Władysław M. Kozłowski.

BUDOWA I ŻYCIE ROŚLINY

WYKŁAD BOTANIKI

DLA SZKÓŁ WYŻSZYCH I SAMOUKÓW

Z 171 RYSUNKAMI

Wydawnictwo M. ARCTA w Warszawie
Kraków — S. A. Krzyżanowski — 1908

BUDOWA I ŻYCIE ROŚLINY

DRUK M. ARCTA w WARSZAWIE, ORDYNACKA 3

18135

134359

8084

SPIS RZECZY.

Przedmowa. Pogląd na całokształt nauk botanicznych 1

Rozdział I. Morfologia kształtów zewnętrznych i główne typy królestwa roślinnego 7

1. Budowa nasienia. — 2. Części rośliny. — 3. Kwiat. — 4. Zapylenie. 5. Morfologia kształtów zewnętrznych. — 6. Kwiat jako pęd przekształcony. — 7. Wąsy, kolce, ciernie, bulwy, cebule, włoski. — 8. Plecha; podział roślin.

Rozdział II. Komórka roślinna 20

1. Komórka jako pierwiastek morfologiczny rośliny. — 2. Organizmy jednokomórkowe. — 3. Pełzak. — 4 Wiciowiec. — 5. Śluzowce. — 6. Okrzemki. — 7. Oedogonium. — 8. Pierwotek. — 9. Vaucheria. — 10. Mobilia. — 11. Komórka, jako organizm elementarny.

Rozdział III. Budowa komórki roślinnej 43

1. Komórka u roślin wyższych. — 2. Protoplazma. — 3. Wygląd mikroskopowy protoplazmy. — 4. Jej skład chemiczny. — 5. Jej budowa cząsteczkowa. — 6. Jądro. — 7. Błona; jej chemia. — 8. Jej budowa cząsteczkowa i własności optyczne. — 9. Jej różniczkowanie i wzrost. 10. Teorye wzrostu błony. — 11. Sok komórkowy.

Rozdział IV. Życie komórki roślinnej. 78

1. Ruchy protoplazmy. — 2. Ich warunki. — 3. Komórka, jako przyrząd osmotyczny. — 4. Nieprzenikliwość plazmy dla niektórych ciał. 5. Warunki życia komórki.

Rozdział V. Niestałe składniki komórki 92

1. Chloroplasty i chromoplasty. — 2. Leukoplasty. — 3. Ziarka mączki. — 4. Ziarka i kryształy białkowe; globoidy. — 5. Kryształy i cystolity.

Rozdział VI. Powstawanie komórek 103

1. Samorodztwo i pochodzenie komórek. — 2. Dzielenie się komórek, jako następstwo wzrostu. — 3. Dzielenie kariokinetyczne. — 4. Dzielenie redukcyjne. — 5. Centrozomata przy dzieleniu. — 6. Fragmentacya i dzielenie komórek wielojądrowych. — 7. Pączkowanie. — 8. Swobodne powstawanie komórek.

Rozdział VII. Spojenia komórek. Tkanki 118

1. Organizmy jednokomórkowe. — 2. Kolonie i rodziny komórek. — 3. Tkanki. — 4. Zależność wzrostu od płaszczyzny podziału. — 5. Kierunki podziałów. Antikliny i perikliny. — 6. Osobnik roślinny; zarodek i warstwy zarodkowe. — 7. Wzrost końcowy i środkowy; komórka wierszchołkowa. — 8. Zróżniczkowanie komórek.

Rozdział VIII. Główne typy tkanek roślinnych 136

1. Tkanka twórcza. — 2. Tkanki trwałe. — 3. Połączenia plazmatyczne. — 4. Zlanie się komórek w utwory rurkowe. — 5. Przestwory międzykomórkowe. — 6. Tkanka mechaniczna.

Rozdział IX. Systemata tkanek i budowa roślin 143

1. Trzy systemata tkanek. — 2. Naskórek i nadskórek. — 3. Szparki. — 4. Włoski. — 5. Tkanka zasadnicza. — 6. Przewody żywiczne. — 7. Kora i korek. — 8. Przetchliny. — 9. Wiązka naczyniowa. — 10. Jej część łykowa. — 11. Część drzewna. — 12. Kropki obwódkowane. — 13. Miąższowe składniki drewna. — 14. Przebieg wiązek naczyniowych; budowa łodygi. — 15. Słoje roczne. — 16. Wiązki u jednoliścieniowych. — 17. Wiązki u paprotników. — 18. Budowa korzenia. — 19. Budowa ciała plechowców.

Rozdział X. Przedmiot i zadania fizyologii. 173

1. Zagadnienia fizyologii. — 2. Siła i materya. — 3. Ciepło, jako ruch; pierwiastki chemiczne. — 4. Energia potencyalna i energia czynna. — 5. Atomy; połączenie i rozkład. — 6. Ciepło wywiązane przy połączeniach chemicznych. — 7. W jakiej formie nagromadzona jest energia w roślinach?

Rozdział XI. Co bierze roślina z powietrza 186

1. Przyrost substancyi roślinnej; materyał azotowy i bezazotowy. — 2. Powietrze jako źródło substancyi roślinnej. — 3. Liść i jego budowa. — 4. Chlorofil. — 5. Widmo jego. — 6. Synteza wodanów węgla. 7. Związek między absorbcyą światła a przyswajaniem; stosunki ilościowe. — 8. Przystosowanie liścia do jego funkcyi. — 9. Nagromadzenie energii w roślinie; pasorzyty i roztocze.

Rozdział XII. Gleba jako żywicielka roślin 208

1. Kultury wodne. — 2. Sposób powstawania i skład gruntu; piasek, glina, wapień, próchnica; jego zdolność utrzymywania wilgoci. — 3. Ciała rozpuszczone w wodzie gruntowej; absorbcya. — 4. Azot w glebie; z jakich związków korzysta roślina? — 5. Nitryfikacya i organizmy nitryfikacyjne.

Rozdział XIII. Organa chłonne i drogi soków w roślinie 218

1. Budowa korzenia i rola włośników. — 2. Wpływ osmozy na przenoszenie substancyi pożywnych. — 3. Udział drewna. — 4. Siły poruszające soki w drewnie.

Rozdział XIV. Powstawanie białka w roślinie 228

1. Amidy. — 2. Chemia białka. — 3. Synteza białka w liściach. — 4. Rola kwasu szczawiowego. — 5. Przyswajanie azotu wolnego przez strąkowe. — 6. Azot zwierzęcy (rośliny owadożerne). — 7. Fosfor, siarka i inne pierwiastki niezbędne.

Rozdział XV. Przenoszenie i przechowywanie substancyi organicznej. . 242

1. Trojakie przeznaczenie wytworzonych przez roślinę materyałów: materyały plastyczne, zapasowe i oddechowe. — 2. Drogi ich wędrówki. — 3. Materyały zapasowe i ich rozpuszczanie. — 4. Drewno jako przewodnik materyałów plastycznych; soki wiosenne; naczynia mleczne.

Rozdział XVI. Oddychanie roślin 250

1. Oddychanie jako wywiązanie energii. — 2. Oddychanie jako utlenienie. — 3. Substancye oddechowe; stosunki objętości gazów. — 4. Wpływ warunków zewnętrznych. — 5. Oddychanie wewnątrzcząsteczkowe. — 6. Fermentacya. — 7. Oddychanie jako fermentacya. — 8. Przemiany białka w roślinie. — 9. Wywiązanie ciepła przy oddychaniu. — 10. Oddychanie bez tlenu.

Rozdział XVII. Wzrost roślin 265

1. Zależność wzrostu rośliny od podziału i wzrostu komórek. — 2. Napięcie tkanek. — 3. Wielki okres wzrostu. — 4. Wzrostomierz; peryodyczność dzienna i roczna. — 5. Wpływ warunków zewnętrznych na wzrost. — 6. Wpływ światła i ciążenia.

Rozdział XVIII. Ruchy roślin 278

1. Rodzaje ruchów. — 2. Ruchy wzrostowe. — 3. Ruchy jędrnościowe.

Rozdział XIX. Stałość i zmienność kształtów u roślin 283

1. Wpływ warunków zewnętrznych na kształty roślin. — 2. Modyfikacye ekologiczne. — 3. Współzależność organów. — 4. Polarność (biegunowość). — 5. Czy różniczkowanie się fizyologiczne komórek osłabia ich dzielność morfologiczną?

Rozdział XX. Rozmnożenie roślin 291

1. Rozmnożenie i wzrost. — 2. Rozmnożenie wegetacyjne i reprodukcyjne. — 3. Wytworzenie zarodników sprzężonych. — 4. Reprodukcya u rodniowców. — 5. Reprodukcya u roślin kwiatowych. — 6. Jedność zasadnicza tej sprawy u rodniowców i u kwiatowych. — 7. Narodzenie i śmierć.

Skorowidz alfabetyczny 306

Ważniejsze błędy 312

PRZEDMOWA.

Pogląd na całokształt nauk botanicznych.

Na lądzie Europy w przeważnej części szkół średnich a nawet w niektórych wyższych, gdzie botanika nie jest przedmiotem specyalnych studyów (a więc np. w szkołach rolniczych, na wydziałach lekarskich i t. d.), usiłują zwykle wepchnąć w niewielki, dwu- lub trzygodzinowy kurs tego przedmiotu całą encyklopedyę nauk botanicznych. Naturalnym wynikiem dążenia tego jest, że wszystkie gałęzie botaniki są traktowane pobieżnie, a przytem najmniej pouczające, jak systematyka, pochłaniają najwięcej miejsca. Ujawnia się tu owo stale powtarzające się zjawisko, że im mniej poważnie traktowana jest jakaś gałąź wiedzy, tem więcej panują w niej przeżyte metody.

Był czas istotnie, kiedy systematyka stanowiła całą niemal botanikę, a prawie wszystkie podręczniki naszej ubogiej literatury należą układem swoim do owej już dawno minionej epoki.

Można jednak i przy krótkim wykładzie, i w szkole średniej nawet, zużytkować udzielony na naukę botaniki czas w taki sposób, aby uczeń wynosił z niej wiedzę, nie zaś sieczkę podobną do tego próchna, w które zamieniają się rychło zielniki szkolne—jedyny aparat naukowy nauczyciela starego, a dotąd u nas żyjącego typu. Możliwe to jest do osiągnięcia przez skoncentrowanie nauczania na istotnych częściach wiedzy bo-

tanicznej, na tych, które w dzisiejszym stanie tej nauki skupiają w sobie główne zagadnienia i główny interes badaczów.

Częściami temi tą: morfologia, t. j. rozumowana nauka o kształtach i budowie roślin, oraz fizjologia, t. j. nauka o zjawiskach życia w roślinie. Dla nikogo, kto chociażby pobieżnie obeznany jest z kierunkami badań dzisiejszych, nie ulega wątpliwości, że te dwie gałęzie stanowią istotę i podstawę wiedzy botanicznej, „filozofią botaniki", jak chętnie mówiono w dobie pozytywizmu.

Doniosłość pedagogiczna tych dwu gałęzi polega wszakże nie tylko na ich znaczeniu ogólnie-kształcącem, nie tylko na tem, że skupiają one w sobie wszystkie zasadnicze i najogólniejsze zagadnienia nauki o życiu wogóle — a więc, że interes ich wykracza poza granice królestwa roślinnego, przygotowując do pojmowania zjawisk biologicznych w najszerszem znaczeniu.

Istotnem wymaganiem przy wyborze materyału pedagogicznego jest to, aby dawać uczniowi nie te części nauki, o których mało wiemy, lecz te, które są najlepiej wykończone, w których fakta związane są jednością poglądu ogólnego. Doniosłość zasady tej pojmowała już nasza Komisya Edukacyjna i w tym duchu przeprowadzała reformę szkolną.

„Nie mnóstwo wyobrażeń, których umysł ludzki nabywa, lecz dostrzeżenie związków między temi wyobrażeniami, czyni go światłym" pisał Fr. Szopowicz, jeden z nauczycieli szkoły wojewódzkiej warszawskiej, w raporcie dla Szkoły Głównej r. 1789.

Tylko ci, którym leży na sercu wstrzymanie postępu ogólnego w myśli i czynie, mogą być zwolennikami ograniczenia nauki szkolnej do faktów pamięciowych, do niezwiązanych myślą przewodnią szczegółów.

Morfologia i fizyologia są w zakresie nauk botanicznych gałęziami w najwyższym stopniu odpowiadającemi tym wymaganiom; inne gałęzie mają się do nich, jak historya anegdotyczna do pragmatycznej. Ucząc ich w szkole bawimy opowiadaniami, zamiast uczyć praw przyrody.

Nazwa i pojęcie morfologii powstało jednocześnie z przejściem nauki o kształtach i budowie roślin z fazy przeważnie

opisowej do fazy rozumowanej, co nastąpiło dzięki połączeniu studyów nad kształtami roślin z historyą ich rozwoju. Pobudkę do tego dał już był Göthe w swojej „Metamorfozie roślin" (1790). Dawniej używano nazw anatomii i histologii, jako nauk czysto opisowo traktujących budowę mikroskopową roślin, a nazwy te spotykają się i do dziś dnia [1]). Obie zapożyczone są z zoologii. Ponieważ jednak roślina nie ma odrębnie ukształtowanych organów, widocznych dla nieuzbrojonego oka (jak zwierzęta), funkcye poszczególne pełnią jej tkanki, więc nazwa histologii (nauki o tkankach) jest tu identyczną z anatomią. Morfologia rozważa tkanki przeważnie ze stanowiska ich rozwoju i rozmieszczenia w planie całokształtu rośliny. Możliwe jest i stanowisko odmienne: uważanie ich jako organów pełniących rozmaite czynności życiowe.

W tym kierunku starał się rozwijać ją Haberlandt pod nazwą anatomii fizyologicznej [2]). Za punkt wyjścia posłużyły mu badania nad tkanką mechaniczną, a ostatnim owocem pracy w tym kierunku było wykrycie organów przewodnictwa wrażliwości w roślinach.

Badania tego rodzaju wiążą się najściślej z fizyologią, a w ogólnym kursie, jak nasz, powinny wejść do jej zakresu.

Z drugiej strony probowano stworzyć osobną gałąź embryologii roślin [3]), której wyodrębnienie jako nauki, nasuwa pewne wątpliwości wobec wymienionego już braku przestrzeniowo odosobnionych organów w roślinie, a jedności morfologicznej panującej we wszystkich jej częściach. Nie wyklucza to oczywiście badań embryologicznych nad rozwojem poszczególnych gatunków. Wątpliwem jest atoli, czy dziś przynajmniej już całokształt tych badań dałby się ująć w postać

---

[1]) Między innemi w klasycznem dziele De Barry'ego «Vergleichende Anatomie der Cormophyten.

[2]) Pierwotnie w monografii p. t. «Physiologische Leistungen der Pflanzengewebe» 1874 w «Handbuch der Botanik» Schencka. Nowsze wydania, znacznie rozszerzone, p. t. «Physiologische Pflanzenanatomie» 1884, 1896 i 1905.

[3]) Göbel «Embriologie der Pflanzen» w tym samym «Handbuch» Schencka

systematyczną na wzór embryologii zwierząt. Wszystko, co tu należy, mieści się dotąd jeszcze z dogodnością w morfologii, której myślą przewodnią jest właśnie idea rozwoju.

Morfologia dzieli się na ogólną i szczegółową. Pierwsza usiłuje skupić w zestawieniu uogólniającem typowe dla całego królestwa roślinnego objawy; druga opisuje je szczegółowo grupując według gromad i klas. W wykładzie naszym zmuszeni byliśmy, aby nie czynić książki zbyt obszerną, usunąć ostatnią jako specyalną gałąź, a główne punkta morfologii szczegółowej omówić w odpowiednich rozdziałach ogólnej — a mianowicie w rozdziałach o morfologii tkanek i o rozmnożeniu. Zadanie to ułatwione zostało przez nowsze odkrycia, ustalające jedność typu rozmnożenia w królestwie roślinnem, pozwalające przeto ująć w wykładzie uogólnionym mnogość form rozmnożenia, które dawniej zajmowały główną część morfologii szczegółowej.

Pozostaje mi powiedzieć kilka słów o pominiętych gałęziach wiedzy botanicznej. Morfologia i fizyologia obejmują główne rozumowane gałęzie nauki o roślinach, to co pozostaje, są to przeważnie nauki opisowe nie pozbawione jednak każda swojej strony uogólniającej.

Zacznijmy od ukochanej przez przeżyte metody szkolnę systematyki. Gałąź ta, zdaniem autora, nie może i nie powinna być nauczaną w szkole. Razem z pomocniczą sobie organografią, opisującą zewnętrzne kształty rozmaitych części roślin ze stanowiska ich nazwy, nie może ona nigdy wznieść się przy nauce szkolnej ponad martwą, bezduszną nomenklaturą, odrażającą swoją oschłością i bezużytecznością, a kształcąca jej rola mało czem różni się od wychowawczego wpływu inwentarza sklepu galanteryjnego. Ale dla człowieka, który kocha rośliny, systematyka połączona z florystyką, studyowana w polu i w lesie na barwnych, świeżo zebranych okazach, nabiera życia i interesu. Wówczas sam jej się nauczy miłośnik flory, a nie wydadzą mu się nudnemi telegraficznie treściwe opisy gatunków w dziełach florystycznych, gdy przed oczyma będzie miał żywy okaz, który pragnie zdeterminować.

Zajęcia florystyczne zasługują na polecenie z dwojakiego względu: hygienicznego i estetycznego. Zachęcają one do da-

lekich wycieczek, nadając im interes i kierunek, wyrabiając hart i wytrwałość, a nauczają przytem kochać przyrodę, taką, jaką jest w rzeczywistości; czuć jej prawdziwe piękno, nie ufryzowane w motywa dekoracyjne, jak w ogrodnictwie. Nie jest autor bynajmniej ich nieprzyjacielem, bo i sam nie mało nasuszył siana, uzbieranego pod palącemi promieniami słońca lub wśród jadowitych ukąszeń muszek w rozmaitych częściach świata. Ale głębokiem jego przekonaniem jest, że systematyki można uczyć się tylko w polu, a uczyć się jej powinni tylko ci, którzy mają do tego zamiłowanie lub chcą poświęcić się studyom botanicznym. Dla tych, którzy botanikę traktują jako przedmiot wykształcenia ogólnego, lub jako gałąź pomocniczą do swego zawodu, wystarczy tyle i w tej formie, w jakiej zawarte jest w pierwszym rozdziale tej książki [1]).

Studya florystyczne nabierają interesu naukowego, o ile stają się podstawą dla badań geograficznych. Geografia roślin, traktowana tak, jak dziś jest, przestała być nauką czysto opisową, zakreślającą granice osiadłości poszczególnych gatunków lub kreślącą fizyognomie pojedyńczych krajobrazów. Wiążą się dziś z badaniami geograficznemi szeregi zagadnień i uogólnień, sięgające w najgłębsze tajniki biologii, takie, jak przyczyny rozpowszechniania się lub urywania się pewnych gatunków, prawa ich migracyi, związek flory dzisiejszego okresu z minionymi, stosunki między roślinami a zwierzętami i t. d. Wchodzą więc tu i zagadnienia biologii w ścisłem znaczeniu, t. j, wpływu otoczenia na ukształtowanie i budowę roślin i zagadnienia ekologiczne, t. j. dotyczące grupowania się roślin w zbiorowiska pewnego typu [2]). Ale pomimo wielkiego interesu, jaki nadały tym studyom badania Darwina i jego następców, gałęzie te wiedzy botanicznej są jeszcze zbyt mało uogólnione, są raczej zbiorowiskiem postrzeżeń i zagadnień, niż

[1]) Pragnących bliżej obeznać się z systematyką i morfologią szczegółową, odsyłamy do opracowanego przez autora po polsku «Atlasu» Wilkomma; krótkie podręczniki do określania roślin, opracowali F. Wermiński i J. Rostafiński (1907).

[2]) W tym przedmiocie posiadamy przekład pięknego dzieła Warminga: «Zbiorowiska roślinne».

wykończonemi naukami, a mogą być przedmiotem studyów tylko dla amatorów lub specyalistów.

W jeszcze większym stopniu dotyczy to paleontologii roślin. Dziś również przestała ona być ową dawną systematyką skamieniałości według formacyi, w której poszczególne części tego samego drzewa, opisane bywały jako osobne rodzaje i gatunki. Paleontologia roślin staje się dziś coraz bardziej obrazem ewolucyi królestwa roślinnego od form najprostszych ku najbardziej złożonym, ewolucyi umiejętnie skreślonej w dziele De Saporta et Marion [1]).

Z drugiej strony nawiązuje z nią nić geografia botaniczna, coraz bardziej usiłując tłumaczyć dzisiejsze formacye roślinne w zależności od formacyi ubiegłych epok [2]). Paleontologia wszakże, narówni z geografią botaniczną, może być tylko przedmiotem uzupełniającej lektury; nie są to gałęzie, któreby się nadawały do treściwego wykładu z jakąkolwiek nadzieją na powodzenie.

Jeszcze mniej mogą należeć do ogólnego wykładu takie specyalne gałęzie jak choroby roślin i inne mające wyłącznie praktyczne znaczenie, doniosłe dla ogrodnika, rolnika lub leśnika, lecz pozbawione istotnego znaczenia teoretycznego.

Możemy więc uważać, że morfologia i fizyologia roślin, razem wzięte, obejmują wszystko, co należy do ogólnego wykładu botaniki; że obejmują to, co przedewszystkiem należy do naukowego jej wykładu w współczesnem znaczeniu wyrazu. Pozostałe gałęzie mogą być przedmiotem studyów bądź dla osób przygotowujących się do naukowej pracy w zakresie botaniki, bądź dla tych, którzy, czy to z amatorstwa, czy wskutek wymagań technicznych pragną albo muszą zetknąć się z temi gałęziami. Do prób encyklopedycznego zestawienia w ogólnym kursie rozmaitych gałęzi botaniki, da się zastosować to, co powiedział Comte o konstytucyonalizmie: stanowią one niemożliwy kompromis między dawnemi przeżytemi poglądami na botanikę, a nowemi, do których teraźniejszość i przyszłość należy.

---

[1]) «L'évolution du regne végètal».

[2]) Ob. Drude'go «Pflanzengeographie», także dawniejsze ale pełne zalet dzieło Griesebacha.

ROZDZIAŁ I.

Morfologia kształtów zewnętrznych i główne typy królestwa roślinnego.

1. Za punkt wyjścia, za początek niejako rośliny wyższej uważane bywa przez ogół nasienie. Dość jednak zbadać jakiekolwiekbądź nasienie przy pomocy lupy, aby przekonać się, iż jest ono daleko już posuniętym na drodze rozwoju zarodkiem, prawie malutką roślinką [1]). Dostrzegamy w nim istotnie wszystkie niemal części dorosłej rośliny: korzonek — przyszły korzeń i piórko, które jest łodygą ze zwiniętemi w pączek liśćmi. Co do rozmiarów swoich te części przyszłej rośliny są jednak znikomo małe w porównaniu z utworami, których w niej nie odnajdziemy, które zanikną w miarę wzrostu młodej roślinki. Są to liścienie, pełniące rolę spiżarni, z nagromadzonemi w nich materyałami pożywczemi, żywiącemi zarodek dopóty, aż wgłębiwszy korzonek w ziemię a liście rozpuściwszy w powietrzu, a w ten sposób przeobrażony już w samodzielną roślinę, w stanie będzie sam czerpać pożywienie z tych dwóch środowisk.

2. Gdy roślinka już przybierze ten kształt, rozróżnimy w niej następujące części: łodygę czyli oś główną, rosnącą

---

[1]) Co jest właściwym początkiem rośliny i jakie fazy rozwojowe przechodzi ona zanim dojdzie do tego punktu, w jakim znajdujemy ją w nasieniu, należy to do późniejszych rozdziałów tej książki.

zwykle pionowo w górę a wydającą z siebie często gałązki czyli osie boczne, na których (lub też na łodydze) mieszczą się liście. Czy łodyga ta przybierze postać pnia drzewnego, z grubemi konarami, czy zostanie zielną, istoty rzeczy to w niczem nie zmienia. Liście i łodyga bywają niekiedy omszone, t. j. pokryte delikatnemi włoskami rozmaitego kształtu.

Rys. 1. Nasienie migdału i fasoli rozłupane po usunięciu łupiny *p*—piórko, *k*—korzonek, *l*—liścień. Na lewo liścień odosobniony.

W przeciwnym z łodygą kierunku, bo pionowo w dół rośnie korzeń, przedłużenie osi głównej, który może być cienkim albo przybierać postać grubego stożka, wydającego boczne korzenie rozgałęziające się dalej, aż zakończy się włóknistemi korzonkami, nurtującemi glebę w rozmaitych kierunkach, a pokrytych delikatnym puszkiem włośników (rys. 2), przyrastających do drobnych cząsteczek gleby, tak, że przy wyrywaniu rośliny zostają w ziemi, lub unoszą je z sobą, jeśli gleba jest pulchna.

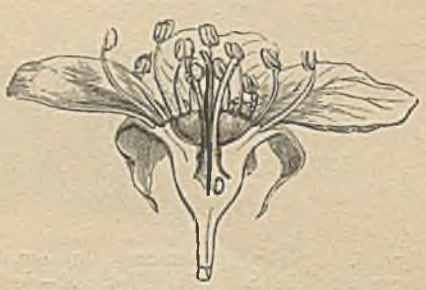
Rys. 2. Roślinka gorczycy; korzonek pokryty włośnikami unoszącymi cząsteczki ziemi.

Prócz tych wpadających w oko części w kątach liści i na wierzchołku rośliny dostrzegamy pączki, utworzone ze zwiniętych drobnych listków i delikatnej, bardzo krótkiej łodygi. Oto są wszystkie części rośliny w zwykłym jej stanie, t. j. wegetującej (rosnącej).

3. Przychodzą jednak chwile, w których ukazują się nowe organa, części przeznaczone nie do utrzymania przy życiu i rozwoju danego osobnika rośliny, lecz do wytworzenia nowych. Są niemi kwiaty i to co z nich powstaje: owoce z zawartemi w nich nasionami.

W kwiecie rozróżniamy cztery okółki, leżących ściśle nad sobą, utworów: kielich utworzony z działek bądź odosobnionych, bądź razem zrośniętych, zwykle zielny, tworzy najniższą okółkę otaczającą osadnik kwiatowy, t. j. rozszerzoną część szypułki kwiatowej:

bezpośrednio nad kielichem mieści się korona, utworzona z rozmaicie zabarwionych delikatnych utworów, zwanych płatkami; następną okółkę stanowią pręciki złożone z nici i pylników, w których mieści się pyłek, tak doniosłą rolę pełniący przy rozmnożeniu; ostatnią tworzy słupek; składowe części jego (zwane listkami owockowemi) są zwykle z sobą zrośnięte w otwór podobny do buteleczki (rys. 3), w którym rozróżniamy zawiązek (dolna szeroka część), szyjkę i znamię. Wewnątrz słupka, a mianowicie w zawiązku (zwanym także zalążnią) mieszczą się drobne utwory okrągławe, zalążki.



Rys. 3. Przecięcie podłużne kwiatu, wykazujące położenie czterech okółek: kielicha, korony, pręcików i słupka (pogrążonego głęboko w osadniku kwiatowym).

4. Gdy kwiat jest rozwinięty następuje akt zapylenia, t. j. pyłek

Rys. 4. Pręcik powiększony 4—5 razy; *a* nić pręcikowa; *b* — pylnik z wysypującym się przez podłużną szparę pyłkiem.

Rys. 5. Słupek odosobniony z kwiatu *A*—z zalążkami obnażonemi przez usunięcie części ścianki; *B* — w przekroju poprzecznym (powiększony cokolwiek).

(zwykle z innego osobnika roślinnego tegoż gatunku) spada na znamię zaniesiony bądź przez wiatr, bądź przez owady zwie-

dzające kwiaty dla słodkich soków. W zetknięciu z słodką wydzieliną znamienia pyłek zaczyna wyrastać w rureczkę prawie niedostrzegalną dla oka, łagiewkę pyłkową, która wrastając przez otwór szyjki przenika w głąb zalążka. Odbywa się przy tem szereg spraw, które przy pomocy mikroskopu, dopiero w najnowszych czasach zostały zbadane szczegółowo, (zapłodnienie) a których opisanie należy do rozdziału o rozmnożeniu. Następstwem ich jest przeobrażenie się kwiatu w owoc.

Rys. 6. Przekrój poprzeczny słupków dla pokazania położenia zalążków (*p*). *A* — jest słupkiem jednokomorowym, który powstał z jednego listka owockowego: u *p* żeberko jego; z przeciwnej strony zrośnięte brzegi (szew). *B*—słupek wielokomorowy (z przegródkami), utworzony z 5 listków owockowych, zrośniętych bocznemi powierzchniami; zalążki mieszczą się tu na brzegach listków owockowych.

Przemiana ta polega na tem, że wszystkie części kwiatu, prócz słupka, więdną i opadają. Słupek zaś rozrasta się i przeobraża stopniowo: ścianki jego nabierają bądź własności soczystych (owoce soczyste — śliwka), bądź twardnieją i wysychają (owoce suche—migdał); zalążki zaś przekształcają się w nasiona. Niekiedy zdarza się, że przeobrażeniu soczystemu ulega nie sam słupek, lecz osadnik kwiatowy, obrastający go ze wszech stron, a wówczas zwykle na szczycie owocu zostaje zeschnięty kielich (niby-owoce—jabłko, figa).

5. Cała rozmaitość zewnętrznych form ukształtowania roślin może być sprowadzona do kilku prostych składników. Stanowi to przedmiot morfologii kształtów zewnętrznych, nauki, której podwaliny założył znakomity poeta niemiecki Wolfgang Göthe, wprowadzając pojęcie metamorfozy roślin.

Każde naukowe ujęcie faktów polega na wyszukaniu jedności wśród rozmaitości zjawisk. Do tegoż celu dąży i morfologia. Przyjmuje ona, iż wszystkie kształty roślinne mogą być wyprowadzone z czterech pierwiastków, któremi są: pęd (łodyga), korzeń, liść i włosek.

Możemy wprawdzie jeszcze bardziej uogólnić budowę wyższej rośliny i zmniejszyć ilość jej pierwiastków. Tak łodygę i korzeń możemy objąć pod wspólną nazwą osi, a rozróżniać w każdej roślinie oś główną, w której korzeń jest przedłużeniem łodygi, a której cechą będzie w ogóle wzrost pionowy (w górę dla łodygi, w dół dla korzenia) od osi bocznych o kierunkach w ogóle odbiegających od pionowego. Budowa liścia, zarówno zewnętrzna jak i mikroskopowa, i jego położenie, upoważnia do uważania go za obustronnie rozwiniętą oś boczną, o ograniczonym wzroście końcowym. Innemi słowy, cechami, które wyróżniają liść od łodygi, jest obustronna symetrya zamiast promienistej, cechującej łodygę (liść jest niejako rozpłaszczoną łodygą), oraz ta okoliczność, że gdy każda oś, czy to główna, czy boczna, ma wzrost nieograniczony, t. j. zaopatrzona jest na końcu w pączek ustawicznie rosnący, wzrost liścia na długość ustaje niebawem, gdy dochodzi mianowicie do normalnej wielkości [1]). Obok tego cechą liścia jest, że nigdy nie bywa przedłużeniem osi głównej, lecz wyrasta zawsze z niej lub z bocznych jako utwór boczny.

Zdawałoby się więc, że można sprowadzić wszystkie kształty roślinne do dwóch pierwiastków—osi i włoska, zamiast czterech. Jednakże bliższe rozważanie nakazuje zatrzymać cztery pierwiastki morfologiczne. Istotnie, utwory, które wydają z siebie łodyga i korzeń, są zasadniczo różne, tak samo jak ich budowa mikroskopowa i sposób dawania bocznych rozgałęzień. Cechą wyróżniającą nie jest ta, że łodyga rośnie w powietrzu, korzeń zaś w ziemi, gdyż bywają i korzenie powietrzne i łodygi podziemne czyli kłącze. Ale pierwsze zachowują zawsze swoję budowę charakterystyczną i sposób tworzenia rozgałęzień, a nigdy nie wydają z siebie liści, ani kwiatów; drugie przeciwnie wydają liście i pędy kwiatowe, zachowując również budowę charakterystyczną. Rozgałęzienia ich nigdy nie bywają

---

[1]) Wyjątek stanowią liście paproci mające wzrost nieograniczony, to jest ustawicznie rosnące u wierzchołka.

prawdziwymi korzeniami, chociaż łodygi miewają często t. zw. korzenie przybyszowe. Dlatego też łodygę i jej rozgałęzienia obejmujemy wspólną nazwą pędu, mniej ogólną niż oś.

Liść znowuż nie wydaje nigdy kwiatów (ani gałązek bocznych), które mogą powstawać na każdym pędzie. Chociaż niekiedy łodyga przybiera zewnętrzny wygląd, przypominający zupełnie kształt liścia (tak zwane liściaki, phyllodia rys. 7), zaliczamy takie utwory do kategoryi pędów, dlatego właśnie, że powstają na nich kwiaty. Przytem, jak się niżej pokaże, liściowi przypada w udziale odrębna a samodzielna funkcya morfologiczna.

Rys. 7.

Wypada więc zachować odrębność czterech pierwiastków morfologicznych, którym nadają nazwy greckie: caulom (pęd), rhizom (korzeń), phyllom (liść) i trichom (włosek). Z tych to czterech członków morfologicznych rośliny, wywodzą się wszystkie inne drogą metamorfozy czyli przeobrażenia. Ujawnia się to ze szczególną jaskrawością na powstaniu kwiatu. Badanie morfologiczne przekonywa, że kwiat jest pędem ulistnionym, którego liście przeobraziły się w cztery okółki kwiatowe.

6. Jakież zmiany nastąpiły przytem w pędzie? Przedewszystkiem ustał jego wzrost końcowy.

Wiemy, że wszystkie osie rosną przy swym wierzchołku i mają wzrost nieograniczony; skoro jednak tworzy się kwiat, to dalszy wzrost pędu przerywa się: kwiat zamyka go niejako. Wiemy dalej, że okółki kwiatowe (kielich, korona, pręciki, słupek), umieszczone są bardzo blizko jedna nad drugą, gdy przeciwnie liście na pędzie mieszczą się zwykle w pewnej odległości od siebie (w tak zwanych węzłach). Wnosimy stąd, że wzrost osi jest nietylko przerwany na końcu, ale i wstrzymany: międzywęźla (t. j. przerwy między leżącymi nad

sobą liśćmi) są skrócone do tego stopnia, że następujące po sobie okółki przylegają do siebie.

Dalej liście utraciły swój charakter pierwotny: przeobrażając się np. w działki kielicha, zachowały wprawdzie barwę zieloną, ale zdrobniały i zmieniły kształt swój; listki owockowe, z których składa się słupek, są również zielone i zachowują nawet ślady swego pierwotnego pochodzenia: poznajemy na nich główne żeberka liści i miejsce ich zrośnięcia się z sobą w postaci t. zw. szwów. Natomiast płatki korony i pręciki odbiegły tak dalece od typu pierwotnego, że zaledwie słabe podobieństwo odkryć można pomiędzy takim np. pręcikiem a liściem. Badania wszakże porównawcze przekonały, że z dwóch części składowych pręcika: nici i pylników, pierwsza jest przekształconym ogonkiem liściowym, druga — zwiniętą blaszką liścia.

Rys. 8. Schemat rośliny z liśćmi pierwotnymi i przeobrażonymi: *a*—pęd; *b* i *c*—korzeń (główny i boczne); *d*, *d'*—liście; *e*—pączki; *d''*—działki kielicha; *d''''*—płatki, *d'''*—pręciki, *d'''''*—listki owockowe (wedł. Schleidena).

Rys. 9. Przejście od pręcików do płatków u grzybienia białego.

Co zaś do związku między płatkiem a pręcikiem — unaoczniają go najlepiej niektóre kwiaty naturalne jak np. lilia wodna (grzybień biały, rys. 9), gdzie znajdujemy cały sze-

reg stopniowych przejść między jednym a drugim. W większym jeszcze stopniu dowodzą go odmiany sztuczne kwiatów pełnych, np. róża stulistna, w których liczne płatki powstają wskutek przeobrażenia się w nie pręcików, tak, iż w końcu, ostatnie znikają zupełnie i kwiat staje się płonnym (nie wydającym owoców).

Prócz wyżej wymienionych form przejściowych, na rzecz takiego tłumaczenia przemawiają liczne fakta, dotyczące zarówno sposobu i miejsca powstawania kwiatów, jako też nieprawidłowego ich rozwoju. Co do pierwszego to kwiaty powstają w tych punktach, gdzie zwykle wyrastają pędy, t. j. w kątach liści. Zdarza się też niekiedy, że wzrost pędu, przekształcającego się na kwiat, nie zostaje zatamowany, lecz po utworzeniu kielicha, korony i pręcików, listki owockowe zamiast zrosnąć się dla utworzenia słupka rozwijają się w postaci zwyczajnych zielonych liści i gałązka przerasta kwiat, rozwijając się w dalszym ciągu.

7. Jak cały pęd ulistniony przeobraża się w kwiat, tak pojedyńcze liście mogą się przekształcić w wąsy lub ciernie. U berberysu, jeśli rośnie w suchem powietrzu, mniej rozwija się liści a więcej cierni; odwrotnie, jeśli powietrze jest wilgotne.

Rys. 10. Część łodygi groszku: *a*—liście; *b* — wąsy; *c* — kwiat i strąk; *d* — przylistek.

Wąsy są to utwory, przy których pomocy rośliny czepne utrzymują się u podpory. Mają one rozmaite pochodzenie: niekiedy są pędami skróconemi jak u winorośli, lub też całemi liśćmi (dynia), niekiedy ich częścią (groszek) (rys. 10), albo też przylistkami (kolcowój).

Kolce i ciernie również mogą mieć pochodzenie rozmaite: niekiedy są to całe gałązki (pędy), ktore nawet wydają

czasem liście, jak to widzimy na załączonym rysunku ciernia tarniny (rys. 11).

Rys. 11. Cierń tarniny, wydający liście.

Jednem z najciekawszych przeobrażeń, którym ulegają pędy, są bulwy i cebule. Bulwa (np. u kartofli) jest podziemną łodygą, silnie nabrzmiałą, której pączki stanowią t. zw. oczka. O takim charakterze morfologicznym bulwy przekonywa sposób i miejsce jej powstania oraz jej następczy wzrost. Na młodych bardzo bulwach widać, jak powstają one przez rozrastanie się na grubość części podziemnego pędu; gdy zaś bulwa kiełkuje, to pączki jej rozwijają się zupełnie tak, jak inne pączki drzewne. Nie są to korzenie, bo korzeń nigdy nie wydaje ani liści ani pączków; dla tej też przyczyny nie zaliczamy do korzeni takich utworów, jak rozłogi, kłącza czyli korzeniaki, które znajdujemy u wielu roślin zielnych, np. u kokoryczki (rys. 12). Są to pędy podziemne, a różnią się jeszcze i tem od korzeni, że rosną zwykle poziomo, kiedy korzeń prawdziwy (a przynajmniej korzeń główny) rośnie pionowo w dół, oraz, że wyrastają z niej liście i pędy kwiatowe, których korzeń nigdy nie wydaje.

Rys. 12. Kłącze kokoryczki z wyrastającym pędem nadziemnym i śladami odpadłych zeszłorocznych.

Rys. 13. Cebula hijacyntu w przecięciu podłużnem. U góry pączek kwiatowy, niżej idą łuskowate liście wyrastające z krótkiej stożkowej łodygi.

Cebula (rys. 13) jest również skróconym pędem, którego liście leżą w postaci łusek jedne na drugich, w środku zaś znajduje się pączek, w przyjaznych warunkach rozwijający się kosztem zgromadzonych w liściach materyałów zapasowych. Wogóle przeznaczenie

tych form pędów podziemnych polega na przechowaniu w ciągu zimy materyału pożywnego, z którego korzystają na wiosnę wyrastające młode pączki. U kartofla materyałem tym jest mączka, u cebuli przeważnie cukier.

Mniej rozmaite są metamorfozy, którym ulega korzeń. Niekiedy korzenie występują jako narzędzia czepne, np. u bluszczu (rys. 14), (korzonki takie, wyrastające z pędów, nazywają się przybyszowymi) lub też służą do podparcia gałęzi, jak korzenie powietrzne niektórych drzew zwrotnikowych.

Rys. 14. Gałązka bluszczu z korzonkami czepnymi.

Włoski są drobnymi utworami, rozwijającymi się na powierzchni rośliny. Powstają one z najbardziej powierzchownej jej warstwy: naskórka (ob. niżej). Kształt ich bywa bardzo rozmaity a służą one bądź do ochrony rośliny od nadmiaru promieni słonecznych (większa część roślin stepowych), bądź od zwierząt (parzące włoski pokrzywy). Niekiedy włoski wydzielają rozmaite substancye i wtedy nazywają się włoskami gruczołowymi (np. u rosiczki).

Wymienione tu członki morfologiczne są pierwiastkami, z których powstaje cała rozmaitość kształtów roślin wyższych, t. j. naczyniowych.

8. Opisane wyżej formy zewnętrznego ukształtowania wyczerpują niemal wszystkie organa roślin kwiatowych, które wyróżniają się jako odrębne utwory już przy zwykłem badaniu okiem nieuzbrojonem. Nazywamy je członkami a właściwości dotychczas poznane stanowią zewnętrzne uczłonkowanie rośliny. Badanie mikroskopowe, do którego przejdziemy w następnych rozdziałach, odsłoni nam wewnętrzne stosunki części ciała roślinnego, pozwalające głębiej wejrzeć w ich rolę w życiu rośliny, t. j. rozważać je nietylko jako składniki morfologiczne, ale i jako organa fizyologiczne.

Nie u wszystkich roślin jednak dają się widzieć opisane powyżej części, charakteryzujące najwyższe typy królestwa roślinnego.

Jeśli zejdziemy o stopień niżej od tego typu, od roślin wydających kwiaty, spotykamy się z całym szeregiem form, które pod względem ukształtowania zewnętrznego zbliżają się do kwiatowych, ale nigdy nie kwitną. Nazywamy je bezkwiatowemi czyli zarodnikowemi; gdyż zamiast owoców i nasion tworzą w rozmaitych punktach zarodniki, za pomocą których się rozmnażają.

Ale i wśród roślin bezkwiatowych dostrzegamy szereg stopni; jedne z nich, jak nadmieniliśmy, mało różnią się pod względem ukształtowania zewnętrznego od kwiatowych: mają, jak one, korzeń, łodygę i liście. Są jednak i takie, które nie mają wyraźnie ukształtowanych części zewnętrznych. Całe ciało takich roślin składa się bądź z błonki, bądź z grudki, bądź też z nici, prostej lub rozgałęzionej. Takie ciało roślinne nazywamy plechą, a rośliny w ten sposób ukształtowane plechowemi. Są to rośliny najniższego typu. Należą tu grzyby, wodorosty [1]) i porosty.

Plecha przybiera niekiedy wyraźne kształty przypominające uczłonkowanie wyższych roślin. Daje się to zwłaszcza widzieć u wodorostów morskich (morszczyn, gronorost, delleseria — rys. 15). Bliższe badanie przekonywa wszakże, że, pomimo zewnętrznego podobieństwa, nie mamy tu ani łodygi, ani liści, ani korzeni, ani innych części właściwych roślinom wyższym. Widzimy stąd, że pojęcie plechy sięga głębiej niż zewnętrzny wygląd rośliny: do określenia jej należy wewnętrzna budowa, którą odsłania dopiero mikroskop.

Rys. 15. Gałązka morszczynu.

[1]) Nie należy mieszać gromady wodorostów z roślinami wodnemi wogóle, wśród których znajduje się wiele kwiatowych.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA

Ściślejszą podstawę do podziału roślin bezkwiatowych da nam badanie mikroskopowe. Wykaże ono, że rośliny bezkwiatowe wyższe (t. zw. paprotniki), mają naczynia, t. j. rureczki mikroskopowe prowadzące ciecze z gruntu do liści, a co zostaje z tem w związku, mają korzenie prawdziwe.

Cechę tę podzielają z niemi wszystkie rośliny kwiatowe, które tworzą w ten sposób, razem z wyższemi bezkwiatowemi (paprotnikami) gromadę roślin naczyniowych, przeciwstawiającą się plechowym. Na granicy obu gromad mieszczą się mchy. Jedne z nich posiadają wyraźnie ukształtowaną łodygę i liście (mchy zwyczajne czyli liściaste), lecz pozbawione są naczyń i prawdziwych korzeni. Włókienka, któremi ciągną soki z ziemi, nazywamy w tym wypadku (jak i u wszystkich innych plechowców) chwytnikami. Inne mchy (niższego typu) nie mają ani łodygi ani liści, tylko plechę i chwytniki; są to wątrobowce.

Wśrod roślin kwiatowych rozróżniamy dalej odmienne typy.

Jedne z nich mają kwiaty i wytwarzają owoce tak, jak wyżej opisaliśmy; inne wydają tylko nasiona nie otoczone obowocnią. Pochodzi to stąd, że nie mają one słupka, lecz zalążki mieszczą się wprost na listkach (które u szyszkowych następnie przekształcają się w łuski szyszki). Rośliny takie nazywamy więc nagonasienemi, jako że nasienie ich nie jest okryte owocem. Należą tu obok innych nasze rośliny iglaste.

W przeciwności do nagonasiennych nazywamy okrytonasiennemi rośliny, które wydają owoce. Tę gromadę dzielimy znów na dwie podgromady, różniące się bardzo wybitnie cechami wewnętrznej budowy i zewnętrznego ukształtowania, a odznaczające się od siebie tem, że jedne kiełkują jednym liścieniem, drugie dwoma. Są to rośliny jednoliścieniowe i dwuliścieniowe. Pierwsze należą przeważnie do flory zwrotnikowej (palmy), u nas reprezentują je trawy (wszystkie zboża), liliowate i t. p. Do drugich należy większa część naszych drzew pospolitych, niemniej jak ziół i krzewów.

Następująca tablica uwydatnia wszystkie wyszczególnione

tu podziały, których znajomość zupełnie wystarczy dla zoryentowania się w dalszym wykładzie.

- Rośliny
  - Naczyniowe
    - Kwiatowe
      - Okrytonasienne
        - Dwuliścieniowe (dąb, jaskier, róża
        - Jednoliścieniowe (palmy, lilie, trawy)
      - Nagonasienne (sosna, jodła, modrzew)
    - Paprotniki
      - Widłaki (widłak pospolity)
      - Skrzypy (skrzyp polny—t. zw. „choinka")
      - Paprocie (paprotka samcza)
      - Mchy liściaste (torfowiec)
  - Plechowe
    - Wątrobowce (porostnica)
    - Porosty (tarczownica, chrobotek, porost islandzki)
    - Grzyby (pieczarka, rdza zbożowa)
    - Wodorosty (morszczyn, skrętnica, okrzemki)
    - Śluzowce (gniłek).

ROZDZIAŁ II.

Komórka roślinna.

1. Cała rozmaitość ukształtowania zewnętrznego roślin, przy zadziwiającej stałości w odtwarzaniu tych kształtów przez pojedyńcze ich części, lub przez osobniki tegoż samego gatunku, jest wynikiem osobliwych własności utworów mikroskopowych, z których się składają wszystkie bez wyjątku części rośliny, a które nazywamy komórkami.

Gdy przyglądamy się niezliczonym liściom wiekowego dębu lub lipy, gdy porównywamy z sobą bławatki, rozrzucone wśród zboża, nikt z nas nie wątpi, że są one jednakowe. I nigdy nie pomyli się pod tym względem roślina: dąb nie wytworzy liścia lipowego, bławatek nie zakwitnie żółtym kwiatkiem mniszka. A jednak pomimo tego niezawodnego podobieństwa, które od razu każe nam przyznać utwory te za jednakowe, nie są one tak do siebie podobne jak np. odlewy zrobione według jednej formy.

Dla dowiedzenia swojej zasady „nierozróżnialności drobnych różnic." Leibniz kazał raz w obecności królowej Hanowerskiej uzbierać dwa wielkie kosze liści z jednego drzewa. Całe towarzystwo zajęło się następnie porównywaniem z sobą tych liści: okazało się, że w całej masie nie było dwóch zupełnie jednakowych, identycznych.

Bo też wszystkie liście jednego drzewa, wszystkie kwiaty jednakowego gatunku, jakkolwiek z taką ścisłością powtarzają pewien typ wspólny, nie są jednak identycznymi odci-

skami jednej formy. Kształty ich formują się według pewnego, ściśle oznaczonego prawidła, które cechuje ów typ, ale w granicach tego prawidła zachowują pewną swobodę. Bo nie są one odbiciem pewnego zewnętrznego wzoru, lecz wynikiem sił wewnętrznych, czynnych wprawdzie według jednego niezmiennego typu, ale z nieskończoną rozmaitością w szczegółach.

Siedliskiem tych sił wewnętrznych jest komórka roślinna.

Jeżeli weźmiemy jakąkolwiek część rośliny — liść lub korzeń, kwiat lub owoc, rdzeń, korę lub drewno—i zrobiwszy cieniutkie skrawki za pomocą ostrej brzytwy, będziemy je badać pod mikroskopem, przekonamy się, że wszystkie złożone są z drobnych utworów bądź okrągławych, bądź wielokątnych, bądź włóknistych lub rurkowatych, ściśle z sobą spojonych, mniej więcej tak, jak pojedyńcze komóreczki woskowe w plastrze miodu lub jak cegły i belki w ścianach domu. Wszystkie te utwory są to komórki lub powstające przez ich rozrastanie się i spojenie włókna i rurki.

Moglibyśmy też śmiało porównać komórki roślinne do cegiełek—gdyż są one istotnie materyałem, z którego zbudowane jest ciało rośliny — gdyby nie istniała tu pewna bardzo ważna różnica.

Pojęcie cegły wymaga dwóch innych uzupełniających: budowniczego, któryby te cegły układał według pewnego określonego planu oraz rzemieślnika, któryby je wytwarzał. W roślinie jednak nie mamy żadnego zewnętrznego budowniczego, któryby układał jej komórki, ani też komórki te nie przychodzą z zewnątrz. Powstają one w niej samej, jedne z drugich, a w chwili powstawania już zajmują to miejsce, które im przypaść ma w całości i przybierają te kształty, jakie dla całości są potrzebne. Wszystkie zaś komórki jednego drzewa, krzaka lub ziółka powstają w ten sposób z jednej komórki macierzystej, którą nazywamy j a j e m.

Tylko materyał surowy na utworzenie swoich komórek bierze roślina z powietrza i ziemi, — a jak to czyni, jak go przerabia na swoje ciało, na materye organiczne — o tem będzie mowa w odpowiednich rozdziałach tej książki.

Jak na teraz zadaniem naszem jest odpowiedzieć na pytania: jak powstają kształty roślinne? Jakie są typy tych kształ-

tów i jakie prawa rządzą ich jednością w roślinach lub ich częściach? Jak powstaje jajo roślinne i jak wytwarzają się z niego oddzielne części rośliny? Jaka jest ich budowa wewnętrzna i w jakim związku zostaje z ich przeznaczeniem?

Nie na każde z nich mamy gotową odpowiedź. Niektóre z tych pytań wytykają zaledwie drogę badaniom przyszłości, zarysowują ich kierunek i cel. Z tego jednak, cośmy już powiedzieli, łatwo domyśleć się, że morfologia i fizyologia komórki stanowić winna podstawową część dalszych gałęzi naszej nauki; tę, w której szukać należy wyjaśnienia zagadek życia, odsłonięcia tajemnicy otaczającej cudowną jednostajność typów przy nieskończonej rozmaitości osobników. Stanowić więc będzie pierwszą część morfologii ogólnej—i fizyologii zarazem, bo niecelowem a prawie niemożliwem jest oddzielenie budowy od życia przy badaniu komórki.

Drugą część ściśle już morfologiczną zajmą tkanki, wchodzące w skład roślin; budowa z nich całokształtu rośliny, wreszcie wyjaśnienie genezy form zewnętrznych rośliny.

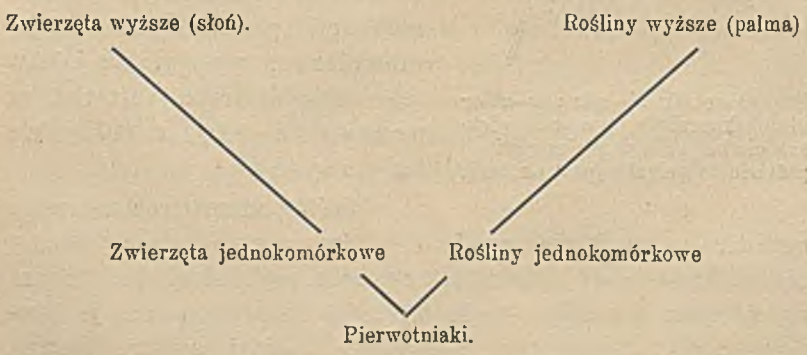
Trzecią część morfologii poświęcimy rozmnożeniu roślin.

2. Aby poznać w całej pełni własności i budowę komórki, najkorzystniej jest zbadać historyę życia organizmów jednokomórkowych, t. j. tych najniższych utworów mikroskopowych, których całe ciało składa się z jednej komórki. Są między niemi takie, które pomimo względnej prostoty budowy bez wahania zaliczamy bądź do królestwa roślinnego bądź do zwierzęcego. Są jednak i takie, o których niepodobna zdecydować, czy właściwiej je zaliczyć do roślin, czy do zwierząt, tak cechy obu królestw mało są w nich wyróżnione, tak z sobą pomieszane.

Gdy rozległe zastosowanie mikroskopu zaznajomiło uczonych szczegółowo z tym tak ciekawym światkiem, niewidzialnym prawie dla oka nieuzbrojonego, Haeckel zaproponował utworzyć z owej gromady istot niezdecydowanych osobne królestwo pierwotniaków; a chociaż myśl ta nie przyjęła się w nauce, nie ulega wątpliwości dla żadnego biologa, przyjmującego ewolucyę, t. j. stopniowy rozwój form organicznych od prostszych ku coraz bardziej skomplikowanym, że organizmy

te uważać należy za wspólne ogniwo początkowe w rodowodzie obu królestw.

Jeśli porównywamy z sobą wysoko rozwinięte organizmy zwierzęcia i rośliny, np. słonia i palmę, to cechy właściwe każdego z królestw są w nich tak jaskrawo zaznaczone, że nie mamy najmniejszej wątpliwości, do którego z nich zaliczyć każdą z tych istot. Lecz jeśli od tych wysoko uorganizowanych członków obu królestw przejdziemy do istot coraz niższych i prostszych, zauważymy, że ilość cech wyróżniających będzie się stopniowo zmniejszała. Na pewnym dosyć już nizkim poziomie królestwa zwierzęcego znajdujemy istoty przymocowane do dna morskiego, a wyglądem zewnętrznym tak przypominające rośliny, że znakomici uczeni nie wahali się w swoim czasie nazwać je zwierzo-krzewami, zaznaczając w ten sposób pośrednie ich stanowisko między roślinami a zwierzętami; a chociaż bliższe zbadanie nie pozostawia dziś żadnej wąpliwości co do ich zwierzęcego charakteru, spuszczając się jednak niżej w skali istot żywych, natrafiamy na takie, które jeszcze niedawno budziły poważne wątpliwości co do swego charakteru roślinnego lub zwierzęcego; wreszcie dochodzimy do wyżej wymienionych pierwotniaków, o których i dziś niepodobna zdecydować do jakiego z dwóch królestw należą, a które uważać przeto winniśmy jako nie należące do żadnego; jako wspólnych protoplastów zwierząt i roślin, z których drogą ewolucyi rozwinęły się jedne i drugie coraz bardziej oddalając się od siebie w miarę doskonalenia się. Stosunek więc obu królestw możemy przedstawić zapomocą poniższej diagramy:

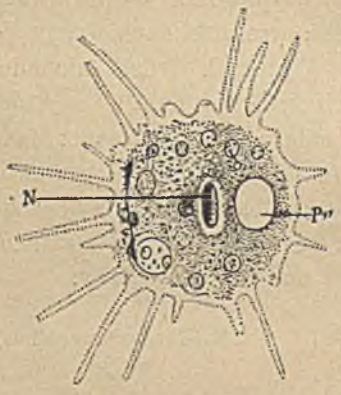


Pierwotniaki stanowią niejako korzeń wspólny drzewa genealogicznego (rodowego), którego konary główne coraz bardziej oddalają się od siebie.

Z pośród tych to istot, do których równe prawa roszczą sobie i botanicy i zoologowie, niemniej jak i z pośród niewątpliwych już roślin o bardzo prostej organizacyi, wybierzemy szereg istotek, których cały nieskomplikowany cykl życia daje się opisać w kilkunastu wyrazach. Znajomość takiej historyi naturalnej organizmów elementarnych będzie najlepszym wstępem wprowadzającym do tajemniczego, w tak drobnym zakresie odbywającego się, a tak bogatego w szczegóły życia komórki roślinnej.

* *
* *

3. Pełzak (Amoeba). W wodach stojących, zwłaszcza w pobliżu nici zielonych, pływających na ich powierzchni (wodorostów), spotykamy często organizmy mikroskopowe, które na pierwsze wejrzenie wyglądają jak nieforemna grudka śluzu (rys. 16). Przyglądając się dłużej, dostrzeżemy w tej grudce, którą nazywamy protoplazmą, ruch pełzający, jakby przelewanie się nawpół płynnej masy, połączone ze zmianą kształtu całości: ameba tworzy to w tem to w owem miejscu grube wyrostki, w które niebawem przelewa się cała jej protoplazma, rozszerzając je i w ten sposób drobna istotka ta przesuwa się z miejsca na miejsce.



Rys. 16. Pełzak; *N*—jądro; *pv*—zbiorniczek kurczliwy; pozostałe większe ciałka stanowią niestrawione pożywienie pełzaka (pow. ok. 500).

Jeśli podczas ruchu swego natrafia ona na jakieś ciałko pożywne: na drobny wodorost mikroskopowy, ziarenko krochmalu lub zieleni, lub też inną mniejszą komórkę — cała masa jej ciała otacza je stopniowo, tak iż niebawem ciałko owo znajdzie się we wnętrzu

ameby (rys. 17), a pod wpływem wydzielanego przez protoplazmę soku (encymy) ulega ono strawieniu, błonka zaś i inne niedające się przyswoić części zostają wydalone tą samą drogą, jaką dostały się w głąb ciała ameby, t. j. przez jakikolwiek punkt jej powierzchni.

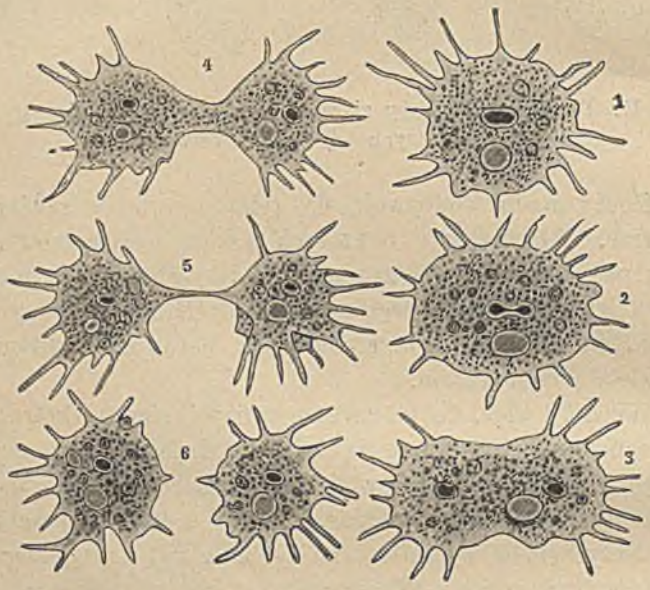
Rys. 17. Pełzak wchłaniający ziarenko krochmalu: następujące po sobie fazy tej czynności, według Verworna.

Ruchy ameby odbywają się tylko w wodzie zawierającej powietrze. Obserwacye, o których jeszcze będzie mowa, zniewalają nas do przyjęcia, że ameba oddycha, t. j. pochłania tlen, a wydziela kwas węglowy. Oddychanie to odbywa się niezawodnię na całej powierzchni ciała, narówni z wchłanianiem i wydzielaniem pokarmu.

Widzimy więc, że te czynności fizyologiczne, które w organizmach wyższych stanowią udział odrębnych organów (narządów), skupione tu są w jednej komórce, a odbywają się w dowolnym niemal jej punkcie. Każda część powierzchni może wydłużyć się w wyrostek (niby-nóżkę), za pomocą którego organizm zmienia miejsce; każdy punkt powierzchni pełnić może rolę jamy ustnej lub otworu odbytowego; cała powierzchnia ciała służy do oddychania; każdy jej punkt jest zarazem i organem zmysłowym, zawiadamiającym całość o znajdujących się w pobliżu ciałkach pożywnych, — źródłem bodźca ruchowego nadającego kierunek przelewającej się plazmie. Jednak trawienie wchłonionych cząstek odbywa się z konieczności w głębi masy plazmatycznej.

Jakoż pomimo prostoty swej ciało ameby nie jest pozbawione pewnego zróżniczkowania. Na większych okazach łatwo dostrzedz, że zewnętrzna warstwa protoplazmy jest gęstsza i ma wygląd przejrzysty, jakby szklisty; masa wewnętrzna jest rzad-

sza i ziarnkowata. Te dwie warstwy wyróżniamy jako ektoplazmę i endoplazmę. W środku endoplazmy znajduje się ciałko wyróżniające się od otaczającej plazmy—jest to jądro; a obok tego dostrzegamy w niej to powstającą, to znikającą kropelkę wody — zbiorniczek kurczliwy. Jest to organ wydzielania: miejsce w protoplazmie, w którem nagromadzają się produkta chemicznych czynności organizmu sok, których obecność staje się szkodliwą, a które wydalane są przez skurczenie masy plazmatycznej.



Rys. 18. Dzielenie się ameby: 1, 2, 3, 4, 5 i 6—następujące po sobie fazy tej sprawy.

Łatwo zrozumiemy, że zewnętrzna gęstsza plazma pełni rolę okrywy względem wewnętrznej, płynnej, wydzielającej sok trawiący (encymę), napełnionej drobnemi ziarenkami innych substancyj nawpół przetrawionych lub wytworzonych przez protoplazmę.

Najbardziej uderzającą cechą organizmów jest zdolność ich do rozmnażania się, t. j. wytwarzania podobnych sobie istot. Właściwość ta połączona jest ściśle z drugą — wzro-

stem. Oba te objawy możemy obserwować na naszym pełzaku. W miarę wchłaniania pożywienia i przeistoczenia na substancyę własną, objętość jego rośnie stopniowo; gdy zaś dojdzie do pewnej granicy, następuje dzielenie się.

Zaczyna się ono od tego, że jądro ameby wydłuża się (rys. 18), potem przewęża się w środku i niebawem dzieli się na dwa. Jednocześnie cała jej masa plazmatyczna wydłuża się w tym samym kierunku i tak samo jak jądro przewęża się stopniowo, tak iż obie połówki utrzymane są w związku przez coraz cieńszą nić plazmatyczną, w końcu zrywającą się zupełnie. W taki sposób powstają dwa nowe, niezależne od siebie osobniki, z których każdy żywiąc się dalej, dorasta stopniowo do wielkości pierwotnej, aby znowu się rozdzielić i t. d.

Amebę zaliczamy do organizmów zwierzęcych. Nie wahaliśmy się jednak podać historyi jej życia na samym wstępie do naszych studyów, zarówno z tego względu, że tu w typowej i najprostszej formie znajdujemy przedstawione różnorodne czynności organizmu wogóle i że po jej opisaniu zrozumiałemi staną się te nowe cechy, które dostrzeżemy w niżej podanych przykładach, jak i dlatego, że i w królestwie roślinnem znajdujemy cały szereg utworów bardzo zbliżonych do ameby, a przedstawiających przejściowe formy niezawodnie roślinnych organizmów. Komórka zwierzęca i roślinna tak są zbliżone do siebie na tym najniższym szczeblu, że dopiero porównawcze ich studyowanie wyświetla przedmiot wszechstronnie. Przechodzimy teraz do organizmów niezdecydowanych, zajmujących miejsce pośrednie między rośliną a zwierzęciem.

4. Ciekawą gromadę organizmów jednokomórkowych o niezdecydowanym charakterze tworzą **Wicijowce (Flagellata)**. Często zdarza się, że woda w kałużach przybiera barwę zieloną przyczym nie możemy dostrzedz gołem okiem jakichkolwiek, pływających w niej utworów. Zabarwienie to pochodzi od ogromnej ilości wicijowców[1]), szybko rozwijających się w wiosennej porze. Jeśli zbadamy pod mikroskopem kropelkę takiej zielonej wody, dostrzeżemy w niej wrzecionowate organizmy jednokomórkowe

[1]) Pospolitym gatunkiem jest Euglena viridis.

(rys. 19), poruszające się bardzo szybko. Przyglądając się uważniej, a najlepiej osłabiając ruch przez dodanie do preparatu gęstej kropli gumy arabskiej, przekonamy się, że organem ruchu jest tu wić czyli długa rzęsa, znajdująca się na przednim, zaokrąglonym końcu komórki. Szybkie jej ruchy nadają pęd całemu organizmowi. Na tym samym końcu dostrzegamy czerwony punkcik, a obok niego drobny zbiorniczek kurczliwy. Czerwony punkcik jest najelementarniejszą formą oka, wrażliwego raczej na ciepło niż na światło. Cała jego funkcya może polegać na tem, że przedstawiając ciałko barwne, mocniej skupiające promienie cieplikowe niż bezbarwna plama, wskazuje organizmowi kierunek, w którym pada światło.

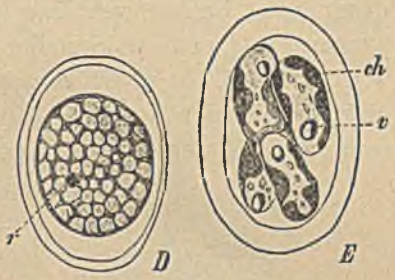
Rys. 19. Wicijowiec (E. acus), *j* — jądro; *z* — ciałka zieleni: *kk*, — ziarka krochmalu. Na przednim końcu wić przymocowana w głębi lejkowatego zagłębienia. Obok czerwony punkt (*o*) i zbiornik kurczliwy (*v*) (pow. ok. 800 razy).

W środkowej rozszerzonej części wrzecionowatego ciałka dostrzegamy jądro, otoczone bardzo licznemi ciałkami zieleni, podobnej do zieleni roślin i pełniącej tu tę samą czynność. Z tyłu i z przodu jądra dostrzegamy ziarenka krochmalu, które, jak o tem niżej będzie mowa, są wytworem owej zieleni. Można spowodować zanik zieleni u wicijowców, hodując je w ciemności i w cieczach pożywczych.

U wicijowca widzimy zróżniczkowanie posunięte dalej niż u ameby: organ ruchu i organ czucia są zróżniczkowane, przybierając postać wici i punkciku czerwonego, a chociaż cała protoplazma jest kurczliwa, ruchy odbywają się głównie przy pomocy wici. Drugą osobliwością tu dostrzeganą, jest obecność zieleni, nadającej organizmom tym cechy roślinne.

Gdy następuje gorąca pora i kałuża poczyna wysychać, wicijowiec wciąga rzęsę, przybiera postać kulistą i wydziela na powierzchni grubą błonę (cystę). W tej formie może przeczekać nieprzyjazne warunki, a skoro kałuża napełni się powtórnie wodą, błona nabrzmiewa, a ciało wicijowca dzieli się na kilka nowych osobników, wyswobadzających się z błony i rozpoczynających ponownie życie ruchliwe (rys. 20).

5. Przechodzimy teraz do gromady organizmów, które stanowią dziś już powszechnie uznaną własność botaników. Są to **śluzowce** (Myxomycetes). Ciekawą a nader pouczającą historyę ich życia możemy poznać na którymkolwiekbądź gatunku, np. na gniłku (Aethalium septicum), znajdującym się często w postaci galaretki pomarańczowej na korze dębowej w garbarniach, lub na innych, które to występują w postaci śluzowej masy pokrywającej pruchniejące pnie ściętych drzew, to mają wygląd rozlanej na zieleni mchów jajecznicy.



Rys. 20. Stan spoczynku (incystacyi) wicijowca Euglena gracilis: *D*—osobnik w cyście; *r* czerwona plamka; *E* — ciało jego rozdzieliło się na cztery młode osobniki; *v*—czerwona plamka i wodniczek; *ch*—zieleń.

Ciało wegetacyjne śluzowca składa się z masy protoplazmy, pozbawionej zupełnie błon i określonego kształtu, niepodzielonej na oddzielne komórki, lecz zawierającej wiele jąder. Masa ta, zwana plasmodyum (rys. 20) rozlewa się zwykle na jakiemkolwiek podłożu, zawierającem pożywne cząstki, np. na próchniejącem drewnie, na liściach opadłych, i zostaje w ciągłym ruchu, zupełnie podobnym do tego, jaki poznaliśmy u pełzaka: na brzegach plasmodyum tworzą się zgrubienia, do których przelewa się plazma, posuwając się gęstą masą, jak lepka ciecz, lub tworząc siatkę z cienkich nici plazmatycznych. Plasmodyum żywi się wilgocią, t. j. wodą, którą podłoże jego jest nasiąknięte, zawierającą rozmaite wyciągnięte z niego substancje pożywne. Natrafiając wszakże na jakieś ciałka stałe otacza je swoją masą (jak widzieliśmy u peł-

Rys. 21. Plasmodyum śluzowca pod mikroskopem.

zaka), a wyciągnąwszy z nich cząstki pożywne, wyrzuca szczątki na zewnątrz.

W tym stanie, gdy się żywi i rośnie w masę, plasmodyum jest bardzo wrażliwe na rozmaite wpływy zewnętrzne: przesuwa się ono w kierunku od mniej wilgotnej strony ku wilgotniejszej, a przez to zawsze zgromadza się w miejscach nizkich; również wrażliwe jest na wpływ temperatury, przesuwając się ku cieplejszym miejscom, ale unikając zbyt gorących; od światła usuwa się szukając miejsc ciemniejszych. Ruch wody na podłożu powoduje również pełzanie plasmodyum w kierunku przeciwnym prądowi wody. Zgromadzony w pewnem miejscu pokarm, działa na plasmodyum przyciągająco, to znaczy, że pełznie ono w kierunku wzrastającego (do pewnego stopnia) stężenia roztworu pożywnego.

Rys. 22. Zarodnie śluzowca Arcyria punicea: *A* — naturalnej wielkości; *B*—powiększone. Jedna z zarodni cała, druga pęknięta z wypiętą włośnią.

Po upływie pewnego czasu własności plasmodyum zmieniają się na wprost przeciwne: teraz unika ono miejsc wilgotnych i ciemnych; wypełza na wierzch na miejsca suche i oświetlone. Cała plazma jego zgromadza się i wytwarza się z niej szereg wypukłości brodawkowatych, w których zbiera się jej coraz więcej, tak, iż całe niemal plasmodyum rozpada się na szereg drobnych kropelek plazmy, z których każda przekształca się w zarodnię: część jej zużywa się na nóżkę (rys. 22), reszta zaś wpełza po tej nóżce, otacza się błonką, w której wnętrzu plazma dzieli się na drobne, kuleczki, zarodniki. Każdy z nich wydziela osobną błonkę (rys. 23 *a*). Pozostała protoplazma przekształca się w siateczkę z cienkich włókien (włośnia), które, gdy zarodnia wysycha, naprężeniem swojem rozrywają wspólną błonkę zewnętrzną i występują z niej w postaci sprężystej masy, jak włosień z prze-

bitej poduszki skórzanej. Wtedy zawarte w niej zarodniki z łatwością wiatr rozsiewa.

Skoro zarodnik taki upadnie w miejsce wilgotne, zaczyna kiełkować (rys. 23). Błona jego pęcznieje i pęka a protoplazma wychodzi ruchem pełzakowatym, wypuszcza z siebie długą rzęsę (*d*) i w ten sposób przeobraża się w pływkę (*e*), budową swoją przypominającą wicijowca. Pływki te rosną i dzielą się; po upływie jakiegoś czasu każda z nich wciąga rzęsę i przekształca się w pełzaka (mixoameba), zupełnie podobnego do opisanego na początku tego rozdziału.

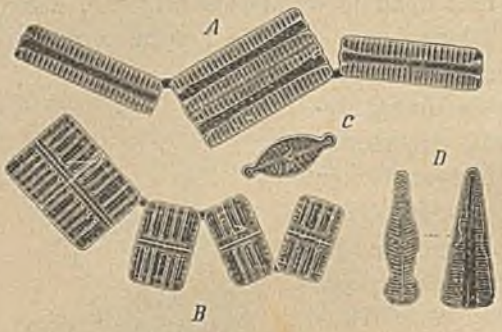
Rys. 23. Kiełkowanie zarodników śluzowca: *a* — dojrzały zarodnik otoczony błonką; *b*, *c*, *d*— fazy pęknięcia i wypełzania plazmy; *e* — faza pływki; *f*—mixoameba.

Pełzaki śluzowców zaczynają niebawem łączyć się i zlewać z sobą w coraz to większej ilości, aż wreszcie ze spojenia ich plazm powstaje znane już nam plasmodyum. Mamy tu więc jeden z nielicznych przykładów, gdzie ciało wegetacyjne powstaje ze zlania się początkowo odosobnionych komórek (mixoameb). Łatwo dostrzedz, że sprawa ta jest przeciwnością dzielenia się ameb, którą poznaliśmy wyżej lub dzielenia się masy plasmodyum na pojedyńcze zarodniki: w tych wypadkach bowiem z jednego organizmu powstaje dwa lub kilka; przy zlaniu (którego odmienną formę poznamy u okrzemek w następującym paragrafie) dwa lub więcej organizmów zlewa się w jeden.

Cały cykl życiowy śluzowca składa się więc z następujących faz: 1. amebowej, 2. plasmadialnej, 3. incystacyi (zarodnik otoczony nieprzenikliwą błoną — stan spoczynku), 4. wicijowca (pływki).

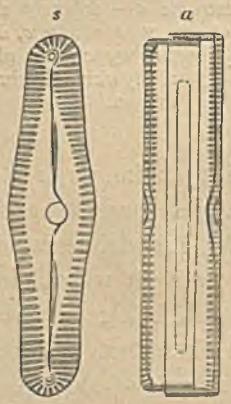
Mamy tu przykład, w którym formy poznane przez nas jako samodzielne organizmy (jak ameba i wicijowiec) występują tylko jako fazy rozwoju innego organizmu. Niekiedy bywa bardzo trudnem wyśledzenie związku z sobą tych faz,

a codziennie niemal zdarzają się wypadki, w których istoty, uważane dotąd za samodzielne gatunki, okazują się przemijającemi formami innych gatunków, co jednak nie wyklucza możności samodzielnego istnienia form zewnętrznie zupełnie do nich podobnych.



Rys. 24. Rozmaite kształty okrzemek: *A* — Diatoma vulgaris; *B*—Tabellaria flocculosa—obie tworzą kolonie spojone kropelkami śluzu (obie od strony obrączki); *C*—Navicula tumida z czoła; *D* — Gomphonema constrictum z czoła i z boku.

6. Jeszcze mniej wątpliwości budzi dziś należność do królestwa roślinnego oryginalnych utworów, **okrzemek** (Diatomeae) powszechnie zaliczanych do wodorostów, chociaż jeden z pierwszych badaczy tej gromadki, Ehrenberg, opisywał je jako wymoczki, upatrując w nich najrozmaitsze organa zwierzęce.



Rys. 25. Pinnularia sp. Budowa błony okrzemek, według Pfitzera: *s* — powierzchnia czołowa; *a*— z boku.

Na stawach lub w wodach powolnie płynących, często dostrzegamy brunatnawe tkanki, niekiedy otoczone bąbelkami gazu [1]), które je podtrzymują na powierzchni wody, jak pęcherze pławne. Składają się one z drobnych wodorostów jednokomórkowych, które nazwano okrzemkami, dlatego że błona ich przesiąknięta jest krzemionką w tak znacznej ilości, iż po spaleniu lub zniszczeniu przez gotowanie w mocnych kwasach mineralnych, zostaje skorupka krzemionkowa, zachowująca formę pierwotnej błony (rys. 25), t. zw. pancerz okrze-

[1]) Są to gazy wydzielane przez okrzemki przeważnie zaś tlen, wydzielany podczas przyswajania.

mek. Na skorupce tej zwykle widzimy bardzo subtelny wyrzeźbiony deseń, złożony z prążków, punkcików i węzełków. Rysunek ten tworzą zgrubienia miejscowe błony.

Według dość powszechnie dziś przyjętego poglądu, którego odnowicielem jest Pfitzer, błona ta ma być utworzoną z dwóch połówek, włożonych jedna w drugą, jak pudełeczko i nakrywka, a rysunek tu załączony odpowiada tej teoryi budowy błony okrzemek. Autor jednak ma powody, zarówno teoretyczne, jakoteż i oparte na obserwacyach, do bardzo poważnych wąpliwości o prawdzie takiego poglądu. Powinniśmy więc raczej uważać okrzemkę za otoczoną jednolitą zamkniętą błoną na wzór innych komórek roślinnych; podłużne zaś jej rozszczepienie za zjawisko czasowe, odpowiadające dzieleniu się komórki, o czem będzie mowa za chwilę.

Rys. 26. Okrzemka (Pinnularia) widziana z boku. Wklęśnięcia środkowe i zgrubienia końcowe błony tworzą węzełki. Wewnątrz protoplazma zabarwiona w postaci tafelek leżących w bezbarwnej plazmie przyściennej, która w środku skupia się w masę otaczającą jądro. Pozostała przestrzeń zapełniona sokiem komórkowym, w którym widzimy kropelki tłuszczu.

Zgodnie z tem zatrzymujemy dawną terminologię: nazwę c z ó ł k a dla obu stron rzeźbionych błony; o b r ą c z k i—dla łączącego oba czółka paseczka, zwykle pozbawionego rysunku.

Wewnątrz błony znajduje się protoplazma, której część tworzy warstwę przylegającą do ścianek (rys. 26), część zaś skupiona jest w środku komórki i zawiera jądro. W plazmie leżącej u ścianek zanurzone są utwory protoplazmatyczne t. zw. c h r o m a t o f o r y, mające kształt tafelek i napojone barwnikiem żółtym (diatomina) zmieszanym z zielenią. Pozostałą przestrzeń wypełnia sok komórkowy, zawierający niekiedy kropelki tłuszczu.

Okrzemki znajdują się bądź odosobnione i wolne, a w takim razie odbywają zwykle ruchy przenośne, przypomi-

nające płynące czółenko — lub też przymocowane na galaretowatych nóżkach, albo połączone w kolonie za pomocą warstewek śluzu, które utrzymują w związku rozdzielone komórki.

Gdy wzrost komórki dosięgnie pewnej granicy, dzieli się ona podobnie jak to w dzieliśmy u pełzaka.

Dzielenie się odbywa po płaszczyźnie przechodzącej przez jądro, a równoległej do obu czół, tak że każdy z powstających osobników utrzymuje jednę starą połówkę czołową błony i dorabia jednę nową. Obrączka przytem rozszczepia się skośną szparką tak, iż jedna jej część wysuwa się stopniowo z drugiej, dając wyżej przedstawiony obraz pudełeczka i pokrywki. Oba więc nowe czoła tworzą się wewnątrz komórki macierzystej. Dopiero gdy grubość czoła dosięga normy i rysunek na nim jest zupełnie uformowany, obie komórki (siostrzane) rozdzielają się, a przytem łatwo można stwierdzić, że oba czółka są mocno spojone z paseczkiem tworzącym obrączkę.

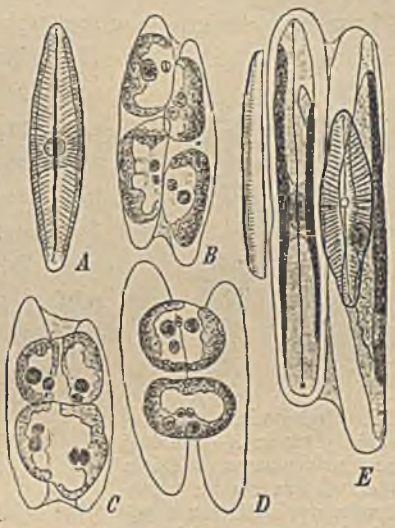
Ponieważ nowe czółka utworzone są wewnątrz komórki macierzystej, są one pierwotnie nieco krótsze od dawnych, a mianowicie o podwójną grubość obrączki. Czy w następstwie wyrównanie ma miejsce przez dalszy wzrost, czyli też przez wyprostowanie się nieco zgiętego pierwotnie czółka, co do tego bezwzględnej pewności nie mamy. To tylko jest pewne, że możemy obserwować liczne osobniki okrzemek, w których nie dostrzegamy żadnej różnicy długości między obu czółkami. Gdyby zaś ta różnica miała miejsce stale (jak przypuszcza Pfitzer), wszystkie okazy okrzemek widziane z boku musiałyby mieć postać trapezów zamiast równoległoboków.

Jakkolwiekbądź faktem jest, że w miarę następujących po sobie podziałów, osobniki stają się coraz mniejsze. Niekoniecznie jednak powinno to być następstwem owego skracania się czółek w miarę podziału. Jest to zjawisko ogólniejsze, o którem wypadnie nam mówić w rozdziale o rozmnożeniu.

Maleniu temu gatunków stawia kres odrębny proces, polegający na zlaniu się komórek, zasadniczo analogiczny ze zlaniem się mixo-ameb śluzowca, lecz odmienny w szczegółach. Dzieje się to w sposób rozmaity.

Jeden z typów zlania się (u Cocconeis) polega na tem, iż dwa osobniki zbliżają się i otaczają się wspólną masą

galaretowatą. Jądro każdego z nich dzieli się na jedno większe i jedno małe. Skorupki ich roztwierają się i ciała protoplazmatyczne zlewają się, przyczem większe jądra zlewają się z sobą, mniejsze zaś zanikają. Powstaje więc jeden zarodnik sprzężony, który otacza się błoną. W innych wypadkach każda masa plasmatyczna dzieli się początkowo na dwie, a jądro każdej z powstających połówek dzieli się na dwa: większe i mniejsze. Dalej każda połówka jednej komórki macierzystej zlewa się z odpowiednią połówką drugiej komórki macierzystej, przyczem większe jądra zlewają się z sobą, mniejsze zaś zanikają. Powstają więc dwa zarodniki sprzężone, które wyrastają, a z których dalej drogą dzielenia powstają nowe osobniki coraz to mniejsze.



Rys. 27. Tworzenie się zarodników sprzężonych u Navicula viridis. *A* — widok osobnika z czoła; *B* — dwa osobniki zbliżone i spojone śluzem: każda komórka rozdzieliła się na dwie a w każdej połówce jądro również na dwa (szczegóły rysunku czoła opuszczone); *C* i *D*—fazy zlania się połówek; *E*—oba zarodniki sprzężone (z nich jeden zwrócony czołem z zarysowaną już na nim linią środkową); obok leżą połówki błony dawnych osobników (według Karstena, pow. 500).

7. W stawach i wodach płynących znajdujemy często na kamieniach i innych przedmiotach podwodnych delikatny meszek zielony, utworzony z nici wodorostu Oedogonium. Cały osobnik składa się z kilku komórek walcowatych, w których obok jądra i protoplazmy oraz zawartej wewnątrz protoplazmy cieczy komórkowej, znajdują się także drobne ziarenka zieleni (rys. 28).

Tylko dwie komórki wyróżniają się kształtem wśród innych: dolna zwykle pozbawiona prawie zieleni a rozrastająca

się w szeroką nóżkę przymocowaną do podłoża, oraz górna, zakończona śpiczasto.

W pewnej fazie rozwoju dostrzegamy w jednej z komórek następujące zmiany: protoplazma jej oddziela się od ścianki komórkowej, przybierając coraz bardziej kulistą formę; jednocześnie błona pęka u górnego końca komórki po linii kolistej i otwiera się nakształt wieka u skrzynki; protoplazma wydobywa się teraz na zewnątrz i zaczyna odbywać szybkie ruchy przy pomocy wieńca rzęs, otaczającego zaostrzony i pozbawiony zieleni przedni koniec komórki. Utwór taki nazywamy pływką; zawiera ona wszystkie części składowe komórki nieruchomej, prócz błony, a brak jej umożliwia ruchy przenośne, których organem stają się utworzone z protoplazmy rzęsy, zebrane w wieniec koło bezbarwnego końca pływki, a działające jak wiosła u łodzi.

Rys. 28. Oedogonium sp. Powstawanie pływek: *A*—w dolnej komórce protoplazma oddziela się od ścianek i zaokrągla; w górnej pływka wychodzi przez pękniętą kolisto błonę; *C*—pływka w ruchu: *D* — otoczona błoną i przymocowana do dna.

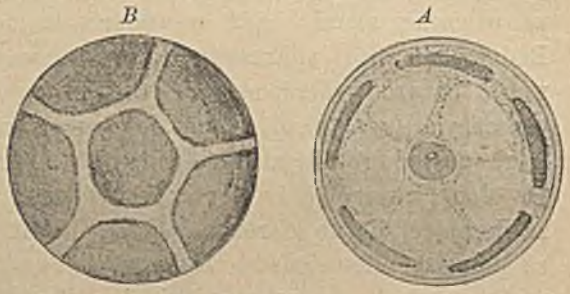
Po upływie pewnego czasu ruch pływki staje się mniej żywym, w końcu zaś zatrzymuje się ona, wciąga rzęsy i przymocowuje się bezbarwnym końcem do jakiegokolwiek podwodnego przedmiotu. Teraz wytwarza się na jej powierzchni błonka, pierwotnie bardzo cienka lecz stopniowo grubiejąca; komórka przybiera postać gruszkowatą, dolna jej część rozrasta się w rodzaj nóżki; dzieli się następnie błonką poprzeczną, wytwarzając, jednę po drugiej, szereg komórek ułożonych nad sobą. W ten sposób powstaje nić zupełnie podobna do tej, z której wyszła pływka.

Łatwo zrozumieć, jakie znaczenie ma dla organizmu ta zdolność przenoszenia się i wytwarzania nowej nici w miejscu odległem od nici macierzystej: pozwala ona wyzyskać wszystkie miejsca, w których organizm może się rozwinąć i czerpać pożywienie wśród danego zbiornika wody.

Nie zdziwi też nas zdumienie, w jakie wprawiło odkrycie to jego autora, Pringsheima, który w roku 1855 pierwszy raz

dokonał tej obserwacyi dziś tak pospolitej dla każdego mikrografa. Zdumienie to znalazło wyraz w tytule rozprawki, w której ogłosił swoje odkrycie. Tytuł ten charakteryzuje zarazem chwilowy zamęt w pojęciach, wywołany przez poznanie zdolności rośliny do ruchów przenośnych. Brzmiał on: Roślina w chwili stawania się zwierzęciem (Ueber das Thierwerden der Pflanze).

8. Zbliżoną do poprzedniego jest historya życia wodorostu ściśle jednokomórkowego, który nazywamy pierwotkiem zielonym (Protococcus viridis). Tworzy on zwykle warstewki zielone, wyglądające jakby drobny proszek na powierzchni kory drzewnej. Jeśli trochę proszku tego rozpatrywać będziemy pod mikroskopem, dostrzeżemy, iż składa się z oddzielnych komórek okrągłych (rys. 29), złożonych ze wszystkich typowych dla komórki roślinnej części.



Rys. 29. Pierwotek *A*—w przekroju optycznem, *B*—z powierzchni.

Jeśli ustawimy za pomocą śruby mikrometrycznej ognisko mikroskopu na środek komórki, płaszczyzna ogniskowa będzie ją niejako przecinała idealnie. Obraz w ten sposób otrzymany nazywamy przekrojem optycznym, w przeciwności do ustawienia na powierzchnię, które pozwala widzieć budowę powierzchni drobnych obserwowanych utworów.

