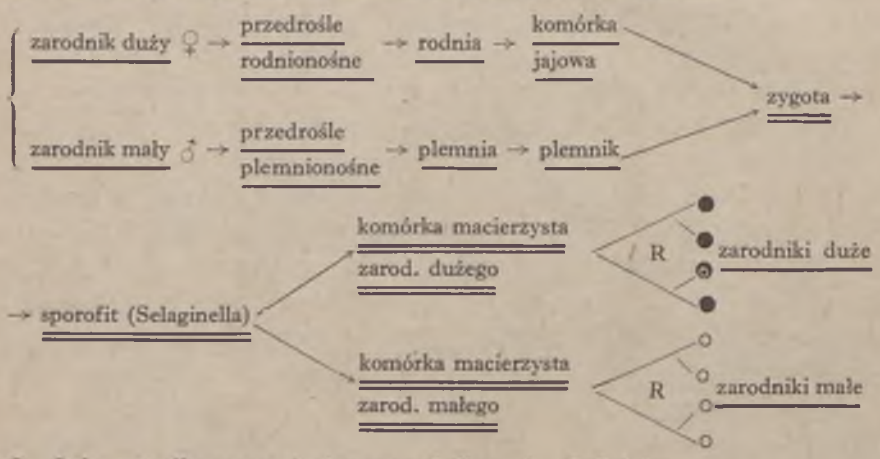
jak i u mszaków. W plemniach wytwarzają się mniej lub bardziej liczne plemniki. Rodnie zawierają komórkę jajową, komórkę brzuszną i komórki kanałowe. Rodnie natomiast u paprotników różnią się tym, że przeważnie częściowo lub całkowicie tkwią w przedroślu, tak że jedynie szyjka zostaje wysunięta na zewnątrz. Niekiedy plemnie są tak zredukowane, że trudno odróżnić komórki tworzące ściankę plemni od komórek płodnych przedrośla. Plemniki paprotników mają dwojakiego rodzaju budowę: u widłakowców i poryblinów są dwurzęskowe, u skrzypów i paproci wielorzęskowe (rys. 76). Plemniki składają się głównie z substancji jądrowej i mają kształt, np. w niektórych grupach, śrubowato poskręcanych nitek. Podobnie jak i u mszaków, zapłodnienie odbywa się jedynie w środowisku wodnym, przy czym rodnia wydziela substancje, które przyciągają plemniki. Komórki kanałowe i komórka brzuszna śluzowacieją, plemniki przez szyjkę przenikają do komórki jajowej i zlewają się z nią. Powstała z zapłodnienia zygota dzieli się i tworzy zarodek, a z niego całą roślinę (sporofit) (rys. 77). W odróżnieniu od gametofitu, który jest bardzo drobny (u wielu paprotników dostrzegalny dopiero pod mikroskopem), sporofit osiąga wymiary duże, a jego organy mają wyraźne tkanki (rys. 72). To, co pospolicie nazywamy paprocią, skrzypem czy widłakiem, jest właśnie sporofitem. Rozwój filogenetyczny paprotników zmierzał w innym kierunku aniżeli rozwój mszaków. Pokolenie płciowe w postaci przedrośla u paprotników odpowiada gałązce ulistnionej lub plechowatej u mszaków. Pokolenie bezpłciowe paprotników odpowiada sporogonowi u mszaków. Oba pokolenia, płciowe i bezpłciowe, paprotników są nie tylko morfologicznie i anatomicznie różne, ale i fizjologicznie od siebie niezależne. Najprawdopodobniej i paprotniki kopalne można by, podobnie jak i mszaki, wyprowadzić z jakichś nieznanych nam bliżej roślin wymarłych, u których oba pokolenia były jednakowe (rys. 68). U paprotników ewolucja posunęła się w kierunku zahamowania rozwoju pokolenia płciowego, które sprowadza się niekiedy do kilku komórek, oraz znacznego zwiększenia pokolenia bezpłciowego. Mszaki tworzą prawdopodobnie linię rozwojową równoległą do paprotników, ale gdy mszaki niejako stanęły w swoim rozwoju, paprotniki posunęły się dalej. Niewątpliwie wśród paprotników znajdują się formy wyjściowe wyższych roślin nasiennych.

Rozwój paprotników ująć można w następujące schematy:

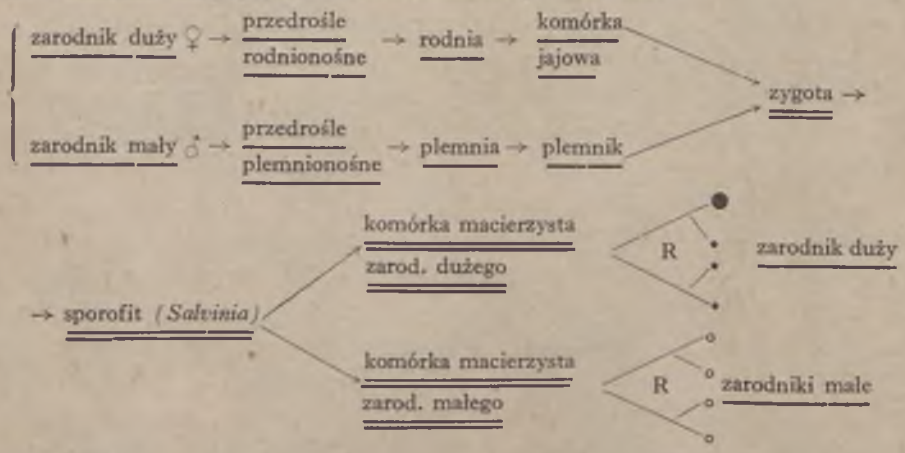
A. Schemat dla paproci jednakozarodnikowych: *Aspidium*:



B. Schemat dla paproci różnozarodnikowych: *Selaginella*:



C. Schemat dla paproci różnozarodnikowej: *Salvinia*:



Mszaki i paprotniki ze względu na to, że rodnie występują u nich w typowej postaci, nazywamy rodniowcami *(Archegoniatae)*, w gruncie rzeczy jednak do rodniowców można zaliczyć i rośliny nagonasienne.

12

ROŚLINY NASIENNE

(SPERMATOPHYTA)

Rośliny nasienne lub kwiatowe *(Anthophyta)* prócz różnic mniej lub bardziej ważnych różnią się od paprotników przede wszystkim budową pokolenia płciowego żeńskiego. Komórki rozrodcze żeńskie u roślin nasiennych powstają

w organach zwanych zalążkami. Zalążek składa się z komórek miękiszowych ośrodka (nucellus) oraz jednej lub dwóch osłonek. Zalążki są ściśle złączone z pozostałymi częściami rośliny, które są pokoleniem bezpłciowym. Nawet w samym zalążku jedynie komórka woreczka zalążkowego jest komórką haploidalną. Pozostałe komórki są diploidalne — należą do pokolenia bezpłciowego. Badania porównawcze wykazują, że zalążek odpowiada jednej wielkiej zarodni z jednym zarodnikiem dużym. Zarodnik oraz powstałe z niego pokolenie płciowe żeńskie (przeważnie bardzo drobne) zrasta się ze ścianką zarodni. Pokolenie płciowe (gametofit) żeńskie u roślin nasiennych jest fizjologicznie całkowicie zależne od pokolenia bezpłciowego. Organem swoistym, występującym już na zarodni dużej u niektórych kopalnych paprotników, a z reguły u wszystkich roślin nasiennych, jest osłonka lub osłonki otulające ośrodek. Na szczycie zalążka osłonki nie zrastają się, lecz tworzą otwór — okienko (micropyle). Ściśle więc rzecz biorąc ośrodek zalążka roślin nasiennych odpowiada zarodni dużej u paproci różnozarodnikowych. Rozwój pokolenia płciowego męskiego jest w zasadzie podobny do rozwoju przedrośli męskich paprotników różnozarodnikowych. Zarodniki małe, zwane tu ziarnami pyłkowymi, rozwijają się w małych zarodniach, zwanych komorami pylnikowymi. Kiełkując pyłek wytwarza długą rurkę — łagiewkę pyłkową, powstającą z rozrastającej się intyny (błony wewnętrznej pyłku). Błona zewnętrzna pyłku pęka przy kiełkowaniu. W łagiewce pyłkowej (odpowiadającej przedroślu męskiemu paproci różnozarodnikowej) u nagonasiennych znajdują się nieliczne komórki wegetatywne (niektóre z nich odpowiadają komórkom wegetatywnym przedrośla) oraz komórki rozrodcze męskie. Przemianę pokoleń u roślin nasiennych można wykazać jedynie przez szczegółowe badania mikroskopowe.

Już wśród paprotników możemy wyróżnić kilka kierunków rozwojowych, które prowadzą do wytworzenia typu roślin nasiennych. Taki kierunek rozwojowy możemy znaleźć w rodzaju *Selaginella*. W tej ciekawej grupie paprotników różnozarodnikowych zarodniki małe i zarodniki duże wytwarzają się w kłoskach sporonośnych, które porównujemy z kwiatami. U *Selaginella apus* i *S. rupestris* zarodniki duże czasem pozostają wewnątrz zarodni dużej i mogą wytworzyć normalne przedrośle. We wnętrzu pękniętej zarodni nastąpić może zapłodnienie, o ile zarodniki małe rozsiały się na zarodniach dużych i miały warunki do kiełkowania. Podobnie przebiega proces tworzenia się zarodników małych i dużych oraz przedrośli i gamet u *Selaginella rupestris*. Tu proces zapłodnienia a nawet rozwój młodej rośliny odbywa się w ścisłym związku z tkankami sporofitu poprzedniej generacji *) (rys. 69 p. 12). Rośliny te jak gdyby zapowiadały zjawienie się roślin nasiennych. Nie ulega wątpliwości, że pratypy sagowców, a dalej roślin okrytonasiennych nie dadzą się wyprowadzić z widłaków, do których *Selaginella*

*) R. Wettstein *„Handbuch d. systematischen Botanik"* 337—339

należy; być może jednak, że istnieje pewne pokrewieństwo między paprotnikami *(Selaginellales)* a drzewami iglastymi. Niektóre paprotniki kopalne z grupy *Lepidodendron* również wykazują szereg cech upodobniających je do roślin nasiennych. U niektórych gatunków z tej grupy *(Lepidodendron)* zarodnia duża zawiera tylko jeden zarodnik duży, który nie wypada z zarodni. Wokół zaś całej zarodni tworzy się rodzaj osłonki; powstaje więc pewien utwór w zasadzie homologiczny do zalążka. Szczegółowsze badania wykazują jednak, że i te rośliny nie dają początku roślinom nasiennym. Za pratyp roślin nasiennych uważamy grupę paprotników kopalnych, paprotniki nasienne *(Pteridospermae)*, nazywane również *Cycadofilices*, gdyż łączą w sobie cechy sagowców *(Cycadinae)* i paproci *(Filices)*. Już samo niezdecydowane stanowisko systematyczne tej grupy roślin kopalnych, którą jedni botanicy zaliczają do roślin nasiennych, a inni do paprotników, wskazuje na to, że rośliny te są niejako ogniwem wiążącym te dwie duże grupy roślin naczyniowych. Jak wiemy z badań paleontologów (Lilpop. *Historia roślin* t. I str. 256)*), paprotniki nasienne są bardzo zbliżone pokrojem do klasy paproci. Zarodnia duża z jednym zarodnikiem tworzy rodzaj zalążka pokrytego z zewnątrz osłonką. W osłonki te wnikają wiązki przewodzące, których nie widzieliśmy u kopalnych widłaków, natomiast wiązki przewodzące rozwijają się w zalążkach sagowców. Ponadto w zalążkach paprotników nasiennych znaleziono tak charakterystyczną dla pewnego typu roślin nagonasiennych komorę pyłkową (nie mieszać terminem „komora pylnikowa" w budowie worka pylnikowego).

Nagonasienne, tworzące plemniki ruchome**). Pokrewieństwo, które istnieje pomiędzy paprotnikami a nagonasiennymi w rozwoju organów rozmnażania, zostało wykryte w połowie ubiegłego stulecia. W. Hofmeister w roku 1853 na podstawie badań rozwojowych wykrył zjawisko przemiany pokoleń i wykazał, że mszaki, paprotniki oraz nagonasienne mają w ogólnym zarysie zgodny cykl rozwojowy. Prace późniejsze botaników wykazały, że podobny cykl rozwojowy mają i rośliny okrytonasienne. Poszczególne części organów rozmnażania wśród roślin nasiennych noszą swoje dawne, uświęcone tradycją nazwy, jak: owocolistki, pręciki, słupki, pyłek, zalążki i inne. Odkąd jednak wykryto pokrewieństwo między paprotnikami i roślinami nasiennymi, organy te możemy również nazywać terminami używanymi dla paprotników. Związek filogenetyczny, jaki istnieje między paprotnikami i roślinami nasiennymi, został jeszcze bardziej udowodniony dzięki badaniom paleontologicznym, głównie na skutek wykrycia paprotników nasiennych. Kopalne paprotniki nasienne wykazują wiele pokrewieństwa z sagowcami *(Cycadinae)*, wymierającą grupą zaliczaną do roślin nagonasiennych. Pokrojem

*) *Wielka Przyroda Ilustrowana.* T. I.

**) Te nagonasienne są właśnie pomostem między paprotnikami a nagonasiennymi wyższymi, akimi są np. iglaste.

Rys. 78. Sagowiec *(Cycas revoluta)*; na lewo owocolistek z zalążkami, na prawo pręcik z pylnikami

swym sagowce zbliżają się do palm i paproci (rys. 78). Niektóre sagowce zaliczano nawet do paproci, dopóki nie poznano sposobu ich rozmnażania. Zarodnie duże albo inaczej zalążki wyrastają na liściach, które nazywamy owocolistkami. U sagowca *Cycas revoluta* owocolistki wyrastają z łodygi pnia głównego i siedzą wśród zwykłych zielonych liści. Owocolistki są krótkie, u góry postrzępione. Na brzegach dolnej części owocolistka wyrasta kilka (4—8) dosyć dużych zalążków (rys. 78). Okienka tych zalążków są zwrócone na zewnątrz. Sagowce *Cycas* są najbardziej nagonasienne, gdyż mają zalążki zupełnie odkryte podczas całego rozwoju. U pozostałych sagowców owocolistki są bardzo zredukowanymi liśćmi kształtu łusek skupionymi w duże szyszki lub kolby, niekiedy barwne, a okienka zalążków są zwrócone do wnętrza osi kwiatostanu.