Na przecięciu optycznem pierwotka dostrzegamy następującą budowę: błonka o wyraźnym podwójnym zarysie otacza w postaci zamkniętego woreczka masę protoplazmatyczną, w której zanurzone są tafelki zieleni (8): wewnątrz protoplazmy znajdujemy przestrzeń sokową, w której na niciach protoplazmatycznych zawieszone jest jądro, otoczone niewielką ilością plazmy środkowej.

W zwykłych warunkach, t. j. znajdując się na wilgotnej powierzchni, pierwotek rozmnaża się drogą dzielenia się komórek.

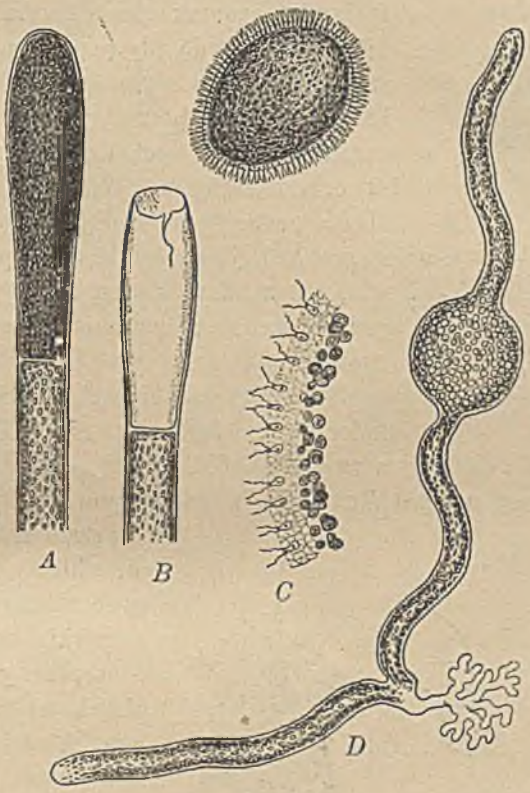
Jeśli wszakże komórka pierwotka znajdzie się w wodzie, wtedy wytwarzają się w niej pływki podobne do opisanych u Oedogonium. Przytem jądro dzieli się na dwa, cztery, w końcu ośm nowych; każde otacza się protoplazmą i jedną tafelką zieleni. Pływki mają po dwie rzęsy. Wydostają się one przez pękniętą błonę na zewnątrz i przez pewien czas pędzą żywot ruchomy. Potem wciągają swoje rzęsy, opadają na dno, otaczają się błonką i przedstawiają teraz komórki zupełnie podobne do tej, którą opisaliśmy na początku.

9. Inaczej przedstawia się historya życia wodorostu również jednokomórkowego, nazwanego Vaucheria na cześć botanika Vaucher. Składa się on z długich i względnie dosyć grubych nici, mających wygląd grubej szczeciny, rosnących bądź na wilgotnej ziemi, bądź w wodach stojących lub płynących. Badając je pod mikroskopem, przekonamy się, że są to woreczki bardzo wydłużone, pozbawione zupełnie przegródek poprzecznych (rys. 30, D). Część jego u gatunków ziemnych przybiera postać rozgałęzionego chwytnika wrastającego w grunt. Do błony, tworzącej ów woreczek, przylega warstwa protoplazmy, zawierającej liczne ziarenka zieleni. Obok tego wykryć można za pomocą odpowiednich zabarwień obecność licznych jąder, umieszczonych w pewnej od siebie odległości. Mamy tu przykład komórki, względnie bardzo wielkiej i wielojądrowej. Doświadczenie wykazuje, że jeśli przetniemy nić taką na kilka części, to każda z nich może żyć dalej, jeśli tylko zawiera chociażby jedno jądro. Jeśli wszakże odetniemy taką część nici, w której niema jądra, umiera ona niebawem.

Widzimy stąd, jakie znaczenie ma jądro dla komórki, a obecność licznych jąder w tak wydłużonej komórce, jak u Vaucheria, tłumaczy ta okoliczność, że każde z nich może wywierać wpływ swój tylko na nieznacznej odległości.

Niekiedy dostrzegamy następujące przemiany w nici Vaucherii: koniec jej nabrzmiewa, przybierając postać maczugi; w nabrzmieniu tem zgromadza się znaczna ilość gęstej plazmy, która oddziela się poprzeczną przegródką od pozostałej części nici. Teraz błonka, otaczająca maczugowate nabrzmienie, zamienia się u wierzchołka w masę śluzową stopniowo rozpły-

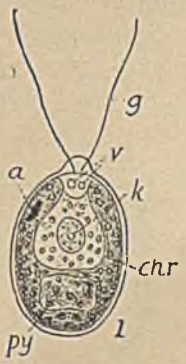
wającą się, a zaokrąglona masa protoplazmy tworząca jedną wielką pływkę, wydostaje się z tego śluzu powoli obracając się dokoła podłużnej osi i, uwolniwszy się, zaczyna odbywać ruchy. Na powierzchni tej dużej kulistej pływki, widzialnej już gołem okiem, dostrzegamy przy silnem powiększeniu bardzo liczne rzęsy plazmatyczne, których wiosłowanie wprawia ją w ruch. Pod każdą



Rys. 30. Vaucheria w stanie wegetacyi (*D*) słabo powiększona, oraz w chwili wytworzenia pływki (silniej powiększona); *A* — nabrzmienie końcowe; *B* — pływka wyszła przez otwór błony; *C* — brzeg pływki b. silnie powiększony, wykazujący liczne jądra leżące koło każdej pary rzęs. Głębiej ziarna zieleni. (Według Götza i Strasburgera).

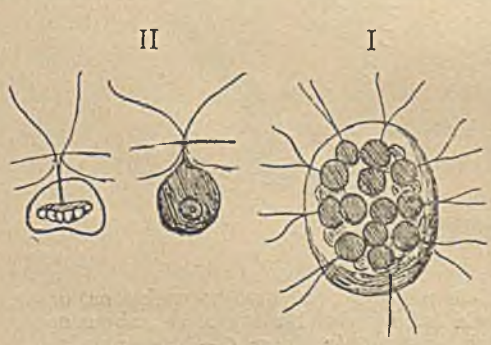
parą rzęs mieści się jedno jądro; dalej zaś w głębi ziarna zieleni. Po upływie pewnego czasu pływka zatrzymuje się, otacza się błoną i wyrasta w nową nić Vaucherii.

10. Nie brak i takich organizmów roślinnych, które obdarzone są zdolnością do ruchu przez całe życie swoje, mimo to, iż otoczone są błonką. Do takich należy liczna gromada wodorostów, tworzących klasę Ruchomych (Mobilia). Za typ jej posłuży nam wodorost, spotykający się często w wodach naszych, Chlamydomonas (rys. 31). Dojrzały osobnik przedstawia się zupełnie podobnie do pływek innych wodorostów z tą tylko różnicą, że otoczony jest błonką. Rzęsy plazmatyczne, stanowiące organ ruchu, wychodzą przez cienkie otworki tej błonki. Wiosłując niemi, roślinka pędzi życie ruchliwe, dopóki drogą, o której wypadnie nam później mówić, nie zamieni się na spoczywający zarodnik, wydający z czasem nowy ruchomy osobnik.



Rys. 31. Chlamydomonas angulosa *a*— czerwony punkcik; *v* — zboruiki kurczliwe; *k* — jądro; *chr* — ciałko zieleni, w niem utwór *py* (pirenoid) (pow. 800, według Dilla).

Do tej gromadki należą także formy kolonialne. Jednę z nich Eudorynę widzimy na załączonym rysunku. Składa się ona z podłużnie okrągłej masy nawpół śluzowej (I), która powstała przez silne napęcznienie i zlanie się błon poszczególnych komórek. Same komórki, utworzone z protoplazmy, jądra, ziarek zieleni i cieczy komórkowej (II), rozmieszczone są regularnie u powierzchni masy śluzowej. Każda jest zaopatrzona w dwa rzęsy ruszające się ustawicznie. Cała kolonia zostaje wprawiona w ruch przez wiosłowanie tych rzęsów.



Rys. 32. Eudorimae legans. Na prawo (I) cała kolonia, w środku — jedna komórka z rzęsami, na lewo — chwila powstawania nowej kolonii przez dzielenie się komórki.

11. Sprobujmy teraz wytworzyć sobie na podstawie tego przeglądu historyi życia (nie zawsze wyczerpująco przedstawionej [1]) rozmaitych organizmów bardzo prostych, czem jest komórka roślinna w stanie pierwotnym, t. j. w tym, w którym zachowuje wszechstronne własności organizmu elementarnego, zanim przeobrażając się na część lub organ ustroju bardziej złożonego, zdoła utracić niektóre z tych cech typowych.

Komórka taka, jak to widzieliśmy, jest w całem znaczeniu słowa organizmem. Pełni ona, w formie prostszej, wszystkie czynności właściwe organizmowi skomplikowanemu, chociaż nie zawsze dostrzegamy w niej poszczególne organa tych czynności. Raczej są one w przeważnej mierze umiejscowione w całej plazmie, jak to najwidoczniej ujawnia się u ameby. Mamy więc tu przyswajanie pożywienia i odpowiedni mu wzrost osobnika; mamy wydalenie nieprzyswojonych substancyi, również jak i tych, które powstają wskutek procesu życiowego, jako produkta rozkładu protoplazmy; mamy oddychanie, jako czynnik tego rozkładu; mamy rozmaite encymy przemieniające w stan rozpuszczalny wchłonięte substancye, mamy ruchy objawiające się rozmaicie u rozmaitych gatunków. Wszystko to wykonywa protoplazma komórki.

Zauważyliśmy obok tego, że wpływ doniosły na czynności komórki, jako organizmu elementarnego, wywiera jądro. Widzieliśmy, że ono to daje hasło do sprawy, która występuje jako następstwo wzrostu komórki przez odżywianie: od podziału jądra zaczyna się dzielenie komórki, dzięki któremu ilość ich mnoży się. Widzieliśmy dalej fakty przemawiające za tem, że jądro wywiera wpływ kierowniczy i na zwykłe sprawy życiowe komórki [2]), oraz że sfera jego oddziaływania jest ograniczona, co tłumaczy obecność licznych jąder w większych komórkach.

Widzieliśmy dalej, że chociaż w niektórych wypadkach komórka roślinna występuje w postaci nagiej masy plazmatycznej, najczęściej jednak otoczona bywa błoną, którą na po-

---

[1]) Pominęliśmy mianowicie u wielu z opisanych organizmów objawy o których wypadnie nam mówić w rozdziale o rozmnożeniu.

[2]) Części komórki Vaucheria pozbawione jądra nie mogą żyć.

wierzchni swej wytwarza protoplazma. Wiemy także, że protoplazma posiada zdolność wyzwolenia się z tego zbudowanego przez się więzienia, wydzielając substancye rozpuszczające błonę.

Poznaliśmy prócz tego na niektórych z opisanych organizmów sprawę przeciwną dzieleniu się komórek, a mianowicie ich zlewanie się po dwie (u okrzemek, lub w większej ilości u śluzowców). Sprawa ta jest bardzo rozpowszechniona w obu królestwach organicznych, a jak mogliśmy już dostrzedz na przykładzie okrzemek, jądro odgrywa w niej pierwszorzędną rolę. W przeciwności do wszystkich innych objawów życia komórki, które nazywamy wegetacyjnemi, sprawę tę oznaczymy wyrazem reprodukcyi; mamy tu bowiem niejako ponowne odtworzenie się komórki z części składowych, pochodzących z dwóch lub kilku innych.

W tych organizmach, których opisaliśmy cały cykl życiowy, dostrzedz mogliśmy, że cykl ten zamyka się niejako procesem reprodukcyi, po którym powtarzają się znowu te same fazy w tym samym porządku (śluzowiec, okrzemki).

Po tem wstępnem zaznajomieniu się z głównymi objawami życia komórki, jako organizmu samodzielnego, przejść możemy do dokładniejszego poznania rozmaitych form, jakie przybierają w bardziej skomplikowanych organizmach, osobliwości i szczegółów ich budowy oraz zjawisk życiowych, których są siedliskiem. Następne rozdziały poświęcamy tym przedmiotom, t. j. morfologii i fizyologii komórki.

ROZDZIAŁ III.

Budowa komórki roślinnej.

1. Poznaliśmy historyę życia kilku organizmów jednokomórkowych zwierzęcych i roślinnych. Daje ona nam możność wytworzenia pojęcia o tem, czem jest i jakim przemianom może ulegać komórka, zachowująca niezależność swoję jako jednostka morfologiczna i fizyologiczna, t. j. komórka zdolna do dzielenia się i wytwarzania podobnych sobie z jednej strony; z drugiej — do odżywiania się, wzrostu i pełnienia wszystkich tych elementarnych czynności życiowych, które właściwe są tak prostym organizmom.

Teraz wypada nam przejść z kolei do dokładniejszego zbadania poszczególnych części komórki roślinnej oraz przemian, którym ulega w rozmaitych fazach życia.

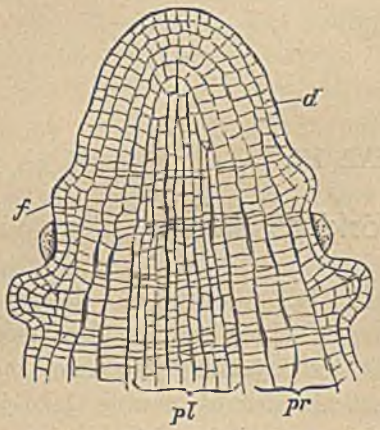
Na samym końcu łodygi u roślin wyższych znajduje się młodziutki, rozwijający się pączek. Składa się on ze zwiniętych liści, pod którymi ukrywa się delikatny koniec łodygi. Nazywamy go stożkiem wegetacyjnym.

Otrzymanie cienkich skrawków z tak delikatnych i drobnych części należało dawniej do najtrudniejszych zadań techniki mikroskopowej, dziś ułatwionych dzięki zastosowaniu do roślin metody zatapiania w parafinie i krajania mechanicznego za pomocą mikrotomu.

Możemy w ten sposób otrzymać cały szereg następujących po sobie skrawków dowolnej cienkości, pozwalających

obserwować układ pojedyńczych komórek i ich wewnętrzną budowę. Gdy jednak idzie o poznanie własności żywych komórek, ich reakcyi chemicznych, należy brać skrawki świeże i badać je w kropli wody.

Przekrój podłużny stożka wegetacyjnego łodygi przedstawiony jest na rysunku 33. Widzimy, iż składa się on w górnej części z drobnych komórek prawie jednakowej długości i szerokości; każda zaopatrzona w cieniutką błonę, a napełniona gęstą protoplazmą, wśród której znajduje się jądro.

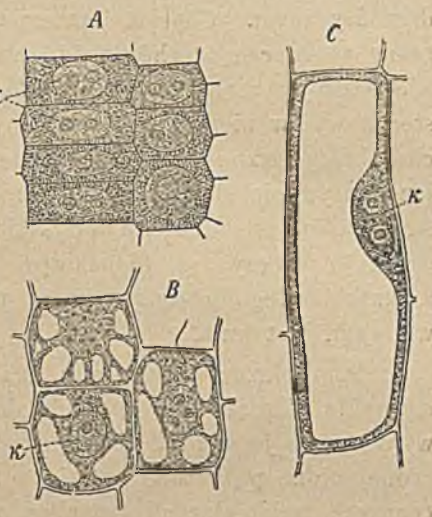


Rys. 33. Stożek wegetacyjny rośliny dwuliścieniowej. (Hippuris vulgaris).

Komórki te tworzą to, co nazywamy tkanką twórczą: komórki jej są bardzo czynne pod względem morfologicznym, to jest energicznie dzielą się, a wskutek tego nie dosięgają znaczniejszych wymiarów. Jest to część rośliny zostająca niejako ciągle w stanie zarodkowym. Działalność jej powoduje ustawiczny wzrost rośliny na wysokość oraz wytwarzanie coraz to nowych organów (liści i gałązek) na końcu łodygi.

Jeśli przekrój zrobimy cokolwiek niżej stożka wegetacyjnego, natrafimy na miejsce, gdzie komórki stają się mniej czynne pod względem morfologicznym: dzielą się one rzadziej, wyrastają natomiast i przystosowują się do poszczególnych funkcyi fizyologicznych. Dostrzegamy tu najprzód, iż wśród protoplazmy tworzy się kilka zbiorniczków, zawierających ciecz. Są to wodniki (wakuole). Wodniki te, zwiększając się stopniowo w miarę dalszego wzrostu komórki, zlewają się wreszcie w jeden wielki, wypełniający całe wnętrze komórki i przyciskający protoplazmę do jej ścianek. Nazywamy go teraz przestrzenią sokową, a zawartą w niej ciecz — sokiem komórkowym.

Jądro zajmuje teraz miejsce w przylegającej do błony warstwie protoplazmy czyli woreczku protoplazmatycznym; niekiedy bywa zawieszone w środku komórki na niciach plazmatycznych (rys. 34). Taki układ części charakterystyczny jest dla dojrzałej komórki roślinnej: widzieliśmy go u wodorostów jednokomórkowych, a powtarza się on we wszystkich niemal komórkach, wchodzących w skład wyższej rośliny, o ile nie są one przekształcone na specyalne organa.



Rys. 34. *A* — bardzo młode komórki wypełnione plazmą; *B* — nieco starsze z kilku wodnikami; *C*—zupełnie rozwinięte; *k*—jądro. Powiększenie 550.

Łatwo sobie zdać sprawę z warunków, które powodują ten układ. Przyczyną jego jest, że przyrost protoplazmy nie podąża równomiernie za wzrostem komórki. Skoro więc objętość komórki zwiększy się do tego stopnia, że zawarta w niej protoplazma nie wypełnia już całej przestrzeni wewnętrznej, w przestrzeń tę wnika woda, wsiąkająca przez błonę, a ustawicznie dopływająca do żyjących komórek roślinnych. Przestrzeń sokowa jest niejako rozszerzonym zbiorniczkiem kurczliwym zwierząt jednokomórkowych, który tu rozrasta się nadmiernie, przyciskając do błony powierzchowną masę protoplazmy. Poznamy niebawem znaczenie tego faktu dla życia rośliny.

Możemy więc rozróżnić cztery składowe części dojrzałej komórki roślinnej: błonę, protoplazmę, jądro i ciecz komórkową.

2. Sam fakt, że komórka może ukazywać się raz otoczona błoną, drugi raz bez niej, świadczy, że błona nie jest istotną częścią komórki. Zjawiska życiowe skupione są w protoplazmie i jądrze, są to istotne części komórki. Ponieważ zaś jądro i protoplazma mają bardzo zbliżoną budowę i skład

chemiczny, a zostają w ścisłym z sobą związku, nazywamy obie te części razem protoplastą.

Wygląd zewnętrzny protoplazmy porównywają często do półpłynnej, nieco mętnej substancyi.

Porównanie do cieczy jednak nie jest ścisłe pod względem fizycznym. Chociaż bowiem cząsteczki protoplazmy obdarzone są znaczną ruchliwością, chociaż jej masa może, jak to widzieliśmy, przelewać się na wzór gęstej cieczy, układ sił cząsteczkowy w niej jest zgoła inny niż w cieczy. Dla cieczy charakterystyczną jest mianowicie znaczna spójność, utrudniająca odrywanie się od siebie cząsteczek, przy zupełnej łatwości ślizgania się ich we wszystkich kierunkach. Siły przyciągania w cieczy są jednakowe we wszystkich kierunkach, a skutkiem tego postacią, którą przybiera ciecz w stanie równowagi, jest kula.

Protoplazma przeciwnie ma kształty zmienne, ruchliwe, a zwykle różniące się od kuli dopóki jest żywą. To tworzy wyrostki, to je wciąga. Pojedyńcze jej części w komórce otoczonej błoną połączone bywają z sobą za pomocą nici plazmatycznych, zmieniających kształt i miejsce przyczepienia. Mamy więc tu do czynienia z bardzo skomplikowanym a ustawicznie zmieniającym się układem sił cząsteczkowych. Dopiero wtedy, gdy protoplazma komórki zabita zostanie pod wpływem jakichkolwiek czynników szkodliwych, przybiera ona kształt kulisty lub zbliżony do niego (rys. 35). Dość jest rozmiażdżyć igłą lub ciśnieniem szkiełka pokrywkowego komórkę jakiegokolwiek z opisanych wyżej wodorostów (Pierwotka lub Vaucheryi), aby się o tem przekonać. Protoplazma, wypływając z rozdartej błony, mocno nabrzmiewa w zetknięciu z wodą, która wnika obficie w protoplazmę i niszczy jej budowę cząsteczkową, powodując jej śmierć. Wówczas masy plazmaty-

Rys. 35. Włosek pokrzywy utworzony z jednej komórki, której protoplazma zabita została działaniem kwasu octowego (pow. 320).

czne przybierają postać kropel kulistych, wyróżniających się lekkim konturem od otaczającej ich wody.

Fakt ten świadczy także i o tem, że zachowanie życiowej budowy plazmy, zawartej w błonie, wymaga odpowiedniej koncentracyi soli zawartych w soku komórkowym, a z drugiej strony tłumaczy znaczenie zewnętrznej warstwy przezroczystej i gęstej plazmy (hyaloplazma, ektoplazma), otaczającej wewnętrzną (endoplazma), mętną, ziarkowatą i rzadszą w organizmach jednokomórkowych pozbawionych błony: ochrania ona tę wewnątrzną część od wnikania wody i jej burzącego wpływu.

3. Nie brak wszakże warstwy tej i protoplazmie komórek otoczonych błoną. Już dawno wykryta i opisana była przez Mohla pod nazwą „woreczka pierwotnego." Jest to gęstsza i przezroczysta plazma, otaczająca całe ciało plazmatyczne z zewnątrz i oddzielająca je od błony. W najnowszych czasach opisano podobną gęstszą warstewkę oddzielającą pozostałą protoplazmę od cieczy komórkowej (przestrzeni sokowej). Również i jądro oddzielone jest od otaczającej go plazmy warstewką gęstszą tej samej natury, co zewnętrzna i wewnętrzna.

Przy silnych powiększeniach można dostrzedz w protoplazmie ruszające się drobne ciałka czyli ziarenka, nadające wygląd mętny. Ciałka te nazwano mikrozomatami, t. j. drobno-ciałkami. Nazwa ta nic nie przesądza o ich roli w komórce, a wielce prawdopodobnem jest, że pod tą nazwą łączą się utwory bardzo do siebie niepodobne.

Strasburger zaproponował (1892) dla wyróżnienia tych dwóch rodzajów plazmy nazwy cynoplazma i trofoplazma. Pierwsza oznacza przypuszczalny udział owej gęstszej i przezroczystej plazmy w zjawiskach cynetycznych i procesach morfologicznych komórki (dzielenie się komórek, tworzenie błon), druga stosuje się do części ciała protoplazmatycznego, w których odbywają się przeważnie sprawy odżywiania. Do podziału tego wypadnie nam wrócić przy opisaniu dzielenia się komórek.

Zastosowanie w nowszych czasach silnych powiększeń i zabarwień do badań nad protoplazmą, rzuciło nowe światło na jej budowę i stało się powodem do utworzenia czterech rozmaitych poglądów na budowę mikroskopową plazmy.

a) Według jednego z nich masa protoplazmy utworzona jest z r u s z t o w a n i a, utworzonego z cienkich tasiemek gęstszej masy, którego oczka zapełnione są cieczą (Schmitz 1880 [1]).

b) Według innego protoplazma przedstawia rodzaj p i a n y, to jest przestworów zamkniętych, utworów podobnych do baniek z gęstszej substancyi, wypełnionych wewnątrz cieczą (Bütschli).

c) Flemming (1882 [2]) w roślinnej, a Kipfer w zwierzętej plazmie wykazują obecność dwóch odmiennych chemicznie substancyi: włókienek silnie barwiących się i tworzących gęstą sieć (p r o t o p l a z m a) i zapełniającej oczka sieci półpłynnej substancyi międzywłókienkowej (p a r a p l a z m a). Punkciki ciemniejsze nadające wygląd mętny plazmie, a zwane zwykle ziarenkami, byłyby punktami spojenia nici w oczka sieci.

d) Na podstawie pewnych obserwacyi wygłoszono wreszcie pogląd, że drobne ziarenka, które dostrzegamy w plazmie, są istotami żyjącemi niższego rzędu, zanurzonemi w masie zasadniczej (m i k r o z o m a t a Hansteina; b i o p l a s t y Altmanna). Ciałka te układają się to rzadziej, to gęściej, niekiedy zaś grupują się w szeregi naśladując włókna [3]).

W pewnych momentach włóknista budowa występuje wyraźnie w plazmie, a do tych utworów włóknistych przedewszystkiem stosuje się nazwa cynoplazmy — o czem będzie niżej. Gdybyśmy więc przyjęli teoryę budowy włókienkowej, nasuwałoby się jako konsekwencya, utożsamienie włókienek z cynoplazmą, plazmy międzywłókienkowej—z trofoplazmą. Wszystkie te poglądy należą dziś jednak jeszcze do rzeczy spornych. Wypowiadano także myśl, że plazma przybiera rozmaitą budowę w rozmaitych momentach życia komórki.

W najnowszych czasach zastosowano do badania protoplazmy zwięrzęcej i roślinnej—ultramikroskop. Pokazało się, iż zawiera ona

---

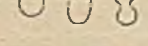
[1]) Structur der Plasma etc.

[2]) Zellsubstanz etc.

[3]) Z dawniejszych poglądów można wymienić Nägeli'ego (T h e o r i e d e r G ä h r u n g, 1859), według którego ziarenka są drobnemi wodniczkami, co zbliża się do teoryi budowy piankowej. Według innych ziarenka te miały być ciałkami stałemi lub drobnemi kropelkami tłuszczu.

drobne ruchome ciałka jak i inne ciecze koloidalne (ob. § 5 tego rozdziału)—ultramikrony, których barwa jest przy zwykłych objektywach biała i niebieska, przy użyciu achromatów—fioletowa. Wielkość ich w komórce roślinnej wynosi od 5 — 10 μμ, niekiedy dochodzą do 100 μμ (t. j. do 0,0001 mm). Największe ultramikrony spotykają się w jądrze, gdzie też gęściej są rozmieszczone, tworząc gęstą sieć; najmniejsze w hyaloplazmie. Kształt mają rozmaity, od okrągłego do biszkoptowego i ósemkowego, co nasuwa myśl, iż dzielą się na wzór komórek.

Ultramikrony są w ustawicznym ruchu, to zbliżając się ku sobie, to oddalając od siebie, przyczem prądy zmieniają ustawicznie swój kierunek. Przy umieraniu protoplazmy i przy zupełnej plasmolizie (od R. IV § 1) ultramikrony protoplazmy skupiają się i spajają z sobą a protoplazma zastyga w galaretę. Wogóle według Gaidukowa (1906) protoplazma żyjąca co do własności ultramikroskopowych podobna jest do hydrozolu (t. j. roztworu koloidalnego); martwa—do hydrożelu (t. j. galarety).



Rys. 36. Ultramikrony protoplastów (według Gaidukowa).

Przy tworzeniu się wyrostków (nibynóżek) u ameby śluzowców, w miejscu gdzie ma powstać wyrostek, tworzy się najsamprzód „próżnia optyczna," t. j. znikają z niego wszystkie ciałka łamiące światło odmiennie od otoczenia; następnie wpadają tu w wielkiej ilości cząsteczki endoplazmatyczne, naciskają na ektoplazmę i powodują jej rozciągnięcie w nibynóżkę.

Rys. 37. Zjawiska ultramikroskopowe przy tworzeniu się nibynóżek u mixoameby (według Gaidukowa).

Ultramikrony łączą się niekiedy w gromady przypominające ze wszystkich względów kolonie drobnoustrojów i zostające w ruchu (organizmy ultramikroskopowe Raehlmanna [1]).

---

[1]) Ob. Gaidukow w Berichte der deutsch. bot. Gesselschaft 1906, str. 110, 155, 192.

4. Jeśli budowa mikroskopowa, bardzo drobna lecz dostępna uzbrojonemu silnemi powiększeniami oku, jest jeszcze kwestyą sporną, a siły w niej czynne—niemal zagadką, to mniej wątpliwą jest nasza wiedza o chemicznej i fizycznej budowie materyału, z którego plazma jest utworzona.

Pod względem chemicznym protoplazma składa się z ciał białkowatych, t. j. związków podobnych do tych, które wchodzą w skład kurzego jaja, sera, mięsa i t. d. Są to ciała chemiczne bardzo skomplikowane, zawierające stale pięć pierwiastków: węgiel, wodór, tlen, azot i niewielkie ilości siarki; niekiedy znajdujemy w nich drobne ilości fosforu.

Skład procentowy rozmaitych ciał białkowatych waha się w następujących granicach:

C — 50 — 55%
H — 6.5 — 7.3
O — 20 — 23.5
N — 15 — 18
S — 0.3 — 2.2

Nie mamy dostatecznych danych, aby nakreślić budowę chemiczną cząsteczki białka; możemy atoli twierdzić, że cząsteczka ta jest bardzo złożoną; że zawiera nie mniej od kilkuset atomów wymienionych pierwiastków.

Hoffmeister podaje jako minimalny następujący wzór białka:

$$C_{450}\ H_{720}\ N_{116}\ S_6\ O_{140}$$

Widzimy stąd, że cząsteczka ta zawiera blizko $1^1/_2$ tysiąca atomów połączonych z sobą w pewien sposób, którego bliżej nie znamy.

Protoplazma komórek żyjących jest zawsze lekko alkaliczna lub obojętna. Wykazali to Kukenberg i Reinke za pomocą lakmusu; Pfeffer za pomocą barwników wchłonionych przez komórkę. Reinke [1]), analizując plasmodya śluzowca (Aethalium septicum), wykrył w niem nie mniej od 27 rozmaitych ciał, między innemi: pepsyny i mirozyny 4.8%, witeliny 5%, peptonów 4.0%, amidów

[1]) Untersuchungen a. d. bot. Laboratorium in Göttingen, 1881, zeszyt 2, str. 54.

1.0%, glikogenu 4.7%, ciał cukrowych 3.0, cholesteryny 1.4%, tłuszczów 4.0%; oraz nowe ciało, plastynę, stanowiącą około 27%, a różniącą się od białka małą zawartością azotu. Ma ona, według Zachariasa, cechować stare komórki. Löw jednak sądzi, iż jest to nieczyste białko. Woda stanowiła 71.6%; 27.7 suchej substancyi stanowił węglan wapnia. Znaczna liczba ciał zawierających się w protoplazmie nie powinna nas dziwić, jeśli będziemy pamiętali, że komórka jest pracownią chemiczną, w której odbywają się ciągłe przemiany: ciała więc wytwarzane przez protoplazmę oraz te, które są fazami przejściowemi między białkiem a produktami, na które się rozkłada, lub z których powstaje, stale muszą się w niej znajdować.

Odczynniki, któremi się najczęściej posługują dla utrwalenia protoplazmy i jądra w celu zachowania ich struktury przy procesach, którym podlegać mają części roślin przy robieniu i konserwowaniu preparatów mikroskopowych są: 1) Stężony roztwór kwasu pikrynowego; 1-procentowy roztwór kwasu chromowego; 1-procentowy roztwór kwasu osmowego i mieszanina Fleminga (15 objętości 1-procentowego kwasu chromowego, 4 objętości 2-procentowego kwasu osmowego i 1 obj. kw. octowego). Można używać także alkoholu czystego lub z domieszką sublimatu; 1—2-procentowego aldehydu mrówkowego.

Wodan potasu i woda Javelle'a (podchloran sodu) rozpuszczają plazmę i na tem polega ich działanie wyświetlające na świeże preparaty.

Protoplazma ścina się u wyższych roślin już w 50° C u rozszczepkowych w 75° C; zarodniki zawierające nieznaczny procent wody wytrzymują 100° C.

Protoplazma żywych komórek ma stale reakcyę lekkoalkaliczną, conajwyżej obojętną, nigdy kwaśnej.

Protoplazma i wszelkie utwory białkowate przybierają barwę żółto-brunatną lub ciemno-brunatną, jeśli podziałać na nie roztworem jodu. Posługujemy się zwykle tą reakcyą dla odróżnienia utworów białkowatych pod mikroskopem.

Zwykły roztwór jodu w alkoholu, t. zw. jodyna, nie jest dogodnym odczynnikiem do badań mikroskopowych, gdyż zmieszany z wodą, w której zwykle rozpatrujemy przedmioty, osa-

dza kryształy jodu. Dogodniejszy jest roztwór jodu w jodku potasu. Kropla takiego roztworu, puszczona pod szkiełko pokrypkowe preparatu, działaniem włoskowatości i osmozy przenika pod szkiełko barwiąc wszystkie utwory białkowate na brunatno. Dla przyśpieszenia przenikania odczynnika można położyć na przeciwnym brzegu szkiełka paseczek bibuły, powodujący prąd cieczy. Istnieją także inne odczynniki, pozwalające wyróżnić ciała białkowate pod mikroskopem. Do takich należy przedewszystkiem działanie kwasu azotnego a następnie wodanu potasu (lub amoniaku), wywołujące pomarańczowo-żółte zabarwienie (próba ksantoproteinowa). Należy jednak bardzo oględnie posługiwać się tymi odczynnikami i tylko przy słabszych powiększeniach, gdyż już sama para kw. azotnego działa na metalową oprawę objektywów mikroskopowych, potas zaś—w razie zanurzenia przy opuszczaniu tuby — wyżera szkło. W razie wypadku takiego należy natychmiast zanurzyć koniec objektywu do szklaneczki z wodą i starannie go wytrzeć.

Bardzo ładne zabarwienie otrzymuje się także, jeśli świeży skrawek położymy na kilka minut do roztworu siarczanu miedzi, następnie zaś, po opłuknięciu wodą, przeniesiemy do gorącego roztworu wodanu potasu. Wówczas zawartość komórek (protoplazma) barwi się na fioletowo - niebiesko; błony niezdrewniałe na kolor czerwono-ceglasty, zdrewniałe zostają bez zmiany.

Kwas siarczany i roztwór cukru nadają różowe zabarwienie ciałom białkowatym; odczynnik Milona (mieszanina azotanu rtęciowego i rtęciawego) barwi je na ceglasto-czerwono.

Protoplazma ścina się od działania alkoholu, eteru, dwuchromianu potasu, sublimatu i kwasów stężonych. Dla tego też ciała te używają się do stwardzania i konserwowania świeżych roślin.

Dotychczasowe badania każą wnosić, że w skład protoplazmy wchodzi zawsze więcej niż jedno ciało białkowate.

5. **Budowa cząsteczkowa protoplazmy.** Ciała o cząsteczce chemicznej tak skomplikowanej, jak ciała białkowate, i niektóre inne, wyróżniają się od innych niezdolnością do tworzenia kryształów prawdziwych ani prawdziwych roztworów. Rozpuszczone w wodzie białko daje ciecz klejowatą, z trudnością

filtrującą przez bibułę a zupełnie niezdolną do przesiąkania przez błony organiczne, jak pęcherz, pargamin roślinny i t. p. Ciała takie nazywamy koloidalnemi, t. j. podobnemi do kleju, w przeciwności do krystaloidów, t. j. ciał, tworzących kryształy i z łatwością przesiąkających przez błony organiczne. Do typu ciał koloidalnych należą prócz białka takie substancye jak guma arabska, żelatyna, mączka i inne związki pospolite w roślinach i zwierzętach. Krystaloidami są wszystkie sole nieorganiczne (jak sól kuchenna, saletra, siny kamień i t. p.) oraz znaczna część związków organicznych jak cukier, kwasy organiczne, alkaloidy i t. d.

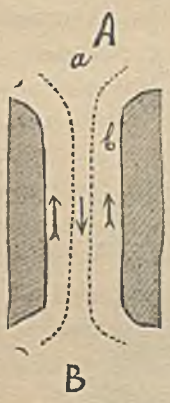
Rozróżnienie powyższe nabiera wielkiego znaczenia, jeśli weźmiemy pod uwagę, że w organizmach często mamy do czynienia z błonami, przez które przesiąkać muszą ciecze pożywcze i inne. Następujące doświadczenie uwydatni różnicę zachowania się ciał krystalicznych i koloidalnych. Do naczynia z wodą zanurzamy walec, który zamiast dna ma błonę z pęcherza szczelnie nawiązaną. Górna część jego zaopatrzona jest w rurkę szklaną również szczelnie wprawioną za pomocą korka. Do walca tego nalewamy roztworu sinego kamienia. Po upływie kilku godzin zauważymy, że woda naczynia zewnętrznego przybrała niebieską barwę właściwą sinemu kamieniowi, analizując zaś roztwór w walcu środkowym dostrzeżemy, iż jest on bardziej rozcieńczony niż pierwotnie wzięty. Wnosimy stąd, że cząsteczki sinego kamienia przechodzą przez pory błony na zewnątrz, cząsteczki zaś wody przenikają z naczynia zewnętrznego do wnętrza. Zjawisko takie nazywamy osmozą; prąd idący na zewnątrz nazywa się egzosmozą (wysiąkanie), prąd ku wnętrzu płynący endosmozą (wsiąkanie).

Rys. 38. Osmometr.

Osmoza odbywa się tem energiczniej, im większa jest ró-

żnica koncentracyi roztworów po obu stronach błon. Jeśli wzięliśmy roztwór soli dosyć skoncentrowany, to zauważymy, że objętość roztworu w walcu zwiększa się stopniowo, na co wskazuje podnoszenie się poziomu jego w rurce. Wsiąkanie w tym wypadku przeważa nad wysiąkaniem. Odwrotne zjawisko dałoby się widzieć, gdybyśmy roztwór soli umieścili na zewnątrz, a wodę czystą w walcu wewnętrznym. Dostrzeglibyśmy wówczas po upływie pewnego czasu zmniejszenie się objętości cieczy wewnętrznej. Za prawidło więc uważać można, że przesiąkanie odbywa się szybcej od rozcieńczonego roztworu ku bardziej skoncentrowanemu.

Badania Traubego nad zachowaniem się błon koloidalnych wobec roztworów przez nie przesiąkających wykazały, że głównym czynnikiem tu jest zdolność błony do nasiąkania tym lub innym roztworem. Jeśli zanurzymy pęcherz lub inną błonę organiczną do roztworu soli o pewnej koncentracyi, to wyciskając roztwór wchłonięty, przekonamy się, że zawiera on mniej soli niż ten, w którym błona była zanurzona. To znaczy, że micelle błony przyciągają chciwiej wodę niż roztwór soli. Jeśli więc wyobrazimy sobie kanalik porowy w błonie, przez który odbywa się osmoza, to działanie przyciągające błony do wody wywrze ten skutek, że roztwór soli *A* znajdujący się w osmometrze zostanie rozdzielony na dwie części: prawie czystą wodę, przylegającą do błony i tworzącą warstwę zewnętrzną w postaci walca wydrążonego, oraz bardziej stężony roztwór soli zajmujący środek kanalika. Pierwsza zostaje przyciągnięta przez roztwór soli w osmometrze (*A*) i płynie w kierunku strzałek; drugi jest przyciągany przez wodę zostającą nazewnątrz i płynie ku niej. Tłumaczy to nam, dlaczego prąd odbywa się szybciej w kierunku ku roztworowi bardziej skoncentrowanemu; objętość bowiem walca zewnętrznego jest większa niż środkowego. Skoro nastąpi zrównanie koncentracyi roztworów po obu stronach błony, chociaż zróżniczkowanie cieczy na wodę i stężony



Rys. 39. Schemat prądu osmotycznego: *A*— roztwór soli; *a* — strumień roztworu stężonego soli; *B*—woda; *b*— strumień wody.

roztwór odbywa się nadal w kanalikach porowych, ale zarówno pierwsza jak i drugi jednakowo są przyciągane na obie strony; ruch więc cieczy ustaje.

Jeżeli zamiast roztworu jakiejkolwiek soli wlejemy do naczynia wewnętrznego rozwodnionego białka z jaja lub jakiegokolwiek innego koloidu (np. gumy arabskiej) rozprowadzonego wodą, nie dostrzeżemy śladów jego w naczyniu zewnętrznem nawet po upływie kilku dni. Jeśli białko to będzie zmieszane z roztworem jakiejkolwiek soli, to sól przez ten czas wysiąknie całkowicie na zewnątrz (zwłaszcza przy częstej zmianie wody zewnętrznej), białko zaś zostanie w naczyniu wewnętrznem. W ten sposób możemy oddzielić ciała krystaliczne od koloidów, a czynność taką nazywamy dializą.

Botanik szwajcarski Karol Nägeli wytworzył hypotezę, tłumaczącą szereg zjawisk dostrzeganych w koloidach. Cząsteczki tych ciał, według tego przypuszczenia są względnie wielkie, utworzone z bardzo licznych cząsteczek chemicznych i mają bardzo znaczne powinowactwo do wody. Zwykle też są otoczone z powierzchni powłoczkami wodnemi, które szybko wzrastają, gdy ciała te zanurzone zostaną do wody (zjawisko pęcznienia). Ponieważ jednak cząsteczki te, które Nägeli nazwał micellami, przyciągają się wzajemnie na znacznej odległości, ciecz utworzona w ten sposób zachowuje lepkość i tem się różni od prawdziwych roztworów soli, których cząsteczki przyciągają się tylko na małej odległości, skoro zaś zostaną oddzielone od siebie cieczą, krążą w niej zupełnie swobodnie. Niezdolność koloidów do przesiąkania przez błony organiczne tłumaczy się względną wielkością cząsteczek w stosunku do por tych błon.

Hypoteza micelarna budowy ciał koloidalnych tłumaczy także szereg zjawisk, zarówno w protoplazmie, jak i w innych utworach komórkowych, o których nam mówić wypadnie. Ciała takie powstające pod wpływem czynności życiowych komórek nazywamy uorganizowanemi. Cechuje je zawsze pewna budowa prawidłowa, odmienna wszakże od budowy kryształów lub innych utworów powstających po za obrębem organizmów.

W najnowszych czasach dokonane zostało ciekawe odkrycie za pomocą tak zw. ultramikroskopu (którego istotę stanowi oświetlenie przedmiotu promieniami skośnemi do osi optycznej instrumentu), pozwalającego widzieć przedmioty bardzo drobne, daleko niedościgające granicy widzialności przy danem powiększeniu, jeśli tylko różnią się współczynnikiem załamania od otaczającego środowiska. Znaleziono mianowicie, że ciecze koloidalne organizmów (jak surowica krwi i soki roślinne) wykazują obecność bardzo drobnych ciałek znajdujących się w ustawicznym ruchu przypominającym dawniej opisywany pod nazwą „ruchu cząsteczkowego Browna" a niekiedy zbliżonym do ruchów bakteryj. Obserwacye te stały się pobudką do nowych teoryi ciał koloidalnych, o których wartości trudno dziś sądzić, dopóki sama metoda badania nie została poddana skrupulatnej krytyce naukowej [1]).

6. Wewnątrz protoplazmy znajduje się trzecia składowa część komórki — **jądro** (rys. 40). Jest to okrągłe ciało co do składu chemicznego zbliżone do protoplazmy, nieco od niej gęstsze, zawierające wewnątrz jedno lub kilka ciałek okrągłych, błyszczących t. zw. jąderek. Cała masa jądra wydaje się przy zwykłych powiększeniach mętną, wskutek obecności drobnych ziarenek jak i w protoplazmie.

Rys. 40. Budowa jądra z endospermy Fritillaria imperialis według Strasburgera; siateczka chromatynowa i *n* jąderka. Powiększenie 800.

Stosując jednak pewne barwniki i silne powiększenia, przekonywamy się, że budowa jądra jest bardziej skomplikowana. Po odpowiedniem zabarwieniu mianowicie, na bezbarwnem prawie tle masy jądra daje się dostrzedz silnie zabarwiona siateczka, utworzona z pereł-kowatych nici. Ta barwiąca się część jądra nazywa się chromatyną [2]), w skład jej wchodzi osobliwe ciało, bardzo zbli-

---

[1]) Ob. Hardy. Journal of Physiology 1902. Zsigmondy. Ueber den Bau der Kolloiden 1906.

[2]) Rozróżniają jeszcze niebarwiącą się subtancyę nici, linię od właściwej chromatyny, tworzącej perełkowate ich zgrubienia

żone do białkowatych — nukleina, której to obecności zawdzięcza owa siateczka zdolność silnego wchłaniania barwników. Podobne własności wykazują i jąderka oraz inne drobne ziarenka chromatyny zawarte w jądrze. Nukleina różni się od ciał białkowatych głównie tem, że zawiera fosfor i nie rozpuszcza się w soku żołądkowym. Jeśli więc poddamy protoplazmę komórek tak zwanemu sztucznemu trawieniu, t. j. działaniu soku żołądkowego, przy odpowiedniej temperaturze (około 35°), to cała protoplazma rozpuści się, również jak i niebarwiące się części jądra; pozostaną zaś tylko nukleinowe części jego, t. j. chromatynowa siateczka i jąderka.

Wymieniona wyżej siateczka stanowi jakby rusztowanie jądra, cała zaś masa zapełniająca jej pętelki i nie zatrzymująca barwników (nazywa się dla tego achromatyną) ma konsystencyę galaretowatą i składa się z ciał białkowatych, podobnie jak protoplazma komórki.

Całe jądro otoczone jest gęstą warstwą plazmy (cynoplazmy) oddzielającą je od pozostałej protoplazmy komórki. Warstwę tę nazywają zwykle otoczką jądrową, chociaż należy ona właściwie do protoplazmy komórki.

Obok jądra znajdujemy u roślin niższych dwa ciałka kuliste—centrosfery, zawierające każde po jednem jąderku—centrozoma. Wykrycie tych ciałek jest bardzo trudne, gdyż wymaga stosownego zabarwienia. Nowsze badania przekonały, że centrosfery i centrozomata nie spotykają się w komórkach roślin wyższych od mchów.

Typowe komórki roślin wyższych zawierają zwykle po jednem jądrze; u niższych wszakże (u wodorostów i grzybów) zdarzają się komórki wielojądrowe. Do takich należy znana nam Vaucheria, spotykająca się często w wodach stojących, w postaci długich włókien; każde z nich utworzone jest z jednej komórki o wielu jądrach.

Istnieje cała klasa wodorostów, t. zw. sinorostów, które nie mają jąder.

Kwestya obecności jądra u sinorostów stała się w ostatnich latach sporną. W komórkach tych wodorostów daje się dostrzedz przy silnych powiększeniach niejasno zarysowane okrągłe ciało, któ-

re nazwano ciałem środkowem. Ciało to przyjmuje zabarwienie od błękitu metylenowego, lecz nie intensywne i skupione jak jądra innych roślin. Jod barwi je na brunatno; zabarwienie to atoli znika po ogrzewaniu. Reakcya ta każe wnosić o obecności glikogenu czyli krochmalu zwierzęcego, wykrytego przez Klaudiusza Bernarda w wątrobie ssących. Stąd wyciągnięto wniosek, że ciało środkowe jest nagromadzeniem materyału zapasowego [1]).

Pogląd ten znalazł szereg zwolenników, lecz od r. 1901 podano go w wątpliwość. Hegler i Bütschli opisali figury podziału ciała centralnego przypominające utwory chromatynowe, a Kahl, Werger i inni starają się wykazać budowę i reakcye charakterystyczne dla jąder wyższych roślin (1902 — 1905). A. Fischer atoli w najnowszej pracy swej (1905 [2]) obstaje przy pierwotnym poglądzie, nazywając anabeniną wodan węgla, który tu się wytwarza; opisane zaś zjawiska podziału znalazły zaprzeczenie ze strony Zachariasa.

7. Protoplazma i jądro stanowią nietylko istotne ale i właściwie żyjące części komórki. Błona komórkowa, jak możemy wnosić z opisanych w poprzednim rozdziale przykładów życia istot jednokomórkowych, stanowi raczej mieszkanie komórki, które bywa w pewnych chwilach opuszczane i na nowo przez nią budowane [3]). Błony opuszczone przez protoplazmę i jądro stanowią martwy szkielet. Utwory takie mogą pełnić pewną rolę w roślinach, zwłaszcza w roślinach wyższych o skomplikowanej budowie. Nie są wszakże już żyjącemi i twórczemi jej składnikami i nie powinny być nazywane komórkami.

Chociaż, jak wiemy, komórki roślinne mogą czasowo, a niekiedy nawet na dłuższy przeciąg czasu być pozbawionemi błony, niemniej stanowi ona dla większej części roślin, dla wyższych szczególniej, stałą część składową, wyróżniającą komórkę roślinną od zwierzęcej, a nadającą całej organizacyi i życiu roślin

---

[1]) Ob. Alfred Fischer Untersuchungen über den Bau der Cyanophyceen und Bakterien 1897.

[2]) Die Zelle der Cyanophyceen Bot. Zeitung 1905 I, str. 51.

[3]) Ob. § 6, r. II.

charakter tak odmienny od królestwa zwierzęcego. Obecność jej bowiem, jak niżej się pokaże, wpływa w sposób stanowczy na budowę i na przebieg procesów życiowych komórki, tej elementarnej składowej części rośliny.

Pod względem chemicznym składa się ona przeważnie z błonnika, ciała bezazotowego, bardzo zbliżonego do mączki, a z którem mamy do czynienia w życiu potocznem w postaci bawełny, papieru i t. p.

Skład procentowy węgla, tlenu i wodoru, pierwiastków, z których utworzony jest błonnik, jest ten sam co i w mączce, a najprostszy wzór wyrażający oba ciała jest $C_6 H_{10} O_5$. Rzeczywista jednak budowa cząsteczki błonnika musi być bardziej skomplikowana: cząsteczka ta zawiera prawdopodobnie kilkaset razy więcej atomów każdego z pierwiastków, niż wykazuje ta prosta formuła.

Gromadę ciał chemicznych, do których należy błonnik, nazywamy wodanami węgla, dlatego że ilość atomów tlenu i wodoru, połączonych z węglem jest w nich taka, jakiej potrzeba do utworzenia pewnej ilości cząsteczek wody. W skład tej gromady wchodzą także rozmaite gatunki cukru i mączka.

Błonnik należy do ciał nierozpuszczalnych w większej części odczynników. Jedyną cieczą, w której rozpuszcza się bez zmiany, jest tak zwany odczynnik Schweizera, t. j. roztwór tlenku miedzi w amoniaku. Jest to ciecz ciemno-szafirowa, którą otrzymuje się, jeśli strącimy siarczan miedzi amoniakiem a otrzymany osad rozpuścimy w nadmiarze amoniaku. Rozpuszczony w niej błonnik może być powtórnie osadzony przez dodanie nadmiaru wody. Otrzymujemy go wtedy w postaci delikatnego pulchnego proszku, pozbawionego wszelkiej organizacyi.

Tak samo jak krochmal zamienia się błonnik przy długiem gotowaniu z rozcieńczonymi kwasami na cukier, przybierając cząsteczkę wody:

$$\underset{\text{błonnik}}{C_6 H_{10} O_5} + \underset{\text{woda}}{H_2 O} = \underset{\text{cukier gronowy}}{C_6 H_{12} O_6}$$

Wszakże przemiana ta odbywa się tu nierównie trudniej i wogóle błonnik należy do ciał, najoporniejszych na rozmaite czynniki chemiczne. W wodzie przy gotowaniu nie pęcznieje

jak krochmal, ani się w niej rozpuszcza. Pęcznieje natomiast pod działaniem kwasów i alkalii.

Dla poznania błonnika pod mikroskopem posługujemy się następującą reakcyą. Jeśli do preparatu, zawierającego komórki roślinne, puścimy kropelkę roztworu jodu w jodku potasu, to zabarwi on, jak wiemy, wszystkie ciała protoplazmatyczne na brunatno, ale błony komórkowe zostaną bezbarwne. Jeśli jednak poprzednio dodamy do preparatu kroplę stężonego kwasu siarczanego, to błony od jodu przybiorą kolor niebieski lub fioletowy. Jeszcze łatwiej reakcya ta otrzymuje się, jeśli dodamy wprost do preparatu roztworu jodu w jodku potasu zmieszanego z chlorkiem cynku: chlorek cynku zastępuje tu kwas siarczany a zabarwienie odbywa się jednostajniej i z mniejszem niebezpieczeństwem dla mikroskopu.

Kwas siarczany lub chlorek cynku przeobrażają błonnik w ciało zbliżone do mączki pod względem zdolności nagromadzania jodu; przeobrażenie to polega prawdopodobnie na oddaniu części wody chemicznej.

Nie wszystkie błony dają jednakowe zabarwienie z wymienionymi odczynnikami, a niektóre wcale go nie dają. Przypuszczano więc dawniej istnienie kilku odmian błonnika. Przekonano się jednak, że właściwość ta pochodzi stąd, że w skład błon roślinnych wchodzą prócz błonnika substancye pektynowe (pektoza, kwas pektynowy i wapienne jego sole). Błonnik i pektoza zmieszane są tak ściśle, że jeśli podziałamy na błonę odczynnikiem Schweizera (który nie rozpuszcza pektozy), to kształt jej nie ulegnie zmianie, lecz działając jodem i chlorkiem cynku nie otrzymamy już niebieskiego zabarwienia. Świadczy to, że błonnik został wydalony i został tylko szkielet z pektozy, który rozpuszcza się doszczętnie w szczawianie amonu.

Pektoza rozpuszcza się w szczawianie amonu ($[NH_4]_2C_2O_4$); możemy więc powtórzyć to samo doświadczenie nad błoną działając tym odczynnikiem: wówczas zostaje szkielet błonnikowy, który barwi się od jodu z chlorkiem cynku i rozpuszcza się doszczętnie w odczynniku Schweizera.

Widzimy stąd, że wydalenie jednej z dwóch substancyi nie zmienia budowy ciała uorganizowanego: że pomimo oddalenia jednego z ciał spójność cząsteczek nie zostaje zakłucona.

Możemy to wytłumaczyć najprościej przypuszczając, że oba ciała chemiczne tworzą odrębne micelle leżące kolejno tak, iż spójność jednych micell nie ulega widocznej zmianie przez usunięcie innych (chemicznie odmiennych).

W starszych i grubszych błonach daje się dostrzedz zróżniczkowanie: błonnik zajmuje przeważnie części przylegające do protoplazmy, pektoza zewnętrzne (ob. rys. 44).

Z biegiem czasu błony wielu komórek ulegają przekształceniom chemicznym. Jedne z nich przetwarzają się na substancyę drzewną (dawniej zwaną ligniną), inne na substancyę korkową czyli kutynę. W jednym i w drugim wypadku błona przestaje zabarwiać się na niebiesko od jodu i chlorku cynku. Błony kutynizowane dają z tym odczynnikiem barwę żółtą lub brunatną; błony zdrewniałe — żółtą. Błony zdrewniałe odzyskują zdolność barwienia się na niebiesko od jodu i chlorku cynku po wygotowaniu w mocnym kwasie azotnym lub w wodanie potasu.

Nowsze badania wykazały, że zdrewnienie zostaje w związku z obecnością koniferyny i waniliny; nie jest wszakże jasnem, jaką rolę mają te ciała w zmianie własności błon zdrewniałych, które są mocniejsze i oporniejsze na odczynniki od błonnikowych. Obecność tych ciał powoduje charakterystyczne reakcye mikrochemiczne błon zdrewniałych; są to: żółte zabarwienie od aniliny z dodaniem chlorowodoru lub kwasu siarczanego, a pąsowe lub fioletowe od floroglucyny z kwasem solnym.

Kutyna czyli suberyna, według Küglera (1886), składa się z estrów glicerynowych, kwasów tłuszczowych o wysokiej zawartości węgla (a mianowicie stearowego ($C_{18}H_{36}O_2$) i felonowego ($C_{20}H_{42}O_3$). Wodan potasu barwi na żółto błony kutynizowane. Po wygotowaniu w wodanie potasu tracą one suberynę, wydzielającą się w postaci żółtych kropel, i często odzyskują zdolność barwienia się na niebiesko od jodu i chlorku cynku.

Do odmian chemicznych błonnika należy jeszcze błonnik zapasowy, tworzący warstwy zgrubienia w niektórych nasionach (daktyla, palmy słoniowej), a rozpuszczający się w miarę ich kiełkowania, służąc za materyał pożywczy rozwijającemu się zarodkowi. Inną odmianę stanowi amyloid, który daje już z jodem w jodku

potasu niebieskie zabarwienie (jak krochmal). Błony u grzybów i bakteryi nie dają reakcyi charakterystycznej z jodem i chlorkiem cynku. Ostatniemi czasy wykryto w nich obecność chityny, ciała, które u zwierząt niższych zastępuje substancyę chrząstkową (substancya rogowa gąbek, twarde pokrywy chrabąszczy są z niej utworzone).

Błony często nasiąknięte bywają substancyami mineralnemi. U okrzemek krzemionka tworzy tak jednolitą mieszaninę z błonnikiem, że po spaleniu błony lub jej wygotowaniu w odczynniku M. Schultzego (mieszanina mocnego kwasu azotnego z chloranem potasu), który utlenia doszczętnie błonnik, zostaje pancerz krzemionkowy zachowujący kształt i urzeźbienie pierwotnej błony.

Zmiany chemiczne, którym ulegają błony pod wpływem zdrewnienia i kutynizacyi nadają im większą oporność wobec rozmaitych czynników i większą sztywność. Odwrotne zjawisko ma miejsce przy zgalaretowaceniu błon. Przemiana ta chemiczna zwiększa jej zdolność do nasiąkania wodą. Skutkiem tego błony zgalaretowaciałe zamieniają się w rozpływające się masy śluzowate. Błony te nie dają charakterystycznych reakcyi na błonnik. Roślina posługuje się tą przemianą we wszystkich wypadkach, gdzie potrzeba rozluźnić lub rozerwać związek między komórkami. Poznaliśmy już wypadki przedziurawienia błony przy tworzeniu się pływek i ich wyjściu z komórki: we wszystkich takich wypadkach uwolnienie protoplazmy odbywa się drogą częściowego zgalaretowacenia błony. Świadczą one o tem, jak dalece umiejscowionemi mogą być czynności chemiczne w komórce. Widzieliśmy, że w Oedogonium np. pękanie błony odbywa się wzdłuż cienkiego paseczka, który sam tylko ulega przemianie galaretowatej i rozpuszczeniu. W innych wypadkach w błonie tworzą się otworki okrągłe również ściśle umiejscowione. To znaczy, że protoplazma oddziaływa na te miejsca w pewien specyficzny sposób i tylko na nie.

Inaczej rzecz ma się, gdy mają rozdzielić się dwie komórki dotychczas złączone. Błona (rys. 41) powstająca przy dzieleniu się komórki, służy za wspólną przegródkę dla obu komórek siostrzanych. Jeśli komórki te mają się rozdzielić,

środkowa warstewka (x) błony łączącej, utworzona z pektozy, ulega przemianie galaretowatej i rozpuszcza się rozrywając związek między komórkami.

W taki sam sposób odbywają się niezawodnie rozdzielenia błon komórkowych u roślin wyższych, którym zawdzięczają powstanie swe przestwory międzykomórkowe, to jest przerwy między komórkami, zapełnione powietrzem.

Rys 41.

Dalszą fazą degeneracyi błony jest jej przemiana na gumę roślinną. Klej wiśniowy i guma arabska zawdzięczają swoje istnienie podobnej przemianie chemicznej.

8. Czysto chemiczna strona nie wyczerpuje tego, co możemy powiedzieć o niedostrzegalnej dla oka nawet przy najsilniejszych powiększeniach budowie błony roślinnej. Materyał, z którego utworzona jest, należy do znanej już nam gromady ciał koloidalnych. Wiemy, że ciała takie składają się z micell, t. j. względnie bardzo znacznych cząsteczek stałych, utworzonych z wielu cząsteczek fizycznych i mających postać krystaliczną. Możemy je uważać za cząsteczki organiczne [1]).

Micelle nie stykają się z sobą, lecz każda otoczona jest warstwą wody, utrzymywaną siłą przyciągania materyi organicznej. Micella więc z jej powłoką wodną stanowi najprostszą jednostkę budowlaną ciał uorganizowanych. Gdy ciała te umieszczamy w wodzie, wsiąka ona w nie, zwiększając warstwy cieczy, otaczające micelle, przez co ciało pęcznieje, a pojedyńcze micelle oddalają się od siebie. Pęcznienie to ma pewne granice: gdy powłoka wodna dosięgnie takiej grubości, że przyciąganie wody jest już słabsze od tej siły, jaka potrzebna jest do dalszego rozsunięcia micell, t. j. do przezwyciężenia ich wzajemnego przyciągania, nasiąkanie ustaje. Gdy ciało organizowane traci wodę, micelle zbliżają się do siebie, przez

[1]) Z połączenia atomów ciał prostych powstają cząsteczki chemiczne, te zaś składają się na cząsteczki fizyczne, z których utworzone są ciała fizyczne.

co ciało nabiera mocy i sztywności, gdyż przyciąganie cząsteczek jest silniejsze przy mniejszych odległościach.

Pęcznienie błony przy nasiąkaniu jej wodą odbywa się niejednakowo w rozmaitych kierunkach. Możemy stąd wyciągnąć pewne wnioski co do kierunku osi krystalograficznych micell. Wnioski te znajdują potwierdzenie za pomocą innej daleko subtelniejszej metody badania.

Fizyka daje nam do rozporządzenia środek, pozwalający wniknąć w układ cząsteczek ciał przezroczystych; środkiem tym jest światło spolaryzowane.

Promień zwyczajnego światła posiada własności jednakowe we wszystkich kierunkach prostopadłych do kierunku jego przebiegu. Fizyka tłumaczy zjawisko światła drganiem cząsteczek eteru, zapełniającego zarówno przestrzenie międzyplanetarne jak i przestwory między cząsteczkami ciał. Przypuszcza ona, że w promieniu zwyczajnym drgania te odbywają się we wszystkich kierunkach prostopadłych do kierunku promienia. Jeśli weźmiemy szczoteczkę do czyszczenia szkieł lampowych i umieścimy ją tak, aby drut przedstawiał kierunek przebiegu promienia, to szczecinki będą przedstawiały kierunki, w których odbywają się drgania cząsteczek eteru w promieniu zwyczajnego światła.

Istnieją wszakże pewne ciała przezroczyste, które przepuszczają przez siebie tylko drgania, odbywające się w pewnym

Rys. 42.

określonym kierunku. Działają one tak, jak gdyby cząsteczki ich tworzyły sitko z podłużnemi szparkami, przepuszczającemi tylko drgania, odbywające się w kierunku tych szparek, a przecinającemi wszystkie inne. Stosunek ten przedstawiony jest na rys. 42. Promień światła, padający na takie ciała, wychodzi

z nich zmieniony: drgania jego ułożone są w jednej płaszczyźnie. Jeśli szczoteczka do lamp przedstawiała promień światła zwyczajnego, to promień światła spolaryzowanego uzmysłowiłaby szczoteczka, której szczecinki leżą symetrycznie po obu stronach drutu, tworząc jednę płaszczyznę.

Światło spolaryzowane nie różni się dla oka od zwyczajnego. Jeśli wszakże promień taki, zanim dojdzie do oka przejdzie przez drugie ciało polaryzujące, podobne po pierwszego— używamy w tym celu przyrządów zwanych pryzmatami Nicola—dają się dostrzedz następujące zjawiska:

1. Jeśli oba pryzmata skierowane są jednakowo, to promień nic nie traci na jasności.

2. Jeśli zaczniemy obracać jeden z nich, zauważymy, że pole widzenia ciemnieje stopniowo, a gdy pryzmata znajdą się w położeniach prostopadłych względem siebie, ściemnienie dojdzie do największego stopnia.

Zjawiska te łatwo wytłumaczymy sobie, jeśli przypomnimy własność promienia spolaryzowanego i to, co spowodowało polaryzację: pryzmat Nicola jest niejako sitkiem molekularnem o podłużnych szparach; promień wychodzący z pierwszego Nicola (polaryzatora) ma drgania równoległe do kierunku tych szpar; jeśli drugi pryzmat (analizator) umieścimy tak, aby szpary skierowane były prostopadle do szpar pierwszego, drgania te, jako niezgodne z kierunkiem szpar, zostaną przecięte; światło nie dojdzie do oka, pole się zaciemni. Jeśli przeciwnie obrócimy analizator tak, aby szparki przebiegały równolegle do szparek polaryzatora, światło ma drogę otwartą, pole widzenia rozjaśnia się.

Jeśli teraz między dwoma pryzmatami Nicola umieścimy ciało pozbawione własności polaryzacyjnych, nic nie zmieni się w poprzednim obrazie. Lecz jeśli ciało to ma własności molekularne podobne do pryzmatu Nicola, t. j. przesiewa światło jak sitko o podłużnych szparkach, to dadzą się widzieć zjawiska nowe. Wystawmy sobie, że szparki badanego ciała biegną ukośnie do kierunku szparek polaryzatora; promienie światła, spadające na nie, nie będą mogły przejść w całości, gdyż kierunek ich nie zgadza się z kierunkiem szparek. Lecz każde

drganie rozłoży się na dwa nowe według zasady znanej w mechanice pod nazwą zasady równoległoboku sił. Jedno z drgań pochodnych, prostopadłe do kierunku szparek analizatora, zostanie pochłonięte, to jest stracone dla oka. Drugie, przebiegające równolegle do tego kierunku, przejdzie przez analizator. W ten sposób ciało podwójnie łamiące światło, umieszczone między skrzyżowanymi pryzmatami Nicola da obraz jasny na ciemnem polu.

Botanik szwajcarski Karol Nägeli, którego już znamy jako twórcę teoryi micelarnej, zastosował metodę polaryzacyi, obok obserwacyi nad pęcznieniem, do badania błony i innych utworów organizowanych. Okazało się przytem, że błony roślinne mają własność polaryzowania (czyli tak zwanego podwójnego załamania) światła. Własność taką posiadają tylko ciała, w których sprężystość eteru jest niejednakową w rozmaitych kierunkach. Ciała takie nazywamy anizotropowemi, t. j. niejednorodnemi w przeciwności do ciał izotropowych, t. j. jednorodnych, mających sprężystość eteru jednakową we wszystkich kierunkach.

Własności ciał anizotropowych dostrzegamy tylko w pewnych gromadach kryształów, a mianowicie w kryształach nierównoosiowych. Wszystkie kryształy równoosiowe czyli regularne, t. j. ciała krystalizujące w sześciany, ośmiościany i inne podobne postacie, również—jak wszystkie ciała bezpostaciowe, t. j. nie przybierające form krystalicznych, są izotropowe.

Wnosimy stąd, że pierwotne micele błonnika muszą mieć postać kryształów nierównoosiowych i że umieszczone są w ten sposób, że osie ich mają jednakowe kierunki. Gdyby bowiem kierunki te nie były jednakowe, działanie jednej cząsteczki niweczyłoby skutek wywarty przez drugą i na ogół nie otrzymalibyśmy zjawisk podwójnego załamania.

Subtelniejsze badania nad barwami, które otrzymują się przy połączonem działaniu pryzmatów Nicola i tafelki kwarcowej na ciała podwójnie łamiące, pozwoliły Nägeli'emu oznaczyć dokładnie położenie micel w błonie. Jest ono takie: długa oś micel równoległa jest do długiej osi komórek; najkrótsza oś jest równoległa do obwodu komórki, oś zaś pośrednia jest do niej

prostopadła. Załączony rysunek schematyczny przedstawia kierunek micel w błonie wydłużonych komórek.

Rys. 43. Położenie micel w błonie według Nägeli'ego. *A*— przekrój poprzeczny: *a*—oś najdłuższa; *c*— najkrótsza.

Wywody Nägeli'ego spotkały się z zarzutami opartymi na tym fakcie, że i ciała izotropowe, poddane silnemu ciśnieniu lub wyciąganiu otrzymują zdolność podwójnego załamania światła. Zobaczymy niebawem, że błony w komórkach ulegają silnemu napięciu, a przeciwnicy Nägeli'ego sądzą, że napięcie to wystarczy do wytłumaczenia zjawisk polaryzacyjnych w błonie.

Znanym jest istotnie fakt, że ciała izotropowe (np. sześcian ze szkła), pod wpływem silnego ściskania lub wyciągania w jednym kierunku, przybierają własności ciał anizotropowych, t. j. załamują światło podwójnie. Zarzut ten atoli był już przez Nägeli'ego przewidziany i usunięty uwagą, że i drobne, a nawet i najdrobniejsze ułamki błony, ziarek krochmalu i innych ciał uorganizowanych, w których nie może być mowy o ciśnieniu z zewnątrz wywieranym, wykazują własności polaryzacyjne. Z drugiej strony, doświadczenia, w których błony roślinne poddawane były silnemu rozciąganiu, nie wykazały zmiany w ich własnościach optycznych. Wprawdzie zmiany takie udało się osiągnąć niektórym badaczom (Zimmermann 1884, Schwendener 1887, Ebner 1889); rzecz to zresztą, którą teorya przewiduje i która bynajmniej nie może mieć decydującego znaczenia przeciw wywodom Nägeli'ego.

Szerzący się dziś w pewnych kołach przyrodniczych prąd ku notowaniu faktów, bez próby ich zrozumienia; prąd popierany z jednej strony przez przesąd pozytywistyczny niechętny wszelkim hypotezom naukowym, jako wykraczającym poza obserwacyę bezpośrednią, z drugiej przez przesąd teologiczny, obawiający się zacieśnienia krainy cudowności przez rozszerzenie zakresu naturalnego tłumaczenia zjawisk, wywołał także niechęć ku hypotezie micelarnej. Miło nam wobec tego przytoczyć opinię tak poważnego badacza, jakim jest Pfeffer, który w ostatniem wydaniu klasycznej swej Fizyologii roślin tak mówi: „Jeśli niektóre z poglądów Nägeli'ego na prążkowatość i t. d. błon okazały się błędnymi, to jednak

liczne badania nad błonami komórkowemi nie ujawniły nic takiego, coby się nie zgadzało z ich micelarną budową. Dotyczy to także nierównych współczynników w kierunku rozmaitych osi..." [1]). A w innem miejscu; „Jakkolwiekbądź hypoteza micelarna najlepiej odpowiada potrzebie sprowadzenia najdonioślejszych pod względem fizyologicznym objawów do zjawisk cząsteczkowych" [2]).

Niebawem ujrzymy, że nietylko tłumaczy ona zjawiska w koloidalyce wogóle—w których przyjmuje Nägeli (1879) spojenie micel w utwory siateczkowate — a także budowę i własności ciał uorganizowanych, lecz także niektóre z pozornie najbardziej zagadkowych spraw życiowych.

Godnem jest uwagi, że podwójne załamanie daje się widzieć tylko w błonach, mających pewną grubość i zupełnie sformowanych. Błony świeżo utworzone nie posiadają tej własności. Zjawisko to można tłumaczyć tem, że błony takie, będąc w trakcie formowania się, mają micele nieregularnie jeszcze ułożone i że równoległy ich układ następuje dopiero z czasem, tak jak powolnie odbywa się regularne układanie się cząsteczek w kryształach.

9. Błona jest zawsze wytworem protoplazmy: powstaje na jej powierzchni i przez jej czynność.

Jeżeli obserwujemy komórkę w chwili, gdy wytwarza błonę: np. pływkę Oedogonium, która zatrzymała się, dostrzegamy, iż błona tworzy się odrazu na całej powierzchni komórki. Można to wykazać puszczając kroplę spirytusu pod szkiełko pokrywkowe, zawierające taką pływkę. Protoplazma ściąga się pod wpływem spirytusu, a błonka ukazuje się w postaci bardzo cienkiej powłoczki, nieczynnej pod względem optycznym.

Z biegiem czasu błonka ta grubieje, a jednocześnie cała komórka rośnie z powierzchni.

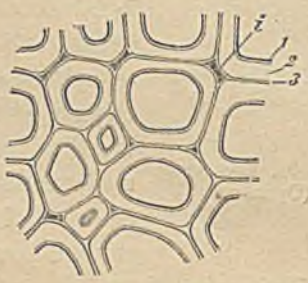
W miarę grubienia błon roślinnych, dostrzegamy w nich zmiany. Większa część starszych i grubych błon wykazuje

---

[1]) Pfeffer Pflanzenphysiologie. T. I, str. 69.
[2]) Str. 68.

warstwowatość (rys. 44), pochodzącą stąd, że warstwy idące po sobie mają niejednakową gęstość; zawartość bowiem wody w nich nie jest jednakowa. O takiem pochodzeniu warstwo-

Rys. 44. Warstwowatość błony. Kropki powstają wskutek częściowego jej zgrubienia. (Powiększenie ok. 1000).



Rys. 45. Błony komórek połączonych w jednę całość. *i*–przestwor międzykomórkowy. (Powiększenie 600).

watości przekonywa znikanie jej pod wpływem odczynników, wywołujących pęcznienie błony, np. ługu potasowego lub sodowego, oraz w wypadkach wysychania błony. W obu wypadkach wyrównywa się zawartość wody w warstwach rzadszych i gęstszych. Gdzie błony nie są tak zgrubiałe, lecz tworzą wspólną granicę między sąsiedniemi komórkami, tam możemy wyróżnić przynajmniej trzy warstewki: jednę cienką wewnątrz komórki (1), drugą grubszą stanowiącą główną masę (2) i wreszcie trzecią, również cienką jak pierwsza — wspólną obu sąsiednim komórkom (3). Warstwy te powstają dopiero później i są wynikiem wyróżniczkowania się chemicznego części błony. Warstewka środkowa (substancya spajająca dawnych histologów) utworzona jest z pektozy (rys. 45).

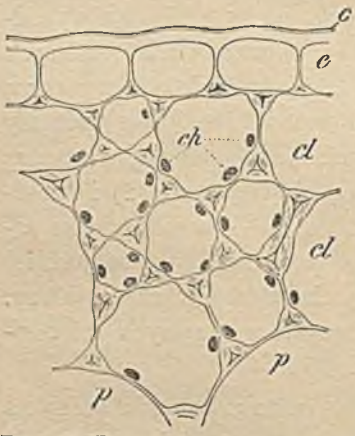
Za przykład daleko posuniętego zróżniczkowania błony na warstwy odmienne bądź pod względem zawartości wody, bądź pod względem chemicznym służyć mogą błony niektórych wodorostów jednokomórkowych oraz mocno zgrubiałe błony w nasionach i owocach. Na rys. 46 przedstawiony jest wodorost jednokomórkowy Gleocapsa, którego komórki otoczone są grubemi błonami, ujawniającemi warstwowatość koncentryczną. Przy tem jedne warstwy współśrodkowe tworzą systemata otaczające

poszczególne komórki; inne obejmują po dwie komórki, inne jeszcze po cztery lub więcej. Wygląda to tak, jakgdyby błona pierwotna komórki macierzystej ulegała stopniowemu rozciąganiu w miarę dzielenia się komórek pochodnych, a łatwo zrozumieć, że obraz taki mógł wytworzyć podstawę dla teoryi narastania błon warstwami, o której wypadnie nam mówić niebawem. Opisane wszakże przed chwilą zjawisko umiejscowionych przemian chemicznych, w grubiejących błonach tłumaczy zupełnie obraz powyższy zróżniczkowaniem warstw błony.

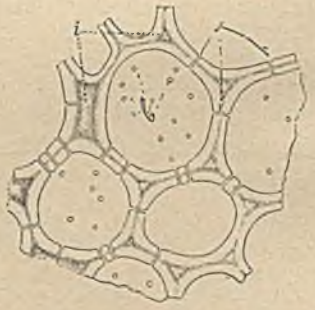
Rys. 46. Gleocapsa (Oponka).

Grubienie błony nie zawsze bywa jednostajne. Pewne miejsca mogą ulegać zgrubieniu, kiedy inne zostają bez zmiany. Skutkiem tego wytwarzają się bardzo rozmaite urzeźbienia wewnętrznej strony błony. Najprostszą formą jest ta, w której cała błona grubieje prócz nielicznych punktów, tworzących tak zwane kropki (rys. 48); kropki w sąsiednich komórkach zwykle odpowiadają sobie.

Dalej zgrubienia mogą być czysto miejscowe; mogą np. do-



Rys. 47. Przecięcie poprzeczne ogonka liściowego Begonii, według Sachsa (pow. 550). Zgrubienia komórek w rogach (kolenchyma).



Rys. 48. Przekrój poprzeczny rdzenia dębu (według Franka): *a*—kropki w przekroju optycznym; *b*—z powierzchni.

tyczyć samych tylko rogów komórek (rys. 47). Mogą przybierać kształt listewek bardzo regularnie ułożonych, tworzących pierścienie, linię śrubowe, siateczki, drabinki i t. d. Wszystkie

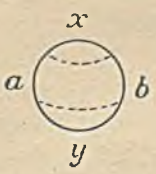
te formy zgrubienia, z któremi spotkamy się w naczyniach drzewnych są wynikiem niejednostajnego wzrostu błony na grubość i świadczą o ścisłem umiejscowieniu czynności protoplazmy, która w jednych miejscach osadza błonnik obficiej, w drugich—mniej obficie.

Rozróżniamy zgrubienia kuśrodkowe od odśrodkowych. Pierwsze tworzą się na wewnętrznej stronie błony — jak tylko co wymienione formy, tworzące kropki, jak listewki i t. d. Drugie powstają na zewnętrznej powierzchni błon komórek wolnych, to jest nie połączonych z sobą. Najpospoliciej można je obserwować na zewnętrznej powierzchni ziarek pyłkowych u roślin kwiatowych oraz zarodników u bezkwiatowych. Rzeźby na tak zwanych pancerzach okrzemek (ob. rozdz. II § 6) należą do tej samej kategoryi.

Rys. 49. Ziarko pyłkowe dyni w przecięciu poprzecznem (według Sachsa, pow. 400). Zawartość komórki nie wyrysowana. Na błonie widzimy zewnętrzne zgrubienia w postaci kolców (zgrubienia odśrodkowe).

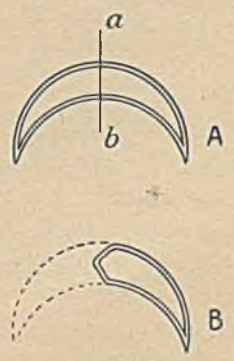
Prócz wzrostu na grubość odbywa się zwykle w komórce inny — wzrost na powierzchnię, wskutek którego zwiększa się jej objętość. Łatwo sobie wystawimy, jak niejednostajność tego wzrostu powoduje zmiany kształtów początkowo okrągłej lub wielościennej komórki; jak szybszy wzrost np. pewnych punktów staje się przyczyną utworzenia kształtów gwiaździstych, wzrost pewnych pasów—włóknistych i t. d.

Obierzmy za punkt wyjścia kulistą postać komórki (rys. 50). Jeżeli wzrost będzie przeważał w pasie ab, okolice zaś biegunowe x i y nie ulegają mu prawie wcale, komórka będzie się wydłużała, przybierając postać walca. Jeśli przytem wzrost ze strony a będzie szybszy niż ze strony b — walec ten będzie zginał się w postać półksiężyca. W ten sposób otrzymują się formy podobne do przedstawionych na rys. 51.



Rys. 50.

Wystawmy sobie przeciwnie, że nasza komórka kulista wzrasta szybko w biegunach x i y, pas zaś ab ulega tylko rozciąganiu, podążając za wzrostem okolic podbiegunowych. Utworzy się wówczas komórka płaska i okrągła. Jeśli przytem wzrost będzie niejednostajny w poszczególnych punktach obwodu, wytworzy się postać płaska i gwiaździsta, jaką widujemy często we włoskach jednokomórkowych i w wodorostach, należących do grupy Desmidii. Jeśli wzrost u y odbywa się energicznie, u x zaś zostaje wstrzymany, powstanie miseczka. Jeśli szybkość wzrostu zmniejsza się w kierunku poprzecznym od równika ku biegunom, w podłużnym zaś odbywa się bardzo szybko w pasie środkowym, otrzymamy włókna wydłużone.



Rys. 51. Wodorost jednokomórkowy Closteryum *A* — w stanie zwykłym; *B* — po podziale; punktami oznaczona jest forma, którą odtworzyć ma błona; *ab* — płaszczyzna podziału.

Łatwo pojąć z tych kilku przykładów, że najrozmaitsze kształty poszczególnych komórek możemy łatwo wytłumaczyć umiejscowionym wzrostem na powierzchnię, na wzór tego, jak umiejscowioną bywa chemiczna działalność plazmy przy rozpuszczaniu błony.

Te więc dwa czynniki — różnica miejscowej siły wzrostu na powierzchnię i wzrostu na grubość w rozmaitych punktach komórki, zdają najzupełniej sprawę z rozmaitości kształtów komórek, jako też z rozmaitego urzeźbienia ich błon, utworzenia kropek i t. d. Same te różnice są wynikiem odmiennego działania protoplazmy w rozmaitych punktach komórek, wiemy już bowiem, że wszelkie błony są wytworem protoplazmy.

10. Zjawiska tylko co opisane wzrostu błony nasuwają naturalnie pytanie, jak odbywa się ten wzrost.

Na pytanie to odpowiedział w swoim czasie Mohl następującem przypuszczeniem: warstwy błonnika, wydzielane przez protoplazmę komórki nakładają się jedne na drugie. Jednocześnie, pod wpływem ciśnienia cieczy komórkowej warstwy

pierwotnie utworzone rozciągają się i cieńczeją, a wewnątrz komórki nakładają się na nie nowe, ulegające temuż losowi aż nastąpi grubość dostateczna do utrwalenia nabytego rozciągnięcia. Jest to teorya nakładania warstw czyli apozycyi. Wzrost na grubość tłumaczy ona przez odkładanie warstw jedne na drugie; wzrost na powierzchnię przez ich rozciąganie pod wpływem ciśnienia wewnątrz-komórkowego. Na potwierdzenie takiego tłumaczenia przytaczano ten fakt, że często stare, zgrubiałe błony wykazują wyraźną warstwowatość.

Mocno zgrubiałe błony wykazują prócz warstwowatości jeszcze prążkowatość. Nägeli oba te zjawiska tłumaczył jedną zasadą: zróżniczkowaniem się błony chemiczno-molekularnem na warstwy wchłaniające mniej lub więcej wody. Tłumaczenie to, poprawne w stosunku do pierwszej, okazuje się błędnem względem drugiej. Że warstwowatość pochodzi od różnicy zawartości wody w kolejno idących po sobie warstwach, świadczy o tem jej znikanie pod wpływem odczynników odbierających wodę (np. spirytusu) lub przy zasychaniu błony. Prążkowatość (najczęściej w kierunku spiralnym) we włóknach zależy (według Dippela) od bardzo subtelnych zgrubień błony. Nie znika ona przy wysuszaniu błon, lecz staje się niewidzialną gdy badamy preparat w balsamie kanadyjskim (mającym bardzo znaczny współczynnik załamania).

Nägeli zwrócił uwagę przedewszystkiem na to, że rozciąganie błony, przy bardzo znacznym niekiedy wzroście komórki na powierzchnię, wymagałoby olbrzymiego ciśnienia wewnątrzkomórkowego i niesłychanej rozciągliwości błony. Wykazał on dalej, że warstwowatość, którą dostrzegamy w grubych błonach, jest wynikiem późniejszego zróżniczkowania błony na słoje o mniejszej i większej zawartości wody, że warstwowatość ta nigdy nie daje się dostrzedz w błonach młodych, w których odbywa się właśnie energiczny wzrost, lecz tylko w starych i utrwalonych.

W miejsce teoryi apozycyi zaproponował Nägeli inną, doskonale tłumaczącą zarówno grubienie, jak wzrost błony na powierzchnię.

Każda komórka roślinna znajduje się w tem położeniu, w jakiem jest walec osmometru (opisanego w § 5 obecnego

rozdziału) napełniony roztworem soli. Sok komórkowy zawiera więcej ciał rozpuszczonych niż dopływająca do komórek woda, doprowadzona przez korzeń lub bezpośrednio je otaczająca (jak w roślinach wodnych). Wskutek tego wsiąkanie cieczy do komórki przewyższa jej wysiąkanie, a, co za tem idzie, sok komórkowy wywiera bardzo znaczne ciśnienie na błonę.

Błona więc zostaje pod znacznem ciśnieniem hydrostatycznem, wywieranem przez sok komórkowy. Pod wpływem tego ciśnienia odległości między micelami muszą się zwiększać; nowe micele błonnika, wytworzone przez protoplazmę, mogą wciskać się między istniejące już, przenikając w rozmaite części błony. Wzrost więc błony zarówno na powierzchnię, jak i na grubość, jest według Nägeli'ego, następstwem wnikania nowych cząsteczek między dawne (intussuscepcyi). Teorya ta tłumaczy, dlaczego w młodych, rosnących błonach nie dają się widzieć zjawiska podwójnego załamania: micele są tu w trakcie formowania się, a ciągłe wnikanie nowych zakłuca regularność układu dawnych.

Teorya Nägeli'ego świetna w pomyśle, a zastosowana przez niego do wzrostu wszystkich ciał uorganizowanych, (wypracowana była zaś przeważnie w zastosowaniu do ziarek krochmalu i na podstawie badań nad nimi; ob. niżej rozdz. V) tłumaczy cały szereg zjawisk zupełnie niezrozumiałych ze stanowiska teoryi apozycyi, jak np. wzrost odśrodkowy, powodujący urzeźbienia na zewnętrznej powierzchni błon.

Znalazły się wszakże fakta przemawiające przeciwko teoryi wnikania. W młodych komórkach włóknistych cisu (Taxus baccata) dają się dostrzedz na wewnętrznej powierzchni błony kryształy, które we włóknach starszych okazują się zawartymi w grubości błony, wypada więc przyjąć, że pokryły je osadzające się na nie warstwy błony, powodujące zgrubienie ścianek komórkowych.

Noll (1887) barwił lazurkiem berlińskim błony wielkich jednokomórkowych wodorostów morskich (Derbesia, Caulerpa) i dostrzegł w ten sposób, że przyrost na rosnącym końcu odbywa się drogą nakładania nowych warstw, a rozsadzania starych.

Pfeffer wykazał jednak (1892), że nawet ciśnienia znacznie przewyższające te, które dają się obserwować wewnątrz komórek nie

wystarczają na to, aby rozciągnąć błonę poza granice jej sprężystości, t. j. aby otrzymać trwałe jej wydłużenie.

Noll (1895) usiłuje jednak odeprzeć ten zarzut uwagą, że przy stopniowej zmianie położenia cząsteczek rozciągnięcie plastyczne (t. j. dające się utrwalić) możliwe jest bez przekroczenia granic elastyczności.

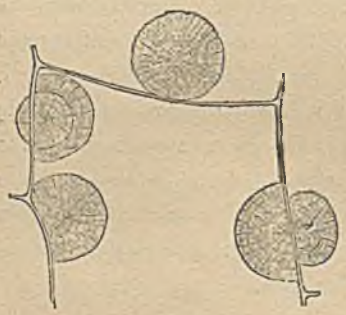
Ponieważ nie brak wśród botaników ludzi, którzy uważają, że wszelkie teorye sięgające do budowy cząsteczkowej są zbyt mądre, fakta więc przemawiające przeciw teoryi intussuscepcyi wywołały chwilowy powrót do teoryi apozycyi, który wszakże niebawem uległ pewnym ograniczeniom. Dziś większość fizyologów przechyla się do zdania, że, przynajmniej przy wzroście na grubość, oba typy — zarówno apozycya jak i wnikanie znajdują miejsce stosownie do okoliczności. Wzrost na powierzchnię zdaje się że wyklucza zupełnie apozycyę.

Teorya intussuscepcyi znalazła w swoim czasie świetne potwierdzenie eksperymentalne w błonach sztucznych Traubego (1867). Badacz ten otrzymał błony z ciał nieorganicznych rosnące według tego typu. Tak jeśli położymy kryształ siarczanu miedzi do roztworu żelazocyanku potasu, na powierzchni jego powstaje warstwa żelazocyanku miedzi, przez którą zaczyna wsiąkać otaczający ją roztwór żelazocyanku potasu powodując rozciąganie i wzrost przez odkładanie nowych cząsteczek żelazocyanku miedzi. Bardzo piękne błony rosnące w sposób ciągły bez rozrywania się można otrzymać zanurzając do 2-procentowego roztworu garbnika pręcik szklany, na którego końcu mieści się zastygła kropla kleju z domieszką 5—15% cukru. Błona tworzy się z garbnikanu kleju i rośnie przez wnikanie cząsteczek tej substancyi, powstającej wskutek stykania się roztworu kleju z garbnikiem.

11. Sok komórkowy narówni z błoną jest wytworem protoplazmatycznych części komórki, t. j. protoplazmy i jądra stanowiących właściwie żywą część komórki. Z tego, co już wiemy o powstawaniu przestrzeni sokowej oraz o ciśnieniu hydrostatycznem wywieranem przez sok komórkowy jasnem jest, w jakiej mierze istnienie tak znacznej ilości cieczy komórkowej zależne jest od obecności błony. Gdyby bowiem protoplazma nie znajdowała oparcia w wybudowanych przez siebie ścian-

kach błonnikowych, ciśnienie hydrostatyczne soku komórkowego rozsadziłoby ją bardzo prędko. Daje się to widzieć na masach plazmatycznych wyciśniętych z komórki do otaczającej ją wody: tworzą się w nich rychło wodniki, które wzrastając stopniowo rozsadzają całą protoplazmę.

Sok komórkowy składa się z wody i rozpuszczonych w niej rozmaitych substancyi, których skład zależy od fizyologicznych czynności komórki i odbywającej się w niej przemiany materyi. Sok komórkowy ma zwykle reakcyę kwaśną bardzo wyraźną, u roślin wodnych niekiedy ledwie dostrzegalną. Z ciał w nim rozpuszczonych najpospolitszemi są ciała cukrowe, zwłaszcza glukozy ($C_6 H_{12} O_6$ — cukier gronowy i owocowy) i sacharoza ($C_{12} H_{22} O_{11}$ — cukier buraczany). Obecność ich można poznać po następującej reakcyi mikrochemicznej: świeży skrawek rośliny zanurzamy na parę minut do roztworu siarczanu miedzi; po opłuknięciu wodą przenosimy go do roztworu wodanu potasu i ogrzewamy chwilowo. W komórkach, których sok zawiera glukozy, tworzy się czerwono-ceglasty osad tlenku miedzi. W razie obecności sacharozy sok komórkowy przybiera tylko ciemno-niebieskie zabarwienie, nie tworząc osadu.



Rys. 52. Sfero-kryształy inuliny z bulwy georginy (Dahlia variabilis), według Strasburgera, (pow. 240).

Z innych wodanów węgla rozpuszczalnych spotykamy u złożonych (Compositae) inulinę ($C_6 H_{10} O_5$), która osadza się w piękne skupienia kulisto-krystaliczne (sfero-kryształy), jeśli np. bulwę georginy położymy na jakiś czas do spirytusu. Kryształy te łatwo rozpuszczają się w wodzie otaczającej preparat, jeśli ogrzejemy lekko na lampie szkło przedmiotowe.

W soku komórkowym bywają także rozpuszczone ciała białkowate i związki azotowe z nich powstające, zwłaszcza zaś asparagina ($C_4 H_8 N_2 O_3$), strącająca się w postaci kryształów charakterystycznych po dodaniu mocnego alkoholu.

Z bezazotowych związków organicznych najczęściej (po wodanach węgla) spotykamy kwasy organiczne; najczęściej jabłkowy, winny, cytrynowy, bądź to wolne, bądź jako sole kwaśne potasu, wapnia i magnu oraz kw. szczawiowy, który w postaci soli kwaśnej potasu nadaje smak kwaskowy liściom szczawiu (Rumex sp.) i szczawiku (Oxalis acetosella). Rośliny solankowe (Salicornia, Salida) zawierają szczawian sodu.

Substancye garbnikowe spotykają się często w korze drzew i w innych częściach roślin. Prócz zawartości w soku komórkowym tworzą one niekiedy osobne wodniczki mniejsze wypełnione skoncentrowanym ich roztworem. Reakcyami charakterystycznemi na nie są: sole tlennikowe żelaza, dające ciemno-niebieskie lub ciemno-zielone zabarwienie i dwuchromian potasu ($K_2 Cr_2 O_7$), tworzący z garbnikiem brunatny osad ziarkowaty.

Obfite są również glikozydy, t. j. ciała, które pod działaniem rozmaitych odczynników rozkładają się na cukier i składnik odmienny (należą tu: koniferyna, hesperedyna, amigdalina, solanina, eskulina, saponina), alkaloidy i substancye goryczkowe.

Z ciał barwnych rozpowszechniony bywa antocyan, barwiący sok komórkowy na różowo w kwaśnym roztworze, na niebiesko w alkalicznym, z rozmaitymi odcieniami od ciomno-purpurowego do fioletowego i szafirowego. Barwnik ten nadaje barwę wielu kwiatom, owocom i liściom (np. klon purpurowy— tu barwa powstaje wskutek pomieszania zieleni liści z antocyanem).

Z soli nieorganicznych najczęściej rozpuszczone bywają azotany, siarczany, fosforany.

ROZDZIAŁ IV.

Życie komórki roślinnej.

1. Badając pod mikroskopem komórki żywe i nieuszkodzone, dostrzegamy szereg zjawisk, które przekonywają nas w sposób niezawodny o tem, że protoplazma jest istotną i przytem właściwie żyjącą ich częścią. Do takich należą przedewszystkiem ruchy protoplazmy.

Rys. 53. Komórka z włoska trzykrotki (Tradescantia virginia); K—jądro, krążenie plazmy.

Możemy je obserwować w wielu komórkach; jednym z najdogodniejszych przedmiotów do obserwacyi są włoski pokrzywy. Włoski te składają się z jednej bardzo dużej komórki, kształtu wydłużonego stożka, którego ostry koniec jest nieco zagięty i mocno nasiąkły krzemionką. Czyni to go bardzo kruchym. Dla tego też przy najlżejszem dotknięciu, koniec ten odłamuje się sprawiając ukłucie, a w rankę wylewa się natychmiast ostry sok komórkowy, zawierający kwas mrówkowy i to właśnie powoduje „sparzenie" pokrzywą. Również dogodnym przedmiotem są włoski w kwiatach trzykrotki, utworzone z jednego szeregu komórek (rys. 53).

U ścianek komórki widzimy tu warstwę protoplazmy, od której idą grubsze i cień-

sze prążki, łączące pojedyńcze jej części z sobą lub z jądrem. Przyglądając się uważniej zauważymy, że w tych prążkach również jak i w przyległej do ścianek protoplazmie odbywają się prądy, jak o tem świadczy ruch drobnych ziarenek zanurzonych w plazmie; strumyczki płyną w rozmaitych kierunkach, często widzimy dwa przeciwne prądy w jednej cienkiej nici plazmatycznej. Gdzieniegdzie tworzą się zgrubienia wskutek przypływu masy protoplazmy, to znów znikają; powstają nowe nici plazmatyczne i t. d. Wszystkie te prądy są skierowane ku jądru lub od niego; jądro więc tu występuje niejako w roli ośrodka przyciągania i odpychania, działającego na mikrozomata protoplazmy.

Rys. 54. Kołowanie plazmy w komórkach liści Nurzańca, unoszącej ziarka zieleni i jądro.

Taki typ ruchów nazywamy krążeniem. Gdzieindziej daje się obserwować ruch kołowy całej masy protoplazmy otaczającej ścianki: ruch ten unosi nietylko drobne ziarenka, ale i większe utwory zanurzone w plazmie: jądro i ziarka zieleni, kryształy i t. p. Taki rodzaj ruchów, zwany kołowaniem (rys. 54), można widzieć u wielu roślin wodnych: ramiennic (Chara, Nitella), nurzańca śrubowego (Vallisneria spiralis) i in. [1]).

Odmienny typ ruchu protoplazmy daje się widzieć w strzępkach niektórych grzybów. Strzępki te utworzone są z długich nici podobnych do tych, jakie poznaliśmy u Vaucheria, niekiedy rozgałęzionych, lecz nie podzielonych przegródkami poprzecznemi na poszczególne komórki. Niekiedy cała plazma strzępka z wyjątkiem zewnętrznej warstewki, przylegającej do błony płynie w postaci potoku razem ze wszystkiem, co zawiera

[1]) Nazwa tej rośliny wodnej pochodzi stąd, że pączki jej kwiatowe mieszczą się na długich śrubowo skręconych szypułkach. Cała roślina, przymocowana do dna, zanurzona jest w wodzie; lecz gdy następuje czas kwitnienia, szypułka rozkręca się i kwiaty otwierają się na powierzchni wody; po skończonem zaś zapyleniu, szypułka skręca się na nowo i owoc dojrzewa pod wodą.

w sobie, w kierunku ku jednemu końcowi włókna, aby po upływie pewnego czasu przepłynąć w kierunku przeciwnym. Arthur (1897) stwierdził, że prąd ten plazmy i jego kierunek zostają w zależności od miejscowego dopływu wody lub jej straty.

Inne typy ruchów dają się obserwować w protoplazmach pozbawionych błon. Poznaliśmy już ruchy pływek i ruchy amebowe plasmodyów i ameb śluzowców. Pierwsze zostają w związku z ruchami wiosłowemi rzęsów, t. j. nici, utworzonych z cynoplazmy; drugie mają charakter pełzający: protoplazma w nich zachowuje się podobnie do gęstej przelewającej się cieczy.

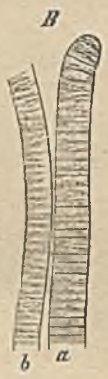
Rys. 55. Potok plazmatyczny w strzępkach grzyba Rhizopus nigricans (według Arthura).

Osobliwy charakter mają ruchy niektórych wodorostów zaopatrzonych w błony. Do takich należą z jednej strony znane już nam okrzemki, z drugiej — oscillarie, należące do gromady wodorostów, zwanej sinorostami.

Okrzemki, o ile są wolne (nie przymocowane do podwodnych przedmiotów za pomocą szypułek lub kropelek śluzu), odbywają rozmaite ruchy — przeważnie o charakterze wahadłowym: okrzemka posuwa się ruchem płynnym w jednym kierunku, coraz to zwalniając bieg, aż wreszcie zatrzymuje się i zaczyna cofać się, aby dotarłszy poprzedniego punktu znów posuwać się naprzód. Często się zdarza, że wahanie wsteczne odbywa się pod pewnym kątem w stosunku do pierwotnego ruchu, a droga okrzemki po kilku wahaniach przedstawia gwiazdkę wieloramienną.

Oscilaria (rys. 56) ma kształt nici, utworzonej z płaskich walcowatych komórek ku końcowi zwężającej się i lekko wygiętej. Komórki pozbawione są jądra (co, jak wiemy, stanowi cechę sinorostów), a protoplazma ich nie zawiera także wodniczków i jest jednostajnie zabarwiona barwnikiem niebieskozielonym (stąd pochodzi nazwa całej gromady) lub brunatnooliwkowym.

Gdy obserwujemy taką nić pod mikroskopem, dostrzegamy, iż przesuwa się ona zwolna wykrzywionym koniuszkiem naprzód. Koniuszek ten, jak się wydaje na pierwszy rzut oka, kiwa się bardzo powoli z jednej strony na drugą. Taka pobieżna obserwacya przy niedoskonałych mikroskopach ówczesnych dała powód do nazwy tego rodzaju (oscillare—wahać się). Przyglądając się uważniej za pomocą dokładnego ustawiania śrubą mikrometryczną przekonamy się wszakże, że pozorne owe wahania są następstwem ruchu obrotowego dokoła osi towarzyszącego postępowemu (oba ruchy wykazane są strzałkami na rysunku).



Rys. 56. Oscillaria w ruchu postępowo-obrotowym (pow. ok. 500).

Przy obserwacyi ruchów pod mikroskopem, pamiętać należy, że droga, którą przebywają poruszające się przedmioty, jest silnie powiększona; czas zaś nie ulega zmianie. Według więc wzoru:

$$\text{Prędkość} = \frac{\text{droga}}{\text{czas}}$$

pozorna prędkość ruchów jest kilkadziesiąt lub kilkaset razy większa od rzeczywistej.

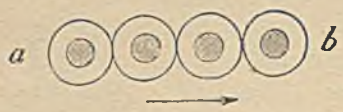
Ruchy pływek wodorostów, które wydają się nam bardzo szybkiemi, w rzeczywistości są żółwio-powolne; a cóż dopiero mówić o takich ruchach, jak amebowe, jak prądy plazmatyczne lub ruchy oscyllarii! Według obliczeń Nägeli'ego, pływki wodorostów przebiegają przeciętnie około 1 stopy na godzinę; najszybciej poruszające się przepływają stopę w 15 minut.

Sprobujmy teraz zdać sobie sprawę z tych zjawisk na podstawie tego, co wiemy o budowie plazmy.

Już Hoffmeister dał wyjaśnienie mechaniczne prądów protoplazmy, obierając za punkt wyjścia hypotezę micelarną. Pamiętać winniśmy o nadzwyczaj skomplikowanej budowie cząsteczek białka, z których utworzone są micelle protoplazmy. Każda zmiana w chemicznej budowie micelli, dodanie lub odjęcie kilku atomów, spowodować musi zmianę siły, z jaką przyciąga otaczającą ją warstwę wodną.

Wystawmy więc sobie szereg micell z ich otoczkami wodnemi *ab* (rys. 57). Jeżeli w punkcie *a* przyciąganie do wody

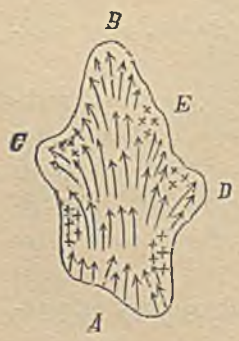
zmniejszy się, w *b* zaś urośnie, powstanie prąd wody od *a* ku *b*, stąd wyniknie zwiększenie powłok wodnych i odległości między micellami w *b*, ich zmniejszenie w *a*, a więc ruch wody od *a* do *b*. Wiemy zaś, że cząsteczki żywej plazmy są w stanie ciągłego rozkładu i odtwarzania się, nic więc dziwnego, że znajdujemy ją w ustawicznym ruchu. Wszelkie czynniki zewnętrzne, ułatwiające ten rozkład — jak np. pewien stopień ciepła, pewne promienie świetlne — lub też wpływające na ilość wody w otoczkach micelarnych, jak suchość lub wilgotność powietrza, wpływać będą oczywiście i na energię tych ruchów.



Rys. 57. Schemat ruchów protoplazmy: micelle z ich otoczkami wodnemi.

Taki jest w ogólnych zarysach mechanizm prądów protoplazmatycznych, a to samo da się zastosować i do ruchów plazmodiów i ameb.

Wystawmy sobie amebę i przypuśćmy, że w punktach B, C, D (rys. 58) odbywa się zwiększone przyciąganie wody przez micelle; w A—osłabienie tego przyciągania, w miejscach zaś oznaczonych krzyżykami stosunki przyciągania nie ulegną zmianie. Wówczas prądy odbywać się będą według kierunku strzałek, powodując nabrzmienie wyrostków i przelewanie się w nie ciała ameby.



Rys. 58. Schemat ruchu amebowego. Krzyżyki odpowiadają miejscom nieruchomym, strzałki zaś wskazują kierunek i siłę prądów w masie plazmatycznej. Od ich przewagi zależny jest kierunek, w którym posuwa się ameba.

Zupełnie inne są zasady ruchu pływki; możliwie, iż przyczyną ich jest odpychanie, wywołane przez wydzielające się z zaopatrzonej w chlorofil części niewidzialne pęcherzyki tlenu; jako skutek czynności chlorofilu, o czem będzie niżej. Na korzyść tego przypuszczenia przemawia następujące doświadczenie Cohna: robił on z kredy utwory kształtem podobne do pływek i okrywszy je lakierem prócz ostrego końca, zanurzał w podkwaszonej wodzie. Kwas działał na nielakierowaną część pływki kredowej, wskutek czego wydzielał się tu kwas węglowy, a cały utwór płynął la-

kierowanym końcem naprzód. Rzęsy miałyby w takim razie znaczenie tylko kierownicze.

Ten sam jest prawdopodobnie mechanizm ruchów okrzemek i oscylaryj, z tą jednak różnicą, że tu gazy wydzielają się osmotycznie przez błonę, zjawisko jest więc bardziej złożone, a ruch powolniejszy.

Jakkolwiekbądź, ruchy powyżej opisane świadczą o wielkiej ruchliwości cząsteczek protoplazmy, o niestałości równowagi sił, które utrzymują je w związku, a które najsubtelniejsze wpływy zewnętrzne zakłócić mogą. Tę niestałość równowagi, tę zdolność oddziaływania na czynniki zewnętrzne nazywamy pobudliwością protoplazmy i uważamy ją za główną cechę jej życia. Pobudliwość jest pierwszym objawem życia.

Pobudliwość jest własnością wszelkiej żywej protoplazmy, wskutek której odpowiada ruchem na działanie rozmaitych czynników zewnętrznych; ale odpowiada niejednakowo, jak to czyni mechanizm automatyczny, lecz w zależności od wewnętrznych warunków protoplazmy i stopnia działania czynnika zewnętrznego. Takie czynniki nazywamy bodźcami.

2. Ruchy protoplazmy odbywają się tylko w pewnych warunkach: niezbędną ku temu jest obecność tlenu i pewna ciepłota. Istnieje pewien stopień temperatury, w którym ruch odbywa się najenergiczniej (optimum) i inne dwa (najwyższa i najniższa temperatura), poza któremi ustaje. Środki znieczulające, jak eter lub chloroform, wstrzymują ruch. Inne czynniki fizyczne również oddziaływają nań. Tak na ruch protoplazmy we włoskach pokrzywy działają w sposób bardzo osobliwy czerwone promienie światła: ruch przytem początkowo przyśpiesza się, później cała masa protoplazmy ukrywa się od tych promieni, dążąc do zacienionej części komórek, a przy dłuższem ich działaniu zostaje zabita [1]). Niebieskie promienie

[1]) Doświadczenia te dokonane były po raz pierwszy przez Borszczowa, następnie zaprzeczone na podstawie nieścisłych spostrzeżeń (użyto szkieł kolorowych zamiast roztworu dwuchromianu potasu) przez Reinckego. Powtórzyłem je w pochmurny dzień jesienny, przy słońcu syberyjskiem, kiedy nie-

nie zakłócają wcale jej ruchu. Jednostronne oświetlenie działa rozmaicie na pływki i plazmodia. Większa część pierwszych dąży ku światłu (światłoczułość dodatnia); podobnież zachowują się okrzemki i oscillarye. Plasmodye śluzowców przez cały okres wegetacyjny unikają światła, usuwając się do ciemniejszych miejsc (światłoczułość ujemna). W tym okresie wzrostu wykazują one hydrotropizm dodatni: jeśli umieścimy plazmodyum na bibułce z jednej strony zwilżonej, przesuwa się ono ku wilgotniejszemu miejscu. Przeciwnie, gdy mają się tworzyć zarodniki, któremi rozmnażają się śluzowce, plasmodya ich unikają miejsc wilgotniejszych i podnoszą się na suche, gdzie łatwiej dojrzewają zarodniki i mogą być rozsiane powiewem wiatru. Podobnież czułemi są plasmodya i na jednostronne działanie ciepła (termotropizm): pełzną one w kierunku cieplejszej wody, jeżeli ta nie jest zbyt ciepłą; w tym zaś wypadku—od niej ku zimniejszej.

Wreszcie plemniki, utwory co do budowy przypominające pływki wodorostów, okazują czułość na bodźce chemiczne. Roztwór kwasu jabłkowego działa na plemniki paproci, przyciągając je, roztwór cukru trzcinowego działa tak samo na plemniki mchów. Własność ta wyjaśnia nam przyczynę, pobudzającą te komórki do podążania ku rodniom, zawierającym komórki jajowe, z któremi łącząc się, wytwarzają zdolne do kiełkowania zarodniki. Ciecz wydzielana przez szyjkę rodni działa chemicznie na plemniki, przyciągając je w potrzebnym kierunku.

Elektryczność działa również na ruchy protoplazmy. Ruchy we włosku trzykrotki (Tradescantia virginica) ustają przy działaniu prądu; masa plazmy zbija się w niekształtne skupienia. Po przerwaniu prądu ruchy w jakiś czas odnawiają się. Jeśli prąd jest silniejszy i często przerywany, protoplazma zostaje zabita i skupia się w krople okrągłe. Podobnież działa prąd na plasmodya śluzowców. Zburzenie plazmy zaczyna się

---

podobna było myśleć o rozgrzewaniu oświetlającem zwierciadłem—zarzut, który można było zrobić doświadczeniu Borszczowa,—i pomimo małej ilości światła po upływie 1—1½ godziny otrzymałem ten rezultat, że cała masa protoplazmy włoska ukrywała się w jego nasadzie okrytej zielonemi komórkami, uciekając od drażniących czerwonych promieni.

u bieguna dodatniego. Wiciowce pływające w kropli wody pociągane bywają ku biegunowi ujemnemu.

Bütschli, twórca teoryi alweolarnej budowy protoplazmy (ob. rozd. III, § 3), starał się otrzymać sztucznie utwory podobnej budowy. W tym celu skłócał roztwór mydła z benzolem lub ksylolem; powstawały w ten sposób pianki utworzone tak, iż ścianki alweolarne tworzył roztwór mydła, wewnętrzną zaś zawartość — ciecz zasadnicza. Podobneż pianki mogą być otrzymane z roztworu soli lub cukru skłóconej z gęstą oliwą (zgęszczoną działaniem węglanu potasu w termostacie przy 51° C.). Krople takie (zwłaszcza jeśli wodę i oliwę zastąpić przez glicerynę i żelatynę) wykazują ruchy i prądy zupełnie przypominające ruchy niektórych ameb; prądy te mogą zmieniać kierunek pod wpływem ogrzewania; gdy ustaną, działanie elektryczności pobudza je ponownie. Oddzielne krople mogą zlewać się z sobą, jak to ma miejsce u ameb śluzowców.

Quincke dał wyjaśnienie tych zjawisk. Polega ono na tem, że jeśli w jakimkolwiek punkcie pęka wodniczek, roztwór mydła rozpływa się po powierzchni kropelki oliwy, powodując zmniejszenie tu napięcia powierzchniowego, a przez to napływanie i pękanie sąsiednich wodniczków. Naśladują one, jak widzimy, i ruchy i pobudliwość plazmy; zobaczymy niżej, iż naśladują i niektóre inne zjawiska w plazmie. Trudno atoli zdecydować, czy mamy tu do czynienia tylko z zewnętrznem podobieństwem, czy z zasadniczą tożsamością budowy obu rodzajów utworów.

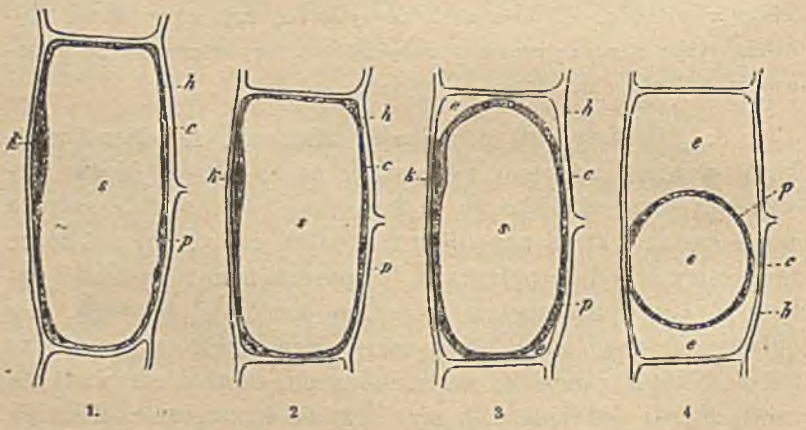
3. Mieliśmy już sposobność nadmienić, że ciecz komórkowa wywiera ciśnienie hydrostatyczne na błonę. Można wywołać to samo zjawisko po za komórką. Weźmy dość szeroką rurkę szklaną, którą napełnimy roztworem cukru, oba zaś końce zawiążemy szczelnie pęcherzem lub pargaminem roślinnym i zanurzmy tak przygotowaną „sztuczną komórkę" do wody. Po upływie pewnego czasu błony zamykające przybiorą postać wypukłą wskutek ciśnienia, spowodowanego wsiąkaniem wody do rurki, a jeśli doświadczenie przedłuży się dostatecznie, ciśnienie to spowodować może pęknięcie błony.

Widzieliśmy także, że typowy wygląd dojrzałej komórki jest wynikiem ciśnienia soku komórkowego: wielki wodnik, tworzący się w środku komórki, przyciska protoplazmę do ścianek.

Zjawisko to powoduje jędrność komórki (turgor). Ona to utrzymuje części rośliny w stanie naprężonym, nadaje im sztywność i sprężystość. Jeśli roślina traci wodę, jak w odciętych częściach, jędrność znika: następują objawy więdnienia. O związku jędrności z osmotycznemi własnościami komórki przekona następujące proste doświadczenie.

Weźmy odcinek łodygi zielnej jakiejkolwiek rośliny i, zmierzywszy starannie jego długość, zanurzmy do mocnego roztworu soli. Po upływie pewnego czasu powtórne zmierzenie przekona nas, że odcinek skurczył się. Teraz gęstszy roztwór soli był na zewnątrz komórek; wysiąkanie przewyższało wsiąkanie; komórki utraciły wodę, a razem ze zmniejszonem ciśnieniem, błony, wydłużone pod jego wpływem, kurczą się napowrót, zmniejszając w ten sposób objętość całego odcinka.

Jeśli zamiast odcinka weźmiemy cienki skrawek, który możemy badać pod mikroskopem, dostrzeżemy bezpośrednio owo kurczenie się błonek, puszczając kroplę stężonego roztworu soli pod szkiełko pokrywkowe. Przytem dostrzeżemy jeszcze inne zjawisko: protoplazma komórki odciąga się od ścianek i kurczy się coraz bardziej, tworząc osobny woreczek wewnątrz komórki (rys. 59). Zjawisko to nazywamy plasmolizą.



Rys. 59. Następujące po sobie fazy plasmolizy (według Pfeffera).

Jeżeli podziałamy teraz czystą wodą i odciągniemy roztwór soli z pod szkiełka za pomocą paseczka bibuły, to protoplazma powróci niebawem do pierwotnego kształtu i komórka

zostaje żywą. Jeśli wszakże roztwór soli działał zbyt długo i skurczenie przekroczyło pewną granicę, dopływ wody nie wywoła powrotu protoplazmy do pierwotnej objętości: utraciła ona swoję budowę cząsteczkową, a razem z nią zdolność do życia.

Ciśnienie osmotyczne w komórkach roślinnych wynosi 5—15 atmosfer, w niektórych wypadkach dosięga 25 (miazga drzew) lub nawet 40 atmosfer (węzły traw).

Ciśnienie to oblicza się na podstawie czynności osmotycznej soku komórkowego. Związki organiczne nie zawierające metalu wywierają jednakowe działanie osmotyczne, gdy roztwory ich wzięte są takie, aby równe objętości zawierały równą ilość cząsteczek. Takie roztwory nazywamy izoosmotycznymi. Związki metalowe wywierają działanie $1^1/_2$ — $2^1/_2$ razy silniejsze, co zależy od stopnia dysocyacyi ich jonów przez rozpuszczalnik.

Van Rysselberghe posługiwał się jako jednostką miary osmotycznej wartością osmotyczną 0.001 cząsteczki saletry. Errera zaproponował jednostkę tonię, zostającą w związku z naturalnym systematem miar; jest to ciśnienie równe temu, które wywiera 1 dyna zastosowana na powierzchni 1 cm. sześciennego. Jedna myriatonia (= 10,000 tonij) oznacza się przez symbol (M^I) i wynosi ok. 0.01 atmosfery (1 atmosfera = 111.3256 myriatonij).

Roztwór saletry takiej koncentracyi, przy której plasmoliza nie ma wcale miejsca, jest izoosmotyczny z sokiem komórkowym i daje miarę jego ciśnienia osmotycznego.

4. Komórka nie jest atoli prostym przyrządem osmotycznym. Sok komórkowy oddzielony jest w normalnych warunkach od świata zewnętrznego nie tylko błoną, lecz i woreczkiem plazmatycznym. Wsiąkanie więc cieczy do komórki i wysiąkanie z niej zależne jest od dwóch błonek rozmaitej przepuszczalności: błony komórkowej i warstwy protoplazmy, a zwłaszcza zewnętrznego woreczka hyaloplazmy. Pierwsza z nich zachowuje się tak, jak wszystkie błony organiczne: krystaloidy przesiąkają przez nią z łatwością; koloidy nie przesiąkają wcale.

Inaczej zachowuje się woreczek protoplazmatyczny. Dopóki protoplazma żyje, posiada ona zdolność wyborową: nie przepuszcza niektórych ciał, łatwo przesiąkających przez błonę, jak cukier, barwniki (antoksan) i niektóre inne ciała.

Łatwo przekonać się o tej własności za pomocą prostego doświadczenia. Wycięty kawałek czerwonego buraka pozostawiamy na dobę w zlewce z zimną wodą. Woda będzie zaledwie posiadała słaby odcień różowy, pochodzący od soku przekrojonych komórek, a badanie chemiczne nie wykaże w niej obecności cukru, zawartego w soku komórek buraczanych. Dość jest wszakże zagotować wodę w zlewce, a za chwilę zabarwi się ona na pąsowo, a zagotowana ze słabym kwasem siarczanym (dla zamiany cukru trzcinowego na gronowy i owocowy) da obfity osad ceglasty (tlenku miedzi) z alkalicznym roztworem miedzi (ciecz Fehlinga). Zarówno barwnik, jak i cukier wysiąkają z łatwością, skoro protoplazma została zabita przez zagotowanie.

Podobnież działa i mróz, zabijający protoplazmę: zamrożona kapusta kolorowa barwi wodę, czego nie czyni kapusta świeża.

Można powtórzyć doświadczenie to z cienkim skrawkiem pod mikroskopem, zabijając protoplazmę jakimś innym czynnikiem, np. działaniem alkoholu: widzimy wówczas, jak barwny sok wysiąka z komórki.

Żywa protoplazma więc zatrzymuje niektóre ciała, posiadające zdolność osmotyczną, chociaż, jak widzimy z przykładów, mające dość znaczny ciężar cząsteczkowy. Możliwe więc, że własność ta polega, jak to przypuszcza Pfeffer, na gęstszym układzie micellów w zewnętrznej warstewce plazmy; dziś jednak więcej przechylają się do chemicznego tłumaczenia tych zjawisk (obacz niżej).

Protoplazma nie przepuszcza barwników roślinnych i wielu innych. Karmin i inne barwniki naturalne nie barwią protoplazmy żyjącej, lecz wchłania je chciwie protoplazma zabita. Natomiast niektóre barwniki sztuczne, jak farby anilinowe, wchłania chciwie nie tylko żywa plazma, ale nawet, jeśli roztwór jest bardzo rozcieńczony, bez szkody dla siebie. Barwniki te przechodzą także przez żywą plazmę do soku komórkowego.

Łatwość z jaką wchłaniają komórki żywe substancje trujące, jak chloroform, eter i t. d., tłumaczy Overton łatwą rozpuszczalnością substancyi zawartych w zewnętrznej warstwie plazmy. Przeprowadził on szereg doświadczeń, z których wynika, że najłatwiej przepuszcza substancye rozpuszczające ciała tłuszczowe, a więc alkohole,

aldehydy i acetony tłuszczowego szeregu; estry i alkaloidy; trudniej przenikają glikole i amidy; jeszcze trudniej gliceryna; najtrudniej zaś heksozy, kwasy amidowe i sole kwasów organicznych.

W przeciwności do tej chemicznej teoryi, Traube opracował molekularną, tłumaczącą zjawiska przenikliwości wyborowej różnicą powierzchniowego napięcia roztworów.

5. Poznaliśmy właściwości komórki, jako narządu osmotycznego i jako istoty żywej; zostaje nam powiedzieć kilka słów o warunkach niezbędnych dla utrzymania życia.

Należą tu przedewszystkiem, jak wiemy już, obecność tlenu, pewien stopień wilgotności, pewna temperatura otoczenia. Widzieliśmy, że ruchy protoplazmy ustają w atmosferze, pozbawionej tlenu. Ustają w niej i inne objawy życia: drażliwość i kurczliwość, a dłużej trwający brak tlenu powoduje zwykle śmierć komórki. Są jednak organizmy niższe, rozwijające się pomyślnie w atmosferze siarkowodoru, a ginące w obecności tlenu, o czem wypadnie nam jeszcze mówić niżej (bakterye beztlenowe).

Zawartość pewnej ilości wody jest, jak wiemy już, niezbędnym warunkiem nietylko życia, lecz samej budowy ciał uorganizowanych, których micelle zawsze otoczone są powłoczkami wodnemi. Zawartość wody w roślinach waha się jednak w bardzo szerokich granicach. Niektóre wodorosty galaretowate zawierają jej do 95—98%; przeciwnie w nasionach ilość ta spada niekiedy do 10%. Wszakże żyjące i czynne części roślin zawierają zawsze znaczną ilość wody. Wysychanie wegetujących części powoduje zniszczenie budowy cząsteczkowej, a przez to śmierć protoplazmy. Plasmoliza, którą poznaliśmy przed chwilą, jest objawem częściowego odjęcia wody od protoplazmy.

Wszystkie zjawiska życiowe mogą odbywać się nie inaczej, jak tylko w pewnych granicach temperatury. Przeciętnie uważać można temperatury między 0° a 50° C. za takie, w których obrębie odbywać się mogą sprawy życiowe. W pobliżu każdej z tych granic sprawy te stają się coraz to mniej intensywne, a rozmaite objawy życiowe u rozmaitych organizmów odbywają się najenergiczniej w temperaturach rozmaitych.

Z dwóch granic powyższych dolna (0°) jest zarazem granicą życia. Przy zamarzaniu bowiem wody organizacyjnej burzy

się budowa cząsteczkowa plazmy, a tworzące się kryształy lodu rozrywają delikatne błonki roślin.

Części wszakże roślin, zawierające bardzo nieznaczną ilość wody, jak nasiona wysuszone, a zwłaszcza zarodniki bakteryj, mogą bez szkody znosić bardzo nizkie temperatury (do —40° C. i niżej). Przeciwnie nasiona świeże, a zwłaszcza części miękkie, giną już w kilku stopniach niżej 0°.

Wyższa granica temperatury, przy której protoplazma może zachować życie, nie przekracza dla większej części roślin 50° C. Przyczyną śmierci i w tym wypadku jest zniszczenie budowy cząsteczkowej plazmy wskutek ścinania się białka. Większa część świeżych tkanek rośliny ginie wskutek ogrzewania do 51°—52° w ciągu 10—20 minut. I tu ważnym czynnikiem jest zawartość wody. Suche nasiona znoszą często godzinne ogrzewanie do 65° C. Bardziej jeszcze wytrwałemi są niektóre zarodniki bakteryj. Zarodniki Bacillus subtilis mogą być gotowane w wodzie przez pół godziny, nie tracąc zdolności do kiełkowania. Przeciwnie, rozwijające się z nich bakterje giną po ogrzaniu do 60° w ciągu kilku minut. Są jednak bakterye, które pomyślnie wegetują w 74° C.

Dla komórek, które mają wyraźnie odgraniczone jądro, lub jądra, obecność przynajmniej jednego z tych ciał jest zdaje się warunkiem niezbędnym dla spełniania normalnych funkcyi życiowych. Jeśli od Vaucherii odetniemy część nici, pozbawioną jądra, zanika ona w krótkim czasie. Można wywołać sztucznie powstanie komórek bezjądrowych u niektórych wodorostów (a mianowicie u skrętnicy przez oziębiania jej do 0° podczas dzielenia się, lub też działając na nią w tym czasie słabym roztworem chloroformu, eteru albo chloralu). Komórki takie bardzo prędko ulegają degeneracyi.

Obserwując ruchy protoplazmy w komórkach żywych, zauważymy łatwo rolę kierowniczą jądra: prądy to płyną ku jądru, to od niego: jądro występuje wyraźnie jako ognisko tych ruchów.

Są dane, przemawiające za tem, że wszystkie czynności odżywcze komórki zostają w zależności od jądra, a jeszcze większa jest rola jego w sprawie dzielenia się komórek, o czem wypadnie nam mówić niebawem.

Protoplazma łatwo ulega wpływom trującym niektórych czynników. Jedne z nich znamy już, jak alkohol, gliceryna, które działają przez odjęcie wody lub ścinanie białka. Inne, jak np. sole ciężkich metali, tworzą z ciałami białkowatemi plazmy związki nierozpuszczalne. Do trucizn specyficznych należą wymienione już przed chwilą środki znieczulające. Działanie słabych roztworów chloroformu, chloralu lub eteru, a także niektórych gazów powoduje wstrzymanie ruchów i obezwładnienie czasowe protoplazmy; roztwory tęższe lub dłuższe działanie zabija ją.

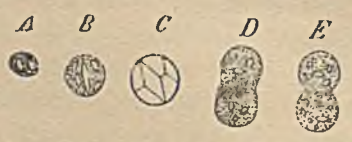
ROZDZIAŁ V.

Niestałe składniki komórki roślinnej.

1. Prócz stałych składowych części komórki roślinnej, jakiemi są błona, protoplazma, jądro i sok komórkowy, spotykamy w rozmaitych komórkach utwory ukazujące się niestałe lub tylko niekiedy i to w niektórych komórkach lub gatunkach roślin.

Zacznijmy od utworów protoplazmatycznych, a mających wielką doniosłość dla życia rośliny, jakiemi są chromoplasty albo chromatofory (a wśród nich zwłaszcza chloroplasty) oraz leukoplasty, co znaczy dosłownie: ciała uorganizowane zabarwione i bezbarwne.

Z pierwszych najbardziej rozpowszechnione i najważniejsze są ciałka chlorofilowe, czyli ciałka zieleni (chloroplasty) (rys. 60). Mają one u największej części roślin kształt spłaszczonych kulek i leżą w protoplazmie komórek liścia i kory zielonej (rys. 61). Przyglądając się im przy silnych powiększeniach dostrzeżemy, że mają wygląd gąbczasty. Działając na nie spirytusem, możemy rozpuścić zielony barwnik i wtedy zostają bezbarwne kulki, które okazują wszystkie reakcye protoplazmy. Wnosimy więc, że są to ciała protoplazmatyczne, nasiąknięte zielonym barwnikiem, chlorofilem. Można spowodować wystąpienie tego barwnika z ciałek plazmatycznych i nie rozpuszczając go: jeśli podziałamy na komórkę



Rys. 60. Ciałka zieleni z ziarnkami krochmalu, w *A* i *B* ziarenka krochmalu nieliczne, w *C* zajmują całe wnętrze ciałka, *D* i *E* dzielenie się ciałek chlorofilowych. Pow. 550.

roztworem wodanu chloralu, to chlorofil występuje z ciałek barwnych w postaci gęstych kropel, mających wygląd oleisty.

Tylko u niższych wodorostów ciała chlorofilowe miewają kształty bardzo urozmaicone: ziarek, tafelek, gwiazd, wstążek i t. d. W utworach tych znajdują się osobne ciałka — pirenoidy, dokoła których gromadzi się mączka, otaczając je jakby powłoką utworzoną z ziarenek mączki. Pirenoidy utworzone są z ciał białkowatych i nie zawierają nukleiny. W skład ich wchodzą stale kryształy białkowate (ob. niżej § 4).

Rys. 61. Komórki z ziarnkami chlorofilu (*cl*) leżącemi w plazmie; *n* — jądro. Z liścia mchu Funaria hygrometrica (według Strasburgera,— pow. 300).

Pirenoidy właściwe są prawie wyłącznie wodorostom; spotykają się także u jednej gromadki mchów (Anthocerothae); wogóle zaś brak ich roślinom naczyniowym.

Co do pirenoidów niema pewności, iżby zawsze pochodziły od innych, chociaż często można obserwować ich dzielenie się. Strasburger i autor obserwowali ich nowotworzenie się we wstążce chlorofilowej skrętnicy, lecz w takich warunkach, które pozwalają przypuszczać, że powstają z części morfologicznych pierwotnie już istniejących w komórce.

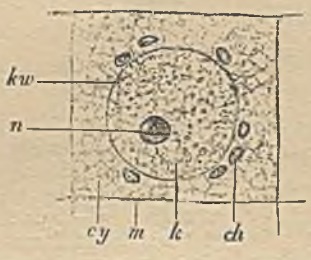
Już u wodorostów wyżej organizowanych chloroplasty przybierają postać ziarenek, a u wszystkich roślin wyżej stojących mają wyżej opisany kształt ciałek okrągłych, nieco spłaszczonych.

W niektórych klasach wodorostów (Okrzemki, Peridineae, Brunatnice, Czerwonorosty, Sinorosty) zielona barwa utworów chlorofilowych zostaje zamaskowana przez obecność innych barwników: czerwonego (dającego z zielenią brunatne zabarwienie), żółtego (Okrzemki i Peridineae) lub niebieskiego (Sinorosty).

Barwniki żółte nazywają wogóle ksantofilami; z tych jeden tylko chryzofil otrzymano w postaci krystalicznej. Barwnik czerwony (fikoerytryna) rozpuszczalny jest w wodzie; podobnież i niebieski (fikocyan). W nowszych czasach Molisch usiłował wykazać, że barwniki brunatnic i okrzemek nie są mieszaniną chlorofilu z innemi, lecz osobliwemi ciałami chemicznemi, pełniącemi funkcyę chlorofilu i do niego zbliżonemi.

Wewnątrz ciałek zieleni znajdujemy zwykle jedno lub kilka drobnych ziarenek, które od działania jodu barwią się na ciemno-fioletowo. Są to ziarenka krochmalu, wytworzonego pod wpływem światła przez ciała chlorofilowe z kwasu węglowego i wody. Nad tą czynnością zasadniczą chlorofilu, również jak i nad własnościami jego, które z nią w związku zostają, zatrzymamy się dłużej w rozdziałach odpowiednich fizyologii.

Wszystkie chromatofory znajdują się już w postaci zawiązkowej w komórkach zarodkowych (w stożku wegetacyjnym) w postaci drobnych ziarenek bezbarwnych, silnie załamujących światło i leżących w pobliżu jądra (rys. 62). Barwnik wytwarza się w nich dopiero w miarę dojrzewania komórki; chlorofil zaś wymaga do tego udziału światła (ob. niżej).



Rys. 62. Komórka zarodkowa ze stożka wegetacyjnego rośliny kwiatowej: *m*—błona; *cy*—protoplazma; *k*—jądro; *n*—jąderko; *kw*—«błona» jądra; *ch*—chromoplasty (pow. ok. 1000). Według Strasburgera.

Subtelna budowa ciałek chlorofilowych, a zwłaszcza stosunek barwnika do podścieliska (stromy) jest dotąd przedmiotem spornym. Jedni chcą widzieć w ziarnku chlorofilowym gęstą siateczkę utworzoną z zabarwionych zielenią nici plazmatycznych (Fromann, Schmitz), inni (Pringsheim, Chodat) uważają je za utwory gąbczaste nasiąknięte płynnym chlorofilem. Według innych ciałko chlorofilowe utworzone jest z bezbarwnego plazmatycznego rusztowania (stroma), otoczonego błonką plazmatyczną, w którego przestworach mieszczą się ziarenka zabarwione (grana) (Meyer i Schimper—rys. 63). Wygląd ciałek tych przy silnem powiększeniu może być interpretowany zarówno na korzyść drugiej jak i trzeciej hypotezy, które różnią się tylko co do tego, czy mamy do czynienia z cieczą, czy z ciałkami. Obserwacye własne autora nad działaniem wodanu chloralu przemawiają zdaniem jego stanowczo za płynną konsystencyą chlorofilu. Z jednej strony bowiem wiemy, że wodan chloralu działa na protoplazmę w sposób obezwładniający; z drugiej strony widzimy jak przytem chlorofil wy-

Rys. 63. Ciałka zieleni silnie powiększone: *a*—niezmienione; *b*—po działaniu wodanu chloralu. Według A. Meyera.

dziela się w postaci kropel powstających z drobnych ziarenek i wcale nierozpuszczających się w otaczającej cieczy. Działanie więc chloralu redukuje się prawdopodobnie do zmian w podścielisku (skurczenia plazmy), wskutek których nie jest ono już w stanie utrzymać kropelek zieleni w sobie. Obraz *b* na załączonym rysunku Meyera przemawia za tą interpretacyą.

Jako kuryozum chyba nadmienić wypada o poglądzie Mereszkowskiego, uważającego ziarnka chlorofilowe za obce organizmy zostające w pożyciu (symbiozie) z roślinami, do których dostały się z zewnatrz.

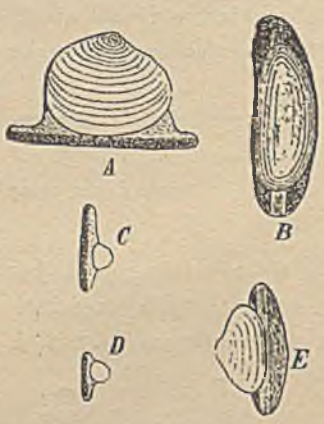
Inne ciałka barwnikowe spotykają się nie tak często, jak chlorofilowe. Znajdujemy je w wielu zabarwionych częściach rośliny. Mają one budowę taką samą jak ciałka zieleni, t. j. składają się ze szkieletu protoplazmatycznego, nasiąkniętego barwnikiem. Kształty miewają bardzo rozmaite. Od obecności ich zależy barwa wielu kwiatów i owoców, mianowicie większej części żółtych i czerwonych; różowe, niebieskie i fioletowe zawdzięczają kolor swój barwnikom, rozpuszczonym w soku komórkowym. Barwnik nasiąkający ciałka barwne ma czasem kształt kropelek, gdzieindziej—drobnych kryształów (rys. 64). Takie ciałka niekiedy przybierają postać regularną wskutek wykrystalizowania barwnika (rys. 65).

Rys. 64. Chromoplasty: *A* — z płatków aloesu: czerwone ziarenka nagromadzone są tu przeważnie u obwodu; *B* — z owocu jarzębiny, barwnik tu w postaci kryształów bardzo cienkich; *C* — z płatków janowca farbierskiego (pow. 660).

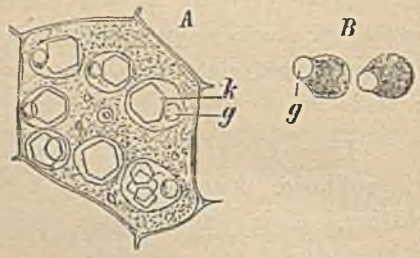
Rys. 65. Ciałka barwne z marchwi (pow. 540). Według Strasburgera.

2. Ważniejsze są ciałka bezbarwne, czyli leukoplasty (rys. 66), spotykające się w wielu komórkach pozbawionych zieleni. Są to okrągłe lub wydłużone ciałka protoplazmatyczne, znacznie mniejsze od ciałek chlorofilowych, znajdujące się zwykle w pobliżu jądra. Czynność

ich polega na przerobieniu cukru gronowego na krochmal; czynność zaś ta odbywa się nie tylko tam, gdzie przechowywać się mają materyały zapasowe, ale w każdej niemal rosnącej komórce. Często bardzo leukoplasty zawierają w sobie kryształy białkowe (rys. 66 *A*).



Rys. 66. Leukoplasty z tworzącemi się ziarnkami mączki z Phajus grandifolius. *B*—z góry, pozostałe z boku. Według Strasburgera (pow. 510).



Rys. 67. *A*—ziarnka aleuronu w komórkach nasion rącznika z zawartemi wewnątrz kryształami białkowatemi (*k*) i globoidami (*g*) obserwowane w wodzie; *B*—odosobnione ziarnka aleuronu obserwowane w oliwie. Według Strasburgera (pow. 540).

Leukoplasty uważać należy za chloroplasty, które nie wytworzyły zieleni wskutek braku odpowiednich warunków (światła). Mogą one wytwarzać zieleń, jeżeli znajdą się w dostatecznem oświetleniu i wtedy przemieniają się na ciałka chlorofilowe, przyczem zmienia się ich kształt. A jak leukoplasty uważać możemy za protoplasty wszelkich ciałek zabarwionych, tak znowu chlorofil jest źródłem wszystkich innych barwników, jakie znajdujemy w chromatoforach, części kwiatów i owoców, które później przybierają rozmaite barwy, są początkowo zielone.

Jak pod wpływem warunków przyjaznych leukoplasty przekształcają się na chloroplasty, tak też w innych warunkach tracą one barwę zieloną, zachowując właściwą budowę. Jesienne zabarwienie liści roślin zawsze zielonych (iglastych, bukszpanu) na żółto i czerwono pochodzi stąd, że chlorofil przemienia się na barwnik żółty lub czerwony pod wpływem działania jednoczesnego światła i zimna. Ta sama przemiana chemiczna powoduje jesienne barwy liści opadających, w których jednak niebawem następuje dezorganizacya utworów plazmatycznych.

Wszystkie te ciałka, tak zabarwione jak i bezbarwne, powstają jedne z drugich przez dzielenie się; ciałko przytem wydłuża się z początku, następnie przewęża się w środku i wreszcie dzieli się na dwa mniej więcej równe (rys. 60 *D*, *E*). Przy dzieleniu się ciałek zieleni daje się widzieć, że przed rozpoczęciem przewężania wszystek barwnik skupia się na dwóch przeciwnych biegunach wydłużonego ciałka; bieguny te połączone zostają bezbarwnym mostkiem, w którym odbywa się przewężanie.

Mniemano dawniej, że chromatofory mogą powstawać z protoplazmy komórki; bardzo ścisłe jednak poszukiwania przekonały, że już w najmłodszych komórkach zarodka są one sformowane (§ 1) i dzielą się razem z innemi częściami komórki. Możemy więc twierdzić, że wszystkie żyjące części komórki, t. j. te, których podstawą jest protoplazma (jak plazma, jądro, chromatofory i t. d.), powstają zawsze z podobnych im utworów drogą ich podziału.

Nie można wszakże rozpowszechniać tego na wszystkie, chociażby nawet istotne, części komórki. Już o błonie wiemy, że nie zawsze powstaje przez rozdzielenie się błon poprzednio istniejących, gdyż często nagie ciała plazmatyczne wydzielają z siebie błonę. Zastosowanie zaś tegoż poglądu do wakuoli, a specyalnie do przestrzeni sokowej, przypomina już znaną facecyę o tem, jak robi się obwarzanek: bierze się dziurę i oblepia się ciastem. Wakuola jest pojęciem ujemnem (brakiem zapełnienia, próżnią), to co tworzy jej ściankę (cynoplazma), nie należy do niej, lecz do protoplazmy i jest stałym sposobem odgraniczenia się jej od ciał obcych (błony, jądra, soku komórkowego); co zaś do soku komórkowego, to ten z pewnością nie powstaje drogą dzielenia, lecz przez wsiąkanie do komórki.

3. Ziarnka mączki czyli krochmalu są również bardzo rozpowszechnione w komórkach, zarówno zielonych części roślin, gdzie tworzą się pierwotnie, jako też i we wszelkich innych, gdzie nagromadzają się bądź chwilowo, dla miejscowego użytku rosnących części (mączka przejściowa), aby w miarę potrzeby uledz rozpuszczeniu i zużyciu; bądź też na dłuższy czas jako materyał zapasowy dla mających się rozwijać na wiosnę pędów i liści, warstw drewna, zarodka (w nasieniu). Komórki

bulw kartofli lub liścieni w nasionach mączastych są zwykle wypełnione mączką.

Ziarnka mączki mają kształt rozmaity u rozmaitych roślin, ale zawsze zachowują typową budowę: każde składa się z szeregu naprzemian leżących warstw współśrodkowych (rys. 68) substancyi gęstszej i rzadszej. Bardzo młode ziarenka są zupełnie jednostajne i gęste; warstwowatość wytwarza się dopiero później, przytem środkowe warstwy są mniej gęste od obwodowych. Warstwowatość ta ma takież pochodzenie, jak i warstwowatość błony, a na badaniach drobiazgowych nad wzrostem i własnościami ziarnek mączki oparł K. Nägeli swoję teoryę intussuscepcyi. Charakterystycznem jest bowiem, że zawsze warstwy zewnętrzne ziarnka utworzone są z gęstszej substancyi, środkowe z rzadszej (co uwydatniają już szparki tworzące się przy wysychaniu ziarnka a idące promieniami od środka). Gdyby warstwowatość pochodziła wskutek kolejnego osadzania się warstw, porządek musiałby być odwrotny: najświeższe (zewnętrzne) warstwy powinny by być najbogatsze w wodę.

Rys. 68. Ziarnka mączki z kartofla: *A* — pojedyńcze; *B*—podwójne (o dwóch ośrodkach warstwowatości (pow. 600).

Nie ulega wątpliwości, że warstwowatość pochodzi tu od niejednostajnego nasiąknięcia warstw wodą: znika ona przy wysuszeniu ziarnka. Przyczyną jej jest nierówna zdolność wchłaniania w idących po sobie warstwach.

Rys. 69. Ziarnka mączki w świetle polaryzowanem.

W świetle polaryzowanem przy prostopadłych Nikolach (ob. R. III § 8) ziarnka mączki występują na ciemnym polu jako jasne ciałka przecięte czarnym krzyżem (rys. 69), t. j. zachowują się jak kryształy jednoosiowe.

Ziarnka mączki bardzo łatwo poznać pod mikroskopem po ciemno-niebieskiem zabarwieniu od jodu. Powstają one zawsze w ciałkach chlorofilowych lub w leukoplastach, które stopniowo rozciągają się w miarę ich wzrostu (rys. 66), aż w końcu znikają zupełnie. U wodo-

rostów, gdzie ciałka zieleni mają postać wstążek, tafelek lub gwiazdek, ziarnka mączki tworzą się tylko w opisanych wyżej pirenoidach.

Skład chemiczny mączki jest $n(C_6H_{10}O_5)$. W wodzie nierozpuszczalna tworzy przy gotowaniu klejster. Pod wpływem fermentu, diastazy, znajdującej się prawie stale w komórkach roślinnych (lub ptialiny, znajdującej się w ślinie), mączka przekształca się na cukier gronowy, przechodząc pierwotnie w amylodekstrynę (amyloceluloza K. Nägeli'ego; β-amyloza Meyera), nierozpuszczalną w wodzie zimnej, lecz rozpuszczalną w gorącej i dającą z jodem żółte zabarwienie, oraz w dekstrynę rozpuszczalną w wodzie zimnej i barwiącej się od jodu na ciemno-pąsowo.

Ziarenka mączki, ulegające wpływowi diastazy, mają charakterystyczny wygląd: są jakby stoczone.

Wielkość ziarnek mączki waha się między 0.002 a 0.170 mm. Spotykają się ziarna złożone powstające przez to, że zaczynające się tworzyć w kilku blizkoleżących ośrodkach ziarnka w miarę wzrostu naciskają się wzajemnie i spajają (rys. 66 *B*). Spotykają się złożone ziarnka, liczące do 100 (u ryżu), 300 (u owsa), a nawet do 30,000 składowych ziarenek (gatunek szpinaku—Spinacia glabra).

Nie zawierają mączki grzyby, okrzemki, krasnorosty, brunatnice i sinorosty. W nasionach bardzo często zastępują ją tłuszcze, jako materyał zapasowy. Zbliżone do mączki są ciała barwiące się od jodu na żółto lub brunatno (u brunatnic i krasnorostów) lub wcale się nie barwiące (paramilon u wiciowców); także ziarnka cellulinowe u niektórych grzybów (Saprolegniaceae). U grzybów świeżo znaleziono glikogen (Errera, 1905); należy tu także anabenina sinorostów (R. III, § 6), niemniej jak opisana wyżej inulina (R. III, § 11).

W nowszych czasach próbowano wytłumaczyć budowę ziarn mączki, uważając je za skupienia kuliste niedostrzegalnych kryształów (trychitów—Schimper, Artur Meyer, 1895), co zresztą trudno pogodzić z niewątpliwie koloidalnym charakterem mączki. Z drugiej strony ten sam autor tłumaczy warstwowatość różnicą osadzania w dzień i w nocy (na wzór słojów rocznych drewna); H. Fischer (1898) chce widzieć jej przyczynę w szparkach współśrodkowych,

powstających przez kurczenie się ziarnka i napełnionych wodą. H. Kraemer (1902) chce widzieć w ziarnku mieszaninę koloidu z krystaloidem, z których to ten, to ów ma przewagę w kolejnych warstwach.

4. Z utworów białkowatych, prócz tych, które wchodzą w skład żywej plazmy, spotykamy w komórkach **ziarnka glutenu i kryształy białkowe** (rys. 65).

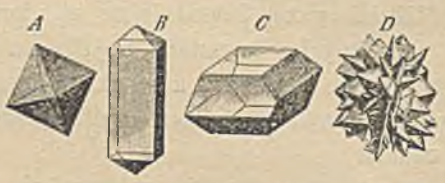
Pierwsze stanowią zwykłą formę zapasowego białka w nasionach. Są to okrągłe ciałka, mniejsze lub większe, znajdujące się w komórkach obok mączki lub tłuszczu. Większe są w nasionach tłustych (np. rącznika), które też najlepiej nadają się do badania. Wewnątrz ich znajdują się bardzo często kryształy białkowate (uwidoczniające się zwłaszcza po dodaniu wody do preparatu). Są to utwory z wielu względów zbliżone do prawdziwych kryształów, różniące się wszakże tem, że po dodaniu kwasów (np. octowego) lub alkalij pęcznieją, zmieniając przytem kształt swój, gdy tymczasem kryształy prawdziwe mają zawsze stale pochylone do siebie ściany (stałą wielkość kątów), a w cieczach odpowiednich rozpuszczają się, nie zmieniając tego pochylenia.

Kryształy białkowate rozmaitego kształtu spotykają się dość często i niezależnie od ziarnek glutenu w protoplazmie komórek. W zewnętrznej warstwie komórek bulwy kartofla mają postać sześcianów i leżą w protoplazmie; we włoskach pokrzywy można niekiedy spotkać ośmiościany; w nasionach rącznika (Ricinus communis) mają postać sześciobocznych tafelek. Należą do układów równoosiowego i jednotrzyosiowego, a w tym wypadku są optycznie czynne. Przy pęcznieniu zmieniają się wprawdzie kąty, lecz nie zmieniają się stosunki symetryi; niekiedy przytem ukazuje się warstwowatość, znikająca przy wysychaniu. Krystaloidy te wchłaniają barwniki, podobnie jak inne utwory plazmatyczne. Znajdujemy je stale w leukoplastach i w pirenoidach. Niekiedy spotykają się i w jądrach komórek.

Kryształy te zarówno jak i ziarnka glutenu, barwią się od jodu na brunatno i tak samo jak inne utwory białkowate wchłaniają rozmaite barwniki.

Obok kryształów białkowatych znajdują się zwykle w ziarnkach glutenu **globoidy** (rys. 70). Są to drobne ciałka kuliste

utworzone z substancyi organicznej bliżej nieznanej. Spotykają się często i niezależnie od glutenu. Nie rozpuszczają się one ani w wodzie, ani w ługu potasowym; nie barwią się od jodu, ani od barwników organicznych. Są optycznie nieczynne. W skład ich wchodzi znaczna ilość fosforanów magnu i wapnia, oraz kwasy organiczne (brunatnieją przy silnem nagrzewaniu). Niekiedy mają postać graniastą lub biszkoptową. Bardzo znaczne są u piwonii; u winorośli zawierają wewnątrz kryształy.



Rys. 70. Kryształy szczawianu wapnia; *A* i *B*—pojedyńcze kryształy układu kwadratowego; *C*—jednoskośnego; *D*—szczotka.

5. Często też spotykamy w komórkach prawdziwe **kryształy** przeważnie soli wapiennych. Ogromnie rozpowszechnione są kryształy szczawianu wapnia. Rozróżniamy trzy główne typy tych kryształów: 1) pojedyńcze kryształy (rys. 70—*A, B, C*); 2) szczotki krystaliczne lub skupienia kuliste (sferokryształy) (rys. 70—*D*); 3) pęczki kryształów igiełkowatych (rafidy) (rys. 71—*c*). Należą one bądź do układu kwadratowego, bądź do jednoskośnego. Pojedyńcze kryształy leżą w soku komórkowym; niekiedy zajmują całą komórkę. Rafidy najczęściej otoczone są śluzem; zajmują niekiedy specyalne wydłużone komórki.

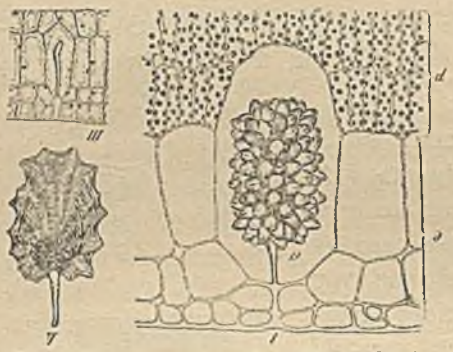
Rys. 71.

Niekiedy pojedyńcze kryształy lub szczotki zawieszone bywają na specyalnych listewkach lub w woreczkach błonnikowych (rys. 71—*a*, *b*); niekiedy inkrustują ścianki komórek lub też zajmują przestwory międzykomórkowe.

Kryształy szczawianu wapnia poznajemy po tem, że nie rozpuszczają się w kwasie octowym, ale rozpuszczają się w kwasach mineralnych (np. solnym) bez wydzielania gazu. Jeżeli użyjemy do rozpuszczania kwasu siarczanego, to na miejscu topniejących kryształów szczawianu ukazują się niebawem iglaste kryształy siarczanu wapnia.

Prócz wymienionych spotykamy jeszcze kryształy gipsu w postaci tafelek skośnoczworobocznych, niekiedy zrośniętych bliźniakowato; kryształy te są nierozpuszczalne w kwasach rozcieńczonych; kryształy węglanu wapnia rozpuszczalne są w kwasie octowym z wydzieleniem gazu (kw. węglowego); winian wapnia rozpuszczalny jest w kwasie octowym bez burzenia.

Węglan wapnia spotyka się również w formie inkrustacyi błon komórkowych, lub też osobliwych utworów błonnikowych, zwanych **cystolitami** (rys. 72); są to wyrostki błonnika, gęsto nasiąknięte węglanem wapnia, po którego rozpuszczeniu daje się widzieć warstwowata budowa wyrostka. Młode cystolity nie zawierają węglanu wapnia, który osadza się dopiero po utworzeniu szkieletu błonnikowego. Po dwutygodniowem zaciemnieniu rośliny cystolity u Ficus'a znikają; po upływie jednak $1^1/_2$—2 miesięcy pobytu na świetle wytwarzają się na nowo. U innych roślin (Acanthaceae) cystolity nie znikają w ciemności.



Rys. 72. Cystolit z liści Ficus elastica: I—w stanie dojrzałym; II—po rozpuszczeniu inkrustacyi wapiennej; III—rozwój jego.

Podobnież w formie inkrustacyj błon (u okrzemek) lub osobnych utworów, spotyka się (zwłaszcza u roślin zbożowych) krzemionka, nadająca niektórym częściom wielką kruchość (np. ościom jęczmienia).

Prócz tego znajdujemy w protoplazmie komórek w postaci kropelek tłuszcze (rzadko w postaci kryształów, topiących się przy ogrzewaniu), stężone roztwory garbników, olejki lotne i żywice.

ROZDZIAŁ VI.

Powstawanie komórek.

1. W pierwszych chwilach po odkryciu komórkowej budowy organizmów zdawało się, że przejście od ciał nieuorganizowanych do utworów tak prostych, za jakie uważano komórki, jest bardzo łatwe. Jeszcze w XIX wieku Mirbel, a następnie Schleiden, przypuszczali, że komórki powstają samorzutnie w cieczach pożywczych na wzór kryształów tworzących się w roztworach.

Dziś pogląd ten stanowczo został odrzucony. Ścisłe doświadczenia dowiodły, że we wszystkich wypadkach, w których przyjmowano powstawanie samorzutne nawet najniższych organizmów, to jest **samorodztwo** w rzeczywistości miał miejsce rozwój istniejących już poprzednio lub dostających się do cieczy pożywczej podczas doświadczenia zarodków. Ponieważ komórka jest najelementarniejszą formą, w jakiej może objawiać się życie, tym składnikiem, z którego powstają wszystkie bardziej skomplikowane organizmy, wynik więc ten formułują zwykle jako twierdzenie, że *każda komórka powstaje z innej komórki* (*omnis cellula e cellula*), dotąd zostające podstawowym pewnikiem biologii. Wiemy już, że założenie to dziś rozpowszechnione zostało także i na ważniejsze składowe części komórki (ob. rozdz. V, § 2).

Wszechstronne i wielokrotne doświadczenia stwierdzają tę zasadę i dla ustrojów, których nadzwyczajna małość i prostota

organizacyi mogłaby zachęcić do uważania ich za stojące poza ogólnym typem komórki, mianowicie do bakteryj i podobnych im istot. Żaden z tych organizmów nie może powstać inaczej, jak z podobnego sobie. To znaczy innemi słowy, że życie w przyrodzie udziela się od jednych istot drugim i nigdy nie powstaje z nieżycia. Może ono przelewać się na nieograniczoną liczbę istot i ujarzmiać we właściwe danemu osobnikowi kształty, coraz większą ilość materyi nieorganicznej; ale pierwotnym punktem wyjścia musi być zawsze jakaś istota żywa.

Faktyczna nieuzasadnioność samorodztwa ostatecznie dowiedziona została przez Pasteur'a w słynnym jego sporze z Pouchetem, a historya zagadnienia tego jest wysoce pouczająca, wykazując, jak i w wielu innych wypadkach, jak, blizka już, zdawało się, pochwycenia tajemnica przyrody oddala się i odsłania szereg nowych zagadnień w miarę pogłębienia badań.

Arystoteles przypuszczał samorodztwo dla istot tak już względnie wysoko uorganizowanych jak robaki i węgorze; zauważono, bowiem, powiada on, że w niektórych osuszonych jeziorach węgorze powstają nanowo po wpuszczeniu do nich wody. Dopiero w XVII stuleciu Redie wykazał drogą doświadczenia, że jeśli pokryć mięso przejrzystą tkaniną, to robaki nie powstają w mięsie, lecz na gazie znajdują się liczne jajeczka, złożone przez zwiedzające mięso muchy, z których powstają owe robaki. Pierwsze eksperymentalne zaprzeczenie samorodztwa dało w ten sposób pobudkę do odkrycia metamorfozy owadów.

Gdy mikroskop odsłonił organizmy znacznie prostsze i drobniejsze, przypuszczenie możliwego ich powstania drogą samorodztwa nasunęło się naturalnie. Doświadczenia ku jego stwierdzeniu dokonane zostały w Anglii. Niedham poddawał gotowaniu wyciągi z roślin w naczyniach szczelnie zamkniętych, a następnie zostawiał je w zwykłej temperaturze i po upływie pewnego czasu znajdował w nich liczne organizmy mikroskopowe, które wówczas łączono pod wspólną nazwą wymoczków. Spallanzani powtórzył te doświadczenia, gotując poprzednio wyciągi przez trzy kwadranse i nie znalazł organizmów. Ujemny ten wynik tłumaczył Niedham zepsuciem powietrza od długiego

gotowania, a Gay Lussac wykazał, że powietrze zawarte w konserwach według tego sposobu przygotowanych, istotnie nie zawierało tlenu. Sprobowano więc przepuszczać przez wyciągi powietrze bądź poprzednio ogrzane w rozżarzonych rurach (Schwam), bądź przechodzące przez mocne kwasy lub alkalie (Schultze) z wynikiem najczęściej ujemnym.

Doświadczenia te powtórzył Pouchet z wynikiem przeciwnym i przedstawił pracę swą Akademii paryskiej, która ogłosiła konkurs na temat: „sprobować rzucić nowe światło na zagadnienie samorodztwa przy pomocy doświadczeń dobrze wykonanych."

Pouchet bagatelizował zarzut oparty na tem, że zarodniki organizmów mogą znajdować się w powietrzu, a badając pod mikroskopem zebrany z przedmiotów kurz wykazał, że składa się on prawie wyłącznie z substancyi nieorganicznych. Pasteur użył do zebrania pyłków powietrznych metody racyonalniejszej. Wciągał on przy pomocy aspiratora powietrze z ulicy przez rurkę zawierającą zatyczkę z waty. Zebrany na wacie kurz zawierał pewną ilość zarodników, a przeniesiony do balonów z cieczą sterylizowaną przez gotowanie i napełnionych powietrzem, które przeszło przez rozżarzone rurki platynowe wywoływał rychło ukazanie się niższych organizmów w balonach, które przedtem mogły stać czas nieograniczony nie wykazując ich śladów. Modyfikując doświadczenia w sposób najrozmaitszy, wykazał Pasteur niewątpliwie, że we wszystkich wypadkach, gdzie powstaje życie w cieczach pożywczych sterylizowanych, pochodzi ono od zarodników, znajdujących się w powietrzu.

Pouchet wystąpił z całym szeregiem doświadczeń sprzecznych; lecz wywody jego w sposób zwycięski pokonał Pasteur, powtarzając doświadczenia swe wobec Akademii w r. 1864.

W kilka lat później kwestyę samorodztwa odnowił Charleton Bastian. Lecz i jego wywody, oparte na nieścisłych doświadczeniach, zwalczone zostały przez Pasteur'a, Tyndalla i Robertsa. Badacze ci wykazali przytem niesłychaną żywotność niektórych zarodników, a Chamberlen wykazał zależność jej od warunków doświadczenia. Tak zarodniki niektórych gatunków Bacillusa giną po godzinnem lub dwugodzinnem gotowaniu w czystej wodzie; w wyciągu siana dopiero po 5 godzinach.

Z drugiej strony rozważania teoretyczne oparte na bliższej znajomości budowy komórki przemawiają stanowczo przeciwko możności jej powstania drogą samorodztwa. Komórka jest utworem wysoce skomplikowanym i wśród najniższych ze znanych nam organizmów niema takiego, według trafnego wyrażenia Nägeli'ego, któryby można uważać jako bezpośrednio wytworzony z materyi nieuorganizowanej. Każdy z nich zawiera szereg zasobów nagromadzonych dziedzicznie przez liczne pokolenia.

Wszakże doświadczenia powyżej przytoczone wykazały tylko, że w wypadkach, gdzie dotąd przypuszczano samorodztwo, istnieje w rzeczywistości rozwój gotowych już zawiązków. Wywód z nich twierdzenia niemożliwości samorodztwa byłby zgoła nieuzasadniony. Stwierdzają one tylko fakt, że jego nie znamy i ten fakt regestruje wiedza.

Chwila zastanowienia przekonywa nas, przeciwnie, że w warunkach, w których odbywały się doświadczenia, powstanie „żywej materyi" (jeśli tak nazwiemy najprostszą formę życia) było wysoce nieprawdopodobne. Istotnie już dla otrzymania związków chemicznych o bardziej skomplikowanej budowie potrzebne jest celowe zestawienie doświadczeń: cząsteczki cukru nie udało się wytworzyć sztucznie, dopóki nie poznano budowy jej i nie poprowadzono syntezy tak, aby taką właśnie budowę uzyskać. Tembardziej stosuje się to do tych skomplikowanych połączeń cząsteczek, które wytwarzają zjawiska życia. Nietylko zaś nie wiemy na czem polega istota „żywej materyi," ale nie znamy nawet budowy materyału chemicznego, z którego ona powstaje, t. j. ciał białkowatych. Dopóki nie będziemy posiadali tej wiedzy, wszelkie próby w kierunku wytworzenia żywych istot syntetycznie muszą być narażone na niepowodzenie z prawdopodobieństwem graniczącym niemal z pewnością. Natomiast logika każe nam przyjąć, że pierwsze organizmy musiały powstać nie z zarodków tylko z ciał, które nie były uorganizowane. Czy takie powstawanie ma jeszcze dziś miejsce? Czy może zależało od specyalnych warunków geologicznego stanu ziemi, który raz tylko miał miejsce i nigdy się nie powtórzy?— są to pytania, na które, spodziewać się należy, odpowie kiedyś wiedza.

2. Szereg zjawisk, przy których pomocy odbywa się przelewanie życia na coraz większą masę materyi, nazywamy dzieleniem się komórek. **Dzielenie się** jest aktem powstania z jednej komórki dwóch lub kilku nowych. Zjawisko to nie może być porównywane z dzieleniem mechanicznem, przy którem otrzymujemy tylko połówki lub ułamki dzielonego przedmiotu. Jeżeli rozbijemy lub rozpiłujemy garnczek, otrzymamy tylko czerepy; po rozdzieleniu się komórki, otrzymujemy nowe komórki zdolne do życia i odtwarzające cechy komórki macierzystej. Prócz tego, dzielenie mechaniczne jest wynikiem sił działających z zewnątrz; tu zaś przeciwnie siły wewnętrzne komórki działają w ten sposób, aby nietylko podzielić wszystkie istotne jej składniki, lecz także ukształtować je ponownie w formy, które miały przed dzieleniem.

Jeżeli mechanicznie rozdzielimy komórkę o jednem jądrze (np. rozetniemy ją), to zwykle bywa, że ta część, która zawiera jądro, zostaje przy życiu, druga zaś ginie. Jeżeli rozdzielimy komórkę wielojądrową, np. jeśli przetniemy nić Woszeryi, tak, aby w każdej części były jądra, to protoplazma zaokrągla się w miejscu przecięcia, wydziela tu błonę i każda z części istnieje nadal niezależnie.

Te proste doświadczenia obok innych, o których mówiliśmy, dowodzą, że jądro jest ośrodkiem sił kształtujących w komórce i kierownikiem jej czynności życiowych, a szereg obserwacyj, o których będzie mowa, potwierdza tę myśl. Dzielenie się komórki jest takiem samowolnem utworzeniem dwóch lub kilku ośrodków na miejscu jednego, pociągającem za sobą odpowiednie ugrupowanie innych składowych części komórki ku utworzeniu dwóch lub kilku nowych.

Dlatego też dzielenie zaczyna się zawsze od pewnych zmian w jądrze, prowadzących do jego rozdzielenia na dwa lub kilka nowych.

Pobudką ku rozdzieleniu się komórki bywa zwykle jej wzrost.

Każda żyjąca komórka przyswaja z otoczenia swego ciała odpowiednie, wcielając je w swoje, t. j. przeobrażając na mate-

ryę żyjącą. Skutkiem tego przyswojenia jest więc zwiększenie masy komórki a przez to i jej objętości.

Ważne znaczenie dla egzystencyi komórki ma stosunek, zmienny podczas wzrostu, powierzchni komórki do objętości. Jeśli dla prostoty wyobrazimy sobie komórkę zupełnie kulistą, to jak uczy geometrya, gdy średnica komórki będzie wzrastała w jakimkolwiek stosunku, powierzchnia jej będzie się zwiększać w stosunku do kwadratu średnicy, a objętość w stosunku do sześcianu [1]). Toż samo stosuje się do wszelkich innych kształtów komórek.

Jeśli weźmiemy pod uwagę, że wszelki dopływ substancyi pożywnych do komórki, czy to odosobnionej, czy zostającej w związku z innemi, odbywa się przez jej powierzchnię; że podobnież przez tę powierzchnię wydzielają się bezużyteczne lub szkodliwe produkta życia komórki, że przez nią odbywa się wymiana gazów, łatwo zrozumiemy, że stosunek objętości do powierzchni staje się coraz mniej przyjaznym odżywianiu komórki w miarę jej wzrostu. Gdy objętość jej wzrasta w pewnej mierze, powierzchnia nie podąża za jej wzrostem; gdy więc zwiększenie masy wymaga obfitszego dopływu i wydzielenia, powierzchnia coraz mniej staje się zdolną zadość uczynić tej potrzebie. Przychodzi wreszcie chwila, kiedy zwiększenie powierzchni przez rozdzielenie komórki na dwie mniejsze, staje się koniecznością życiową dla niej.

Z drugiej strony wiemy, że jądro jest niejako ośrodkiem sił czynnych w żywej komórce. W miarę wzrostu komórki stosunek jego do pozostałej części protoplastu ulega zmianie dwojakiej. Najprzód zwiększona odległość obwodowych części zmniejszać musi energję oddziaływania sił kierowniczych zawartych w jądrze. Powtóre wzrastająca masa protoplazmy pozajądrowej przyczynia się do przewagi jej sił odśrodkowych nad dośrodkowemi siłami jądra: jeśli jądro dotąd trzymało w kupie całą protoplazmę, to teraz wzmożona protoplazma zaczyna rozrywać jądro. Skutkiem takiej pobudki następuje w nim szereg przemian inicyujących podział zarówno jądra jak i protoplazmy,

---

[1]) Powierzchnia bowiem kuli $= 4 \pi R^2$, a objętość $= \frac{4}{3} \pi R^3$.

co przywraca zachwianą równowagę na czas dopóki nowy wzrost nie zakłóci jej znowu.

Tak więc wzrost komórek i ich dzielenie się są nierozerwalnie z sobą związane w komórkach o jednym jądrze.

Nie stosuje się to oczywiście do komórek wielojądrowych. Tu bowiem każde z jąder ma swój ograniczony zakres działania na masę protoplazmy nie oddzieloną widocznie od sąsiedniej, na którą działa już inne jądro. W miarę więc zwiększenia ogólnej masy protoplazmy potrzebne jest tylko zwiększenie ilości jąder, co istotnie ma miejsce, jak to się niżej pokaże. Nieprzyjazny stosunek powierzchni do objętości zostaje zaś tu wykluczony przez to, że wzrost nie odbywa się równomiernie we wszystkich kierunkach, lecz przeważnie lub wyłącznie w jednym. Stąd powstają formy walcowe komórek (jak u Woszeryi, Cladophora [1]) i innych), rosnących wzdłuż osi walca, przyczem, jak łatwo dostrzedz, nie zmienia się stosunek objętości do powierzchni, dopóki nie zmieni się grubość walca: walec 2, 3 lub więcej razy dłuższy zawiera 2, 3 lub więcej razy większą objętość od pierwotnego.

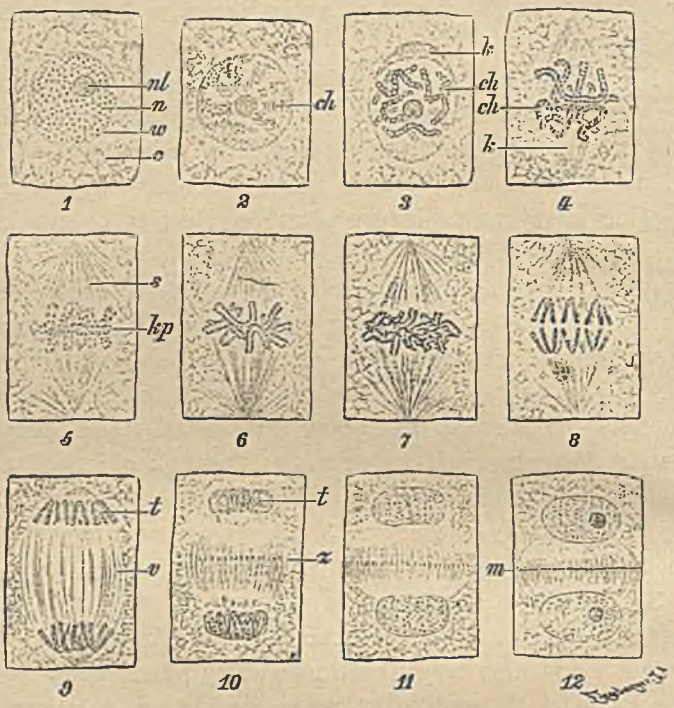
3. Dzielenie się komórek odbywa się według kilku odmiennych typów, które rozpatrzeć winniśmy kolejno.

We wszystkich wypadkach nazywamy płaszczyzną równikową komórki tę, według której następuje podział; przeciwne jej punkta—biegunami.

Najbardziej rozpowszechnionym jest typ, któremu towarzyszą skomplikowane zjawiska w jądrze i który nazywa się dlatego **kariokinetycznym** (t. j. takim, któremu towarzyszą „ruchy jądra"); w nowszym czasie zaproponowano także dla niego nazwę mitozy. Sprawa dzielenia się zaczyna się od tego, że siateczka chromatynowa jądra ściąga się w grubsze odcinki, które się oddzielają od siebie, a następnie spajają w jedno włókno, leżące w postaci kłębka. Skupiają one w sobie wszystkie ziarenka chromatynowe, zawarte w jądrze. Następnie kłębek ten rozdziela się na szereg odcinków, pętlic czyli chromozonów. Każdy z nich ma postać paciorkowatą i utwo-

[1]) Obacz niżej § 6 tego rozdziału.

rzony jest z ziarenek chromatyny, spojonych niebarwiącą się substancyą — l i n i n ą. Niebawem daje się dostrzedz rozszczepianie się podłużne chromozomów.



Rys. 73. Podział komórki wegetacyjnej w tkance zarodkowej. 1—12 — następujące po sobie fazy; 1—4—profaza; 5—7—metafaza; 8—10—anafaza; 11—12—telofaza; *c*—protoplazma; *n*—jądro; *w*—otoczka jądra; *nl*—jąderko; *ch*—pętlice; *k*—miseczki biegunowe; *kp*—tworzenie się gwiazdy; *s*—wrzeciono; *t*—zawiązki ąder pochodnych; *v*—włókienka łączące je; *z*—tafelka komórkowa; *m*—błona dzieląca komórki. (Według Strasburgera; pow. 600).

Ku temu czasowi na obu biegunach jądra ukazują się miseczkowate zgrubienia, utworzone z włóknistej plazmy, która nagromadza się tu z protoplazmy komórki, otaczając pierwotnie równomiernie jądro, a później skupiając się na jego biegunach. Włókienka te zaczynają wkrótce przybierać postać w r z e c i o n a utworzonego z bardzo delikatnych włókien, schodzących się u dwóch biegunów komórki, a rozszerzających się ku płaszczyznie równikowej, gdzie końce ich przymocowują się do połówek rozszczepiających się pętlic (chromozomatów), które tymczasem przybrały postać podkówkowatą lub formę litery V i ułożyły

się w płaszczyznie równikowej, tak, że końce wolne ich zwrócone są nazewnątrz, kąty zaś ku środkowi komórki. W ten sposób powstaje figura gwiazdy, leżącej w płaszczyznie równikowej komórki. W tym czasie znika granica między jądrem i plazmą komórki, z którą zlewa się achromatynowa część jądra.

Od punktów, w których skupiają się włókienka wrzeciona u biegunów komórki, tworzą się pęczki podobnych jak wrzecionowe włókien, skierowane ku ściankom komórki i dochodzące do warstwy przyściennej protoplazmy. Strasburger nazywa je włóknami pomocniczemi i przypisuje im rolę utrzymywania punktu, ku któremu skierowane są włókna wrzeciona, podczas kurczenia się tych włókien.

Skoro bowiem utworzyła się powyżej opisana postać, włókna te zaczynają kurczyć się, ciągnąc w przeciwne strony, utworzone przez rozszczepienie połówki pętlic, które wskutek tego

Rys. 74. Stosunek pętlic do włókien wrzeciona oraz oddalanie się od siebie połówek pętlic wskutek kurczenia się tych włókien. Fig. 1, 2 przedstawiają jeden typ; 3—5—drugi; *a* i *b* są połówkami rozszczepionych pętlic; *z*—włókna wrzeciona. (Nawpół schematycznie według Strasburgera).

oddalają się ku biegunom komórki, układając się tu w postać dwóch gwiazd (dwugwiazd). Niebawem wolne końce podkówek zaczynają się zaginać ku sobie i nowoutworzone z nich jądra, przez fazę kłębka, wracają stopniowo do pierwotnej postaci siateczki. W tym samym czasie, gdy odbywa się zaginanie się chromozomów, w środku nici wrzecionowych powstają nabrzmienia, leżące w płaszczyznie równikowej (tafelka komórkowa). Gdy już nastąpiło zupełne sformowanie się jąder pochodnych, wzdłuż tych nabrzmień powstaje jednocześnie błonka

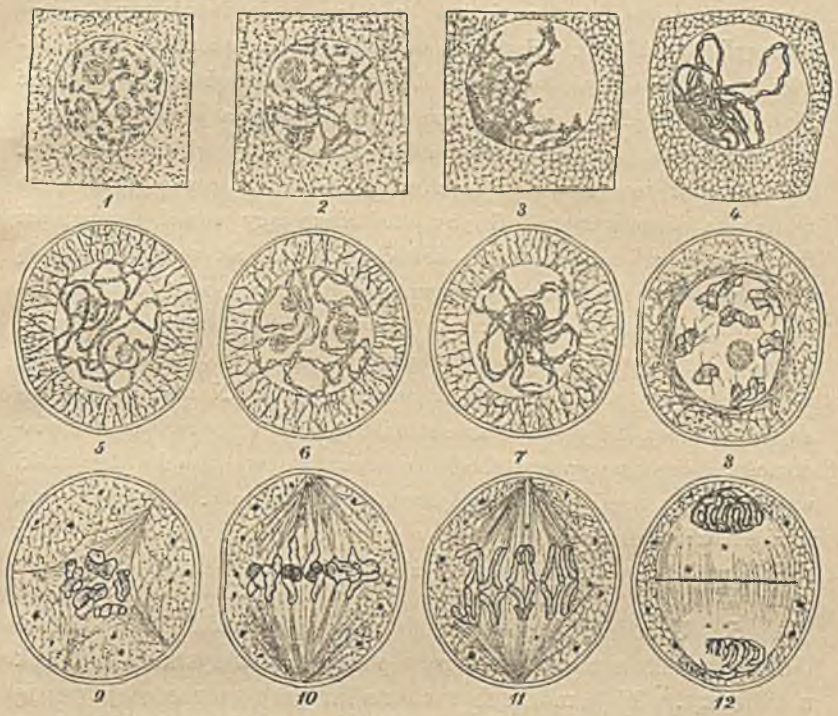
na całą szerokość komórki, przecinająca protoplazmę na dwie części.

Widzimy z opisanych tu zjawisk, że cała sprawa dzielenia skupia się przeważnie w jądrze, oraz że jądro ulega z początku ewolucyi, doprowadzającej do utworzenia gwiazdy, a następnie, po jej rozdzieleniu się,—powrót (inwolucję) do tej postaci, jaką ma jądro w komórce spoczywającej (nie dzielącej się). Pierwszą część tej sprawy nazywają niekiedy profazą; powstanie gwiazdy i podział pętlic—metafazą; ich rozsuwanie się i tworzenie zawiązku jąder potomnych—anafazą; ostatecznie uformowanie jąder pochodnych—telofazą.

4. Pewnym odmianom ulega sprawa dzielenia się kariokinetycznego przy utworzeniu komórek przeznaczonych do rozmnożenia, a mianowicie w tak zwanych komórkach macierzystych zarodników, roślin kwiatowych (pyłku) i paprotników. Typ ten nazywamy **dzieleniem redukcyjnem**. Już w profazie odbywa się tu połączenie parami odcinków, powstających z rozdzielenia się siateczki chromatynowej. Potem następuje charakterystyczne dla tego typu ściąganie się massy jądra (synapsis). Następnie podwójne chromozomy (pętlice) wyplatają się ze zbitej massy w postaci dwóch delikatnych, podwójnych włókienek zwiniętych w kłębek. Dalej oba przylegające do siebie włókienka spajają się w jedno, aby następnie rozdzielić się powtórnie. Teraz całkowita nić podwójna dzieli się na odcinki, złożone każdy z podwójnego chromozomatu. Liczba tych odcinków jest dwa razy mniejsza niż zwykła liczba w komórkach wegetacyjnych danego gatunku, która jest stałą dla gatunku; tak np. u lilii (Lilium Martago), gdzie po raz pierwszy obserwował to zjawisko Guignard, wszystkie komórki wegetacyjne tworzą po 24 pętlic; przy powstawaniu zaś ziarenek pyłkowych liczba ich zostaje zredukowana do 12.