Przyjrzyjmy się teraz rozwojowi zalążka sagowców i innych nagonasiennych. Jak już wiemy, zalążek w pewnym momencie swego rozwoju składa się z osłonki tworzącej na szczycie okienko oraz ośrodka składającego się z komórek miękiszowych. Oprócz tego na szczycie ośrodka, tuż pod okienkiem, znajduje się nieduże, lejkowate wgłębienie nazywane komorą pyłkową (rys. 79). Jest ono wypełnione śluzowatą masą powstałą z rozpuszczonych komórek ośrodka. Wśród komórek ośrodka wyróżnia się jedna, która, jak wykazały badania porównawcze, odpowiada

Rys. 79. Górna część przedrośla sagowca — *Dioon edule* w momencie zapłodnienia. Widać końce łagiewek pyłkowych z tkwiącymi i uwolnionymi plemnikami oraz rodnie z komórkami jajowymi. *B* — dwa młode zaczątki zarodków tegoż sagowca: *e* — zarodek, *s* — suspensor

komórce macierzystej zarodników dużych. Komórka ta (zrośnięta z innymi komórkami ośrodka) dzieli się dwukrotnie. Wytwarzają się więc 4 komórki. Podział ma charakter redukcyjny. Powstałe komórki leżą w jednym szeregu wzdłuż zalążka, ale (podobnie jak u paproci *Salvinia*) w dalszym ciągu rozwija się tylko jedna, pozostałe zaś trzy degenerują. Komórkę tę, odpowiadającą zarodnikowi dużemu, nazywamy również woreczkiem zalążkowym. Podczas rozwoju woreczka zalążkowego (kiełkowania zarodnika dużego z makrospory) jądro jego dzieli się i daje znaczną ilość jąder potomnych, które układają się równomiernie w plazmie przyściennej w woreczku zalążkowym, rosnącym kosztem komórek ośrodka. Środek woreczka wypełnia wakuola. Między jądrami po pewnym czasie wytwarzają się błony, wakuola się zmniejsza i powstaje tkanka jednolita odpowiadająca przedroślu żeńskiemu. Przedrośle to u nagonasiennych nazywamy prabielmem. Rzecz ciekawa, że u miłorzębu *(Gingko biloba)*, rośliny wymierającej również nagonasiennej, komórki przedrośla z reguły zawierają ciałka zieleni; dzięki temu prabielmo osiąga pewną fizjologiczną niezależność. Dzieje się to niekiedy i u sagowców *Cycas*. W miarę wzrostu prabielma (przedrośla = prothalium) ośrodek znacznie się zmniejsza, tak że wreszcie u szczytu prabielmo zbliża się ku komorze pyłkowej. W górnej części prabielma, zwróconej ku okienku, tworzą się rodnie (rys. 79). Przed zapłodnieniem rodnia składa się z dużej (do 6 mm) komórki jajowej, z komórki brzusznej leżącej tuż pod szyjką i krótkiej szyjki składającej się z dwóch komórek, między którymi nie wytwarzają się komórki kanałowe

Cała rodnia wraz z szyjką tkwi całkowicie w prabielmie. Komórka jajowa jest zewnątrz otoczona warstwą specjalnych komórek prabielma, które dostarczają jej substancji odżywczych. Komórki te położeniem swym i czynnościami odpowiadają komórkom warstwy wyścielającej. U sagowca *Cycas* w każdym prabielmie powstaje kilka rodni, natomiast u sagowca *Microcycas* rosnącego na Kubie rodni jest dużo, co jest niewątpliwie cechą pierwotną. Rodnie są przeważnie oddzielone od siebie komórkami prabielma. Naprzeciw każdej rodni znajduje się w przedroślu zagłębienie — komora rodniowa. W komory te właśnie wrasta łagiewka pyłkowa. Listki wytwarzające zarodnie małe nazywamy u sagowców (jak zresztą u wszystkich roślin nasiennych) pręcikami. Mają one kształt łusek i tworzą na dolnej stronie liczne pylniki zebrane w kupki po 3, 4 lub więcej (rys. 78), podobnie jak u paproci. Pręciki są zgrupowane w duże szyszki, które u sagowców (prócz *Cycas*) podobne są do szyszek żeńskich. Obliczono, że na męskiej szyszce sagowca *Encephalartos* wytwarza się około 7 miliardów ziarn pyłku. Ta olbrzymia ilość ziarn pyłkowych jest charakterystyczna dla roślin wiatropylnych. Ziarnka pyłku powstają również na skutek podwójnego podziału, tzw. redukcyjnego. W procesach dojrzewania pyłku bierze również udział warstwa wyścielająca. Ziarnka pyłku u sagowców są przenoszone wiatrem albo (jak u niektórych południowoafrykańskich sagowców) przez owady. Pyłek przylepia się do cieczy wydzielającej się w okienku. W miarę wysychania cieczy pyłek zostaje wciągany do wnętrza komory pyłkowej i tu kiełkując wytwarza łagiewkę pyłkową. Łagiewka wrasta w tkankę ośrodka, umacnia się w niej i żyje jej kosztem (rys. 79). Szczyt łagiewki pyłkowej dotyka do komory rodniowej. Zapłodnienie następuje tu jednak dopiero w kilka miesięcy później, kiedy ostatecznie wytworzą się i dojrzeją rodnie. U sagowca *Cycas* w Japonii zapylenie odbywa się na początku czerwca, a zapłodnienie dopiero w końcu września. Już Hofmeister przypuszczał, że zapłodnienie u nagonasiennych odbywa się przy udziale łagiewki pyłkowej, wewnątrz której najprawdopodobniej tworzą się plemniki. Przewidywanie jego sprawdziło się jedynie w dwóch klasach żyjących nagonasiennych, sagowcach i miłorzębach. W roku 1896 japoński botanik Hiraze wykrył, że u miłorzębu (*Gingko*) zapłodnienie odbywa się przy udziale plemników odznaczających się zdolnością do ruchu czynnego. W tym samym roku podobne zjawisko wykrył również Japończyk Ikeno u sagowca *Cycas revoluta*. W tym samym prawie czasie botanik amerykański Webber wykrył ruchome plemniki u sagowca *Zamia*, przy czym obserwował ruch plemników. Plemniki u sagowców są komórkami dość dużymi; u sagowca *Zamia* dochodzą do połowy milimetra, są przeto widoczne gołym okiem. W górnej swej części plemniki mają długą, spiralną nić z licznymi rzęskami, dzięki którym mogą się poruszać (rys. 80). Plemników takich wytwarza się w łagiewce pyłkowej u sagowców tylko dwa. Wyjątkowo tylko u sagowca *Microcycas* powstaje ich 16, co jest (podobnie jak i wytwarzanie znacznej ilości rodni u tego sagowca) cechą pierwotną.

Rys. 80. *A* — Zakończenie łagiewek pyłkowych z dwoma plemnikami sagowca — *Zamia loridana* pow. 75 razy; *B* — plemnik tegoż sagowca znacznie powiększony, 150 razy

W łagiewce pyłkowej przed procesem zapłodnienia rozwija się oprócz plemników jeszcze kilka komórek. Jedno z jąder, zwane jądrem łagiewkowym znajduje się w części łagiewki wrastającej w tkankę ośrodka. Z drugiej strony u szczytu łagiewki znajdują się komórki plemnikowe oraz dwie komórki: jedna odpowiada komórce płonej przedrośla męskiego paprotników różnozarodnikowych, druga, zwana ścienną lub siostrzaną, powstaje z podziału komórki macierzystej plemników. Na tych komórkach są zawieszone oba dojrzewające plemniki. Komórka przedroślowa i komórka siostrzana zawierają dużo ciał zapasowych. Łagiewka pyłkowa zbliża się do komory rodniowej. Plemniki zaczynają się poruszać jeszcze w łagiewce pyłkowej, po czym bardzo krótką przestrzeń do rodni przepływają w cieczy powstałej z łagiewki pyłkowej. W ten sposób plemniki dosięgają komórki jajowej. W komórce jajowej plemnik traci taśmę z rzęskami (blepharoplast), po czym następuje połączenie plemnika i komórki jajowej.

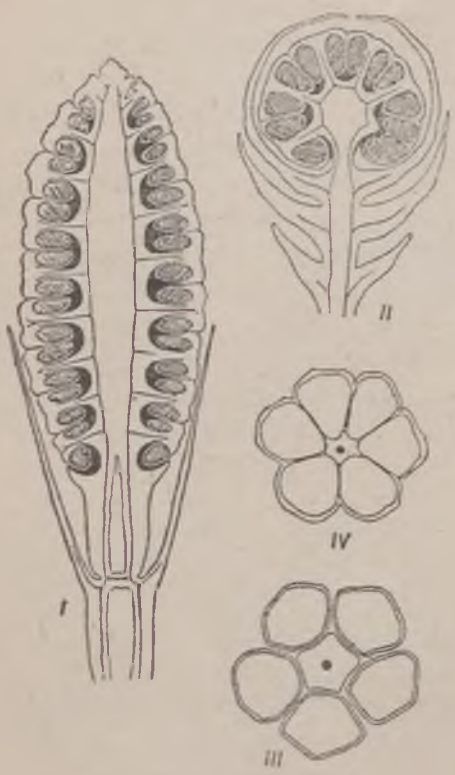
Zjawisko zapłodnienia u sagowców łączy więc w sobie sposób zapłodnienia u roślin niższych, u których odbywa się ono przy pomocy ruchomych plemników, ze sposobem zapłodnienia u roślin wyższych nasiennych, u których komórki generatywne bywają przenoszone dzięki wzrostowi łagiewki pyłkowej do rodni.

Z zapłodnionej komórki jajowej powstaje zygota. Jądro jej dzieli się na jądra potomne tak, że w pewnym momencie w zygocie wytwarza się dużo (ca 256) wolnych jąder, które przesuwają się w dolną część zygoty. Następnie między jądrami powstają błony komórkowe. Komórki te wrastają do wnętrza prabielma i w ten sposób wytwarza się prozarodek (rys. 79 B), zarodek zaś wytworzy się z komórek znajdujących się na szczycie zwróconym ku podstawie zalążka (chalaza). Komórki leżące nad zarodkiem wydłużają się i wytwarza się suspensor (wieszadełko), który przesuwa zarodek w głąb przedrośla; jego kosztem zarodek się odżywia. W dojrzałym nasieniu jednak znaczna ilość prabielma pozostaje

i służy za pożywienie podczas kiełkowania zarodka. Ostatecznie ukształtowany zarodek składa się z dwóch listków, czyli liścieni, z pąka między liścieniami oraz z korzenia, który powstaje od strony mikropylarnej. Okienko zrasta się i dojrzałe nasienie jest w całości okryte przez osłonkę tworzącą łupinę nasienną. Zewnętrzne komórki osłonki mięśnieją, wewnętrzne twardnieją, w rezultacie całe nasienie przypomina owoc pestkowy. W ten sposób powstaje organ swoisty dla roślin nasiennych — nasienie. Nasienie jest więc wyrośniętą zarodnią dużą z zarodkiem. U roślin nagonasiennych składa się ono z resztek bielma pierwotnego i zarodka, który ma u sagowców 2 liścienie a u iglastych więcej. Osłonki zarodni przekształcają się w łupiny nasienne. W tym stanie u znacznej większości roślin sporofit przechodzi okres spoczynkowy, a po okresie tym rozwija się w nową roślinę. U sagowca *Cycas* nasiona jednak kiełkują bezpośrednio, bez okresu spoczynkowego.

Drzewa iglaste. Zagadnienie pochodzenia drzew iglastych tworzących dużą grupę roślin nagonasiennych należy do jednego z trudniejszych. Drzewa iglaste powstały niewątpliwie z paprotników różnozarodnikowych zupełnie niezależnie od sagowców i są niejako grupą równoległą do nich. U sosny, świerka, jodły i modrzewia liście zmienione w organy rozmnażania: owocolistki i pręciki, zebrane są w bardzo charakterystyczne szyszki przypominające szyszki sagowców. Szyszki żeńskie jednak w budowie swej bardzo się różnią od szyszek sagowców, składają się bowiem z łusek dwóch rodzajów. Zewnętrzna jest łuską okrywową, wewnętrzna łuską nasienną. Badania morfologiczno-porównawcze wykazują, że owocolistki przy zalążkach nie rozwijają się prawie wcale (podobnie jak u miłorzębów). Na zanikłych owocolistkach, jako organ późniejszy wyrasta duża łuska nasienna, z którą zrastają się oba zalążki. Szyszka żeńska u drzew iglastych jest kwiatostanem. U cisa *(Taxus)* zalążki tkwią pojedynczo na pędach bocznych wyrastających tuż przy szczycie gałązek. U podstawy zalążków cisa tworzy się osnówka *(arillus)*, która podczas dojrzewania obrasta nasienie pozostawiając tylko na wierzchołku wolne miejsce. Porównawczo osnówka u cisa odpowiada łusce nasiennej u innych drzew iglastych.

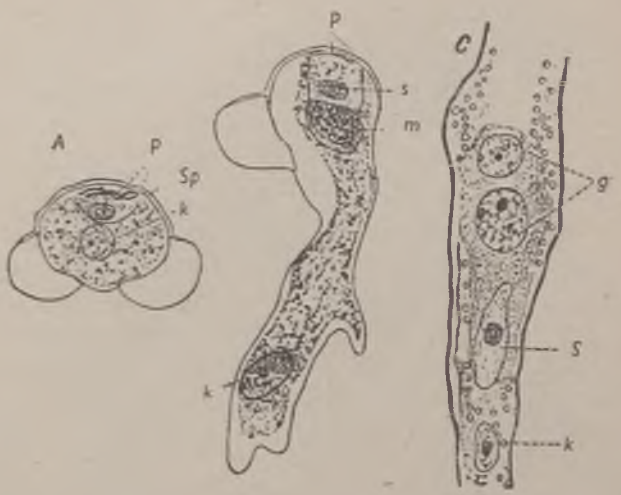
Wewnątrz zalążka znajduje się tkanka ośrodka. Komora pyłkowa jest silnie zredukowana. Rozwój bielma pierwotnego (przedrośla) oraz rodni jest zupełnie podobny, jak u sagowców. U wielu drzew iglastych wytwarza się tylko jedna komórka macierzysta woreczka zalążkowego, z której powstaje jedno bielmo pierwotne z kilkoma rodniami. U rodzaju *Sequoia* wytwarza się więcej komórek macierzystych, a także więcej przedrośli, z których normalnie rozwija się tylko jedno. Powstaje również wiele rodni, co razem z wytwarzaniem się wielu komórek macierzystych zarodników dużych wskazuje na pierwotne pochodzenie rodzaju *Sequoia*. Rodnie składają się z dużej komórki jajowej i krótkiej szyjki.