Teraz chromozomy stają się krótsze i grubsze oraz układają się u ścianek jądra, tworząc stan diakinezy. Jednocześnie włókienka cynoplazmy zaczynają układać się wzdłuż powierzchni jądra i niebawem powstaje z nich zawiązek wrzeciona, pierwotnie wielobiegunowego, przy jednoczesnem znikaniu granicy jądra i protoplazmy. Następnie zewnętrzne końce włókien wrzecionowych zbierają się w dwa przeciwległe bieguny i zaczyna

się odciąganie od siebie leżących dotąd łącznie chromozomatów bez ich podziału. W taki sposób jądra pochodne zawie-



Rys. 75. Dzielenie się redukcyjne komórki macierzystej pyłku lilii. 1 — jądro w spoczynku; 2 — oddzielanie się chromozomatów siateczki; 3 — synapsis; 4 — podwójne włókno w kłębku; 5—oba włókna zlały się w jedno; 6 — powtórne rozdzielenie się włókna; 7 — włókna podwójne podzielone na pętlice; 8 — diakinese; 9 — wrzeciono wielobiegunowe; 10 — wrzeciono dwubiegunowe—faza gwiazdy; 11 — oddalanie się rozszczepionych segmentów bez oddzielenia połówek; 12—formowanie się jąder pochodnych. (Według Strasburgera; pow. 800)

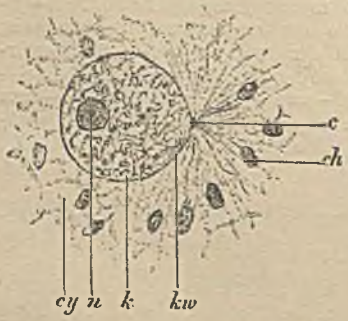
rają tylko połowiczną ilość chromozomatów. Podczas ich odciągania ku biegunom daje się dostrzedz podłużne rozszczepienie pętlic, lecz powstające połówki nie oddzielają się od siebie i przechodzą razem do jąder pochodnych. Dalsze fazy nie różnią się niczem od poprzednio opisanych.

Jakie znaczenie mają zjawiska kariokinetyczne, o tem nie możemy nic powiedzieć, nawet domyślnego, wobec zupełnej nieznajomości związku między budową jądra a życiem komórki. Wypowiedziane

było przypuszczenie, wiążące się z poglądami Nägeli'ego rozwiniętemi przez Weissmanna, a przypuszczającemi, że każda właściwość organizmu reprezentowana jest w subtelnej budowie plazmy („idyoplazmy" Nägeli'ego). Kariokineza według wymienionych przypuszczeń miałaby służyć ku temu, by jak najrównomierniej rozdzielić idyoplazmę między jądrami potomnych komórek, a przez to przekazać komórkom pochodnym wszystkie własności komórki macierzystej.

Pogląd ten jednak ma cechy tak surowo antropomorficzne, że trudno na niego przystać. Gdyby ktoś nieznający sztuki pisania, ani drukowania, ani przeznaczenia druków widział, jak zecerzy zbierają po jednej literce z rozmaitych przedziałek kaszty, a po odbiciu formy rozkładają znowu literki do poszczególnych skrzynek kaszty, mogłoby mu nasunąć się przypuszczenie, że czynią to w celu równomierniejszego rozkładu liter w przedziałkach. Nasza wiedza dzisiejsza w stosunku do kariokinezy nie wykracza po za poziom wiadomości owego przypuszczalnego obserwatora w stosunku do sztuki wypowiadania myśli za pomocą znaków piśmiennych. Wytłumaczenia kariokinezy szukać należy nie w tem, co po niej następuje, lecz w roli przyczynowej samych zjawisk jako momentu podziału.

5. U roślin plechowych daje się dostrzedz przy podziale jądra zjawisko stale towarzyszące podziałowi wszystkich komórek u zwierząt. W komórkach tych roślin przy jądrze znajduje się zwykle niewielkie ciałko, które nazywamy **centrozomatem**, składa się ono z chromatynowego ziarenka, dokoła którego przed rozpoczęciem podziału skupia się pewna ilość cynoplazmy, tworząc centrosferę. Zanim rozpoczną się zjawiska podziału w jądrze samem, centrosfera dzieli się na dwie, które przesuwają się ku przeciwnym biegunom jądra. Dokoła każdej z nich skupia się cynoplazma w postaci promieni, rozchodzących się od centrosfer. Następnie obie centrosfery pochodne

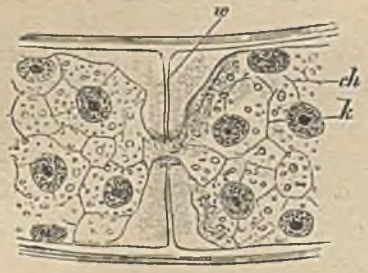


Rys. 76. Jądro komórki wodorostu morskiego Fucus serratus (*k*) ze stale towarzyszącym mu centrozomatem (*c*); *kw*—otoczka jądra; *cy*—protoplazma komórki, *n*—jąderko; *ch*—chromatofory. (Pow. 1000. Według Strasburgera).

oddalają się od siebie, a włókna otaczające je tworzą teraz wrzeciono, które przesuwa połówki rozszczepionych już ku temu czasowi pętlic.

6. Niekiedy daje się widzieć także dzielenie się jądra bez zjawisk kariokinetycznych, typ ten nazywamy dzieleniem się bezpośrednim albo **fragmentacyą.** Odbywa się ono tak, jak to już opisane było u ameby (rozdział II, § 3): jądro wydłuża się z początku, przybierając postać elipsoidu, następnie przewęża się (postać biszkoptowa) i obie połówki oddzielają się od siebie, tworząc dwa nowe jądra. Jednocześnie przewęża się cała masa protoplazmy i powstaje przegródka na rozdzielonej powierzchni. Niekiedy znowu przegródka tworzy się stopniowo wrzynając się i jakby przecinając masy protoplazmatyczne.

Taki sam jest przebieg dzielenia się komórek wielojądrowych: przegródka wrzyna się tu w postaci wyrostka sierpowatego, przecinając stopniowo masę plazmatyczną (rys. 77); dzielenie się komórek nie jest tu poprzedzone zjawiskami w jądrach, które przeciwnie mnożą się niezależnie od podziału komórki. Można zjawisko to obserwować na bardzo rozpowszechnionym u nas wodoroście rozgałęzionym Cladophora, którego walcowate komórki zawierają liczne jądra, ujawniające się dopiero przy zabarwieniu. Dzielenie się tych jąder odbywa się według typu zbliżonego do kariokinezy.



Rys. 77. Cladophora fracta. Podział komórki: *w* — przegródka przecinająca plazmę; *k* — jądra; *ch* — chromatofory. (Według Strasburgera, pow. 600).

Wogóle u roślin plechowych, zarówno jednojądrowych jak i wielojądrowych, przegródki w dzielących się komórkach nie powstają w tafelce komórkowej, lecz wrastają od ścianek według tylko co opisanego typu.

7. Odrębny sposób dzielenia się komórek przedstawia **pączkowanie.** Polega ono na tem, że komórka nie dzieli się na dwie równe części, lecz nowa wyrasta z boku komórki macierzystej w postaci maleńkiego pączka, który następnie do-

sięga wielkości komórki macierzystej. Typ ten możemy obserwować u grzybków drożdżowych. Komórka wegetacyjna ma tu wygląd elipsoidalny; ku czasowi dzielenia się powstaje na niej wyrostek (rys. 78), jądro przesuwa się ku zwężonej szyjce, łączącej wyrostek ten z komórką macierzystą i dzieli się na dwa, z których jedno przechodzi do pączka, drugie zaś wraca do środka komórki macierzystej. Pączek odcina się przegródką od komórki macierzystej i dosięga następnie jej wielkości.

Rys. 78. Pączkowanie u komórki drożdżowej: *A*, *B*, *C* — następujące po sobie fazy; *D* — powstawanie zarodników przez dzielenie się zawartości komórki. (Według Guilliermonda; pow. 1125).

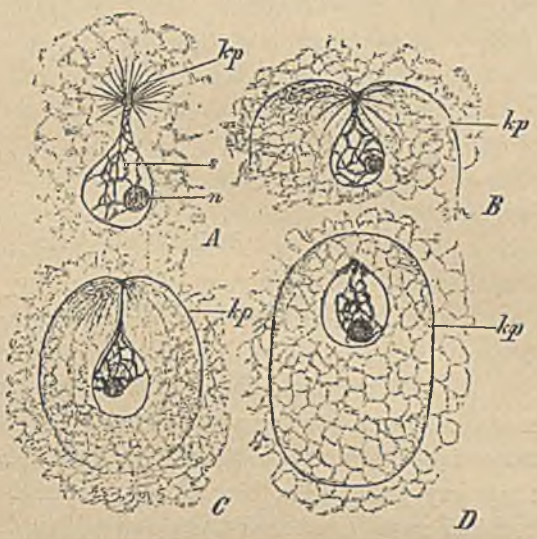
Wskutek takiego podziału powstają łańcuszki komórek, spojone z sobą. W taki sam sposób powstają zarodniki u grzybów zwanych podstawczakowemi (Basidiomycetes).

8. Inny jeszcze typ powstawania komórek znany jest pod nazwą **swobodnego tworzenia** się komórek. Charakteryzuje go ta okoliczność, że w danej komórce wytwarza się pierwotnie znaczna ilość jąder przez dzielenie się jednego; przyczem protoplazma zostaje przez pewien czas niepodzielną. Dopiero po utworzeniu odpowiedniej ilości jąder cała masa protoplazmy rozdziela się odrazu na tyleż komórek, które odgraniczają się przegródkami. Takie zjawisko daje się dostrzegać w woreczkach zarodkowych roślin kwiatowych (ob. niżej rozdział o rozmnażaniu) przy tworzeniu się białka.

W innych wypadkach po utworzeniu odpowiedniej ilości jąder protoplazma komórki macierzystej skupia się dokoła nich, tworząc komórki, które otaczają się błonami, przyczem część protoplazmy zostaje u ścianek pierwotnej komórki (rys. 79). Zjawisko takie daje się obserwować przy powstaniu zarodników grzybów workowych (Ascomycetes). Jest to swobodne tworzenie się komórek w znaczeniu ścisłem. Godnem uwagi jest zachowanie się cynoplazmy komórki przy tem zjawisku: zbiera się ona u jednego z biegunów jądra w postaci włókienek promienistych, które następnie rozszerzając się odgraniczają część

protoplazmy komórki macierzystej i w ten sposób wytwarzają komórkę pochodną. Skoro tylko nastąpiło zupełne odgranicze-

Rys. 79. Swobodne tworzenie się komórek w woreczku grzyba prowadzące do wytworzenia ośmiu zarodników.



Rys. 80. Następujące po sobie fazy odgraniczenia zarodnika w woreczku grzyba Erysiphe communis; *kp* — cynoplazma skupiająca się u wydłużonego końca jądra w *A*, a stopniowo odgraniczająca zarodnik; *n* — jęderko; *s* — chromatyna. (Według Harpera, pow. 1500).

nie masy protoplazmy komórki pochodnej, zrywa się łączność między włókienkami temi a jądrem (rys. 80).

ROZDZIAŁ VII.

Spojenia komórek. Tkanki.

1. Po rozdzieleniu się ciał protoplazmatycznych, komórki mogą zostawać z sobą w mniej lub więcej ścisłym związku, albo też związek ten zrywa się natychmiast. Będzie to zależało od tego, czy przegródka błonnikowa, oddzielająca nowoutworzone komórki zostaje nienaruszoną i wspólną dla obu, czyli też rozdziela się na dwa plasterki, z których każdy staje się wyłączną własnością jednej z komórek. Dzieje się to, jak wiemy już, przez rozpuszczenie cienkiego plasterka środkowego wspólnej błony (ob. str. 63). Powstają w ten sposób organizmy jednokomórkowe. Za przykład ich służyć mogą okrzemki, pierwotek, desmidie i inne znane nam wodorosty jednokomórkowe.

Rys. 81. Kolonia okrzemek wstążkowa (Diatoma vulgaris). Zacieniowane części są ciałami barwnikowemi; w środku każdej komórki znajduje się jądro otoczone protoplazmą bezbarwną.

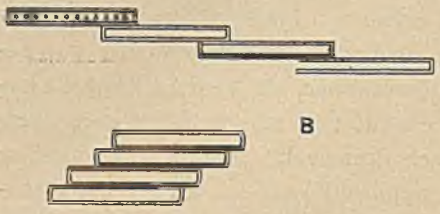
Zdarza się wszakże niekiedy, że substancya śluzowa, powstająca z plasterka środkowego błony, nie rozpływa się natychmiast, lecz utrzymuje komórki w związku przez czas dłuższy; komórki dzieląc się wielokrotnie, zostają w ciągłym związku z sobą, tworząc jakby wstążkę, co również często obserwować można u okrzemek (rys. 81). Niekiedy związek ten pozostaje przez całe życie komórek, w innych wypadkach trwa tylko czasowo: po upływie pewnego czasu śluz może się rozpłynąć i komórki oddzielają się od siebie zupełnie lub częściowo.

Nawet wówczas, gdy związek utrzymuje się stale, nie jest on organiczny, lecz raczej mechaniczny i w pewnych chwilach bądź pojedyńcze komórki, bądź całe gromady mogą się oddzielić, nie zakłucając w niczem czynności życiowych całości. Takie organizmy wogóle nazywamy jednokomórkowemi w szerokiem znaczeniu, w przeciwności do jednokomórkowych w ścisłem znaczeniu, t. j. takich, które całe życie pędzą w postaci rozdzielnych komórek. Jakkolwiek bowiem składają się one z licznych komórek, każda z nich jednak może pędzić życie niezależne od innych, a wszystkie są do siebie podobne. Połączenie w jedno ciało jest cechą zewnętrzną i niejako przypadkową: nie ma tu ani fizyologicznego ani morfologicznego zróżniczkowania. Każda komórka może dzielić się, wytwarzając do siebie podobne i każda wystarcza sobie samej we wszystkich funkcyach życiowych. Za przykład tu mogą służyć rozmaite nici komórkowe wodorostów, jak Zygnemaceae (skrzętnica i t. p.). Przeciwnie, połączenia luźne, które mogą w każdej chwili być zerwane, nazywamy **koloniami komórek,** oznaczając przez to najmniej ścisły sposób zjednoczenia ich w całość.

Wśród okrzemek spotykamy takie kolonie, które przedstawiają niejako najniższy stopień połączenia z sobą komórek. Wystawmy sobie (jak to ma miejsce w rzeczywistości), że w wyżej wspomnianej kolonii wstążkowej śluz, powstający z przemiany środkowego plasterka błony, zbiega się w jednę kroplę na rożku komórek i utrzymuje je w ten sposób połączonemi—otrzymamy tak zw. kolonie zygzakowate, które często obserwować możemy u tegoż gatunku okrzemek (Diatoma vulgare) i u innych (ob. rys. 24, A, B, str. 32).

Niekiedy ten związek przedstawia pewien rodzaj równowagi ruchomej: gatunek okrzemek, zwany Bacillaria paradoxa, niezbyt rzadki u nas, spotyka się zwykle w postaci kolonii, której pojedyńcze komórki ślizgają się po sobie, to wyciągając się w długi szereg, to zbierając się w tabliczkę, aby znów rozciągnąć się w odwrotnym porządku, t. j. jeśli przedtem przesuwanie zaczynało się od górnej komórki, teraz ruch zaczyna dolna, ale zawsze posuwając się w tym samym kierunku i w ten sposób cała kolonia przesuwa się naprzód (rys. 82).

2. Dalszym stopniem, przedstawiającym ściślejszy związek niż u kolonii, spotykamy u **rodzin komórkowych.** Nazywamy tak spojenia, nie przekraczające pewnej ilości komórek, pochodzących przytem od jednej komórki macierzystej. Kolonie takie najczęściej miewają kształt zewnętrzny określony. Osobniki takiej familii, zwykle w liczbie 4, 8, 16, 32, 64, 128, spojone są śluzem lub też otoczone wspólną błoną — rozciągniętą i napęczniałą błoną pierwotnej komórki macierzystej. Do takich należą np. wodorosty mikroskopowe z rodzaju Gleocapsa (oponka — rys. 83), okrywające często wilgotne kamienie i mchy. I tu wszakże pojedyńcze komórki, pomimo ściślejszego związku, zachowują pewną samodzielność. Przekonać o tem może sposób powstawania podobnych rodzin przez spojenie się początkowo rozdzielonych komórek.

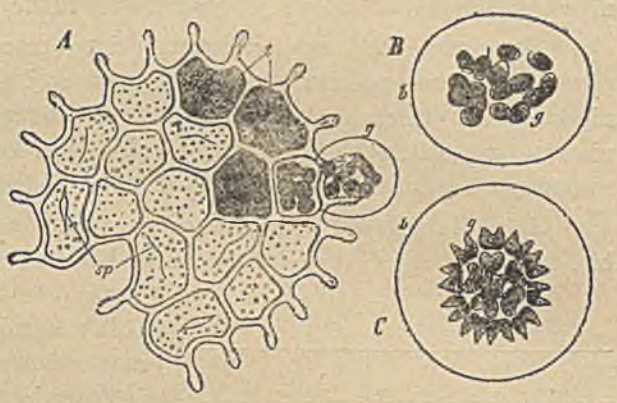


Rys. 82. Kolonia o spójni ruchomej (Bacillaria paradoxa).

Rys. 83. Gleocapsa—rodzina komórek, otoczona wspólną błoną (pow. 500).

Istotnie, sposób dotąd opisany tworzenia się gromad komórkowych przez niezupełne podziały jednej komórki macierzystej nie jest jedynym możliwym. Niekiedy daje się widzieć sprawa odwrotna: spojenie się dotąd odosobnionych komórek w jedno ciało. Za przykład posłużyć mogą wodorosty z rodzaju Pediastrum (gwiazdnica), często spotykające się w jeziorach i stawach naszych. Jest to utwór mikroskopowy, mający kształt płaskiej gwiazdy (rys. 84), utworzonej z 16, 32, 64 lub więcej komórek, leżących w jednej płaszczyznie. Komórki brzeżne różnią się kształtem od środkowych; po za tem jednak wszystkie są fizyologicznie jednoznaczące, t. j. w jednakowym stopniu uzdolnione do wykonywania wszelkich czynności życiowych. Każda z tych komórek może także wytworzyć nową kolonię zupełnie podobną do macierzystej. Odbywa się to w sposób następujący. Zawartość każdej lub niektórych komórek (t. j. protoplazma po uprzedniem rozdzieleniu

się jąder) dzieli się na określoną ilość (w danym wypadku 16) części, które zaokrąglają się, wypuszczają po dwie rzęsy i wypływają przez pękającą błonę komórkową razem z otaczającą je kroplą śluzu, w której odbywają energiczne ruchy (rys. 84 *B*). Po upływie pewnego czasu ruchy te ustają, pływki skupiają się w tabliczkę, tracą rzęsy, wydzielają błony i w krótkim czasie przybierają kształty, odpowiadające komórkom kolonii macierzystej, poczem otaczający je śluz rozpływa się, a młodziutka kolonia rychło wyrasta do wielkości kolonii macierzystej. W tym wypadku więc całość powstaje nie przez niezupełne rozdzielenie się komórek, lecz wskutek ich spojenia się następczego.



Rys. 84. Pediastrum granulatum; powstawanie nowej kolonii z jednej komórki starej. Pow. 400. (Według A. Brauna).

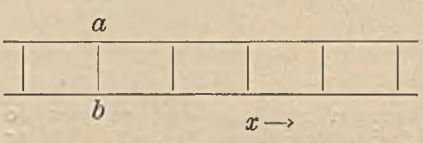
Ten sam typ odnajdujemy u innych wodorostów o charakterze kolonialnym. U Eudorina (rys. 32, str. 40) pojedyńcza komórka kolonii dzieli się na pewną ilość mniejszych, pozostających wewnątrz błony komórki macierzystej i tu łączących się pierwotnie w blaszkę, a następnie wychodzących nazewnątrz. Mamy więc tu dalszy krok ku uzależnieniu komórek od siebie.

3. Jeśli komórki, powstające wskutek dzielenia się jednej, nie tylko zachowują związek, lecz tworzą gromadę rosnącą jako jedna całość, t. j. tak, że wzrost i kształty poszczególnych komórek stosują się do kształtu całości, to takie spojenie komórek nazywamy **tkanką**. Różnice kształtu komórek związane są zwykle z ich rolą fizyologiczną, do której kształt ów jest przystosowany. Możemy więc określić tkankę jako gromadę komórek, mających wspólne pochodzenie a zróżniczkowanych pod względem morfologicz-

nym i fizyologicznym. Każda tkanka ma, jeśli nie jedyną to jakąś przeważną funkcyę (czynność) w życiu całego organizmu roślinnego i budowa jej jest do tej funkcyi zastosowana.

Niezależnie od tego, czy komórki tworzące jakąś całość powstającą przez podział komórki macierzystej, wykazują zróżniczkowanie właściwe tkance (jak u roślin naczyniowych), czy nie (jak u plechowych), kształt tej całości zależny jest od kierunku płaszczyzn następujących po sobie podziałów komórek.

Jeśli płaszczyzna podziału zostaje stale równoległą do siebie, to wytwarza się pojedyńczy szereg komórek—nić komórkowa (rys. 85). Ponieważ każda z komórek powstałych przez dzielenie dorasta do wielkości komórki macierzystej, zanim nastąpi nowy podział, więc wzrost komórek będzie odbywał się w kierunku prostopadłym do płaszczyzny podziału. Będzie to zarazem kierunek, w którym wydłuża się nić.



Rys. 85. Nić komórkowa: *ab* — kierunek płaszczyzny podziału; *x*—kierunek wzrostu.

Jeśli płaszczyzna podziału zmienia swój kierunek po każdem rozdzieleniu się komórek, ale tak, iż zostaje stale prostopadłą do pewnej płaszczyzny idealnej (np. płaszczyzny papieru), to powstaje gromada komórek płaska jednowarstwowa, leżąca w owej płaszczyznie (papieru). Za przykład służyć mogą niektóre wodorosty o płaskich plechach, przypominających kształtem opisaną wyżej kolonię Pediastrum (np. Coleochaete i t. p.), liście wielu mchów utworzone z jednej warstwy komórek i t. p.

Jeśli wreszcie dzielenie się ma miejsce tak, że płaszczyzny następujących po sobie podziałów leżą we wszystkich trzech kierunkach przestrzeni, powstaje ciało komórkowe.

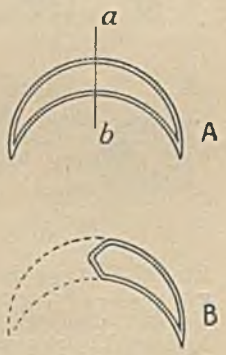
Łatwo dostrzedz, że we wszystkich wypadkach kształt całości zależny jest od dwóch czynników:

1) Od kierunku płaszczyzny podziału komórek;
2) Od wzrostu utworzonych przez podział komórek.

Rozważmy kolejno rolę obu czynników.

4. Wzrost komórek pochodnych zostaje w pewnej zależności od położenia płaszczyzny podziału w komórce macierzystej. Możemy mianowicie rozróżnić dwa wypadki:

1) Płaszczyzna podziału jest jedną z płaszczyzn symetryi komórki, t. j. dzieli ją na dwie części, mające się do siebie tak, jak przedmiot i jego odbicie w zwierciedle. W takim wypadku, każda z utworzonych przez podział półkomórek dorabia brakującą część według zasad symetryi. To znaczy, że gdybyśmy wzięli taką półkomórkę i przyłożyli ją do zwierciadła płaszczyzną dzielenia, to obraz w zwierciedle dałby nam dokładne wyobrażenie o mającej się wytworzyć przez wzrost półkomórce. Taki stosunek między podziałem a następującym po nim wzrostem daje się widzieć u wodorostów mikroskopowych jednokomórkowych w ścisłem znaczeniu, naprzykład u okrzemek, desmidii i t. p. Załączony rysunek (86) przedstawia jednę z desmidii: Closterium przed podziałem (*A*) i po nim (*B*); *a b* jest płaszczyzną podziału, która rozcina komórkę na dwie symetryczne części; każda połówka odtwarza w następstwie drogą wzrostu brakującą część. Innemi słowy siły, pod których wpływem odbywa się wzrost, działają w ten sposób, że do każdego istniejącego w rozdzielonej komórce punktu materyalnego, dotwarza się drugi, symetryczny względem płaszczyzny podziału.



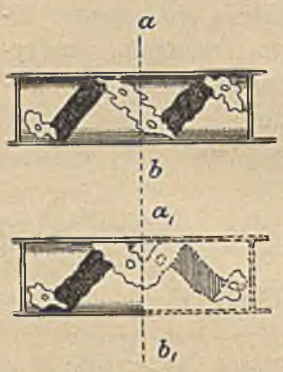
Rys 86. Dzielenie się Closterium: *A*—przed podziałem, *a b*—płaszczyzna podziału, *B*—lewa połówka po podziale; kropkami oznaczona jest część, która ma być uzupełniona przez wzrost. (Powiększone ok. 500).

Prawidło to daje się obserwować i w koloniach komórek, czy to tworzących nici (jak u desmidii lub okrzemek), czyli też połączonych w płaszczyzny lub ciała. Tak u wodorostu Tetraspora, składającego się z okrągłych komórek, zanurzonych w masie galaretowatej — komórki po rozdzieleniu się mają postać półkuli i ćwierćkuli (gdy dwa dzielenia następują szybko po sobie w kierunkach prostopadłych). Drogą wzrostu zaś przybierają ponownie postać kulistą. Skoro jednak przechodzimy do ściślejszego połączenia komórek, który

nazwaliśmy tkanką, spotykamy się z innemi prawami, regulującemi stosunek płaszczyzny podziału do wzrostu następczego.

Ukształtowanie pojedyńczych komórek jest tu już podporządkowane zasadzie ogólnej, przewodniczącej wzrostowi i kształtom całości. W zależności więc od coraz ściślejszego podporządkowania części całości spotykamy coraz większe zboczenia od zasady symetrycznego podziału i dorastania.

Najmniej odstępują od zasady symetryi nici komórkowe nierozgałęzione, jakie spotykamy u wielu wodorostów jednokomórkowych w szerokiem znaczeniu. Zboczenie tu ma miejsce o tyle tylko, o ile poszczególne części komórki odstępują od budowy symetrycznej. U Spirogyra (skrętnicy) bardzo rozpowszechnionego w wodach naszych, wodorostu należącego do typu nici komórkowych, wstążka chlorofilowa ma postać śruby o mniej lub więcej luźnych skrętach. Komórka przeto nie ma wcale płaszczyzny symetryi względem tej wstążki, t. j. nie możemy w żaden sposób rozdzielić jej na dwie symetryczne połówki. Daje się też widzieć tu, że chociaż co do kształtu ogólnego komórki podczas dzielenia zachowują się zgodnie z wygłoszonym wyżej prawidłem, jednak wstążka zieleni wyrasta dalej w kierunku śrubowym zupełnie niezależnie od zasad symetryi. Objaśnia to rys. 87, gdzie u góry mamy nierozdzieloną komórkę; ab jest płaszczyzną podziału, będącą zarazem płaszczyzną symetryi dla wszystkich części komórki prócz wstążki. U dołu przedstawiona kropkami połówka pokazuje, jakby powinna dokształcić się ta wstążka, gdyby ściśle do niej stosowała się zasada symetryi. W rzeczywistości zaś wyrasta ona tak, że całość odtwarza zupełnie komórkę A.

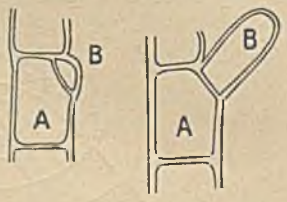


Rys. 87. Skrętnica Spirogyra: ab — płaszczyzna dzielenia, która dzieli wszystkie części komórki, prócz wstążki zieleni, na dwie części symetryczne. U B wykazane jest jakby się powinna zachować wstążka ta gdyby ulegała zasadom symetryi.

Rozważany przed chwilą typ stanowi niejako przejście do

typu, według którego powstają plechy rozgałęzione wielu wodorostów. Mamy tu do czynienia z drugim wypadkiem:

2) Płaszczyzna podziału nie jest płaszczyzną symetryi komórki i dzieli ją zwykle na dwie nierówne części. Wzrost powstającego w ten sposób mniejszego odcinka odbywa się zwykle w kierunku prostopadłym do płaszczyzny podziału. Wskutek tego odcinek ten wydłuża się w gałązkę (rys. 88).



Rys 88. Tworzenie się rozgałęzień w plechach wodorostów.

Większy z odcinków w tym wypadku nie rośnie już wcale. Pokrewne z tym typem zjawisko poznaliśmy jako pączkowanie u drożdżaków (R. VI, § 7).

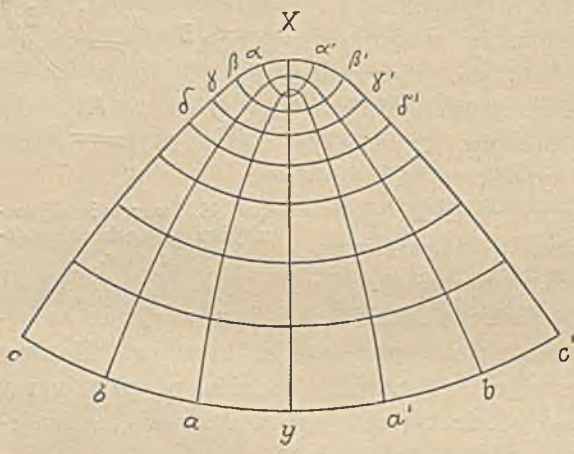
W innych wypadkach niesymetryczność płaszczyzny podziału powoduje inne następstwa, o których wypadnie nam mówić za chwilę (§ 6). We wszystkich atoli wypadkach skutkiem jej jest odmienne zachowanie się obu powstających przez podział komórek. Możemy więc uważać przesunięcie płaszczyzny podziału od płaszczyzny symetryi za znamię zróżniczkowania części zbiorowiska komórkowego.

5. Co do **kierunku następujących po sobie podziałów**, to już Hoffmeister wytknął był zasadę prostopadłości przegródek jako kierowniczą. Łatwo dostrzedz, że u wielu wodorostów jednokomórkowych o kształcie komórki kulistym następujące po sobie podziały odbywają się w kierunkach prostopadłych ku sobie (tak np. w wymienionej wyżej Tetraspora (§ 4) i u wielu innych; podobnież dzieje się w komórkach macierzystych pyłku u roślin kwiatowych. Lecz w połączeniach komórek stosunki stają się bardziej skomplikowane. Nie brakło też zarzutów przeciwko zasadzie Hoffmeistera.

W nowszych czasach atoli Kny nie tylko potwierdził tę zasadę, ale i wykrył przyczynę jej fizyczną, a dzięki temu wykazał, że pozorne wyjątki są tylko potwierdzeniem prawidła. Wykazuje on mianowicie, że kierunek podziału jest prostopadły do kierunku największego napięcia. W ten sposób w niciach np. największe napięcie ma miejsce w kierunku długości nici i następujące po sobie podziały leżą w płaszczyznach rów-

noległych [1]). Poddając bulwę kartofli sztucznemu rozciąganiu, Kny zdołał zmienić w niej kierunek płaszczyzn podziału komórek.

Jeśli zastosujemy tę zasadę do skupień komórkowych, to otrzymamy teoretyczną konstrukcyę, której bardzo blizko odpowiada rzeczywistość. Jeśli mianowicie wyrysujemy szereg elips i hyperbol o wspólnych dla obu ogniskach [2]) (rys. 90), to, jak dowodzi się w geometryi analitycznej, odcinki linii tych w punktach przecięcia będą miały kierunek prostopadły do siebie. Jeśli więc dzielenie się komórek w ciałach roślinnych odpowiada zasadzie prostopadłości kierunków przegródek po sobie



Rys. 90. Elipsy i hyperbole mające wspólne ognisko. Pierwsze tworzą perikliny, drugie antikliny.

---

[1]) Zjawisko to łatwo wytłumaczymy, jeśli przypomnimy układ micel w błonach komórek walcowatych (ob. str. 67). Ponieważ najdłuższa oś micel odpowiada tu kierunkowi długości nici (rys. 89), najkrótsza zaś leży w kierunku stycznej do poprzecznego przecięcia walca (rys. 43), więc spójność, czyli przyciąganie wzajemne micel (zależne od odległości ośrodków ich mas) jest najsłabsze w kierunku długości nici i komórki najwięcej się w tym kierunku wyciągają; przeciwnie najsilniejsza spójność micel odpowiada kierunkowi prostopadłemu do średnicy: wskutek tego średnica komórki nie zmienia się przy wzroście.

Rys. 89. Położenie micel w błonie.

[2]) Elipsę łatwo nakreślić wtykając dwie szpilki, do których przymocowana jest nić o stałej długości. Jeśli nić naciągniemy końcem ołówka i będziemy nim prowadzić dokoła szpilek, wykreśli on elipsę. Punkta, w których mieszczą się szpilki, są jej ogniskami. Biorąc kolejno nici dłuższe lub krótsze od pierwotnej, a nie zmienia-

następujących, to całokształt powstających w ten sposób warstw komórek powinienby przedstawiać systemat ścianek, z których jedne zarysowują elipsy jednoogniskowe, drugie współogniskowe z niemi hyperbole. Jakoż rzut oka na przecięcie podłużne rosnących części roślin (końca łodygi lub korzenia) wykazuje bardzo blizkie podobieństwo do przedstawionego na rys. 90 narysu geometrycznego. Łatwo się o tem przekonać, porównywając go (omijając część a, a, a zwaną czepcem i mającą odmienne pochodzenie) z rys. 91 oraz 33, z których pierwszy przedstawia przecięcie podłużne końca korzenia, drugi—takież przecięcie końca łodygi. Ponieważ organa te rosną szybko na długość, wskutek więc częstych podziałów prostopadłych do tego kierunku i niejednostajnego wyrastania komórek zarysy hyperbol są połamane; w kierunku grubości (poprzecznym) wzrost jest jednostajniejszy i odcinki elips zachowują swój kształt bardzo wyraźnie.

Linie, utworzone przez przegródki równoległe do powierzchni organu (elipsy), nazywamy periklinami; prostopadłe do nich (hyperbole)—antiklinami (rys. 91).

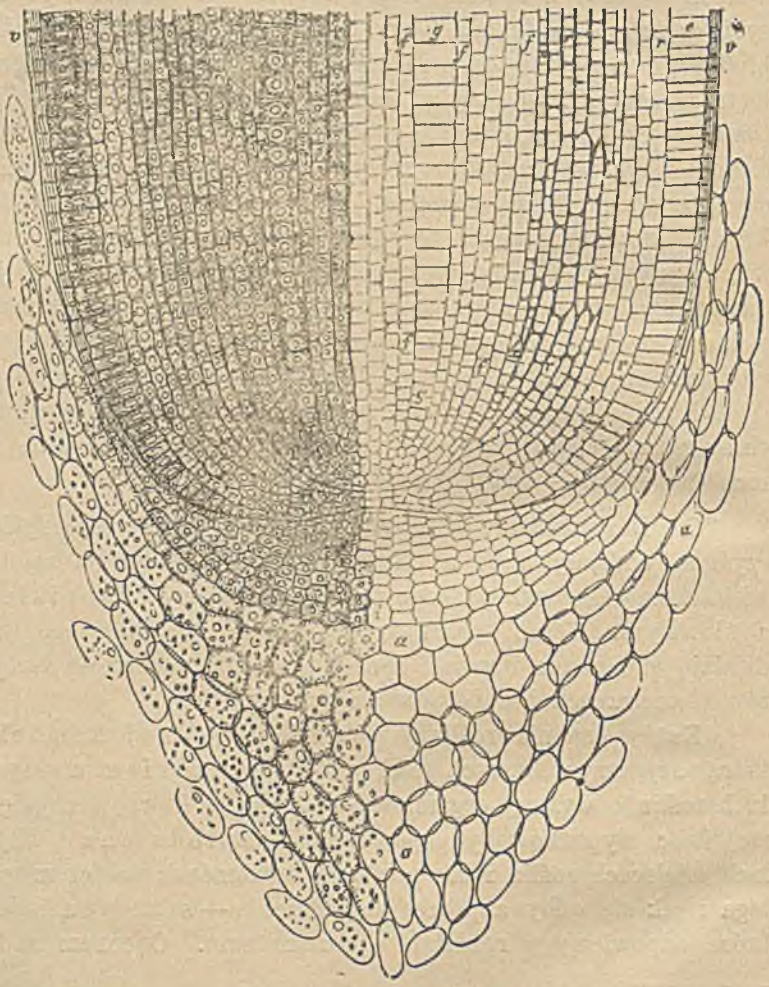
6. Rozważaliśmy w poprzednich paragrafach poszczególne czynniki, oddziaływające na kształt rosnącego wspólnie zbiorowiska komórek, stanowiącego to, co nazywamy osobnikiem roślinnym. Teraz sprobujmy zdać sobie sprawę z tego, jak działają one razem i w jaki sposób powodują rozmaitość kształtów zewnętrznych i budowę wewnętrzną roślin.

Każdy osobnik roślinny powstaje z jednej komórki, którą nazywamy u niższych plechowców zarodnikiem, u wszystkich roślin o wyższej organizacyi—jajem, a która w największej ilości wypadków bywa poprzednio zapłodniona. W jakich miejscach roślin i jak powstają te komórki; na czem polega i jak się odbywa proces zapłodnienia — są to pytania, na które odpowiemy w rozdziale o rozmnożeniu. Obecnem zada-

---

jąc położenia szpilek, wyrysujemy szereg elips jednoogniskowych. Hyperbola jest niejako odwrotnością elipsy: krzywą o ramionach oddalających się w nieskończoność; ma ona dwie gałęzie przebiegające dokoła dwóch ognisk i można również wyrysować (sposobem nieco bardziej skomplikowanym) szereg hyperbol o tej samej parze ognisk. Rysunek tu załączony przedstawia przecięcia systematu elips i hyperbol nakreślonych dokoła tych samych ognisk.

niem naszem będzie wykazać, w jaki sposób z takiej komórki powstają skomplikowane kształty wyższych roślin i zróżniczkowane tkanki wchodzące w ich skład.



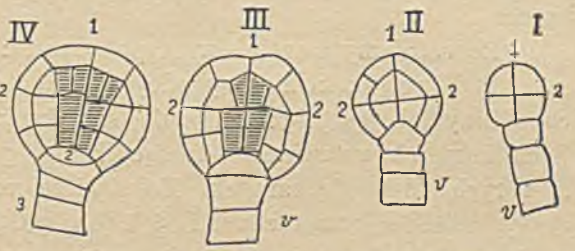
Rys. 91. Koniec z korzenia rosnącego dla pokazania linii periklinicznych i antiklinicznych (treść komórek opuszczona w lewej stronie rysunku). Według Sachs'a. Pow. ok. 350.

Jajo u roślin naczyniowych ulega następującym po sobie podziałom, których skutkiem jest wytworzenie zarodka. Po-

znaliśmy go już w nasieniu roślin kwiatowych (ob. R. I). Porządek tych podziałów jest stały i typowy dla pewnych gatunków i gromad.

Już Hanstein wykazał u roślin wyższych obecność trzech warstw zarodkowych (nazwanych tak przez analogię z podobnemi warstwami u zwierząt), wyróżniających się kierunkiem podziałów, a dlatego wpadających w oko, zwłaszcza przy badaniu zarodka. W nowszych czasach Van Tieghem stwierdził powszechność tego typu dla roślin wyższych.

Jajo dzieli się najpierw przegródką podłużną (1, na rysunku 92, I) (w stosunku do utrzymującej go nóżki *v*) na dwie komórki; następnie każda z nich dzieli się jeszcze na dwie przegródkami poprzecznemi (2), i jeszcze raz podłużnemi, leżącemi w płaszczyznie rysunku. Teraz każda z powstałych w ten sposób ośmiu komórek dzieli się na dwie przegródką równoległą do powierzchni (II). Powstaje w ten sposób ośm komórek środkowych i ośm brzeżnych. Komórki brzeżne dzielą się dalej już tylko przegródkami prostopadłemi do powierzchni. Wytwarza się z nich następnie warstwa komórek osłaniająca roślinę zewnętrznie czyli naskórek. Warstwę tę nazwał Hanstein dermatogen (t. j. rodzącą skórę).



Rys. 92. Rozwój zarodka u rośliny dwuliścieniowej (tasznik — Capsella bursa pastoris). (Według Hansteina).

Komórki wewnętrzne dzielą się teraz przegródkami podłużnemi, a powstające w ten sposób komórki zewnętrzne i wewnętrzne dają początek dwóm nowym warstwom. Komórki leżące między dermatogenem a wewnętrznemi dzielą się w następstwie w rozmaitych kierunkach. Warstwa ta, druga, nazywa się periblema i powstaje z niej tkanka zasadnicza, którą bliżej poznamy w następującym rozdziale. Komórki wewnętrzne [1]) dzielą się tylko przegródkami poprzecznemi i po-

[1]) Na rysunku naszym komórki te są zacieniowane.

dłużnemi, tak, iż wytwarza się z nich gromadka komórek wydłużonych i ułożonych w równoległe słupki. Tworzą one trzecią warstwę zarodkową—plerom, a rozwijają się z niej wiązki naczyniowe, których bliższe opisanie należy również do następnych rozdziałów. Tak więc zawiązki każdej z głównych tkanek rośliny zostają wytknięte już przy pierwszych podziałach jaja.

7. Podobnie jak w pierwszych podziałkach jaja wytknięty zostaje materjał, z którego powstać mają tkanki rośliny, tak też zewnętrzne ukształtowanie rośliny wytknięte bywa przez kierunek i następstwo podziałów komórek umieszczonych na rosnących częściach, a więc przedewszystkiem na końcu łodygi i korzenia, także na końcach gałęzi bocznych. Niekiedy jednak wzrost wierzchołka bywa przerwany przez umieszczony na nim kwiatostan; wówczas wzrost rośliny odbywa się w innych punktach.

Rozróżniamy wogóle dwa typy wzrostu:

1) Wzrost końcowy odbywa się w ten sposób: na końcu rośliny lub jej gałęzi znajduje się tkanka, złożona z młodych komórek ustawicznie dzielących się, podobnych do tych, z których składa się zarodek. Komórki te mają pewne odrębne cechy, opisane już w rozdz. III, § 1 (ob. rys. 33 i 34 A), a utworzona z nich tkanka nazywa się merystemą czyli tkanką twórczą. Za przykład takiego wzrostu końcowego służyć może większość pędów (łodygi, gałązki) i korzenie roślin wyższych, u których tkanka twórcza mieści się tylko w niewielkim stożku wierzchołkowym; nieco niżej zaś powstające z komórek tkanki przybierają pewien określony kształt, a komórki ich dzielą się mniej energicznie lub nawet tracą zupełnie zdolność dzielenia się, t. j. przestają być jednostkami morfologicznemi, przyjmując natomiast określoną funkcję fizyologiczną: stają się organami. Powstają w ten sposób tkanki trwałe, które już mają pewne określone znaczenie fizyologiczne, t. j. służą czynnościom życiowym rośliny. W tym wypadku odcięcie wierzchołka wstrzymuje wzrost danej części; jednak rośliny mają sposób zapobiegania przerwaniu wzrostu wogóle, o czem będzie mowa niżej.

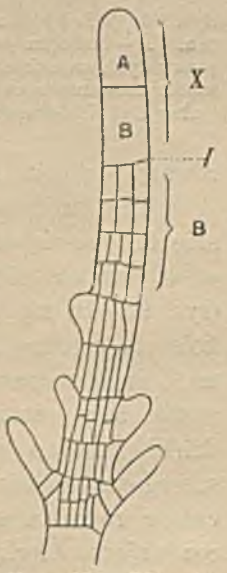
2) Drugim typem jest wzrost międzywstawny (intercalaris) czyli środkowy, polegający na tem, że tkanka

twórcza, t. j. komórki zdolne do dzielenia się, znajdują się w pewnej środkowej części rośliny, tak, że nowo powstające drogą dzielenia komórki są niejako wciskane między dawne. Rosną tak źdźbła traw, pędy kwiatowe, liście. Odcięcie końca nie wpływa tu na wstrzymanie wzrostu, gdyż nie odbywa się on u wierzchołka. W liściu tkanka twórcza znajduje się u nasady; w źdźbłach traw—w dolnej części każdego międzywęźla, gdzie ochrania ją pochwa liściowa; skoro zdejmiemy tę pochwę, roślina w tem miejscu przegina się, gdyż tkanka twórcza jest bardzo delikatna i nie może utrzymać ciężaru źdźbła. Wzrost na grubość łodyg, pni i korzeni odbywa się również w ten sposób, t. j. przy pomocy tkanki twórczej, leżącej w środku tych organów t. zw. miazgi.

Dla kształtów rośliny, które zależą przedewszystkiem od porządku i kierunku rozgałęzień, decydującym jest wzrost wierzchołkowy, u wierzchołka bowiem zakładają się zawiązki bocznych pędów i liści. Prawidłowość ich układu zależy od pewnego regularnego następstwa podziałów komórek, znajdujących się u wierzchołka.

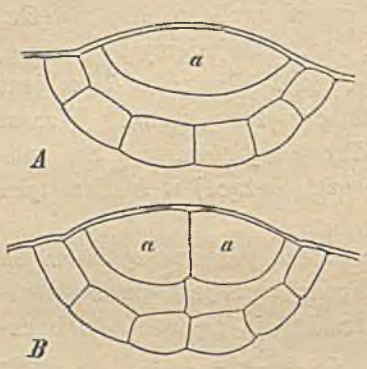
U roślin bezkwiatowych znajdujemy zwykle jednę komórkę, leżącą u szczytu rosnącej części, która ustawicznie oddziela od siebie odcinki w pewnym stałym porządku, a każdy z tych odcinków dzieli się dalej w sposób również prawidłowy. Taką komórkę nazywamy wierzchołkową. Od jej to kształtu i prawidła podziału zależy cały zewnętrzny kształt rośliny. Rozważmy tu parę przykładów.

U niektórych rozgałęzionych wodorostów spotykamy najprostszy typ: komórkę wierzchołkową walcowatą (rys. 93—X), która dzieli się przegródką poprzeczną (I) na dwie części; górna (*A*) zachowuje charakter komórki wierzchołkowej i szybko dorasta do pierwotnej wielkości, aby następnie znowu odciąć w dole podobny odcinek (*B*) i t. d. Dolna (*B'*) dzieli się jeszcze raz przegródką



Rys. 93. Chaetopteris plumosa. *X* — komórka wierzchołkowa *B*, *B'* — następująco po sobie odcinki.

poprzeczną, następnie zaś kilkakrotnie podłużnemi. Wreszcie komórki brzeżne zaczynają wytwarzać rozgałęzienia według opisanego już typu, jak to widzimy na załączonym rysunku. Wodorost morski Dictyota dichotoma, mający bardzo regularne widełkowate rozgałęzienia, wytwarza je w sposób następujący. Komórka wierzchołkowa ma tu postać soczewkowatą (rys. 94, *A*, *a*) i oddziela od siebie drugą w postaci soczewki wklęsłej, która następnie dzieli się przegródkami prostopadłemi, wytwarzając zwykłe komórki gałązki. Gdy ma nastąpić rozwidlenie, komórka wierzchołkowa dzieli się na dwie przegródką poprzeczną (*a*, *a*, na rys. *B*), z tych każda wytwarza jednę komórkę soczewkowatą, pełniącą funkcyę wierzchołkowej i jednę wklęsłą, dzielącą się poprzecznemi przegródkami. Mamy więc teraz dwa wierzchołki, z których każdy wytwarza gałązkę. Obie gałązki są równej wielkości i pochylone ku sobie pod pewnym kątem.

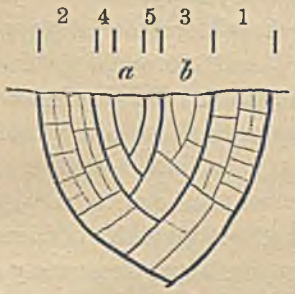


Rys. 94. Dictyota dichotoma. *A* — komórka wierzchołkowa w zwykłych warunkach; *B* — w chwili zapoczątkowania rozwidlenia. (Według De Wildemana; pow. 500).

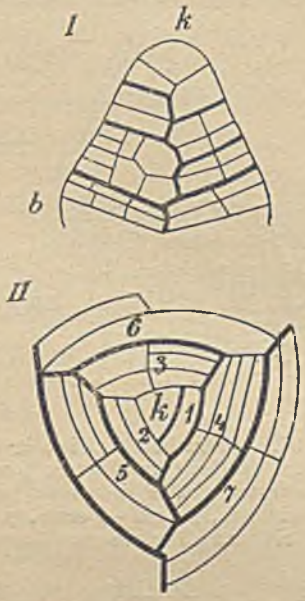
U wątrobowca Metzgeria furcata, którego plechy płaskie brudno-zielone, widełkowato rozrastające się łatwo znaleźć w wilgotnych miejscach wśród mchów, komórka wierzchołkowa (rys. 95—*a*) ma postać soczewkowato klinową i daje odcinki po kolei to z jednej, to z drugiej strony (1, 2, 3, 4, 5). Grubszemi liniami zaznaczone są przegródki, oddzielające odcinki pierwotne, 5-ty jest najmłodszym z nich, odcinek 4-ty—już się rozdzielił na dwa przegródką poprzeczną; w 2-im widzimy cały szereg przegródek poprzecznych i podłużnych. W taki sposób całość rozrasta się na płask. Gdy ma nastąpić widełkowate rozdwojenie plechy, jeden z odcinków wytwarza nową komórkę wierzchołkową (*b*), która daje odcinki w tym samym porządku, tak, że powstają dwa rosnące wierzchołki.

U paprotników komórka wierzchołkowa miewa kształt trójkąta kulistego i daje odcinki kolejno na trzy strony, jak to wi-

dzimy na przykładzie skrzypu polnego (Equisetum arvense), którego wierzchołek w przecięciu (I) i z góry (II) przedstawiony jest na rys. 96. Grubsze linie i tu oznaczają granice odcinków pierwotnych; wypukłe miejsca (*b*) stanowią zawiązki pędów bocznych. Prawidłowość układu promienistego tych pędów u skrzy-



Rys. 95. Metzgeria furcata: *a*—komórka wierzchołkowa; *b*—wycinająca się nowa komórka wierzchołkowa, mająca zapoczątkować rozgałęzienie. Grubemi liniami zaznaczone są granice pierwotnych odcinków, a liczby wykazują porządek ich następstwa. (Według Kny'ego, powiększenie 350).

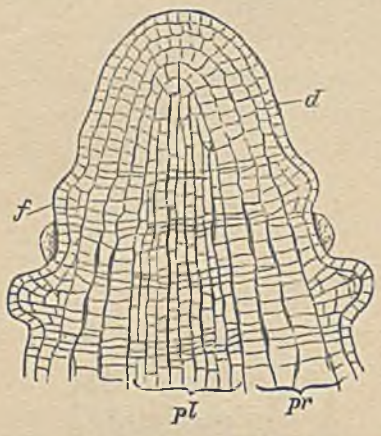


Rys. 96. Skrzyp polny (Equisetum arvense). Wierzchołek I—w przecięciu optycznem, II—z góry (schematycznie — według Cramera); *k*—komórka wierzchołkowa. Liczby oznaczają pojedyńcze odcinki, zaczynając od najmłodszego.

pów jest wynikiem owego prawidłowego następstwa po sobie odcinków komórki wierzchołkowej.

U roślin kwiatowych nie dostrzegamy nic, coby przypominało obecność pojedyńczej komórki wierzchołkowej; wszakże i tu istnieje pewna prawidłowość w następstwie po sobie przegródek, o czem świadczy prawidłowy układ liści i pędów bocznych. Niekiedy daje się tu widzieć gromadka komórek wspólnie kierujących całym wzrostem wierzchołka. Rys. 96 przedstawia wierzchołek pędu przęstki pospolitej (Hippuris vulgaris): nie znać tu, aby którakolwiek z komórek miała pełnić rolę przewodnią we wzroście i zaznaczać kierunek rozgałęzień porządkiem swoich odcinków. Wszakże u wierzchołka wewnętrznego

stożka tkanki oznaczonej literami *pl* widzimy parę komórek, które są widocznie jego protoplastami.



Rys. 97. Wierzchołek Hippuris vulgaris (według Strasburgera pow. 240 razy); wypukłości *f* stanowią zawiązki liści; *pl*, *pr* i *d* — plerom, periblema i dermatogen.

8. Jednym z najważniejszych objawów, który wyróżnia tkankę od luźnych spojeń komórek, jest, jak to już zaznaczyliśmy, zróżniczkowanie w niej komórek. W najprostszym już wypadku—u niektórych wodorostów złożonych z nici komórkowych, jeśli są przymocowane do przedmiotów podwodnych (kamyków, słupów i t. p.), widzimy zwykle, że najniższa komórka, stanowiąca nóżkę, ma kształt odmienny od innych, a przystosowany do swej czynności, u spodu mianowicie rozpłaszcza się, przylegając do pościeliska. Często bywa, że i najwyższa komórka nici wyróżnia się kształtem lub dodatkami, jak to widzimy np. w Oedogonium (rys. 98).

Rys. 98. Oedogonium. *a*—nóżka — dolna komórka nici; *x*—komórka szczytowa.

Dalszy stopień różniczkowania spotykamy w ciałach komórkowych. Tu najczęściej komórki zewnętrzne—korowe różnią się kształtem, a niekiedy i grubością błon od wewnętrznych (rdzeniowych). Dalej niż u roślin plechowych posunięte jest różniczkowanie u mchów. Tu spotykamy już różnicę kształtu poszczególnych komórek. Wyróżniamy więc komórki o mniej lub więcej jednakowych wymiarach (parenchyma czyli miąższ) od wydłużonych, włóknistych czyli prozenchymatycznych (ob. niżej rysunki), podział, który możemy uważać za najogólniejszy, dotyczący kształtów komórek połączonych w tkanki. Wreszcie u roślin naczyniowych znajdujemy wielką rozmaitość pierwiastków histologicznych, zależną od daleko posuniętego podziału pracy między

pojedyńczemi tkankami rośliny. Bliższe rozejrzenie się w tej rozmaitości stanowić będzie przedmiot najbliższych rozdziałów.

Nie zawsze ciało roślinne powstaje wskutek niezupełnego rozdzielenia się komórek. Widzieliśmy już, że rodziny komórek powstać mogą przez spojenie się z sobą początkowo rozdzielonych osobników; również utwory, kształtem zewnętrznym zupełnie przypominające tkanki, powstać mogą przez ścisłe spojenie się pierwiastków histologicznych początkowo niezależnych.

Jeśli będziemy badali pod mikroskopem cienki skrawek wzięty z ciała jakiegokolwiek grzyba, ujrzymy obraz przypominający ze wszechmiar typ tkanki, którą nazwaliśmy miąższem (parenchyma). Historya jej rozwoju uczy wszakże, że powstaje ona drogą zupełnie odmienną od zwyczajnych tkanek. Z zarodników grzybów rozwijają się początkowo długie nici, zwane strzępkami; są one jednokomórkowe, albo podzielone na pojedyńcze mniejsze komórki, rozgałęzione lub nie. Rozrastając się, strzępki oplatają się nawzajem, ścianki ich spajają się ściśle i powstaje jednolita masa utworzona z mniejszych i większych komórek, naśladująca do złudzenia tkankę. Utwory takie nazywamy niby-tkankami dla wyróżnienia od tkanek prawdziwych, powstających drogą dzielenia się jednej komórki.

Rys. 99. Nibytkanka grzyba (sporysza, Claviceps purpurea). Pow. 300.

Inny sposób zlewania się licznych komórek w jednę całość ku utworzeniu naczyń poznamy wśród roślin wyższych.

ROZDZIAŁ VIII.

Główne typy tkanek roślinnych.

1. Poznaliśmy już jeden z typów tkanek roślin wyższych, ten mianowicie, z którego powstają wszystkie inne — **tkankę twórczą** (meristema), odpowiadającą tkance zarodkowej zwierząt (ob. rozdz. III, § 1 i rozdz. VII, § 7). Wiemy, że cechami charakterystycznemi jej komórek pod względem budowy są: niewielkie rozmiary i równe wymiary („izodyametryczność"), wypełnienie protoplazmą, cienkie błony, nie zmienione chemicznie, znaczna objętość jądra w stosunku do protoplazmy. Dodać do tego możemy: szczelne spojenie z sobą komórek i brak w nich wszelkich uformowanych inkluzyi ciał nie należących do protoplastu, a nawet (jak wiemy) wodników. Tylko chromatofory i leukoplasty znajdują się w jej komórkach i to w postaci zawiązków.

Pod względem fizyologicznym cechą komórek merystematycznych jest przewaga podziałów nad wszelkiemi innemi czynnościami. Popęd do ustawicznego dzielenia się jest tu tak czynny, że komórki wskutek tego nie dosięgają znaczniejszej wielkości, lecz zostają drobne. Komórki tej tkanki są więc czynne głównie jako jednostki morfologiczne, zgodnie z rolą tej tkanki, jako generatora (twórcy) wszystkich innych, tak zwanych tkanek trwałych.

Tkanka ta tworzy w nasieniu zarodek, lecz, prócz tego, znajduje się przez całe życie rośliny we wszystkich punktach, w których odbywa się wzrost jej części (por. rozdz. VII, § 7).

2. Odmienny charakter mają **tkanki trwałe**. Pod względem kształtu mamy tu wielką rozmaitość redukującą się do

dwóch głównych typów: parenchymy i prozenchymy jako krańcowych, między któremi zresztą istnieją formy przejściowe. Komórki pierwiastków parenchymatycznych (miąższowych), obok jednakowych w przybliżeniu wymiarów (w typowych wypadkach), odznaczają się zawartością protoplastów oraz soku komórkowego i względnie cienkiemi błonami. Są to komórki w pełni życia. Pierwiastki prozenchymatyczne są wyciągnięte w jednym kierunku, mają wygląd włókien, a ułożone są w tkance w ten sposób, że śpiczaste zakończenia jednych wciskają się między podobneż zakończenia innych. Błony tych komórek mają zwykle znaczną grubość lub zgrubienia miejscowe, niekiedy ulegają chemicznemu przekształceniu; protoplazmy zaś przeważnie nie zawierają wcale lub bardzo nieznaczną ilość. Są to komórki, których czynności życiowe (jako komórek) ustały lub też są w zaniku, a które zredukowane są przeważnie do roli biernego organu, najczęściej mechanicznej. Komórki miąższowe wogóle posiadają zdolność dzielenia się. Mogą one w niektórych wypadkach odzyskać intensywną zdolność w tym kierunku i wytworzyć tkankę o typie tkanki twórczej, którą nazywamy w takim wypadku merystemą drugorzędową, zachowując nazwę merystymy pierwotnej dla tkanki zarodka i rosnących końców rośliny. Pierwiastki prozenchymatyczne wogóle nie dzielą się.

3. Komórki wchodzące w skład tkanek roślinnych, o ile zawierają w sobie ciała protoplazmatyczne, zachowują zwykle związek ściślejszy niż czysto mechaniczne połączenie przez wspólne błony. Niezbyt dawno dokonane zostało odkrycie, że błony oddzielające od siebie protoplasty sąsiednich komórek przedziurawione są bardzo cienkiemi kanalikami dającemi miejsce dla **połączeń plazmatycznych** (plasmodezmów) tych komórek. Połączenia te uskuteczniają się mianowicie przy pomocy plazmy, należącej do zewnętrznej warstwy (woreczka pierwotnego), a więc cynoplazmy. Połączenia plazmatyczne najczęściej znajdują się w cienkich miejscach błony, t. j. w kropkach (ob. str. 70 i rys. 48), często także na całej powierzchni błony. Wykazać je można tylko za pomocą odpowiedniego preparowania, a mianowicie działają na błonę kwasem siarczanym stężonym, który powoduje silne jej nabrzmienie i uwydatnia cienkie

nici plazmatyczne (plasmodezmy), łączące sąsiednie ciała plazmatyczne, rozciągając je. Aby wynik był widoczniejszy, należy następnie zabarwić protoplazmę. Można połączyć obie te sprawy w jednę, działając chlorkiem cynku z jodem; odczynnik ten powoduje pęcznienie błon, barwiąc je jednocześnie na niebiesko, a nici plazmatyczne na brunatno.

Rys. 100. Endosperma nasienia palmy Areca oleracea po działaniu chlorku cynku z jodem. Linie czarne (*a*) wykazują pierwotny kierunek błon mocno napęczniałych pod wpływem odczynnika i uwydatniających plasmodezmy *b*. Według Tangla.

Skrupulatnie przeprowadzone badania wykazały ogromne rozpowszechnienie plasmodezmów u roślin. W przeciwności więc do dawnego poglądu, według którego ciała poszczególnych komórek roślinnych tworzyć miały oddzielone zupełnie przez błonę pierwiastki, dziś uważać winniśmy całą masę plazmatyczną osobnika roślinnego jako tworzącą jednę całość nieprzerwaną. Fakt ten tłumaczy szereg zjawisk niezrozumiałych przy dawniejszym poglądzie, jak udzielanie się podrażnień i wszelkiego rodzaju reakcyi na bodźce rozmaitym częściom rośliny; przenoszenie się (stale mające miejsce) protoplazmy i cenniejszych dla rośliny składników z części przeznaczonych do odrzucenia (np. liści opadających w jesieni) lub z komórek opróżniających się dla pełnienia specyalnych funkcyi (ob. niżej naczynia drzewne), wreszcie jednolitość w zachowaniu się całej rośliny—zharmonizowanie funkcyi poszczególnych części dla osiągnięcia kształtu i czynności niezbędnych dla całego osobnika, o czem wypadnie nam jeszcze mówić obszernie.

Połączenia plazmatyczne powstają podczas dzielenia się komórek: są one wynikiem zachowania nieprzerwanemi części nici wrzeciona przy tworzeniu się przegródki przecinającej ciała plazmatyczne i niezapełniania jej w tych punktach przez osadzającą się masę błonnika.

4. Plasmodezmy są połączeniami żywych części komórek, wynikającemi z niezupełnego ich podziału. Zupełnie odmienny

charakter mają zlania się pierwotnie rozdzielonych komórek. Ma to miejsce przy powstawaniu utworów rurkowych, jak naczynia drzewne lub mleczne i rurki sitowe (ob. niżej). Zlanie się odbywa przez wchłonięcie przegródek poprzecznych poprzednio już mocno wydłużonych walcowatych komórek, które w ten sposób spajają się w rurki rozgałęzione (naczynia mleczne — rys. 101) lub nie. Jeśli spajające się w ten sposób komórki mają utworzyć naczynie drzewne, zlanie jest poprzedzone przez kuśrodkowe miejscowe zgrubienia błon w postaci listewek i t. p.

Rys. 101. Naczynia mleczne.

Rys. 102. Komórki spajające się dla utworzenia naczynia drzewnego.

Przy powstawaniu naczyń drzewnych lub mlecznych protoplazma znika z komórek po dokonanym rozpuszczeniu błon poprzecznych; w naczyniach sitowych błony zostają tylko przedziurawione, a protoplazma w nich zostaje dopóki są czynne; znika tylko jądro, ciała zaś protoplazmatyczne zostają połączone za pomocą wyrostków plazmy przenikających przez otwory blaszki sitkowej. W pierwszych więc dwóch wypadkach możemy mówić raczej o utworach komórkowych, niż o samych komórkach, o szkielecie komórek (błonie) przeobrażonym w narząd fizyologiczny: żywa i istotna część komórki—jej protoplasta—przenosi się gdzieś indziej lub dezorganizuje się. Protoplasty tu zbudowały systemat rurek, formując je początkowo jako swoje błony, i usunęły się lub przestały istnieć. W naczyniach sitowych protoplazma zostaje wprawdzie, lecz czynność jej, jak się niżej pokaże, jest czysto chemiczna; komórki składowe rurek sitkowych zatracają swoje znaczenie jako osobników morfologicznych (zdolnych do wytwarzania nowych), a objawem tego jest zanik jądra.

5. Przeciwnością opisanego przed chwilą zlania się błon komórkowych w utwory rurkowate jest ich częściowe rozszczepianie się, prowadzące do wytworzenia **przestworów międzykomórkowych** (rys. 45, *k;* rys. 48, *i*). W miarę tego, jak komórki pierwotnie wielościenne, wskutek wzajemnego ciśnienia, zaczynają rozrastać się i wytwarzają przestrzeń sokową, przybierając kształty zaokrąglone, warstewka środkowa zróżniczkowanej błony, utworzona z pektozy (ob. str. 69), ustępuje napięciu lub rozpuszcza się i w rogach komórek tworzą się przerwy, które łączą się z sobą i przenikają całe ciało rośliny. Są to przestwory międzykomórkowe tworzące, pod względem fizyologicznym, system at przewietrzania rośliny. Pary i gazy swobodnie krążą po tych przestworach, które tem są większe im część rośliny przeznaczona jest bardziej specyalnie do czynności połączonych z parowaniem lub dyfuzyą gazów, co, jak zobaczymy, ma zwłaszcza miejsce w liściu. Przestwory komórkowe w zwykłych warunkach wypełnione są powietrzem.

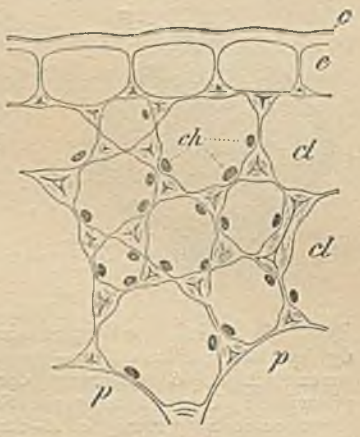
6. Aby zakończyć te ogólne uwagi o tkankach, zostaje wymienić niektóre typy odrębne, nie wchodzące stale w skład trzech systematów tkanek roślin wyższych.

Należą tu przedewszystkiem rozmaite tkanki, których komórki przez odpowiednie zgrubienie błon, nabierają mocy i występują w roli szkieletu zabezpieczającego miękkie części roślin od uginania się, rozrywania (przez wiatr lub ciężar zawieszony na nich), miażdżenia wagą lub ciśnieniem innych części rośliny. Wszystkie te utwory połączył Haberlandt pod wspólną nazwą **tkanki mechanicznej.**

Pierwszym krokiem ku wzmocnieniu komórki jest zgrubienie częściowe błony w rogach. Tkanka utworzona z takich komórek nazywa się kolenchymą (zwarcicą). Komórki, wchodzące w jej skład, nie tracą protoplazmy ani jądra; zachowują więc zdolność dzielenia się, a przez części błony, które nie uległy zgrubieniu, ciała ich protoplazmatyczne zostają w związku z sobą. Tkanka ta nadaje się więc do wzmocnienia części roślin, których wzrost trwa jeszcze. Znajdujemy też ją często w łodygach zielnych, ogonkach liści i t. p.

Tkanka utworzona z komórek o błonie mocno zgrubiałej na całej powierzchni (z wyjątkiem kropek) nazywa się skle-

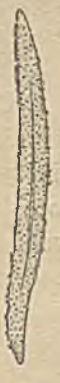
renchymą (twardziel). Przykłady komórek sklerenchymatycznych widzimy na rys. 44 i 48 (str. 69 i 70). Komórki sklerenchymatyczne często przybierają wygląd włókien (prozenchyma) o ściankach tak mocno zgrubiałych, że warstwy zgrubienia zapełniają prawie całe wnętrze komórki.



Rys. 103. Kolenchyma z ogonka liściowego begonii (według Sachsa; pow. 550). *ch* — ziarka chlorofilu.

W największej ilości wypadków komórki sklerenchymy nie zawierają protoplazmy. Nie są one zdolne do dzielenia się i znajdują się zwykle w częściach roślin nie ulegających dalszemu wzrostowi.

Z komórek sklerenchymatycznych utworzone są twarde skorupki orzechów i innych owoców suchych. Włókna sklerenchymatyczne służą przeważnie do wzmocnienia łodyg zielnych i korzeni, gdzie układ ich wytwarza taki typ oporności, jakiego wymagają warunki wzrostu rośliny.



B

Rys. 104. Włókno sklerenchymatyczne.

Jeśli weźmiemy pod uwagę, że takie części roślin jak źdźbło żyta muszą utrzymać swój własny ciężar i ciężar rozwijającego się na szczycie kłosu przy wysokości dosięgającej $1^1/_2$ metra, a więc 500 razy większej od średnicy u podstawy (nie przekraczającej 3 mm.); że źdźbła te bywają kołysane przez wiatr, który, działając na szeroką powierzchnię liści, dąży do wyrwania ich z ziemi lub rozciągnięcia, łatwo zrozumiemy, że części takie (do których należą także ogonki liściowe, gałęzie i pnie drzew) muszą być tak zbudowane, aby przedstawiały największą możliwą oporność. Jakoż badanie mikroskopowe przekonywa, nietylko że obfitują one w nadzwyczajnie mocne i elastyczne pęczki włókien sklerenchymatycznych, lecz także że pęczki te ułożone są w sposób najlepiej odpowiadający wymaganiom mechanicznym, stosownie do tego, czy dana część rośliny narażona bywa przeważnie na

rozciąganie, zginanie lub ściskanie. Układ tkanki mechanicznej we wszystkich tych wypadkach przypomina kształty

Rys. 105. Układ tkanki mechanicznej dającej oporność na zginanie. 1. młody pęd bzu (Sambucus), *c* — pęczki kolenchymy wzmacniające go (część rosnąca). 2. część przekroju poprzecznego źdźbła trawy (Molinia coerulea); pierwiastki sklerenchymatyczne (*ScR*) tworzą tu rurkę (na przekroju pierścień) wzmocnioną żebrami *Sc*. *A*—tkanka chlorofilowa; *MH*—próżnia środkowa.

słupów lub sztab, które wykonywają według obliczeń inżynierowie, aby nadać największą oporność w każdym z wymienionych kierunków, przy najmniejszym zużyciu materyału.

Przeciwność do tych typów tkanek mechanicznych stanowią tkanki o słabem spojeniu komórek, o obfitych i rozległych przestworach międzykomórkowych. Tkankę taką znajdujemy w dolnej części liści, nazywa się ona merenchymą; tkankę o wydłużonych komórkach charakterystyczną dla górnej powierzchni wielu liści nazywają tkanką palisadową. Przestwory międzykomórkowe dosięgają największych wymiarów u roślin wodnych. Zapełnione powietrzem pełnią tu rolę pęcherzy pławnych, utrzymujących roślinę lub jej części (liście, ogonki) na powierzchni wody.

ROZDZIAŁ IX.

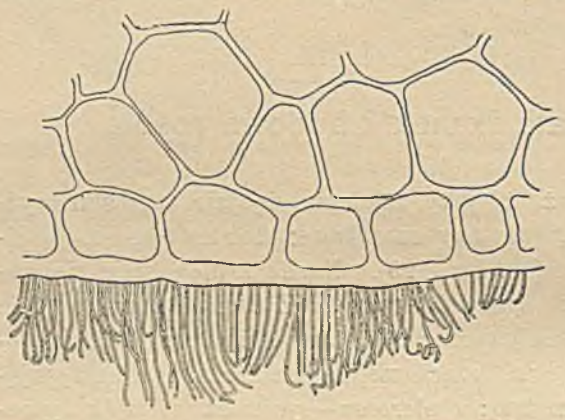
Systemata tkanek i budowa roślin.

1. Wiemy już, że przy dzieleniu się jaja u roślin wyższych powstają trzy warstwy zarodkowe: dermatogen, periblema i plerom (ob. str. 129). Każda z nich staje się zawiązkiem odrębnego systematu tkanek. Z dermatogenu powstaje systemat naskórka, tworzący okrywę roślinną; z periblemy—tkanka zasadnicza, leżąca między naskórkiem a następującym po nim systematem; z pleromu—systemat wiązek łykowo-drzewnych i rdzenia zajmujący środkową część łodygi i korzenia. Przyjrzyjmy się teraz każdemu z tych systematów w szczegółach jego budowy i wzrostu.

2. **Naskórek** (epidermis) tworzy jednowarstwową okrywę wszystkich części roślin. Komórki naskórka ulegają rozciąganiu wskutek prężności zawartych pod nim tkanek w kierunku równoległym do stycznej w organach okrągłych (łodyga, korzeń), równoległem do powierzchni w organach płaskich (liście). Powoduje to wydłużenie ich we wskazanych kierunkach (*e* na rys. 103) i dzielenie się przegródkami prostopadłemi do powierzchni (a więc skierowanemi według promieni w okrągłych częściach). Dzielenia te konieczne są, aby naskórek podążyć mógł za zwiększeniem objętości walcowatych części roślin.

Przeznaczeniem naskórka jest ochrona rośliny od wpływów zewnętrznych, przedewszystkiem zaś od parowania zawartej w nich wody. Stosownie do tego zewnętrzna (ku wolnej powierzchni zwrócona) ścianka błony komórkowej ma tu znaczne zgrubienie. Warstwa ta zgrubienia pojedyńczych komórek zlewa

się w jednę całość, tworząc nadskórek (cuticula — *c* na rys. 103), na częściach powietrznych roślin bywa stale kutynizowana (ob. str. 61). Niekiedy (zwłaszcza na owocach) estry kwasów tłuszczowych, wchodzące w skład kutyny, występują na powierzchni w postaci białej naleciałości (u śliwek np.), wosku roślinnego. U trzciny cukrowej wydzielina ta przybiera postać drobnych pręcików (rys. 106). U niektórych roślin zwrotnikowych osad wosku dosięga kilku milimetrów grubości. Tak zwany „wosk roślinny" stanowiący artykuł handlu jest tym właśnie produktem zbieranym zwykle z liści peruwiańskiej palmy woskowej (Ceroxylon andicola — gdzie dosięga 5 mm. grubości) oraz z powierzchni owoców Myrica cerifera.



Rys. 106. Wydzielina wosku w formie pręcików na naskórku trzciny cukrowej. (Według Strasburgera, pow. 540).

Takie zaopatrzenie nadskórka czyni go nieprzenikliwym dla wilgoci i dla innych wpływów, mogących szkodzić roślinie. Krople deszczu ściekają z woskowanej powierzchni liści i owoców, a w jakiej mierze naskórek zabezpiecza roślinę od straty wody przez parowanie — o tem przekonywa długie przechowywanie owoców, mających cały nadskórek. Dosyć wszakże zedrzeć skórkę z jabłka, aby rychło zwiędło. Nadskórek zabezpiecza także od wnikania zarodników grzybków pasożytnych lub bakteryi. Owoce z uszkodzonym nadskórkiem bardzo rychło ulegają gniciu wskutek rozwoju w nich bakteryi.

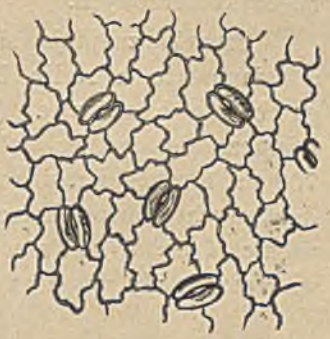
Naskórek korzenia nie wytwarza nadskórka, dlatego też wyróżniają go niekiedy pod nazwą epiblemy. Podobnież pozbawione jego są płatki kwiatów, których zewnętrzne okrycie jest delikatniejsze, pozbawione zgrubień, a natomiast komórki jego często zaopatrzone w brodawkowate wypukłości, co nadaje

płatkom wygląd jedwabisty. Nazywamy go w tym wypadku nabłonkiem (epitelium).

Komórki naskórka, stosownie do przeznaczenia jego jako okrywy, są ściśle z sobą spojone. Granice ich przy oglądaniu z powierzchni przedstawiają często zarys falisty (rys. 108); w łodygach szybko rosnących są one mocno wydłużone w kierunku wzrostu. Protoplazma tworzy tu zwykle cienką warstwę wyścielającą błonę komórkową; sok wodnisty; niekiedy znajdują się ziarnka chlorofilu (u roślin rosnących w cieniu).

Rys. 107. Epitelium z płatków bratka (Viola tricolor). Komórki jego mają ściankę zewnętrzną fałdzistą i wyrastającą w postaci brodawek (według Strasburgera, pow. 250).

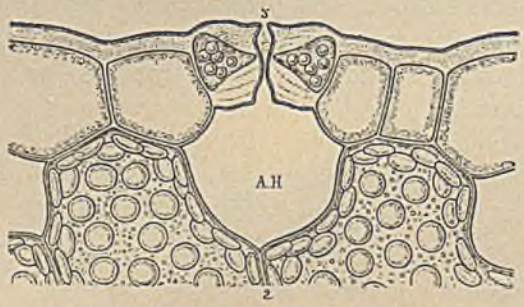
3. Naskórek powietrznych części roślin zaopatrzony bywa zwykle w szparki (stomata) (rys. 108), t. j. drobne otworki, łączące się z systematem przestworów międzykomórkowych rośliny. Przez te otworki wnikają do przestworów owych gazy niezbędne dla życia rośliny, a wydziela się nazewnątrz w postaci pary woda parująca się przez błony komórkowe do przestworów międzykomórkowych.



Rys. 108. Naskórek widziany z powierzchni ze szparkami. Pow. 250.

Szparki zbudowane są w ten sposób, że mogą regulować przypływ powietrza do przestworów międzykomórkowych, rozszerzając się, gdy powietrze jest wilgotne, a zamykając się zupełnie, gdy jest suche. Mechanizm ten składa się zwykle z dwóch komórek zamykających, różniących się kształtem i zawartością chlorofilu od sąsiednich komórek naskórka. Z góry widziane wyglądają one jak dwa ziarka fasoli zwrócone ku sobie wklęsłemi stronami (rys. 108), tak, iż między temi wklęśnięciami pozostaje otwór. Na przekroju poprzecznym (rys. 109) widzimy, iż komórki te zaopatrzone są

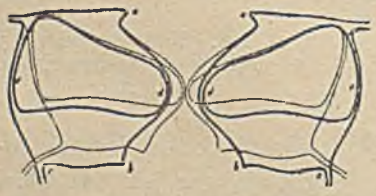
w zgrubienia błony na górnej i dolnej powierzchni. Gdy jędrność komórek zamykających wzrasta (wskutek obfitego dopływu wody do rośliny) przybierają one większą grubość; wskutek tego szparka się rozszerza. Przeciwnie, gdy suchość powietrza powoduje zmniejszenie jędrności, grube części błony rozciągają się wskutek właściwej sobie sprężystości i zamykają szparkę (rys. 109).



Rys. 109. Szparka w przekroju poprzecznem. *S*— szparka między komórkami zamykającemi; *AH*—jama przydechowa (pow. ok. 800).

Pod komórkami zamykającemi mieści się większy przestwór międzykomórkowy (*AH*), zwany jamą przydechową. Jama przydechowa łączy się z całym systematem przestworów międzykomórkowych.

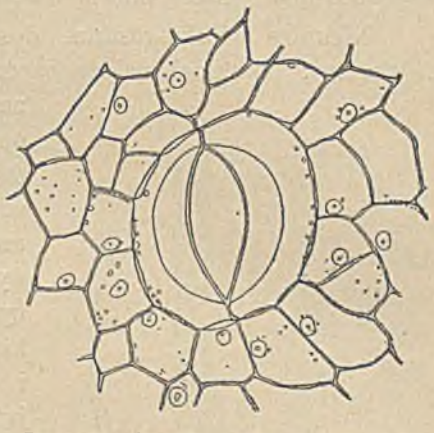
Szparki znajdują się w największej ilości na liściach; a mianowicie u roślin lądowych, mających liście o budowie grzbieto-brzusznej (t. j. odmienną górną i dolną stronę), mieszczą się one na dolnej powierzchni w liczbie od 100 do 700 na 1 mm. kw.; u roślin mających liście wzniesione, o jednakowych powierzchniach, szparki mieszczą się na obu powierzchniach; u roślin wodnych o liściach pływających na powierzchni wody mieszczą się one na górnej, zwróconej ku powietrzu stronie liścia.



Rys. 110. Mechanizm zamykający szparek. Grubsze linie oznaczają kształt komórek przy zwiększonej jędrności (szparka otwarta); cieńsze — przy zmniejszonej (szparka zamknięta).

Zbliżone budową do szparek zwykłych są szparki wodne (rys. 111) (większe zwykle), mieszczące się u niektórych roślin na zakończeniach żyłek liściowych. Przy nadmiernem ciśnieniu cieczy w komórkach wyciska się przez nie woda w postaci kropelek.

4. Drugim typem utworów, należących do systematu naskórka są **włoski** (trichoma). Wiemy już, że w rozważaniu morfologii uczłonkowania zewnętrznego rośliny włoskom przyznajemy znaczenie samodzielnego członka (rozdz. I, § 5). Pod względem pochodzenia są to utwory, powstające bądź przez rozrastanie się wyjątkowe komórki naskórka (włoski jednokomórkowe), bądź przez jej podział (wł. wielokomórkowe).



Rys. 111. Szparka wodna z liści nasturcyi (Tropaeolum majus) otoczona komórkami naskórka (według Strasburgera; pow. 240).

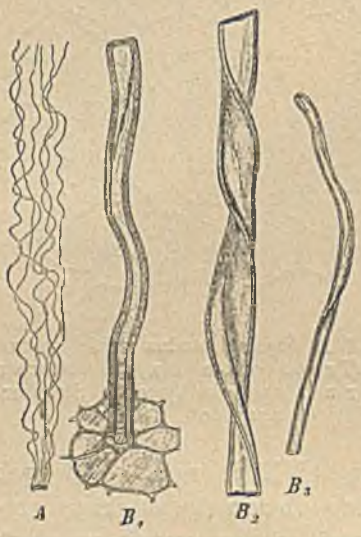
Włoski spotykają się na powierzchni powietrznych części roślin — na liściach i łodydze, gdzie najczęściej pełnią funkcyę ochronną („omszone" liście roślin stepowych wystawionych na silną insolacyę) lub obronną (włoski pokrzywy). W pierwszym wypadku rozrastają się przeważnie na płask w postaci gwiazdek i t. p.; zatracają wszelką zawartość, a wypełnione powietrzem osłabiają siłę promieni, przenikających w głąb liścia. W drugim wypełnione bywają cieczą ostrą (kwas mrówkowy u pokrzywy). Niekiedy włoski wytwarzają wydzielinę (wł. gruczołowe—rys. 112). Bywają one zwykle wielokomórkowe, a powstają w ten sposób, że komórka naskórka wyrasta w postaci brodawki ponad sąsiednie komórki; następnie wystająca część oddziela się od pozostałej i wyrastając dalej dzieli się przegródkami poprzecznemi. Zawartość ostatniej komórki zamienia się na kroplę śluzu, która występuje na wierzch przez rozpuszczoną błonę. Takie to wydzieliny powodują lepkość łodyg lepnicy i firletki: chronią one roślinę od zwiedzania przez drobne owady.

Rys. 112. Włosek gruczołowy pierwiosnka. U góry kropla wydzieliny (pow. 140).

Na korzeniach włoski przybierają kształt włośników

i mają tu bardzo doniosłą funkcyę w przyswajaniu, o której wypadnie nam jeszcze mówić obszerniej.

Niektóre włoski roślinne dostarczają cennego materyału na tkaniny: do takich należą bardzo długie włoski, okrywające nasienie bawełny. Dosięgają one długości 6 cm. i w stanie dojrzałym wypełnione są powietrzem. Mają postać spłaszczonych i skręcających się (przy wysychaniu) rurek o dość grubych ściankach, pokrytych cienkim nadskórkiem. Ich długość i względna moc czynią je wyjątkowo przydatnemi do celów technicznych.



Rys. 113. Włoski z nasienia bawełny (Gossipium herbacenm). *A* — część okrywy nasiennej z włoskami pow. 2 razy; $B_1B_2B_3$—nasada środkowa, część i koniec włoska, pow. 200 razy.

5. **Tkanką zasadniczą** nazywamy wszystko to, co zawarte jest między naskórkiem a wiązkami naczyniowemi.

Typowe komórki, z których składa się tkanka zasadnicza, zajmują stanowisko pośrednie między niezróżniczkowanemi i morfologicznie tylko czynnemi (t. j. dzielącemi się) komórkami tkanki twórczej a przekształconemi całkowicie na organa fizyologiczne głównemi składnikami wiązek naczyniowych. Są to przeważnie równowymiarowe komórki o kształtach zaokrąglonych, przez co tworzą się liczne przestwory międzykomórkowe; o błonie umiarkowanie zgrubiałej, zróżniczkowanej na trzy tafelki (str. 69). Zawierają one przestrzeń sokową i protoplazmę przyścienną, w której mieści się jądro. Zachowują zdolność dzielenia się, lecz czynność ta podporządkowana jest innym. W komórkach tych znajdujemy przeważnie rozmaite niestałe składniki opisane w rozdziale V: ziarka chlorofilu— w częściach roślin wystawionych na światło (zwłaszcza w tkance zasadniczej liścia, noszącej nazwę mezofilu) oraz w tych war-

stwach łodygi, do których światło dochodzi, leukoplasty i wytworzone przez nie ziarenka mączki; krystaloidy i kryształy w innych.

Wśród tkanki zasadniczej często spotykają się także komórki odmiennego kształtu i wielkości (idioblasty), przeznaczone do nagromadzenia ubocznych produktów przyswajania i przemiany substancyi: kryształów (zwłaszcza rafidy str. 101), garbniku, gumy i t. d. Część komórek tej tkanki ulega niekiedy przeobrażeniu na pierwiastki sklerenchymatyczne lub kolenchymatyczne niezbędne dla wzmocnienia rośliny; pierwsze występują w organach, których wzrost na długość już ustał, drugie w rosnących. Tkanka ta pełni także rolę śpichrza: w wielu wypadkach nagromadzają się w niej materyały zapasowe (korzenie roślin dwuletnich, bulwy, cebule) bądź w postaci ukształtowanej (ziarka mączki, kryształy białkowe), bądź rozpuszczone w soku komórkowym (cukier, amidy).

Komórki tkanki zasadniczej posiadają zdolność przekształcenia się na tkankę twórczą, która staje się źródłem utworów drugorzędowych (ob. niżej: korek, wiązki naczyniowe).

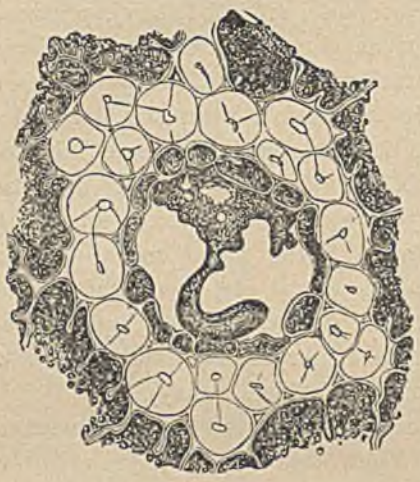
W tkance zasadniczej niektórych roślin przebiegają (również jak i w rdzeniu) naczynia mleczne, o których powstawaniu była już mowa (rozdz. VIII § 4, rys. 101).

Utworami histologicznemi odrębnemi, należącemi przeważnie do tkanki zasadniczej, są przewody żywiczne, korek i przetchliny.

6. **Przewody żywiczne** tworzą się wskutek tego, że w szeregu komórek miąższowych rozsuwają się, tworząc przestwór międzykomórkowy, który zapełnia się żywicą, wydzieloną przez otaczające komórki. Dalsze rozszerzenie się zbiornika odbywa się przez podział otaczających go i ściśle do siebie przylegających komórek, które zachowują formę odrębną (spłaszczoną w kierunku ku środkowi obwodu) i tworzą rurkę, otaczającą przewód. Przewody te bywają zabezpieczone od ściśnięcia za pomocą tkanki mechanicznej (rys. 114).