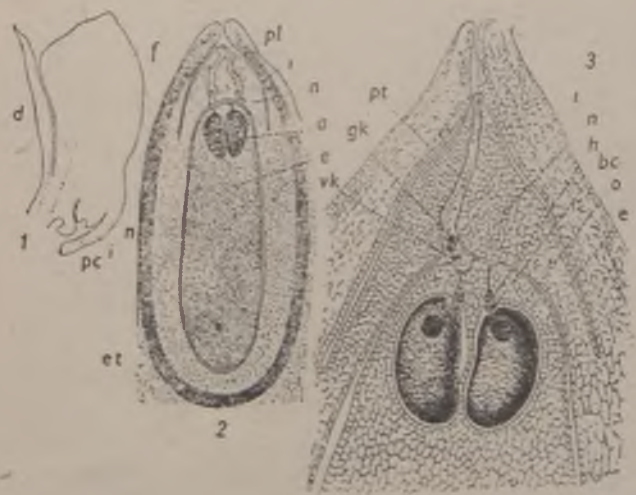
Rys. 81. Przekrój podłużny I i poprzeczny III przez młody pęd sporonośny u skrzypu *(Equisetum)* II i IV u cisa *(Taxus baccata)*

Przed samym zapłodnieniem komórka macierzysta komórki jajowej dzieli się i powstaje duża komórka jajowa i drobna komórka kanałowa brzuszna, która zresztą prędko degeneruje. Budowa kwiatów pręcikowych tworzących szyszki u niektórych roślin nagonasiennych jest zupełnie podobna do budowy kłosków zarodnikonośnych paprotników. Widzimy to szczególnie wyraźnie, jeżeli porównamy ze sobą kwiaty cisa i kłoski skrzypu (rys. 81). U wielu drzew iglastych budowa pręcików zbliża się do budowy tych samych organów u roślin okrytonasiennych. Ilość worków pylnikowych zmniejsza się do dwóch, podstawa pręcików zwęża się w kształt nitki. Na szczycie powstaje łuska okrywająca z reguły pylniki w pąku. Wszystkie drzewa iglaste są roślinami wiatropylnymi i wytwarzają masowo pyłek. U jodłowatych wskutek nadmiernego wzrostu błony zewnętrznej pyłku z obu stron ziarna tworzą się jak gdyby dwa baloniki wypełnione powietrzem (rys. 82). Tworzenie się ziarn pyłku u drzew iglastych jest zupełnie takie samo, jak u paprotników i sagowców. Powstają one również w workach pylnikowych, które mają ścianki, warstwę komórek wyścielających i warstwę komórek archesporialnych (zarodnikotwórczych). U modrzewia błony komórkowe warstwy wyścielającej w okresie podziału macierzystych komórek pyłku zanikają, a zawartość tych komórek zlewa się, wędruje do wnętrza komory pylnika i tam służy za materiał odżywczy. Worki pylnikowe pękają podłużnie lub poprzecznie, przy czym pękanie to jest mechaniczne na skutek odpowiedniej budowy błon komórkowych. Rozwój ziarn pyłkowych i wytwarzanie się łagiewki pyłkowej u wszystkich drzew iglastych przebiega według pewnego, ściśle określonego schematu, podobnego zresztą do schematu rozwojowego sagowców (rys. 82). Różnice występujące u poszczególnych rodzajów zależą od ilości komórek, zwłaszcza przedroślowych. Ziarna pyłkowe są początkowo jednokomórkowe i jednojądrowe, ale jeszcze w worku pylnikowym powstaje w nich kilka komórek drobnych odpowiadających płonym komórkom męskiego przedrośla. U *Araucaria*

w ziarnach pyłku jest dużo komórek przedroślowych. Następnie powstaje jądro łagiewkowe (wegetatywne) oraz pierwotna komórka generatywna. Pyłek kiełkuje w okienku (micropyle) zalążka. Błona zewnętrzna (egzyma) pęka, a błona wewnętrzna wyrasta w rurkę zwaną łagiewką pyłkową (rys. 82). Komórka generatywna pierwotna dzieli się na komórkę ścienną albo siostrzaną i komórkę generatywną. Komórki te wraz z jądrem łagiewkowym przesuwają się ku szczytowi łagiewki pyłkowej. Komórka generatywna dzieli się na dwie komórki plemnikowe. Rola łagiewki pyłkowej polega tutaj na przenoszeniu nieruchomych komórek plemnikowych do komórki jajowej w rodni. W ten sposób rośliny kwiatowe w procesie zapłodnienia zostały ostatecznie uniezależnione od pośrednictwa wody w przeprowadzaniu plemników. Po zapłodnieniu jądro zygoty dzieli się dwukrotnie, a powstałe cztery jądra przesuwają się w zygocie na stronę chalazalną, gdzie ustawiają się w jednej płyszczyźnie. U sosny jądra te dzielą się dalej,



Rys. 82. Pyłek (*A*) sosny *(Pinus Laricio)* i rozwój łagiewki pyłkowej u drzew iglastych; *p* — resztki komórek przedrośla, *Sp* — komórka plemnikotwórcza, *k* — jądro łagiewki; *m* — komórka generatywna, *g* — jądra komórek generatywnych

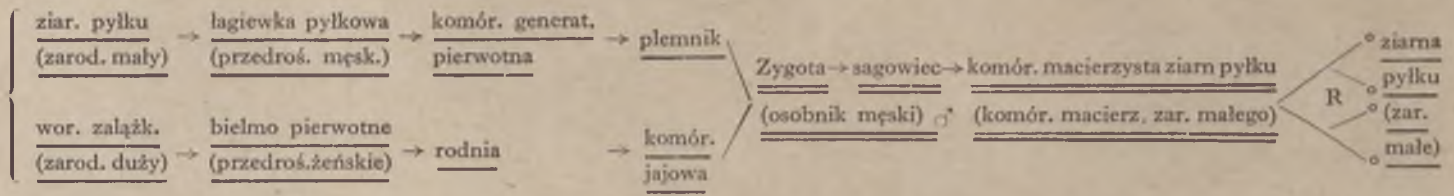


Rys. 83. Budowa zalążka i przebieg zapłodnienia u iglastych: sosna *(Pinus)* 1 — przekrój podłużny przez żeński kwiat *Pinus Laricio*: *d* — łuska okrywowa, *f*—łuska nasienna, *n*—nucellus, *i* — osłonka, *pc* — komora pyłkowa; 2 — przekrój podłużny przez zalążek. *P. Laricio*: *n* i *i*— jak wyżej, *e*—bielmo pierwotne (przedrośle = prabielmo); *a* — rodnia, *pl* — łagiewka pyłkowa; 3 — górna część zalążka sosny pospolitej *(P. silvestris)* *i*, *n*, *e* jak wyżej, *o* — komórka jajowa, *bc* — jądra komórek kanałowych, brzusznych, *h* — część szyjkowa rodni, *pt* — łagiewka pyłkowa, *gk* — plemniki, *vk* — jądro wegetatywne

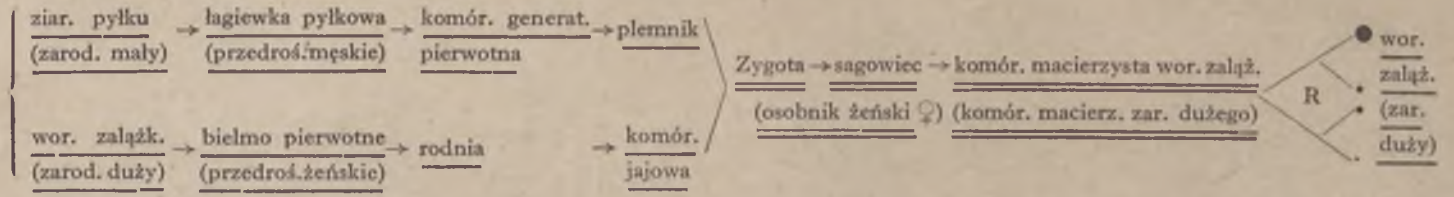
Schematy rozwojowe nagonasiennych

Schemat rozwoju sagowca

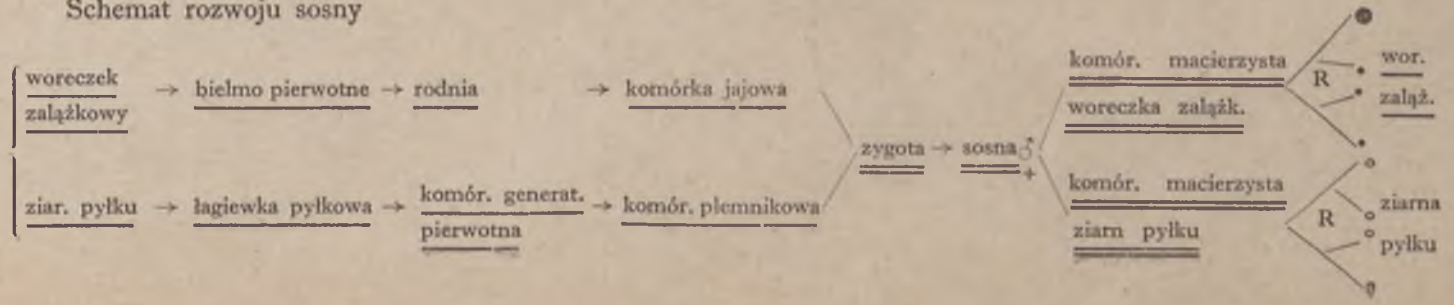
A. Osobnik męski:



B. Osobnik żeński:



Schemat rozwoju sosny



tak że powstaje 8 jąder ułożonych w dwóch piętrach. Między jądrami tworzą się początkowo błony poprzeczne, następnie — podłużne. Cztery górne jądra w górnej warstwie nie oddzielają się błonami od pozostałej części zygoty. Komórki dzielą się dalej, dzielą się również komórki dolnego piętra. W ten sposób powstaje prozarodek składający się z czterech pięter po cztery komórki w każdym piętrze. (Zaczynamy liczyć piętra od strony mikropylarnej jako odgórnej, chalazalną stronę zalążka nazywamy dolną). Komórki górnego piętra nie biorą udziału w tworzeniu się zarodka, lecz służą do przymocowania wieszadełka. Następne piętro komórek tworzy rozetkę i pośredniczy w przenoszeniu pokarmów z pozostałej części komórki jajowej do komórek tworzącego się zarodka. Następne piętro (poniżej) tworzy wieszadełko, którego komórki silnie się wydłużają i przesuwają w głąb prabielma komórki dolnego piętra, z którego powstaje zarodek. Zarodków może zawiązywać się kilka, natomiast do całkowitego rozwoju dochodzi tylko jeden. W zarodku korzeń powstaje zawsze od strony okienka a pęd — od strony przeciwnej. W zarodku rozwija się zawsze kilka liścieni.

Budowę zalążka i przebieg zapłodnienia u sosny widać na rys. 83.

13

ROŚLINY OKRYTONASIENNE

(ANGIOSPERMAE)

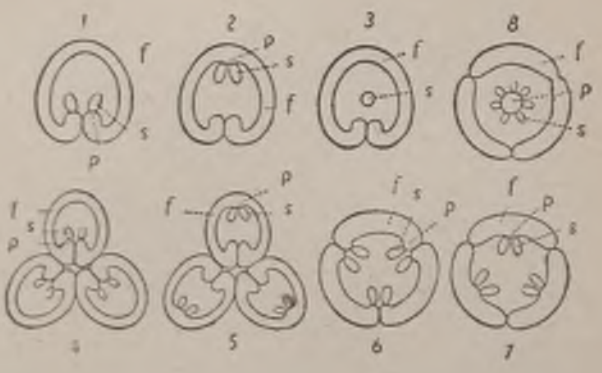
U roślin okrytonasiennych kwiat występuje w najbardziej typowej postaci, pełnej różnorodnych form i barw. Pierwotna ludowa nazwa — kwiat — określa okrytonasienne, dziś panujące rośliny na kuli ziemskiej. Zakres pojęcia kwiatu został rozszerzony na rośliny nagonasienne, gdy w wieku XX wykryto pokrewieństwo roślin okrytonasiennych z nagonasiennymi i paprotnikami. Homologizacja organów kwiatowych niekoniecznie musi się ograniczać tylko do roślin kwiatowych, może być stosowana także do paprotników. Ale są to tylko podobieństwa i homologie wskazujące na drogi ewolucji. Właściwymi zaś roślinami kwiatowymi są przede wszystkim okrytonasienne. Kwiat możemy zdefiniować w następujący sposób: jest to pęd o zmetamorfizowanym, skróconym (i skończonym) wzroście, listki jego są przekształcone w organy rozmnażania i w związku z tym są zmienione i przystosowane do tworzenia elementów rozrodczych. W kwiecie wyróżniamy pręciki (mikrosporofile), w których powstaje pyłek i słupki (makrosporofile) wytwarzające zalążki, a w nich makrospory — komórki macierzyste woreczka zalążkowego. Ponadto jako organy odgrywające rolę pośrednią w procesach płciowych u wielu roślin okrytonasiennych w kwiecie wytwarza się wyraźnie zróżnicowany okwiat. Z tego, co po-

wiedziano wyżej, wynika, że rośliny okrytonasienne są w gruncie rzeczy też roślinami zarodnikowymi, i to wytwarzającymi zarodniki małe w postaci ziarn pyłku i zarodniki duże w postaci komórek macierzystych woreczka zalążkowego. Występuje tu także wyraźna przemiana pokoleń. Pokolenie bezpłciowe (sporofit), podobnie jak u paprotników i nagonasiennych, rozrasta się tu nadzwyczajnie, tworzy najróżnorodniejsze formy korzenia i pędu o skomplikowanej budowie wewnętrznej. Pokolenie płciowe natomiast (podobnie jak u nagonasiennych) jest bardzo drobne, w rozwoju rośliny stanowi bardzo mały fragment, dostrzegalny jedynie w drodze szczegółowych obserwacji mikroskopowych. Mimo iż gametofit jest zamknięty w tkankach sporofitu, wpływ warunków zewnętrznych może powodować liczne zmiany w kształtowaniu się komórek rozrodczych, a co za tym idzie, następnych pokoleń.