7. Zewnętrzną osłoną rośliny jest, jak wiemy naskórek; lecz tylko u roślin zielnych i na bardzo młodych pędach drzew pełni on tę czynność. W częściach starszych drzew zastępuje go to, co nazywamy zwykle korą, utwór powstający przez

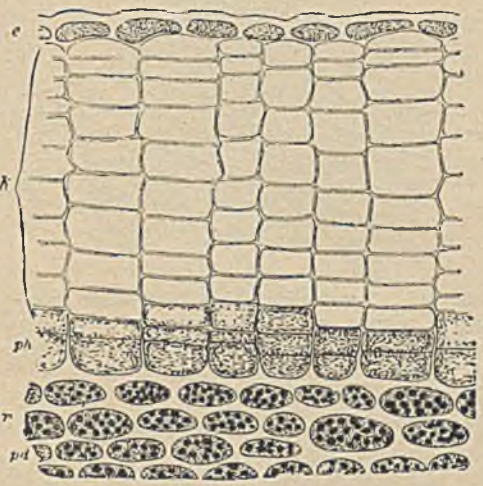
czynność tkanki twórczej drugorzędowej czyli tak zwanej tkanki korkorodnej (fellogenu). Dzieje się to w ten sposób, że szereg komórek leżących na obwodzie organu zaczyna dzielić się przegródkami leżącemi w płaszczyznach stycznych do obwodu, a powstająca w ten sposób warstwa lub zamknięty pierścień (jeśli cały obwód pędu jest czynny) młodych komórek tworzy tkankę twórczą, wytwarzającą ku obwodowi drogą energicznych podziałów warstwy komórek, które nie rosną prawie wcale, lecz zachowują układ równoległy i foremnie czworoboczny. Błony ich ulegają kutynizacyi, a zawartość zanika całkowicie. Powstająca w ten sposób **tkanka korkowa**, będąc w najwyższym stopniu oporna na wszelkie oddziaływania zewnętrzne i nie przepuszczając wilgoci, lepiej od naskórka ochrania roślinę od parowania i od pasożytów. Działalnością tkanki (miazgi) korkorodnej powstają ku wnętrzu szeregi komórek miąższowych (felloderma), które niekiedy przybierają znaczny rozwój (rys. 115).



Rys. 114. Przewód żywiczny w tkance chlorofilowej, otoczony grubemi włóknami sklerenchymatycznemi (według Vinesa; pow. 450).

Tkanka korkorodna może powstawać także z komórek naskórka (przez ich podział przegródkami równoległemi do obwodu), a także z miąższowych części wiązek naczyniowych. W miarę jak część rośliny grubieje, tkanka ta powstaje ponownie, coraz to w głębszych warstwach tkanki zasadniczej, a wówczas wszystkie części odcięte przez korek, pozbawione zostają dopływu pożywienia; martwieją więc i zasychają, tworząc ową chropawą, otaczającą grubsze pnie korę. Brunatne zabarwienie kory pochodzi od produktów rozkładu garbnika; biała barwa kory brzozowej—od zawartej w komórkach białej żywicy—betuliny.

Tkanką korkową posługuje się roślina, także dla oddalenia niepotrzebnych organów: liście w jesieni opadają wskutek tego, że ogonek u nasady przecięty zostaje warstwą korka, który oddziela opadający liść, tworząc jednocześnie bliznę, zabezpieczającą pozostające w roślinie tkanki. Korek jest także tą tkanką, za pomocą której roślina zabliźnia rany i uszkodzenia, odcinając nim uszkodzone części od zdrowych.

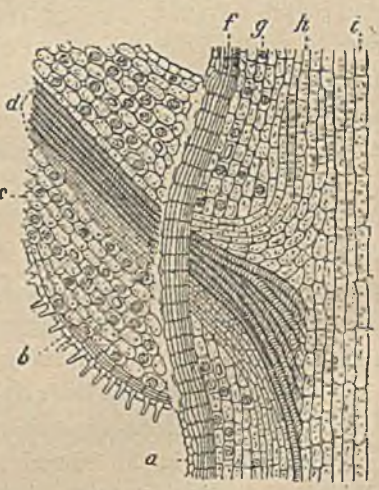


Rys. 115. Tkanka korkowa; *e* — naskórek; *k* — korek; *ph* — fellogen (miazga korkowa); *pd* — felloderma. (Według Sachsa; pow. 500).

Znajdujący się w handlu korek pochodzi z dębu korkowego (Quercus robur), posiadającego właściwość tworzenia niezwykle grubych warstw tkanki korkowej.

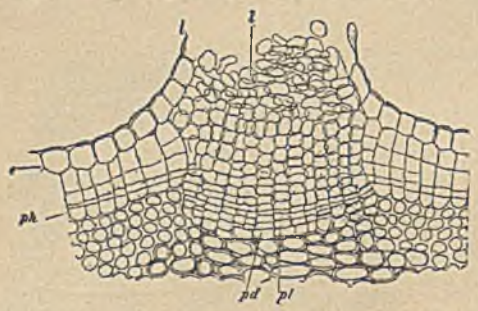
8. Ku zabezpieczeniu dopływu powietrza do przestworów międzykomórkowych w częściach pokrytych korkiem służą **przetchliny**, pełniące tu taką funkcyę, jak szparki w naskórku.

Przetchliny (lenticellae) powstają zwykle na miejscu dawnych szparek. Komórki otaczające jamę oddechową wydają tkankę twórczą, która wytwarza ku wnętrzu komórki miąższowe (felloderma), na zewnątrz zaś komórki okrągłe (t. zw. zapełniające), między któremi znajdują się przestwory



Rys. 116. Liść opadający wskutek wytworzenia się tkanki korkowej (*f*).

międzykomórkowe. Komórki te rozsadzają naskórek i występują w postaci wypukłej soczewki (skąd łacińska nazwa) ponad korą. Komórki zapełniające zwykle nie bywają kutynizowane.

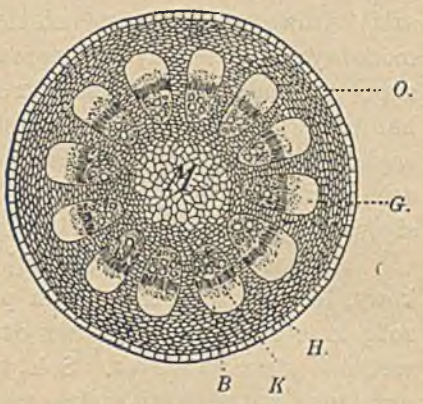


Rys. 117. Przetchlina z bzu lekarskiego (Sambuccus nigra). *pl* — tkanka twórcza; *pd* — felloderma; *e* — naskórek; *l* — komórki zapełniające; *ph* — tkanka korkorodna (fellagen) (pow. 50).

9. Wiązki naczyniowe stanowią ten systemat tkanek, w którym samodzielny charakter życiowy i funkcya morfologiczna komórek są w największym stopniu utracone; gdzie często nie możemy nawet dostrzedz śladów i granic komórek spojonych w narządy fizyologiczne, jakiemi są rurki drzewne. Studyując ten układ tkanek, należy rozróżniać ściśle utwory pierwotne od drugorzędowych. Za podstawę obierzemy typową ich budowę u roślin dwuliścieniowych, którą poznawszy z łatwością przejdziemy do innych typów.

Widzieliśmy już, że w stożku wegetacyjnym roślin dwuliścieniowych wyróżnia się część środkowa, jako pleroma, utworzona z szeregów komórek równoległych i wydłużonych w kierunku dłuższej osi organu. Jeśli weźmiemy przekrój poprzeczny łodygi nieco niżej najmłodszych rozwiniętych już liści, dostrzeżemy, iż walec ów tkanki zarodkowej zróżniczkował się na dwie warstwy współśrodkowe: środek zajmują komórki zupełnie podobne do tych, które tworzą tkankę zasadniczą; jest to rdzeń pierwotna (*M*) (rys. 118); dokoła niej widzimy kilka regularnie ułożonych wysepek odrębnych utworów wiązek naczyniowych. Pierścień ów przerwany jest w kilku miejscach przez tkankę podobną do zasadniczej; przerwy te nazywają się pierwotnemi promieniami rdzeniowemi. Wysepki przy bliższem badaniu okazują się utworzonemi z trzech rodzajów pierwiastków: zwrócone ku rdzeni pierwiastki mają ścianki grubsze i dają reakcyę ligniny; są to pierwiastki drzewne (xylema *H*). Leżące na zewnątrz części mają wygląd odmienny: ścianki tu

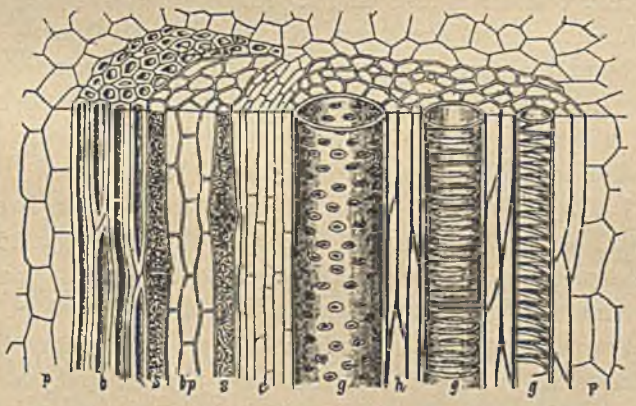
są mniej zgrubiałe i dają reakcyę błonnikową; jest to łykowa część wiązki (floema — *B*). Między temi dwoma znajduje się wązki paseczek tkanki złożonej z komórek drobnych o regularnych, czworoboczno-wydłużonych kształtach o cienkich ściankach, wypełnionych protoplazmą, mających w ogóle charakter tkanki twórczej. Jest to miazga (cambium *K*).



Rys. 118. Przecięcie poprzeczne łodygi rośliny dwuliścieniowej. *O* — naskórek; *G* — wiązki naczyniowe, między niemi pierwotne promienie rdzeniowe; *H*—drewno; *K* — miazga; *B* — łyko.

Aby zdać sobie sprawę z budowy każdej części wiązki, powinniśmy zrobić przekrój podłużny, a przytem z bardziej dojrzałej części wiązki (a więc niżej).

10. Przekrój taki wykaże, że **łykowa część wiązki** składa się z trojakich pierwiastków histologicznych: rurek sitowych, komórek przyrurkowych i miąższu łykowego. Pierwsze mają postać długich i szerokich komórek oddzielonych od siebie błonami często



Rys. 119. Wiązka naczyniowa w przekroju podłużnym i poprzecznym. *p* — tkanka zasadnicza; *b* — włókna łykowe; *s* — rurki sitowe; *bp* — miąższ łykowy; *c* — miazga; *g* — naczynia; *h* — miąższ drzewny.

skośnemi .przedziurawionemi wielokrotnie, tak, że tworzą rodzaj sitka (blaszki sitkowe). Takież same przedziurawienia (blaszki) sitowe spotykają się niekiedy na bocznych ścianach komórkowych. Dzięki tym otworom (których nie należy mieszać z połączeniami protoplazmatycznemi zwykłych komórek—są one bez porównania większe i dają się dostrzedz przy zwykłych powiększeniach bez preparowania specyalnego) szereg leżących nad sobą komórek tworzy jednę nieprzerwaną rurkę, komunikującą się także przez boczne sitko z sąsiedniemi (rys. 120).

W komórkach tych znajduje się protoplazma i sok komórkowy, lecz niema jąder. Ciała protoplazmatyczne leżących nad sobą komórek łączą się przez otworki sitkowe przy pomocy wyrostków plazmatycznych. Sok komórkowy zawiera białko rozpuszczone i drobne ziarenka mączki.

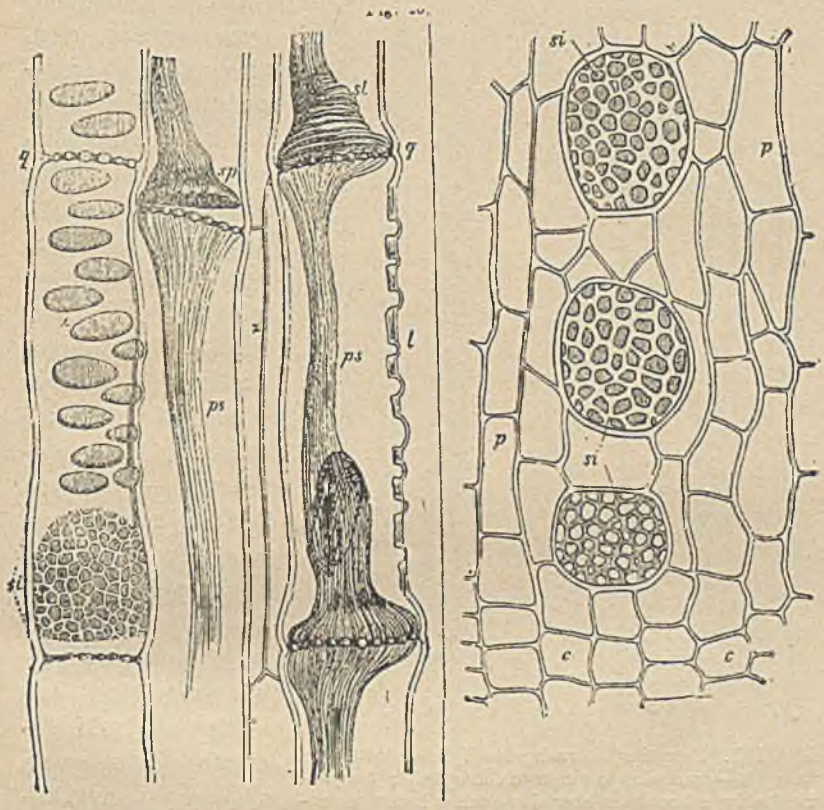
Komórki przyrurkowe czyli towarzyszące mają postać wydłużonych komórek, węższych i krótszych od rurek sitowych, obok których leżą. Zawierają one protoplazmę i jądro. Są to siostrzane komórki rurek sitowych i razem z niemi powstają przez rozdzielenie wspólnych komórek macierzystych.

Miąższ łykowy utworzony jest z włókien przedzielonych przegródkami poprzecznemi. Komórki te zawierają wszystkie składniki, cechujące żywe komórki. Część łykowa wiązki często bywa otoczona z zewnątrz warstwą grubościennych włókien łykowych, które poznaliśmy już, jako pierwiastki mechaniczne, a które i tu pełnią funkcyę wzmacniania tkanki i ochrony cienkościennych pierwiastków łyka od ściskania.

11. Część drzewna czyli drewno składa się z dwojakich pierwiastków: trachealnych i miąższowych (rys. 121).

Do pierwszych należą naczynia drzewne i tracheidy. Jedne i drugie pozbawione są wszelkiej zawartości protoplazmatycznej, mają ścianki zdrewniałe i pokryte zgrubieniami dośrodkowemi, tworzącemi urzeźbienia najrozmaitszych typów. Różnica między jednemi a drugiemi polega na tem, że tracheidy są tylko wydłużonemi (prozenchymatycznie *ft*, *t*, *gt*) komórkami, a więc względnie krótkie i zamknięte; naczynia zaś powstają z całego szeregu komórek spajających się z sobą przez wchłanianie przegródek poprzecznych (ob. rozdz. VIII, § 4). Jeśli przegródki te były prostopadłe do kierunku naczynia wchło-

nięcie bywa zupełne — niekiedy tylko zostaje ślad przegródki w postaci obrączki. Jeśli przegródki były skośnie skierowane,

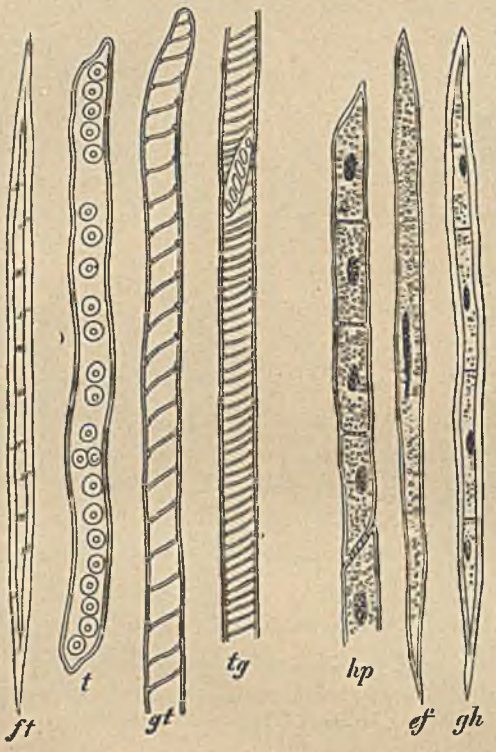


Rys. 120. Rurki sitowe dyni (Cucurbita pepo) w podłużnem i poprzecznem przecięciu. *si* — blaszki sitowe widziane z góry; *q* — poprzeczna przedziurawiona przegródka (sitowa) w przecięciu; *ps* — protoplazmatyczna zawartość skrzepła od alkoholu; *z* — komórki przyrurkowe (pow. 400, według Sachsa).

przedziurawienie ich odbywa się w kilku miejscach, tak, iż tworzą się równoległe szpary, nadające przegródce wygląd drabiasty (*tg*). Naczynia więc tworzą nieprzerwane rurki, których długość dosięgać może kilku metrów; zwykle zaś waha się między 10 cm. a 1 metrem.

Stosownie do rodzaju zgrubienia rozróżniamy typy naczyń: spiralne (ściślej mówiąc śrubowe), o wijącej się śrubowo

listewce; obrączkowe—których zgrubienia utworzone są przez równoległe obrączkowe listewki; siatkowate—w których zgrubienia mają postać siateczki o regularnych oczkach, centkowane—o nieregularnych szparkach, za których odmianę można uważać schodkowate czyli drabiaste, mające zgrubienia, przypominające wygląd drabinki, zostawiające wązkie, równoległe miejsca cienkie; wreszcie kropkowane — których ścianki zaopatrzone są w rozmaitego typu kropki.

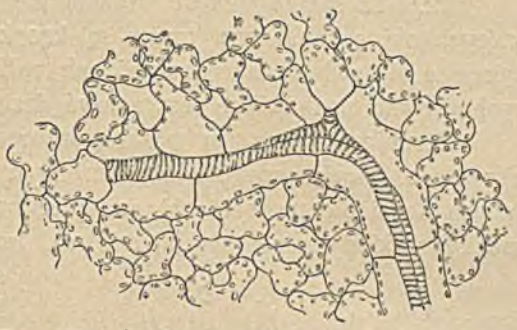


Rys. 121. Pierwiastki trachealne i miąższowe drewna. *ft* — tracheida o skośnych kropkach; *t* i *gt* — tracheidy o kropkach obwódkowych i listewce śrubowej; *tg* — naczynie śrubowe; *hp* — miąższ drzewny; *ef* — komórki zastępcze; *gh* — włókna drzewne przegródkowe (libriform).

Naczynia śrubowe powstają najwcześniej przy zakładaniu wiązki naczyniowej; mieszczą się więc w samym kącie wewnętrznym każdego pęczka w liczbie kilku. Potem idą zwykle obrączkowe, a za niemi rozmaite inne typy, zależnie od gatunku roślin.

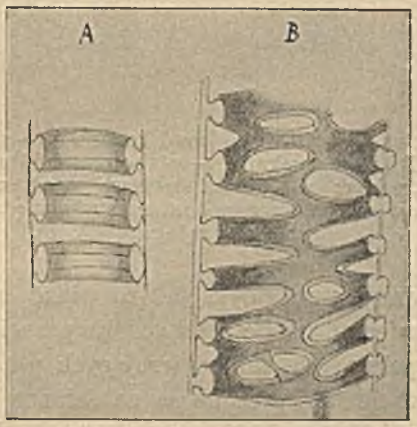
Tworzenie się wiązek naczyniowych zostaje w związku z rozwojem liści (o czem będzie mowa za chwilę), a żeberka i żyłki liści są coraz cieńszemi rozgałęzieniami tych wiązek, coraz to cieńszych, coraz to tracących składniki swoje. Naczynia śrubowe są tym składnikiem, który ostatni znika: najcieńsze rozgałęzienia żyłek w liściu utworzone są z drobnych naczyń

śrubowych. Takie umiejscowienie tych naczyń polega na tem, że należą one do klasy naczyń rozciągliwych (Wł. Rothert), t. j. takich, w których układ listewek nie przeszkadza wzrostowi na długość; nadają się więc najlepiej do części silnie wydłużających się, jakiemi są młode pędy. W przeciwności do tego inne zgrubienia tworzą naczynia nierozciągliwe.



Rys. 122. Ostatnie rozgałęzienia wiązek naczyniowych w liściu Impatiens parviflora utworzone z cienkich naczyń śrubowych. Otoczone one są wydłużonemi komórkami miąższu liściowego; dalej idzie merenchyma z siarkami chlorofilu (według Strasburgera, pow. 240).

Różnorodność rodzajów naczyń wymienionych redukuje się według badań Wład. Rotherta do wyglądu kształtu listewek widzianych z wewnątrz naczynia. Typ zasadniczy budowy zostaje u wszystkich ten sam: listewki w miejscu przymocowania są zawsze mocno ścieńczone, tak, iż przekrój poprzeczny przestrzeni między listewkami ma wygląd lejkowaty (przytem lejka zwróconego szeroką stroną do błony przedzielającej) (rys. 123). Znaczenie tego typu zgrubień polega na tem, że zabezpieczając mechanicznie rurkę od spłaszczenia przez ciśnienie tkanek w sposób najsku-

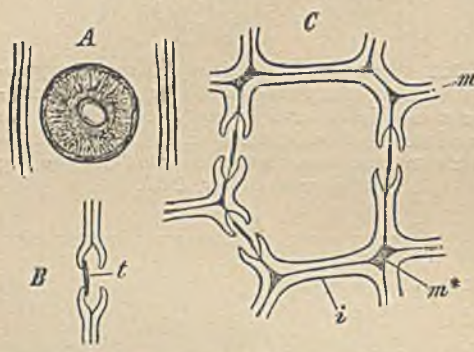


Rys. 123. Kształt listewek wzmacniających ścianki naczyń drzewnych. *A* — naczynie obrączkowe (drugorzędowe) z korzenia Echeveria glauca (pow. 560); *B*—naczynie siatkowe drugorzędowe z pnia Opuntia Rafinesquiana; na prawo graniczy ono z podobnym naczyniem; na lewo z komórkami żywemi (pow. 560). Oba w rzeczywistym przekroju osiowym, uwydatniającym zwężenie listewek w miejscu przyczepienia do błony. (Według Rotherta).

teczniejszy, pozostawia on względnie szerokie przestrzenie cienkiej (a więc przenikliwej dla wody) błonki pierwotnej [1]).

12. Ta sama dążność ujawnia się i w budowie kropek, których najdoskonalszym typem są **kropki obwódkowane**, spotykające się zwłaszcza w tracheidach roślin szyszkowych (których drewno pozbawione jest naczyń drzewnych).

Zgrubienia mają tu postać otwartego u góry sklepienia okrągłego, zawieszonego z obu stron (t. j. w dwóch przylegających do siebie tracheidach) nad pierwotną cienką błonką komórkową, kiedy pozostałe jej miejsca, leżące między kropkami są znacznie zgrubiałe. Błonka ta zaopatrzona jest w środku swoim w zgrubienie, tworzące krążek (torus) (rys. 124 — *C;* w *A* widać niewyraźnie jego granice). Krążek jest nieco szerszy od otworu sklepienia. Gdy więc zostaje przez ciśnienie cieczy wewnątrz tracheidy przyciśnięty do otworu sklepienia przeciwległego (t. j. sąsiedniej tracheidy), jak to widać na rysunku u *B,* komunikacya między tracheidami zostaje przecięta. Kropki obwódkowane więc pełnią rolę klap, kierujących prąd cieczy (Russow). Gdy kropki takie umieszczone są na ściance tracheidy, przylegającej do komórek zawierających plazmę, sklepienie znajduje się tylko po stronie tracheidy.



Rys. 124. Kropki obwódkowane *A* — z góry; *B* i *C*—w przekroju; *i*—wewnętrzna tafelka błony tracheid; *m* — tafelka środkowa, u *m** substancja pektynowa wypełnia przestwór między błonami; *i* — krążek (pow. 540).

Zbliżoną do tego budowę znajdujemy w naczyniach centkowanych, których cienkie błonki mają również zgrubienia środkowe, mogące zamknąć otwór lejkowatej przestrzeni, znajdującej się pod listewkami (Rothert). W taki sposób przejście od

---

[1]) Ob. Władysław Rothert: «O budowie błony naczyń roślinnych,» Kraków, 1899.

naczyń o listewkowatych zgrubieniach do kropkowanych odbywa się stopniowo.

13. Miąższowe składniki drewna wyróżniają się tem, że zawierają w sobie protoplazmę i jądro, są więc żyjącemi komórkami. Postać ich zwykle wydłużona, włóknista; ścianki umiarkowanie grube, zaopatrzone niekiedy w kropki różnorodne (okrągłe, owalne, kreskowe), ale nigdy nie mają prawdziwych kropek obwódkowanych z krążkiem.

Pierwiastkami miąższu drzewnego są: miąższ drzewny właściwy (rys. 121, *hp*); składa się on z szeregów komórek, które powstają wskutek rozdzielenia się przegródkami poprzecznemi wydłużonych i skośnie ściętych na końcach komórek miazgi. Wskutek tego przegródki skośne ukazują się tu od czasu do czasu między poprzecznemi. Komórki zastępcze (*ef*) różnią się od poprzednich tem, że każda powstaje z jednej komórki miazgowej; wydłużone są we włókna, nie różnią się po za tem od poprzednich. Włókna drzewne (libriform) — zbliżone kształtem do łykowych (skąd nazwa łacińska) wyróżniają się grubszemi ściankami, zaopatrzonemi w kreskowate kropki. Często zatracają zawartość plazmatyczną i zostają wypełnione tylko powietrzem. Niekiedy już po zgrubieniu dzielą się one przegródkami poprzecznemi na kilka komórek (*gh*).

Rola fizyologiczna pierwiastków trachealnych polega na przenoszeniu wody gruntowej ku liściom; pierwiastki miąższowe służą przeważnie do przechowywania materyałów zapasowych.

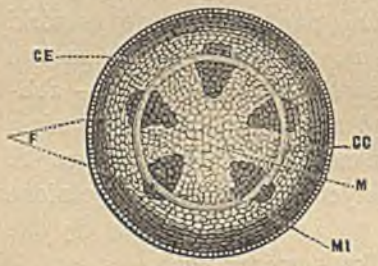
Budowa miazgi (cambium) nie daje powodów do obszerniejszych uwag. Są to komórki, posiadające wszystkie cechy komórek tkanki twórczej, tylko wydłużone w znacznej mierze w kierunku wzrostu organu, a dzielące się przegródkami równoległemi do jego powierzchni. Z powstających w ten sposób komórek od strony rdzenia wytwarzają się opisane przed chwilą rozmaite pierwiastki drewna; od strony przeciwnej — pierwiastki łykowe.

14. Poznaliśmy składniki histologiczne wiązek naczyniowych wogóle. Teraz wróćmy do typu roślin dwuliścieniowych i nagonasiennych, aby rozpatrzeć **przebieg** i dalsze losy pierwotnych **wiązek naczyniowych w łodydze.**

Wysepki, któreśmy poznali na przekroju poprzecznym wzię-

tym niedaleko od stożka wegetacyjnego, stanowią przekroje długich wiązek, idących od liścia. Są one dalszym ciągiem ich żeberek; nazywają je dlatego śladami liściowemi. Przebiegają one rozdzielnie w miąższu łodygi. Co się dzieje z niemi dalej?

Aby odpowiedzieć na to pytanie, zróbmy przekrój nieco niżej od poprzedniego, a dostrzeżemy na nim obraz przedstawiony na rys. 125. Widzimy tu, że w tkance zasadniczej, zapełniającej pierwotne promienie rdzeniowe, zaczynają dzielić się komórki leżące między każdą parą paseczków miazgi przegródkami równoległemi do obwodu. Powstające w ten sposób komórki przybierają charakter miazgi, tworzącej teraz zamknięty pierścień (*CC* — na przekroju poprzecznym; w rzeczywistości zaś walec wydrążony). Jest to miazga drugorzędowa, t. j. pochodząca nie z tkanki zarodkowej, lecz z tkanki, która przybrała była już ustalony charakter.



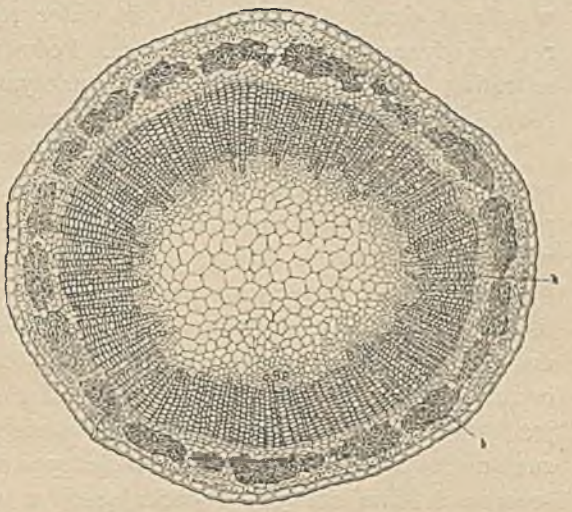
Rys. 125. Tworzenie się pierścienia miazgowego. *F* — wiązki naczyniowe, *MI* — pierwotne promienie rdzeniowe; *CE* — *CC* — pierścień miazgowy; *M* — rdzeń.

Komórki powstające z tego pierścienia (przez podział komórek miazgi) przekształcają się ze strony wewnętrznej na pierwiastki drzewne; z zewnętrznej na łykowe. Wskutek tego rozdzielne dotąd wiązki naczyniowe spajają się w jednę całość złożoną z trzech warstw pierścieniowych w przekroju, z trzech walców wydrążonych w rzeczywistości: walec drzewny obejmuje rdzeń; walec miazgowy idzie po nim; łykowy nazewnątrz.

W dalszym ciągu odbywa się ustawiczny przyrost na grubość pierścienia drzewnego, powodujący grubienie łodygi lub pnia; gdy tymczasem pierścień łyka zwiększa się w mniejszym stopniu na grubość, ponieważ nowotworzące się pierwiastki wciskają się między dawne, aby zadość uczynić potrzebie rozszerzania się jego w miarę rozsadzania przez grubiejący walec drzewny.

Gdy mamy do czynienia z rośliną jednoroczną, rzecz kończy

się na tem. Możemy teraz odtworzyć całą budowę łodygi rośliny dwuliścieniowej jednorocznej (a więc zielnej). Za przykład posłuży len (rys. 126). Na zewnątrz mamy tu jednowarstwowy naskórek ze spojonemi grubemi zewnętrznemi ściankami komórek, tworzącemi nadskórek. Dalej idzie tkanka zasadnicza o kilku warstwach komórek. Na jej granicy mieszczą się prążki grubościennych włókien łykowych (*b*), niegdyś przylegających do pierwotnego łyka zzewnątrz i ochraniających młode ślady liściowe; teraz pełniące funkcyę mechaniczną w postaci przerywanego pierścienia nazewnątrz pierścienia łykowego, idącego zaraz po nich. Dalej mamy złożoną z 2 — 3 rzędów komórek warstwę miazgi, otaczającej gruby, z grubościennych pierwiastków utworzony walec drzewny (*h*), zawierający w swojem wnętrzu rdzeń. Łatwo na tym przekroju wykryć pierwotne wiązki naczyniowe: drewno ich wrzyna się w rdzeń w postaci półwyspów, a naprzeciwko nich leżące wiązki grubościennego łyka zaznaczają miejsca, dokąd odsunięte zostało łyko pierwotne przez wciskające się nowe pierwiastki łykowe i drzewne.

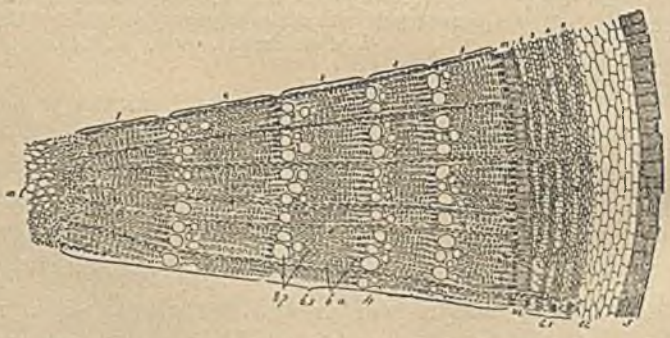


Rys. 126. Przekrój łodygi lnu. Nazewnątrz warstwa jednokomórkowa naskórka; dalej idzie pierścień tkanki zasadniczej, w której mieszczą się wysepki (prążki) grubościennych włókien łykowych (*b*), leżących naprzeciwko pierwotnego drewna; dalej pierścień łykowy i przedzielony od niego cienką warstwą miazgi pierścień drzewny (*h*), wewnątrz którego rdzeń. Wystające części drewna wchodzące w rdzeń są drewnem pierwotnych wiązek naczyniowych (ślady liściowe). Według Franka, pow. ok. 140.

Jeśli zrobimy przekrój podłużny łodygi w okolicy węzła, ujrzymy na nim jak od zwartego walca wiązek naczyniowych

oddzielają się poszczególne pęczki, aby wejść do liści. Posuwając się jeszcze dalej ku górze dojdziemy wreszcie do miejsca, w którem coraz to ścieńczający się walec rozdziela się na szereg pojedyńczych śladów liściowych. Posuwając się ku dołowi, natrafimy na miejsce, gdzie wiązki naczyniowe i inne tkanki łodygi przechodzą w odpowiednie systemata korzenia.

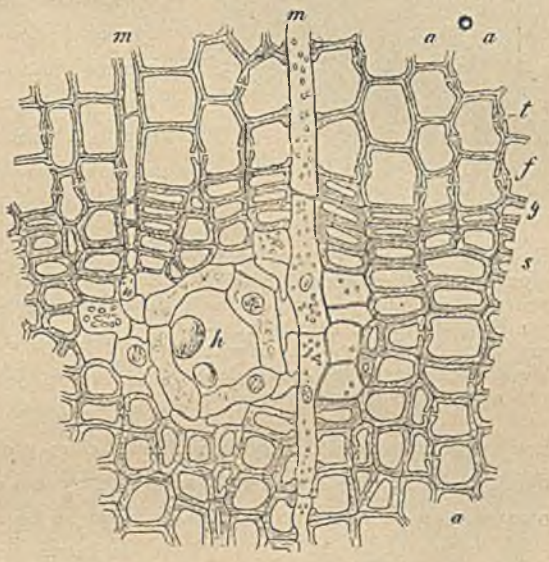
15. U roślin dwuliścieniowych wieloletnich (do których należą drzewa naszych klimatów) działalność miazgi trwa tylko przez czas wegetacyi, a ku końcowi jego, t. j. na jesieni, pierwiastki powstające z niej są coraz mniej szerokie i mniej zawierają naczyń. Przeciwnie na wiosnę, gdy rozwijają się pączki liściowe i zakładają się nowe liście, czynność miazgi jest bardzo energiczna: czynność ta jest wówczas niezbędną dla połączenia wszystkich nowopowstających liści z systematem drewna już istniejącym; a obfite zapotrzebowanie soków gruntowych znajduje swój odpowiednik morfologiczny w drewnie o szerszych średnicach komórkowych i obfitującem w naczynia. Wskutek tego granica jesiennego drewna od wiosennego widoczna jest wyraźnie na przekroju poprzecznym. Dzięki temu rozróżniamy **słoje roczne**, świadczące o wieku drzewa. Stosunek wzajemny pierwiastków histologicznych drewna jesiennego i wiosennego uwidocznia się na rys. 127 i 128: pierwszy daje pogląd ogólny



Rys. 127. Przekrój poprzeczny pnia kasztana pięcioletniego. 1, 2, 3, 4, 5 — oznaczają warstwy rocznego przyrostu drewna i łyka (ostatnie zawiera pierwiastki grubościenne). *m* — miazga; *bp* — drewno wiosenne; *ba* — drzewo jesienne; *ls* — warstwy łykowe; *ec* — tkanka zasadnicza; *s* — korek, który zastąpił naskórek; *ml* — rdzeń.

na budowę pnia drzewa wieloletniego; drugi szczegóły budowy drewna (u sosny,—gdzie składa się ono z samych tracheid).

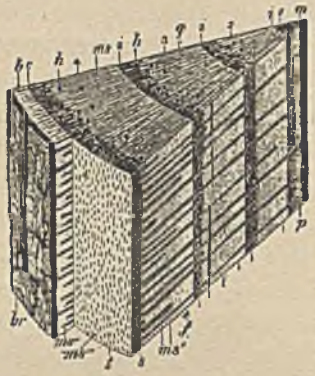
Po zamknięciu pierścienia drzewnego związek między komórkami miąższowemi drewna a tkanki zasadniczej byłby zupełnie przerwany, gdyby nie zapobiegały temu promienie rdzeniowe drugorzędowe. Są to szeregi komórek miąższowych, ciągnących się w kierunku promieni i wydłużonych w tym kierunku (rys. 128, *m*). Szeregi te mają najczęściej na grubość jednę a na wysokość kilka warstw komórek. Utrzymują one związek między miąższem łyka i drewna (t. j. żyjącemi komórkami tych utworów) a tkanką zasadniczą i prowadzą wodę z naczyń ku zewnętrznym warstwom, a materyały pożywne ku wnętrzu. Promienie rdzeniowe drugorzędowe zostają wytworzone przez działalność miazgi. Tylko najstarsze z nich (te, które stanowią przedłużenie pierwotnych promieni rdzeniowych) dosięgają rdzenia (który w starszych drzewach składa się zwykle z samych ścianek komórkowych); każdorocznie jednak zakładają się nowe, które sięgają tylko (od łyka) do warstwy rocznej, od której zaczęło się ich tworzenie (rys. 129).



Rys. 128. Przekrój sosny na granicy dwóch słojów rocznych. *f* — początek drewna wiosennego; *sg* — drewno jesienne (tracheidy); *t* — kropki obwódkowane; *m* — promienie rdzeniowe; *h* — przewód żywiczny (wśród miąższu drewnego). W *a* widać podwojenie szeregu pierwiastków drewna (tracheid) wskutek poprzedniego podłużnego rozdzielenia się komórki miazgowej. (Według Strasburgera, pow. 240).

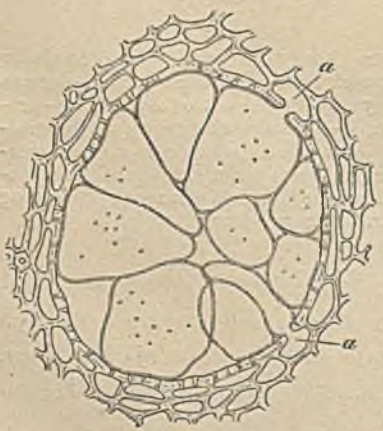
W pniach drzew wieloletnich tylko świeższa część drewna uczestniczy w funkcyi wodociągowej (biel). Starsze warstwy drewna, t. j. leżące bliżej rdzeni, ulegają chemicznym przeobra-

żeniom, czyniącym drewno ciemniejszem i opornem na wpływy niszczące (twardziel). Granicę bieli i twardzieli niekiedy łatwo bywa dostrzedz wskutek różnicy zabarwienia.



Rys. 129. Skrawek drewna sosny wykazujący słoje roczne i przebieg promieni rdzeniowych (*ms*). Jedne z nich dochodzą do samego rdzenia, inne kończą się u drewna pierwszo-, drugo- lub trzecioletniego (słabo powiększone).

Pierwiastki żywe (parenchyma) zamierają w twardzieli, wytwarzając poprzednio materyały, któremi nasiąkając sąsiednie pierwiastki, przybierając charakter i barwę właściwą. Substancye gumowe zapełniają lub zamykają rurki drzewne; pochodne zaś garbników tworzą barwniki (xylochromy) nasiąkające ścianki i zabezpieczające je od zniszczenia. One to nadają piękną barwę i techniczną wartość niektórym gatunkom drzew. Jedne z nich cenią się dla piękności i trwałości, jak heban (Diospyros), którego twardziel ma barwę czarną; inne służą do otrzymania barwników: z ciemno-czerwonej twardzieli drzewa kampechowego (Haematoxylon campechianum L.) otrzymuje się hematoksylina (skrawki tego drewna używane są do barwienia jaj wielkanocnych); z podobnież zabarwionego drzewa santałowego (Pterocarpus santalinus L.) otrzymują żółtą santalinę; z drzewa fernambukowego (Caesalpinia echinata Lam. i brasiliensis L.)—brazylinę; z Maclura aurantiaca Nutt.)—morynę.



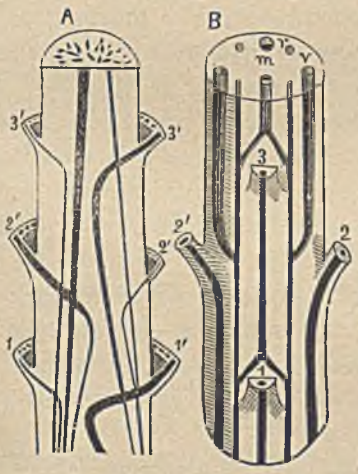
Rys. 130. Naczynie zapełnione komórkami zatyczkowemi. W *a* widać punkta, w których odbyło się wnikanie wyrostków komórek.

Do zatkania naczyń w twardzieli służą niekiedy substancye mineralne (węglan wapnia, krzemionka); odbywa się ono również przez wytworzenie we wnętrzu większych naczyń komórek pochodzących przez dzielenie się

wrastających (przez wypięcie błonki zamykającej kropek) części sąsiednich komórek miąższowych (tkanka zatyczkowa).

16. Odmienny jest układ wiązek naczyniowych w łodydze roślin jednoliścieniowych. Paseczek miazgi po wytworzeniu pewnej ilości pierwiastków łykowych i drzewnych przerywa tu dalszą czynność: komórki jego przestają dzielić się chociaż zachowują typową dla miazgi postać. Taką nieczynną miazgę nazwał Sanio kambiformem, a wiązkę nazywamy **zamkniętą** w przeciwności do otwartych (t. j. wciąż rozrastających się na grubość) wiązek roślin dwuliścieniowych i nagonasiennych. Każda z wiązek naczyniowych idzie tu bezpośrednio do jednego z liści, każda jest więc tylko śladem liściowym, a na przecięciu poprzecznem łodygi widzimy je rozrzucone bez żadnego widocznego porządku (rys. 131). Łyko tych wiązek nie zawiera miąższu łykowego.

Rys. 131. Przekrój poprzeczny pnia rośliny jednoliścieniowej.



Rys. 132. Przebieg wiązek naczyniowych (śladów liściowych) u jednoliścieniowych (*A*) i dwuliścieniowych (*B*). U pierwszych cały przebieg wiązek jest odosobniony; u drugich ślady liściowe (niżej niż to przedstawia rysunek) łączą się z zamkniętym walcem drewna.

Rys. 133. Wiązka naczyniowa jednoliścieniowych (kukurydzy — Zea Mais). *g*, *s*, *r* — naczynia (obrączkowe i siatkowate); *v* — rurki sitowe z włóknami przykomórkowemi; dalej ku górze — pierwiastki grubościenne łyka. (Pow. ok. 50).

Grubienie pnia odbywa się tu w sposób odmienny (i znacznie powolniejszy) niż u dwuliścieniowych. Warstwa tkanki zasadni-

czej, leżącej nazewnątrz wiązek (zwana niekiedy pericycle) zaczyna dzielić się przegródkami równoległemi do obwodu; powstające w ten sposób komórki miazgowe wytwarzają ku wnętrzu tylko pierwiastki miąższowe grubościenne, wśród których powstają wiązki naczyniowe zamknięte przedłużające się z jednej strony do nowych liści, z drugiej—do korzenia. Później dopiero komórki miazgowe zaczynają wytwarzać nazewnątrz zwykłą cienkościenną parenchymę.

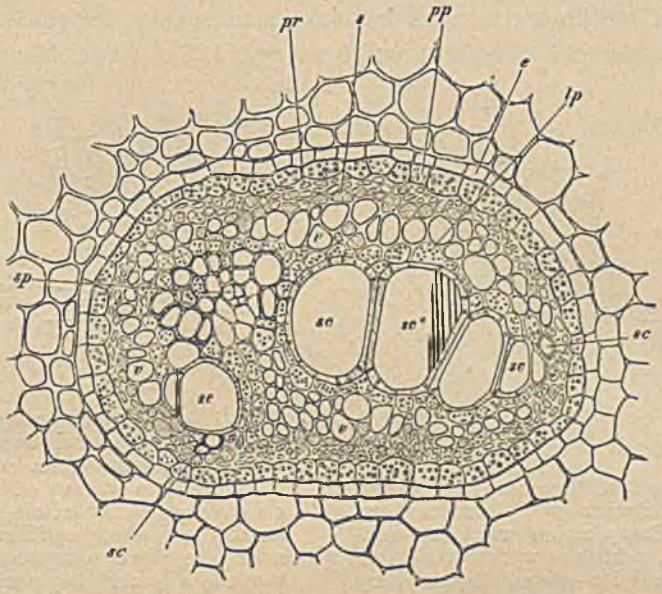
Wiązki naczyniowe dotąd opisane, czy to zamknięte czy otwarte nazywamy obocznemi (collaterales): drewno tu zawsze leży z jednej strony miazgi, łyko z przeciwnej. Spotykają się jednak rośliny (jak dyniowate — Cucurbitaceae), które mają prócz łykowych części leżących nazewnątrz inne łykowe części leżące ku wnętrzu. Takie wiązki nazywamy dwuobocznemi (bicollaterales).

17. Inny typ mają **wiązki naczyniowe paprotników** (paproci, skrzypów i widłaków). Tu wiązki naczyniowe mają wogóle budowę współśrodkową i są zamknięte.

Jeśli zrobimy przekrój poprzeczny przez łodygę paproci, dostrzeżemy nazewnątrz kilka warstw komórek grubościennych (często ciemno zabarwionych), pełniących rolę okrywy; dalej idzie tkanka zasadnicza zwykłego typu. W środku jej mieści się walec oddzielający się od tkanki zasadniczej warstwą komórek, tworzącą pochwę ochronną (endodermis) (rys. 134, *e*). Komórki te bywają często zabarwione i mają ściankę zwróconą ku wnętrzu zgrubiałą. Dalej mieści się niekiedy warstwa komórek zawierających obfite zapasy krochmalu (*pp*); potem idą pierwiastki łykowe (*v*—rurki sitowe, *s*—miąższ łykowy), otaczające pierścieniem współśrodkowym drewno, zajmujące środek (*sc* — naczynia drabinkowe, *lp* — miąższ drzewny, *sp* — tracheidy śrubowe).

Część łykowa wiązki wyróżnia się tu nieobecnością komórek przyrurkowych (brakujących także nagosiennym). W drzewnej części również daje się widzieć różnica co do pierwiastków w porównaniu z jawnokwiatowymi: przeważają tu tracheidy (nawet pierwsze założone pierwiastki trachealne są tracheidami śrubowemi—*sp*), z naczyń zaś występują jedynie drabinkowe, stanowiące niejako przejście (przez swoje skośne przegródki

z poprzecznemi równoległemi listewkami) od tracheid do naczyń właściwych.



Rys. 134. Wiązki naczyniowe paproci orlej (pteris aquilina). *e* — endodermis; *pp*—warstwa komórek z mączką; *v*—rurki sitowe; *s*—miąższ łykowy; *sc*—naczynia drabiaste (u *sc** część skośnej ścianki): *lp*—miąższ drzewny; *sp*—najpierwsze naczynia śrubowe (tracheidy).

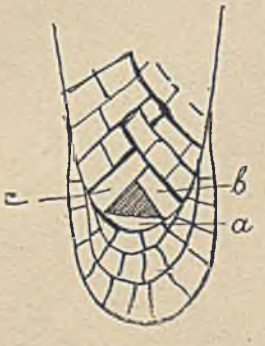
18. Budowa korzenia przedstawia wiele osobliwości w porównaniu z łodygą.

Wiemy już, że naskórek korzenia różni się brakiem nadskórka (epiblema), oraz, że pojedyńcze jego komórki wyrastają we włośniki. O tych utworach i ich czynności fizyologicznej wypadnie nam mówić przy odżywianiu rośliny.

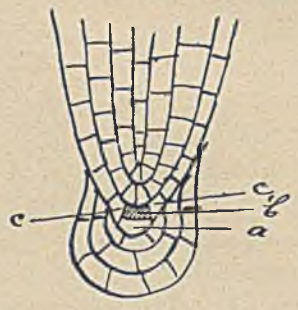
Drugą osobliwością korzenia jest ta, że okryty bywa osobnym utworem ochraniającym koniec jego rosnący, a złożony przeto z delikatnej tkanki twórczej. Jest to czepiec (*ac* na rys. 135). Powstaje on u bezkwiatowych dzięki temu, że czworościenna komórka wierzchołkowa korzenia, prócz trzech kolejno idących odcinków bocznych, wytwarzających tkanki samego korzenia (podobnie jak w łodydze *ab* rys. 135) daje jeszcze czwarty równoległy do wypukłej dolnej jej ścianki. Komórki w ten sposób oddzielające się po sobie dzielą się następnie przegródkami

poprzecznemi, a rozrastające się w ten sposób warstwy komórek tworzą czepiec.

U roślin kwiatowych komórką macierzystą czepca jest jedna z komórek dermatogenu (*b* na rys. 136). Oddziela ona na



Rys. 135. Tworzenie się czepca u bezkwiatowych. Komórka wierzchołkowa zacieniowana; *a* — odcinek, z którego wytwarza się czepiec; *b* i *c*—odcinki, dające początek tkankom korzenia.



Rys. 136. Schemat rozwoju czepca u roślin kwiatowych; *b* — komórka macierzysta czepca oddzielająca boczne odcinki *c* i c_1 (idące na utworzenie naskórka) za pomocą antiklinicznych przegródek, następnie zaś komórkę *a* (przegródką periklinicznę), z której powstaje czepiec.

strony komórki (cc_1), tworzące naskórek, u dołu zaś (przegródką periklinicznę) komórkę *a*, która następnie dzieli się jeszcze raz przegródką periklinicznę, następnie zaś antiklinicznemi, wytwarzając idące po sobie warstwy czepca.

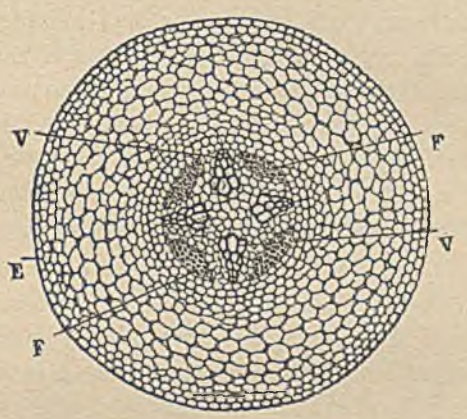
W miarę tego jak u nasady czepca wytwarzają się młode komórki, starsze, stykające się z gruntem, ulegają e x f o l i a c y i, t. j. oddzielają się od siebie i zasychają. Exfoliacya jest zupełna u nagonasiennych i jednoliścieniowych: korzeń ich z czasem traci czepiec i zostaje obnażony. U dwuliścieniowych jest ona tylko częściową; korzeń ich zostaje wciąż okryty czepcem [1]).

Pod warstwą epiblemy znajdujemy w korzeniu tkankę zasadniczą (oczywiście bezchlorofilową), w środku zaś walec wiązek naczyniowych. Wiązki te otoczone są jednowarstwową p o c h w ą o c h r o n n ą (e n d o d e r m i s). Błony komórek tworzą-

[1]) Na rys. 91 *i* przedstawia wewnętrzną młodą część czepca; *a*—starszą ulegającą exfoliacyi

cych ją zaopatrzone są w paseczek środkowy plisowany i kutynizowany, zwiększający ich spójność i oporność. Dalej idzie jedna warstwa (rzadko dwie lub więcej) komórek miąższowych, tworzących obwódkę (péricycle) (pericambium Nägeli'ego). We wnętrzu mieszczą się same wiązki.

Jeżeli badamy bardzo młodą część korzenia, dostrzeżemy, iż wiązki łykowe leżą tu naprzemian z drzewnymi (rys. 137, *F* i *V*); przytem pierwsze naczynia drzewne nie powstają od środka (jak w łodydze), lecz od obwódki, późniejsze zaś i coraz szersze ku środkowi. W środku często znajduje się rdzeń.



Rys. 137. Przekrój poprzeczny korzenia. *E*—naskórek (assise pilifère); dalej—tkanka zasadnicza (kora pierwotna), pochwa ochronna i obwódka (péricycle); *V*—wiązki drzewne; *F*—wiązki łykowe.

Przy późniejszem grubieniu korzenia u nagonasiennych i dwuliścieniowych paseczek miazgi wytwarza się w tkance zasadniczej otaczającej wiązki; przebiega on wężykowato, okrążając łyko z wewnętrznej, drewno zaś z zewnętrznej strony [1]). Gdy więc rozpocznie się jego działalność—tworzenie drugorzędowych warstw drewna i łyka—pierwiastki drewna nie będą stanowiły kontynuacyi drewna pierwotnego, lecz będą leżały naprzemian z nim, a naprzeciwko dawnego łyka; przeciwnie łyko drugorzędowe będzie się nakładało na pierwszorzędowe. W kierunku ku pierwotnemu drewnu przebiegają często szerokie promienie rdzeniowe, odpowiadające wysepkom pierwotnego drewna. Staje się to w tych wypadkach, gdy czynność miazgi jako takiej ogra-

[1]) Chociaż cały ten pierścień przybiera charakter merystemy drugorzędowej, lecz nie zawsze na całym obwodzie wytwarza pierwiastki wiązek naczyniowych.

nicza się do wewnętrznej strony łyka, leżące zaś nazewnątrz drewna komórki merystemy drugorzędowej wytwarzają pierwiastki miąższowe tkanki zasadniczej; lub też powstaje zwarty walec drewna, jeśli cały pierścień miazgowy czynny jest jak w wiązkach, t. j. wytwarza ku wnętrzu drewno, nazewnątrz łyko [1]).

Korzenie boczne powstają przez podział komórek obwódki (pericyklu): komórki te dzielą się przegródkami tangencyalnemi (równoległemi do obwodu) i wytwarzają warstwy zarodkowe (dermatogen, periblemę i pleromę) młodego korzenia, który toruje sobie drogę przez korę pierwotną i naskórek starego. Tak więc rozgałęzienia korzenia są endogeniczne (wewnątrz powstające), w przeciwności do rozgałęzień łodygi, powstających z zewnętrznych warstw (exogenicznych).

Grubienie korzeni roślin jednoliścieniowych odbywa się według tego typu co i grubienie łodygi w tej gromadzie.

19. Zostaje nam jeszcze dla uzupełnienia obrazu budowy wewnętrznej w zastosowaniu do całego królestwa roślin powiedzieć słów kilka o mikroskopowej budowie gromady, stojącej na pograniczu między plechowcami a roślinami naczyniowemi. Dotknęliśmy już zlekka budowy pierwszych. Można zaznaczyć wogóle, że o ile kształty zewnętrzne nawet jednokomórkowych (raczej bezkomórkowych) plechowców mogą przybierać pozornie wygląd członków roślin wyższych (jak np. u wodorostów morskich—Caulerpa, lub wielokomórkowych—Hydrolapathum—rys. 138), o tyle budowa mikroskopowa nie wykazuje tu dalej posuniętego zróżniczkowania komórek. Widzieliśmy, że już w niciach komórkowych (R. VIII, § 8) różnice kształtu i funkcyi mogą objawiać komórki końcowe nici; w płaszczyznach—komórki brzeżne (zwłaszcza w rodzinach komórkowych, jak pediastrum, rys. 84). W ciałach komórkowych ujawniać się może podobnież zróżniczkowanie między warstwą zewnętrzną

---

[1]) Zawiązki tkanek korzenia widoczne są na rys. 91. Środkowy stożek *fmg* tworzy tu pleromę; *m*—są komórki dające początek rdzeni; *f*—zawiązek pierwiastków drewna; *g*—naczynia; *xr*—kora pierwotna (tkanka zasadnicza) powstająca z periblemy — uwydatniają się w niej przestwory międzykomórkowe; *ee*—naskórek (periblema) powstający z dermatogenu; *v*—zgrubiała jego ścianka zewnętrzna (kukurydza, Zea Mais).

(korową) a wewnętrzną, jak to zwłaszcza występuje u r a m i e n n i c (C h a r a c e a e).

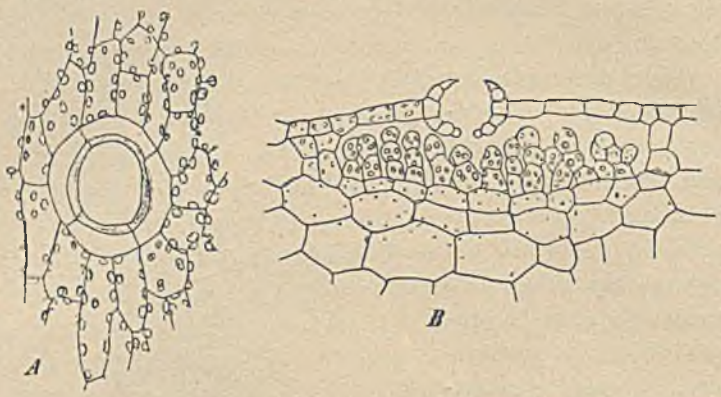
Dalej posunięte jest zróżniczkowanie u w ą t r o b o w c ó w. Plecha płaska tych roślin (rys. 139) zawiera w sobie jamy oddechowe, w których mieszczą się odrębnego kształtu komórki chlorofilowe. Warstwa powierzchowna komórek zaopatrzona jest w osobliwego kształtu szparki, zwane tu o t w o r k a m i o d d e c h o w y m i. Odrębny kształt mają komórki c h w y t n i k ó w, pełniących czynność korzenia— wydłużone i pozbawione chlorofilu.

Jeszcze dalej posuwa się zróżniczkowanie u mchów liściowych. Na przekroju poprzecznem ulistwionej osi układ komórek przypomina budowę łodygi roślin naczyniowych (rys. 140): widzimy tu węższe komórki warstwy korowej; szersze jakby tkanki zasadniczej i znów wewnątrz wyróżnia-

Rys. 138. Hydrolapathum sanguineum. $^1/_2$ wielkości natur. Plecha tego wodorostu utworzona z jednostajnych komórek, ma rozczłonkowanie zewnętrzne o wyglądzie łodygi, liści i korzeni roślin naczyniowych.

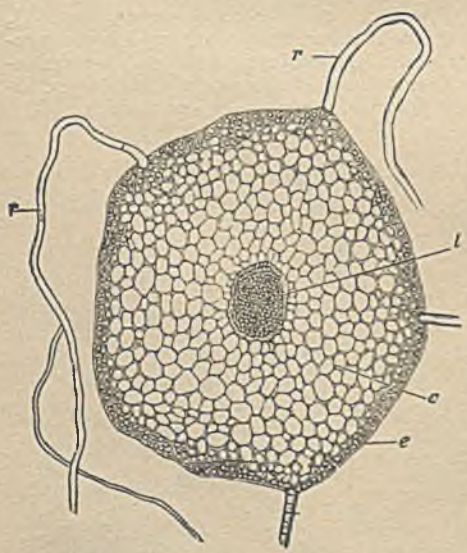
Rys. 139. Porostnica wielokształtna (M a r c h a n t i a p o l y m o r p h a). Wygląd zewnętrzny plechy z nóżkami rodniowemi.

jące się małą średnicą i regularnym układem komórki wiązki, której funkcya fizyologiczna jest ta sama, co i wiązek naczy-



Rys. 140 Widok z powierzchni *(A)* i przecięcie *(B)* otworku oddechowego porostnicy (Marchantia polymorpha). W *B* widoczna jest jama oddechowa i umieszczone w jej wnętrzu komórki chlorofilowe (pow. 240).

niowych roślin wyższych. Jednak przekrój podłużny przekonywa, że nie ma w niej ani naczyń, ani tracheidów. Są to istotnie komórki plazmatyczne, mające tylko kształt wydłużony, a w ten sposób przystosowane bardziej do przenoszenia wody, która ma dzięki temu mniej przegródek do przebycia. Podobnież szeregi komórek dają się widzieć na liściach, gdzie naśladują żeberka. Tak więc drogą stopniowych przejść przygotowywa się to zróżniczkowanie komórek w tkanki i ich systemata, które ukazuje się dopiero u roślin mających prawdziwe korzenie.



Rys. 141. Przecięcie poprzeczne osi mcha liściowego (Mnium undulatum); *l*—wiązka komórek wodonośnych; *c*—komórki środkowe z przestworami międzykomórkowemi; *e*—korowe; *r*—chwytniki; *f*—nasada liścia (pow. 90).

ROZDZIAŁ X.

Przedmiot i zadania fizyologii.

1. Mówiąc o komórkach, jako pierwiastkach histologicznych, porównaliśmy je do cegiełek, z których zbudowana jest roślina. Znajomość z tkankami pozwala nam posunąć dalej to porównanie. Jak w budowli oprócz cegieł mamy inne składowe części: belki, deski, rury wodociągowe i gazowe — tak w roślinie mamy oprócz komórek—włókna, naczynia i t. d. Nie czyni to jednak ujmy twierdzeniu, że cała roślina jest wytworem komórek, a ostatecznie powstaje z jednej komórki; wszystkie bowiem tkanki stałe pochodzą, jak widzieliśmy, z komórek tkanki twórczej. Możemy więc teraz powiedzieć dokładniej, że roślina składa się z komórek lub utworów komórkowych, a takie zapatrywanie się na te składowe części, jako na prosty materyał budowlany, jest punktem widzenia anatomicznym.

Stanowisko anatomiczne nie wyczerpuje jednak roli komórek i tkanek. Cegła wchodząca w skład gmachu nie wykonywa żadnej innej czynności, prócz tego, że podpiera leżącą na niej inną cegłę, a gdy się skruszy od czasu i powietrrza, zostaje zastąpiona przez inną ręką ludzką. W roślinie większa część komórek ulega ciągłym zmianom; jedne ciała pochłaniają one, inne wydzielają: są ciągle żywe i ciągle czynne. Wreszcie zniszczone komórki zostają zastąpione przez inne nie z zewnątrz, nie jakąś obcą ręką, ale czynnością innych komórek tej samej rośliny. Ze stanowiska tych czynności możemy porównać komórki i tkanki do pojedyńczych części jakiejś wielkiej fabryki

chemicznej. Przetwory wyrabiane w jednych komórkach lub kotłach płyną rurami do innych, w których ulegają dalszej przeróbce i t. d. Lecz fabryka taka otrzymuje z zewnątrz materyał surowy, a wydala na zewnątrz wyrobiony przetwór. Roślina również otrzymuje z zewnątrz materyał surowy w postaci gazów powietrza i soków ziemi, a materyał ten nazywamy pożywieniem rośliny, gdyż idzie on nie na wytworzenie jakiegoś wydalonego z rośliny przetworu, lecz zużytkowywa się dla celów samej rośliny. I to więc stanowisko fizyologiczne nie wyczerpuje życia rośliny, jak nieścisłem jest porównanie jej do fabryki.

Ażeby mieć całkowite wyobrażenie o życiu rośliny, powinniśmy dwa poprzednie sposoby zapatrywania się uzupełnić trzecim.

Dokąd idzie ten materyał, który wytwarza się z produktów surowiczych, t. j. z pożywienia rośliny?

Idzie na utworzenie samego materyału rośliny i tem się różni organizm żywy od budującego się domu, do którego materyał budowlany jest z zewnątrz dowożony i obcą siłą układany na miejsce; tem różni się od maszyny, która, będąc czynną, wyrzuca na zewnątrz swój wyrób, a do naprawienia zużytych lub zniszczonych części, potrzebuje pomocy zewnętrznej. Materyał ten potrzebny jest na to, aby komórki mogły wzrastać, a zatem dzielić się, t. j. wytwarzać nowe komórki; a wywiązana przy zużyciu części tego materyału energia, idzie na wykonanie wszystkich potrzebnych prac: podnoszenia wody, poruszania części, wytwarzania pewnych kształtów i t. d. Roślinę porównać możemy do domu, który sam wytwarza materyały budowlane i sam je w budowlę układa. Ale materyał chemiczny przyswojony przez roślinę, wtedy tylko staje się jej ciałem, jeśli poprzednio przybrał kształt komórek lub innych utworów komórkowych. Ta właśnie czynność plastyczna, kształtotwórcza rośliny, wyróżnia ją przedewszystkiem od tworów nieorganicznych, pozbawionych życia i dlatego trzecie stanowisko, z którego na rośliny zapatrujemy się, nazwać możemy morfologicznem.

Ażeby wyjaśnić lepiej tę stronę czynności komórek, wróćmy do naszego porównania z cegiełkami. Wystawmy sobie cegiełkę, obdarzoną własnością dzielenia się taką, jaką poznaliśmy

u komórki, t. j. tak, że po każdem rozdzieleniu się połówki cegiełki dorastają do pierwotnej wielkości.

Wystawmy sobie teraz, że taka cegiełka dzieli się przegródką poprzeczną i każda z nowopowstałych dzieli się znowu w tym samym kierunku; po kilku podziałach otrzymamy pas cegieł zetkniętych węższemi stronami. Jeśli kierunek dzielenia będzie również wciąż jednakowy, ale prostopadły do poprzedniego, otrzymamy pas cegieł, zetkniętych szerokiemi stronami. Łącząc razem obydwa sposoby (każda cegiełka będzie się dzieliła raz podłużnie, raz poprzecznie) — otrzymamy całą płaszczyznę cegieł; wreszcie jeśli dodamy do tego podziały na grubość, możemy otrzymać stos cegieł. Łącząc rozmaite kierunki podziałów z niejednostajnem wyrastaniem połówek po rozdzieleniu, możemy otrzymać najrozmaitsze formy krzywe. W taki sposób obdarzając tylko cegiełkę początkową własnością dzielenia się, możemy sobie łatwo wyobrazić, jak z jednej cegiełki powstanie sam przez się cały gmach z łukami, kolumnami, sklepieniami; ale trzeba, żeby plan tego gmachu był już niejako zgóry nakreślony w cegiełce pierwotnej, jako porządek i kierunek wszystkich podziałów, oraz następnego wyrastania komórek, co nie wyklucza oczywiście możliwych zmian tego planu pod wpływem warunków zewnętrznych, a nawet wprowadzenie jego w życie przez te warunki.

Gdyby wszakże dzielenia i wyrastania komórek zależały tylko od warunków zewnętrznych, nie moglibyśmy sobie wytłómaczyć zadziwiającej stałości kształtów każdego gatunku rośliny. Zobaczymy dalej, że w budowie rośliny nietylko przewidziane są te wszystkie dzielenia, ale przewidziane są i zboczenia od pierwotnego planu w pewnych granicach, stosownie do osobliwości warunków zewnętrznych, w jakich się znajdzie roślina. A nietylko jajo, lecz do pewnego stopnia każda komórka tkanki twórczej posiada te własności cudowne. Komórki, z których wyrastają liście, pączki kątowe i t. d., mają jakby zakreślony w sobie plan tych części roślin, które są (jak gałąź) niejako powtórzeniem kształtu całej rośliny.

Stosunek tych wewnętrznych właściwości rośliny, tych tkwiących w niej możliwości do warunków zewnętrznych, granice zmienności pod wpływem tych warunków, przewaga jednego

lub drugiego z tych czynników są przedmiotem nowej rozwijającej się gałęzi badań, którą nazywają nauką o morfozach.

2. Poznaliśmy już fizyologię komórki, jako utworu pędzącego życie niezależne (R. III i IV). Przedmiotem następujących rozdziałów będzie życie całokształtów utworzonych z tych organizmów elementarnych, życie całej rośliny złożonej, rośliny wyższego typu.

Cóż nazywamy życiem?

Życie jest objawem pewnych sił, a siłą nazywamy to, co może spowodować ruch. Siłą nazywamy przyciąganie magnesu, gdyż kawałek żelaza porusza się, za zbliżeniem magnesu, dążąc ku ostatniemu; siłą nazywamy przyciąganie ziemi, bo kamień porusza się pod wpływem tego przyciągania, spadając na ziemię. Mówimy, że sprężyna zegarowa posiada siłę, dlatego, że porusza mechanizm zegarowy. Wszystko to, co zostaje wprawione w ruch przez siłę, nazywamy materyą. Ale prócz tych ruchów, które łatwo dostrzegamy, istnieje cały szereg innych, o których tylko drogą rozumowania możemy coś wiedzieć.

Fizycy przypuszczają (a przypuszczenie to nie jest dowolnem, lecz z koniecznością nasuwa się przy rozważaniu zjawisk natury), że wszystkie ciała składają się z bardzo drobnych cząsteczek, tak małych, że najsilniejsze powiększenia naszych mikroskopów nie dają możności widzenia ich. Cząsteczki te, zostając pod wpływem rozmaitych sił, są w ustawicznym ruchu. Kawałek żelaza, zupełnie nieruchomy dla oka zwyczajnego spostrzegacza, rozkłada się przed wzrokiem duchowym fizyka na miliardy takich cząsteczek, z których każda odbywa określone, bardzo prędkie ruchy. Ruchy te, nieprzystępne oku, dają się poznać w innej formie zmysłom naszym: jedne ciała sprawiają wrażenia ciepła przy dotykaniu, inne się świecą, inne znów okazują zjawiska, które nazywamy elektrycznemi i t. d. Wszystkie te oddziaływania na zmysły nasze tłumaczy fizyka przez rozmaite rodzaje ruchów cząsteczek ciał, lub też innej jeszcze subtelniejszej substancyi, napełniającej zarówno przestrzeń między cząsteczkami ciał, jak i między ciałami niebieskiemi, przenikającej cały wszechświat, a którą nazywamy eterem.

Badając bliżej życie rośliny, odkryjemy w niej rozmaite formy ruchów, z których jedne—zwracanie się liści ku światłu,

wzrost, podnoszenie się soków i t. d. są przystępne dla oka, inne zaś objawiają się w postaci tych sił fizycznych, o których wyżej mówiliśmy, a które uważamy za ruchy najdrobniejszych cząsteczek materyi, jak ciepło, światło i t. d. Wszystkie te ruchy składają się razem na życie.

Ale ruch przypuszcza coś, co jest w ruchu, t. j. cząsteczki czyli materyę rośliny. Poznanie więc życia rośliny polega na poznaniu tych dwóch składników: materyi (materyału), z której zbudowana jest roślina i sił w niej czynnych. Fizyologia rośliny jest jej fizyką i chemią.

Podpalmy kawałek drzewa lub jaką inną wysuszoną część rośliny. Przy spaleniu wywiązuje się ciepło, a po spaleniu zostanie węgiel. To proste doświadczenie, które się tak często powtarza, że nie zwraca na siebie uwagi ogółu, staje się dla naturalisty podstawą do szeregu bardzo ważnych wniosków. Rozważmy więc je ze stanowiska przyrodniczego.

Zkąd powstaje ciepło? zkąd bierze się węgiel?

Odpowiedź na te dwa pytania da nam możność zajrzeć w istotę sił i materyi, wchodzących w skład rośliny.

Zacznijmy od ciepła. Kiedy tworzy się ciepło?

3. Prócz palenia rozmaitych ciał, możemy otrzymać ciepło i w inny sposób. Wiadomo, że najdawniejszym sposobem otrzymania ciepła było tarcie o siebie dwóch kawałków suchego drzewa. Połóżmy monetę na kowadle a uderzajmy w nią młotem: moneta wkrótce ogrzeje się do tego stopnia, że nie będziemy w stanie utrzymać jej w ręku. Ten sposób otrzymania ciepła zdaje się tak odmiennym od sposobu, w jaki ono powstaje zwykle w piecach naszych, że trudno przypuszczać między niemi jakiekolwiek podobieństwo. Zobaczymy niebawem, że niema tu tak wielkiej różnicy, jak się wydaje.

Zastanówmy się tymczasem bliżej nad ciepłem, powstającem przez tarcie lub uderzenie. Wspólnem w tych obu zjawiskach jest, że przyczyną ciepła jest ruch: ruch kawałków drzewa, ruch młota. Wogóle gdziekolwiek ruch jest raptownie wstrzymany, tam wywiązuje się ciepło. Kawałek ołowiu rzucony z pewnej znacznej wysokości (którą fizyk może łatwo obliczyć) ogrzeje się, uderzając o ziemię, do tego stopnia, że się stopi.

Znamy również przykłady, gdzie ciepło zamienia się w ruch: w machinach parowych ciepło wywiązane przez spalenie węgla, wprawia w ruch rozmaite przyrządy i może wykonać pracę. Więc ruch (czyli praca) może się zamienić na ciepło i odwrotnie ciepło może dać ruch i wykonać pracę.

Nic więc dziwnego, że fizycy wpadli na myśl uważać i samo ciepło za pewien rodzaj ruchu—ruchu najdrobniejszych cząsteczek ciał. Ruch młota spadającego na monetę, zostaje przez nią wstrzymany: moneta sama nie wykazuje żadnego ruchu dla oka; lecz dotknięcie ręki świadczy, że moneta się ogrzała. Ruch młota udzielił się najdrobniejszym cząsteczkom metalu, a drganie tych cząsteczek sprawia na dotyk wrażenie ciepła.

Niejednemu przypuszczenie to może wydać się bardzo ryzykownem. Ciepło, które znamy tak dobrze z wrażeń codziennych, które przeciwstawiamy zimnu, jest tak odmienne od ruchu, że nie możemy sobie w żaden sposób wyobrazić, aby stanowiło z nim jedno. Nie należy jednak mieszać fizycznego pojęcia o ciepliku z naszem uczuciem ciepła, które jest zjawiskiem psychologicznem (duchowem). Ciepło fizyków jest przyczyną pewnego szeregu zjawisk, które nazywamy cieplikowemi lub termicznemi. Jest to przyczyna, powodująca rozszerzanie się rtęci w termometrze, zamianę wody na parę, topienie się metali i t. d. A ponieważ wszystkie te zmiany fizyka uważa za objawy ruchu, więc i przyczyną ich również powinien być ruch.

To zaś, co my nazywamy ciepłem, t. j. uczucie ciepła, jest tylko pewnem oddziaływaniem naszego organizmu, naszych nerwów i naszego umysłu na te ruchy, które fizycy nazywają cieplikowemi. Uczucie ciepła powstaje w nas za dotknięciem ciał, których cząsteczki posiadają pewne prędkie drgania, tak samo jak w nas powstaje ból przy ukłuciu igłą. Jak ból nie tkwi w igle, tak i uczucie ciepła nie znajduje się w przedmiotach zewnętrznych, ale zostaje przez nie w nas wywołanem. Widzimy więc, że umiejętny sposób pojmowania ciepła nie tworzy żadnej nowej zagadki w przyrodzie: cała zagadkowość zjawiska polega na tem, w jaki sposób drgania cząsteczek wywołują w świadomości naszej uczucie ciepła? Ale to pytanie nie należy już do zakresu fizyki.

Przejdźmy teraz do drugiego sposobu otrzymania ciepła, bliżej nas interesującego.

Palenie się ciała nazywamy sprawą chemiczną, a ciepło przy tem wywiązane—ciepłem powstającem wskutek zmian chemicznych.

Gdybyśmy oprócz węgla, pozostającego po spaleniu, zebrali i tworzące się przy tem gazy (dym), przekonalibyśmy się, że składają się one z kwasu węglowego i pary wodnej, a zważywszy dym i pozostały węgiel, znaleźlibyśmy, że ciężar ich razem wzięty, przewyższa ciężar spalonego drzewa. Wnosimy stąd, że podczas palenia się coś dodało się do zawartej w drzewie materyi, a ten dodatek mógł pochodzić tylko z powietrza. Dodatkiem tym jest istotnie gaz, zawarty w powietrzu, podtrzymujący zarówno palenie jak i oddychynie, t. j. tlen. Chemicy posiadają sposoby rozkładania rozmaitych ciał, tak mogą oni rozłożyć kwas węglowy i wodę, a otrzymują przytem z pierwszego: węgiel i tlen; z drugiej—tlen i inny gaz—wodór. Ale ani tlenu, ani węgla dalej już rozłożyć nie można. Ciała takie, które się nie poddają dalszemu rozkładowi, nazywamy pierwiastkami chemicznemi; te pierwiastki łącząc się z sobą, dają związki czyli ciała złożone. Jeżeli więc po spaleniu drzewa otrzymujemy związki tlenu z węglem i wodorem, wnosimy stąd, że te dwa pierwiastki zawarte były w roślinie. Ich to połączenie się z tlenem wywiązało ciepło; ciepło to więc nazywamy otrzymanem drogą chemiczną. Ażeby zrozumieć jaki związek istnieje pomiędzy powstawaniem ciepła przy sprawach chemicznych, a tworzeniem się jego drogą mechaniczną (t. j. przez uderzenie lub tarcie), powinniśmy wyjaśnić sobie znaczenie pewnej bardzo doniosłej zasady fizycznej.

4. Wszelka siła może wykonać pracę i to tem większą, im większa jest siła. Pracę mierzymy iloczynem z siły przez drogę, na jakiej jest czynną, t. j. przezwycięża opory.

Wystawmy sobie wielki zbiornik wody umieszczony na pewnej wysokości, a posiadający u spodu otwór z klapą, za pomocą którego możemy regulować wypływ wody. Siłę spadającej wody możemy zużytkować, puszczając jej strumień na koło młyńskie. Ruch wody wytwarza wówczas pracę. Możemy zmniejszyć lub zwiększyć strumień wody za pomocą klapy, młyn bę-

dzie się poruszał prędzej lub wolniej, a ilość zmełtego zboża będzie zawsze odpowiadała ilości wody, która wypłynęła, niezależnie od tego, czy wypływa prędzej, czy wolniej. Gdy wszystka woda wypłynie ze zbiornika, powinniśmy go znowu napełnić, podnosząc wodę (np. wiadrem) do wysokości zbiornika. Musimy więc wykonać pracę równą iloczynowi z ciężaru wody (P), t. j. siły stosowanej do jego podniesienia, przez drogę, t. j. wysokość (h), na jaką podnosimy ten ciężar.

Przypuśćmy, że nasz zbiornik stał na wysokości 10 metrów; chcąc sobie zaoszczędzić pracy noszenia, obniżamy go na 5 metrów: teraz potrzebna jest tylko połowa tej pracy do napełnienia rezerwuaru, co poprzednio. Ale gdy wprawimy w ruch młyn, okaże się, że ilość zmełtego zboża będzie również o połowę mniejszą. Woda, spadająca z wysokości dwa razy mniejszej, może wykonać dwa razy mniejszą pracę przy tej samej ilości wody. Woda na powierzchni ziemi, nie mogąca spadać, nie wykona żadnej pracy.

Zdolność wykonania pracy nazywamy energią. Woda nalana do rezerwuaru wzniesionego posiada więc energię. Możemy tę energię zużytkować, otwierając klapę; możemy ją przechować przez dłuższy czas, utrzymując zapas wody podniesionej. Taka utrzymywana w zapasie energia nazywa się potencyalną (możliwą): woda w rezerwuarze może wykonać pracę, skoro tylko otworzymy klapę. Przeciwnie energię spadającej wody nazywamy czynną czyli cynetyczną.

Zkąd pochodzą te dwa rodzaje energii? Oczywiście źródłem ich jest zawsze jakaś siła. Woda w zbiorniku zostaje pod wpływem przyciągania ziemi, cięży na zbiornik, ale dno zbiornika przeszkadza jej wypływowi. Siła jest tu w stanie napięcia, nie może wywołać ruchu, gdyż inne siły (opór dna) stają temu na przeszkodzie. Energia potencyalna istnieje tam, gdzie są siły w napięciu; nakręcona sprężyna zegarowa, naciągnięty łuk, podniesiony ciężar—posiadają energię potencyalną, a takie położenie ciała, w którem ono posiada energię potencyalną, nazywamy położeniem korzystnem. Woda na wysokości ma położenie korzystne.

Jeżeli działanie siły nie napotyka na przeszkody, ciało zo-

staje wprowadzone w ruch i ten ruch przy spotkaniu może się udzielić innym ciałom. Energia cynetyczna jest siłą czynną, pracą urzeczywistnioną przez ruch.

Pomiędzy temi dwoma rodzajami energii istnieje stały stosunek: woda w zbiorniku może wykonać tyle pracy, ile jej włożyliśmy, podnosząc pewną ilość wody do pewnej wysokości. Innemi słowy: energia potencyalna ciała, znajdującego się w korzystnem położeniu, równa jest tej energii czynnej, jaką zużytkowaliśmy na nadanie mu położenia korzystnego. Prawo to nazywamy zasadą zachowania energii. Wykazuje ono, że energia nie może ani powstać z niczego, ani zniknąć bez śladu: w jednych przemianach przechodzi ona z formy utajonej (potencyalnej) w jawną (czynną); w innych przeciwnie. Ale suma energii czynnej, którą możemy otrzymać w drugim wypadku, nigdy nie przewyższa tej, jaką włożyliśmy w pierwszym.

Może się wydać niekiedy, że energia potencyalna powstaje jakby z niczego. Lawina leżąca na szczycie góry zawiera ogromną ilość energii potencyalnej, która przy spadaniu lawiny zamienia się na czynną, sprawiając straszną pracę spustoszenia. Kto wyniósł lawinę na położenie korzystne? Kto nagromadził w niej ową niezmierną energię potencyalną? Bliższe zastanowienie się wykazuje, że czynnikiem tu były promienie słoneczne. Ciepło słońca zamieniło wodę na lekką parę, która, unosząc się w wyższe warstwy powietrza, osiadła w postaci śniegu na szczytach gór, a spadając z niej, czy to w postaci lawiny, czy potoków górskich i rzek do morza, wykonać może tyle pracy, ile włożyły w nią promienie słoneczne. Cała kula ziemska jest olbrzymią machiną cieplikową, wprawianą w ruch przez słońce. Praca słońca podnosi do góry i stawia w położeniu korzystnem ogromne masy wody, które, powracając łożyskami rzek do oceanów, wykonywają kolosalną ilość pracy: unoszą statki, drążą lądy, wprawiają w ruch młyny i t. d.

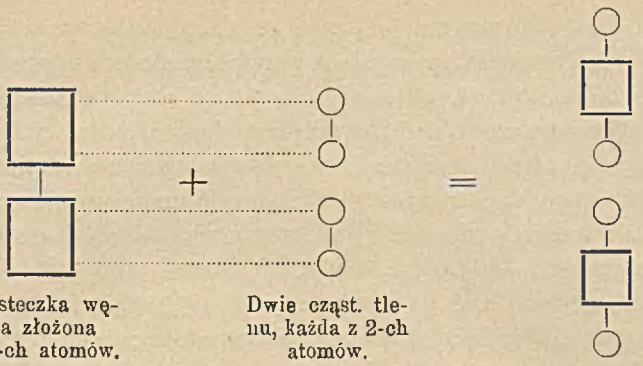
Ciepło bowiem może wykonać pracę, a najlepszym tego dowodem są machiny parowe. Widzieliśmy, że ciepło jest ruchem cząsteczek ciał; ciepło jest więc energią czynną. Skoro zatem roślina może wytworzyć przy spaleniu ciepło, to znaczy,

że materya jej, t. j. cząsteczki stanowiące roślinę, znajdują się w położeniu korzystnem, posiadają energię potencyalną, siły w napięciu. Jak wytłumaczymy sobie tę potencyalną energię materyi roślinnej?

Jak fizycy drogą rozumowania nad spostrzeżonemi zjawiskami przyszli do wniosku, że materya składa się z cząsteczek, tak chemików obserwacya połączeń i rozkładów ciał zmusiła do orzeczenia, iż te cząsteczki fizyczne składają się z jeszcze mniejszych drobin materyi, które nazywają atomami. Jeśli cząsteczka utworzona jest z jednakowych atomów, stanowi ona pierwiastek chemiczny; jeśli atomy połączone w jednę cząsteczkę nie są jednakowe, mamy ciało złożone. Tak gdybyśmy mogli rozdrobić kawałek węgla na cząsteczki, każda z nich byłaby również węglem, a drobiąc dalej cząsteczkę taką na atomy, otrzymalibyśmy same atomy węgla. Cząsteczka węgla składa się więc z samych atomów węgla. Drobiąc w podobnyż sposób kwas węglowy doszlibyśmy do cząsteczek kwasu węglowego; ale gdybyśmy posunęli dzielenie dalej, otrzymalibyśmy już atomy dwojakie: atomy tlenu i atomy węgla. Cząsteczka kwasu węglowego składa się więc z atomów węgla i tlenu.

Tłumaczy to nam, dlaczego nie można rozłożyć pierwiastków: drobiąc cząsteczki pierwiastka, otrzymujemy jednakowe wciąż atomy, które łącząc się z sobą powtórnie, tworzą to samo ciało. Przeciwnie jeżeli mamy ciało złożone, np. kwas węglowy, to, po rozbiciu jego cząsteczki, atomy węgla mogą się połączyć z sobą, dając cząsteczki węgla, atomy tlenu zaś z sobą, dając cząsteczki tlenu. W ten sposób z jednego ciała złożonego otrzymamy dwa proste.

Ale jeśli pierwiastków nie możemy rozłożyć, możemy je za to połączyć. Tak gdy węgiel pali się w powietrzu, łącząc się z tlenem, każda cząsteczka węgla rozdrabia się na atomy węgla, każda cząsteczka tlenu—na atomy tlenu, ale atomy te nie łączą się z sobą napowrót, tylko atomy węgla łączą się z atomami tlenu, a przytem każdy atom węgla z dwoma atomami tlenu. W ten sposób powstaje cząsteczka kwasu węglowego. Możemy to unaocznić za pomocą następującej figury:



Cząsteczka węgla złożona z 2-ch atomów.

Dwie cząst. tlenu, każda z 2-ch atomów.

Dwie cząsteczki kw. węglowego złożone, każda z atomu węgla i 2-ch atomów tlenu.

Chemicy oznaczają atomy węgla literą C, atomy tlenu literą O; połączenie zaś wyżej opisane przedstawiają za pomocą równania:

$$C_2 + 2\,O_2 = 2\,CO_2.$$

Liczba postawiona przed literami wskazuje ilość cząsteczek; mała liczba stojąca za każdą literą—ilość atomów.

Czytelnik zapewne już postawił sobie pytanie: dlaczego atomy tlenu nie łączą się napowrót z atomami tlenu, ani węgla z węglem? Dlaczego węgiel przeciwnie łączy się z tlenem?

Odpowiedzią na to służy przypuszczenie osobnej siły, utrzymującej w związku atomy jednej cząsteczki. Siłę taką nazywamy powinowactwem chemicznem. Przypuszczamy, że powinowactwo czyli przyciąganie między atomem węgla a tlenu jest większe, niż pomiędzy atomami jednakowemi (t. j. tlenu do tlenu i węgla do węgla); skoro więc nastąpią warunki, w których powinowactwo to działać może, odbywa się połączenie węgla z tlenem.

Przy spaleniu węgla powstaje ciepło. Przypomnijmy, że ciepło jest ruchem cząsteczek; atomy węgla i tlenu zbliżyły się pod wpływem siły powinowactwa i ruch ten atomów udzielił się powstającym z nich cząsteczkom kwasu węglowego. Energia utajona powinowactwa chemicznego (siły w napięciu) stała się jawną jako energia cynetyczna ruchów wytworzonych pod wpły-

wem tego powinowactwa cząsteczek. Ciepło więc przy spaleniu ciała, wogóle ciepło, powstające przy połączeniach chemicznych, jest wynikiem ruchu, udzielającego się od atomów cząsteczkom.

Widzimy, że różnica pomiędzy ciepłem od uderzenia lub tarcia, a ciepłem od spalenia nie jest zasadniczą; w pierwszym wypadku ruch większych mas udziela się mniejszym—cząsteczkom; w drugim—cząsteczki te otrzymują ruch od mniejszych drobin materyi—t. j. od atomów.

Chcąc rozłożyć kwas węglowy na węgiel i tlen, powinniśmy rozdzielić połączone w cząsteczce atomy; nadać im prędkość, którąby przezwyciężyła wiążące je powinowactwo. Powinniśmy więc udzielić im tyle ciepła, ile się podczas połączenia wydzieliło, gdyż i tu ma zastosowanie zasada zachowania energii: ile energii czynnej wydzieliło się (w postaci ciepła) przy połączeniu, tyle powinniśmy włożyć energii potencyalnej, aby doprowadzić do poprzedniego stanu rozdzielności.

Możemy teraz odpowiedzieć na pytanie, jak wystawić sobie korzystne położenie (energię potencyalną) materyi roślinnej.

Węgiel ma powinowactwo do tlenu i powinowactwo to jest bardzo silne; atomy tych pierwiastków dążą do największego zbliżenia. Wystawmy sobie teraz, że pomiędzy te dwa atomy wpychamy jakieś inne, które je oddalają od siebie; wprawiamy przez to w napięcie siłę przyciągania między atomami, tak samo jak wprawiamy w napięcie sprężynę szczypczyków, wciskając klin pomiędzy ich ramiona. Wszystkie związki organiczne, stanowiące materyę rośliny, są w ten sposób utworzone. Wchodzą w ich skład atomy węgla, wodoru, tlenu, w niektórych znajdujemy azot i siarkę. Ale atomy węgla i tlenu nie są tak połączone, aby utworzyć kwas węglowy, t. j. związek, odpowiadający ich największemu powinowactwu. Między niemi powciskane są rozmaite inne atomy, wskutek czego siły przyciągania chemicznego są w stanie ogromnego napięcia. Cząsteczki tych związków utworzone są z bardzo wielu atomów, są bardzo złożone i dlatego nietrwałe. Równowaga łatwo się zakłóca; cząsteczka rozsypuje się, a pojedyńcze atomy łączą się według powinowactw swoich, tworząc cząsteczki prostsze: atomy węgla z atomami tlenu dają kwas węglowy; atomy wodoru z atomami tlenu dają wodę. Dzieje się to tak, jak kiedy wielki

pałac karciany potrącimy palcem: pałac rozsypuje się, a wszystkie karty przyjmują położenie najtrwalszej równowagi, t. j. padają napłask.

Przy takiem rozbiciu cząsteczki złożonej na prostsze ruch udziela się tym nowo wytworzonym cząsteczkom, a ztąd powstaje ciepło. Wogóle wszelkiej przemianie związków bardziej złożonych (których cząsteczki składają się z licznych atomów) na prostsze towarzyszy wydzielanie ciepła. Aby więc ze związków prostych otrzymać bardziej złożone, powinniśmy w nie włożyć tyleż energii, ile one wydzielą przy odwrotnej przemianie. Tego wymaga zasada zachowania energii.

Roślina składa się ze związków bardzo złożonych; cząsteczki materyi roślinnej utworzone są z bardzo licznych atoatomów połączonych w sposób skomplikowany, i dlatego zawierają wiele energii potencyalnej.

Ale zkąd powstała ta energia potencyalna? Czyja praca nadała cząsteczkom położenie korzystne?

Zobaczymy wkrótce, że źródłem tej energii jest praca promieni słonecznych. Słońce jest tak samo źródłem życia świata roślinnego, jak i nieograniczonej przyrody.

Materyę, z której tworzą się związki organiczne, bierze roślina z powietrza i ziemi; energię czerpie z promieni słonecznych. W jaki sposób to się dzieje, pokaże się w następujących rozdziałach.

ROZDZIAŁ XI.

Co bierze roślina z powietrza?

1. Znamiennym faktem w życiu rośliny jest stały przyrost jej materyi, z którego zwykle nie dość dokładną zdajemy sobie sprawę, mówiąc, że roślina rośnie. Aby zupełnie jasno uprzytomnić sobie ten fakt, należy przypomnieć, ile waży nasionko, a ile drzewo, które z niego wyrasta. Wystawmy sobie, że na jednej szalce wagi leży nasienie, na drugiej dojrzałe drzewo: cała ta kolosalna różnica ciężaru, która przeciąga drugą szalkę, stanowi materyał wyrobiony przez roślinę w ciągu jej życia. Jest to tylko jedna strona wzrostu i to strona nie najbardziej uderzająca, przynajmniej na pierwszy rzut oka: mówiąc o zagadkowości zjawiska życia, a między niemi zjawisk wzrostu, skłonni jesteśmy przedewszystkiem podziwiać dokładność, z jaką roślina odtwarza na wszystkich gałęziach też same kształty liści, jednostajność w ugrupowaniu liści i gałązek i t. d., innemi słowy morfologiczną stronę tego zjawiska. Oprócz bowiem nabycia materyału, występuje dla rośliny drugie zadanie: ułożenie tego materyału w sposób właściwy. Zobaczymy, że i na tę stronę zjawiska fizyologia może rzucić niejeden, chociaż bardzo słaby promyk światła. Ale w chwili obecnej nas zajmować będzie przedewszystkiem pytanie, zkąd się bierze ów kolosalny przyrost ciała roślinnego?

Powiedziałem przed chwilą, że roślina wyrabia materyał swego ciała. Wyrażenie to jest poprawne, o ile mamy na myśli ten sposób wyrabiania, za pomocą którego rzemieślnik wytwarza swoje utwory, t. j. przerobienie pewnego materyału zkąd-

kolwiekbądź wziętego. Byłoby zupełnie błędnem, gdybyśmy chcieli przez to powiedzieć, że roślina stwarza ten materyał. Jest to bowiem twierdzeniem podstawowem wiedzy przyrodniczej, że materya ani się stwarza, ani znika; że zatem wszystkie nanowo powstające ciała są tylko przemianami jednej i tej samej materyi.

Zkąd więc bierze roślina materyał, który przerabia na ciało swoje? Dwa tylko możemy zrobić przypuszczenia. Albo pochodzi on z ziemi, do której roślina zapuszcza korzenie; albo z powietrza, w którem rozpościera koronę swoję.

Pierwsze doświadczenia dla rozstrzygnięcia tego pytania zrobione były jeszcze w XVII stuleciu. Angielski chemik Boyle, ususzywszy w piecu i odważywszy pewną ilość ziemi, sadzał w niej ziarna dyni. Jakkolwiek polewane tylko wodą deszczową (a więc nie zawierającą żadnych rozpuszczonych substancyj), nasiona te wydały rośliny, ważące od 3-ch do 14 tu funtów. Ziemia zaś po doświadczeniu przesuszona i zważona nanowo nie wykazywała żadnej dostrzegalnej straty. Van Helmont powtórzył to doświadczenie na wielką skalę. Wziął on sto funtów ziemi, do której wsadził wierzbę, ważącą 50 funtów, a zakrywszy naczynie miedzianą blachą, polewał samą tylko dystylowaną wodą. Po upływie pięciu lat wierzba ważyła 169 funtów, ziemia zaś straciła zaledwie 4 łuty na wadze. Wyciągnięto ztąd wniosek, jakoby ziemia nic się nie przyczyniała do pożywienia rośliny.

Dopiero w sto lat później odkryto źródła, z których roślina czerpie swój pokarm. Przypomnijmy sobie, że do ciał roślinnych wchodzi głównie pięć pierwiastków, składających się na utworzenie organicznej substancyi rośliny; są to: węgiel, wodór, tlen, azot i siarka.

Pierwsze trzy pierwiastki, łącząc się z sobą, tworzą tak zwane bezazotowe substancye rośliny; do tych należy drewno, błonnik, krochmal, obficie się znajdujący w roślinach, cukier, rozpuszczony w soku komórkowym. Są to znane już nam wodany węgla (str. 59). Do bezazotowych składników należą także tłuszcze często spotykające się w roślinach.

Drugą gromadę ciał roślinnych stanowią ciała zawierające azot (substancye azotowe), a wśród nich pierwsze miejsce

zajmują ciała białkowate. Wiemy już, że z ciał tych składa się protoplazma—a więc najważniejsza, żywa część komórki roślinnej. Jakkolwiek pierwszorzędne pod względem znaczenia dla życia rośliny, ciała azotowe ilościowo stanowią tylko małą część jej wagi.

Aby więc odpowiedzieć na wyżej postawione pytanie, dotyczące pochodzenia substancyi roślinnej, należało wyjaśnić źródło, z którego bierze roślina każdy z wchodzących w jej skład pierwiastków.

2. Już Priestley w zeszłem stuleciu zauważył, że rośliny mogą poprawiać powietrze, zepsute przez oddychanie zwierząt. Następnie zaś Ingenhouss, Senebier, Saussure wykazali, że przyczyną poprawienia powietrza jest pochłanianie przez roślinę kwasu węglowego, który się w niej rozkłada pod wpływem światła słonecznego. Wiemy, że kwas węglowy składa się z węgla i tlenu. Pierwszy z tych pierwiastków przyswaja sobie roślina, drugi zaś wydziela. Obok tego odbywa się i rozkład wody, z której roślina bierze wodór i tlen. Tak więc wszystkie trzy pierwiastki, wchodzące w skład bezazotowych substancyj rośliny, bierze ona z kwasu węglowego i wody. Kwas węglowy znajduje się stale w powietrzu, jakkolwiek w nieznacznej ilości (ok. 4 na 1000), wystarczającej jednak dla podtrzymania życia roślin. Woda jest zawsze w powietrzu w postaci pary i wchodzi w skład soków roślinnych. W ten sposób wyjaśnionem więc zostało, że do bezazotowego pożywienia swego roślina nic nie bierze z gruntu [1]).

Zostawało do rozwiązania pytanie, zkąd się bierze azot? Łatwo się nasuwało przypuszczenie, że źródłem tego pierwiastka dla rośliny jest powietrze, zawierające go w obfitości w stanie wolnym. Pytanie to rozwiązał Boussingault w r. 1853. Sadzał on nasiona roślin w piasku zupełnie pozbawionym azotowych substancyj i dodawał do niego nieco popiołu tych roślin (nie zawierającego azotu, ponieważ ten pierwiastek wydziela się w stanie wolnym przy spaleniu rośliny), których brał nasienie, gdyż, jak zobaczymy później, roślina nie może się obyć bez

[1]) Naturalnie z wyjątkiem wody; twierdzenie to stosuje się tylko do stałych składowych części gruntu.

niektórych substancyi mineralnych. Wszystko się pokrywało kloszem, do którego przez jednę rurkę wprowadzano kwas węglowy dla żywienia roślinki, przez drugą — wodę dystylowaną dla jej polewania. Po upływie dwóch do trzech miesięcy, oznaczano ilość azotu w roślinach; pokazało się, że nie przewyższała ona tej, jaka była w nasieniu.

Doświadczenia te wykazają, że roślina nie może korzystać z tego azotu, który jest w powietrzu, musi więc go brać z ziemi. Zobaczymy później, jakim ograniczeniom powinno dziś uledz to twierdzenie.

Możemy tymczasem przyjąć jako prawidło ogólne, że węgiel bierze roślina z powietrza, azot zaś z gruntu. Mała ilość azotu, wchodzącego w skład rośliny, łatwo tłumaczy ujemne wyniki doświadczeń Boyle'a i Van Helmonta, w których zdawało się, że ziemia prawie nic nie daje roślinom. Nie odrazu umysł ludzki przyzwyczaił się do tej myśli, że „bardzo mało" nie jest to samo co „nic", i że te kilka łutów, na które ubyło sto funtów ziemi, były jednak niezbędne dla wzrostu rośliny. W liczbie tych kilku łutów były i substancye mineralne (popiół), które roślina tak samo dostaje z ziemi, a które, jak zobaczymy wkrótce, są dla niej również niezbędne.

Bardzo znaczną część ciężaru żywej rośliny stanowi woda, którą przesiąknięte są wszystkie części komórek i tkanek, która wypełnia komórki jako sok komórkowy. Ilość wody, w niektórych bardzo wodnistych tkankach (jak miąższ owoców) może przewyższać 90%; w nasionach zawartość jej obniża się do 10%. Gdy mówimy więc o przyroście substancyi roślinnej, mamy zawsze na myśli tylko suchą substancyę, t. j. to, co zostaje po dokładnem wysuszeniu rośliny. Całą ilość wody roślina czerpie z ziemi.

Teraz powinniśmy wyjaśnić sobie, jaką drogą dostają się do rośliny pierwiastki, o których była mowa; jakie narządy służą do ich wydzielenia ze związków, w których znajdują się w naturze; oraz jak i w jakie związki łączą się one na nowo w roślinie.

3. Wystawmy sobie, żeśmy zebrali starannie wszystkie liście z jakiegokolwiek drzewa i ułożyli je na płaskiej powierzchni obok siebie. Jakąż ogromną przestrzeń moglibyśmy

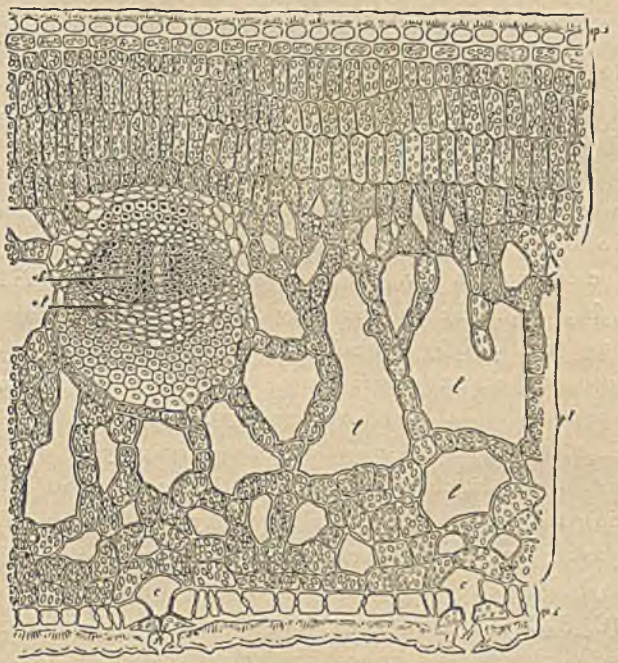
zasłać niemi! Ale gdybyśmy położyli te wszystkie liście na je dnę szalkę wagi, na drugą zaś ogołocony pień drzewa, ostatni przeciągnąłby szalkę, jakkolwiek skromniejszą część przestrzeni zajmuje.

Liść jest tą częścią rośliny, w której jaknajwięcej rozszerzona jest powierzchnia w stosunku do objętości i masy.

Gdy poznamy czynność liści, łatwo zrozumiemy, jakie znaczenie ma dla rośliny ta olbrzymia powierzchnia jej korony. Jeżeli zaś zapytamy, jak się osiąga owo zwiększenie powierzchni, to odpowiedź będzie łatwa: tak samo, jak zwiększamy powierzchnię grubego drutu rozpłaszczając go w cienką blaszkę. Ze stanowiska morfologicznego liść jest tylko rozpłaszczoną i nieco zmodyfikowaną łodygą. Najlepiej nas o tem przekona widok mikroskopowy skrawka poprzecznego przez liść (rys. 142).

Widzimy w nim te trzy główne tkanki, o których wspominaliśmy, opisując łodygę: naskórek (*eps, epi*), tkankę zasadniczą (*p*) i wiązki naczyniowe (*vl* i *vb*). Tylko że cała postać została spłaszczoną, wiązki naczyniowe zajęły środkowe miejsce, tworząc to, co nazywamy żeberkiem i nerwami (żyłkami) liści; rdzenia zaś wcale niema. Zauważymy dalej, że tkanka zasadnicza nie jest jednostajną. W górnej powierzchni liścia składa się ona z podłużnych komórek, ściśle z sobą się stykających; jest to tkanka palisadowa liścia (*p*), przeciwnie, w dolnej części liścia komórki mają kształt mniej foremny (*pl*), po części gwiazdkowaty i są bardzo luźno z sobą spojone, zostawiając rozległe przestwory międzykomórkowe (*l*), jest to merenchyma. Przestwory te łączą się z sobą, tworząc sieć drobnych kanalików, a sieć owa przez ogonki liściowe łączy się z podobnemiż przestworami międzykomórkowemi łodygi i stanowi razem znany już nam układ przewietrzania rośliny, otwierający się na zewnątrz przy pomocy szparek (rozd. IX § 3). Znane już nam urządzenie komórek zamykających szparki zabezpiecza roślinę przed zbytnią stratą wody, na jakąby się narażała, gdyby szparki zostawały otwarte podczas posuchy. Ilość bowiem tych otworków jest prawdziwie kolosalna; wynosi ona od 40 do 300, a nawet do 700 na 1 milimetrze kwadratowym powierzchni, t. j. na przestrzeni, jakąby zajęła plamka, zrobiona umoczoną w atramencie główką od

szpilki. Woda zaś z łatwością wysącza się i paruje przez niekutynizowane błony komórek miąższowych do przestworów międzykomórkowych; przez nie też mogą przenikać do komórek, lub z nich się wydzielać gazy.



Rys. 142. Przekrój liścia ostrokrzewu. *eps* — naskórek z nadskórkiem; *epi* — toż samo na dolnej stronie liścia; *p* — tkanka palisadowa; *l* — przestwory międzykomórkowe; *c* — jamki przydechowe; *st* — komórki zamykające szparek; *vb* i *vl* — drzewna i łykowa część wiązki naczyniowej.

Cały więc układ przestworów międzykomórkowych wraz ze szparkami urządzony jest tak, ażeby gazy powietrza mogły się stykać z komórkami liścia, bez narażenia jednak rośliny na zbytnią stratę wody. Jest to droga, przez którą pożywienie gazowe dostaje się do komórek.

4. Organami przetwarzającemi to pożywienie na substancyę roślinną są znane nam ziarka chlorofilowe (rozd. V, § 1). Poznaliśmy ich budowę i stosunek w nich barwnika do podścieliska plazmatycznego. Teraz winniśmy się zatrzymać cokolwiek nad własnościami chemicznemi chlorofilu. Wiemy już,

że rozpuszcza się on w alkoholu, a ostatniemi czasy udało się go wykrystalizować z tego roztworu (Monteverde) w postaci drobnych, ciemno-zielonych kryształów o błękitnawym połysku metalowym. Roztwór ich alkoholowy ma barwę ciemno-zieloną z fluorescencyą purpurową. Na powietrzu roztwór ten odbarwia się pod wpływem światła; podobnież odbarwiają się ciała chlorofilowe, jeśli protoplazma komórki zostaje zabita (np. mrozem).

Już Fremy (1860) rozdzielił chlorofil na dwa barwniki, które nazwał filocyaniną (niebieski) i filoksantyną (żółto-brunatny). Można to uskutecznić kłucąc roztwór alkoholowy chlorofilu z eterem i kwasem solnym stężonym. Pod wpływem alkaliów daje chlorofil alkachlorofil, którego wzór jest $C_{52}H_{57}N_7O_7$. Pod wpływem alkoholu i chlorowodoru związek ten przekształca się na filotaoninę ($C_{40}H_{39}N_6O_5 . OH$); ta zaś przy 200° z alkaliami daje filoporfirynę ($C_{16}H_{18}N_2O$) (Shunck i Marchlewski). Ciało to bardzo jest zbliżone do hematoporfiryny, otrzymanej przez Nenckiego i Sieberową z barwnika krwi (hemoglobiny). Wzór hematoporfiryny jest $C_{16}H_{18}N_2O_3$, różni się więc od filoporfiryny tylko o 2 atomy tlenu. Jakkolwiekbądź, ciała te są bardzo blizkie do siebie, co stwierdza wielkie podobieństwo ich widm absorbcyjnych (Marchlewski). Daremnie wszakże probowali Nencki i Zaleski uskutecznić przejście od jednego do drugiego: redukując hematoporfirynę otrzymali mezoporfirynę ($C_{16}H_{18}N_2O_2$). Wnosimy ztąd, że jedna i ta sama gromada atomów wchodzi w skład zarówno barwnika krwi, jak i chlorofilu. A jeśli przypomnimy sobie schemat rozwoju organizmów podany na str. 23, dostrzegamy jak w miarę różniczkowania się dwóch królestw ta gromadka atomów chemicznych wchodzi w coraz to odmienne związki, aby na szczycie rozwojowym przeciwstawić czerwony barwnik krwi zielonemu chlorofilowi. W chlorofilu znajdują się prócz tego żółte barwniki znane pod nazwą ksantofilów. Z tych bliżej zbadany jest chryzofil, krystalizujący w czerwonych, błyszczących kryształach, a identyczny z karotyną, znajdującą się w marchwi ($C_{26}H_{38}$).

Ziarka chlorofilowe znajdują się w komórkach tkanki zasadniczej wszystkich tych części roślin, do których dochodzi światło; obecność bowiem światła jest niezbędnym warunkiem, aby się wytworzyła zieleń. Rośliny wyrastające w ciemności (np. pędy, które wydają kartofle lub jęczmień, rosnące w piwni-

cach), mają bardzo wydłużone międzywęźla i są żółtawej barwy. Mają one liście słabo rozwinięte i są wątłe dla braku tkanki mechanicznej. Dość jest wystawić je na światło, aby w krótkim czasie przybrały barwę zieloną i rosły dalej normalnie, a badanie drobnowidzowe przekonywa, że zielenienie owo jest skutkiem wytworzenia się chlorofilu w bezbarwnych dotychczas ciałkach protoplazmatycznych, czyli leucytach. Gdybyśmy zbadali pod mikroskopem skrawek z takiej wypłonionej rośliny, przekonalibyśmy się, że w komórkach jej znajdują się ciałka protoplazmatyczne, zupełnie takie, jak w ziarkach chlorofilowych, brak im tylko zieleni. Drugim warunkiem, koniecznym dla wytworzenia chlorofilu, jest obecność w gruncie chociażby nieznacznej ilości żelaza. Rośliny, wyrastające w roztworach zupełnie wolnych od tego pierwiastku, są również pozbawione zieleni (rośliny chlorotyczne). Przez długi czas sporną kwestyę: czy sam barwnik zielony zawiera żelazo, rozstrzygnął ujemnie Molisch. Dowiódł on za pomocą bardzo ścisłych analiz, że w samym chlorofilu niema żelaza, natomiast nieznaczna ilość jego zawiera się w protoplazmie komórek. Chloroza więc, czyli bladaczka roślin, tłumaczy się tem, że protoplazma, chorobliwie rozwijająca się dla braku żelaza, nie zdołała wytworzyć chlorofilu. Niekiedy całe liście lub ich części, wskutek nieznanych bliżej przyczyn, ulegają chorobliwemu stanowi (albinizm), objawiającemu się tem, iż pomimo obecności światła i żelaza nie wytwarzają w komórkach swoich chlorofilu, lecz tylko bezbarwne ciała plazmatyczne. Takie liście, usiane białemi plamami, nazywamy pstremi (folia variegata).

5. Przyzwyczajeni jesteśmy uważać barwę przedmiotów za rzecz przypadkową i nie związaną z ich istotą. Istnieje wszakże ścisły związek między barwą chlorofilu a jego czynnością.

Fizyka dzisiejsza uważa światło za drganie eteru, napełniającego całą przestrzeń między ciałami i cząsteczkami ciał, tak samo, jak w dźwięku widzi drgania powietrza. Że drgania (wibracye) jakiegoś ciała mogą wywołać tak niepodobne do siebie zjawiska, jak uczucie światła lub dźwięku — niema w tem większej zagadki, niż w powstaniu uczucia ciepła z drgań czą-

steczek materyi, o czem już była mowa. Drgania eteru wywołujące w nas wrażenie światła, podobne są do tych fal kolistych, które powstają na wodzie, gdy wrzucimy w nią kamień. Fale rozmaitej prędkości dają rozmaite barwy.

Jeśli przepuścimy przez pryzmat szklanny wiązkę zwyczajnego białego światła, światło to rozłoży się na niezliczoną ilość odcieni, tworzących razem siedm barw zasadniczych tęczy. Nazywamy to widmem słonecznem. Możemy te siedm barw złączyć na nowo, bądź za pomocą soczewki (szkła wypukłego), bądź malując je na krążku papierowym i wprawiając go w prędki obrót, a połączenie to da barwę białą. Białemi są więc te przedmioty, które wydają, odbijają lub przepuszczają przez się wszystkie fale rozmaitej prędkości, wchodzące w skład widma słonecznego. Jeżeli przedmiot, będąc oświetlony białem światłem, wydaje się barwnym, to znaczy, że nie wszystkie spadające nań fale przechodzą przezeń lub odbijają się od niego. Zabarwienie zwyczajnych (nie samoświecących przedmiotów) [1]) jest skutkiem tego, że pochłaniają one niektóre fale świetlne; pozostałe zaś łącząc się razem, dają barwę odmienną od białej.

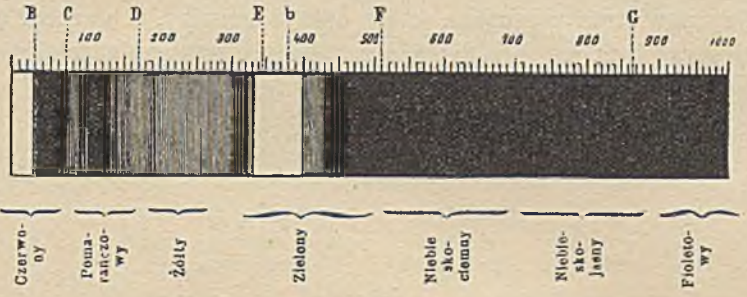
Jak się o tem przekonać?

Skoro w świetle, które przeszło przez jakiś przedmiot (np. przez liść), brakuje pewnych promieni, to rozłożywszy takie światło za pomocą pryzmatu, otrzymamy niecałe widmo: na miejscu brakujących promieni będą ciemne smugi. Takie widmo nazywa się widmem pochłaniania (absorpcyjnem). Rys. 143 przedstawia widmo powstające wtedy, gdy na pryzmat pada światło, które przeszło przez roztwór alkoholowy chlorofilu. Podobneż widmo dają żywe liście. W widmie tem brakuje kolorów: fioletowego, niebieskiego i znacznej części czerwonego. Zielona barwa chlorofilu jest więc wynikiem pochłonienia tych fal światła, które odpowiadają brakującym barwom. Jeśli weźmiemy grubszą warstwę chlorofilu, pasy ciemne będą się coraz rozszerzały, aż nareszcie dojdziemy do grubości, przy której

---

[1]) Barwa samoświecących przedmiotów (np. płomieni kolorowych) pochodzi ztąd, że ciała te nie wydają wszystkich drgań, wchodzących w skład białego światła (jak słońce lub rozrzażone do białości ciała), ale tylko niektóre z nich.

zajmą całe widmo. Warstwa tej grubości nie przepuszcza już wcale światła.



Rys. 143.

Co się stało z temi pochłoniętemi falami? Na to niebawem odpowiemy; tymczasem wróćmy do ziarek chlorofilowych i przyjrzyjmy się ich czynności.

6. Jeżeli badać będziemy pod mikroskopem liść, zerwany z drzewa nad rankiem lub przez dłuższy czas przechowywany w ciemności, nie zauważymy w jego ciałkach chlorofilowych żadnych obcych domieszek. Dość jednak wystawić liść taki, chociażby na krótki czas, na światło, a badanie mikroskopowe wykaże wewnątrz tych ziarek maleńkie ciałka (rys. 60), w których łatwo poznamy drobne ziarenka krochmalu, jeśli dodamy do preparatu kroplę jodyny, barwiącej krochmal na niebiesko (Sachs, 1862 [1]) (obacz str. 98).

Zkąd się wziął ten krochmal? Widzieliśmy, że jednym z warunków jego powstania było światło. Doświadczenia zaś jaknajściślej przeprowadzone dowodzą, że materyałem, z którego krochmal powstaje, jest kwas węglowy. Jeśli umieścimy roślinę w powietrzu, zupełnie pozbawionem tego gazu, to przy najlepszych nawet warunkach oświetlenia, nie wytworzy ona krochmalu (Godlewski, 1873).

Krochmal więc jest tem ciałem organicznem, które tworzy się w roślinie ze związków nieorganicznych, t. j. z węgla, zawartego w kwasie węglowym, oraz z tlenu i wodoru, zawartych

---

[1]) Aby zabarwienie było wyraźniejsze, należy poprzednio pozbawić liść chlorofilu, wymaczając go w spirytusie.

w wodzie. Wiemy już, że na tem pochłanianiu kwasu węglowego, a wydzielaniu tlenu polega owo oczyszczanie przez rośliny powietrza zepsutego, które odkrył Pristley, a przebieg całej sprawy da się przedstawić za pomocą następujących zrównań chemicznych (Bäyer, 1870):

1) CO_2 (kwas węglowy) + H_2O (woda) = CH_2O (aldehyd mrówkowy) + O_2 (tlen (który roślina wydziela))

2) $6\,CH_2O$ (aldehyd mrówkowy) = $C_6H_{12}O_6$ (cukier gronowy)

3) $C_6H_{12}O_6$ (cukier gron.) − H_2O (woda) = $C_6H_{10}O_5$ (krochmal)

Innemi słowy, z kwasu węglowego i wody tworzy się z początku aldehyd mrówkowy; następnie sześć cząsteczek tego ciała łączy się w jednę, przyczem atomy węgla, tlenu i wodoru przyjmują inne ugrupowanie, tworząc cukier; ten zaś, tracąc cząsteczkę wody, daje krochmal.

Nie posiadamy wprawdzie dowodu bezwzględnego na rzecz tego przypuszczenia; wielkie jednak prawdopodobieństwa przemawiają za nim.

Przyjrzyjmy się bliżej argumentom za i przeciw i sprawdźmy wymienione fazy ze stanowiska chemicznego i fizyologicznego.

Zarzut główny przeciwko hypotezie Bayera polegał na tem, że aldehyd mrówkowy już w bardzo nieznacznych ilościach (roztwory 1 : 20 000) działa trująco na roślinę. Mimo to Pollacci znalazł go w liściach zielonych (1900, 1902), a wcześniej jeszcze (1897) Curtius i Reinke otrzymali z liści związek o charakterze aldehydowym, któremu nadali wzór

$$C_6H_6 \begin{cases} CHO \\ CH_2.OH. \end{cases}$$

Z drugiej strony Bokorny (1897) wykazał, że spirogyra może wytwarzać na świetle mączkę ze związku zwanego kwasem oksymetyleno-sulfonowym, którego sól sodowa rozkłada się w odpowiednich warunkach na sól sodową kwasu siarkawego i aldehyd mrówkowy, według równania:

$$CH_2.OH.SO_3Na = H.CHO + HSO_3Na.$$

Mamy więc pozytywny dowód, że aldehyd mrówkowy może służyć roślinie za materyał do tworzenia mączki. Zarzut zaś pły-

nący z trujących własności aldehydu usuwa się tem przypuszczeniem, że aldehyd nie występuje tu w znaczniejszej ilości w stanie wolnym, lecz zaraz po utworzeniu się wchodzi w dalsze związki.

Ze stanowiska chemicznego wreszcie można powołać się na analogię z głośną syntezą Berthelota — jedną z tych, która utorowała drogę do dalszych syntez organicznych: połączenia tlenku węgla z wodanem potasu (związek typu wody) na kwas mrówkowy:

$$\underset{\text{tlenek węgla}}{CO} + \underset{\text{wodan potasu}}{KHO} = \underset{\text{mrówczan potasu}}{CO.OK}$$
$$H$$

Więcej mamy dowodów na rzecz drugiej fazy reakcyi.

Pod względem chemicznym — już Butlerow w r. 1861 otrzymał z ciała blizkiego do aldehydu mrówkowego (a mianowicie z tryoksymetylenu — $C_3H_6O_3$) gatunek cukru zwanego formozą, a mającego wzór $C_6H_{12}O_6$. Loew (1886) otrzymał go bezpośrednio z aldehydu mrówkowego, a Fischer (1894) swojemi syntezami udowodnił aldehydowy charakter cukru gronowego.

Z drugiej strony rozmaite odmiany cukru znajdują się stale w soku komórkowym roślin, a wszystko, jak niżej się pokaże, przemawia za tem, że cukier gronowy jest poprzednikiem mączki w sprawie asymilacyi.

Powyższy wzór asymilacyi (przyswojenia węgla) składa się z trzech odmiennych reakcyi chemicznych czyli faz.

Pierwsza z nich prowadzi do utworzenia wolnego tlenu i jest właściwą reakcyą odtlenienia. Starannie przeprowadzone doświadczenia wykazały, że objętość wydzielonego tlenu równa jest objętości pochłoniętego kwasu węglowego (Saussure, 1804, Boussingault).

Chemia uczy, że wszystkie ciała w postaci gazów mają w równych objętościach równą ilość cząsteczek. Wzór powyższy zgadza się więc z tym faktem, wymaga bowiem, aby na każdą rozłożoną cząsteczkę kwasu węglowego (CO_2) wydzieliła się jedna cząsteczka tlenu (złożona z dwóch atomów: O_2).

Druga faza asymilacyi nie zmienia nic w składzie procentowym ciał początkowego (CH_2O) i końcowego ($C_6H_{12}O_6$). Jest to tak zwana polimeryzacya, t. j. utworzenie bardziej skomplikowanej cząsteczki z kilku prostszych. Lecz przytem

atomy chemiczne, chociaż nie zmienia się ich liczba, przyjmują inne ugrupowanie, zawierające więcej energii potencyalnej, a więc wymagające dla utworzenia swego zużycia energii cynetycznej. Obie te fazy mogą odbywać się tylko na świetle i wymagają obecności chlorofilu.

Zgoła odmienny charakter ma trzecia faza. Nie należy ona do asymilacyi, lecz jest tylko przekształceniem jej produktu w formę nadającą się do przechowania. Wiemy, że cukier gronowy jest ciałem krystalicznem i osmotycznie czynnem. Gdyby więc nie ulegał dalszemu przeobrażeniu, skutki jego nagromadzenia w komórce byłyby dwojakie: najpierw jako ciało osmotycznie czynne cukier przyczyniałby się do obfitego wsiąkania cieczy do komórki (endosmozy), a w ten sposób podwyższałby ciśnienie jej soku (ob. R. IV, § 3) do tego stopnia, iż mogłoby nastąpić jej rozerwanie. Powtóre, jako ciało łatwo wysiąkające, wydostawałby się cukier do sąsiednich komórek lub otaczającej roślinę cieczy (jeśli to roślina wodna). Roślina traciłaby szybko wytworzoną przez siebie substancyę.

Jakoż wiemy, że przemiany mączki na cukier i odwrotne odbywają się stale w roślinie (ob. R. V, § 2 i 3). Krochmal jako ciało nierozpuszczalne stanowi dogodny materyał zapasowy. Znajdujemy obfite składy jego w nasionach, bulwach i w innych częściach roślin, z których wyrastać mają nowe pędy. Podczas wzrostu krochmal ten rozpuszcza się, przechodząc w cukier pod wpływem diastazy, która znajduje się obficie w kiełkujących nasionach: słód (t. j. jęczmień kiełkujący) zawdzięcza swój smak wytworzonemu pod wpływem diastazy cukrowi. W postaci cukru wędruje materyał organiczny z komórki do komórki, cukier bowiem jest łatwo rozpuszczalny i przesiąkać może przez błony komórkowe. Podobnież i w trzeciej fazie przyswojenia mamy wypadek przekształcenia cukru na krochmal. Wiemy już, że nie wymaga ono ani światła, ani chlorofilu, odbywać się bowiem może w leukoplastach.

Jakoż liczne doświadczenia wykazały, że rośliny mogą w ciemności i w nieobecności kwasu węglowego wytwarzać krochmal z ciał cukrowych lub mających zbliżony do nich skład chemiczny [1]). Tak więc mogą rozmaite rośliny wytwarzać

[1]) Pierwszy Böhm w r. 1883.

mączkę z cukru gronowego, owocowego, trzcinowego, z glikolu, mannitu, gliceryny i wielu innych ciał. Badania dalsze wykazały wreszcie, że ilość utworzonej mączki zostaje w zależności od nagromadzenia cukru w komórce; tak rośliny nie tworzące mączki w zwykłych warunkach nagromadzają ją, gdy zwiększymy w nich zawartość cukru (Godlewski, 1877).

Jeśli weźmiemy pod uwagę, że wytwarzanie mączki odbywa się w bezbarwnych leukoplastach (lub pirenoidach) i że utwory te mają blizkie pokrewieństwo z chloroplastami (ob. str. 96), to łatwo nasuwa się przypuszczenie, że z trzech wymienionych faz reakcyi pierwsze dwie odbywają się pod wpływem chlorofilu; trzecia pod wpływem plazmatycznego szkieletu ziarna chlorofilowego. Dotychczasowe wszakże próby rozłożenia kw. węglowego przy pomocy chlorofilu oddzielonego od podścieliska plazmatycznego były bezowocne (Kny, 1897, Czapek, 1902).

Zaznaczyć wypada, że Reinke tłumaczy powstanie cukru, biorąc za punkt wyjścia wzór kwasu węglowego, odpowiadający jego solom:

$$H_2CO_3 = CH_2O + O_2.$$

Godnem uwagi jest, że ani tlenku węgla (Just, 1879), ani aldehydu mrówkowego (Trebaux, 1903) nie mogą rośliny przerabiać na mączkę. W doświadczeniach Trebaux *Elodea canadensis* znosiła bardzo dobrze 0,0005%-wy roztwór aldehydu, lecz mączki nie wytwarzała.

7. Zostawiliśmy dotąd bez odpowiedzi pytanie, co dzieje się z temi promieniami światła, które pochłania chlorofil. Możemy teraz na nie odpowiedzieć.

Przypomnijmy sobie, że światło jest ruchem eteru, że skoro światło znikło, to znaczy, że ruch ustał. Ciemne smugi w widmie pochłonienia chlorofilu świadczą o tem, że drgania eteru pewnej prędkości zostały zgaszone. Lecz drgania te przedstawiały pewną energię, która, jak wiemy, nie może zniknąć. W co więc zamieniła się energia tych drgań? Poszła na to, ażeby atomom węgla, wodoru i tlenu nadać inne ugrupowanie niż miały w wodzie i kwasie węglowym; na to, by rozerwać silne powinowactwa, wiążące ich w tych prostych związkach i ugrupować w cząsteczki bardzo skomplikowane cukru, zawie-

rające więcej energji potencyalnej. Energia czynna promieni słonecznych zamieniła się na energię potencyalną cukru, tak samo, jak zamieniamy energię czynną na potencyalną podnosząc wodę do wysoko umieszczonego rezerwoaru. Pośrednikiem w tej przemianie jest chlorofil.

Aby wyjaśnić sobie jego rolę, przypomnijmy zjawisko rezonansu. Wiadomo każdemu, że jeżeli nad otwartym fortepianem wyśpiewamy jakikolwiek ton, to odpowiedzą na niego wszystkie struny fortepianu, wydające harmonijne z nim dźwięki. Tu drgania powietrza wprawiają w ruch współdźwięczne z sobą struny. To samo dzieje się między światłem a chlorofilem: tylko zamiast powietrza mamy tu eter, zamiast strun—cząsteczki chlorofilu. Ze wszystkich promieni składających białe światło, te, których drgania współdźwięczne są z drganiami cząsteczek chlorofilu, wprawiają je w ruch, tak jak drgania powietrza wprawiają w ruch struny, t. j. oddając im prędkość swoję. Wystawmy sobie, że struny fortepianu są połączone z jakimś mechanizmem, który wprawiają w ruch; moglibyśmy wówczas zamienić dźwięki w pracę. Podobnież wibracye eteru, pochodzące od słońca, zamieniają się w chlorofilu na energię tych związków (cukru), które się w nim wytwarzają, nadając bardziej skomplikowane (korzystne) położenie atomom węgla, wodoru i tlenu [1]).

Jeśli to tłumaczenie jest poprawne, to z promieni światła rozmaitych barw te powinny najsilniej rozkładać kwas węglowy i wodę, które najwięcej są pochłaniane przez chlorofil; cały szereg doświadczeń stwierdza to, a najjaskrawiej uwydatnia je następujące.

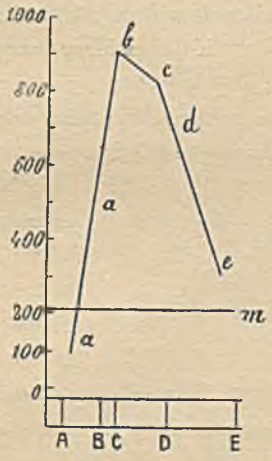
Bierzemy liść, który przez długi pobyt w ciemności pozbawiony został krochmalu, i rzucamy na niego za pomocą pry-

---

[1]) Zjawisko rezonansu nie ma w sobie nic tajemniczego: ruch fal powietrznych (albo w świetle — drgania eteru) udziela się strunom (w naszym wypadku—cząsteczkom chemicznym). Może jednak powstać pytanie, dlaczego tylko współdźwięczne struny odpowiadają na wykrzykniętą nutę? Odpowiedź polega na tem, że tu ruch mniejszej masy (powietrza) udziela się większej (strunie), co może nastąpić tylko przez nagromadzenie drobnych wpływów. Wyjaśni to następujący przykład. Wystawmy sobie człowieka, usiłującego rozkołysać bardzo ciężki dzwon. Siła jego jest prawie znikająca wobec masy dzwonu i gdyby próbował to uczynić jednym zamachem, lub szeregiem za-

zmatu widmo słoneczne. Po upływie pewnego czasu zanurzamy liść w mocnym alkoholu, aby oddalić z niego wszystką zieleń, a później do wodanu potasu, powodującego pęcznienie ziarek mączki. Jeśli następnie powleczemy go roztworem jodu, to niebieskie zabarwienie zaznaczy miejsca, w których nagromadził się krochmal. Miejsca te ściśle odpowiadają ciemnym smugom widma; otrzymamy na liściu jakby fotografię widma chlorofilu, a najciemniej zabarwiony jęst paseczek odpowiadający ciemnej smudze w barwie czerwonej (Timiriaziew).

Fakt ten zresztą stwierdzony został i inną drogą, a metodami ściślejszemi. Już Sachs (1864), hodując rośliny pod kloszami napełnionymi roztworem dwuchromianu potasu (przepuszczającym tylko czerwoną połowę widma), oraz amoniakalnym roztworem tlenku miedzi (przepuszczającym promienie niebieskie i fioletowe), wykazał, że przyswojenie odbywa się energicznie w świetle czerwonem, a bardzo słabo w niebieskiem. Timiriaziew (1875) rzucał na ekran widmo słoneczne i umieszczał w rozmaitych jego miejscach rurki zawierające odcinki bambusu, zanurzone w powietrze o 5% zawartości kwasu węglowego, a po upływie pewnego czasu analizował gazy w nich zawarte. Oznaczając w ten sposób względną ilość rozłożonego kwasu węglowego, otrzymał on krzywą, przedstawioną na załączonym rysunku. *A, B, C, D, E* są punktami widma, obejmującemi część jego od czerwonego końca



Rys. 144.

machów nieregularnych, nie dopiąłby celu. Ale dość jest zastosować wysiłki w rytmie zgodnym z tym, w jakim naturalnie odbywają się wahania dzwonu, a cel zostaje z łatwością osiągnięty. Każde pchnięcie, jakkolwiek słabe, wyprowadza jednak dzwon z położenia równowagi, każe mu odbywać bardzo nieznaczne wahanie. Jeśli drugie, trzecie i t. d. pchnięcia będą nadane wtedy, kiedy dzwon odbywa wahanie w tym samym kierunku (a więc zgodnie z rytmem dzwonu), będą się one dodawały do siebie i w końcu zwiększą zamach dzwonu do pożądanej wielkości. Pchnięcia zaś niezgodne z rytmem dzwonu, będą się znosiły nawzajem i nie dadzą żadnego wyniku. Toż samo dzieje się na huśtawce: przysiadanie zgodne z rytmem huśtawki rozpędza ją; niezgodne—wstrzymuje.

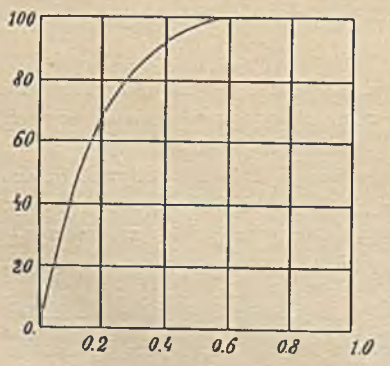
do początku zielonych promieni, w których umieszczone były rurki z rośliną; *a, b, c, d, e*—odpowiadającymi im punktami na krzywej. Szybkie wzniesienie się krzywej do maximum między *a* a *b* świadczy, że najintensywniejszy rozkład kwasu węglowego odbywa się w promieniach odpowiadających głównej smudze absorbcyjnej. Intensywność działania tych promieni spada z początku wolno (do *d*), później bardzo szybko do *e*.

Promienie o szybszych drganiach, t. j. niebieskie i fioletowe (mające mniejszą energię cieplikową); chociaż pochłaniane są przez chlorofil, wywierają bardzo słabą czynność asymilacyjną. Według pomiarów Timiriaziewa (1893), stosunek tlenu (zredukowany do równomiernej rozciągłości barw), wydzielonego pod wpływem promieni czerwonej połowy ma się do ilości wydzielonej w niebiesko-fioletowej połowie widma jak 100 : 14.

Kohl zmierzył względne ilości tlenu, wydzielone w świetle rozmaitej barwy w tym samym czasie, licząc bombelki gazu wydobywające się z ogonka odciętego liścia rośliny wodnej (Elodea canadensis). Stosunek ów wykazują liczby następujące:

światło białe	74
czerwone	32
żółte	9
zielone	14
niebieskie	18
fioletowe	7.

Wreszcie zależność ilości rozłożonego kwasu węglowego od siły oświetlenia wykazuje krzywa przedstawiona na rys. 145. Napięcia światła od 0 do 1 (1 = niezacienione promienie słoneczne) wyrażają odcięte (linie poziome); rzędne (linie pionowe) wykazują ilość rozłożonego kw. węglowego, przyjmując za 100 tę, która się rozkłada w prostych promieniach słonecznych. Ramię krzywej między 0 a 0.1 wznosi się szybko i ma formę zbliżoną do linii prostej, co świadczy o prostym stosunku proporcyonalności działania



Rys. 145.

dla światła o małem napięciu. Dalej krzywa wygina się coraz bardziej ku kierunkowi równoległemu z osią odciętych. To znaczy, że siła działania nie wzrasta w tym samym stosunku co napięcie światła, lecz coraz wolniej. Od napięcia = 0.6 krzywa przebiega równolegle z osią odciętych; innemi słowy: napięcie światła przekraczające w jakimkolwiek stopniu tę wielkość, wywiera taki sam skutek jak napięcie = 0.6. A więc najkorzystniejsze dla przyswajania oświetlenie przewyższa cokolwiek połowę tego, jakie dają proste promienie słoneczne (Timiriaziew, 1889).

Ilość rozłożonego przez roślinę kwasu węglowego zwiększa się także w miarę zwiększenia zawartości tego gazu w powietrzu do 10% (Saussure, 1806). Po osiągnięciu tego optimum przyswajanie osłabia się przy zwiększeniu zawartości kwasu węglowego w powietrzu. Dłuższy zaś pobyt w powietrzu tego składu powoduje zmianę kształtów rośliny, która utraca obok tego zdolność do kwitnienia. Przyrost utworzonego krochmalu przy 300-krotnem podwyższeniu zawartości kwasu węglowego w powietrzu (z 0.03% na 10%) zwiększa się zaledwie 4 do 8 razy (Kreussler). Przeciwnie, przy sześciokrotnem tylko powiększeniu procentowej zawartości kwasu węglowego, ilość wytworzonego krochmalu wzrasta w tej samej proporcyi (H. Brown). I tu więc proporcyonalność zachowuje się tylko w szczupłych granicach.

Przyswajanie kwasu węglowego zależne jest także od temperatury. Zaczyna się ono już w temperaturze 0^0, a trwa do 50^0 C. (Kreussler). Według Kreusslera maximum wypada przy 25^0. Jeśli oznaczymy przez 1.0 ilość kwasu węglowego rozłożonego w 2.3^0 C., to w 25^0 C. wynosi ona 2.9, jest więc prawie potrójną, przy dalszem podwyższeniu temperatury spada stopniowo: w 33^0 jest takaż jak w 11.3^0 (= 2.4), a w 46.6 dosięga zaledwie 1.3.

Bezwzględna ilość wytworzonego krochmalu według doświadczeń Sachs'a (nad słonecznikiem i dynią) wynosi około 25 gr. w ciągu 15 godzin dnia letniego. Okazało się przytem, że strata mączki w ciągu nocy [1]) wynosi tyleż, co przybytek w ciągu dnia. Tak 1 metr kwadr. liścia tracił na wadze w ciągu

---

[1]) Znaczenie tej straty wyjaśni się w rozdziale o oddychaniu.

10 godzin nocy 9.64 gr.; w ciągu 10 godzin dnia ciężar jego zwiększał się o 9.14 gr. [1]).

Nowsze badania (Brown i Morris, 1893) według tej samej metody dały jednak dla przyrostu suchej substancyi rośliny liczby mniejsze. Słonecznik wykazywał w ciągu 12 godzin przyrost 8.566 gr. materyi organicznej na 1 metr kwadr. liści, przytem 4 gr. usunięte były z liści. Z tych tylko 1.4 gr. w postaci mączki, resztę w postaci cukru.

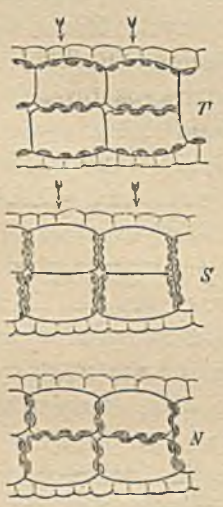
8. Przyjrzyjmy się teraz budowie i organizacyi liścia w stosunku do jego funkcyi, jako organu przyswajania. Widzieliśmy, że sam kształt liścia nadaje mu wielką powierzchnię przy nieznacznej masie. Ta rozległość powierzchni jest jakby obliczona na to, by przejąć jak najwięcej promieni słonecznych. Przyczynia się do tego jeszcze ta okoliczność, że liście żywej rośliny zwracają stale powierzchnię prostopadle do promieni światła—położenie jak wiadomo najkorzystniejsze dla zużytkowania energii tych promieni. Zwracanie się to liści spowodowane jest niejednostajnym wzrostem ich ogonków. Znaczna powierzchnia liścia ma zresztą inne jeszcze znaczenie dla roślin: daje ona możność pomnożyć ilość szparek, przez które dochodzą do komórek chlorofilowych potrzebne do pożywienia gazy. Niemniej i w samej budowie liścia, oraz w układzie ziarek chlorofilowych daje się widzieć przystosowanie do tego, aby zużytkować jak najwięcej światła. Komórki tkanki palisadowej, stanowiącej górną, a więc zwróconą ku światłu część liścia, są wydłużone w kierunku prostopadłym do jego powierzchni, a ziarka chlorofilu leżą wzdłuż ich bocznych ścianek (rys. 142). Jest to położenie, w którem jeden i ten sam promień światła może oddziałać na jak największą ilość ziarek chlorofilowych, tak samo jak kula karabinowa zabija najwięcej ludzi wtedy, gdy tworzą oni szereg wydłużony w kierunku jej lotu. Ilość ziarek chlorofilowych w liściu jest olbrzymia. Według obliczeń Haberlandta na 1 milimetr kwadratowy powierzchni liścia przypada

---

[1]) Rożnica tej liczby (przyrostu wagi) z ilością wytworzonej mączki tłumaczy się tem, że mączka wytworzona rozpuszcza się także w ciągu dnia i przenosi się do łodygi, o czem będzie mowa niżej.

u rącznika (Ricinus) w górnej połowie liścia 403,200, w dolnej—92,000 ciałek chlorofilowych.

Do kompletnego zużytkowania energii promieni słonecznych przyczyniają się także ruchy ciał chlorofilowych. W roślinach niemających tkanki palisadowej (w liściach mchów lub rzęsy) można dostrzedz zmianę położenia ziarek chlorofilowych, stosownie do stopnia oświetlenia: w silnem oświetleniu ziarka te przesuwają się na boczną powierzchnię komórek, t. j. zajmują takie położenie, jak w komórkach palisadowych; w słabem oświetleniu, przeciwnie, zajmują zwróconą ku światłu powierzchnię. Ruchy te odbywają się przy udziale protoplazmy, w której zanurzone są ziarka, a łatwo zrozumieć, że w pierwszym wypadku ruch ma znaczenie ochrony od nadmiernego oświetlenia (niszczącego chlorofil); w drugim — jak najlepsze wyzyskanie słabego źródła światła. Do tegoż przyczynia się i zmiana kształtu samych ciałek zieleni: w słabem oświetleniu przyjmują one postać bardziej spłaszczoną, to jest zwiększają swoją powierzchnię; w silnem zaokrąglają się, to jest wystawiają mniejszą powierzchnię na światło.



Rys. 146 Rozmieszczenie ciałek zieleni pod wpływem światła (w rzęsie wodnej): *T*—w dzień, w świetle rozproszonem, *S*—pod działaniem bezpośredniem promieni słońca, *N* — w nocy. Strzałki pokazują kierunek padania światła. (Według Stahla).

9. Czynność połączona chlorofilu i promieni słonecznych składa się więc na utworzenie substancyi organicznej z pierwiastków nieorganicznych. Lecz krochmal nie jest tylko składem materyi organicznej, mogącej łatwo przemienić się w inne substancye roślinne — cukier, błonnik i t. d. Jest on zarazem składem zapasu energii, zapożyczonej od słońca, a przeprowadzonej w stan potencyalny przy pośrednictwie chlorofilu. Ponieważ wszelka materya organiczna wogóle ma budowę bardziej skomplikowaną, niż nieorganiczna, wytworzenie jej więc wymaga pewnego zużycia energii czynnej, która w niej zostaje nagromadzona jako energia potencyalna. Dlatego też tylko rośliny

zielone i tylko w obecności światła mogą wytwarzać substancyę organiczną z nieorganicznej. Grzyby i niektóre inne rośliny pozbawione zieleni muszą się żywić substancyą organiczną, wyrobioną przez zielone rośliny, czerpiąc ją bądź z soków żywej rośliny, bądź ze szczątków umarłej.

W pierwszym wypadku nazywamy je pasożytami, w drugim—roztoczami. Zwierzęta również nie mogą wyrabiać materyi, wchodzących w skład ich ciała, z pierwiastków nieorganicznych. Żywią się one organiczną substancyą, wyrobioną przez roślinę. Roślinożerne biorą ją wprost od roślin; mięsożerne—od trawożernych. Wiadomo, że zwierzęta oddychając pochłaniają tlen z powietrza i wydzielają kwas węglowy. Zkąd bierze się ów kwas węglowy? Tlen wchodzący w jego skład pochodzi z powietrza wchłoniętego przez płuca; węgiel zaś—z tej substancyi organicznej, którą zwierzę dostało od rośliny. Węgiel więc, który z powietrza, w postaci kwasu węglowego, dostał się przez szparki liścia do komórek chlorofilowych rośliny i tam złożony został w cząsteczkach krochmalu, powraca do powietrza, jako kwas węglowy wydychany przez płuca zwierząt. Tłumaczy to nam, dlaczego ilość kwasu węglowego w powietrzu nie ubywa, bez względu na ciągłą pracę asymilacyjną niezliczonych roślin. Jednakże w głębi ziemi znajdujemy świadectwo, że dawniej atmosfera kuli ziemskiej zawierała więcej tego gazu niż dzisiaj. Świadectwem tem są pokłady węgla kamiennego.

Geologia uczy, że powstały one wskutek stopniowego zwęglenia substancyi roślinnej olbrzymich lasów; węgiel zaś zawarty w tej substancyi nie mógł pochodzić zkądinąd, tylko z kwasu węglowego powietrza. Pomijając ten wyjątek, powiedzieć możemy, że ta sama ilość węgla krąży ustawicznie w przyrodzie, dzięki uzupełniającej się nawzajem czynności roślin i zwierząt [1]). Zobaczymy później, że i same rośliny oddają w postaci kwasu węglowego część węgla przyswojonego z powietrza; jest

---

[1]) Ściślej mówiąc, ilość ta zmniejsza się stopniowo, lecz nie z winy roślin, chociaż część jego przechodzi w stan stały przy ustawicznem tworzeniu torfowisk, co zresztą sowicie wynagradza przemysł puszczający z dymem wielowiekowe zapasy substancyi organicznej lasów i węgiel kamienny kopalń. Zmniejszenie się stopniowe, lecz bardzo powolne wolnego kwasu węglowego

to tak zwane oddychanie roślin. Tłumaczy ono nam po części znikanie z liścia ziarek krochmalu w ciemności.

Żywiąc się wprost lub pośrednio substancyą roślinną, zwierzęta nietylko czerpią z niej materyał na budowę swego ciała, ale i energię, która podtrzymuje ich życie. Związki organiczne, wytworzone w roślinie, zawierają wiele energii potencyalnej, sił w napięciu; ta energia potencyalna przechodzi na czynną, siły napięcia—w siły ruchu, gdy substancye organiczne utleniają się w krwi zwierząt. W tym krążeniu energii źródłem jej—a więc i zródłem wszelkiego życia na ziemi—jest słońce; energia jednak promieni słonecznych, przechowana w postaci potencyalnej w roślinach, zostaje przemienioną napowrót na czynną i rozproszoną przez zwierzęta. Nie powraca ona, jak to się dzieje z węglem w krążeniu materyi, do pierwotnego źródła swego.

---

w atmosferze spowodowane jest ciągle odbywającym się pod jego wpływem rozkładem krzemianów skorupy ziemskiej, przyczem kwas węglowy łączy się z wapnem i innemi zasadami wyzwalając krzemionkę. Ilość więc krzemionki wolnej ustawicznie wzrasta narówni z ilością związanego kwasu węglowego, przechodzącego z powietrza w skład kory ziemskiej.

ROZDZIAŁ XII.

Gleba jako żywicielka roślin.

1. Poznaliśmy w poprzednim rozdziale źródło i sposób przyswajania trzech pierwiastków, wchodzących niemal we wszystkie substancye roślinne, t. j. węgla, wodoru i tlenu. Wiemy, że żyjące części roślin, t. j. ich protoplasty utworzone są z ciał białkowatych, w których skład wchodzą stale azot w znacznej i siarka w nieznacznej ilości, niekiedy zaś (w nukleinach) i fosfor. Aby więc zdać sobie sprawę z pochodzenia najważniejszych i stałych składników rośliny, powinniśmy odpowiedzieć na pytanie zkąd, w jakiej postaci i jakiemi drogami pierwiastki te dostają się do rośliny; jakie wędrówki w niej odbywają, gdzie i w jaki sposób łączą się z węglem, wodorem i tlenem, aby utworzyć ciała białkowate.

Wiemy już z badań Boussingaulta, że rośliny, wogóle mówiąc, nie mogą przyswajać wolnego azotu z powietrza, a liczne doświadczenia przekonywają, że prócz węgla wszystkie inne pierwiastki dostają się do rośliny przez korzeń.

Potoczne spostrzeżenia: że gleba bogata w próchnicę jest najżyzniejszą, że najlepszym nawozem są szczątki organiczne, nasuwały naturalne przypuszczenie, że roślina potrzebuje do pożywienia swego jakichś związków organicznych. Łatwo jednak przekonać się, że tak nie jest. Można wyhodować roślinę z nasienia i doprowadzić ją do wytworzenia owoców dojrzałych, nie dając jej innego pożywienia prócz wody, zawierającej w roztworze pewne sole mineralne w stanie bardzo rozcieńczonym. Są to tak zwane hodowle wodne.

Dla przeprowadzenia takiego doświadczenia bierze się walec szklany, którego otwór zatyka się płaskim korkiem przepołowionym i mającym wydrążenie dla umieszczenia nasienia, które poprzednio już skiełkowało pod wpływem wilgoci. Przestrzeń między korkiem a nasieniem starannie zatyka się watą, aby nie dopuścić przenikania pasożytów łatwo niszczących korzeń. Do walca nalewa się ciecz pożywna i ustawia się go w miejscu dostatecznie oświetlonym. Kukurydza, fasola, bardzo dobrze nadają się do takich hodowli.

Ciecz pożywna, jak łatwo się domyśleć, powinna zawierać pierwiastki, z których tworzy się białko, a więc azot, siarkę i fosfor. Skład jej zwykle wzorują na składzie popiołu roślin. Można używać jednej z następujących cieczy:

Na 1000 części wody:

1	cz.	saletry	(KNO_3)
0.5	„	soli kuchennej . .	($NaCl$)
0.5	„	gipsu	($CaSO_4$)
0.5	„	soli gorzkiej . . .	($MgSO_4$)
0.5	„	fosforanu wapnia	$Ca_3(PO_4)_2$.

Albo, na 1000 części wody destylowanej:

1	cz.	azotanu wapnia .	$Ca(NO_3)_2$
0.25	„	chlorku potasu .	KCl
0.25	„	siarczanu magnu	$MgSO_4$
0.25	„	fosforanu potasu	KH_2PO_4.

Do każdej z tych cieczy dodać należy parę kropel roztworu chlorniku żelaza (Fe_2Cl_6), bez którego nie może się rozwinąć chlorofil.

Hodowle wodne dają możność dokładnego poznania, jakie pierwiastki są niezbędne dla roślin, jakie zaś znajdują się w nich tylko przypadkowo, t. j. w zależności od składu gruntu, na którym wzrasta roślina. Wykluczając jeden po drugim rozmaite pierwiastki, znajdujemy, że usunięcie jednych nie wywiera żadnego wpływu na rozwój rośliny, w nieobecności zaś innych rozwój ten zostaje wstrzymany. Do takich, niezbędnych dla rozwoju roślin pierwiastków, należą prócz tych, z których buduje się ciało roślin, także żelazo, potas i wapień. Niema pew-

ności, czy należą do nich magn i chlor [1]). Na czem polega ich rola—wyjaśni się to poczęści z dalszych paragrafów.

2. Hodowle wodne przekonywają, że: 1) grunt nie jest niezbędnym warunkiem wzrostu roślin; 2) że rośliny potrzebują tylko bardzo nielicznych i to nieorganicznych składników dla swego wzrostu. Niemniej wszakże w warunkach naturalnych rośliny rosną w ziemi, a cała budowa korzenia przystosowana jest do czerpania z niej pokarmów. Sprawy w niej odbywające się przygotowują naturalny pokarm roślin. Poznanie ich niezbędnem jest zarówno dla zrozumienia życia rośliny, jako też zwłaszcza dla tych, którzy mają do czynienia z uprawą roślin. Uprawa gruntu bowiem nie jest niczem innem, tylko wytworzeniem warunków, ułatwiających naturalnie odbywające się w nim, a potrzebne dla rośliny przemiany, lub też dodaniem brakujących w naturze składowych części.

To, co nazywamy gruntem czyli glebą, stanowi mniej lub więcej grubą warstwę, powstającą przez wietrzenie skał, to jest rozkład wchodzących w ich skład minerałów, pod wpływem kwasu węglowego i wilgoci powietrza, powodujący rozsypywanie się skały na proszek.

Warstwa ta wytwarza się bądź w miejscu, gdzie odbywa się wietrzenie, bądź też zostaje przeniesiona prądem wody, aby utworzyć gdzieindziej osad (grunt napływowy). Główną masę w niej stanowią ziarka piasku; stosownie do ich wielkości rozróżniamy drobny, średni, gruboziarnisty piasek i żwir. Grunt jednak wtedy tylko zdatny jest do uprawy i może wydać bujną roślinność, gdy piasek zawiera pewną domieszkę nierównie drobniejszych cząstek gliny. Glina albo powstaje na miejscu przez wietrzenie tych samych minerałów i skał (przeważnie skaleni wchodzących w skład granitów lub innych skał pokrewnych), z których powstał piasek, lub też bywa przyniesiona prądem wody narówni z piaskiem. Obok tego zawiera gleba okruszyny rozmaitych innych minerałów; jeżeli są to cząstki wapienne, nazywamy grunt stosownie do ilości wapna marglowym, marglem lub wapiennym marglem (od 50 do 90% wapna).

---

[1]) Pierwiastki niezbędne dostające się z gruntu oznaczone są **groteskiem**, niepewne—*kursywem* w powyższych receptach.

Obok tych mineralnych części, zawiera ziemia żyzna mniejszą lub większą ilość substancyi organicznej, nadającej jej szarą lub czarną barwę, jest to tak zw. próchnica (humus). Próchnica tworzy się przeważnie z pozostających w gruncie szczątek roślin (korzeni, ścierni, liści opadających i t. d.), a w sprawie tej biorą udział rozmaite organizmy: owady, robaki ziemne, żywiące się temi szczątkami, również i bakterye przyczyniające się do ich rozkładu chemicznego. Zbadany jest szczególniej (przez Karola Darwina) wpływ glist ziemnych na wytworzenie próchnicy (czarnoziemu); części roślin rozdrobione przez żucie i chemicznie przerobione w przewodzie pokarmowym tych robaków zamieniają się rychło w próchnicę. Najbogatsze w nią są grunta bagniste i torfowe. W skład próchnicy wchodzą rozmaite związki chemiczne, mało dotychczas zbadane; zdołano z niej wydzielić szereg kwasów, które nazywają ogólnie kwasami humusowemi (huminowy, ulminowy i inne).

Z punktu widzenia fizycznego grunt jest substancyą porowatą, zdolną do nasiąkania wodą. Woda, zapełniająca przestwory między ziarenkami piasku i gliny, utrzymuje się w glebie przez siłę przyciągania, którą wywiera powierzchnia tych cząsteczek (przyleganie); każde takie ziarenko otoczone jest warstewką wody, a im drobniejsze są cząstki gruntu, tem większą powierzchnię mają w stosunku do objętości i tem więcej wody może utrzymać ziemia. Siła przylegania utrzymuje wodę nie dopuszczając zarówno przesiąkania jej w głąb, w niższe warstwy, do których już nie sięgają korzenie roślin, jako też i parowania. Gruby żwir lub piasek już wkrótce po deszczu wysychają, bo woda nie trzyma się w nich, poczęści wsiąkając głębiej, poczęści ulatniając się. Przeciwnie ziemia żyzna, chociaż wydaje się niekiedy zupełnie suchą, zawiera jeszcze dosyć wilgoci, ażeby żywić rośliny; przestwory między cząsteczkami gruntu są tu drobniejsze, powierzchnia większa, a siła przylegania skuteczniej przeciwdziała osuszającemu wpływowi słońca i powietrza. Według doświadczeń Sachsa zdolność rozmaitych gruntów do zatrzymywania wody wyraża się następującemi liczbami: ziemia rolna zatrzymuje 47%; glina 52%; piasek 21%. Tę to siłę włoskowatości gruntu przezwyciężyć powinny rośliny,

aby odebrać glebie wodę, którą niełatwo oddaje nawet pod wpływem ciepła słonecznego.

3. Rola gleby nie kończy się jednak na tej zdolności zatrzymywania wilgoci. Woda, zapełniająca przestwory między cząsteczkami gruntu, zawiera rozpuszczone w sobie ciała, pochodzące z tegoż gruntu.

Skład chemiczny rozpuszczonych w gruntowej wodzie ciał ma główne znaczenie dla życia rośliny, a mogą niemi być oczywiście tylko te, które zawarte są w glebie. Woda bowiem deszczowa jest prawie zupełnie czysta: prócz nieznacznych ilości gazów z powietrza, nie zawiera ona żadnych ciał rozpuszczonych. Lecz skład chemiczny wody gruntowej nie jest prostem odzwierciedleniem chemicznej budowy gruntu. Wchodzi tu w grę czynnik komplikujący zjawisko: zdolność wyborowa roli czyli jej absorbcya.

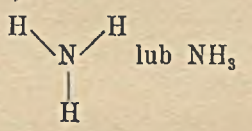
Jeśli ziemię z roli polewać będziemy roztworem rozmaitych soli, zauważymy, że po przejściu przez warstwę ziemi skład zawartych w wodzie soli ulegnie zmianie. Jeśli do doświadczenia wzięte były sole potasowe lub amoniakalne kwasów azotnego, siarczanego lub solnego, to woda spływająca zawierać będzie przeważnie wapienne, a poczęści magnezyowe sole tych samych kwasów, a bardzo niewiele wziętych do doświadczenia soli potasu i amonu. Grunt więc zatrzymuje jedne zasady z przepływających przezeń w roztworze soli, oddając na ich miejsce inne. W ten sam sposób zatrzymuje grunt prócz zasad i kwas fosforny. Ten kwas również jak i zasady pochłaniane przez grunt, należą jak wiemy do niezbędnych dla roślin. Gleba więc posiada zdolność nagromadzania potrzebnych dla rośliny, a mało stosunkowo rozpowszechnionych w naturze związków.

Zjawisko absorbcyi tłumaczy się chemicznemi przemianami, odbywającemi się w gruncie. Przypuszczano (Way), że w ziemi rolnej znajdują się krzemiany (t. j. związki kwasu krzemowego z rozmaitemi zasadami), łatwo ulegające rozkładowi i ustępujące zawarte w nich zasady (wapień) wzamian za te, które były w wodzie (amoniak i potas). Według nowszych badań jednak (Berthelot i André) własność utrzymywania potasu

zależy od kwasu huminowego, który tworzy z nim sól nierozpuszczalną.

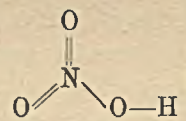
Obok zdolności nagromadzania w sobie pewnych substancyi, posiada ziemia własność utrzymywania ich. Woda opłukująca grunt (np. ta, która płynie w osuszających rowkach lub rurach drenowych), rozpuszcza przeważnie sole wapnia, sodu i magnezu, t. j. mniej potrzebnych dla roślin metali; bardzo mało natomiast unosi potasowych i amoniakalnych.

4. Najważniejszym pierwiastkiem, który roślina bierze z gruntu, jest azot. Ze związków azotu nas tu bliżej obchodzą najpospolitsze i najbardziej rozpowszechnione: amoniak i kwas azotny. Amoniak jest połączeniem jednego atomu azotu z trzema atomami wodoru; używając symbolów chemicznych, przedstawiamy go tak [1]):



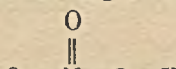
lub NH_3

Kwas azotny jest połączeniem tlenowym azotu, zawierającem tylko jeden atom wodoru, który przytem nie jest wprost połączony z azotem, ale przez pośrednictwo atomu tlenu:



lub HNO_3 [2]).

Atom ten może być zastąpiony przez metale i wtedy otrzymujemy sole kwasu azotnego. Saletrę np. przedstawić można tak:



(K = potas); innemi słowy jest to kwas azotny, w którym na miejscu wodoru stanął metal potas.

Azot w glebie spotyka się w postaci tych dwóch związków: soli amoniakalnych (t. j. amoniaku połączonego z kwasami) i soli kwasu azotnego, głównie zaś azotanu wapnia: $Ca(NO_3)_2$.

---

[1]) Przypominamy, że litera N znaczy atom azotu, H – wodoru, O – tlenu.

[2]) W amoniaku azot występuje jako pierwiastek trójwartościowy; w kwasie azotnym jako pięciowartościowy.

Prócz tego wszakże spotyka się azot i w trzeciej formie: w postaci związków organicznych [1]).

Nasuwa się naturalnie pytanie: z jakiego rodzaju azotu gruntowego korzysta roślina; z amoniakalnego, kwasowego czy organicznego?

Pytanie to rozstrzygają hodowle wodne. Wiemy już, że roślina może obejść się bez azotu organicznego. Lecz czy zamiana go na nieorganiczny jest korzystną? Czy wszystkie trzy formy azotu mogą być zużytkowane przez roślinę?

Liczne doświadczenia wykonane w tym kierunku dały wogóle wyniki niekorzystne zarówno dla amoniaku (w postaci soli), jak i dla amidów.

Już Davy (1808) próbował doprowadzać do roślin węglan amonu, wydzielający się z nawozu i zauważył, że trawa rosła obficiej w miejscach, gdzie to się działo. Później Ville (1850) stwierdził to samo za pomocą doświadczeń w cieplarni (z parą amoniaku). Sachs (1860) zaś, doprowadzając węglan amonu do roślin hodowanych pod kloszem, wykazał przyrost azotu.

Ta zdolność wszakże użytkowania amoniaku zawartego w powietrzu nie ma znaczenia dla roślin, gdyż atmosfera w warunkach naturalnych zawiera zaledwie dostrzegalną ilość tego związku: według Schloesinga (w Paryżu) 100 metrów sześciennych powietrza zawierają 2.3 miligramów amoniaku. Badania Schloesinga (1874) wykazały wprawdzie, że roślinka tytoniu zwiększa ilość swego azotu jeśli ubogą w ten pierwiastek ziemię polewać roztworem węglanu amonu. Lecz, jak się pokaże za chwilę, nie przemawia to na rzecz wchłaniania azotu w postaci tego związku.

Podobnież ujemne wyniki naogół dały próby ze związkami organicznymi. Wprawdzie pokazało się, że przy ich użyciu rośliny zwiększają ilość azotu, lecz tylko w jednym szeregu doświadczeń (Lutz'a, 1899) przedsięwzięte były środki ostrożności przeciw działaniu organizmów mikroskopowych, rozkładających te związki, a i ten szereg nie jest wolny od zarzutów. Porów-

---

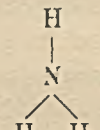
[1]) Azot związków organicznych jest przeważnie azotem a m i d o w y m, t. j. bardzo zbliżonym do amoniaku. O amidach obszerniej pomówimy w następnym rozdziale.

nawcze zaś hodowle roślin, z których jednym dawano azot amoniakalny lub organiczny, innym zaś w postaci kwasu azotnego, wykazują jaskrawą różnicę na korzyść azotu kwasowego.

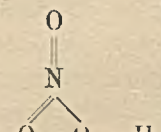
5. Wnosimy więc, że najzdatniejszą formą do przyswajania azotu jest saletra lub wogóle sole kwasu azotnego.

Sole te są łatwo rozpuszczalne w wodzie i gdyby były nawet zawarte obficie w gruncie, pierwszy większy deszcz, przepłukując ziemię, uniósłby je w głębsze warstwy, gdzie już nie byłyby dla roślin użyteczne, ponieważ korzenie tam nie sięgają. Ekonomia przyrody zapobiega takiemu trwonieniu nieocenionych dla roślin substancyj przez to, że wytwarzają się one w gruncie wciąż w niewielkiej ilości i w miarę wytworzenia zostają przez rośliny zużytkowane. Materyałem do utworzenia kwasu azotnego w gruncie jest nagromadzona w ziemi substancya organiczna, pełniąca rolę kapitału zapasowego gruntu, a sprawa przemiany jej w sole kwasu azotnego, nazywa się nitryfikacyą.

Azot w substancyach organicznych znajduje się przeważnie w związkach amidowych, zbliżonych budową swoją do amoniaku, a przy rozkładzie tych ciał wydziela się w postaci amoniaku. Jeżeli przypomnimy sobie wzory amoniaku i kwasu azotnego:



Amoniak



Kwas azotny

widzimy, że dla przejścia od jednego do drugiego powinniśmy oderwać od atomu azotu wszystkie trzy atomy wodoru i zastąpić je atomami tlenu. Nitryfikacya jest więc odbywającą się w gruncie sprawą utlenienia. Tlenu do niej dostarcza powietrze.

Analiza powietrza zamkniętego w naczyniu, zawierającem wilgotny czarnoziem (Wolf) wykazała, że ziemia pochłania tlen i wydziela kwas węglowy [1]) (t. j. prócz azotu utlenia się i wę-

[1]) Wodór zawarty w amoniaku utlenia się na wodę.

giel), ale nie wydziela azotu wolnego. Cały więc azot substancyi organicznej gruntu przemienia się na kwas azotny, węgiel zaś powraca do powietrza w postaci kwasu węglowego. Doświadczenia Schlösinga wykazały jednak, że przy niedostatecznym przypływie tlenu, nietylko przerywa się utlenianie zawartego w gruncie amoniaku na kwas azotny, ale odwrotnie kwas ten zostaje odtleniony na amoniak, głównie zaś na azot wolny, który ulatnia się w powietrze i zostaje bezpowrotnie stracony dla gleby. Spostrzeżenie to wykazuje, że przeorywanie lub wogóle wszelkie spulchnianie ziemi, ułatwiające przystęp do niej tlenu powietrza, przyczynia się do wzbogacenia jej w potrzebne dla rośliny związki saletrowe, a zarazem zabezpiecza od straty azotu zawartego w głębszych warstwach ziemi, do których bez tego przystęp powietrza byłby utrudniony.

Ziemia posiada zdolność zatrzymywania związków organicznych. Można o tem przekonać się za pomocą prostego doświaeczenia. Jeśli napełnimy długą rurkę (lub butelkę z wybitem dnem) ziemią z roli i przecedzimy przez nią gnojówkę, to zauważymy, że ciecz sącząca się z rurki pozbawiona jest woni i przezroczysta. Badając ją pod względem chemicznym po upływie kilku dni, znaleźlibyśmy w niej kwas azotny.

Schlösing i Müntz w Paryżu (1877) przekonali się, że ta zdolność zależy od obecności organizmów niższych: przez rurkę, przez którą sączyła się ciecz, przepuszczano parę chloroformu lub karbolu, które zabijają wszelkie organizmy, nie zmieniając chemicznego składu gruntu. Wówczas działalność utleniająca ustawała. Podobny skutek wywiera ogrzanie rurki do 100°. Lecz jeśli w ziemię w taki sposób sterylizowaną wszczepić ponownie organizmy nitryfikacyjne, przez dodanie świeżego czarnoziemu, rychło rozmnażają się one i prowadzą swoją sprawę utleniania. Wreszcie Frankland, a głównie Winogradskij wydzielili te organizmy, które należą do dwóch gatunków: jedne są monadami, drugie lasecznikami: pierwsze przemieniają amoniak na kwas azotawy, mniej niż azotny utleniony (NHO_2), drugie doprowadzają utlenienie do końca (rys. 147).

Próby nad glebą z rozmaitych części świata świadczą, że organizmy te nie wszędzie jednakowo wyglądają i niejednostajnie są czynne. Szczególniejszą energię nitryfikacyjną wykazały

olbrzymie monady z południowej Ameryki, a Frankland przypuszcza, że pokłady saletry chilijskiej, którą przywożą do Europy jako nawóz sztuczny, zawdzięczają swoje istnienie tym monadom.

Rys. 147. Organizmy nitryfikacyjne: *a*—monada (Nitrosomonas) europejska; *b*—monada z Jawy; *c*—bakterye (Nitrobakter) z Quito. (Według Winogradzkiego powięk. 1000 razy).

Czynność organizmów nitryfikacyjnych przemienia więc zawarty w postaci niedogodnej do przyswojenia azot organicznej substancyi gruntu, w najwłaściwszą ku temu formę—kwas azotny. Gdyby jednak tylko resztki dawnych roślin (t. j. próchnica) służyły za materyał do wytworzenia nowych, cała ilość substancyi roślinnej na kuli ziemskiej zostawałaby w najlepszym razie wciąż ta sama, gdyż ta sama ilość azotu wciążby przechodziła z umarłych roślin do żywych; w istocie jednak zawsze znaczna część azotu gruntowego zostaje straconą, ulatniając się w powietrze bądź w postaci amoniaku, bądź w stanie wolnym. Dopiero nowsze badania wykazały dowodnie, że niektóre rośliny mogą przyswajać azot wprost z powietrza, a w ten sposób zwiększać ilość tego pierwiastku w gruncie. Rośliny te oddawna znane rolnikom jako użyzniające ziemię (t. zw. nawozy zielone) należą do rzędu strąkowatych (łubin, groch, wyka i t. d.).

Zanim jednak poznamy bliżej ten sposób wzbogacania gruntu w azot, przyjrzymy się dalszemu losowi azotu w roślinach.

Ilość azotu pobieranego z gruntu przez rośliny jest bardzo mała w stosunku do całej masy wytworzonej przez nie substancyi organicznej i to tłumaczy niepowodzenie doświadczeń Boyle'a i Van Helmonta. Hektar lasu wytwarza rocznie około 6000 kilogr. suchej substancyi organicznej, w której azot stanowi zaledwie 1%, a więc pobiera się z gleby 60 klgr. azotu. Hektar łąk naturalnych daje ok. 4500 klgr. suchej substancyi organicznej, zawierającej ok. 74 klgr. azotu, t. j. 1.66%.

ROZDZIAŁ XIII.

Organa chłonne i drogi soków w roślinie.

1. Płaski kształt liścia najlepiej odpowiada przeznaczeniu tego organu, ułatwiając jak najrozleglejsze zetknięcie się z powietrzem i zawartymi w niem gazami, oraz przejęcie jak największej ilości promieni świetlnych. Przeznaczeniem korzenia jest jak najwszechstronniejsze znurtowanie tej części gruntu, którą zagarnia roślina jako siedzibę swoję, jak najdoskonalsze wyzyskanie jej zasobów pożywczych. Włóknisty kształt, oraz liczne rozgałęzienia, które dostrzegamy w korzeniach roślin, jak najlepiej odpowiadają przeznaczeniu tych organów. Od korzenia głównego lub wprost od nasady łodygi idą rozgałęzienia, dające od siebie cały szereg cienkich, włóknistych korzonków (korzenie chłonne), które są gęsto okryte włośnikami, t. j. drobnymi, zaledwie widzialnemi gołem okiem włoskami, stanowiącymi właściwy organ wchłaniający rośliny (rys. 148). Włośniki są, jak wiemy (R. IV, § 4), komórkami naskórka korzeniowego, wyrastającemi bardzo znacznie na długość, tak, iż przyjmują kształt wydłużonego woreczka. Zachowują one cienkie ścianki. Widzieć je można dobrze na młodych korzonkach pszenicy lub innych zbóż, których ziarna kiełkują w wilgotnem miejscu. Na korzeniach wyjętych z ziemi włośniki są oblepione cząsteczkami gruntu, a przy próbie ich usunięcia od-

Rys. 148. Włośnik z przylegającemi do niego cząsteczkami gruntu. (Pow. ok. 240).

rywają się zwykle same włośniki. Okrywając korzenie w ogromnej ilości, włośniki zwiększają niezmiernie powierzchnię jego, stykającą się z gruntem. O wielkości powierzchni, jaką posiada korzeń dzięki rozgałęzieniom swoim oraz włośnikom, dają pojęcie następujące liczby: korzeń roślinki pszenicy jeśli zmierzymy wszystkie widzialne gołem okiem rozgałęzienia, dosięga długości 520 metrów. Ilość włośników możemy obliczyć licząc pod mikroskopem, ile wypada ich na 1 mm. długości i mnożąc przez długość korzeni chłonnych. Otrzymana w ten sposób liczba wynosi 10,000,000 dla jednej rośliny pszenicy. Obliczając według tego długość korzenia razem ze wszystkiemi włośnikami, otrzymamy 20 kilometrów (przeszło 3 mile). Taką drogę przebiegają rozgałęzienia korzenia pszenicy w niewielkiej stosunkowo bryle ziemi, nurtując ją wszechstronnie. Wchłaniając wodę zawartą między cząsteczkami gleby niekiedy w małej bardzo ilości, włośniki muszą przezwyciężyć siłę włoskowatości gleby. Woda ta pełni dla rośliny tę samą rolę, co ciecz pożywcza w hodowlach wodnych.

Czynność włośników nie polega wszakże tylko na wchłanianiu substancyj rozpuszczonych w wodzie gruntowej. Włośniki przyrastając i do nierozpuszczalnych w wodzie cząsteczek gruntu, rozpuszczają je w wysiąkającym z nich kwaśnym soku komórkowym lub wodzie, zawierającej kwas węglowy. Działanie to korzeni, przyczyniające się nieraz do przedziurawienia i zniszczenia skał, uwydatnić można, nakładając na gładko polerowaną tafelkę marmurową warstwę ziemi i zasiewając w niej roślinę. Po upływie pewnego czasu, usunąwszy ziemię, zauważymy na marmurze rysunek, odtwarzający rozgałęzienia korzenia: marmur został rozpuszczony w tych punktach, gdzie dotykał go korzeń.

2. W gruncie znajdują się najrozmaitsze substancye mineralne i w rozmaitej proporcyi; jeżeli jednak zrobimy analizę chemiczną popiołu jakiejkolwiek rośliny, przekonamy się, że nie wszystkie związki, jakie były w gruncie, weszły w skład rośliny, a te, które weszły, nie znajdują się w tej proporcyi, w jakiej były w gruncie. Przeciwnie, skład chemiczny jednej i tej samej rośliny, rosnącej na rozmaitych gruntach, nie jest jednakowy; tu bowiem daje się widzieć, że jedne metale mogą za-

stępować inne (np. potas zastępuje wapień przy przeniesieniu rośliny z gruntu wapiennego na gliniasty). Innemi słowy roślina robi wybór z zawartych w gruncie substancyi, biorąc ilościowo i jakościowo to, czego potrzebuje. Często roślina nagromadza w sobie pierwiastki, znajdujące się w gruncie w niedostrzegalnej prawie ilości. Tak np. wszystkie rośliny gromadzą metal potas, stosunkowo mało rozpowszechniony w przyrodzie. Dobywany z popiołu potaż (ług) jest związkiem tego metalu z kwasem węglowym. Niektóre wodorosty morskie nagromadzają znaczne ilości jodu i bromu, jakkolwiek zaledwie ślady pierwiastków tych zawarte są w wodzie morskiej.

Roślina więc posiada własność dwojaką: zdolność odbierania gruntowi mocno przezeń utrzymywanej wody i zdolność wybierania substancyi rozpuszczonych w tej wodzie.

Łatwo sobie wytłumaczyć te zjawiska na podstawie praw osmozy (R. III, § 5). Zobaczymy np., że w roślinie saletra zużywa się, t. j. zamienia się na inne związki. Saletra jest połączeniem potasu z kwasem azotnym; pod wpływem znajdujących się w roślinie kwasów organicznych saletra rozkłada się; potas łączy się z tymi kwasami, kwas azotny zaś uwalnia się, aby uledz następnie dalszym przemianom. Ilekolwiek więc saletry przeniknie do rośliny z gruntu, zawsze ilość ta zostanie rozłożoną i prąd roztworu saletry będzie wciąż się odbywał ku roślinie, bo tu jej zawsze będzie mniej niż w gruncie, chociaż w gruncie roztwór jej jest bardzo rozcieńczony. Jednocześnie będzie się nagromadzał w roślinie potas, bo chociaż saletra rozkłada się, pierwiastek ten, w innych już związkach, zostaje w roślinie. Przeciwnie, jakaś inna sól, która nie zużywa się w roślinie (nie jest jej potrzebną, np. sól kuchenna), będzie wsiąkała tylko dopóty, dopóki jej stężenie w roślinie nie dosięgnie tego stopnia, co i w gruncie; że zaś w gruncie wszystkie sole są zwykle w bardzo rozcieńczonych roztworach, więc dostająca się do rośliny ilość takiej niepotrzebnej soli będzie nieznaczna.

Prawa osmozy tłumaczą nam również, dlaczego roślina jest w stanie wyciągać wilgoć z gruntu, który wydaje się zupełnie suchym, a w każdym razie mniej zawiera wody niż sama roślina, czyli jak mówimy, że korzeń przezwycięża chłonną siłę

gruntu. Przypomnijmy tylko wypadek, gdy w dializatorze znajduje się ciecz nie mogąca wysiąkać; wtedy prąd osmotyczny odbywa się wciąż w jednym kierunku. W komórkach rośliny znajdują się zawsze rozmaite substancye, mogące spowodować podobne zjawisko, a jak wiemy, należy do nich cukier, który jakkolwiek przesiąka przez błony komórkowe, nie może jednak przejść przez warstwę żywej protoplazmy, otaczającej wnętrze komórek.

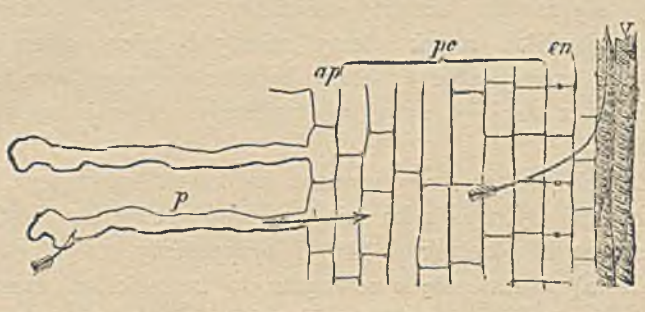
Z tych samych praw wynika, że każda substancya w roślinie będzie wędrowała ku miejscu swego zużycia. Wystawmy sobie szereg komórek (rys. 149) i przypuśćmy, że jakieś ciało (np. saletra) dostaje się z zewnątrz do komórki a, ulega zaś rozkładowi w komórce x. W tej więc komórce będzie jej zawsze

Rys. 149.

najmniej, w komórce zaś a najwięcej (bo tu ona ciągle przybywa); ponieważ zaś błony, oddzielające komórki, zachowują się tak jak pęcherz w dializatorze, więc prąd saletry będzie się wciąż odbywał odkomórki a ku komórce x, t. j od miejsca bardziej stężonego roztworu ku miejscu, gdzie jest on bardziej rozcieńczony. Odwrotnie, jakaś substancya nagromadzona w znacznej ilości we włośniku, a łatwo przechodząca przez błony, będzie z niego wysiąkała do gruntu, jeśli woda gruntowa jej nie zawiera. W ten sposób wysiąkają kwasy organiczne, które w wyżej opisanem doświadczeniu rozpuszczały marmur, a w przyrodzie rozjadają nierozpuszczalne w wodzie cząsteczki gruntu.