Słupek i pokolenie płciowe (gametofit) żeńskie. Istnienie słupka charakteryzuje przede wszystkim kwiat roślin okrytonasiennych. Słupek tworzy się z jednego lub wielu owocolistków zrastających się brzegami. Tak powstają zamknięte komory, w których znajdują się zalążki. Plastycznie możemy sobie to wyobrazić w ten sposób, że zwijamy owocolistki u sagowców *(Cycas revoluta)*, łączymy brzegami, a zalążki wsuwamy do środka. To zrastanie się owocolistków u roślin okrytonasiennych należy rozumieć w sensie filogenetycznym, rozwojowo-ewolucyjnym. W nieustalonym bliżej czasie, w okresie mezozoicum zaczęły się wytwarzać rośliny, których owocolistki zwinęły się do wnętrza kwiatu, a brzegi zrosły i utworzyły słupek o zamkniętej komorze. Ta cecha zrastania się została dziedzicznie utrwalona. U niektórych roślin w pierwszym stadium kształtowania się słupka, kiedy części wewnętrzne kwiatu są jeszcze zamknięte w pąku, owocolistek słupka jest otwarty, a zawiązek zalążka tkwi na zewnątrz. Zrastanie owocolistka następuje w późniejszym okresie, tak że w czasie kwitnienia zalążki są zawsze ukryte w komorach. Owocolistki mają charakter i budowę liścia, są bowiem przekształconymi liśćmi tworzącymi zalążki. Owocolistki składają się głównie

Rys. 84. Metamorfoza liści u ciemiernika. Stopniowe przejście od liścia do listków okwiatu u ciemiernika *(Helleborus foetidus)*

z komórek miękiszowych, często asymilujących, z zewnątrz i wewnątrz są okryte komórkami skórki. Przez owocolistki przebiegają wiązki tkanek przewodzących, które wchodzą do zalążków i dostarczają im substancji pokarmowych. Wiązka naczyniowa jest zwrócona do wewnątrz, a wiązka łykowa na zewnątrz zalążni. Zewnętrzna część owocolistka odpowiada dolnej stronie liścia, wewnętrzna część — górnej stronie. Owocolistki zrastają się w ten sposób, że częścią zrośniętą, są zwrócone ku środkowi kwiatu. Wskutek tego, że zalążki znajdują się w zamkniętych komorach, pyłek nie może padać bezpośrednio na nie, lecz na zakończenie słupka, zwane znamieniem, które przeobraża się odpowiednio do warunków zapylania. Część dolna słupka, zwykle rozszerzona, w której znajdują się zalążki, nosi nazwę zalążni. Między zalążnią a znamieniem u wielu roślin część owocolistka tworzy szyjkę. Ilość owocolistków w słupku jest różna. Najczęściej trzy lub pięć, rzadziej cztery, dwa, jeden lub wiele. Stopniowe zmiany liści asymilujących w listki kwiatu można dobrze obserwować u ciemiernika (rys. 84). Owocolistki tworzące słupki mogą być wolne albo zrastają się ze sobą. Zależnie od ilości owocolistków mamy do czynienia ze słupkami jedno-, dwu-, trój-, cztero-

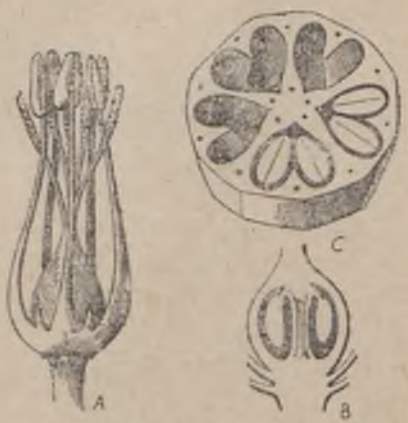


Rys. 85. Schematyczny układ przekrojów zalążni i położenia zalążków: *f* — owocolistek, *s* — zalążek, *p* — placenta - łożysko. 1, 2, 3 — słupki jednokomorowe jednokrotne; 8 — słupek jednokom. trzykrotny; 4 i 5 — trójkomorowe; 6 i 7 — sł. jednokomorowe trzykrotne

Rys. 86. Podłużny (*A*) i poprzeczny (*B*) przekrój zalążni *Butomus umbellatus* z licznymi zalążkami siedzącymi na wewnętrznej ściance zalążni

Rys. 87. Zalążnia o jednym zalążku w rodz. jaskrowatych (*Ranunculaceae*): *A*-rutewka (*Thalictrum minus*), *B* — jaskier (*Ranunculus acer*), *C* — mysiurek (*Myosurus minimus*)

Rys. 88. Zalążnia złożona z 3 owocolistków. *A* — u liliowatych *(Urginea maritima)* zalążnia trójkomorowa; *f* — zalążnia, *g* — szyjka, *n* — znamię; 2 — przekrój poprzeczny; *B*—u fiołka *(Viola odorata)* zalążnia jednokomorowa



Rys. 89. Części kwiatu lnu *(Linum usitatissimum)*: *A* — pręciki i słupek, *B*—przekrój podłużny i *C* — przekrój poprzeczny przez zalążnię pięciokomorową

pięcio- lub wielokrotnymi (rys. 85). U wielu roślin pojedyncze słupki zrastają się ze sobą ściankami bocznymi; w ten sposób powstaje słupek, który w gruncie rzeczy jest słupkowiem.

W słupkach niektórych roślin (np. liliowatych) granica między owocolistkami zaciera się, a cały słupek jest z zewnątrz okryty jednolitą skórką (rys. 85 i 88). Słupki zawierają przeważnie tyle komór, ile jest owocolistków. (Rys. 91). U jaskra słupki są jednokrotne, jednokomorowe (rys. 87), u liliowatych słupki trójkrotne,

Rys. 90. Przekrój *A* — przez kwiat i zalążnię grzybienia *(Nymphaea)*; *B* — owoc wielokomorowy ze znamionami na szczycie

Rys. 91. Kwiat mysiurka *(Myosurus minimus)* całkowity i w przekroju

trójkomorowe (rys. 88), u bodziszka pięciokrotne, pięciokomorowe, u grzybienia wielokrotne, wielokomorowe (rys. 90). W wypadku, gdy owocolistki zrastają się brzegami, tworzy się słupek jednokomorowy dwukrotny, jak u wierzby (rys. 92), jednokomorowy trójkrotny, jak u fiołka (rys. 88), i jednokomorowy pięciokrotny, jak u pierwiosnka. Oprócz przegród, które powstają w słupku ze zrośniętych ze sobą owocolistków, wytwarzają się jeszcze przegrody pozorne. Powstają one przez wzrost tkanki owocolistka wewnętrznej ścianki komory. U lnu przegrody te tworzą w każdej komorze rodzaj przepierzenia oddzielającego od siebie poszczególne zalążki (rys. 89). U jasnoty i innych roślin z rodziny wargowych przegrody pozorne całkowicie dzielą komory, tak że w rezultacie otrzymujemy słupek dwukrotny czterokomorowy. W roślinach z rodziny krzyżowych przegrody pozorne powstają przez wzrost tkanki łożyska.

Rys. 92. Różne typy znamion. 1 — barwne do płatków podobne znamiona kosaćca (*Iris*); 2 — przekrój słupka ze znamieniem u *Fragaria elatior*; 3 — przekrój przez żeński kwiat wierzby (*Salix alba*) z rozdwojonymi znamionami; 4—znamiona traw jako przykład znamion wiatropylnych: u góry u mozgi (*Phalaris minor*), niżej na lewo u pszenicy (*Triticum sativum*), na prawo u *Euchlaena mexicana*

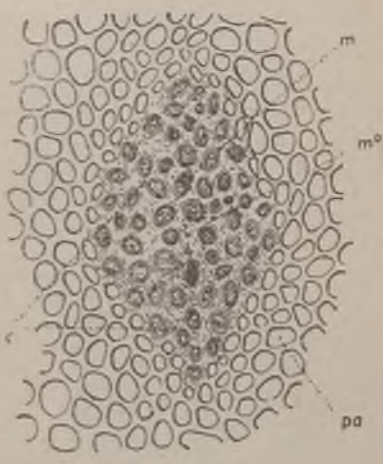
Rys. 93. Szafran *(Crocus sativus)* kwitnący; obok przy silniejszym powiększeniu jego znamię

Znamię. Znamię jest, jak mówiliśmy wyżej, organem, który służy do przyjmowania i utrzymywania pyłku. Kształt znamienia jest zależny przede wszystkim od budowy i właściwości słupka oraz od różnych sposobów przenoszenia pyłku. W najprostszym wypadku szew zrostu owocolistków pełni na szczycie słupka czynności znamienia. Charakterystyczną cechą znamienia związaną z jego czynnościami jest wytwarzanie włosków, brodawek i śluzu, dzięki czemu pyłek może być zatrzymany i utrzymany na szczycie. U roślin wiatropylnych powierzchnia znamienia jest rozszerzona w kształcie pędzelków (pokrzywa), piórek (trawy rys. 92 p. 4), wydłużonej nitki (leszczyna). U roślin owadopylnych powierzchnia znamienia ma kształt brodawek albo wykształca się w postaci listka znamieniowego (szafran rys. 93 i 94). Ilość znamion może być różna i po nich wnioskujemy o ilości owocolistków słupka. U pierwiosnka znamię ma budowę tak jednolitą, że cechy pojedynczych owocolistków zatracają się.

Szyjka słupka — cienki, często rurkowaty utwór, wykształca się przeważnie na szczycie zalążni. Nie jest to jednak regułą (u poziomki szyjka znajduje się z boku zalążni) (rys. 92). Ilość szyjek może również być różna; najczęściej jedna lub tyle, ile owocolistków. Wzdłuż szyjki u niektórych gatunków roślin przebiega wąski kanalik łączący się z komorą zalążni. Komórki we-

Rys. 94. Górna część szyjki słupka szafranu o 3 znamionach (1); 2-jedno znamię silniej powiększone; 3 — rozcięta i rozłożona rurka znamienia. Widać wiązki naczyniowe, a na szczycie stożkowate brodaweczki (*pa*)

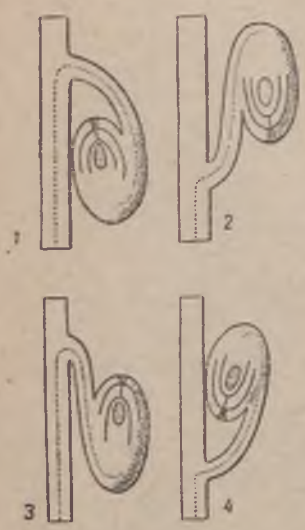
wnętrzne wyścielające, o ześluzowaciałych błonach, są bardzo bogate w substancje organiczne (rys. 95). U roślin, u których kanalik nie wytwarza się, środek szyjki zajęty jest przez podłużny walec podobnie zbudowanych komórek. Komórki te, luźno leżące, tworzą przewód, przez który przerasta łagiewka pyłkowa (odżywiana przez nie). U niektórych gatunków roślin, jak np. kaczeńca, szyjka nie wykształca się prawie wcale i znamię łączy się bezpośrednio z zalążnią. U innych roślin, zwłaszcza u tych, których zalążnia jest ukryta głęboko w kwiecie, szyjka jest dość długa i wysuwa znamię na zewnątrz kwiatu. U kosaćca (rys. 92) górna część szyjki ma budowę barwnego listka tworzącego razem z okwiatem powabnię. Na dolnej stronie tego listka tuż pod jego szczytem znajduje się znamię. U dzwonków oraz chabrów szyjka jest na pewnej przestrzeni pokryta włoskami, na które wypada pyłek z pylników.



Rys. 95. Przekrój poprzeczny przez szyjkę słupka kwiatu szałwii; tc—tkanka przeprowadzająca, *pa* — paerenchyma, *m* — część wewnętrzna błony komórek, m_9 — zewnętrzne części błony częściowo zgrubiałe i zlane ze sobą

Zalążnia. Wewnątrz zalążni znajdują się ukryte zalążki. Ilość ich jest bardzo różna. W słupkach kwiatów pierwotnych jest ich dużo. Często jednak w jednej komorze znajdują się dwa lub jeden. Część tkanki wewnętrznej ścianki zalążni, z której wyrastają zalążki, nazywamy łożyskiem (placenta). Pierwotnym rodzajem łożyska jest takie, które wytwarza się na brzegach owocolistków. Jest to łożysko brzeżne (rys. 85 p. 1, 4, 6). W słupkach zrośniętych z kilku owocolistków zalążki wyrastające na brzegu są zwrócone ku środkowi i znajdują się jak gdyby na jednej osi łożyska środkowego (rys. 85 p. 4). W wypadku gdy łożysko znajduje się na ściance owocolistka, nazywamy je ściennym. (rys. 85 p. 2, 5, 7). U pierwiosnka zalążki wyrastają nie na ściankach, lecz na osi, która znajduje się w środku zalążni i stanowi jak gdyby przedłużenie dna kwiatowego. Szczegółowe badania jednak wykazują, że mamy tu do czynienia z wtórnymi formami słupków, powstałymi niewątpliwie ze słupków pierwotnych, u których zalążki wyrastają na owocolistkach. W wypadku gdy w komorze jest tylko jeden zalążek, wyrasta on albo u dołu z podstawy komory (np. u rdestu), albo też u góry, przy czym zalążek może się zwieszać ku dołowi albo wznosić ku górze (rys. 96). Ten lub inny rodzaj łożyska ma znaczenie systematyczne.

Zalążki. Każdy zalążek wytwarza się na wewnętrznych ściankach zalążni i tworzy początkowo rodzaj wypuklinki (rys. 97). Wykształcony zalążek (rys. 96)



Rys. 96. Schematyczny układ położenia zalążków: 1 i 4 — apotropowy, 2 i 3 — epitropowy

jest osadzony na sznureczku *(funiculus)*, który łączy się z łożyskiem. Przez sznureczek przechodzi wiązka przewodząca. W zalążku wykształca się tkanka miękiszowa tworząca ośrodek, którą z zewnątrz obrasta jedna lub dwie osłonki. W dojrzałym zalążku osłonki, podobnie jak u nagonasiennych, tworzą okienka. U podstawy ośrodka wyróżniamy osadkę (chalaza), do której dochodzi wiązka przewodząca. Wiązka ta u niektórych gatunków (bukowate, brzozowate, jaskrowate) rozgałęzia się i przenika do osłonek. U większości gatunków zalążek przy chalazie jest cały zgięty w ten sposób, że okienkiem zwraca się ku łożysku. Tego rodzaju zalążek nazywamy odwróconym. U rdestów zalążek jest prosty, to znaczy, że okienko znajduje się z przeciwnej strony chalazy. Wyróżniamy jeszcze zalążek pośredni, skośny.