3. Gdyby jednak w wielkich drzewach wędrówka wchłoniętych przez włośniki substancyi odbywała się taką drogą, z komórki do komórki, przypływ nie mógłby zadość uczynić potrzebom przeróbki; czynność bowiem osmozy jest nadzwyczaj powolna. Jakoż do przenoszenia soków, wchłoniętych przez korzeń, posiada roślina osobny układ—znane już nam wiązki naczyniowe. Wiązki te zaczynają się w najcieńszych korzeniach okrytych włośnikami i przebiegają w ich środku, tak, że tylko

warstwy komórek, oddzielające włośnik od tych wiązek przebywają soki drogą osmozy. Dalszy ruch po wiązkach naczyniowych odbywa się według innych praw fizycznych.



Rys. 150. Przebieg soku z włośników do wiązki naczyniowej (schematycznie).

Cała masa drewna w pniu składa się, jak wiemy, ze spojonych z sobą wiązek naczyniowych, które przedłużają się dalej w gałęzie i gałązki, następnie przez ogonek liściowy wchodzą do liścia, przebiegają go jako nerw główny, rozgałęziają się na drobne żyłki, wreszcie kończą się w postaci niewidzialnych dla oka rozgałęzień końcowych, złożonych z pojedyńczych naczyń wężownicowych (rys. 150), pomiędzy komórkami miąższu chlorofilowego liścia. Z drugiej znów strony ta masa drewna wchodzi w korzeń, przebiega korzeń główny, rozgałęzia się w korzeniach bocznych, dochodzi aż do najcieńszych korzeni chłonnych, aby tam zbierać wchłonione przez włośniki z gruntu soki, t. j. wodę z rozpuszczonemi w niej częściami mineralnemi.

W prowadzeniu wody gruntowej bierze udział jedynie drzewna część wiązek naczyniowych (i przytem tylko biel — R. IX, § 15). Przekonywa o tem następujące doświadczenie: jeżeli obetniemy korę dokoła pnia w postaci pierścienia, to drzewo nie zwiędnie, jakkolwiek usuwamy przytem całe łyko. Takie przecięcie kory nie jest obojętnem dla drzewa, jak to się niżej pokaże, ale nie tamuje bynajmniej dopływu cieczy z korzenia.

Jakże się przenosi woda po wiązkach naczyniowych i jakie siły popychają ją ku górze?

Pierwsze z tych pytań może się wydać zbytecznem; bo skoro mamy szereg rurek, łączących korzenie z liśćmi, to zdaje

się rzeczą nie potrzebującą dyskusyi, że po tych rurkach, t. j. w ich wnętrzu, płynie woda. Jednakże są fakta, które, zdawało się, stanowczo przemawiały przeciwko temu najprostszemu przypuszczeniu. Sądzono więc dawniej (Sachs), że nie we wnętrzu naczyń, lecz ich ścianek, również jak i ścianek włókien, przenosi się woda, sącząc się w nich tak, jak oliwa w knocie. Na poparcie opinii tej przytaczał Sachs z jednej strony niedostateczność sił nam znanych do podniesienia wody na ogromną wysokość wielkich drzew; z drugiej—olbrzymie siły imbibicyi, wykazywane przez drobno sproszkowane i mocno zbite ciała.

Dziś, jakkolwiek dyskusya nad tym przedmiotem nie jest jeszcze zamknięta, większość fizyologów przechyla się do opinii przeciwnej, t. j. że drogą wznoszącej się wody są wnętrza rurek naczyniowych.

Główne fakta, które na pozór przeczą temu, są następujące:

1) Jeśli przepiłujemy pień drzewa do połowy na pewnej wysokości z prawej strony, a nieco wyżej tak samo z lewej, to całość wszystkich rurek naczyniowych będzie przerwana. Mimo to drzewo zostaje przy życiu i pobiera soki z ziemi.

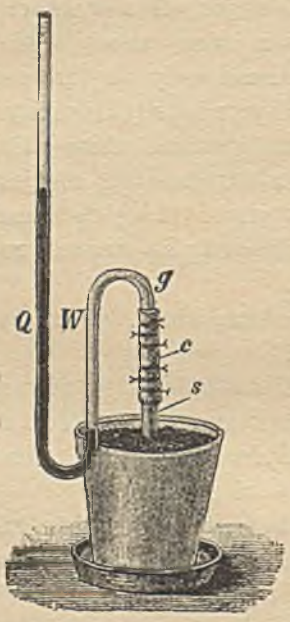
2) Są rośliny (np. iglaste), których drewno wcale nie zawiera rurek naczyniowych, lecz składa się z samych włókien; pomimo to drzewa te doskonale korzystają z wody gruntowej.

3) Na przecięciach podłużnych, badając je pod mikroskopem, widzimy zwykle, że wnętrze rurek naczyniowych napełnione jest powietrzem, gdzieniegdzie tylko przeciętem niewielkimi słupkami wody. Sądzono więc, że i w żyjącej roślinie zachowuje się ten sam stosunek. Powietrze takie, poprzecinane słupkami wodnemi (tak zwane „łańcuchy Jamina"), zawarte w rurkach włoskowatych, okazuje ogromny opór przesuwaniu; potrzebna jest bardzo wielka siła, ażeby je poruszyć z miejsca.

Doświadczenie wykazało jednak, że powietrze nie zawsze bywa w naczyniach. Łańcuchy Jamina tworzą się dopiero po przecięciu drewna, wskutek tego, że ciecz w rurkach naczyniowych zostaje pod zmniejszonem ciśnieniem — o przyczynie tego zjawiska będzie mowa za chwilę. Skoro więc przecinamy gałązkę, powietrze zewnętrzne dostaje się do otwartych rurek. Jeśli zegniemy gałązkę i przetniemy ją pod rtęcią, ciśnienie po-

wietrza wtłoczy rtęć do naczyń rośliny i badając skrawek jej pod mikroskopem, zobaczymy słupki rtęci w rurkach [1]).

Co do dwóch innych faktów, wytłumaczenie ich polega na tem, że zarówno włókna, jak i naczynia mają miejsca, w których błona jest bardzo cienka—znane już nam kropki (R. IX, § 11). Niektóre z nich—kropki obwódkowane, są prawdopodobnie także regulatorami prądu wody, pełniąc czynność klap (R. IX, § 12.



Rys. 151. Manometr przymocowany do korzenia dla wykazania ciśnienia korzeniowego.

4. Rozróżniamy dwie siły poruszające wodę w roślinie: ciśnienie korzenia i ssącą siłę liści.

Jeśli zetniemy łodygę rośliny na wiosnę i na pozostający w ziemi korzeń nasadzimy szczelnie za pomocą kauczuku rurkę szklaną, zauważymy, że po upływie pewnego czasu napełni się ona cieczą, wyciśniętą przez korzeń. Można zmierzyć wielkość tego ciśnienia, jeżeli zamiast rurki przymocujemy do korzenia przyrząd, przedstawiony na rys. 151 (manometr). Składa się on z rurki zgiętej kolankowato i napełnionej częściowo rtęcią. Sok wypływający z korzenia wyciska rtęć z kolanka, a różnica jej poziomów w obudwu kolanach wykaże wielkość ciśnienia w milimetrach słupa rtęciowego. Ciśnienie korzenia dosięga znacznych wielkości. Według spostrzeżeń Neubauera może ono u wi-

[1]) Prawdopodobnie jednak i w żywych roślinach ku końcowi lata, kiedy ruch soków jest mniej energiczny, tworzą się słupki Jamina, a zamiast przeszkadzać ruchowi wody, dopomagają mu jeszcze. Dzięki bowiem takiemu rozkładowi powietrza i wody, krople, zawieszone w rurkach na pewnej wysokości, nie cisną na leżące pod niemi. Siły więc, podnoszące wodę w roślinie, mają do przezwyciężenia nie cały ciężar słupa wodnego, licząc od ziemi, lecz tylko opór ścianek. Trudność, jaką nasuwały słupki Jamina, wypływała ztąd, że myślano dawniej wytłumaczyć ruch wody działaniem włoskowatości, co stanowczo nie daje się pogodzić z nauką fizyki o tem zjawisku. Powietrze w rurkach również dopomaga i ssącej sile liści, o której mowa niżej.

nogron dochodzić do 112 centymetrów, czyli nie o wiele mniej od dwóch atmosfer. Zwykle bywa jednak znacznie mniejsze. U rozmaitych roślin jest ono rozmaite i zmienia się zależnie od pory dnia. Jeśli przypomnimy sobie, że ciśnienie jednej atmosfery równoważy słup wody wysoki blizko na 10 metrów, to okaże się, że samo ciśnienie korzenia może podnieść soki roślinne do znacznej wysokości.

Co do przyczyny tego ciśnienia, to źródła jego niezawodnie szukać należy w ciśnieniu włośników. Mamy tu zjawisko podobne do tego, jak w osmometrze (rys. 38). Ciecz wchłonięta przez włośniki zostaje pod silnem ciśnieniem wskutek przewagi prądu wsiąkającego nad wysiąkającym. Pod wpływem tego ciśnienia wtłacza się ona przez komórki, otaczające wiązkę naczyniową, do naczyń z siłą, której miarę wykazuje manometr.

Drugą siłę czynną w tej sprawie ujawnić można na świeżo ściętej gałązce rośliny. Jeżeli gałązkę taką zanurzymy przecięciem do wody i wyjmiemy natychmiast, zauważymy, że wisząca na końcu gałązki kropla wody po chwili zostanie wciągnięta. Miarę siły ssącej da nam również manometr, tylko inaczej urządzony (rys. 152). Mamy tu znowuż rurkę kolankową z rtęcią. Do jednego z kolan wlewa się woda i zanurza się do niej za pomocą szczelnego korka kauczukowego świeżo ścięta gałązka. Po upływie kilku godzin zauważymy wzniesienie się rtęci w kolanie z gałązką, a różnica jej poziomów w obu kolanach pokazuje w jakiej mierze zmniejszone jest ciśnienie w tym kolanie. Różnica ta dochodzi do 30 cm. i więcej, t. j. rozrzedzenie powietrza w skutek ssącej siły liści dosięga $^1/_2$ atmosfery lub więcej. Przyczyną tego zjawiska jest t. zw. wyziewanie t. j. parowanie wody przez szparki. W miarę tego jak się ulatnia pod wpływem promieni słonecznych woda z komórek liścia, roztwory zawartych w tych komórkach ciał stężają się, a przez to, według praw osmozy, powodują silne wsiąkanie z sąsiednich komórek, a ostatecznie z naczyń. Jeżeli uprzytomnimy sobie jaką ol-

Rys. 152. Manometr do wykazania ssącej siły liści.

brzymią powierzchnię parującą posiadają liście, zrozumiemy łatwo, co za kolosalne masy wody przepływają przez roślinę. Morga rozmaitych zbóż paruje przez lato od 2 do 4-ch milionów funtów wody; morga łąki o mieszanych trawach — do 10,000,000 funtów.

Wollny (1888) oznaczył ilość wody zużywaną przez rozmaite rośliny w ciągu całego czasu wegetacyi; wynosiła ona:

dla grochu	11,212	klgr.
„ owsa	7,140	„
„ grochu	4,176	„
„ gorczycy	4,974	„

susząc następnie każdą z tych roślin i ważąc je znalazł, że na 1 gr. suchej substancyi każda pochłania następującą ilość wody:

kukurydza	233 gr.
owies	665 „
groch	416 „
gorczyca	843 „

Ciśnienie korzenia działa więc jak pompa tłocząca; wyziewanie liści — jak pompa ssąca. Bądź co bądź obie te siły nie wystarczają do wytłumaczenia podnoszenia na znaczną niekiedy wysokość kolosalnej ilości wody wyziewanej przez rośliny.

Wyziewanie zostaje w ścisłej zależności od stopnia suchości powietrza, od temperatury i wiatrów, ruch bowiem powietrza, jak wiadomo, przyśpiesza parowanie. Światło potęguje w znacznej mierze wyziewanie a najwięcej promienie niebieskie i fioletowe; po nich te, które odpowiadają smudze pochłonienia chlorofilu w barwie czerwonej i, jak pokazuje doświadczenie, zjawisko to jest w pewnym związku z czynnością ciał chlorofilowych. Wyziewanie jest tem mniejsze, im silniejsze przyswajanie; jeżeli zatruć ciała chlorofilowe eterem, przestają one przyswajać, a jednocześnie zwiększa się wyziewanie. Taki sam skutek wywiera umieszczenie rośliny w atmosferze, pozbawionej kwasu węglowego. Wszystkie te czynniki wywierają wpływ i na ssącą siłę liści. Nie możemy tu zatrzymywać się nad rozmaitemi przystosowaniami, jakie posiadają zwłaszcza rośliny suchych klimatów (stepowe) dla zabezpieczenia się

od nadmiernej straty wody przez pocenie [1]). Przypomnijmy tylko urządzenie szparek w ten sposób, że zamykają się przy suchej pogodzie, a otwierają się w wilgotną, oraz nieprzenikliwość nadskórka.

Komórki więc liścia możemy porównać do parownic, w których stęża się woda morska, aby otrzymać z niej sól. Bardzo rozcieńczone roztwory, przybywające z gruntu przez wiązki naczyniowe, zgęszczają się w nich wskutek wyziewania liścia; woda, która służyła za środek rozpuszczenia i doprowadzenia rozmaitych substancyi do miejsca ich przeznaczenia, wydala się w postaci pary, nielotne zaś ciała mineralne nagromadzają w komórkach liścia i ulegają dalszym przeróbkom.

---

[1]) Należą tu: znaczna grubość nadskórka (por. R. I), oraz nasiąknięcie tego ostatniego substancyami woskowatemi, zagłębienie szparek, gęste okrycia włoskowe liści, wreszcie zupełna utrata liści z przeniesieniem czynności przyswajania na zielone pędy i wytworzeniem w nich odpowiedniej do tego tkanki palisadowej (rośliny bezlistne). Osiąga się przez to znaczne zmniejszenie powierzchni pocącej (okrągły kształt pędu w porównaniu z płaskim liścia).

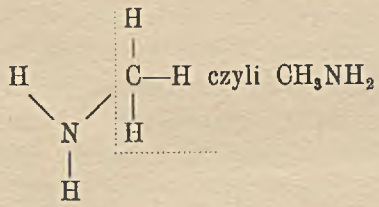
ROZDZIAŁ XIV.

Powstawanie białka w roślinie.

1. Ażeby zrozumieć drogę, którą musi przebyć azot przy przeróbce kwasu azotnego na ciała białkowate, powinniśmy poznać bliżej gromadę związków jego, mającą doniosłą rolę w sprawie odżywiania roślin.

Jeśli w amoniaku, którego wzór jest NH_3 zamiast jednego, dwóch lub wszystkich trzech atomów wodoru (H) umieścimy jakiekolwiek gromady atomów węgla, wodoru i tlenu otrzymamy związki, które obejmujemy wspólną nazwą amidów.

Najprostszy z amidów będzie miał wzór:



Zamiast jednego atomu wodoru stanęła tu jednowartościowa gromada CH_3 zwana metylem, a otrzymane w ten sposób ciało nazywa się metyljakiem.

Zamiast gromady metylowej może stanąć i bardziej skomplikowana grupa atomów, a nawet dwie lub trzy, zajmując miejsca pozostałych atomów wodoru. W organizmach zwierzęcych i roślinnych spotykają się najwięcej amidy, w których grupa amidowa (NH_2) połączona jest z rodnikiem kwasowym. Przytem grupa ta może zajmować miejsce bądź to wodoru

w rodniku kwasowym, bądź hydroksylu (HO). Pierwszego typu związki nazywamy kwasami amidowemi; drugiego — amidami kwasowemi. Tak np. kwas octowy mający budowę:

$$\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CO\,.\,OH \end{matrix}$$

dalej dwa związki

$$\begin{matrix} CH_2\,.\,NH_2 \\ | \\ CO\,.\,OH \end{matrix}$$ kwas amidooctowy czyli glikokol

oraz

$$\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CO\,.\,NH_2 \end{matrix}$$ — amid kwasu octowego

Pierwszy z nich zawiera wodor karboksylowy, który może być zastąpiony przez metal; posiada więc cechy i własności kwasu, chociaż osłabione wskutek obecności grupy NH_2 o zasadowym charakterze. Lecz także może występować jako zasada; jest bowiem amoniakiem z jednym wodorem zastąpionym grupą kwasową, co się uwydatnia gdy napiszemy go tak: $N < \overset{H_2}{CH_2\,.\,CO_2H}$. Ten dwoisty charakter wspólny jest wszystkim kwasom amidowym. Drugi rodzaj amidów nie ma wcale wodoru zdolnego do zamieszczenia przez metale, albowiem utracił grupę hydroksylu. Ma on charakter zasady podobnej do amoniaku, t. j. łączącej się z kwasami bez wydzielenia wody.

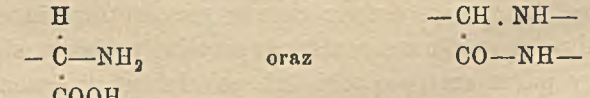
2. Obecność związków amidowych w organizmach zarówno roślinnych jak zwierzęcych tłumaczy się tem, że są one najbliższymi produktami rozkładu białka. Że azot w białku zawarty jest przeważnie w postaci grup amidowych, o tem przekonywa już proste doświadczenie: przy gotowaniu w eprubetce białka z wodanem potasu lub sodu wydziela się amoniak, który poznajemy po woni lub po niebieskim zabarwieniu zwilżonego czerwonego papierka lakmusowego.

Jeśli reakcyę tę przeprowadzimy oględniej, używając zamiast potasu wodanu baryty i ogrzewając z nią białko do 200° C w zalutowanych rurkach, jak to czynił Schutzenberger (w Paryżu), to zamiast amoniaku wydziela się cały szereg kwasów amidowych.

Powstają mianowicie przy rozkładzie białka tą lub innemi metodami: glikokol $C_2H_5NO_2$; alanina $C_3H_7NO_2$ (kwas α-amidopropionowy); kwas amidowalerowy $C_5H_{11}NO_2$; leucyna (kw. amidokapronowy), $C_6H_{13}NO_2$, kwas szparagowy $C_4H_7NO_4$ (amidobursztynowy) i glutaminowy $C_5H_9NO_4$ oraz seryna $C_3H_7NO_3$ (kwas α-amido-p-oxypropionowy). Obok tego zasady amidowe: lyzina $C_6H_{14}N_2O_2$ (kwas α-, ε- diamido-n-kapronowy) i lyzatinina ($C_6H_{13}N_3O_2$), z której powstaje arginina $C_6H_{14}N_4O_2$ (kwas guanidino-α-amido-n-walerowy), także histidina $C_6H_9N_3O_2$. Szereg aromatyczny reprezentują: fenilalanina $C_9H_{11}NO_2$ (kwas fenilo-α-amidopropionowy), tyrozyna $C_9H_{11}NO_3$ (kw. p-oksyfenilo-α-amidopropionowy), triptofan $C_{11}H_{12}N_2O_2$ (kwas skatolo-α-amidooctowy). Grupę pirolową: kwas α-pirolidinokarbonowy $C_5H_9NO_2$; oraz kw. oksi-α-pirolidino karbonowy $C_5H_9NO_3$. Ze związków zawierających siarkę: cystyna $C_6H_{12}O_4N_2S_2$ (kwas amido-tio-mleczny).

Z typowych reakcyi ciał białkowatych ksantoproteinowa (żółty osad przy gotowaniu z kw. azotnym, barwiący się pomarańczowo za dodaniem NH_3) pochodzi od składników aromatycznych; rekcya Milona (różowe zabarwienie przy gotowaniu z azotanem rtęci) —od tyrozyny. Wspólna wszystkim ciałom białkowatym oraz albumozom i peptonom reakcya dwumocznikowa (kilka kropel rozcieńczonego roztworu siarczanu miedzi dodane do białka obficie zaprawionego wodanem potasu lub sodu daje niebieskie zabarwienia z ciałami białkowatemi, pąsowe z albumozami i peptonami), charakteryzuje związki zawierające dwie grupy $CONH_2$ (lub jednę z nich w postaci —CH.NH—) połączone z jednym C lub N.

Reakcya ta oraz produkta rozkładu każą przyjąć w ciałach białkowatych gromady atomów



a ciała te uważać za amidy kwasowe powstające przez spojenie z sobą kwasów amidowych według typu łańcuszka jak następujący:

Lecz prócz grup amidowych wykryto w najnowszym czasie w wielu ciałach białkowatych gromadę atomów tworzących wodan węgla, a mianowicie w postaci glukozaminy to jest amidu cukru gronowego $C_6H_{11}(NH_2)O_5$ (w którym NH_2 zajmuje miejsce OH). Zobaczymy niżej jakie znaczenie ma to odkrycie dla fizyologii.

3. Doświadczenie wykazało, że ilekroć roślina lub jej część znajduje się w takich warunkach, w których nie może wytwarzać wodanów węgla (krochmalu i cukru), — więc gdy ją utrzymujemy w ciemności lub pozbawiamy dostępu kwasu węglowego z powietrza, również w pączkach, odciętych od przyswajających te ciała liści, — nagromadza się zawsze znaczna ilość asparaginy [1]) lub innych amidów, znikających natychmiast, skoro tylko przywracają się normalne warunki, pozwalające na wytworzenie wodanów węgla, a natomiast zwiększa się ilość ciał białkowatych. Wnosimy ztąd, że ciała białkowate powstają przez połączenie wodanów węgla (mianowicie cukru gronowego) z amidami (asparaginą), a na korzyść tego wniosku przemawia i odwrotna przemiana: mówiąc o wędrówkach związków organicznych w roślinie, zobaczymy, że ilekroć ciała białkowate przenoszą się z jednej jej części do drugiej, ulegają one rozkładowi na cukier i asparaginę, glutaminę lub inne amidy.

Istnieją rozmaite hypotezy co do reakcyi odbywających się w roślinie, której wynikiem jest synteza białka. Niema atoli powodu do zwątpienia, iż białko tworzy się przez połączenie amidów z wodanami węgla, a jak widzieliśmy chemia białka przemawia za tem, że amidy i wodany węgla wchodzą w skład jego cząsteczki.

Mniej mamy wątpliwości co do miejsca gdzie odbywa się połączenie amidów z wodanami węgla. Badania Schimpera przekonały, że pracownią chemiczną, w której odbywa się owa

---

[1]) Wzór asparaginy jest taki: $NH_2.CH(CO_2H)CH_2.CO.NH_2 = C_4H_8N_2O_3$. Mamy tu dwie grupy amidowe połączone łańcuchem atomów, należącym do kwasu bursztynowego: $H\vdots.CH.CO.(OH).CH_2.CO.\vdots OH = C_4H_6O_4$; grupy H i HO oddzielone kreskami kropkowanemi ustępują miejsce grupom amidowym (NH_2) przy tworzeniu się asparagiuy z kw. bursztynowego.

tajemnicza, jak dotąd sprawa, jest komórka chlorofilowa liści i młodych gałązek, miejsce, gdzie pod wpływem promieni słonecznych wyrabia się cukier, który prawdopodobnie, w części przynajmniej, zostaje natychmiast użyty na utworzenie białka.

Za pomocą niektórych odczynników (difenilamina) możemy wykazać najmniejsze nawet ilości kwasu azotnego. Schimper, badając pod mikroskopem skrawki rozmaitych części roślin przy pomocy takich odczynników, przekonał się, że kwas azotny wędruje bez zmiany (w postaci saletry) przez wiązki naczyniowe korzenia, łodygi, ogonków i nerwów liści, a znika dopiero w ich miąższu chlorofilowym. Tu więc ulega przeróbce.

Widzieliśmy już, że przeróbka ta polega na odtlenieniu; odbywać się więc może tylko w obecności ciał, które chętnie łączą się z tlenem, odbierając go innym. Do takich ciał należy cukier. Część utworzonego przez ziarnko chlorofilowe cukru utlenia się prawdopodobnie, odbierając tlen kwasowi azotnemu, kiedy druga część wchodzi w związek z utworzonemi przez to amidami, aby dać białko. Produktami utlenienia pierwszej są kwasy organiczne — ciała, zawierające wiele tlenu i znajdujące się w każdej roślinie. Do najbardziej rozpowszechnionych należy przedewszystkiem kwas szczawiowy, używany powszechnie do wywabiania plam atramentowych; dalej kwas winny, który pijemy w proszkach musujących; następnie znajdujące się przeważnie w owocach kwas cytrynowy (w cytrynie, porzeczkach), oraz jabłkowy (w jabłkach, wiśniach, śliwkach, maliuach).

4. Kwas szczawiowy zajmuje osobliwe miejsce w sprawie tworzenia się białka. Samo już rozpowszechnienie szczawianów wapnia w roślinie i rozpuszczalnego szczawianu potasu w soku komórkowych wskazuje na to, że wytworzenie jego zostaje w związku z jakiemiś bardzo istotnemi czynnościami fizyologicznemi.

Powstawanie jego łatwo wytłumaczyć jeśli przypomnimy, że tworzy się on przy utlenianiu cukru kwasem azotnym, co stanowi zwykły sposób otrzymywania tego kwasu. Może więc tworzyć się w roślinie podczas odtleniania kwasu azotnego przez cukier według następującego zrównania (A. F. W. Schimper):

$$C_6H_{12}O_6 + 2NHO_3 = C_4H_8N_2O_3 + C_2H_2O_4 + 2H_2O + 3O$$ [1])

cukier — kw. azotny — asparagina — kw. szczawiowy — woda — tlen

Będąc jednak ubocznym produktem tej sprawy odgrywa w niej także i rolę czynną.

Wiemy, że kwas azotny zostaje doprowadzony do komórek chlorofilowych liścia przeważnie w postaci saletry wapiennej, t. j. w połączeniu z wapnem. Przez odtlenienie kwasu tego wapień zostaje wolny i łączy się teraz z kwasem szczawiowym, tworząc z nim nierozpuszczalne w wodzie kryształy szczawianu wapnia, które istotnie w obfitości znajdujemy wszędzie, gdzie znajduje się tkanka chlorofilowa. W taki sposób zostają usunięte z komórki niepotrzebne produkta uboczne. Kryształy te nagromadzają się aż do jesieni, kiedy wraz z opadającymi liśćmi zostają odrzucone.

Nie wszystek jednak kwas szczawiowy znajduje się w postaci soli wapiennej w ciągu lata. Część jego jest połączona z potasem, tworząc sól rozpuszczalną, zawartą w soku komórek. Jeżeli w epruwetce do roztworu potasowej soli kwasu szczawiowego dodamy jakiejkolwiek również rozpuszczalnej soli wapnia, np. azotanu wapnia, to następuje reakcya chemiczna: kwasy mieniają się swemi zasadami: tworzy się rozpuszczalny azotan potasu (saletra zwyczajna) i nierozpuszczalny szczawian wapnia, który opada na dno w postaci drobnych kryształów.

Azotan wapnia › · · · · · · · · › Azotan potasu

i — dają — i

Szczawian potasu › · · · · · · · · › Szczawian wapnia

---

[1]) Może tworzyć się także i w drugiej fazie procesu: połączenia amidów z cukrem, według wzoru:

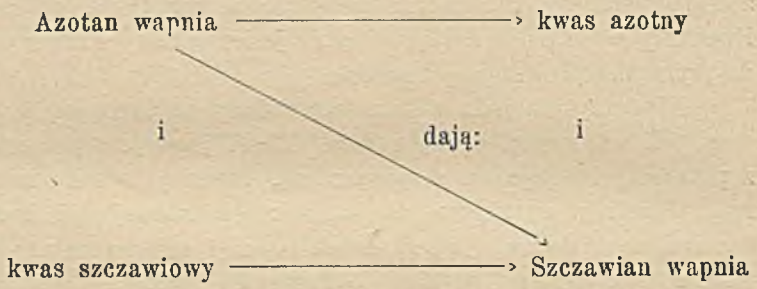
$$9C_4H_8N_2O_3 + 9C_6H_{12}O_6 = C_{12}H_{112}N_{18}O_{22} + 9C_2H_2O_4 + 23H_2O + 2H_2$$

asparagina — cukier — białko bez siarki (uproszczony wzór) — kw. szczawiowy — woda — wodór

(Pałładin)

Taka właśnie reakcya odbywa się w liściach przed ich opadaniem, a ma ona dla rośliny wielkie znaczenie: cały potas, metal ważny dla rośliny i stosunkowo rzadki w przyrodzie, przechodzi z liści do gałązek, pnia i korzenia i zostaje zaoszczędzony: przeciwnie niepotrzebny już (po dopełnieniu swojej czynności — doprowadzeniu roślinie kwasu azotnego) wapień, połączony w postaci kryształów z również niepotrzebnym kwasem szczawiowym, odrzuca się wraz z liśćmi.

Na tem nie kończy się rola kwasu szczawiowego. Emmerling wykazał, że znaczne ilości wolnego kwasu szczawiowego rozkładają z łatwością azotan wapnia, wywiązując kwas azotny:



Przypuszczają, że taką jest jedna z czynności, którą pełni kwas ten w roślinie: rozkładając wciąż przybywające ilości azotanu wapnia, kwas szczawiowy wywiązuje wolny kwas azotny, który odtleniając się, daje materyał na utworzenie ciał białkowatych.

Może być, że w związku z nagromadzeniem zapasowego białka w nasieniu — białka przeznaczonego na żywienie młodej roślinki, dopóki się nie wykształci do tego stopnia, aby o własnych siłach przyswajać azot z ziemi — zostaje obfitość kwasów organicznych w owocach. Widzieliśmy bowiem, że kwasy te uważać należy za uboczne produkta odtlenienia przy powstawaniu białka.

Reakcya syntezy białka w roślinach może się odbywać bez udziału światła, byleby był gotowy materyał wodanów węgla, z którego się ono tworzy. Ale wiemy, że te właśnie ciała potrzebują udziału światła i chlorofilu.

Dla tego też rośliny zielone wytwarzają białko przeważnie, a może wyłącznie w komórkach zawierających chlorofil i oświetlonych: w ciemności, jak wiemy, tworzą się tylko amidy, ale nie ciała białkowate. Zbyteczność światła dla syntezy białka wykazali Kinoshito (1895) i Hansteen (1896): pierwszy hodował rośliny wypłonione w roztworach metylalu lub gliceryny (z których mogą tworzyć cukier w ciemności) i wykazał przyrost białka w ciemności. Drugi wykazał jakie gatunki cukru mogą łączyć się z rozmaitymi amidami na białko, w ciemności. Pokazało się, że asparagina daje białko w obecności cukru gronowego, lecz nie daje z trzcinowym; przeciwnie cukier trzcinowy łączy się z glikokolem; leucyna, alanina i kreatyna — z żadnym z wymienionych. Istnieje przytem cała gromada roślin bezchlorofilowych (grzyby i wszystkie wogóle roztocze i pasożyty), które mogą wytwarzać białko w ciemności, jeżeli mają zkądinąd wzięte wodany węgla (krochmal, cukier). Te organizmy najlepiej przyswajają azot w postaci związków amoniakalnych lub organicznych i zdaje się, że wcale nie mogą przyswajać kwasu azotnego.

5. Wiemy już, że grunt ustawicznie traci swój azot: z substancyi organicznych część azotu przechodzi na amoniak i ulatnia się w powietrze; z tego zaś który utlenia się na kwas azotny, pewną część wypłukuje woda gruntowa i unosi w morza. Gdyby więc nie było innych dostępnych dla roślin źródeł azotu, prócz zawartego w ziemi, ilość roślinności na kuli ziemskiej musiałaby stopniowo zmniejszać się i możnaby było przewidzieć czas, wprawdzie bardzo odległy, w którym zostaną zużyte przez rośliny ostatnie atomy związanego azotu i nastąpi koniec wszelkiego życia na naszym planecie.

Taki wniosek zdawał się nieuniknionym po ścisłych doświadczeniach Boussingaulta, które dowiodły, że wyższe rośliny w zwykłych warunkach mogą korzystać tylko z azotu gruntowego. Niebawem jednak pokazało się, że przewidzenia takie byłyby tylko jednem ostrzeżeniem więcej co do tego, jak mało ufać powinniśmy zbyt szerokim uogólnieniom, opartym chociażby na najściślejszych badaniach.

Już dawno nauka rolnictwa przyjmowała na podstawie licznych doświadczeń agronomicznych istnienie roślin, wzboga-

cających ziemię w azot: do tych zaliczano takie, jak łubin, groch, fasola, wyka, w ogóle strąkowe. Jednak te spostrzeżenia agronomów nie mogły mieć znaczenia decydującego wobec ścisłych badań, dokonanych w laboratoryach, które rozmaitemi sposobami przeprowadzone, dawały zawsze jeden wynik: że ilość azotu w roślinach, wzrastających na gruncie pozbawionym tego pierwiastku, zostaje taką jaka była w nasionach. Rośliny więc oczywiście nie mogły korzystać z ogromnego zapasu wolnego azotu powietrza.

Bardzo ściśle przeprowadzone w ciągu szeregu lat doświadczenia Lawesa i Gilberta w Anglii wykazały wprawdzie niewątpliwie, że rośliny strąkowe mogą rozwijać się i zwiększać ilość azotu w gruncie, nie otrzymując wcale nawozów azotowych. Tłumaczono jednak sobie taki wynik tem, że korzenie ich, idąc bardzo głęboko w glebę, wyciągają azot z głębszych warstw, do których nie sięgają korzenie zbóż.

Rys. 153. Korzeń grochu z brodawkami.

Dopiero niedawno (Hellriegel i Wilfarth) przekonano się niezawodnie o przyswajaniu przez rośliny strąkowe azotu z powietrza i dowiedziono, że pośrednikami w tej sprawie są niższe organizmy żyjące w gruncie, przeważnie zaś bakterye.

W doświadczeniach Boussingaulta, ziemia była zwykle przepalona dla oddalenia substancyi organicznych, a więc pozbawiona tych organizmów niższych (sterylizowana). Jeśli jednak rośliny strąkowe rozwijają się na zwyczajnym (niesterylizowanym) gruncie, na korzeniach ich niebawem ukazują się małe brodawki: są to miejsca, gdzie tkanka rozrasta się mniej więcej w ten sam sposób, jak tkanka liści od ukąszenia owadów (rys.

153). Badając pod mikroskopem przecięcie takiej brodawki, dostrzeżemy, że komórki jej zapełnione są ciałkami bardzo podobnemi do bakteryi, które nazwano bakteroidami.

Jeżeli posadzimy nasienie grochu lub łubinu do ziemi pozbawionej bakteryi i azotu, to roślina rozwija się tylko dopóki starczy zapasu zawartego w nasieniu azotu; badając zaś jej korzeń, nie znajdziemy na nim żadnych brodawek. Dość jest jednak zaszczepić do gruntu trochę bakteryi, wziętych z brodawki innej rośliny tegoż gatunku, ażeby wyhodowana na sterylizowanym gruncie roślinka rozwinęła brodawki korzeniowe, a co za tem idzie, rosła dalej normalnie tak, jakby miała w gruncie zapas azotu. Brodawki te więc powstają wskutek zakażenia rośliny przez bakterye [1]), zupełnie podobnego do tego, które wywołuje choroby w organizmie człowieka i zwierząt, z tą jednak różnicą, że te chorobliwe nowotwory (brodawki) są bardzo korzystne dla rośliny. Godnem jest uwagi, że zakażenie ziemi bakteryami wziętemi z brodawek rośliny strąkowej innego gatunku (np. bakterye robinii przeniesione na groch) wcale nie sprzyja jej rozwojowi (Nobbe).

Badania Berthélota nad temi bakteryami, również jak i innemi, które wydzielił z gruntu, przekonały niezawodnie, że one to powiększają ilość azotu w ziemi. Tak np. wyciśnięte z brodawek łubinu bakterye zwiększyły w ciągu kilku miesięcy ilość azotu w cieczy pożywczej na 50%. Inne bakterye, wyciągnięte z gruntu, dały przyrost azotu na 75—100%. Podobnież działają, chociaż w słabszym stopniu, grzybki pleśniowe, wodorosty i inne niższe rośliny.

Dzięki więc florze mikroskopowej, gnieżdżącej się w glebie, część azotu przechodzi stopniowo z powietrza do gruntu w stan związany — w postaci azotu organicznego; a inna, również mikroskopowa flora — organizmy nitryfikacyjne przerabia ten azot organiczny na saletrę, tak potrzebną dla roślin wyższych. W ten sposób wynagradza się ciągła strata azotu gruntowego, a może i wzrasta ilość tego pierwiastka w glebie.

---

[1]) Sprawę ich powstawania pod wpływem bakteryi opisał p. Prażmowski, udowadniając niezawodnie, że bakteroidy powstają z bakteryi.

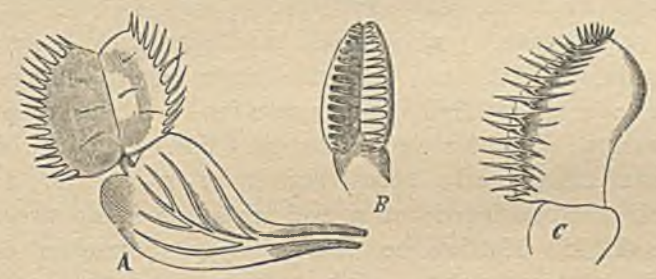
Krążenie azotu w przyrodzie przy udziale organizmów, możemy więc (wślad za Schloesingiem) przedstawić w sposób następujący: kwas azotny, powstający w gruncie odtlenia się w roślinach, idąc na utworzenie ciał białkowatych, któremi żywią się zwierzęta. Trupy i odrzutki zwierzęce i roślinne powracają azot ziemi w postaci związków organicznych. Z tych część rozkłada się wydzielając w powietrze azot — wolny lub w postaci amoniaku, część zaś utlenia się, dając kwas azotny (saletrę). Część jego wchłania się przez korzenie roślin, inna wypłukuje się wodą deszczową z gruntu i unosi się w morza, gdzie działaniem roślin morskich przerabia się znowuż na związki amoniakalne, które razem z parą wodną wracają do powietrzni.

Rys. 154. Rosiczka: a—cała (wielkość naturalna), b—liść z włoskami otaczającymi muszkę (powiększony).

6. Odrębny typ wzbogacania się w azot znajdujemy u roślin owadożernych. Należą one przeważnie do flory bagien, gdzie (wskutek słabego wyziewania) przypływ azotu przez korzenie jest ograniczony. To też azot, który przyswajają przez trawienie ujętych owadów, nie jest niezbędny dla ich rozwoju, lecz sprzyja mu. Należą tu: muchołówka (Dionea muscipula), tłustosz (Pinguicula), rosiczka (Drosera), dzbanusznik (Nepenthes), z wodnych pływacz (Utricularia) i inne. Mają one rozmaite urządzenia dla chwytania owadów. U rosiczki odbywa się ono przez zgina-

nie się ku siedzącemu na liściu owadowi długich włosków gruczołowych, które otaczają go zewsząd i wypuszczają sok rozpuszczający białko, przyczem i sam liść zgina się zamykając muszkę. U muchołówki blaszka liściowa zamyka się ruchem dość szybkim, przyczem ząbki jednej połówki wchodzą między ząbki drugiej, a sok wydzielony rozpuszcza białko zwierzęcia, zamieniając je na peptony.

U dzbanecznika i innych pokrewnych, liście zakończone są dzbanuszkami zaopatrzonymi we włoski skierowane ku wnętrzu, tak iż owad, który się tam dostał nie może wypełznąć i rozpuszczony zostaje przez sok trawiący, wydzielony gruczołkami. Zbliżone do tego jest urządzenie u pływacza: woreczki jego, zanurzone w wodzie, są pułapkami na drobne skorupiaki.



Rys. 155. Liście muchołówki (wielkości naturalnej): A—otwarty, B—zamykający się, C—zamknięty.

Hodowle porównawcze w obecności owadów oraz przy ich wykluczeniu wykazały, że w pierwszym wypadku rośliny te rozwijają się bujniej i wydają obfite nasiona.

7. Wśród pierwiastków, które rośliny wyższe wchłaniają przy pomocy korzenia, azot zajmuje najpokaźniejsze miejsce co do ilości. Inne, jak fosfor, siarka i niektóre metale, chociaż niezbędne dla życia roślin, wchodzą w ich skład w nierównie mniejszej ilości.

Fosfor jak wiemy stanowi część składową nukleiny, prócz tego w postaci kwasu fosfornego towarzyszy zawsze białku. Ilość jego w roślinie jest bez porównania mniejsza niż azotu (stanowiącego około $^1/_6$ części wysuszonego białka pro-

toplazmy komórek). Pochodzi on z kwasu fosfornego gruntu, ulegającego nieznanym bliżej przeróbkom w roślinie. Niedostateczną ilość fosforu w glebie uzupełniają nawozami, zawierającemi ten pierwiastek: mączką kostną, fosforytami, guanem.

Siarka wchodzi w skład ciał białkowatych w ilości 0,5—2,0%. Dostaje się do rośliny w postaci kwasu siarczanego, najczęściej w połączeniu z wapnem, t. j. jako gips, który jest najlepszym nawozem zapełniającym brak tego pierwiastku.

Z metali pierwszorzędne znaczenie mają: potas, wapień i żelazo.

Potas jest jednym z najniezbędniejszych dla roślin metali; ilość jego dość znaczna (do kilku procentów suchej substancyi). Znaczenie jego uwydatnia się ztąd, że roślinki hodowane w cieczach, pozbawionych tego pierwiastka, wyrastają karłowato, chociaż mają wszystkie części ukształtowane, korzystając z niewielkiej ilości zawartego w nasieniu potasu. Gdy zaczyna się formować druga para liści w takiej roślince, pierwsza zanika: cały potas przechodzi z niej do drugiej, w ogóle nagromadza się on w tych częściach, gdzie tworzą się młode tkanki. Możliwe że obecność jego potrzebna do wędrówki ciał białkowatych. Jako nawozy potasowe służą kainit (minerał, zawierający prócz potasu magnezium i kwas siarczany), oraz chlorek potasu (do warzyw); prócz tego wszelkie odrzutki roślinne bogate w potas, jak wytłoczyny burakowe, resztki od fabrykacyi cukru, z mączki i t. d.

Wapień, jak dowodzą doświadczenia nad hodowlą roślin, niezbędny jest do przenoszenia wodanów węgla (cukru) z jednych komórek do drugich.

Żelazo wchodzi w nieznacznej ilości w skład wszystkich części rośliny. Nieobecność jego powoduję chorobliwy stan protoplazmy, która nie może wtedy wytwarzać zieleni (bladaczka), chociaż w skład chlorofilu, jak pokazują nowsze badania, pierwiastek ten nie wchodzi.

Krzem, chlor i magnezyum należą do pierwiastków, które wchodzą w mniejszej lub większej ilości w skład wszystkich roślin, których niezbędność jednak nie jest stanowczo do-

wiedziona. Chlor w połączeniu z sodem tworzy sól kuchenną, tak rozpowszechnioną w przyrodzie, że nie może nie wejść przez osmozę do roślin. Niektóre rośliny (solankowe) zawierają ją w znacznej ilości; innym jednak szkodzi już zawartość $^1/_2\%$ tej soli w gruncie. Krzemionkę nagromadzają niektóre rośliny w znacznej ilości (trawy, skrzypy); pełni ona w nich przeważnie czynność mechaniczną, nadając sztywność tkankom. Magnezya znajduje się przeważnie w nasionach w związku z kwasem fosfornym. Zdaje się, że jest niezbędną do życia roślin.

ROZDZIAŁ XV.

Przenoszenie i przechowywanie substancyi organicznej.

1. Wiemy już, że laboratorjum chemicznem, w którem odbywa się wytwarzanie substancyi organicznej, jest komórka miąższu chlorofilowego liścia lub zielonej kory młodych pędów. Poznaliśmy i drogi, któremi dochodzą do tych niezliczonych drobnych pracowni materyały surowe przez nie przerabiane: pożywienie gazowe (kwas węglowy) dostaje się przez szparki i przestwory międzykomórkowe, z których przez cienkie błony z łatwością wsiąka do wnętrza komórek; pożywienie płynne, zawierające substancye mineralne gruntu, przechodzi z włośników do miąższa i wiązek naczyniowych korzenia, potem do wiązek łodygi, gałęzi, ogonków i żeberek liściowych, ażeby z nich wsiąknąć do komórek zielonego miąższu a tu zgęszcza się pod wpływem promieni słonecznych, zostawiając, jak w alembiku nielotne części mineralne, kiedy para wodna ulatnia się tą samą drogą, którą przybywały gazy, t. j. przez przestwory międzykomórkowe i szparki, razem z wytworzonym podczas sprawy przyswajania tlenem.

Winniśmy teraz odpowiedzieć na pytanie, co się dzieje z wyrobioną w liściach substancyą organiczną, zarówno bezazotową jak i azotową, t. j. z wodanami węgla i białkiem.

Wiemy przedewszystkiem, że każda żyjąca roślina r o ś n i e, t. j. wytwarza nowe części swego ciała: liście, gałązki, korzenie, kwiaty i t. d. Materyałem, z którego tworzą się te

nowe organa, jest oczywiście nagromadzona w istniejących już poprzednio substancya organiczna. Ta jej część, która zużywa się na tworzenie nowych organów, nazywa się materyałem budowlanym czyli plastycznym.

Drugiem, mniej powszechnie znanem zastosowaniem wyrobionej w liściach substancyi, jest jej przechowanie w postaci materyałów zapasowych do przyszłego użytku. Znajdują się one przedewszystkiem w nasionach (R. I, § 1) zawierających tyle materyałów zapasowych, azotowych i bezazotowych, ile potrzeba na rozwinięcie zarodka do chwili, w której, wytworzywszy korzonek i listki, młoda roślinka będzie w stanie żywić się sama, t. j. wytwarzać dalej materyały plastyczne, o własnych siłach.

Obok tego rośliny zimujące i trwałe składają ku końcowi lata pewną ilość materyałów zapasowych (najczęściej w podziemnych częściach), które na wiosnę idą na pożywienie młodych pączków do chwili, gdy rozwinięte z nich liście zaczną same przyswajać.

Trzecia część produktów przyswajania zostaje utleniona, t. j. podlega reakcyi odwrotnej tej, która pod wpływem promieni słonecznych odbywa się w ziarnkach chlorofilowych: cukier lub inne wodany węgla wytworzone w nich, zostają spalone na kwas węglowy i wodę, energia zaś, zapożyczona od słońca przy pomocy chlorofilu, wywiązuje się teraz i użytkuje się na potrzeby rośliny. Sprawa ta, której towarzyszy pochłonienie tlenu, a wydzielenie kwasu węglowego, zupełnie tak jak przy oddychaniu zwierząt, nazywa się oddychaniem roślin.

Tylko mała część substancyi organicznej zużywa się na miejscu jej wytworzenia, t. j. w samych chlorofilowych komórkach liści; reszta powinna być doprowadzona do miejsc swego przeznaczenia, a więc materyał plastyczny—do młodych rosnących części, zapasowy—do organów śpichrzowych; wreszcie cały niezużyty na potrzeby zielonych tkanek materyał oddechowy—do tych części lub organów rośliny, które pozbawione będąc zieleni, nie mogą wytwarzać wodanów węgla, a jednak muszą oddychać, t. j. spalać wyrobione gdzieindziej wodany węgla, gdyż wywiązana przy tem energia jest jedynem źródłem sił, objawiających się we wzroście, ruchach, słowem w całem

życiu rośliny. Takimi organami są młode pączki, korzenie, kwiaty, owoce.

Pierwsze więc pytanie, związane z losem produktów przyswajania i syntezy komórek chlorofilowych jest: jakiemi drogami i w jakiej postaci odbywa się wędrówka materyałów roślinnych?

2. Cały szereg spostrzeżeń wskazywał już oddawna na łykową część wiązek naczyniowych jako na **drogę wytworzonych materyałów** (assymilatów).

Jeśli z młodego pędu usuniemy paseczek kory w postaci obrączki, tak aby zupełnie przeciąć komunikacyę kory dolnej części z górną, to razem z korą usuwa się i łykowa część wiązek naczyniowych, kora bowiem odrywa się w punkcie, gdzie mieści się delikatna tkanka miazgi. Roślina tak uszkodzona nie wykazuje żadnej różnicy pod względem rozwoju górnej swej części. Obok tego daje się dostrzedz silny rozrost tkanki korowej w górnej części nad samym pierścieniem. Przeciwnie niżej wycięcia obrączkowego ustaje wszelki rozwój rośliny (Malpighi, 1671).

Jeżeli doświadczenie takie zrobimy z odciętą gałązką wierzby wsadzoną do ziemi, to tylko część jej leżąca wyżej wycięcia kory wyda korzenie przybyszowe. Przeciwnie: jeżeli weźmiemy do podobnych doświadczeń jednę z nielicznych roślin, posiadających drugie łykowe części u rdzenia (wiązki dwuoboczne), korzenie wytworzą się niżej i wyżej wycinka. Takiż wynik dają rośliny jednoliścieniowe, których wiązki naczyniowe rozrzucone są na całej szerokości łodygi. Z doświadczeń tych wnosimy, że materyał plastyczny, niezbędny do utworzenia korzeni przybyszowych, wędruje po pierwiastkach łykowych, a obfitość białka w rurkach sitowych, oraz ich budowa wskazują na nie jako na główną drogę tej wędrówki (Hanstein).

Ten prąd materyałów plastycznych w łyku nazywano niegdyś zstępującym w przeciwstawieniu do wstępującego prądu wody w drewnie. Nazwa ta jest niewłaściwą, i dziś już zarzuconą, nietylko dla tego, że w poziomych lub zwieszonych na dół gałęziach, kierunek obu prądów jest poziomy lub też odwrotny, lecz głównie dla tego, że w jednej i tej samej czę-

sci rośliny prąd materyałów plastycznych bywa niejednakowy: materyały zapasowe, idące na zimę do korzenia, poruszają się w kierunku zstępującym; te, które idą do owoców — we wstępującym również jak i zimowe zapasy, idące na pożywienie pączków z początkiem wiosny.

W nowszych czasach probowano dokładniej oznaczyć warunki przesuwania soków w wiązce łykowej. Czapek robił w tym celu rozmaite doświadczenia (1897), z których wynika: 1-o że soki przesuwają się tylko w kierunku pionowym nie zaś poprzecznym (obrączkowanie z mostkami skośnymi); 2-o że dla przesuwania ich niezbędne jest zachowanie przy życiu rurek sitowych (ogonki liści zabite parą gorącą lub chloroformem nie wyprowadzały cukru z liści).

Pod tym względem mamy więc zupełną przeciwność z ruchem wody po drewnie; a z doświadczeń tych wynika, że cukier wędruje po rurkach sitowych.

Stan plasmolizy, nie doprowadzający do śmierci komórek. nie wpływa na szybkość przesuwania się wodanów węgla; wnosić można z tego, że główną drogą przenoszenia są rurki sitowe, nie zaś osmoza, która czynną jest prawdopodobnie tylko wtedy, gdy idzie o zaopatrzenie w asymilaty komórek miejscowych.

Znalezienie amidów w komórkach miąższu przemawia zdaje się za tem, że ciała białkowate ulegają rozszczepieniu na osmotyczne (krystaliczne), składniki (amidy i wodany węgla) i w tej formie wędrują.

3. Najbliższa przeróbka, której ulega wytworzona przez roślinę substancya organiczna, jest przemiana jej na **materyały zapasowe.**

Miejscem nagromadzenia ich są albo osobne organa, np. bulwy kartofli, które są przekształconemi specyalnie w tym celu częściami łodygi podziemnej, lub też zwykłe części roślin — zwłaszcza podziemne; do takich należą korzenie, w niektórych roślinach przybierające znaczne rozmiary (burak), kłącza (łodygi podziemne), cebule. Dalej komórki miąższu drzewnego lub też i włókna drzewne służą często za miejsce składu krochmalu na zimę, który z początkiem wiosny idzie na

utworzenie nowego drewna (słoju rocznego). Wreszcie nasiona są składem materyałów zapasowych dla zarodka.

Postacią w której się przechowują te materyały są:

1. Dla ciał bezazotowych — krochmal (najczęściej); cukier gronowy lub trzcinowy, rozpuszczony w soku komórkowym (burak, cebula i t. d.); tłuszcze (nasiona tłuste: len, konopie, rącznik i t. d.); inulina — ciało zbliżone do krochmalu, lecz rozpuszczalne w soku komórkowym (bulwy georgini, korzeń cykoryi); wreszcie pewna odmiana błonnika, błonnik rozpuszczalny, tworząca niezmiernie grube ścianki w komórkach niektórych nasion (np. daktyla, palmy słoniowej), a rozpuszczająca się podczas ich kiełkowania, kiedy służy do żywienia zarodka.

2. Substancye azotowe przechowują się w postaci białka, przybierając formę ziarek (ziarka glutenu w nasionach zbóż), albo kryształów białkowych (w nasieniu rącznika, bulwach kartofli i t. d.). Amidy, rozpuszczone w soku komórek, stanowią często pokaźną ilość zapasów azotowych; w korzeniu buraka około połowy azotu przechowuje się w tej postaci.

Prócz tego, niektóre jeszcze ciała, jak garbniki, glukozydy i inne, zdaje się, że pełnią po części rolę substancyi zapasowych.

Przemiana ciał zapasowych nierozpuszczalnych na takie, które mogą odbywać wędrówkę ku miejscu przeznaczenia — a więc na rozpuszczalne i osmotyczne — odbywa się pod wpływem rozmaitych fermentów. Wiadomości nasze pod tym względem są jednak bardzo szczupłe. Wiemy już, że krochmal przemienia się na cukier pod wpływem diastazy; jakoż ferment ten jest bardzo rozpowszechniony w roślinach. Nowsze badania wykazały zresztą, że żywa protoplazma może i w nieobecności diastazy rozpuszczać ziarka krochmalu, przemieniając je na cukier. Produktem działania diastazy jest maltoza — cukier tegoż wzoru, co i trzcinowy. Przytem tworzy się pierwotnie dekstryna, której przemianę na maltozę wyrazić może następujące zrównanie:

$$\underbrace{36(C_6H_{10}O_5)}_{\text{dekstryna}}=\underbrace{C_{216}H_{360}O_{180}}_{\text{dekstryna}}+H_2O=18(\underbrace{C_{12}H_{22}O_{11}}_{\text{maltoza}})$$

Odwrotna przemiana cukru na krochmal odbywa się, jak wiemy w leukoplastach. W nowszych czasach wydzielono z nasion tłustych ferment rozkładający tłuszcze (lipaza). Prócz tego znajdują się w roślinach inne fermenty: inwertazy — rozkładające sacharozy ($C_{12}H_{22}O_{11}$ — cukier trzcinowy lub maltozę) na hexozy ($C_6H_{12}O_6$); cytazy — scukrzające błonnik; proteazy — rozkładające białko na osmotyczne składniki (peptony).

Czas nagromadzenia zapasów zimowych jest rozmaity w różnych roślinach: u klonu zaczyna się już w maju ruch substancyi ku miejscom przechowania; u dębu — w lipcu, u sosny — we wrześniu. Zaczyna się to nagromadzenie w najmłodszych gałązkach, później posuwa się do pnia, a wreszcie obejmuje i korzeń. Kończy się nagromadzenie zapasów wraz z końcem wegetacyi, t. j. ku końcowi lata lub jesienią.

W tym czasie następuje w drzewach naszych klimatów jesienne opróżnienie liści: wszystkie użyteczne i cenne dla rośliny materyały: protoplazma, wodany węgla, sole potasowe, po części i chlorofil przenoszą się do gałązek i pnia, tak że opadające liście zawierają tylko błony i bezużyteczne lub przeznaczone do wyrzucenia substancye (szczawian wapnia). Przenoszenie to prawdopodobnie odbywa się przy udziale połączeń protoplazmatycznych komórek. Gdy liść jest już dostatecznie opróżniony, tworzy się w nasadzie ogonka cienka warstewka tkanki korkowej, odcinająca go od łodygi (ob. rys. 116), po czem następuje zamiana na śluz komórek przylegających do ogonka, wskutek czego liść opada, pozostawiając korkową bliznę, zamykającą wiązki naczyniowe pnia.

4. Użytkowanie materyałów zapasowych zaczyna się na wiosnę z początkiem wegetacyi. Wszystkie pączki liściowe, a u drzew dających wczesny kwiat — i kwiatowe — rozwijają się kosztem zapasów zimowych; jeśli więc spóźniony mróz zabije młode liście wtedy, gdy już zapasy te są wyczerpane, drzewo, nie mogąc wytworzyć organów pożywienia, musi zginąć.

Obfitość cukru dopływającego wiosną z korzeni do rozwijających się pączków, nadaje słodki smak sokom wiosennym rośliny i pozwala używać je jako napój (sok brzozowy). Wiosenny sok idzie po drewnie pod znacznem ciśnieniem i dla te-

go łatwo wypływa przez prześwidrowany otwór. Ciśnienie to łatwo wytłómaczyć, jeżeli przypomnimy prawa osmozy: skoro tylko z początkiem wiosny podwyższona temperatura i obfita wilgoć gruntu pobudzą do czynności komórki korzeniowe, nagromadzone w nich zapasy krochmalu zaczynają się przerabiać pod wpływem diastazy na cukier; ten, jako ciało bardzo czynne osmotycznie, przyciąga wodę z ziemi do wnętrza włośników, lecz sam nie może z nich wysiąkać, gdyż na przeszkodzie temu stoi ich żywa protoplazma. Prąd więc osmotyczny odbywa się w jednym kierunku — ku wnętrzu — i podwyższa w silnym stopniu ciśnienie korzeniowe, które pędzi utworzony roztwór cukrowy ku gałęziom i pączkom liściowym; takie podwyższone ciśnienie w korzeniu trwa, dopóki nie wyczerpie się zapas krochmalu. W tym czasie rozwijają się liście kosztem doprowadzanych materyałów zapasowych i zaczyna się wyziewanie, które zmniejsza ciśnienie wody w drewnie, dając jej upust w postaci pary. Skoro więc rozwiną się liście, sok przestaje sączyć się przez otwory w drewnie.

Łatwo zrozumieć, że podwyższenie ponad zwyczajną normę ciśnienia komórkowego niezbędne jest do podniesienia soków na wysokość pączków, dopóki brakuje drugiego czynnika, poruszającego wodę — siły ssącej liści, spowodowanej wyziewaniem, a więc zaczynającej działać dopiero po rozwinięciu się liści.

Naczynia mleczne (ob. str. 139), służą prawdopodobnie również do przenoszenia rozmaitych materyałów pożywnych, chociaż obok nich zawierają ciała, które możemy uważać za odpadki rośliny, jak smoły i gumy. Odłamując łodygę maku, mniszka lekarskiego, jaskółczego ziela i t. d., widzimy występujące kropelki białego lub żółtego soku, podobnego do mleka; sok ten wypływa z naczyń mlecznych, a przyczyna jego osobliwego wyglądu jest ta sama jak i w mleku: zawiera on liczne mikroskopowe kropelki tłuszczu lub żywicy, zawieszone w wodnistej cieczy i nadające mu białą barwę (jeśli nie jest zabarwiony innemi ciałami rozpuszczalnemi) i nieprzejrzystość. Prócz tłuszczu, znajdują się w soku mlecznym rozmaite ciała rozpuszczone: gumy, białko, cukier i pływające ziarnka krochmalu.

Sok mleczny rozmaitych roślin dostarcza wielu bardzo ważnych artykułów handlu: opium jest skrzepłym sokiem maku; kauczuk i gutaperka — rozmaitych drzew zwrotnikowych.

Co do sił, poruszających wszystkie te ciecze, to prócz znanych nam już sił osmotycznych, działających w miąższu i ciśnienia korzeniowego w drewnie, na przenoszenie materyałów plastycznych muszą wpływać zmiany napięcia tkanek (o którem będzie mowa w jednym z najbliższych rozdziałów) oraz ruchy gałęzi i łodyg, spowodowane wiatrem, które, zmieniając kształt tych części, przepychają zawartość naczyń sitowych lub mlecznych, tak jak naprzykład wyciskamy część zawartości rurki kauczukowej, zmieniając jej kształt (np. zginając ją).

ROZDZIAŁ XVI.

Oddychanie roślin.

1. Materyał organiczny wytworzony przez roślinę, przedstawia, jak wiemy, nietylko pewną sumę materyi, ale i pewną ilość energii, a użycie jego w roślinie odpowiada tej podwójnej roli. Pierwszą, jak wiemy, bierze roślina z powietrza i ziemi, drugą zapożycza od promieni słonecznych, przy udziale ziarka chlorofilowego, nagromadzając ją początkowo w postaci krochmalu lub cukru; energia potencyalna polega na pewnem ugrupowaniu atomów tych ciał, bardzo sztucznem, wprawiającem w znaczne napięcie siły przyciągania pomiędzy niemi, czyli ich naturalne powinowactwa. Każda przyczyna, zakłócająca równowagę tych atomów, powoduje zburzenie cząsteczki i ugrupowanie atomów według prostszego typu, a co za tem idzie, wywiązanie energii czynnej towarzyszącej zjawiskom życia.

Wszelkie reakcye, w których materyał rośliny wytwarza się bez udziału światła, jak np. synteza ciał białkowatych, polegająca na przemianie prostszego ugrupowania atomów kwasu azotnego i amidów w bardziej złożone cząsteczki białka, może odbywać się tylko kosztem nagromadzonej w cukrze i krochmalu energii, t. j. nie inaczej, jak drogą zburzenia pewnej ilości cząsteczek tych ciał i ich przemiany na związki prostszej budowy. Takie same zburzenie cząsteczek niezbędne jest wszędzie, gdzie tylko ma się wywiązać energia, t. j. gdzie od-

bywają się jakiekolwiek ruchy: czy to dostrzegalne dla oka ruchy części roślin — liści, kwiatów i t. d., czy widzialne tylko pod mikroskopem ruchy drobnych ziarenek protoplazmy, czyli też niedostępne dla najsilniejszych powiększeń ruchy atomów, powodujące wiązanie się ich w cząsteczki chemiczne lub składanie się tych cząsteczek na budowlę uorganizowanych części komórek.

Energja więc nagromadzona w materyałach roślinnych, nie inaczej może być zużytkowaną na potrzeby życia, jak drogą zniszczenia pewnej części tych materyałów, a taki ich rozkład, połączony z wywiązaniem energii i wydzieleniem prostszych związków — jego produktów, nazywa się oddychaniem roślin. Oddychanie więc jest środkiem zamiany potencyalnej czyli zapasowej energii rośliny na cynetyczną.

Nie jest to wszelako jedyny sposób zużycia wytworzonego przez roślinę materyału organicznego. Wiemy że wyrastająca z nasienia roślina ma objętość bez porównania większą, niż nasienie, a zwiększenie to nie polega jedynie na większej zawartości wody, gdyż i ilość suchej substancyi wzrasta bardzo znacznie. Roślina rosnąc wytwarza nowe komórki, czyli nowe masy protoplazmy i błon komórkowych, a na te zużywa pewną ilość białka i wodanów węgla — w postaci błonnika: ciał, któreśmy już poznali z tej strony, nazywając je materyałem plastycznym czyli budowlanym. Czynność, przez którą materyał plastyczny zostaje wcielony w ciało rośliny, czyli użyty na jej budowę, nazywamy wzrostem.

Oddychanie więc i wzrost są czynnościami, w których występuje dwojaka rola materyału organicznego: jako zapasu sił czyli energii i jako składu materyi.

2. Ingenhouss w r. 1779, t. j. wkrótce po odkryciu Priestleya, że rośliny „poprawiają" powietrze, zepsute przez zwierzęta, t. j. wydzielają tlen, zauważył, że zjawisko to ma miejsce tylko na świetle i tylko przy użyciu zielonych roślin lub ich części. W ciemności, jak się przekonał, zielone rośliny, a części pozbawione zieleni zawsze „psują" powietrze, t. j. wydzielają kwas węglowy. Zjawisko to, którego bliższem zba-

daniem zajął się Saussure (1804), nazwano oddychaniem, gdyż jest zupełnie podobne do oddechania zwierząt. Polega ono na pochłanianiu tlenu a wydzielaniu kwasu węglowego i wody.

Doświadczenia te powtarzano następnie w najrozmaitszych warunkach i przekonano się, że wszystkie rośliny żyjące w normalnych warunkach i wszystkie ich części pochłaniają tlen, a wydzielają kwas węglowy — wyjątek stanowią tylko spoczywające nasiona i zarodniki. Oddychają również i zielone części rośliny na świetle; lecz zjawisko to jest w nich zamaskowane przez przeważające nad niem przyswajanie kwasu węglowego. Można się przekonać o tem, stawiając pod kloszem hermetycznym na świetle roślinę i naczynie z ługiem potasowym. Ponieważ potas pochłania kwas węglowy chciwiej, niż zielone części roślin, zauważymy po upływie pewnego czasu znaczny przyrost w nim kwasu węglowego.

Przypomnijmy sobie zjawiska zachodzące podczas palenia w piecu — jednej z najzwyczajniejszych form użytkowania energii roślinnej dla naszych potrzeb — a zauważymy, że i z tą sprawą okazuje oddychanie roślin blizkie podobieństwo: i tu cząsteczka drzewa rozkłada się na związki najprostsze, kwas węglowy i wodę, ulatujące z dymem, a wywiązana energia idzie na ogrzanie pokoju lub wprawienie w ruch machiny parowej. Zobaczymy niebawem, że podobieństwo to dotyczy raczej ogólnego przebiegu i końcowego wyniku sprawy, niż jej szczegółów. Nie mniej jednak z tem zastrzeżeniem możemy posługiwać się dawniej pospolicie używanem porównaniem, nazywając ten typ oddychania połączony z pochłonieniem tlenu, czyli *oddychanie normalne*, powolnem spalaniem substancyi organicznej.

3. Rozglądając się dalej w produktach tego powolnego spalenia, widzimy, że nie zawierają one wcale azotu; wnosimy więc, że rozkładające się przy tem cząsteczki nie zawierały go również, czyli że oddychanie odbywa się kosztem substancyi bezazotowej. Najprostsze, nasuwające się przypuszczenie, że *substancyą oddechową są wodany węgla*, stwierdza stosunek objętości wchłonionego tlenu, do wydzielonego kwasu węglowego.

Jeżeli napiszemy wzór cukru gronowego i dodamy do niego 6 cząsteczek tlenu (każda cząsteczka tlenu składa się z dwóch atomów), łatwo dostrzeżemy, że z napisanej ilości atomów możemy otrzymać 6 cząsteczek kwasu węglowego i tyleż wody, jak wykazuje następujące zrównanie:

$C_6H_{12}O_6$	+	$6O_2$	=	$6CO_2$	+	$6H_2O$
Cukier gronowy		6 cząsteczek tlenu		6 cząsteczek kw. węglowego		6 cząsteczek wody

Jest to reakcya ściśle odwrotna tej, którą poznaliśmy jako przyswajanie węgla, a dla tej samej co tam przyczyny, objętość pochłoniętego tlenu musi być przy oddechaniu równą objętości wydzielonego kwasu węglowego: ilość bowiem cząsteczek jednego i drugiego w obu wypadkach jest jednakowa. Takiż sam wynik otrzymalibyśmy pisząc wzór krochmalu ($C_6H_{10}O_5$), tylko, zamiast sześciu, mielibyśmy pięć cząsteczek wody.

Doświadczenia dokonane w rozmaitych warunkach, wykazały, że objętości obu gazów są najczęściej bardzo zbliżone do siebie, chociaż niezupełnie równe: zwykle wydziela się trochę mniej kwasu węglowego niż pochłania tlenu. Różnica ta może zależeć po części od tego, że pierwszy, jako łatwiej rozpuszczalny w wodzie, zostaje w sokach rośliny, a stwierdza to przypuszczenie fakt, że rośliny soczyste zatrzymują początkowo (dopóki soki ich nie nasycą się gazem) prawie cały wydzielony kwas węglowy.

W niektórych jednak wypadkach zboczenie jest znaczniejsze i daje się wytłumaczyć innemi przyczynami. Stosuje się to przedewszystkiem do kiełkowania nasion olejnych, t. j. zawierających materyał zapasowy bezazotowy w postaci oleju zamiast mączki; do takich należą: rzepak, konopie i wiele innych. Ponieważ tłuszcze zawierają w ogóle znacznie mniej tlenu niż wodany węgla, muszą więc pochłonąć większą jego ilość z powietrza dla wytworzenia tyluż cząsteczek kwasu węglowego. To też przy kiełkowaniu takich nasion, stosunek objętości kwasu węglowego do tlenu jest znacznie mniejszy od jedności: objętość powietrza w zamkniętej przestrzeni nad rtę-

cią zmniejsza się widocznie, jeżeli w niej rosną nasiona olejne $\left(\frac{CO_2}{O_2} < 1\right)$ [1]). Odwrotne zjawisko daje się widzieć przy dojrzewaniu tych nasion: przy dojrzewaniu maku np. znalazł p. Godlewski (1882), że pochłania się $1^1/_2$ razy mniej tlenu, niż wydziela się kwasu węglowego $\left(\frac{CO_2}{O_2} > 1\right)$.

Również i podczas wzrostu rośliny w miarę jak zwiększa się jego szybkość (która ulega peryodycznym zmianom, o czem mowa będzie w następnym rozdziale) zmniejsza się stosunek wydzielonego kwasu węglowego do pochłoniętego tlenu. Zjawisko to wytłómaczyć można w sposób następujący: przy wzroście rośliny wytwarza się znaczna ilość błon komórkowych; wiemy, że błony we wszystkich wypadkach powstają wskutek czynności protoplazmy, łatwo więc nasuwa się myśl, że materyał ich — błonnik, jest produktem powstającym z białka, a już była mowa o tem, jak sprawa rozkładu białka na część bezazotową (błonnik) i bogatszą w azot wiąże się z jego syntezą, i odradzaniem z tej drugiej części przy pośrednictwie wodanów węgla, oraz ze zwiększeniem jego ilości, dzięki nowo przyłączonemu azotowi kwasu azotnego. Ale błonnik zawiera na tę samą ilość węgla więcej tlenu, niż białko; to znaczy, że jego wydzielenie z białka jest sprawą utlenienia czyli potrzebuje przyswojenia pewnej ilości tlenu. Ta właśnie część, idąca na utworzenie błonnika, zwiększa stosunek objętości gazów na niekorzyść kwasu węglowego.

4. Zewnętrzne warunki wpływają rozmaicie na energię oddychania roślin. Przedewszystkiem należy tu ciepłota: z podwyższeniem temperatury zwiększa się wymiana gazów; trwa to dopóki temperatura nie dojdzie do 40° C. W tej temperaturze oddychanie dosięga największego stopnia (maximum); jej dalsze podwyższenie aż do śmierci rośliny, nie zwiększa energii oddychania.

---

[1]) Za przykład posłużyć może trójoleina (t. j. eter gliceryny z 3 cz. kw. oleinowego): $C_3H_5O_3(C_{18}H_{33}O)_3 + 80O_2 = 57CO_2 + 52H_2O$ co dałoby stosunek $\frac{CO_2}{O_2} = \frac{57}{80}$.

Ilość wodanów węgla w roślinie wpływa również na energię oddychania, dla tego też zielone rośliny oddychają żywiej, gdy są wystawione na światło, gdyż wytwarzają wtedy znaczne ilości tych ciał. Samo jednak światło zmniejsza prędkość oddychania, jak o tem przekonywają doświadczenia nad roślinami pozbawionemi chlorofilu.

Wreszcie wpływa znacznie częściowe ciśnienie tlenu: przy podwyższeniu ciśnienia powietrza do 8—10 atmosfer, oddychanie (i kiełkowanie) ustaje zupełnie.

Z warunków właściwych samej roślinie najsilniej wpływa na oddychanie wzrost: energia oddychania zwiększa się lub zmniejsza równolegle z prędkością wzrostu, ulegając tej samej co i on perjodyczności: wytworzenie tkanek zużywa pracę, której dostarczyć musi oddechanie.

5. Jeżeli roślinę wyższą umieścimy w otoczeniu pozbawionem tlenu (np. w przestrzeni napełnionej azotem lub wodorem) nie przestaje ona wydzielać kwasu węglowego i zostaje przez pewien czas (1—3 dni) przy życiu, a będąc przywrócona do normalnych warunków, rozpoczyna na nowo oddychanie tlenem. Ilość wydzielonego przy tem kwasu węglowego jest zawsze mniejsza, niż przy oddychaniu normalnem. Takie oddychanie bez tlenu nazywa się wewnątrz-cząsteczkowem; polega ono bowiem na samowolnym rozkładzie cząsteczki bardziej złożonej na prostsze. Charakterystycznem dla tego rodzaju oddychania jest wytworzenie obok kwasu węglowego alkoholu.

Zjawisko bardzo zbliżone do tego, t. j. samowolny rozkład cząsteczki chemicznej, można wywołać i poza roślinę. Tak Berthelot zauważył, że kwas mrówkowy w obecności gąbki platynowej rozkłada się na kwas węglowy i wodór według wzoru następującego:

$$\underset{\text{kwas mrówkowy}}{CH_2O_2} = \underset{\text{kwas węglowy}}{CO_2} + \underset{\text{wodór}}{H_2}$$

Ponieważ tu cząsteczka bardziej złożona rozkłada się na prostsze, więc wywiązuje się przy tem pewna ilość energii w postaci ciepła.

Oddychanie wewnątrz-cząsteczkowe jest właśnie taką sprawą wywiązania energii w nieobecności tlenu, ponieważ jednak obok kwasu węglowego tworzy się alkohol, ciało, zawierające jeszcze wiele energii potencyalnej, więc ilość energii wywiązanej przy tym rodzaju oddychania jest znacznie mniejsza, niż przy oddychaniu normalnem. Tak cząsteczka cukru gronowego (obliczona na gramy) daje przy spaleniu zupełnem, t. j. na kwas węglowy i wodę, 706 jednostek ciepła. Przy oddychaniu wewnątrz-cząsteczkowem rozkład jej można przedstawić za pomocą następującego zrównania:

$$\underset{\text{cukier gronowy}}{C_6H_{12}O_6} = \underset{\text{alkohol}}{2C_2H_6O} + \underset{\text{kwas węglowy}}{2CO_2}$$

Powstające przy tem dwie cząsteczki alkoholu zatrzymują (według zasady zachowania energii) tyle ciepła, ile same by dały przy spaleniu, t. j. $2 \times 326 = 652$, tę ilość więc powinniśmy odciągnąć od 709. Otrzymamy w ten sposób 57 jednostek ciepła zamiast 709, wywiązanych przy normalnem oddychaniu.

Nagromadzenie alkoholu i innych produktów oddychania wewnątrz-cząsteczkowego, wstrzymuje wszystkie czynności rośliny a po upływie pewnego czasu zabija ją. Jeśli w swoim czasie przywrócić dopływ powietrza, produkta te zostają utlenione i roślina wraca do normalnego stanu.

6. Do zjawisk tegoż samego typu, co i oddychanie wewnątrz-cząsteczkowe, należy fermentacya. Drożdże, jak wiadomo, rozkładają cukier na kwas węglowy i alkohol, tak samo jak komórka rośliny wyższej w nieobecności tlenu. Różnica polega jedynie na tem, że drożdże, jako organizm bezchlorofilowy, — są to drobne grzybki mikroskopowe, mające kształt kulek (rys. 78) — nie mogą same wytwarzać cukru, zużywają więc gotowy. Rozkładając cząsteczki cukru, znajdujące się w cieczy pożywnej, drożdże wywiązują energię potrzebną na podtrzymanie ich życia i rozmnożenia. Sposób zaś ich działania na cukier daje się zupełnie porównać ze wspomnianem wyżej oddziaływaniem gąbki platynowej na kwas mrówkowy.

Na fermentacyi polega, jak wiadomo, techniczne użycie drożdży dla otrzymania alkoholu, piwa i innych napojów spirytusowych [1]).

Pasteur, który w swoich klasycznych „Studyach nad piwem" (Etudes sur la bière, 1876) położył podstawę nauki o fermentacyi i organizmach fermentacyjnych, przekonał się, że należy rozróżniać dwojakiego rodzaju drożdże: stare, potrzebujące do swego rozwoju obecności tlenu, i młode, które mogą fermentować i mnożyć się bez tlenu. Wiemy, że sposób wywiązywania energii bez udziału tlenu jest bardzo niekorzystny: więcej materjału przy tem psuje się, niż zużywa. Jakoż znalazł Pasteur, że drożdże mnożąc się bez tlenu, muszą zużyć 176 gramów cukru, ażeby utworzyć jeden gram swego ciała (suchej substancyi drożdżowej); przeciwnie przy swobodnym dopływie tlenu wystarczają do tego 4 gr. cukru. Oczywiście, że w tym samym stosunku zmniejszyć się musi wydajność alkoholu [2]). Jednak dla celów technicznych, korzystne jest doprowadzenie pewnej ilości tlenu, chociaż bowiem każda komórka drożdżowa wyrabia przy tem mniej alkoholu, lecz drożdże prędzej się mnożą, tak, że w sumie wydajność fermentacyi jest większa. W braku substancyi pożywnych w cieczy, przy innych zaś warunkach sprzyjających, drożdże wytwarzają kwas węglowy i alkohol, kosztem własnego ciała (fermentacya własna drożdży), przyczem zmniejsza się ilość ich suchej substancyi. Takież zmniejszenie suchej substancyi odbywa się

---

[1]) Używany do tego słód czyli kiełkujący jęczmień zawiera cukier, powstający w nim pod wpływem diastazy z mączki nasienia. Do soku winogron drożdże dostają się z łupin jagód, na których znajdują się w wielkiej ilości. Roztwory, w których odbywa się fermentacya muszą być rozcieńczone, skoro bowiem ilość w nich alkoholu dosięgnie $16^0/_0$, fermentacya przerywa się wskutek znieczulenia komórek drożdżowych.

[2]) Jednak Iwanowskij znalazł (1894) że stosunek $\frac{CO_2}{O_2}$ dla drożdży wynosił 10 nawet przy zupełnym przypływie powietrza, oraz że ilość rozłożonego cukru zostaje ta sama, niezależnie od tego, czy fermentacya odbywa się na powietrzu, czy w atmosferze azotu. Doświadczenia te, jako zostające w rozterce z zasadniczemi założeniami i faktami wiedzy, wymagają sprawdzenia.

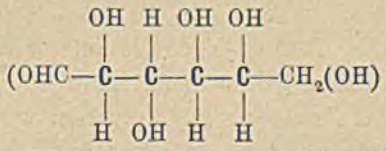
przy kiełkowaniu nasion w ciemności, gdy, nie mogąc przyswoić kwasu węglowego, żyją kosztem materyałów zapasowych.

Nowsze badania (Buchner 1897, Wróblewski 1898), przekonały, że sprawa fermentacyi cukru nie jest połączona z życiem samej komórki drożdżaka. Za pomocą silnej prasy miażdżył on drożdże wyciskając z nich sok, który, pomimo braku pierwiastków uorganizowanych, wywierał fermentacyę alkoholową. Wynika stąd, że reakcyę tę wywołuje substancya jakaś, wydzielona przez komórkę drożdżową. Doświadczenia wykazały, że przy dostępie powietrza drożdże zużywają tylko 85% zawartego w cieczy pożywczej cukru; bez powietrza zaś 98—99%.

Zupełnie analogiczne są inne fermentacye, odbywające się bez udziału tlenu, np. fermentacya gliceryny pod wpływem pewnego lasecznika. W ogóle wielka szkoda, którą przyczyniają istotom żywym rozwijające się w nich organizmy fermentacyjne, zwłaszcza zaś bakterye chorobotwórcze, polega na tem, że w swojej gospodarce rabunkowej niszczą one więcej materyału, niż zużywają, że mnożą się nadzwyczajnie szybko i że często wytwarzają produkta uboczne bardzo szkodliwe (trucizny bakteryjne czyli ptomainy).

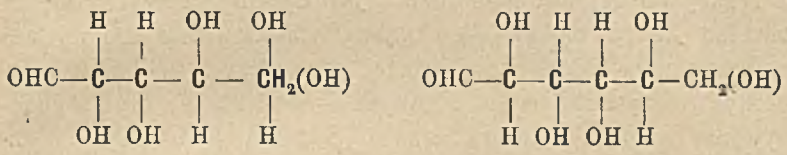
Do osobliwości sprawy fermentacyjnej należy ta okoliczność, że ciała tak blizkie siebie pod względem budowy chemicznej, jak izomery optyczne, zachowują się zupełnie odmiennie wobec fermentów. Już Pasteur (w r. 1858), hodując pleśń (Penicillum) w roztworze nieczynnego kwasu winnego, przekonał się, że grzybek ten rozkłada go na odmiany prawo- i lewozwrotne, zużywając tylko prawozwrotną. Później Pfeffer (1895) pomnożył zakres tych obserwacyi i znalazł bakteryę zużywającą kwas lewozwrotny, i taką (Bacillus subtilis), która może asymilować obie odmiany. Kropidełko (Aspergillus) i pleśń (Penicillum) dobrze rozwijają się w roztworach kwasu fumarowego ($C_4H_4O_4$), gdy jego izomer kwas maleinowy ($C_4H_4O_4$) działa na nie prawie jak trucizna (Buchner, 1892).

Z rozmaitych gatunków cukru fermentować bezpośrednio mogą wogóle tylko te, które mają trzy lub wielokrotne trzech atomów węgla. Z tych hexozy mają 4 asymetryczne atomy węgla. Np. cukier gronowy ma wzór:

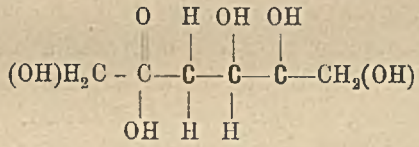


Można w nim przestawiać OH z H na 16 sposobów, przez co otrzymuje się 16 stereo-izomerów, z których 8 prawozwrotnych i 8 lewozwrotnych. Fermentacyi drożdżowej ulegają tylko prawozwrotne, ale nie wszystkie. A mianowicie prócz cukru gronowego (d-glukozy) fermentują:

d-mannoza i d-galaktoza



Ze znanych ketohexoz fermentuje tylko d-fruktoza



Cukier trzcinowy nie fermentuje bezpośrednio lecz po rozłożeniu (hydrolizie) na gronowy i owocowy pod wpływem znajdującego się w drożdżach fermentu, inwertyny. Co do stosunku ilościowego Pasteur znalazł, że 100 gr. cukru trzcinowego daje 51.0 gr. alkoholu i 49.1 gr. kwasu węglowego. Lecz 100 gr. sacharozy daje 105.26 cukru odwróconego; skąd wynika, że około 5 gr. drożdże zużywają na swoje pożywienie zgodnie z wzorem:

$C_{12}H_{22}O_{11}$	+	H_2O	=	HC_2H_6O	+	HCO_2
cukier trzcinowy		woda		alkohol		kw. węglowy
(100 g.)	+	(5.3 g.)	=	53.8	+	51.5

5. Bliższe poznanie oddychania wewnątrz-cząsteczkowego nasunęło myśl, że i w normalnem oddychaniu pobudką do rozkładu złożonej cząsteczki białka, nie jest dopływ tlenu z powietrza, lecz samowolnie zachodząca w niej sprawa; tlen

zaś powietrza utlenia tylko dalej produkta tego samowolnego rozkładu (alkohol). Tak więc oddychanie wewnątrz-cząsteczkowe byłoby zjawiskiem pierwotnem, którego jedną z odmian— bardzo korzystną dla rośliny, gdyż przytem wywiązują się owe 652 jednostki ciepła ukrytego w alkoholu — byłoby oddychanie normalne. Pogląd ten ma wiele przemawiających za nim faktów, między innemi poszukiwania Detmera, który znalazł, że wpływ temperatury na oddychanie wewnątrzdrobinowe jest prawie zupełnie taki sam, jak i na normalne. W taki sposób zjawisko to najbliżej pokrewne z fermentacyą, którą Pasteur określa jako „życie bez tlenu", wiąże się z jednej strony z reakcyami czysto-chemicznemi, jak opisany przez Berthelota rozkład kwasu mrówkowego gąbką platynową, z drugiej zaś wyjaśnia nam jeden z najbardziej zasadniczych objawów, właściwych wszystkim istotom żywym — oddychanie czyli wywiązywanie energii. Oddychanie jest fermentacyą wyższych roślin, odbywającą się kosztem ich własnego ciała, której produkta spalane są do reszty w przypływającym z powietrza tlenie.

Z takim poglądem na istotę oddychania wiąże się rzucona przez Pflügera, a rozwijana coraz bardziej w zastosowaniu do komórki roślinnej, teorya żywego białka.

Według zwolenników tej hypotezy białko nieżywe różni się zasadniczo od tego, które wchodzi w skład żyjącej protoplazmy. Cząsteczki żywego białka są tak nietrwałe, że ustawicznie się rozkładają samowolnie, a istnieć mogą jedynie dzięki temu, że ustawicznie odtwarzają się na nowo. Dopóki trwa to odnowienie, utrzymuje się życie komórki, które właśnie polega na owym nieustannym rozkładzie i odradzaniu cząsteczek żywego białka. Skoro ustaje życie, wszystkie cząsteczki żywego białka rozkładają się, tworząc białko martwe o cząsteczce trwalszej — zwykłe białko chemików. Przypuścić należy dalej, że owym ustawicznie oddzielającym się od białka składnikiem jest związek bezazotowy, jakiś łatwo utleniający się gatunek cukru, który zostaje spalony przez oddychanie, wywiązując potrzebną do życia energię, a natomiast przyłącza się do pozostałej, bogatszej w azot części cząsteczki białka nowa ilość cukru, wytworzona w ziarku chlorofilowem.

Hypoteza ta zgadza się z wygłoszonym wyżej poglądem na syntezę białka w roślinie i z przytoczonymi tam faktami wykazującymi związek tej syntezy, z czynnością chlorofilu. Na jej korzyść przytoczyć można również odkrytą przez Löwa i Bokornego reakcyę życiową plazmy. Polega ona na tem, że niektóre wodorosty (np. skrętnice), żyjąc w bardzo rozcieńczonych roztworach soli srebra, odtleniają ten metal, który osadza się w ich protoplazmie w formie drobnych, szarych ziarenek [1]). Komórki zabite nie wykazują tej reakcyi. Wiadomo, że cukier, hydrazyny i cały szereg ciał, należących do typu t. zw. aldehydów posiadają zdolność redukcyi srebra. Reakcya więc życiowa plazmy świadczy o tem, że podczas życia komórki wytwarzają się w niej pewne silnie odtleniające ciała, których nie znajdujemy w zabitej protoplazmie, prawdopodobnie wskutek bardzo szybkiego ich utleniania. Ciałami zaś odtleniającemi są te, które chciwie łączą się z tlenem, odbierając go od innych lub utleniając się kosztem wolnego tlenu powietrza.

Przemawia za tem także fakt, że najenergiczniej oddychają młode części roślin, bogate w ciała białkowate.

Bardzo silny dowód na korzyść hypotezy, że materyałem oddechowym jest białko, daje następujące doświadczenie (Pałładin, 1893): 100 gr. liści wypłonionych wydzielają przeciętnie około 90 mgr. kwasu węglowego na godzinę. Jeśli jednak liście leżą w roztworze cukru w ciągu 2 dni, to ilość kwasu węglowego podnosi się do 150 mgr. Dalsze jednak nasycanie wodanami węgla nie zwiększa przyrostu kwasu węglowego. Innemi słowy energia oddychania, niedostateczna przy braku wodanów węgla (gdyż liście wypłonione ich nie wytwarzają), wzrasta do pewnego stopnia, gdy dostarczymy im cukru, idącego na regeneracyę rozpadających się cząsteczek białka. Lecz niebawem zostaje osiągnięte maximum, które zależy od ilości ciał białkowatych i dalszy dopływ wodanów węgla nie zwiększa energii oddychania. Przeciwnie, gdyby utleniał się wprost

---

[1]) Autor obserwował podobneż odkładanie się rtęci z roztworu sublimatu w gatunku Mesocarpus, zwłaszcza zaś w sprzęgających się niciach.

cukier, można byłoby spodziewać się, że energia oddechania będzie wzrastała proporcyonalnie do ich przyrostu.