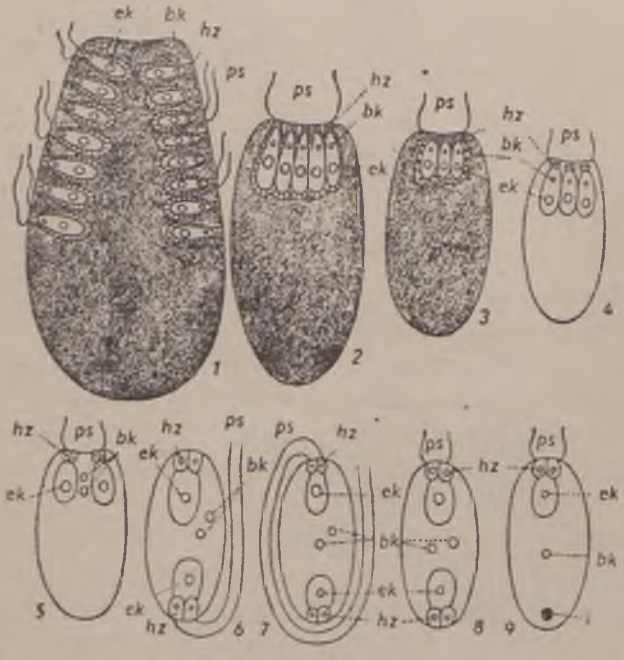
Ośrodek zalążka odpowiada, podobnie jak u nagonasiennych, zarodni dużej u paprotników różnozarodnikowych. Jedna z komórek ośrodka silniej wyrasta, staje się komórką macierzystą, dzieli się dwukrotnie. W rezultacie tego podziału, który jest redukcyjnym, powstają cztery komórki leżące w jednym szeregu. W embriologii roślin komórki te noszą nazwę makrospor lub megaspor. Od tego momentu zaczyna się wykształcać pokolenie płciowe żeńskie. Z czterech utworzonych komórek haploidalnych w większości wypadków normalnie wykształca się tylko jedna zwrócona ku chalazie. Komórka ta wyróżniająca się od innych swą wielkością tworzy już jednojądrowy woreczek zalążkowy. Woreczek zalążkowy jest komórką wydłużoną; możemy w niej wyróżnić dwa bieguny: mikropylarny i chalazalny. Jak widzimy,

Rys. 97. Tworzenie się woreczka zalążkowego w zalążku *Canna indica*

Rys. 98. Przebieg zapłodnienia u lilii *(Lilium Marthagon)* (rys. 1—11) i u jaskra *(Ranunculus cymbalaria)* (rys. 12); *S* — synergidy, *a* — antypody, *e* — jądra komórki jajowej, *g* — jądra plemnikowe, *p* — jądro bielmowe

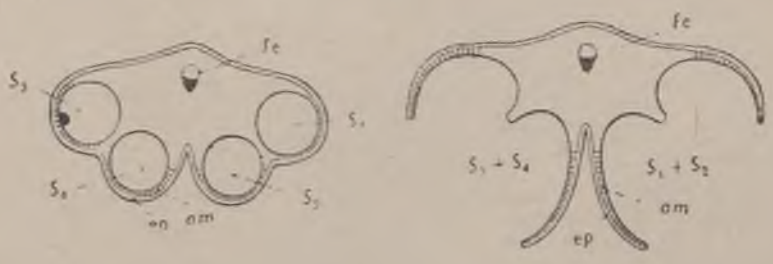
do tego momentu kształtowanie się woreczka zalążkowego przebiega zupełnie podobnie, jak u nagonasiennych. Od tego okresu dalszy jego rozwój odbywa się w sposób odrębny i swoisty dla roślin okrytonasiennych (rys. 97 i 98). W powstałym woreczku zalążkowym znajduje się początkowo tylko jedno jądro. Jądro to dzieli się i utworzone jądra potomne przesuwają się zwykle ku dwom biegunom woreczka. Tutaj każde z jąder dzieli się dwukrotnie. W ten sposób na obu biegunach powstaje po cztery jądra otoczone gęstą plazmą. Wnętrze woreczka zalążkowego wypełnia plazma z jedną dużą wakuolą. Dwa jądra, z każdego bieguna po jednym, przesuwają się ku środkowi woreczka zalążkowego i albo leżą obok siebie, albo łączą się tworząc jądro wtórne woreczka zalążkowego. Z pozostałych sześciu jąder woreczka trzy jądra leżące na biegunie zwróconym do okienka otaczają się plazmą i błonami, tworząc tzw. aparat jajowy. Jedna z tych komórek, wysunięta do wewnątrz, jest komórką jajową, z której powstanie zarodek, a dwie pozostałe są komórkami pomocniczymi (synergidy). Komórki pomocnicze, które są pozostałością zredu-

kowanej szyjki rodni, odgrywają pewną rolę podczas procesu zapłodnienia, gdyż pośredniczą przy wnikaniu plemników do komórki jajowej. Trzy komórki leżące na drugim biegunie nazywamy antypodami. Istnieją rozmaite poglądy na rolę komórek antypodalnych. Niektórzy botanicy twierdzą, że w rozwoju woreczka zalążkowego nie odgrywają one żadnej roli, lecz są tylko pozostałością komórek wegetatywnych przedrośla. Inni natomiast są zdania, że pełnią one czynności odżywcze, że możemy je uważać za rodzaj laboratoriów, w których odbywają się procesy chemiczne produkcji substancji organicznych służących do odżywiania się woreczka zalążkowego, a może i zarodka. Przedstawiony powyżej sposób rozwoju woreczka zalążkowego jest najczęstszy i uważany za normalny. Opisano jednak szereg typów odbiegających od typu normalnego. U lilii np. woreczkiem zalążkowym staje się komórka macierzysta makrospory i podziałów od komórki macierzystej do wykształconego woreczka zalążkowego jest trzy, natomiast w typie normalnym jest ich pięć. U *Peperomia* zachodzą cztery podziały, ale w woreczku zalążkowym wytwarza się 16 jąder. U obuwika *Cypripedium* wytwarzają się tylko cztery jądra, z których trzy tworzą aparat jajowy, jedno jądro biegunowe; antypod nie ma zupełnie. Bardzo ciekawą próbę wyjaśnienia woreczka zalążkowego podjął w roku 1907 botanik wiedeński Porsch. Według niego w woreczku zalążkowym typu normalnego znajdują się dwie rodnie: jedna składa



Rys. 99. Szereg ewolucyjny rozwoju woreczka zalążkowego okrytonasiennego według Porscha: 1 — typ *Sequoia*; 2 — typ cyprysowatych; 3 — typ *Ephedra*; 4 i 5 — hipotetyczne typy przejściowe; (5 — zbliżone do *Balanophpora*); 6 — typ *Casuarina* (chalazogamia), 7 — typ olchy *(Alnus)* (przejście od chalazogamii do porogamii); 8— woreczek okrytonasiennych z porogamią: *bk* — jądro komórki kanałowej brzusznej, *ek* — jądro jaja, *trz*—komórki szyjki rodni, *p* — przedrośle, *ps* — łagiewka, *i* — nierozwinięta rodnia antypodalna

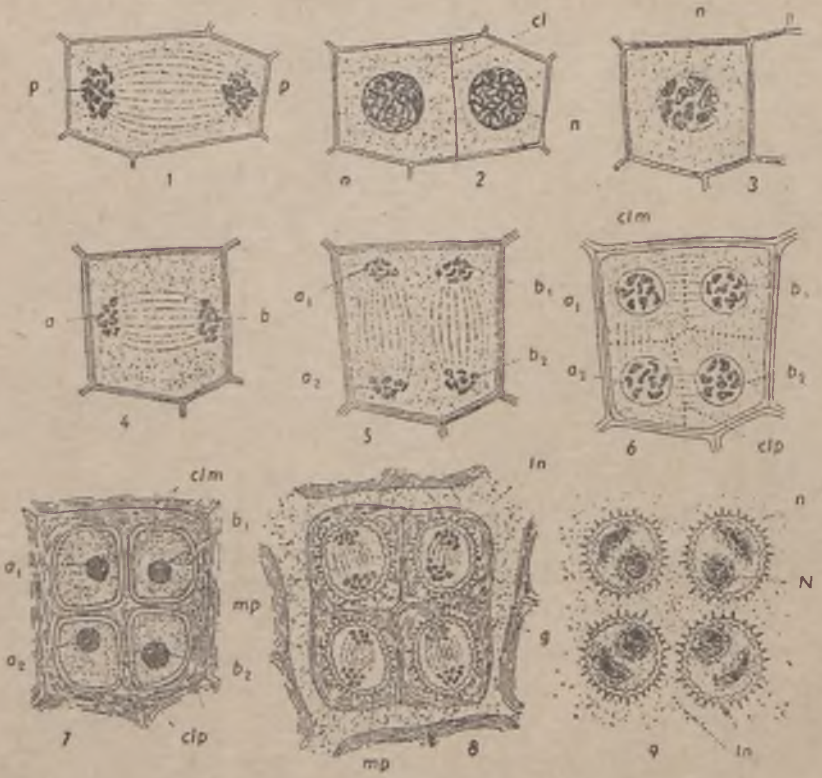
się z komórki jajowej, synergid i jądra biegunowego, druga — z trzech antypod i jednego jądra biegunowego. Szereg ewolucyjny woreczka zalążkowego u roślin kwiatowych przedstawia rysunek 99.



Rys. 100. Przekroje przez pylniki pręcika z kwiatu mięty; widać sposób ich otwierania. S_1, S_2, S_3 i S_4 — komory pyłkowe; *Fe* — wiązka naczyniowa łącznika; *am* — tkanka mechaniczna; *ep* — skórka

Pręciki. Pyłek i pokolenie płciowe (gametofit] męskie. „Organy płciowe męskie" — pręciki, to jest listki wytwarzające zarodnie małe (mikrosporofile), mają u roślin okrytonasiennych budowę bardzo jednostajną. Składają się one z nitki pręcikowej, na szczycie której znajduje się pylnik. Każdy pylnik składa się z dwóch worków pylnikowych, połączonych ze sobą tkanką miękiszową, tworzącą łącznik. Każdy z worków pylnikowych u większości gatunków zawiera po dwie komory wypełnione pyłkiem w okresie dojrzałości. Cały pylnik składa się więc z czterech komór, z których każda odpowiada zarodni małej. Wyjątek stanowią np. malwy, u których pylnik wskutek rozszczepienia pręcików jest dwukomorowy lub np. mimoza i jemioła, u których wskutek wytworzenia się tkanki dzielącej komory pylnik jest wielokomorowy.

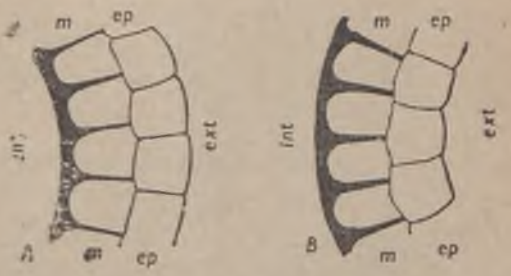
W przekroju poprzecznym pylnik ma kształt przeważnie trapezu o zaokrąglonych kątach, przy czym łącznik znajduje się od strony dłuższej ścianki trapezu (rys. 100). We wczesnych stadiach rozwojowych cały zawiązek pręcika składa się z komórek miękiszowych niewyróżnicowanych, następnie wyróżnicowują się pylniki. W pewnym momencie w młodym pylniku w czterech określonych miejscach (w kątach trapezu) komórki leżące pod skórką dzielą się błonami stycznymi. Z zewnętrznej strony powstaje ścianka pylnika z utworzonych z podziału komórek, z wewnętrznej zaś po szeregu podziałów powstają komórki macierzyste pyłku odpowiadające komórkom macierzystym zarodników małych u paprotników różnozarodnikowych. Każda komórka macierzysta pyłku (rys. 101) dzieli się dwukrotnie tworząc cztery komórki. Pierwszy i drugi podział komórki macierzystej ma charakter redukcyjny. Od tej chwili obserwujemy rozwój fazy haploidalnej i gametofitu męskiego (pokolenia płciowego). Ziarnka pyłkowe są komórkami haploidalnymi powstającymi wewnątrz błon komórki



Rys. 101. Stopniowy rozwój ziarn pyłku w komorze pyłkowej pręcika malwowatych *(Lavatera)*; widać podział jąder, tworzenie się tetrad i kształtowanie się ziarn pyłku

macierzystej. Po pewnym czasie błony ulegają ześluzowaceniu, czyli pektynizacji, rozpuszczają się i pojedyncze ziarna pyłku stają się wolne. Każde ziarno pyłku wytwarza swoje własne błony. Z wewnętrznej warstwy ścianki pylnika tworzy się, podobnie jak u nagonasiennych i paprotników, warstwa wyścielająca. Komórki tej warstwy są duże, jedno- lub kilkojądrowe i wypełnione wewnątrz substancjami zapasowymi. W okresie tworzenia się pyłku komórki tapetowe wydzielają substancje odżywcze i inne do komory pylnikowej. Często tracą samodzielność, gdyż po rozpuszczeniu błon treść ich przenika między powstałe ziarna pyłku i tam stopniowo degeneruje. W ten sposób w czterech miejscach pylnika powstają cztery dłuższe lub krótsze komory wypełnione pyłkiem. Ścianki zewnętrzne komór składają się z kilku warstw, z których najważniejszą jest warstwa mechaniczna leżąca tuż pod skórką (rys. 102). W młodych pylnikach warstwa mechaniczna jest wypełniona ziarenkami skrobi. Później zaś skrobia, a nawet treść żywa zanika, a na błonach promienistych i wewnętrznych (zwróconych

ku komorze pyłkowej) tworzą się charakterystyczne zgrubienia w postaci zdrewniałych listewek. Błony zewnętrzne zwrócone ku skórce listewek takich nie mają (rys. 102). Warstwa mechaniczna tworzy na komorach pyłkowych jak gdyby hygroskopijny pancerz. Przy wysychaniu komórki skórki kurczą się, natomiast wewnętrzne błony tkanki mechanicznej nie mogą się kurczyć, wskutek czego ścianka pęka i zwija się spiralnie. U okrytonasiennych więc pylniki pękają dzięki komórkom zewnętrznym. Pylniki otwierają się mechanicznie, a z obu woreczków pyłkowych powstaje wtedy jak gdyby jedna komora, z której wysypuje się pyłek (rys. 100). Ten sposób pękania pylników występuje u większości gatunków. U innych



Rys. 102. Ścianki komór pylnika. *A* — w powietrzu wilgotnym, *B* — w powietrzu suchym; *int* — strona wewnętrzna, *ext* — strona zewnętrzna, *m* — tkanka mechaniczna o ściankach częściowo zdrewniałych oznaczonych czarno, *ep* — skórka

Rys. 103. Różnorodność kształtów pyłku. 1 i 2-mieczyk *(Gladiolus)* suchy (1) i mokry (2); 3 — *Aechmanthera tomentosa*; 4 i 5 — *Anisacanthus virgularis*; 6 — *Dombeya Wallichii*; 7 — figlarek *(Mimulus moschatus)*; 8 i 9 — *Jussieua erecta*; 10 — wiesiołek *(Oenothera muricata)*; 11 — *Cobaea scandens*; 12 i 13 — *Lamicanthus viscosus*; 14 — dynia *(Cucurbita pepo)*; 15 — *Caliandra laxa*

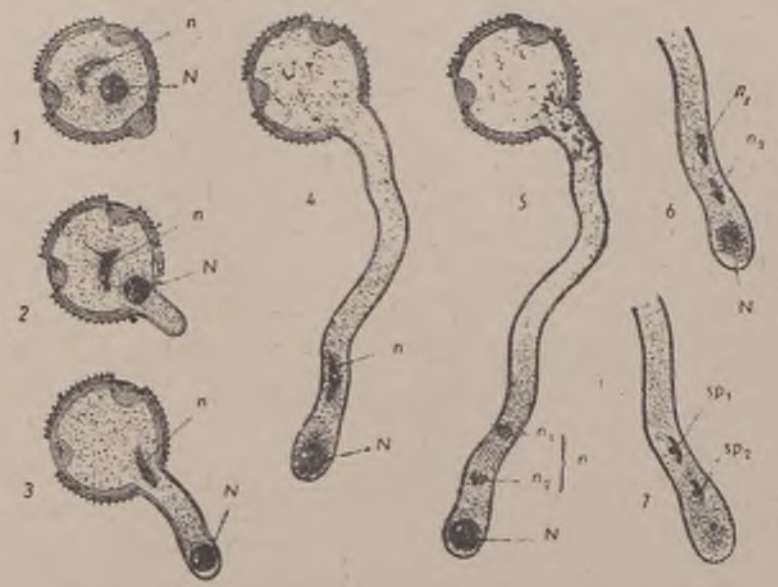
gatunków, jak np. u ziemniaka, pylniki pękają tylko od góry. U berberysu w ściance każdego worka pylnikowego powstają klapki, po jednej w każdym worku. Klapki te podnoszą się do góry i tworzy się otwór, przez który wysypuje się pyłek.

Pojedyncze ziarna pyłku mają kształt bardzo drobnych kulek, soczewek, biszkoptów, pryzmatów (rys. 103). Wielkość ich waha się w dosyć dużych granicach: średnica ziarn pyłku u leśnej niezapominajki wynosi 0,003 mm, u wiatropylnej leszczyny lub owadopylnego zawilca wynosi 0,025 mm, u żyta i złotogłowiu — 0,083 mm. Stosunkowo duże ziarna wytwarzają się w pylnikach dyni i mają wielkość 0,220 mm. Podobnie jak we wszystkich poprzednich grupach państwa roślinnego, błony ziarenek pyłku składają się z dwóch warstw: z zewnętrznej egzyny (exina), przepojonej substancją zbliżoną do kutyny, i z wewnętrznej, błonnikowej, zawierającej ciała pektynowe (intina). Egzyna odznacza się bardzo charakterystycznym urzeźbieniem, które zwłaszcza wybitnie występuje w pyłku roślin owadopylnych. Na błonie tej znajdują się rozmaite paski, igiełki, kolce, sterczące na zewnątrz ziarn pyłku, punkciki, siatki i inne. Urzeźbienie egzyny pyłku, regularnie ułożone, jest charakterystyczne dla poszczególnych gatunków roślin. Ma to bardzo ważne znaczenie zwłaszcza w niektórych metodach geobotaniki, gdyż pyłek np. w torfach może zachowywać swój kształt tysiące lat. Według niego możemy określać florę czasów ubiegłych. Posługiwanie się pyłkiem celem określenia roślinności kopalnej nazywamy metodą pyłkową. W wewnętrznej warstwie błony ziarn pyłkowych znajdują się w określonej ilości otworki, pory, przez które pyłek pobiera wodę i kiełkuje. Sposób zapylania jest czynnikiem wpływającym na budowę pyłku. U roślin wiatropylnych pyłek jest sypki i wytwarza się w olbrzymiej ilości. U roślin owadopylnych pyłek jest lepki, a ilość jego w poszczególnych kwiatach jest o wiele mniejsza.

Okwiat (*Perianthium*). Pochodzenie okwiatu roślin okrytonasiennych może być dwojakie, może on powstać z przekształcenia górnych listków pędu, jak to widzimy np. u ciemiernika (*Helleborus* rys. 89), albo też listki okwiatu są utworami powstałymi z wtórnego przekształcenia pręcików, jak np. u niektórych gatunków zawilców (*Anemone*). Często również kielich powstaje z górnych listków pędu, a korona z pręcikowia; w takim wypadku w okwiecie zróżnicowanym na kielich i koronę listki te mogą mieć pochodzenie różne.

Dno kwiatowe. Listki kwiatu są, podobnie jak liście na pędzie, osadzone na łodydze, która stanowi bezpośrednie przedłużenie szypułki kwiatowej; nazywamy ją dnem kwiatowym. U niektórych gatunków, jak u magnolii, częstego na polach mysiurka (*Myosurus minimus* rys. 91) dno kwiatowe jest wyraźnie wydłużone i ma właściwości łodygi. Dno kwiatowe u większości roślin jest bardzo skrócone, tak że trudno je niekiedy wyróżnić, tym bardziej, że tkanka jego nie

wykazuje cech swoistych i łączy się z tkankami listków kwiatowych. Przez dłuższy czas dno kwiatowe nie wchodziło nawet w treść definicji kwiatu. Ze skróceniem osi kwiatu łączy się zmniejszenie ilości listków kwiatowych. U niektórych jednak gatunków, zwłaszcza z rodziny różowatych, dno kwiatowe rozrasta się i bierze udział w tworzeniu się części kwiatów.



Rys. 104. Kiełkowanie pyłku i rozwój łagiewki pyłkowej po zapyleniu roślin okrytonasiennych. n, n_1 i n_2 — plemniki, N — jądro wegetatywne; plemniki — sp_1 i sp_2 w ostatnim (przed zapłodnieniem) stadium wzrostu łagiewki

Kiełkowanie pyłku. Zapłodnienie. Dojrzałe ziarno pyłku u okrytonasiennych w większości wypadków składa się z jednej dużej komórki wegetatywnej (łagiewkowej) i komórki mniejszej, kształtu szkiełka zegarkowego lub wrzecionowatej, generatywnej. Komórka generatywna, właściwie mówiąc, tkwi w komórce wegetatywnej, gdyż nie jest od niej oddzielona błonami (rys. 105). Bardzo często komórka generatywna jeszcze na terenie komory pylnikowej dzieli się wytwarzając dwa plemniki. Homologizując ziarno pyłku z mikrosporą różnozarodnikowych paprotników trzeba porównanie to przeprowadzać w stadium jednojądrowego ziarna pyłku. Podziały zachodzące w komórce ziarna pyłku są równoznaczne z kiełkowaniem mikrospory i tworzeniem przedrośla męskiego. Przedrośle to u okrytonasiennych jest bardzo zredukowane; właściwie z całego przedrośla pozostała jedynie plemnia z plemnikami. W porównaniu z nagonasiennymi, redukcja komórek przedrośla poszła tak daleko, że wyeliminowała wszystkie typowo somatyczne elementy ze struktury ziarna pyłku u okrytonasiennych. Przenie-

Rys. 105. Budowa dojrzałego ziarna pyłkowego u fiołka wonnego *(Viola odorata)*. Widać wyraźnie dwie błony, egzynę i intynę. W treści znajdują się: 1 — komórka wegetatywna z dużym jasnym jądrem i dwa plemniki (komórki generatywne męskie). (Rys. z nat. T. Gorczyński).

siony na znamię słupka pyłek kiełkuje. Łagiewka pyłkowa rośnie w kierunku zalążni i jednego z zalążków, przy czym przerastając przez szyjkę odżywia się kosztem jej komórek. Przestrzeń, którą w ten sposób przerasta łagiewka pyłkowa, może dochodzić do kilku, a nawet kilkunastu centymetrów. Jądro wegetatywne w łagiewce pyłkowej znajduje się przy rosnącym czole (rys. 104). Komórka lub komórki generatywne (plemniki) znajdują się w gęstej plazmie łagiewki za jądrem wegetatywnym (łagiewkowym). To są najczęstsze wypadki, gdyż podział komórki pyłku i stworzenie gamet męskich następuje dość wcześnie (przed kiełkowaniem na znamieniu), tak że we wrastającej do zalążni łagiewce prawie zawsze spotyka się już dwa plemniki (rys. 105,

Rys. 106. Łagiewka pyłkowa u szczawika zajęczego *(Oxalis acetosella)*. Jądro wegetatywne na przedzie łagiewki. Plemniki w plazmie za jądrem wegetatywnym z wyraźnie zaznaczonymi kształtami swych wrzecionowatych komórek (Rys. z nat. T. Gorczyński)

106 i 107). W rzadszych wypadkach komórka generatywna dzieli się i tworzy plemniki w łagiewce pyłkowej.

Rys. 107. Kiełkowanie pyłku u fiołka wonnego *(Viola odorata)* z wyraźnymi komórkami płciowymi (plemnikami) w treści plazmatycznej łagiewki. (Rys. z nat. T. Gorczyński)

W większości wypadków łagiewka pyłkowa dorasta do poszczególnych zalążków od strony okienka. Nie jest to jednak jedyny sposób przenikania łagiewki pyłkowej do wnętrza zalążka, wykryto bowiem, że łagiewka pyłkowa u niektórych roślin, np. bukowatych, przerasta przez szyjkę do chalazy zalążka i dopiero stąd przez komórki ośrodka dąży do woreczka zalążkowego; tego rodzaju proces nosi nazwę chalazogamii (rys. 108). U wiązu natomiast łagiewka pyłkowa przedostaje się do woreczka zalążkowego z boku przez komórki okryw. W czasie, kiedy łagiewka pyłkowa dochodzi do zalążka i przez komórki ośrodka dorasta do woreczka zalążkowego, błona na końcu łagiewki rozpuszcza się, a plazma dege-

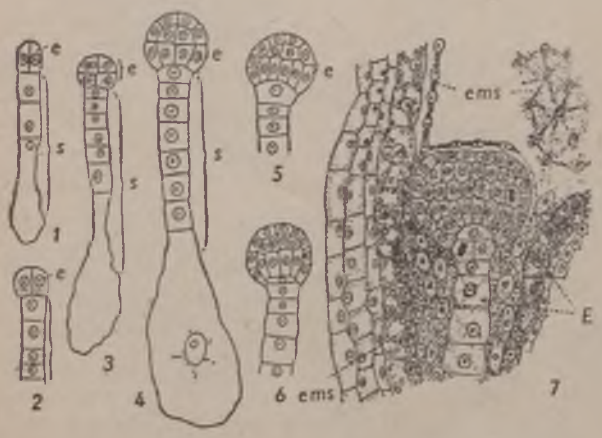
neruje. Jeden plemnik przenika do komórki jajowej i zlewa się z nią, drugi przesuwa się dalej i zlewa się z komórką bielmową (rys. 98). Obserwujemy zazwyczaj wyraźne łączenie się jądra plemnikowego z jądrem wtórnym woreczka zalążkowego. Rezultatem tego połączenia jest wielka komórka bielmowa. Podczas zapłodnienia oba plemniki są nieruchome, odgrywają jednak tę samą rolę, co i ruchome plemniki u roślin niższych, dzięki wzrostowi łagiewki pyłkowej. Z zapłodnionej komórki jajowej powstaje, jak zresztą we wszystkich grupach państwa roślinnego, zygota, która szybko kiełkuje tworząc zarodek (rys. 109). Zygota jest komórką diploidalną. Z chwilą zapłodnienia komórki jajowej kończy się faza haploidalnego pokolenia płciowego. Z komórki bielmowej powstaje tkanka zapasonośna, którą w odróżnieniu od prabielma albo bielma pierwotnego, powstałego wprost z przedrośla u nagonasiennych, nazywamy bielmem właściwym, krótko — bielmem (endosperm). Jak więc widzimy, w procesie

Rys. 108. Zjawisko chalazogamii u *Casuarina suberosa*. Przekrój przez zalążek; *p* — łagiewka pyłkowa, *m* — mikropyle, *e* — woreczek zalążkowy

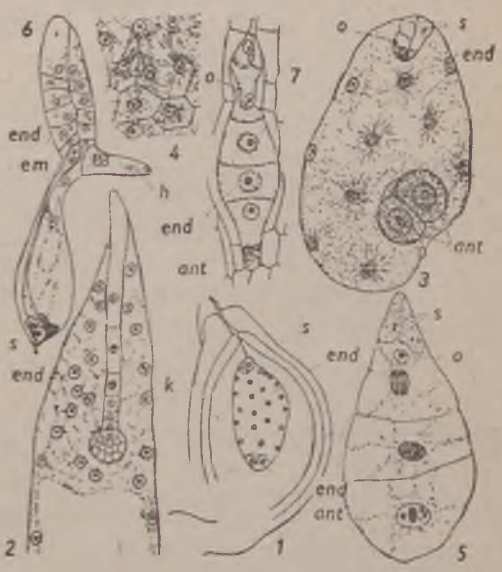
Rys. 109. Kolejne stadia rozwoju zarodka strzałki wodnej (*Sagittaria sagittifolia*); *h* — zaczątek części podliścieniowej, *c* — zaczątek liścienia, *s* — zaczątek pędu, *a* — suspensor

zapłodnienia u roślin okrytonasiennych bierze udział nie tylko komórka jajowa, ale również i komórka bielmowa; zjawisko to nosi nazwę podwójnego zapłodnienia. Jednak nie u wszystkich roślin zarodek powstaje z zapłodnionej komórki jajowej. Okazuje się, że u wielu roślin występuje szereg zjawisk anormalnych; między innymi komórki bez zapłodnienia mogą wytwarzać zarodek lub coś podobnego do zarodka i dać początek nowej roślinie. Zjawiska te należy zaliczyć do różnych typów rozmnażania wegetatywnego.

Powstawanie bielma i zarodka. Z zapłodnionej komórki bielmowej powstaje bielmo. U jednych roślin po podziałach jądra wytwarzają się błony komórkowe; u innych powstaje naprzód znaczna ilość jąder wolnych, między którymi dopiero po pewnym czasie wytwarzają się błony (rys. 111). Bielmo składa się z komórek miękiszowych, w których zostają nagromadzone substancje odżywcze dla rozwijającego się zarodka. Zygota po zapłodnieniu dzieli się błoną poprzeczną (rys. 110). Wytwarzają się dwie komórki, z których górna nazywa się mikropylarną, a dolna chalazalną. Z komórki chalazalnej powstaje zarodek, z mikropylarnej — wieszadełko. Komórka wieszadełka dzieli się błonami poprzecznymi i powstaje mniejszy lub większy rząd komórek, dzięki czemu zarodek przenika do środka woreczka zalążkowego w głąb bielma. Długość wieszadełka u rozmaitych roślin jest różna: często wieszadełko (suspensor) składa się tylko z kilku, a nawet wyjątkowo z jednej komórki. W wielu wypadkach jednak wieszadełko osiąga znaczną długość; u niektórych roślin składa się nawet z kilku rzędów komórek. Komórka tworząca zarodek dzieli się; początkowo powstaje 8 komórek. Pierwszy podział jest zawsze podłużny. Rezultatem dalszych podziałów jest ciało kuliste tkwiące w bielmie. U dwuliściennych szczyt zarodka staje się płaski i z obu stron wykształcają się dwa wyrostki, które są zawiązkami liścieni. Pomiędzy liścieniami powstaje pąk z wierzchołkiem wzrostowym. Poniżej, z komórek znajdujących się między



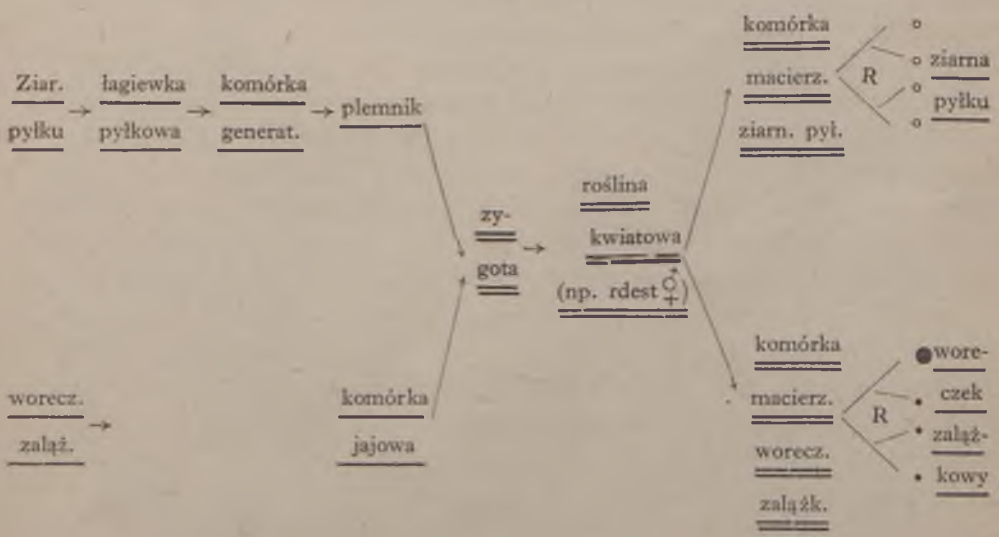
Rys. 110. Kolejne stadia rozwoju zarodka tasznika *(Capsella bursa pastoris)*; *e* i *E* — embrion, *s* — wieszadełko embrionu, *ems*—treść woreczka zalążkowego



Rys. 111. Tworzenie się bielma (endospermu) 1 — 4-jądrowe tworzenie się bielma przez szybki podział jąder; 5—7-komórkowe tworzenie się przez podział komórek; 1 — *Hypecoum*; 2 — *Lepidium*; 3 — *Nigella*; 4 — *Reseda*; 5 — *Datura*; 6 — *Physostegia*; 7 — *dlonotropa*; *end* — endosperm (bielmo), *o* — komórka jajowa, *s* — synergida, *ant* — antypody, *em* — embrion, *h* — ssawka (haustorium)

liścieniami i wieszadełkiem, tworzy się zawiązek korzenia i łodyżka podliścieniowa. U jednoliściennych wytwarza się tylko jeden liścień, a stożek wegetacyjny powstaje z boku. W ten sposób z zalążka tworzy się nasienie, a z niego wyrasta nowa roślina (sporofit).

Również i rozwój roślin okrytonasiennych możemy ująć w pewien schemat, który w skrócie podajemy poniżej:



14

OGÓLNE ZESTAWIENIE

Syntetyzując wiadomości omawianego przedmiotu w zakresie rozmnażania organizmów roślinnych możemy snuć na tle filogenezy świata roślinnego zasadniczą myśl ewolucji, która w wielu punktach wyraźnie się przejawia. Jeśli przyjąć rozprątki i wiciowce za organizmy pierwotne pod względem rozmnażania, to już okrzemki i sprzężnice dają obraz stosunków bardziej skomplikowanych, będących zarazem wskaźnikiem pewnej specjalizacji komórek rozrodczych i wyodrębnienia się procesu płciowego. Fakty powyższe często u roślin niższych trudno uchwytne, w miarę rozwoju filogenetycznego stają się pierwszoplanowymi, jak to się dzieje np. u ramienic (*Characeae*).

Ciekawie też pod względem rozwojowym przedstawia się przegląd form rozmnażania wegetatywnego u różnych grup świata roślinnego. Najprostsze znane przejawy tego procesu spotykane u rozprątków ulegają zmianie, a właściwie wzbogaceniu form przez tworzenie pływek i różnych typów zarodników. U porostów i wątrobowców pojawiają się wielokomórkowe rozmnóżki wegetatywne, które u wyższych osiowców przechodzą w zjawiska typowej apogamii.

Trzecią drogą, po której można śledzić stosunki filogenetyczno-rozwojowe świata roślinnego, jest zagadnienie przemiany pokoleń u organizmów przedstawicieli poszczególnych grup świata roślinnego. Według większości autorów zjawisko przemiany pokoleń ma charakter powszechny w organizmach roślinnych. Tylko u jednych daje się prześledzić z wielkim trudem dopiero na drodze szczegółowych badań i obserwacji, podczas gdy u innych występuje wyraźnie. Przemiana pokoleń jednakże u niższych grup plechowców ma zazwyczaj niepełny charakter. Zwykle pokolenie o fazie haplo- lub diploidalnej jest zredukowane. Gdy przeważająca część okresu życiowego przebiega w jednej fazie, mówimy wtedy o haplobiontach lub diplobiontach. Wśród niższych plechowców mamy przykłady tak jednej, jak i drugiej kategorii organizmów. Jest jednak i trzecia kategoria, w której zróżnicowane są wyraźnie obydwa pokolenia; w niej cykl rozwojowy rośliny zawiera okresy tak haplo- jak i diplofazy (pokolenia płciowego i bezpłciowego), a typowym przykładem tego są niektóre brunatnice, grzyby, mszaki, paprotniki. W cyklu rozwojowym osobnika obydwa pokolenia następują jedno po drugim. Od normalnego ukształtowania się jednego z wymienionych stadiów zależy drugie. Warunki zewnętrzne mogą, choć nie zawsze, w jednakowym stopniu wpływać na zmiany tak w życiu gametofitu, jak i sporofitu, powodując niekiedy utrwalenie się tych zmian i powstanie nowych form roślinnych. Różne procesy zachodzące w organizmach roślinnych, które

uniemożliwiają normalne funkcjonowanie organów rozrodczych, są zarazem powodem powstawania zjawisk i urządzeń rozmnażania wegetatywnego. Obserwacje moje i doświadczenia licznych uczonych udowodniły, że w okresach uniemożliwiających rozród płciowy rośliny (z kwiatowymi włącznie) zdolne są do rozmnażania się sposobem bezpłciowym. Tym tłumaczy się powstawanie licznych bulwek rozmnóżkowych (jak u *Ranunculus ficaria*, *Dentaria bulbifera*, *Lilium bulbiferum* i innych).

Rys. 112. Kwiaty jasnoty różowej (*Lamium amplexicaule*) *a* — dojrzały kwiat kleistogamiczny, *b* — pączek kwiatu normalnego (chasmogamicznego). Powiększenie ok. 6 × wg T. Gorczyńskiego

W związku z poruszonym tematem należy zapoznać Czytelnika ze sprawą swoistego przystosowania niektórych grup roślin okrytonasiennych do przetrwania okresu nie sprzyjającego normalnemu kwitnieniu, zapyleniu i zapłodnieniu przy kwiatach normalnych. Mam na myśli powstawanie kwiatów drobnych, kleistogamicznych, znanych przede wszystkim w rodzajach *Viola*, *Cardamine*, *Oxalis*, *Lamium*, *Triticum*, *Impatiens* i wielu jeszcze innych (rys. 112, 113 i 114). Zapylają się one własnym pyłkiem w przeciwieństwie do wszędzie omawianych zjawisk w biologii kwiatów, iż zapylanie daje najlepsze rezultaty, jeśli odbywa się wśród różnych osobników tego samego (w zasadzie) gatunku. Obecnie odróżnia się wiele rodzajów tzw. krzyżowego zapylania, których poznanie może mieć ważne znaczenie praktyczne, szczególnie w dziale produkcji roślinnej. Tym bardziej dziwne wydaje się właśnie owo wsobne zapylenie i zapłodnienie, które w rezultacie prawie nie zawodzi w wytwarzaniu nasion *). Wa-

Rys. 113. Układ znamienia i pylnika w kwiatach kleistogamicznych u fiołka wonnego (*Viola odorata*). Pow. ± 100 × wg T. Gorczyńskiego

*) Zagadnienia wegetatywnych krzyżówek oraz nowej interpretacji procesu zapylania u drzew owocowych, zbóż i innych roślin uprawnych są tematem licznych prac agrobiologów radzieckich kierujących się przodującą teorią Miczurina-Łysenki.

Omówienie tych spraw wykracza jednak poza ramy niniejszej książki. Z punktu widzenia tej teorii wypadnie być może zrewidować wiele wniosków teoretycznych opartych na materiale podanym w tej książce. Czytelników, którzy interesują się tymi sprawami, odsyłamy do odpowiedniej literatury przede wszystkim do dzieł Miczurina i Łysenki.

Rys. 114. Zapylanie w kwiatku kleistogamicznym szczawika zajęczego *(Oxalis acetosella)*. Znamię słupka otoczone pylnikami. Przerastanie łagiewek pyłkowych z pylnika na znamię słupka. Pow. ± 350× wg T. Gorczyńskiego

runki zewnętrzne: odżywianie, oświetlenie, temperatura, musiały spowodować głębokie zmiany w fizjologicznych właściwościach organizmów i ich organów rozrodczych u przedstawicieli kilkudziesięciu rodzin roślin okrytonasiennych (rys. 113 i 114), co najlepiej można zauważyć na załączonych rysunkach. W wielu wypadkach zabiegi stosowane przez człowieka, zmierzającego do intensyfikacji produkcji i ulepszenia jakości produktu surowca roślinnego, doprowadzają do częściowej lub całkowitej sterylności rośliny (rośliny ozdobne tzw. pełne, niektóre drzewa owocowe, banany i wiele innych); tu więc pozostaje, jako jedyna droga rozmnażania, proces wegetatywny: przeszczepianie i transplantacja części organów na inny organizm lub pożywkę w celu odtworzenia rośliny produkującej przy pomocy podkładki albo też regeneracyjnego systemu korzeniowego. Obecnie istnieją metody umożliwiające eliminację sterylności kwiatów z zachowaniem innych dodatnich cech rośliny, choć w wielu wypadkach odbija się to na jakości produktu roślinnego (rośliny pełnokwiatowe ozdobne).

W związku z procesami zapłodnienia interesującym zagadnieniem jest stosunek kształtowania się stopniowych zmian przystosowawczych w organizmach w zależności od środowiska wodnego. Trzeba tu powiedzieć, że w środowisku wodnym u organizmów niższych procesy te, mimo wielkiej różnorodności, przecież odbywają się dość podobnie. Swoiste przystosowania spotykane u grzybów wyższych (workowców i podstawczaków) są też ciekawym przejawem przystosowań organizmów do ominięcia środowiska wodnego jako pośrednika dla wolnych gamet. Jeszcze u mszaków, a nawet paprotników proces płciowy odbywa się za pośrednictwem wody, w której wydzielane substancje hormonalne kierują ruchem własnym plemników. Ale u mszaków i paprotników plemniki całkowicie opuszczają plemnię. Już w obrębie paprotników nasiennych, mimo braku szczegółów obserwacyjnych, możemy przypuścić, że sytuacja uległa zmianie. Zmiana ta przypominałaby stosunki panujące u obecnie żyjących sagowców, u których plemniki odbywają drogę w plemni wraz z całym drobnym przedroślem zamkniętym w mikrosporze (pyłku). Tym razem treść cała plemni (po wykiełkowaniu pyłku w okienku) pod wpływem wydzielin zalążka, a właściwie komórki jajowej, uzyskuje kierunkowość wzrostu (chemotaktyzm) i doprowadza plemniki do miej-

sca, skąd po degeneracji treści komórki wegetatywnej, odbywa się ich dalsza wędrówka aż do miejsca połączenia się obydwu gamet. W obrębie roślin kwiatowych widzimy ciekawe zróżnicowanie i dalsze uzależnianie się poszczególnych elementów w biocenozie celem utrwalenia i zapewnienia procesów zapylenia. U nagonasiennych więc ruch powietrza, a u okrytonasiennych owady pośredniczą w przenoszeniu pyłku. Bardzo dużo przykładów ścisłej zależności tych funkcji znajdujemy w budowie kwiatu i ciała owadów. Nie tylko jednak przystosowania morfologiczne mają w tych wypadkach ważne znaczenie biologiczne. Daleko ważniejsze są przystosowania fizjologiczno-biochemiczne. Zapylanie, to jest mechaniczne przenoszenie pyłku na znamię, nie jest równoznaczne z właściwym zapylaniem. Tak zapewne można by myśleć. Praktyka i ścisłe badania wykazały, że tylko określony pyłek może kiełkować na określonym znamieniu, a to zależy od pewnych współzależności wydzielinowo-hormonalnych pyłku i znamienia. Znamy wypadki, że pyłek nie tylko sam nie kiełkuje, ale swoją obecnością uniemożliwia kiełkowanie innym ziarnom pyłku na znamieniu, a więc działa toksycznie. W innych wypadkach sam pyłek nie kiełkuje, ale nie wpływa hamująco na kiełkowanie innych pyłków. Znane są również zjawiska, że pyłek kiełkuje, ale jego łagiewka nie wrasta w tkankę znamienia i szyjki. Czasami znów wrasta, ale wzrost zostaje zahamowany w połowie drogi i do zapłodnienia nie dochodzi. Przytoczone tu wypadki są pewną ilustracją skomplikowanych stosunków fizjologicznych, występujących wśród roślin kwiatowych, uzależnionych od aparatu wydzielniczo-hormonalnego męskich i żeńskich organów rozmnażania, które rozszerzyły zakres swego wpływu już nie tylko na samą plazmę komórki wegetatywnej pyłku, ale i na proces kiełkowania, tworzenia łagiewki, wzrostu i jej kierunku i ewentualnego zapłodnienia. W rezultacie jednak obserwujemy całkowitą niezależność tych wielce skomplikowanych procesów od środowiska wodnego, kosztem ścisłego związania się z tkanką znamienia i szyjki słupka w momentach przerastania łagiewki do zalążka.

Wydaje się też rzeczą niewątpliwą, że kształtowanie się nowego sporofitu (zarodka) w tkance sporofitu macierzystego (zalążek, zalążnia) oraz tworzenie swoistego sporofitu, zarodka przetrwalnikowego (nasienie), jest również wynikiem procesów ewolucyjnych zmierzających do przystosowania się organizmu do warunków życia lądowego, w których dostateczna ilość wody potrzebna do normalnego życia pojawia się tylko w pewnych okresach, dość ściśle w czasie określonych (pory roku).

Jak z tego wynika, środowisko wodne i stopniowe przystosowywanie się roślin do życia lądowego wywarło decydujący wpływ na ukształtowanie się tak morfologiczne, jak i fizjologiczne w świecie roślin wyższych, które z racji różnych, swoistych cech nazwaliśmy nasiennymi lub kwiatowymi.

To oczywiście nie oznacza negacji znaczenia innych czynników w przyrodzie. Wprost przeciwnie, można powiedzieć, że dopiero zespół czynników związanych z wymienionymi uprzednio doprowadził do stopniowych przekształceń organizmów roślinnych, które w zagadnieniach rozmnażania na najwyższym poziomie utrzymały się w postaci skomplikowanych i zmetamorfizowanych pędów ulistnionych nazwanych kwiatami.

ŹRÓDŁA

Dzieła używane przez T. Gorczyńskiego do pracy nad *Rozmnażaniem się roślin* Januarego Kołodziejczyka.

1. Prof. Busz H. A. — *Курс систематики высших растений.* Moskwa 1944.
2. Gorczyński T. — Badania histo-cytologiczne nad kwiatami kleistogamicznymi u *Lamium amplexicaule, Oxalis acetosella i Viola odorata. Acta Soc. Bot. Poloniae.* Vol. VI, nr. 3. 1929.
3. Prof. Krisztofowicz A. N. — *Палеоботаника.* Moskwa 1941.
4. Kursanow A. J. i Komarnicki H. A. — *Курс низших растений, Советская Наука* 1945.
5. Lilpop Jerzy — *Roślinność Polski w epokach minionych.* Lwów 1929.
6. Malinowski Edmund — *Anatomia roślin.* Warszawa 1938.
7. Meyer K. J. — *Размножение растений.* Moskwa 1937.
8. Akademik Keller B. A. — *Основы эволюции растений.* Moskwa 1948.
9. Dr Mevius Walter — *Miehes Taschenbuch der Botanik, Systematik.* Lipsk 1944.
10. Razdorskij F. — *Анатомия растений, Советская Наука* 1949.
11. Dr Schnarf Karl — *Embriologie der Angiospermen.* Berlin 1929.
12. Troickaja O. W. — *Систематика растений,* Ogiz. Moskwa 1935.
13. Dr Wettstein Richard — *Handbuch der systematischen Botanik.* Wiedeń 1929.
14. Tachtadżan A. Ł. — *Морфологическая эволюция покрытосеменных.* Moskwa 1948.
15. Zimmerman W. — *Die Phylogenie der Pflanzen.* Jena 1930.
16. Żukowski P. M. — *Ботаника, Советская Наука.* 1949.

Uwaga: W każdym z wymienionych dzieł znajdzie Czytelnik wykaz literatury; najobficiej w źródła zaopatrzone są dzieła wymienione pod nr 7, 8, 11, 13, a szczególnie — 14.

SPIS RYSUNKÓW

Str.

Rys. 1. Filogenia komórek rozrodczych 6
„ 2. Tworzenie się auksospor (proces płciowy) u okrzemki *Navicula viridula* 9
„ 3. Auksospora u *Surirella saxonica* 9
„ 4. Tworzenie się mikrospor u *Corethron Valdiviae* 10
„ 5. Tworzenie się auksospor i mikrospor (rozmnażanie się) u okrzemki *Biddulphia mobiliensis* 10
„ 6. Budowa komórki i rozmnażanie się skrętnicy 12
„ 7. Kopulacja jąder w zygocie skrętnicy i podział redukcyjny jądra zygoty 12
„ 8. Tworzenie się zygot u *Mesocarpus* 13
„ 9. Tworzenie się zygot u *Mougeotia* 13
„ 10. Rozmnażanie się przedstawicieli *Desmidiaceae* 14
„ 11. Rozwój jednokomórkowych glonów z grupy *Volvocales* (zielenicy *Chlamydomonas)* 16
„ 12. Rozmnażanie się zielenic *Ulotrix* i *Vaucheria* 17
„ 13. Budowa i rozwój kolonii toczka 19
„ 14. Schemat rozwoju ewolucyjnego glonów zielonych według Kursanowa 20
„ 15. Kopulacja gamet u brunatnicy *Ectocarpus siliculosus* 21
„ 16. Gametangia u brunatnic *Ectocarpus* i *Sphacelaria* 21
„ 17. Budowa i rozwój brunatnicy *Dictyota dichotoma* 22
„ 18. Oogamia u *Dictyota dichotoma* 22
„ 19. Schemat przemiany pokoleń u brunatnicy *Dictyota* 23
„ 20. Schemat przemiany pokoleń u brunatnicy *Cutleria* 23
„ 21. Brunatnica *Laminaria saccharina* — sporofit 24
„ 22. Gametofit brunatnicy *Laminaria digitata* 25
„ 23. Schemat przemiany pokoleń brunatnic *Laminaria* 26
„ 24. Morszczyn *(Fucus vesiculosus)* 26
„ 25. Rozwój morszczynu 27
„ 26. Schemat przemiany pokoleń u brunatnic *(Fucaceae)* 28
„ 27. Schematyczny zarys przemiany pokoleń (zestawienie szeregowe gametofitów i sporofitów) u brunatnic *(Phaeophyceae)* 28
„ 28. Schemat rozwoju ewolucyjnego brunatnic według Kursanowa 29
„ 29. Krasnorost słodkowodny *Batrachospermum moniliforme* 29
„ 30. Plecha krasnorostu *Phyllophora Brodei* 29
„ 31. Rozwój krasnorostu *Batrachospermum moniliforme* 30
„ 32. Rozwój zaplodnionego karpogonu krasnorostu *Dudresnaya* 30
„ 33. Schematyczny obraz przemiany pokoleń i faz u krasnorostów 31
„ 34. Plecha ramienicy *Nitella* 32
„ 35. Rozwój ramienicy *Chara* 32

Str.

Rys. 36. Pływki grzyba *Saprolegnia* ... 33
„ 37. Pleśń biała, zarodnia z zarodnikami ... 34
„ 38. Zarodniki konidjalne mączniaka ... 34
„ 39. Zarodniki konidjalne kropidlaka i pędzlaka ... 34
„ 40. Liść ziemniaka porażony grzybem *Phytophtora infestans* — zarazą ziemniaczaną 35
„ 41. Przekrój poprzeczny liścia ziemniaka z zarazą ziemniaczaną ... 35
„ 42. Zarodniki i pływki zarazy ziemniaczanej ... 36
„ 43. Rozmnażanie płciowe *Monoblepharis sphaerica* ... 36
„ 44. Tworzenie się zygot i ich kiełkowanie u *Mucor mucedo* ... 37
„ 45. Niektóre stadia w rozwoju workowca *Pyronema confluens* ... 39
„ 46. Owocnik smardza *Morchella esculenta* ... 40
„ 47. Fragment hymenium smardza z workami i wstawkami ... 40
„ 48. Proces płciowy i wytwarzanie worka u *Schizosaccharomyces octosporus* ... 40
„ 49. Proces płciowy i wytwarzanie worka (ascus) oraz zarodników workowych u *Eremascus fertilis* ... 41
„ 50. Podstawki z zarodnikami na blaszce kapelusza owocnika u serowiatki *(Russula rubra)* ... 42
„ 51. Ciało owocnika pieczarki *(Psaliota campestris)* ... 42
„ 52. Warstwa zarodnikująca u pieczarki ... 42
„ 53. Kolejne stadia powstawania podstawek u grzybów podstawczaków *(Basidiomycetes)* ... 43
„ 54. Schemat rozwojowy rdzy zbożowej ... 45
„ 55. Aecidium i aecidiospory rdzy zbożowej na przekroju liścia berberysu (kwaśnicy) 45
„ 56. Rdza zbożowa, powstawanie zarodników zimowych, ich kiełkowanie i tworzenie podstawek i zarodników podstawkowych ... 46
„ 57. Kolejność powstawania zarodników rdzy zbożowej ... 46
„ 58. Formy podstawek u podstawczaków ... 47
„ 59. Rodnie i plemnie wątrobowca *Marchantia* ... 48
„ 60. Koniec otwartej plemni u płonnika i otwarta szyjka rodni u *Mnium* ... 49
„ 61. Mech liściasty płonnik *(Polytrichum commune)* ... 50
„ 62. Mech liściasty *Funaria hygrometrica* i jego rozwój ... 50
„ 63. Elementy organów rozrodczych płonnika: wstawka, plemnia, rodnia i plemnik 51
„ 64. Mech torfowiec, jego budowa morfologiczna i rozwój ... 51
„ 65. Stadia rozwojowe sporogonu u wątrobowców ... 52
„ 66. Stadia rozwojowe sporogonu u mchu liściastego *(Funaria hygrometrica)* ... 52
„ 67. Schemat rozwoju mchu ... 54
„ 68. Schemat przemiany pokoleń u rodniowców ... 55
„ 69. Rozwój widliczki *(Selaginella)* p. 1—11 i wyrastanie nowych roślin z kłoska sporonośnego rośliny matecznej u *S.* Apus — 12 ... 57
„ 70. Rozwój zarodni u paproci *Asplenium* ... 58
„ 71. Przedrośle paproci *Dryopteris* ... 59
„ 72. Budowa łodygi paproci orlicy ... 59
„ 73. Podziemne bulwkowate przedrośle paprotnika *Psilotum triquetrum* ... 60
„ 74. Przedrośla skrzypów ... 60
„ 75. Kiełkujący zarodnik (A i B), przedrośle widłaka (B) *Lycopodium annotinum* ... 61
„ 76. Dojrzałe plemnie i plemnik paproci ... 62
„ 77. Schemat rozwoju paproci jednakozarodnikowych ... 62

Str.

Rys. 78. Sagowiec *Cycas revoluta* 67
„ 79. Górna część przedrośla sagowca *(Dioon edule)*, z rodniami w momencie zapłodnienia (A), i 2 młode zaczątki zarodków (B) 68
„ 80. Plemniki w łagiewce pyłkowej (A) u sagowca *Zamia floridana* i plemnik tegoż sagowca (B)..... 70
„ 81. Pęd sporonośny skrzypu i cisa na przekrojach: podłużnym i poprzecznym 72
„ 82. Pyłek sosny *(Pinus Laricio)* i rozwój łagiewki pyłkowej u drzew iglastych 73
„ 83. Budowa zalążka i przebieg zapłodnienia u iglastych (sosny) 73
„ 84. Metamorfoza liści u ciemiernika. Stopniowe przejście od liścia do listków okwiatu 76
„ 85. Schematyczny układ przekrojów zalążni i położenia zalążków 77
„ 86. Podłużny i poprzeczny przekrój zalążni u *Butomus umbellatus* 77
„ 87. Zalążnia o jednym zalążku w rodzinie jaskrowatych 77
„ 88. Zalążnia złożona z 3 owocolistków. A — u liliowatych *(Urginea maritima)*: B — u fiołka wonnego *(Viola odorata)* 78
„ 89. Części kwiatu lnu *(Linum usitatissimum)* 78
„ 90. Przekrój przez kwiat i zalążnię grzybienia *(Nymphaea)* 78
„ 91. Kwiat mysiurka *(Myosurus minimus)* 78
„ 92. Różne typy znamion 79
„ 93. Kwitnący szafran *(Crocus sativus)*; obok przy silniejszym powiększeniu jego znamię 80
„ 94. Szyjki słupków i znamiona szafranu 80
„ 95. Przekrój poprzeczny przez szyjkę słupka szałwii 81
„ 96. Schematyczny układ położenia zalążków 82
„ 97. Tworzenie się woreczka zalążkowego u *Canna indica* 82
„ 98. Woreczek zalążkowy i przebieg procesu zapłodnienia u lilii *(Lilium Marthagon)* 83
„ 99. Szereg ewolucyjny rozwoju woreczka zalążkowego (Okrytonasiennych) 84
„ 100. Przekroje przez pylniki mięty 85
„ 101. Rozwój ziarn pyłku u malwowatych *(Lavatera)* 86
„ 102. Ścianki komór pylnika. A — w powietrzu wilgotnym. B — w powietrzu suchym 87
„ 103. Różnorodność kształtów ziarn pyłkowych u różnych roślin kwiatowych 87
„ 104. Kiełkowanie pyłku i rozwój łagiewki pyłkowej roślin okrytonasiennych 89
„ 105. Budowa dojrzałego ziarna pyłkowego u fiołka wonnego 90
„ 106. Łagiewka pyłkowa u szczawika zajęczego *(Oxalis acetosella)* 90
„ 107. Kiełkowanie pyłku u fiołka wonnego 90
„ 108. Chalazogamia u *Casuarina suberosa* 91
„ 109. Kolejne stadia rozwoju zarodka strzałki wodnej *(Sagittaria sagittifolia)* 91
„ 110. Kolejne stadia rozwoju zarodka tasznika *(Capsella bursa pastoris)* 92
„ 111. Tworzenie się bielma u różnych roślin 93
„ 112. Kwiaty u jasnoty różowej: a — dojrzały kwiat kleistogamiczny; b — pączek kwiatu normalnego 95
„ 113. Układ znamienia i pylnika w kwiatach kleistogamicznych u fiołka wonnego 95
„ 114. Zapylanie w kwiatku kleistogamicznym szczawika zajęczego *(Oxalis acetosella)*. Znamię słupka otoczone pylnikami. Przerastanie łagiewek pyłkowych z pylników na znamię słupka 96

SPIS TREŚCI

		Str.
	Uwagi do nowego wydania	3
1.	Wstęp	5
2.	Wiciowce roślinne	8
3.	Okrzemki	8
4.	Sprzężnice	11
5.	Zielenice	15
6.	Brunatnice	20
7.	Krasnorosty	29
8.	Ramienice	31
9.	Grzyby	33
10.	Mszaki	48
11.	Paprotniki	55
12.	Rośliny nasienne. Nagonasienne	64
13.	Rośliny okrytonasienne	75
14.	Ogólne zestawienie	94
	Źródła	99
	Spis rysunków	100

Cena zł 6,50

PEDAGOGICZNA
BIBLIOTEKA
WOJEWÓDZKA
Gdańsk-Wrzeszcz
Al.Gen.J.Hallera 14
6180