6. Możemy teraz przedstawić cały przebieg losów białka w roślinie. Białkiem pierwotnym nazywamy to, które powstaje według opisanego wyżej procesu: dostarczony przez korzenie kwas azotny, odtlenia się w liściach na amidy i łączy się tu z wytworzonym przez chlorofil cukrem. Białko to ulega rozkładowi samowolnemu rozszczepiając się na łatwo utleniający się składnik bezazotowy (wodan węgla), spalany przy oddechaniu, i na bogatszą w azot cząsteczkę, która łącząc się z wytworzonym przez ziarko chlorofilowe cukrem odtwarza ponownie białko. To regenerowane białko nazywamy białkiem drugorzędowym.

Łącząc z tem, to co wiemy o pochodzeniu błonnika z protoplazmy i kwasu szczawiowego (według Kohla powstającego w największej ilości tam, gdzie tworzy się wiele błon), otrzymamy następujący schemat przemian białka w roślinie:

Amidy + wodany węgla (z ziemi) (z powietrza) = **białko pierwotne** które daje → wodan węgla utleniający się przy oddychaniu;

ciało bogatsze w azot a uboższe w tlen, które, łącząc się z wodanami węgla asymilowanemi, daje: **białko drugorzędowe** → błonnik, idący na szkielety komórek i kwas szczawiowy jako produkt uboczny.

ulegające temuż przeobrażeniu co i pierwszorzędowe, t. j. na → wodan węgla oddechowy

ciało bogatsze w azot odtwarzające białko drugorzędowe, → błonnik i kwas szczawiowy.

i t. d.

W taki sposób, pomimo ustawicznego rozkładu ciał białkowatych, na którem opiera się życie rośliny, ilość azotu w niej nie zmniejsza się, lecz wzrasta ustawicznie wskutek ciągłego tworzenia się białka pierwotnego i regeneracyi zburzonych przy oddychaniu jego cząsteczek na białko drugorzędowe.

7. Przy oddychaniu wywiązuje się zawsze ciepło, które można zmierzyć hodując roślinkę w odpowiednio urządzonym kalorymetrze. Powoduje ono podwyższenie temperatury tylko w wypadkach wyjątkowych; np. w trzonach kwitnących u arowatych, gdzie, obok intensywnego oddychania, znajduje miejsce skupienie na niewielkiej przestrzeni wielkiej ilości kwiatów, temperatura podnosi się niekiedy o kilkanaście stopni. W zwykłych zaś warunkach nadmiar ciepła traci się szybko przez promieniowanie. Tem podwyższeniem temperatury po nad otoczenie tłumaczą się takie zjawiska, jak zachowanie przy życiu wodorostów wmarzniętych w bryłę lodu, przyswajanie w temperaturze 0° i t. p.

Największą ilość ciepła wywiązują rośliny podczas kiełkowania. Oto jest jedna z tablic otrzymanych przez Bonnier'a (1893) na podstawie pomiarów kalorymetrycznych, dotyczących ilości ciepła wydzielanego w ciągu 1 min. przez 1 kg. kiełkującego jęczmienia, w różnych fazach kiełkowania:

	Ilość wydzielonego ciepła	Ilość teoretyczna obliczona według pochłoniętego tlenu	Stosunek $\frac{CO_2}{O_2}$
1. Pęcznienie nasion w wodzie. .	5 kalor.	3 kal.	1.00
2. Ukazanie się korzonków . . .	62 „	45 „	0.65
3. Korzeń dosięga 3 mm długości .	40 „	31 „	0.80
4. W końcu kiełkowania. . . .	15 „	12 „	0.95
5. Łodygi ulistnione	0 „	3 „	1.00

Widzimy stąd, że na początku wywiązuje się więcej ciepła, niż może dać oddychanie: pochodzi to od całego szeregu intensyw-

nych reakcyi chemicznych (a nawet zmian cząsteczkowych, jak pęcznienie) towarzyszących przemianie materyałów zapasowych na formy rozpuszczalne (np. mączki w cukier), lecz skoro wypróżnią się liścienie, ilość wywiązanego ciepła staje się mniejszą od teoretycznie wypadającej według ilości zużytego tlenu, co świadczy o tem, iż wywiązana przez oddychanie energia zużywa się w innej formie — a mianowicie na siły warunkujące wzrost rośliny.

8. Nie wszystkie rośliny potrzebują tlenu dla egzystencyi swojej. Wiemy już, że drożdże mogą istnieć bez powietrza (anaerobioza fakultatywna); są jednak rośliny niższe wymagające otoczenia pozbawionego tlenu (anaerobioza przymusowa). Do takich należą gatunki Beggiatoa (kształtem zewnętrznym podobne do oscillaryi, rys. 56, lecz pozbawione zieleni) żyjące w źródłach siarczanych. W komórkach ich dają się widzieć ziarenka siarki, które powstają przez utlenianie zawartego w źródle siarkowodoru. Energia wywiązana przy tej reakcyi zastępuje tę, którą u innych roślin wywiązuje utlenienie substancyi organicznej. W obecności węglanu wapnia utlenianie posuwa się dalej: powstaje kwas siarczany, który wapień zobojętnia. Organizmy te tworzą warstewkę na pewnej głębokości w cieczy zawierającej siarkowodor: powyżej tej warstwy ciecz jest wolną od tego gazu i mogą w niej rozwijać się inne organizmy. Organizmy te mają doniosłe znaczenie w ekonomii przyrody, usuwając tak szkodliwy dla innych istot żyjących siarkowodór, wytwarzający się stale przy gniciu substancyi białkowatych, zwłaszcza na dnie morskim, gdzie przypływ tlenu jest wykluczony. To też ilość tego gazu rozpuszczonego w wodzie morskiej zwiększa się w miarę pogłębienia. Organizmy nitryfikacyjne, o których była mowa (rozd. XII, § 5), należą do tej samej kategoryi: energia wywiązuje się w nich przez utlenienie amoniaku.

ROZDZIAŁ XVII.

Wzrost roślin.

Trzecim sposobem użycia nagromadzonej przez roślinę substancyi organicznej jest zamiana jej na ciało rośliny. Warunkiem, pod którym substancya ta staje się ciałem rośliny, jest przyjęcie przez nią budowy czyli organizacyi, a skutkiem tego wciągnięcia coraz to nowych mas substancyi w skład utworów uorganizowanych jest wzrost rośliny.

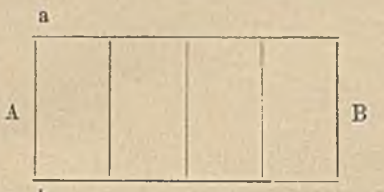
Mówiliśmy już o wzroście komórki i przyczynach rozmaitości jej kształtów (Rozdz. III, § 1, 9 i 10), a wiemy już jaka rola przytem wypada jędrności komórki (Rozdz. IV, § 3).

Jędrność komórek i rozciągliwość błony są niezbędnymi warunkami wzrostu. Spowodowane przez jędrność rozciągnięcie jest pierwszym momentem wzrostu, zależnym od sił fizycznych (ciśnienia osmotycznego). Drugim momentem jest utrwalenie tego rozciągnięcia przez odpowiednie zgrubienie błon. Drugi ów moment nieodłączny jest od czynności żywej protoplazmy.

Wzrost całej rośliny lub jej części jest wynikiem wzrostu wchodzących w jej skład komórek, ten zaś poprzedza ich dzielenie się. Dzielenie się i wzrost komórek są jedynymi czynnikami, z których wynikają rozmaite i złożone zjawiska wzrostu, nadające kształty roślinie.

Jak niejednostajny wzrost błony tłumaczy rozmaitość kształtów pojedyńczych komórek, tak niejednakowa prędkość dzielenia się i wzrostu komórek, jest przyczyną rozmaitości kształtów rośliny. Przypomnijmy sobie porównanie z cegieł-

kami, a łatwo zrozumiemy zasadę, na której spoczywa rozwój tych kształtów. Jeżeli np. komórki dzielą się przeważnie przegródkami równoległemi do a b, to cały organ będzie się wydłużał w kierunku A B, gdyż w tym kierunku najwięcej nowych komórek wstawi się między dawne. Innemi słowy, kierunek największego wydłużenia jest zawsze prostopadły do przeważającego kierunku podziałów czyli do kierunku przegródek. Kiedy np. liść rośnie głównie na długość, jak u traw, to znaczy, że wśród komórek jego przeważają dzielenia poprzeczne. Jeżeli w prosto rosnącej łodydze komórki z jednej strony zaczną dzielić się i wzrastać prędzej niż z przeciwnej, to łodyga będzie się wyginała w stronę powolniejszego wzrostu.



Skoro ścianki komórek zgrubiały o tyle, że plasmolizą nie możemy wykryć w nich rozciągnięcia zależnego od jędrności [1]), wzrost komórki ustaje. W takiem położeniu znajduje się większość komórek dorosłej rośliny; tylko w tych punktach, gdzie istnieje tkanka twórcza i na bardzo nieznacznej odległości od niej odbywa się wzrost: większość pędów i korzeni rośnie tylko niewielką częścią wierzchołkową. Liście przeciwnie wcześnie przestają rosnąć u wierzchołka; wzrost ich odbywa się u nasady. Trawy i inne zioła zakończone kwiatostanem nie mogą rość wierzchołkiem; źdźbła ich rosną w niewielkich pasach, leżących tuż nad kolankami. Wreszcie wzrost na grubość drzew naszego klimatu, odbywa się, jak wiemy, w pierścieniu miazgi, wytwarzającym wciąż nowe komórki, z których jedne przemieniają się na drewno, drugie na łyko.

Poznaliśmy już morfologiczną stronę tych zjawisk i zależność wyglądu rośliny od czynności komórek przewodniczących wzrostowi (Rozdz. VII § 3, 4, 5, 6 i 7). Teraz wypadnie nam zatrzymać się nad fizyologią wzrostu.

---

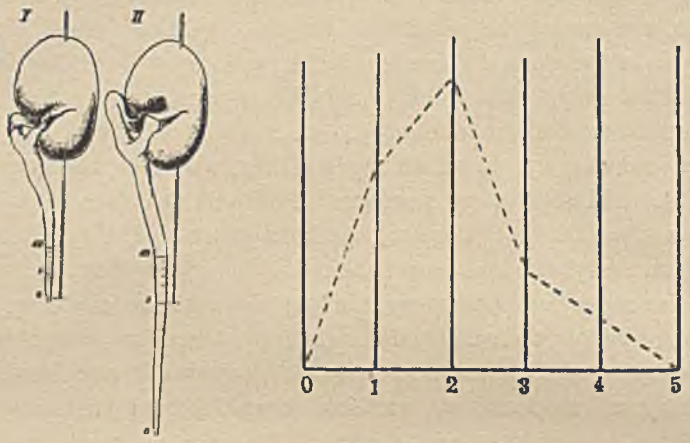
[1]) A nawet nieco wcześniej jak wykazał p. Godlewski.

2. Przedewszystkiem zwróćmy uwagę na jedno z następstw niejednostajnego wzrostu tkanek.

W punktach wegetacyjnych, gdzie istnieje tkanka twórcza, złożona z ciągle dzielących się komórek, wzrost ich jest dosyć jednostajny; lecz nieco niżej, gdzie powstały już tkanki stałe, nie rosną one jednakowo prędko, wskutek czego wytwarza się napięcie tkanek. Jeżeli wytniemy podłużny kawałeczek z łodygi lub młodej gałązki, i zmierzywszy dokładnie długość odcinka, rozetniemy go tak, ażeby oddzielić rdzeń od kory, zauważymy, że rdzeń się wydłuży, paseczki zaś kory wygną się wklęsłością na zewnątrz. Pochodzi to stąd, że w całej gałązce naskórek i kora są rozciągnięte w podłużnym kierunku przez szybciej rosnącą rdzeń (napięcie ujemne), rdzeń zaś ściśnięta jest przez opóźniającą się we wzroście korę (napięcie dodatnie). Podobnież i w kierunku poprzecznym rozwijające się na grubość wiązki naczyniowe, rozciągają nie podążające za niemi we wzroście tkanki kory i naskórka, powodując w nich napięcie ujemne. Zjawisko to zależy po części i od niejednakowej jędrności komórek; daje się ono najwyraźniej obserwować w tych punktach, gdzie komórki posiadają największą jędrność; zanurzenie w wodzie, zwiększające jędrność, potęguje napięcie tkanek, więdnienie znosi je.

3. Jeżeli na młodym korzonku kiełkującego nasienia zrobimy tuszem znaczki równoległe (rys. 24—A), to po upływie doby zauważymy, że odległości między znaczkami zwiększyły się wskutek wzrostu niejednakowo (B). Najwięcej urosła część objęta między pierwszą a drugą podziałką (nie końcowa), dalej zaś ku starszym częściom korzonka przyrost jest coraz mniejszy. Jeżeli na linii 0—5 naznaczymy równe odstępy, określające czas wzrostu (np. dni), na prostopadłych zaś do niej liniach zakreślimy wielkości przyrostu w tym czasie, to łącząc ich końcowe punkty otrzymamy krzywą (lub łamaną) linię, przedstawioną na rysunku. Krzywa ta wykazuje, że przyrost odbywa się szybko z początku; że szybkość jego dosięga pewnego maximum, a potem zwolna opada do zera. Krzywa ta nazywa się wielką krzywą wzrostu, a objęte przez nią prawo — wielkim okresem wzrostu. Prawu temu ulegają wszystkie rosnące części roślin: z początku prędkość

wzrostu zwiększa się dość szybko, później zaczyna ubywać, aż ustanie zupełnie (w starszych punktach łodygi i korzenia i t. d.), czyli, że najwięcej wydłuża się zawsze pewien pas blizki rosnącego punktu.



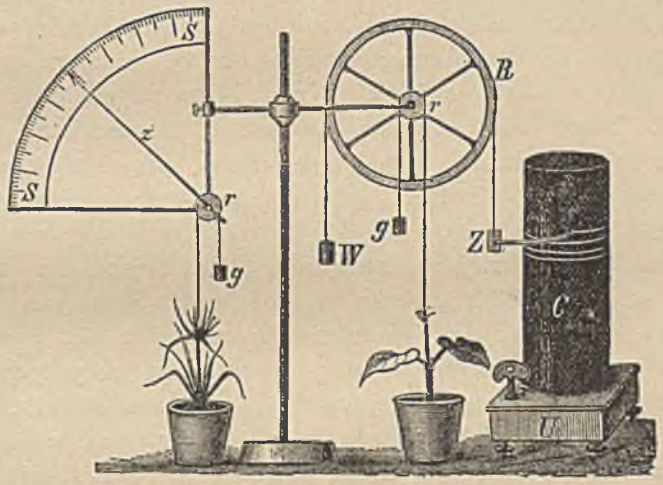
Rys. 156. Wielki okres i wielka krzywa wzrostu.

Następująca tabliczka wyjaśni lepiej znaczenie tego prawa: u wierzchołka łodygi fasoli zaznaczony był paseczek długi na $3^1/_2$ milimetry. Następnie co dzień mierzono jego przyrost. Przyrost ten wynosił:

Przez	1-szy	dzień	1,2 mm.
„	2-gi	„	1,5 „
„	3-ci	„	2,5 „
„	4-ty	„	5,5 „
„	5-ty	„	7,0 „
„	6-ty	„	9,0 „
„	7-my	„	14,0 „
„	8-my	„	10,0 „
„	9-ty	„	7,0 „
„	10 ty	„	2,0 „

Widzimy ztąd jak szybko zwiększa się przyrost do 7 dnia: przez 1-szy dzień zwiększyła się oznaczona część na 1,2 mm.; przez 7-my już na 14 mm.

4. Pomiary, jak tylko co przytoczone, wymagające wszelkiej dokładności, robią się za pomocą przyrządów, zwanych wzrostomierzami. Na rys. 157 są przedstawione dwa takie przyrządy. W lewym wzrost oznacza wskazówka (z) przymocowana do bloczka (r). Do końca łodygi przywiązana jest nić przerzucona przez bloczek i lekko naciągnięta ciężarkiem (g). W miarę wzrostu rośliny wskazówka podnosi się ku górze wskutek opuszczania się ciężarka (g) i pokazuje na łuku w stopniach wielkość wydłużenia łodygi. W prawym saneczki (Z) przymocowane są na nici przerzuconej przez koło (R)



Ryc. 157. Wzrostomierz: na prawo piszący na walcu, na lewo wskazówkowy. Opis w tekście.

i zrównoważone ciężarkiem (w). Koło (R) ma oś wspólną z bloczkiem (r), poruszającym się w zależności od wzrostu rośliny jak i w poprzednim wypadku. Do saneczek wkłada się piórko, które kreśli linię wzrostu na walcu okopconym, obracającym się jednostajnie za pomocą mechanizmu zegarowego. Przy pomocy takiego wzrostomierza możemy śledzić zmiany przyrostu roślin co godzina, co pół godziny, lub w innych drobniejszych odstępach czasu. W obu przyrządach nieznaczne przesuwanie się wzrostowe powiększone jest w stosunku wskazówki (z) lub promienia koła (R) do promienia bloczku (r).

Zastosowanie wzrostomierza pozwoliło wykryć prócz wielkiego okresu jeszcze i dzienną peryodyczność wzrostu. Większa część roślin mianowicie, wykazuje zmianę prędkości wzrostu podczas dnia: prędkość ta ubywa do godziny 6-ej wieczorem, a następnie wzrasta do rana, kiedy jest największą. Niektóre rośliny tracą peryodyczność dzienną, jeżeli przez kilka dni zostają w ciemności; inne zachowują ją i w tych warunkach przez czas dłuższy.

Wielki okres wzrostu tłómaczy się zupełnie własnościami błon i komórek części rosnących. W samym punkcie wzrostu błony są wprawdzie cienkie i łatwo rozciągliwe, ale komórki tkanki twórczej zawierają bardzo mało soku komórkowego, gdyż wypełnione są plazmą: energia osmozy, a zatem i jędrność, jest w nich niewielka. Wzrost więc tu nie może być szybki. Nieco dalej od rosnącego końca, w komórkach znajdują się już wodniczki wypełnione cieczą, przyczyniającą się do znacznego podniesienia jędrności komórek; ponieważ zaś błony są tu jeszcze dosyć cienkie i rozciągliwe, więc pas tych komórek stanowi miejsce, gdzie wzrost jest najszybszy. Dalej błony stają się coraz grubsze, a choć jędrność utrzymuje się na tym samym stopniu, rozciągliwość zmniejsza się, a z nią razem ubywa prędkość wzrostu. Przyczyny peryodyczności dziennej nie są jeszcze bliżej wyjaśnione; prawdopodobnie składają się na nią wpływy czynników zewnętrznych, zwłaszcza zaś światła i wilgoci (ob. niżej), połączone z osobliwością protoplazmy, wskutek której pewne peryodycznie działające przyczyny wywołują peryodyczność skutków, trwającą nawet po usunięciu przyczyn; innemi słowy protoplazma „przyzwyczaja się" do tej peryodyczności.

Takiemi nabytemi własnościami protoplazmy, tłómaczy się i peryodyczność roczna, którą okazują wszystkie rośliny naszego klimatu, wstrzymujące wzrost na zimę, a rozpoczynające go z początkiem wiosny. I tu oddziaływa nabyte przez protoplazmę nawyknienie, zależne od peryodyczności przyczyn zewnętrznych. Tak, cebule hyacyntów nie rosną wcześniej niż w lutym, chociaż znajdują się w ciepłym pokoju; podobnież zachowują się nasze drzewa, przeniesione do cieplejszych klimatów; dąb i buk w Nicei lub na Maderze, zrzucają liście

w jesieni i wstrzymują swój wzrost, aby rozpocząć go nanowo dopiero w marcu, jak to robią w swojej ojczyźnie. Są jednak i wypadki przystosowania się do nowych warunków: wiśnia i winorośl, przeniesione na wyspę Cejlon i do Wenezuelli, zachowują liście przez cały rok i nie przerywają wzrostu.

5. Z warunków zewnętrznych, wpływających na wzrost, poznaliśmy już jeden. Wiemy, że obecność tlenu niezbędna jest dla wzrostu, oraz że energia oddychania zmienia się równolegle do zmiany szybkości wzrostu (Rozdz. XVI, § 4). Nadmiar tlenu lub jego brak wstrzymują szybkość wzrostu.

Drugim czynnikiem, nie mniej ważnym, jest temperatura. Wzrost możliwy jest tylko w pewnych granicach ciepłoty. Najniższa granica (niżej której wzrost ustaje) wynosi dla większej części roślin uprawnych około 4,5° C wyżej zera, dla kukurydzy 10,5, dla ogórków 18,5. Najwyższa temperatura, w której jeszcze mogą rosnąć te rośliny, wynosi od 32° do 44° C; w temperaturach wyższych wzrost ustaje chociaż roślina zostaje przy życiu. Między temi granicami istnieje pewien punkt, odmienny dla każdego gatunku roślin, w którym wzrost odbywa się najprędzej; jest to najlepsza temperatura wzrostu (optimum). Dla kukurydzy np. wynosi ona 34° C; największa zaś (maximum) temperatura, przy której roślina ta może jeszcze rosnąć, jest 44°.

Wilgotność powietrza wpływa na wzrost o tyle, o ile zależną jest od niej jędrność komórki; podczas posuchy wzrost odbywa się bardzo powolnie. Mniejsza lub większa wilgotność powietrza, oddziaływając na jędrność, wpływa i na wielkość lub kształt pojedyńczych części roślin. Liście niektórych ziół (nasturcyi, mniszka lekarskiego), w powietrzu bardzo wilgotnem dosięgają wielkości kilka razy przewyższającej normalną. Stokrotka, rosnąca pod kloszem w powietrzu nasyconem parą, wytwarza łodygę o wyraźnie skrętoległych liściach zamiast zwykłej okółki: stłumienie wzrostu łodygi w naturalnych warunkach pochodzi ztąd, że wcześnie rozwijające się liście, wyziewając wielką ilość wody, odbierają ją od łodygi. Wortmann (1889), hodując włośniki w czystej wodzie i w roztworze cukru (odbierającym wodę roślinie, a więc zmniejszającym jędrność komórek), zauważył, że kiedy w pierwszej komórki wyra-

stają na długość, w drugim zachowują nieznaczną wielkość, a natomiast błony ich silnie grubieją. Podobnież w powietrzu przesyconem wilgocią nie rozwijają się grubościenne pierwiastki. Wpływem braku wilgoci tłómaczy się szereg zmian, jak grubienie naskórka, wytworzenie okrycia włoskowego i t. d., które swoją drogą chronią roślinę od nadmiernego wyziewania. Obecność wilgoci wpływa również i na skład chemiczny roślin. Schlösing zauważył, że liście tytuniowe zawierają więcej krochmalu jeśli rosną w powietrzu nasyconem parą. Tłómaczy się to w sposób następujący: krochmal dla wędrówki swej w postaci cukru wymaga obecności wapnia; w powietrzu zaś nasyconym wilgocią dopływ tego metalu z ziemi zostaje bardzo ograniczony wskutek stłumionego wyziewania. Wodany węgla więc wytworzone przez asymilacyę zostają przeważnie w liściach, po części powodując ich rozrost, po części przechodząc w formę zapasową (mączki). W związku z tem po części może zostaje niedostateczne wytworzenie pierwiastków grubościennych w łodydze.

Jednostronnie działająca wilgotność wywiera wpływ przyciągający na korzenie. Jeżeli obręcz obwiązaną gazą, napełnimy wilgotnemi trocinami i wysiejemy w nie nasiona, a potem zawiesimy ukośnie, to wychodzące przez gazę korzonki będą rosły prosto w dół (ob. niżej — geotropizm), jeżeli powietrze jest jednostajnie nasycone parą. Jeżeli jednak przyrząd ten zawiesimy w suchem powietrzu, korzonki, rosnąc, będą się wyginały ku wilgotnej powierzchni gazy: działająca z tej strony wilgoć zwalnia wzrost zwróconej ku niej części i powoduje wygięcie. Takie zjawisko nazywa się hydrotropizmem dodatnim (wzrost ku wilgoci). Ujemny hydrotropizm w bardzo słabym stopniu wykazują łodygi, t. j. wyginają się w kierunku od wilgotnego miejsca.

Ciągnienie (za pomocą ciężarku przerzuconego przez blok) wywołuje w pierwszych dniach mocne stłumienie wzrostu, następnie zaś jego przyśpieszenie.

Ciśnienie, nawet bardzo znaczne, nie wstrzymuje wzrostu, jednak przyczynia się do zmniejszenia wielkości komórek. Jeżeli na wiosnę obwiążemy mocno sznurkiem gałąź, a w jesieni ściąwszy, zbadamy wytworzone podczas lata drewno, to

okaże się, że komórki jego są węższe, niż w miejscach nieściśniętych (De Vries, 1872). Ta to przyczyna powoduje (jak wcześniej jeszcze przypuszczał Sachs) mniejszą średnicę pierwiastków drewna wytworzonych ku jesieni, kiedy ciśnienie kory wzrasta wskutek rozrostu walca drzewnego.

Ciśnienie w tym wypadku działało bezpośrednio, jako siła mechaniczna. Są jednak wypadki, gdzie występuje ono jako bodziec. Do takich należy przedewszystkiem zakręcanie się wąsów roślin czepnych (np. dzikiego wina, winorośli i t. d.), przy dotknięciu do podpory. Bardzo słabe ciśnienie, dla niektórych roślin nie przewyższające 1 miligrama, wystarcza, aby zmniejszyć prędkość wzrostu strony dotkniętej, co powoduje zakrzywienie wąsa wklęsłością w tę stronę, a więc obwijanie się około dotkniętego przedmiotu. Przytem wpływ dotknięcia udziela się całemu wąsowi, który, skręcając się jak sprężyna, przyciąga łodygę rośliny do podpory.

Analogiczne z tem jest tak zwane wygięcie Darwina (1880), które ukazuje się na korzeniu, skoro go zadrasnąć w punkcie blizkim rosnącego końca. Tylko tu wygięcie odbywa się w stronę przeciwną podrażnieniu, a więc wzrost przyśpiesza się ze strony uszkodzonej, oddalając koniec korzenia od niebezpiecznego miejsca.

6. Bliżej omówić należy wpływ dwóch czynników mających szczególne znaczenie jako kierowników wzrostu: światła i ciążenia.

Światło wywiera wpływ hamujący na wzrost. Oddziaływają w ten sposób przeważnie niebieskie i fioletowe promienie widma, ku żółtej barwie wpływ hamujący znika, a ujawnia się w znacznie słabszym stopniu w czerwonych promieniach. Długość międzywęźli roślin wypłonionych (rosnących w ciemności), oraz ich wiotkość, zależy od znacznych wymiarów komórek a słabego zgrubienia ich błon. Działanie światła polega na jakimś, bliżej nieznanym wpływie na protoplazmę komórek, wskutek którego błona rośnie więcej na grubość, niż na powierzchni. Dla tego też światło jest niezbędnym warunkiem do wytworzenia grubościennych pierwiastków mechanicznych, nadających sztywność łodydze. Pokładanie się zboża np. jest

wynikiem niedostatecznego rozwoju tych pierwiastków wskutek zaciemnienia przy gęstym siewie.

Wpływ jednostronnego oświetlenia powoduje cały szereg zjawisk, które obejmujemy nazwą heliotropizmu [1]). Wiadomo, że jeżeli roślina zostaje jednostronnie oświetlona (np. stojąc w pokoju u okna), to w krótkim czasie wszystkie liście zwracają się szeroką powierzchnią ku światłu. Ruchy te są wynikiem niejednostajnego wzrostu ogonków liściowych: strona odwrócona od światła rośnie prędzej, wskutek czego ogonek wygina się w taki sposób, że powierzchnia liścia zwraca się ku światłu. Takie ruchy kuświetlne noszą nazwę heliotropizmu dodatniego.

Heliotropizm dodatni jest bardzo rozpowszechniony wśród pędów i liści; są także kwiaty ulegające mu, np. słonecznik obracający w ciągu dnia ustawicznie tarczę kwiatową w kierunku ku słońcu. Liście drzew odbywają również w ciągu dnia ruchy: zrana zwracają się ku wschodowi, w południe przybierają poziome położenie a ku wieczorowi zwracają się ku zachodowi.

Zjawiska te występują jednak w różnym stopniu u rozmaitych roślin: najwyraźniej ujawniają je rośliny cieniowe (np. rozmaite groszki); najsłabiej — rośliny słoneczne (cykorya, skrzyp polny). Niektóre gatunki dziewanny pozbawione są heliotropizmu (Verbascum thapsus, V. phlomoides). Odwrotny stosunek ujawniają niektóre rośliny zwrotnikowe, gdzie nadmiar promieniowania każe unikać jego szkodliwych wpływów: tu liście często przybierają położenie skośne względem promieni słonecznych. Silphium laciniatum (krzew-bussola) ma tę własność, że liście jej stają stale w płaszczyźnie południka, t. j. zwracają krawędzie ku promieniom słonecznym.

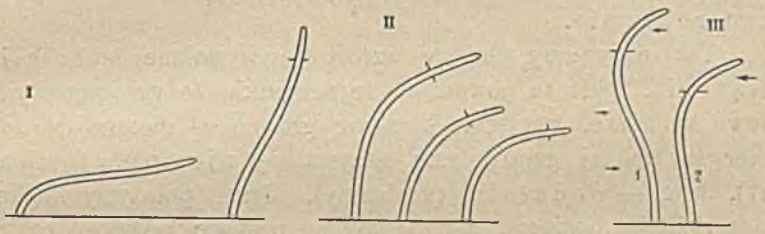
Że heliotropizm jest zjawiskiem wzrostu, o tem świadczy fakt, że wygięcia kuświetlne odbywają się tylko w częściach rosnących i nie znikają przy plasmolizie. To też wygięcia kuświetlne zostają w zależności od tych promieni, które działają na wzrost, a więc najsilniej ujawniają się w promieniach fioletowych.

---

[1]) Dosłownie znaczy zwracanie się ku słońcu.

Mechanizm heliotropizmu dodatniego spoczywa na dwóch czynnikach: 1) niejednakowem oświetleniu pędów i 2) zwolnionym wzroście oświetlonej strony. Wskutek szybszego wzrostu słabiej oświetlonej strony pęd wygina się w kierunku światła. Dla tego też najsilniej uwydatnia się heliotropizm przy umiarkowanem oświetleniu; silne światło bowiem przechodzi nawskroś tkanki rosnących części.

Jednak światło nie działa bezpośrednio na wszystkie rosnące komórki: wpływ jego nie jest czysto mechaniczny, lecz fizyologiczny; występuje ono nie w roli siły, lecz bodźca. Wynika to z następujących doświadczeń p. Rotherta (1894): młode roślinki owsa, skiełkowane w ciemności, okryte kapturkami staniolowemi na samym koniuszku i oświetlone jednostronnie



Rys. 158. I—kiełki owsa: a—wystawiony na jednostronne światło, b—takiż z osłoniętym wierzchołkiem (do kreski poprzecznej); II—trzy kiełki osłonięte od dołu do kreski po wystawieniu na światło jednostronne; III—dwa kiełki oświetlone, do kreski z lewa, od niej z prawa; w 1-ym widać wygięcie obustronne; w 2-im przemogło już oświetlenie koniuszka (według Wł. Rotherta).

wyginały się bardzo nieznacznie w kierunku światła (rys. 158, I); przy zaciemnieniu dolnej (rosnącej) części, wygięcie jest prawie tak znaczne jak i w kiełku wcale nie osłoniętym (rys. 158, II); wreszcie przy oświetleniu z jednej strony koniuszka, z drugiej środkowej części pędu lampami jednakowej siły (przy pomocy ciemnego kapturka z dwoma szparami na przeciwnych stronach) zaczynające się podwójne wygięcie niebawem wyrównywa się i pęd zgina się ku stronie światła padającego na wierzchołek (rys. 158, III).

Wynika stąd, że wierzchołek pędu jest szczególniej wrażliwy na jednostronne oświetlenie i że wygięcie jest następstwem przeniesienia się bodźca (odbywającego się powoli) od jego komórek ku wszystkim innym rosnącym komórkom.

Podobnyż charakter bodźca ma ciśnienie w wypadkach wymienionych roślin czepnych i wąsów, gdzie jest zbyt słabe, aby mogło oddziaływać bezpośrednio jako siła i gdzie działanie jego przenosi się na cały szereg komórek. Niektóre korzenie powietrzne i wąsy wykazują heliotropizm ujemny, t. j. będąc jednostronnie oświetlone, rosną w kierunku od światła. Niektóre łodygi czepne np. bluszczu, obdarzone są heliotropizmem poprzecznym, to jest rosną w kierunku prostopadłym do promieni światła. Własność ta jest przyczyną tego, że zostają przyciśnięte do ścian lub innego podparcia, którego się czepiają. Zjawiska te tłumaczą się odmiennym zachowaniem protoplazmy wymienionych części wobec tych samych bodźców, czego jaskrawy przykład widzimy na geotropizmie.

Tak nazywamy zmiany wzrostowe wywołane przez siłę ciążenia. Siła ta powoduje, że wszystkie łodygi rosną pionowo ku górze, wszystkie korzenie główne — pionowo w dół. Pierwszy rodzaj geotropizmu nazywa się ujemnym (odziemny), drugi — dodatnim (kuziemny). Jeżeli położymy kiełkującą roślinkę poziomo, zauważymy po upływie pewnego czasu, że rosnący koniec łodygi wygina się ku górze, rosnący koniec korzenia — w dół. To samo zauważymy kładąc poziomo doniczkę z rośliną; lecz w tym wypadku wygną się tylko rosnące części; te, w których już ustał wzrost, zostają bez zmiany. Wnosimy ztąd, że geotropizm zależy od wzrostu. Że przyczyną jego jest siła ciążenia, dowodzi tego cały szereg doświadczeń. Jeżeli przymocujemy kiełkujące nasiona na obracających się kołach, ażeby poddać je działaniu siły odśrodkowej, to łodygi wyrosną w kierunku promieni ku środkowi koła (a więc w kierunku przeciwnym działającej sile), korzenie zaś ku obwodowi, czyli w kierunku siły odśrodkowej (Knight, 1806). Przeciwnie jeżeli umieścimy kiełkujące nasiona na walcach poziomych, obracających się powolnie (klinostaty), tak że kierunek rosnących części względem siły ciążenia zmienia się co chwila, przez co wyklucza się jej działanie, to i korzonek i łodyga zachowują, rosnąc, kierunek, w jakim były umieszczone.

W każdym razie wygięcie geotropowe, jak i każdy objaw wzrostu, jest pierwotnie spowodowane przez różnice jędrności, a później dopiero utrwalone przez zgrubienie ścianek komórkowych. Można przekonać się o tem, zanurzając świeżo zgięte części do rostworu plasmolizującego, który powoduje ich wyprostowanie. Ten sam skutek osiąga się przez odwrócenie ich w stosunku do siły ciężkości: następuje z początku wyprostowanie nieutrwalonych części, a później ich wygięcie w przeciwnym kierunku.

Geotropizm polega oczywiście, jak i heliotropizm i hydrotropizm, na niejednakowo szybkim wzroście. Przytem według pomiarów Sachsa i Ciesielskiego działanie siły ciążenia jest obustronne, to jest: nie tylko przyśpiesza wzrost wypukłej strony lecz jednocześnie zwalnia wzrost przeciwnej. Zostaje atoli do wyjaśnienia, dla czego w leżącej poziomo łodydze rosną prędzej komórki dolnej strony, powodując wygięcie ku górze, w korzeniu zaś przeciwnie.

Zjawisko to daje się prawdopodobnie sprowadzić do objawiającej się wogóle w roślinie b i e g u n o w o ś c i, powodującej, że komórki wierzchołka korzenia posiadają własności w pewnym względzie przeciwne komórkom wierzchołka głównego pędu. Przeciwność ta osłabiona jest w bocznych pędach, których kierunek wzrostu stanowi wypadkową dwóch czynników: osłabionej już siły geotropizmu i dążenia tych pędów do przybrania kierunku prostopadłego do głównego pędu. Wskutek tego gałęzie zwrócone są skośnie ku górze; rozgałęzienia z korzenia — skośnie ku dołowi. Siła geotropizmu osłabia się w miarę oddalenia od wierzchołka, tak iż grube konary rosną niekiedy zupełnie poziomo.

Prócz geotropizmu ujemnego i dodatniego istnieje także g e o t r o p i z m p o p r z e c z n y, właściwy niektórym łodygom podziemnym rosnącym w kierunku prostopadłym do siły ciążenia).

ROZDZIAŁ XVIII.

Ruchy roślin.

1. Opisane w poprzednim rozdziale zmiany położenia części rośliny spowodowane są, jak widzieliśmy (podobnie jak wzrost wogóle): przez dwa czynniki: przez rozciągnięcie turgurowe i przez następcze jego utrwalenie. Na tych samych momentach, w rozmaitym stopniu posuniętych, spoczywają i właściwe ruchy roślin, to jest takie, w których zmiana położenia nie zostaje zachowaną, lecz bądź posuwa się coraz dalej, bądź też organ, po jej odbyciu, wraca do pierwotnego położenia.

Wszystkie te ruchy spoczywają na przenoszeniu drażliwości od jednej części ku innym, a przeniesienie to tłumaczy się łącznością protoplazmy wszystkich komórek ciała roślinnego (Rozdz. VIII, § 3).

Stosownie do tego, czy ma miejsce samo tylko zwiększenie jędrności komórek, czy też towarzyszy mu ich dzielenie się i wzrost, możemy rozróżniać ruchy wzrostowe (np. zmiana położenia liści zależna od światła) i jędrnościowe (wariacyjne).

Z drugiej strony możemy rozróżniać ruchy odbywające się pod wpływem wewnętrznych czynników rośliny bez widocznego bodźca zewnętrznego (autonomiczne) i ruchy wywołane przez działanie bodźców (paratoniczne).

2. Wśród ruchów wzrostowych autonomicznych najbardziej powolnymi są te, którym zawdzięczają rozwinięcie swe pączki liściowe i kwiatowe. Dopóki pączek jest zwinięty, liść lub płatek rośnie prędzej na swojej stronie zewnętrznej (hy-

ponastia), co właśnie powoduje przyciskanie się do innych i zwarcie w pączku. Przeciwnie, gdy pączek się rozwija organa te zaczynają rosnąć prędzej na stronie wewnętrznej, która teraz staje się górną (epinastia).

Zmiany prędkości wzrostu na dwóch przeciwległych dłużnicach pędu, powodują wyginanie się jego końca to w jednę, to w drugą stronę czyli ruch wahadłowy (nutacya); niekiedy koniec ten opisuje kółko lub owal (kołowanie), wskutek tego, że linia najprędszego wzrostu zmienia ustawicznie swe położenie, przesuwając się po obwodzie pędu. Ruchy te bywają bardzo wyraźne u roślin wijących się i pełnią tu ważną rolę. Gdy nasienie kiełkuje, rosnący pęd opisuje coraz większe koła, używając na cały obrót kilka lub kilkanaście godzin. Przytem jedne gatunki (np. chmiel), kołują w kierunku wskazówek na zegarze, większa część zaś roślin wiciowatych w przeciwnym. Kołowanie trwa, dopóki koniec pędu nie natrafi na jakąś oporę dość cienką, aby mógł się w około niej owinąć. Wtedy ruch kołowy nie ustaje, ale pod wpływem jego zaczyna się obwijanie pędu dokoła podpory; jednocześnie zaś działający geotropizm ujemny, posuwając wierzchołek ku górze, powoduje wydłużenie skrętów. Z połączenia tych dwóch ruchów pochodzi charakterystyczne wspinanie się ku górze roślin wiciowatych.

Wśród ruchów wzrostowych wywołanych (paratonicznych) najbardziej charakterystycznemi są zmiany położenia liści w nocy i w dzień (tak zwany sen roślin). Możemy je łatwo widzieć u akacyi: tu w nocy listki są opuszczone i przytulone do siebie. Takie położenie prawdopodobnie nie jest bez korzyści dla rośliny, zmniejsza bowiem stratę ciepła przez promieniowanie. Ruchy te odbywają się najczęściej tylko w rosnących częściach i są wynikiem działania zmiany światła i ciemności na przyśpieszenie wzrostu [1]) górnej lub dolnej strony ogonka liściowego: gdy rośnie prędzej pierwsza — liść opuszcza się, gdy druga — podnosi się. Można wywołać w dzień nocne położenie liści, pokrywając roślinę

[1]) Dla tego też stają się mniej wyraźnemi, gdy wzrost liścia zwalnia się, a ustają zupełnie skoro on dosięgnie kresu.

czarnym kloszem; zmiana położenia następuje w ciągu $^1/_2$—1 godziny. Jeżeli roślinę zostawić w ciągu kilku dni w ciemności, ruchy stopniowo stają się mniej wyraźnymi i wreszcie ustają. Mamy więc i tu zjawisko następczego oddziaływania, czyli „przyzwyczajenia" protoplazmy.

Do tegoż szeregu zjawisk należy otwieranie się i zamykanie kwiatów, które wywołane bywa bądź przez zmianę oświetlenia, bądź temperatury. Szafran jest szczególniej czuły na zmiany ciepłoty: podnosząc ją o 12 stopni zauważymy otwarcie kwiatu już po 3-ch minutach. Na peryodycznej zmianie światła i ciepła w ciągu dnia polega peryodyczne otwieranie się i zamykanie kwiatów, które podało Linneuszowi myśl *zegara kwiatowego*. Oto są godziny otwarcia i zamknięcia niektórych kwiatów:

	Otwarcie	Zamknięcie
Lilijka żółta (Hemerocallis flava)	5 z rana	7—8 wieczorem
Grzybień biały (Nymphea alba)	7 „	5 po połud.
Nogietki (Calendula)	9 „	3 „
Len (Linum usitatissimum)	5 „	12 „

Do ruchów wzrostowych paratonicznych należy zamykanie się liści rosiczki (Drosera); jako bodziec działa tu z początku dotknięcie owadu, następnie działanie chemiczne substancyi azotowej.

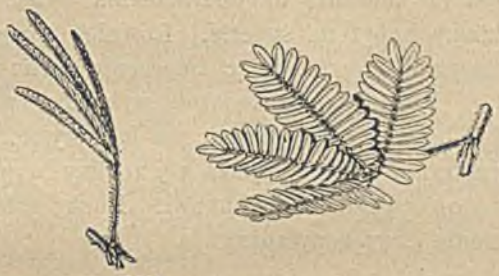
3. Ruchy jędrnościowe polegają na mechanizmie, o którym daje przybliżone pojęcie ruch palców rękawiczki przy jej nadymaniu. Tylko zamiast powietrza działa tu woda, a mniejsze lub większe naprężenie pewnych części roślin, wywołujące ruchy, zależy od jędrności komórek. Różnią się one od wzrostowych tem, że zmiana położenia, spowodowana przez jędrność, nie zostaje utrwaloną i organ wskutek nowej zmiany jędrności powraca do pierwotnego położenia.

Ruchy takie są nierównie szybsze od wzrostowych. Typowymi przykładami ich, są ruchy niektórych roślin zwrotnikowych, jak np. wahadlnika (*Desmodium gyrans*), muchołówki (*Dionea muscipula*), czułka (*Mimosa pudica*).

Pierwsza z tych roślin ma liście złożone z trzech listków, z których końcowy odbywa ruchy wahadłowe, powolniej-

sze, dwa zaś boczne prędsze, przyczem opisują długie owale. Ruchy te nie są wywołane przez żadne bodźce zewnętrzne, lecz zupełnie autonomicznie, ale warunkiem ich jest pewna temperatura. W 35° C obrót listków bocznych trwa $1^1/_2$ minuty; w 28° — 4 minuty, a niżej 22° ruch ustaje zupełnie. Przyczyną ich jest peryodyczna zmiana jędrności komórek pewnych poduszeczek, znajdujących się u nasady liści. Tu ruch ma charakter autonomiczny.

Ruchy muchołówki należą przeciwnie do wywołanych przez bodźce zewnętrzne. Liść jej, złożony z dwóch połówek, zaopatrzony jest we włoski bardzo czułe na dotknięcie: jeśli owad potrąci o jeden z nich połówki liścia szybko się zwierają, a osadzone na jego brzegach kolce, wchodzą między siebie, zamykając owad (rys. 155). Liść zostaje zwartym przez kilka dni, dopóki z owadu nie zostaną same szczątki. Przeciwnie po dotknięciu innym przedmiotem liść prędko się otwiera. Przyczyną ciągłego zwarcia liścia, utrzymującego w niewoli muszkę, jest ta, że ciała białkowate i wogóle wszelkie substancye azotowe działają na liść jako bodziec chemiczny i podtrzymują podrażnienie.



Rys. 159. Liść czułka w stanie normalnym (a), po dotknięciu (b).

Najbliżej zbadane są ruchy czułka. Są one dwojakie. 1) Na noc przyjmuje czułek położenie właściwe wielu innym roślinom tej rodziny, składając listki po dwa ku górze; 2) przy każdem dotknięciu lub wstrząśnieniu przybierają liście również położenie nocne, trwające zresztą bardzo niedługo. Szczególną czułością na dotknięcie odznacza się dolna część poduszeczki u ogonka liściowego: przy dotknięciu staje się ona ciemniejszą, co pochodzi stąd, że woda zostaje wyciśnięta z komórek do przestworów międzykomórkowych, przez co zmniejsza się jędrność i najbliższy liść natychmiast się opuszcza. Ale podrażnienie szerzy się dalej na sąsiednie i bardziej

odległe liście, tak że w ciągu kilku minut cała roślina przyjmuje położenie senne. Haberlandt wykrył w łykowej części wiązek czułka organ, któremu przypisuje szerzenie pobudliwości: składa się on z szeregu komórek połączonych przy pomocy przedziurawionych siatkowato błon i wypełnionych protoplazmą. Środki znieczulające jak chloroform, eter, pozbawiają mimozę na pewien czas czułości. Tak samo działa ciemność, nizka temperatura i zmęczenie. Jeżeli umieścimy mimozę w ciemności, przyjmuje ona położenie nocne, lecz wkrótce wraca do dziennego i zachowuje przez pewien czas ruchy peryodyczne. Po kilku dniach jednak traci je i w tym stanie jest już nieczułą na podrażnienia. Czułość przywraca kilkugodzinny pobyt na świetle. Również i częste podrażnienie osłabia czułość, powodując zmęczenie rośliny.

Pręciki wielu kwiatów wykazują ruchy paratoniczne. Bardzo łatwo je obserwować na berberysie. Jeżeli dotkniemy wewnętrznej strony pręcika tej rośliny u podstawy nitki, porusza się on szybko ku słupkowi. Ruchy takie mają niekiedy znaczenie przy zapylaniu.

ROZDZIAŁ XIX.

Stałość i zmienność kształtów u roślin.

1. Jedną z najbardziej zdumiewających osobliwości roślin jest stałość w odtwarzaniu kształtów poszczególnych części charekteryzujących gatunek. Typ rozgałęzienia, forma liści i kwiatów, ich rozmieszczenie powtarzają się nie z mechaniczną jednostajnością, znamionującą przedmioty odbite z jednego stempla lub odlane z jednej formy, lecz z tą stałością cech, która w ogromnej większości wypadków pozwala bez wahania odgraniczyć gatunek od gatunku.

Stałość ta jednak nie wyklucza zmienności, niekiedy bardzo daleko posuniętej już w naturalnych warunkach egzystencyi rośliny. Dotyczy to przedewszystkiem rozmiarów całości lub poszczególnych części.

Rośliny wyhodowane w mniej przyjaznych warunkach odżywiania (np. przy niedostatecznym dopływie wody i substancyi pożywnych z gruntu) często odtwarzają zwykły typ w postaci skarłowaciałej, zachowując proporcyonalność części i tylko nasiona wydając o wielkości normalnej. Zdarzają się wszakże zmiany w stosunkach poszczególnych części. Poznaliśmy już te, które powodują zmiany warunków oświetlenia lub wilgotności: nadmierne wydłużenie międzywęźli a słaby rozwój liści u roślin wypłonionych; wybujałość liści i przejście od ułożenia okółkowego do skrętoległego przy nadmiarze wilgoci (Rozdz. XVII, § 4); poznaliśmy także zmiany w budowie mikroskopowej w zależności od tych czynników (str. 272 i 273).

Doświadczenia Bonnier'a (1890) wykazały, że charakterystyczny dla flory alpejskiej układ okółkowo-przyziemny liści,

spowodowany jest przez warunki zewnętrzne: wyhodowane z tych samych nasion rośliny, przybierały w Paryżu typ roślin równiny w Alpach lub Pireneach — alpejski. Posuwając analizę zjawisk dalej i dostrzegając, że najwybitniejszą cechą klimatu alpejskiego są raptowne zmiany temperatury, Bonnier otrzymał pod Paryżem formy alpejskie, wytwarzając sztucznie te same warunki temperatury. Ostrokrzew traci kolce (które rozwijają się w gałęzie), jeśli hodować go w stałej temperaturze i w powietrzu wilgotnem (Lhotelier, 1893).

Bardzo jaskrawo oddziaływają warunki zewnętrzne na formę liści niektórych roślin. Rośliny wodne nawpół zanurzone mają zwykle odmienny kształt liści zanurzonych (mocno wycinanych) od liści pływających na powierzchni lub powietrznych, mających blaszkę ciągłą (dwupostaciowość liści). Jeśli hodować np. jaskier wodny tak, aby wszystkie liście były zanurzone, to wszystkie mają kształt wodny i odwrotnie (Constantin, 1883). Pospolity u nas dzwonek okrągłolistny (Campanula rotundifolia) ma dwa listki przyziemne, sercowate, pozostałe zaś wązkie i długie. Jeśli roślinka wyrasta w ciemności, to wytwarza wszystkie liście typu sercowatego.

Można zmusić pączki kwiatowe do wydania liści zamiast kwiatów, umieszczając kwiatostan (oddzielony od rośliny) w roztworze pożywczym i t. p. Taki powrót do formy pierwszych lub w ogóle młodzieńczych liści daje się dostrzedz w wielu drzewach przy pewnych okolicznościach.

Obustronna symetrya niektórych kwiatów spowodowana bywa przez działanie siły ciążenia: hodując pączki kwiatowe na klinostacie (Rozdz. XVII, § 4) otrzymać można kwiaty o symetryi promienistej (Vöchting). Podobnież ciążenie powoduje układ igieł u wielu iglastych nadający grzbieto-brzuszny charakter gałązkom.

2. Z tych spostrzeżeń, których liczbę moglibyśmy pomnożyć, wyciągnięto wnioski, jakoby kształty roślin zależą wyłącznie od warunków zewnętrznych. Wywód taki nie zgadza się wszakże ani z tem co wiemy w ogóle o charakterze organizmów, ani z samymi faktami danej dziedziny jeśli je krytycznie rozważymy.

Wiadomo powszechnie jak doniosłe znaczenie ma w rozwoju organizmów tak zwana dziedziczność, to jest skłonność do powtarzania w potomności nietylko gatunkowych, lecz także indywidualnych cech nagromadzonych przez szereg przodków. Twierdzenie powyższe, w tak bezwzględnej formie wypowiedziane równoznaczne jest z zupełnem zaprzeczeniem dziedziczności, to jest zawartych w samym organizmie konieczności kształtowania w pewien określony sposób przypływającej z zewnątrz materyi i użytkowania ku temu w sposób określony nagromadzonej również z zewnątrz energii.

Z drugiej strony, jeśli zastanowimy się nad faktami zmienności powyżej przytoczonych (a dotyczących przeważnie tak zwanych modyfikacyi ekologicznych, to jest zależnych od środowiska), dostrzeżemy, że we wszystkich tych wypadkach wpływy zewnętrzne stają się tylko bodźcem powołującym do życia utajone już w roślinie możliwości, nigdy zaś nie stają się źródłem nowych form.

Skoro roślina posiada zdolność wytwarzania dwóch lub więcej modyfikacyi liści przystosowanych do rozmaitych środowisk, nie powinno nas dziwić, że obecność jednego z tych środowisk powołuje do życia odpowiednią możliwość. Również mało świadczy (wobec tego, co wiemy o morfologii kolców, cierni i kwiatów, ob. rozdz. I, § 5—7), o bezgranicznej zmienności rośliny ta okoliczność, że pod wpływem nadmiaru lub braku odżywiania, wilgoci i t. d., jedne z właściwych sobie organów zamienia na inne, lub że pod wpływem tych samych czynników wytwarza bądź skrócone, bądź wydłużone międzywęźla, większe lub mniejsze liście i t. d.

3. Obok nagromadzenia znacznej liczby możliwości, których tylko nieznaczna część ujawnia się w życiu osobnika, daje się dostrzedz w roślinie pewien związek części z sobą, pewna współzależność poszczególnych organów, powodująca, że możliwości owe powołane zostają do życia, nie tylko przez warunki zewnętrzne, lecz wogóle przez wszelkie zakłócenie wymaganych przez ową zależność stosunków.

Jak podział komórki wytwarza taką konstelacyę sił, która uskutecznia odbudowanie brakującej części według pierwot-

nego wzoru (Rozdz. VII, § 4), tak w organizmie złożonym, gdzie każdy podział jest już uwarunkowany planem rozwoju całości, zasada prostej symetryi ustępuje miejsce zasadzie współzależności. Usunięcie jakiejś części lub organu zakłuca daną przez plan konstelacyę sił, powodując zmiany w innych częściach.

Przedewszystkiem oddziaływa tu potrzeba wypełnienia pewnej funkcyi lub jej zbyteczność.

Za przykład posłuży następujące doświadczenie: bulwy u kartofla i innych roślin bulwiastych powstają w zwykłych warunkach na pędach podziemnych; można wszakże z każdego pączka (w zwykłych warunkach dającego pęd ulistniony) wywołać pęd zaopatrzony w bulwy, jeśli otoczymy odpowiednią część łodygi ciemną skrzynką (Vöchting). Mamy tu jeden z wypadków oddziaływania środowiska: brak światła staje się bodźcem ku ujawnieniu właściwej roślinie zdolności tworzenia bulw. Można jednak wywołać bulwy i na świetle. W tym celu bierze się gałązka rośliny i po usunięciu wszystkich pączków dolnej części zasadza się do gruntu. Brak pączków podziemnych, przy potrzebie rośliny przechowania nagromadzonego materyału powoduje, że pomimo braku bodźca (ciemności) pączki powietrzne wydają bulwy (u kartofla) lub też przekształca się w nie część łodygi albo liść (Oxalis crassicaulis).

Jeżeli na wiosnę zakopiemy nawpół do ziemi bulwę kartofla tak, iżby z górnej części rozwinęła się łodyga, z dolnej zaś korzeń, to bulwa pełniąc funkcyę przenoszenia wody gruntowej, nie tylko nie zanika (jak w zwykłych warunkach), lecz grubieje, wytwarza naczynia, komórki grubościenne i miąższ drzewny (Vöchting, 1899).

Przeciwnie usunięcie pewnej funkcyi powoduje zanik organu: jeśli odetniemy blaszkę liściową, zanika i ogonek; jeśli usuniemy wszystkie liście zamiera gałązka na której one rosły. Po usunięciu wczesnem zawiązków niektórych liści nie wytwarzają się odpowiednie ślady liściowe w łodydze. Taki sam skutek daje zagipsowanie liści, ich pociągnięcie kolodionem lub inny sposób pozbawienia czynności (Just, 1891).

Najbardziej uderzającym przykładem zależności części jest zastępstwo pączka szczytowego. U nasady liści założone są pączki, w zwykłych warunkach nieczynne. Skoro jednak pączek szczytowy (nadający kierunek wzrostowi drzewa) zostaje zniszczony, miejsce jego zastępuje najbliższy mający już rozwinięty liść. Jeżeli zetniemy go, zastępuje go następny i t. d. Pączek, przejmujący rolę głównego, ujawnia właściwy mu charakter geotropizmu: jeśli taki pączek mieści się na bocznej (a więc skośnej) gałązce sosny mającej budowę grzbieto-brzuszną, gałązka ta wyprostowuje się i układ liści przybiera charakter promienisty jak na pniu.

4. Jedną z osobliwości, którą ujawniają rośliny w owej współzależności części jest to, co nazwano biegunowością (polarnością). Podobnie jak przy drobieniu magnesu na części każda z nich wytwarza biegun północny i południowy a każdy od strony odpowiadającej temu biegunowi w całej sztabie, tak skrawki rośliny (łodygi lub korzenia) dążą do przekształcenia się w całość, wytwarzając na końcu zwróconem w całej roślinie ku korzeniowi (biegun korzeniowy), pędy zaś ulistnione na końcu zwróconym ku wierzchołkowi (biegun wierzchołkowy).

I tak, jeśli odetniemy kawałki wierzby (pnia lub korzenia) i wetkniemy do ziemi biegunem korzeniowym, to na dolnym końcu powstają korzenie, na górnym gałązki; jeśli u dołu znajdzie się biegun wierzchołkowy, a korzeniowy u góry, tworzą się wprawdzie korzenie u dołu, a pędy u góry, lecz pędy te zanikają niebawem i zostają zastąpione przez silniejsze, wyrastające z dolnego końca tuż nad korzeniem. Można powtarzać to samo doświadczenie w wilgotnem powietrzu, przy rozmaitych położeniach względem horyzontu, w rozmaitym stopniu oświetlenia — zawsze tworzą się gałązki na biegunie wierzchołkowym, korzenie na korzeniowym. Mamy więc tu przewagę wewnętrznego planu budowy rośliny nad warunkami zewnętrznemi. Oporność ta nie jest wszakże bezwzględną. Usuwając korę z części korzeniowej odcinka zwróconej ku górze i utrzymując ją w wodzie mającej 25° C, Klebs osiągnął ten skutek, że korzenie z niej wyrosły (1903).

Nie jest nawet koniecznem zupełne rozdzielenie rośliny na części: przecięcie kory i łyka (a więc odcięcie dopływu asymilatów) działa tak, jak zupełne oddzielenie części.

Jeżeli odciętą gałązkę-sadzonkę zaopatrzymy w nadcięcie obrączkowe zupełnie oddzielające korę jednej części od drugiej, to każda z części wytwarza pędy i korzenie, staje się więc osobnikiem niezależnym. Można zwiększać ilość takich osobników, mieszcząc nadcięcia obrączkowe gęściej, tylko liczba i rozwój wytworzonych organów będą zależne od długości członków, co jest naturalnym wynikiem szczuplejszego zapasu materyałów pożywnych, w miarę zmniejszenia odcinka.

Jeżeli przeciwnie wycięcie obrączkowe nie jest całkowite, lecz kora obu połówek zostaje połączona za pomocą prosto (pionowo) przebiegającego mostka, to wzdłuż linii mostka tego nie tworzą się organy dodatkowe, które rozwijają się jednak w sposób wyżej wskazany na dłużnicach gałęzi przeciętych obrączką. Z tego starego już doświadczenia wynika, że indywidualizacya części rośliny odbywa się wzdłuż każdej dłużnicy, jaką poprowadzimy na obwodzie gałązki, tak że np. jedna połówka gałązki może mieć wszystkie cechy odrębnego osobnika, kiedy druga zostaje w związku z całą rośliną. Można rzec, że każda gałązka składa się z licznych paseczków podłużnych, które o tyle tylko nie są oddzielnymi osobnikami, o ile między nimi odbywa się wymiana asymilatów w kierunku poprzecznym, gdyż, jak to widzieliśmy, części gałązki o tyle tylko nie są osobnikami, o ile między niemi odbywa się ta wymiana.

Jeżeli ostrożnie oddzielimy korę od drewna (zrobiwszy uprzednio przecięcie podłużne, tak aby jej całości nie przerywać) i wstawiwszy mocne nożyczki przetniemy drewno, to indywidualność gałązki nie zostaje rozdzieloną: pędy powstają tylko u górnego końca, korzenie zaś u dolnego (Czapek, 1897).

Biegunowość objawia się szczególniej przy zrastaniu się części roślin. Jak różnoimienne bieguny magnesu przyciągają się, jednakowe zaś odpychają się, tak odcinki roślin zrastają się łatwo, jeśli stykają się przeciwnymi biegunami; wcale się nie zrastają, lub zrastaniu się towarzyszą zaburzenia, jeśli stykają się bieguny jednakowe. Takąż samą biegunowość ujaw-

nia roślina i w kierunku poprzecznym (strona wewnętrzna i zewnętrzna).

Badanie mikroskopowe zrośniętych części wykazuje, że w wypadkach pozornego zrośnięcia jednakowych biegunów pierwiastki histologiczne zrastają się w rzeczywistości przeciwnymi biegunami. Jeśli wyciąwszy sześcian z buraka umieścimy go w kierunku odwrotnym, to po upływie pewnego czasu nastąpi zrośnięcie. Badając odpowiednie miejsca pod mikroskopem, dostrzeżemy wszakże, że nastąpiło tu wielkie zaburzenie w układzie tkanek, pochodzące stąd, że np. naczynia nie przyrastają do siebie bezpośrednio jak się stykają (to jest jednakowemi biegunami), ale bieguny wierzchołkowe obrastają dokoła miejsca rezekcyi, szukając korzeniowych biegunów wyciętej części (teraz zwróconych ku górze) i zrastają się z nimi (Vöchting).

Taką samą biegunowość ujawniają i niższe rośliny (np. plechy porostnicy, wodorosty), lecz tu wpływ warunków zewnętrznych łatwiej odwraca wytknięte w planie rośliny stosunki.

5. Z pytaniem o granicach zmienności form wiąże się ściśle inne. Komórka, z której powstaje cała roślina (jajo lub zarodnik sprzężony, ob. następny rozdział) zawiera w sobie oczywiście zdolność wytworzenia wszystkich jej części i organów. Czy w miarę tego jak drogą podziałów wytwarzają się z niej liczne komórki, różniczkując się w poszczególne organa, komórki te zatracają zdolność do wytwarzania odmiennych utworów? Czy może raczej owa funkcya morfologiczna specyficzna (np. przekształcenie się na pierwiastki drzewne jednych komórek miazgi, na łykowe zaś innych) zależy wyłącznie od połączenia z całokształtem, to jest od współzależności części?

Niektórzy sądzą (Weissmann), że pierwszy czynnik jest decydującym; że tylko komórki rozrodcze (jaja i zarodniki sprzężone) zawierają w sobie zawiązki wszystkich cech przyszłego organizmu, które w miarę kształtowania się poszczególnych części rozdzielają się wśród tych części tak, że komórki każdej zachowują tylko pewne właściwe tej części możliwości morfologiczne (a więc np. komórki korzenia nie mogłyby wytwarzać liści i innych części właściwych łodydze). Temu jed-

nak zaprzeczają fakta bardzo stanowczo. Nie tylko, jak widzieliśmy, poszczególne części łodygi lub korzenia mogą wydawać i pędy ulistnione i korzenie, ulegając tylko prawom współzależności części, lecz są i bardziej rażące dowody wszechstronności morfologicznych uzdolnień każdej żyjącej komórki. U begonii np. cała roślina może rozwinąć się z jednej komórki naskórka.

Lecz z tych samych objawów polarności rośliny możemy wywnioskować, że jeśli twierdzenie powyższe nie jest poprawne w swojej formie bezwzględnej, to istnieje wszakże osłabienie zdolności do wytworzenia cech charakterystycznych dla danej części rośliny w miarę oddalenia od niej. Tak komórki części łodygi zbliżonej w całej roślinie do wierzchołka (biegun wierzchołkowy) łatwiej wytwarzają pędy, niż bardziej od niego odległe (biegun korzeniowy). Lecz ta łatwość jest tylko względna: te same komórki, z których przy nacięciu w jednem miejscu powstają pędy ulistnione, mogą wytworzyć korzenie przy nacięciu wyżej położonem, a więc przy obecności bardziej uzdolnionych w tym samym kierunku warstw komórkowych.

ROZDZIAŁ XX.

Rozmnożenie roślin.

1. Pojęcie rozmnożenia łączy się ściśle z pojęciem osobnika. Rozmnożeniem bowiem nazywamy, zarówno wśród roślin jak i wśród zwierząt, zwiększenie ilości osobników.

Pojęcie osobnika wszakże w biologii, a zwłaszcza w królestwie roślinnem, nie jest dokładnie odgraniczone od zbliżonych do niego: organu, kolonii lub rodziny komórkowej. Brak ścisłości pojęcia tego uwidocznił się już w konieczności przyjęcia roślin jednokomórkowych w ścisłem i w szerokiem znaczeniu (Rozdz. VII, § 1), to jest w przezwyciężeniu pojęcia osobnika w potocznem znaczeniu przy naukowem ujęciu rzeczy. Pierwotek, po rozdzieleniu się, tworzy dwa osobniki ze stanowiska potocznego (Rozdz. II, § 8); komórki skrętnicy po rozdzieleniu się zostają z sobą w związku: mówimy w tym wypadku o wzroście nici. Jednakże złożoną z wielu komórek skrętnicę zaliczamy narówni z pierwotkiem do organizmów jednokomórkowych; to jest każdą komórkę nici uważamy niejako za osobnik, chociaż i spojony z innymi podobnymi.

Spojenia takie nazywamy koloniami, jeśli są luźne lub czasowe; rodzinami, jeśli przytem uwydatnia się ich pochodzenie jednoczesne z jednej komórki macierzystej. O osobniku mówimy wtedy, gdy dostrzegamy w nim zróżniczkowanie komórek, ujawniające odrębne funkcye, wykonywane w interesie całości i odtworzenie tego zróżniczkowania z pokolenia na pokolenie. Wszakże już u gwiazdnicy (Rozdz. VII, § 1) widzimy zróżniczkowanie na komórki środkowe i brzeżne, a także odtworzenie

całokształtu z jednej komórki przypominające ze wszech miar rozmnożenie osobnika, kiedy, przeciwnie, zasada niezależności komórek, stanowiąca o kolonialnym charakterze, uwydatnia się w zupełnej rozdzielności pływek spajających się później w ciało gwiazdnicy.

Ta niejasność granic i mglistość pojęcia osobnika, ujawnia się w większym jeszcze stopniu u roślin wyższych. Widzieliśmy, że każda część rośliny może stać się po odcięciu odrębnym osobnikiem. Sadzonka odcięta od krzaka róży, liść begonii przybity kołkiem do wilgotnego piasku, część łodygi lub korzenia wierzby stają się osobnikami przez uzupełnienie brakujących organów. Dwa krzaczki poziomek połączone podziemnym rozłogiem stanowią jeden osobnik; po przecięciu rozłogu — dwa. Jeden osobnik w pojęciu potocznem stanowią zrośnięte razem zraz i płonka, chociaż każde może pochodzić nie tylko z odmiennego gatunku, lecz nawet rodzaju. W ogóle nie mamy w królestwie roślinnem tej zasadniczej cechy (znamionującej przynajmniej wyższe zwierzęta) wyrażonej w nazwie osobnika (individuum): jego niepodzielności. Nie tylko każda komórka roślin jednokomórkowych w szerokiem znaczeniu może pędzić żywot w odosobnieniu od całości, lecz stosuje się to, jeśli nie zawsze do każdej komórki, to przynajmniej prawie zawsze do każdej części roślin wyższych.

2. Rozróżniają zwykle dwa typy rozmnożenia: wegetacyjne i reprodukcyjne. Pierwsze polega na oddzieleniu się (to jest zerwaniu łączności przestrzeniowej) części osobnika od siebie ku wytworzeniu nowego osobnika. Istota drugiego polega na zlaniu się dwóch komórek w jednę, jak to widzieliśmy np. u okrzemek (Rozdz. II, § 5). Istotny więc akt reprodukcyi nie jest pomnożeniem, lecz redukcyą osobników.

Do rozmnożenia wegetacyjnego zaliczamy przeto wszystkie zjawiska, zaczynając od prostego podziału komórek (jak u ameby, Rozdz. II, § 3 i innych opisanych tam organizmów niższych), a kończąc na rozmnożeniu wegetacyjnem roślin wyższych.

Łatwo dostrzedz, że zjawiskiem podstawowym, na którem spoczywa rozmnożenie wegetacyjne jest podział komórek zwiększający ich ilość. Ich rozłączenie się późniejsze, jak widzieliśmy,

jest już objawem drugorzędnym, niekiedy przypadkowym. Lecz ten sam fakt zasadniczy stanowi podstawę wzrostu.

Rozmnożenie za pomocą pływek stanowi tylko ekologiczną odmianę wzrostu. U Oedogonium (Rozdz. II, § 7) obok wzrostu właściwego nici (jeżeli ją uważać będziemy za osobnik), mamy rozmnożenie wegetacyjne (wytworzenie nowych osobników — nici) przez pływki. Z punktu widzenia naukowego, jednak, obie sprawy są zupełnie równoznaczące, gdyż obie polegają w istocie na dzieleniu się komórek. Różnica tylko ta, że w pierwszym wypadku rozdzielone komórki przegradzają się wspólną błoną, w drugim każda wytwarza własną, i to dopiero w pewnym czasie po rozdzieleniu.

Ruchomość pływki jest tylko przystosowaniem, mającem na celu dać roślinie możność skorzystania z najlepszych warunków dla jej rozwoju i uniknięcia skupienia osobników w jednem miejscu, przez co utrudniałoby się ich odżywianie: znalezienie bardziej oświetlonego i lepiej zaopatrzonego w pożywienie gazowe i mineralne stanowiska. Sprzyjają temu własności tych pływek: dążą one ku światłu (są dodatnio światłoczułe) i ku powierzchni wody, gdzie wymiana gazów z powietrzem odbywa się szybciej. Podobne znaczenie mają komórki zimujące (przetrwalniki) i t. p. (ob. Rozdz. II, § 4).

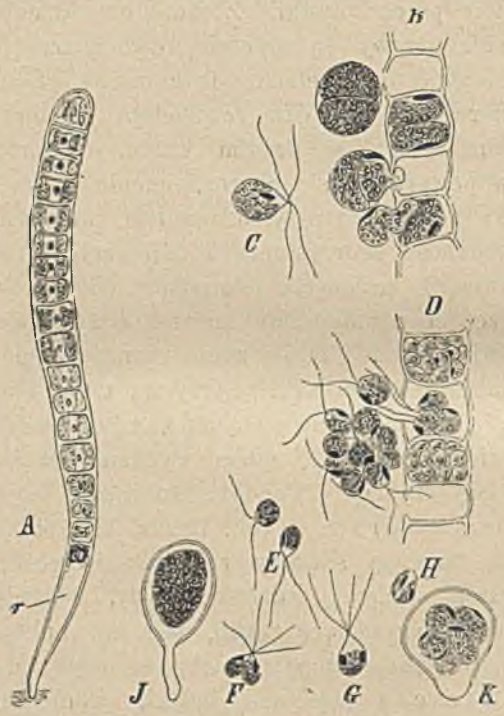
Równoznaczące z temi są sposoby rozmnażania roślin wyższych przez sztucznie odcięte (sadzonki, zrazy, odkłady i t. d.) lub też naturalnie odpadające części, jak np. bulwy, które są nabrzmiałemi i obficie zaopatrzonemi w pożywienie dla swoich pączków (oczek) częściami łodygi, cebuleczki (bulbillae), to jest odpadające i obdarzone zdolnością zakorzenienia się pączki i t. p.

Różnica między wzrostem a rozmnożeniem wegetacyjnem jest więc również nieokreślona, jak i pojęcie osobnika, od którego zależy. Rozmnożenie wegetacyjne jest wzrostem poza granice osobnika w potocznem (nie krytycznem) znaczeniu pojętego.

3. Inny zgoła charakter ma reprodukcya. Zasadniczą cechą tu, jak widzieliśmy, jest zlanie komórek, a przynajmniej jąder ich, przyczem ilość komórek jeśli się nie zmniej-

sza, to i nie zwiększa. Pomnożenie ilości komórek, to jest energiczny wzrost w granicach osobnika lub poza niemi, jest zjawiskiem drugorzędowem, następującem po owem zlaniu i przez nie pobudzonem.

Jako najniższą formę lub stadyum przygotowawcze tego aktu uważać możemy zlanie się mixo-ameb w plasmodyum u śluzowców (Rozd. II, § 5), po którem następuje tworzenie zarodników. U okrzemek poznaliśmy typ polegający tylko na wymianie jąder. U ogromnej większości roślin wszakże reprodukcya polega na utworzeniu z dwóch komórek jednej, obdarzonej w wysokim stopniu zdolnością do dzielenia się według pewnego planu. Miliony komórek olbrzymiego dębu żyjącego setki lat, powstają wskutek podziałów jednej takiej komórki, a kierunek i następstwo podziałów odbywa się tak, że każda gałązka, każdy liść, każdy kwiatek powtarza formę dalekich przodków naszego dębu. Rzec można, że cały plan olbrzymiego drzewa jest jakby z góry nakreślony w mikroskopowem jajeczku.



Ryc. 160. Wstężnica (Ulothrix zonata): A—młoda nić, B—część nici tworząca pływki wegetacyne ich wyjście, C—jedna z nich, D—pływki reprodukcyjne (planagomety); E, F, G, H—następujące po sobie fazy spajania się planogamet, J—zygota; K—początek tworzenia się z niej pływek (powiększone 482 razy, według Dodela).

Najprostszym typem aktu reprodukcyjnego jest zlanie się ruchomych komórek (pływek czyli planogamet). Można je obserwować u wielu wodorostów, tworzących pływki dla rozmnożenia wegetacyjnego. Jednak pływki, przeznaczone do zlania są zwykle mniejsze od wegetacyjnych i tworzą się w większej ilości z jednej komórki. U wstężnicy (Ulothrix) np., przy powstawaniu pływek wegetacyjnych, zawartość komórki dzieli się tu na dwa lub cztery ciałka okrągłe, które wypuszczają z siebie nici protoplazmatyczne i wiosłując niemi wypływają przez powstający w błonie otwór w otaczającą wodę, gdzie po upływie pewnego czasu zatrzymują się, otaczają się błonką i każda z nich drogą dzielenia wytwarza nową nić wstężnicy (rys. 160, A, B, C). Pływki przeznaczone do spojenia są liczniejsze (D) różnią się przytem zachowaniem względem światła: unikają go (światłoczułość ujemna).

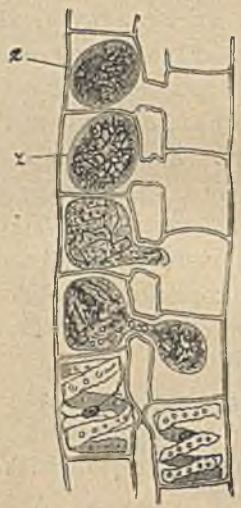
Pływki takie spajają się po dwie. Zaczyna się zlanie zwykle od zaostrzonego bezbarwnego końca. Utworzony przez zlanie zarodnik sprzężony (zygota), zostaje zwykle jakiś czas w spoczynku (zimuje), później zaś kiełkuje, to jest drogą dzielenia wytwarza nici lub rozdzielne komórki, zupełnie podobne do tych, z których powstają pływki lub też pływki większe, które następnie wyrastają w nici.

W najprostszym wypadku pływki spajające się są jednakowej wielkości. W innych wypadkach jedna z pływek (żeńska) przewyższa drugą wielkością w mniejszym lub większym stopniu.

Odmienny typ tego aktu przedstawia sprzężenie. Możemy je obserwować u wielu wodorostów i grzybów. Za przykład niech posłużą skrętnice. Komórki dwóch leżących naprzeciwko siebie nici tworzą wyrostki ku sobie, które spajają się w rureczkę; błonka przegradzająca ją zostaje rozpuszczona i cała masa protoplazmy jednej komórki, poprzednio oddzieliwszy się od błony i zaokrągliwszy się (to jest tworząc tak zwaną gametę), zlewa się z podobnież zaokrągloną masą przeciwległej komórki. Przelewanie gamet zawsze odbywa się w jednym kierunku, to jest z komórek nici męzkiej do żeńskiej, które zresztą niczem się nie różnią na oko (rys. 161).

Jeżeli usuniemy tę ostatnią okoliczność, nie będącą zresztą cechą stałą sprzężenia — są bowiem rodzaje, w których obie gamety dążą na spotkanie i spajają się w rurce, to widzimy, że sprawa ta nie różni się istotnie od zlania pływek. Tylko tam gamety były ruchome przed zlaniem, tu nabywają zdolności ruchu dopiero w samej chwili zlania. Zarodnik sprzężony i w tym wypadku otacza się grubą błoną, aby kiełkować, to jest drogą szeregu podziałów wydać nową nić skrętnicy, dopiero po upływie pewnego czasu.

W obu tych wypadkach odbywające się już wyróżnienie pierwiastku męzkiego od żeńskiego nie jest stanowcze: polega bądź na różnicy wielkości bądź na nieruchomości jednej z gamet.



Ryc. 161. Sprzężenie skrętnic: z—zarodnik sprzężony.

Bardziej stanowczo wyróżniają się pierwiastki te u Vaucherii (por. Rozdz. II, § 9). Na nici jej tworzą się dwa wyrostki, które rozrastając

Ryc. 162. Kawałek woszeryi z a—lęgnią i b—plemnią (silnie powiększone).

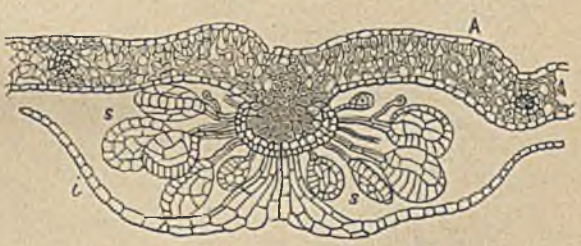
się przybierają odmienny kształt (rys. 162). Jeden z nich tworzy haczykowato zgiętą rurkę (plemnia — antheridium), drugi prawie kulistą narośl (lęgnia — oogonium). Oba napełniają się gęstą plazmą i oddzielają się błonami od pozostałej części rośliny. Protoplazma lęgni tworzy jednę dużą komórkę; protoplazma plemni rozpada się na wielką ilość drobnych utworów zaopatrzonych w rzęsy — plemników. Skoro to nastąpiło błony obu wyrostków rozpływają się w odpowiednich punktach; plemniki wydostają się na zewnątrz i podążają

ku lęgni wnikając w dużą komórkę żeńską (jajo), którą w ten sposób zapładniają.

4. Zbliżony do tego typ aktu reprodukcyjnego znajdujemy u wszystkich rodniowców (mchy, paprocie, skrzypy, widłaki). Komórkami łączącemi się są tu jajo i plemniki; mają one kształ rozmaity, najczęściej wężykowaty, i szybko pływają przy pomocy rzęs protoplazmatycznych (rys. 163).

Plemniki powstają przez rozdzielenie się jednej komórki w osobnych organach — plemniach (rys. 166); jajo zaś tworzy się w rodni (rys. 167), która otwiera się wtedy, gdy plemniki i jajo są dojrzałe. Substancye chemiczne wydzielane przez szyjkę rodni działają na plemniki, przyciągając je (u mchów działa w ten sposób cukier trzcinowy, u paproci — kwas jabłkowy), wskutek czego cisną się one tłumnie do

Rys. 163.



Rys. 164.

Rys. 163. Plemniki: A—ramienicy (Chara fragilis), B—paproci (Onolea struthiopteris) według Shaw'a; (A—pow. 540; B—850). k—jądro, c—protoplazma, cl—rzęsy, b—pęcherzyk (reszta soku komórkowego otoczonego plazmą).
Rys. 164. Przecięcie poprzeczne liścia paproci, przechodzące przez środek kupki: A—tkanka liścia: z góry i z dołu widzimy warstwę komórek stanowiących naskórek; w środku komórki chlorofilowe z obszernemi przestworami międzykomórkowemi; w środku, na prawo i na lewo 3 przecięte w poprzek wiązki naczyniowe (żyłki), i—zawijka, s—zarodnie.

rodni). Skoro jeden z plemników dostanie się do jaja, otacza się ono błonką i dzieli się na kilka komórek, tworząc zarodek.

U roślin jednak, o których tu mowa (t. j. u rodniowców), z zarodka nie wyrasta wprost roślina podobna do tej, na jakiej tworzyły się plemnie i rodnie, lecz zupełnie odmienna kształtem i wielkością. Spotykamy się tu ze zjawiskiem przemiany pokoleń, wprowadzającem nowe trudności do pojęcia osobnika.

Znane wszystkim rośliny paproci są tą formą, która wyrasta z zapłodnionego jaja, t. zw. formą wegetacyjną. Ale plemniki i rodnie nie tworzą się na niej. Ku końcowi lata na dolnej powierzchni liści paproci dostrzedz można brunatne plamy: są to kupki złożone z zarodni (rys. 164), w których powstają drogą dzielenia liczne zarodniki, t. j. pojedyńcze komórki, otoczone błonką. Wysiewają się one po pęknięciu zarodni i każda z nich wyrasta w małą zieloną plechę. Jest to przedrośl (rys. 165). Na niej dopiero powstają rodnie i plemnie, a z wytworzonych przez nie jaj rozwija się znowuż forma wegetacyjna.

Przedrośl paproci przymocowana jest do gruntu za pomocą chwytników; komórki jej zawierają chlo-

Rys. 165.

Rys. 166.

Rys. 167.

Rys. 165. Przedrośl paproci: G'—wielkość naturalna z góry; G—powiększona z dołu; widać na niej chwytniki i plemnie. — Rys. 166. Plemnia paproci otwarta z wypływającymi plemnikami (powiększona 300 razy). — Rys. 167. Rodnia wątrobowca (Marchantia polimorpha) z jajem i otwartą szyjką (powiększona 540 razy).

rofil. Może więc ona żywić się samodzielnie i w myśl zwykłego określenia jest osobnikiem niezależnym. Jeśli jednak uzupełniamy to określenie nazywając osobnikiem istotę, nietylko obdarzoną określonym kształtem, zdolną żywić się i rosnąć, ale i wytwarzać podobne do siebie, nie da się ono zastosować do paproci i wszystkich innych rod-

niowców, gdyż tu przedrośl wydaje zupełnie niepodobne do siebie pokolenie wegetacyjne.

5. Wręcz odmienny na pozór typ zapłodnienia znajdujemy u roślin kwiatowych. Bliższe wszakże zbadanie tej sprawy uwydatnia zupełną analogię z zapłodnieniem u rodniowców, a nie brak i form pośrednich.

Aby zrozumieć tę analogię winniśmy pamiętać o morfologicznem znaczeniu poszczególnych części kwiatu, które, jak wiemy, są przekształconemi okółkami liściowemi (rozd. I, § 6). Opiszemy najprzód tu sprawę zapłodnienia u okrytonasiennych, jako najdalej odbiegającą od rodniowców.

Słupek — jak wiemy powstaje przez zrośnięcie się brzegami kilku listków owocowych. Na brzegach tych listków lub na dnie zalążni powstają zalążki, utworzone z delikatnej tkanki wielokomórkowej. Wśród tych komórek wyróżnia się niebawem jedna, rozrastająca się bardzo znacznie. Jestto woreczek zarodkowy.

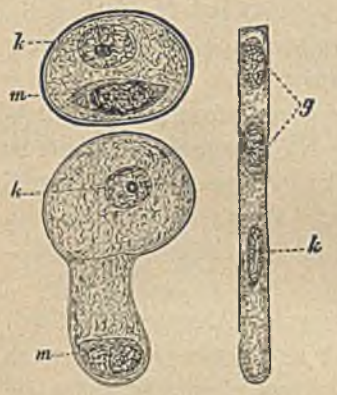
Skoro woreczek zarodkowy dosięgnie należytej wielkości, jądro jego dzieli się trzykrotnie, tak że tworzy się 8 nowych jąder. Z tych trzy u dołu woreczka i trzy u góry otaczają się protoplazmą i tworzą sześć komórek, leżących w woreczku zarodkowym. Dwie górne są komórkami pomocniczemi (synergidy), trzecia zaś jajem. Trzy dolne nie biorą udziału w zapłodnieniu. Nazywają je antipodami. Wreszcie dwa pozostałe w środku jądra łączą się razem w jądro drugorzędowe woreczka.

Gdy te przemiany są dokonane, jajo jest gotowe do zapłodnienia. Sprawa ta odbywa się tak. Skoro tylko ziarko pyłkowe z pręcików dostanie się na górną część słupka (znamię), zaczyna pod wpływem wydzielanego przez znamię roztworu cukru, wyrastać w długą łagiewkę pyłkową przenikającą w głąb słupka.

Przed wyrastaniem łagiewki komórka ziarka pyłkowego dzieli się na dwie nierówne, nie oddzielone od siebie błoną (rys. 168); z nich tylko komórka mniejsza bierze udział w zapłodnieniu. W łagiewkę wyrasta przeciwnie komórka większa (wegetacyjna) przy czem jądro jej (k) przesuwa się na przód łagiewki,

jakby kierując jej wzrostem. Komórka zaś mniejsza dzieli się na dwie komórki rozrodcze (g).

Gdy koniec rurki pyłkowej zetknie się z górną ścianką woreczka zarodkowego, błony obu zmiękczają się i obie komórki rozrodcze dostają się do woreczka zarodkowego przechodząc przez jednę z synergid, która zamiera. Pierwsza z nich dostaje się do jaja; protoplazma jej miesza się z pro-



Rys. 168.

Rys. 169.

Rys. 170.

Rys. 168. Ziarko pyłkowe lilii (Lilium Martagon) i wyrastanie łagiewki, według Guignarda (pow. 375); k—jądro komórki wegetacyjnej, m—komórka macierzysta komórek rozrodczych (g, g). — Rys. 169. A—woreczek zarodkowy słonecznika (Helianthus annuus), B—jądro męzkie mające wygląd plemnikowych; sp_1 sp_2—oba jądra męzkie z których jedno podąża do jaja (ov), drugie do jądra drugorzędowego woreczka zarodkowego (ek), a—antipody, s_1 i s_2—synergidy, ps—pozostałość łagiewki (według Nawaszyna). — Rys. 170. Zapłodnienie Lilium Matagon. U góry jajo, do którego jądra przylega korkociągowo zwinięte jądro komórki rozrodczej jeszcze nie spojone. Obok jedna (pozostała) z synergid. Na dole 3 antipody. W środku dwa jądra woreczka zarodkowego mające połączyć się w jądro drugorzędowe; obok mające się z nim spoić jądro drugiej komórki rozrodczej pyłku (według Guignarda).

toplazmą jaja, jądro zaś łączy się z jądrem jaja, poczem następują w nim podziały, wytwarzające zarodek. Ponieważ komórki rozrodcze powstają za pomocą podziału redukcyjnego (ob. Rozdz. VI, § 4), jądra więc ich zawierają połowiczną ilość pętlic, która zostaje doprowadzona do normalnej dla komórek wgetacyjnych przez przyłączenie się tyluż pętlic

z jądra drugiej zlewającej się komórki (przeciwnej płci) (Guignard). Druga komórka rozrodcza przenika do woreczka zarodkowego i jądro jej łączy się z jego jądrem drugorzędowem, poczem następuje podział woreczka na liczne komórki bielma nasienia. Jądro wegetacyjne (k) zanika w chwili rozmiękczenia błony łagiewki.

Wskutek rozrostu bielma i zarodka, woreczek zarodkowy zwiększa się a cały zalążek przemienia się w nasienie (jego okrywy tworzą okrywy nasienia) a zalążnia — w owoc. Utworzony zarodek zostaje jakiś czas w spoczynku; gdy zaś nasienie znajdzie się w przyjaznych warunkach zarodek rozwija się dalej, początkowo kosztem nagromadzonych w bielmie materyałów zapasowych, później zaś, gdy zapuści korzonek w ziemię i rozwinie pierwsze liście, — przyswajając pokarm z powietrza i ziemi.

6. Jeżeli porównamy teraz sprawę zapłodnienia u roślin kwiatowych z podobnąż sprawą u rodniowych, nie trudno będzie wykryć zupełne podobieństwo obu. Przypomnijmy tylko, że kwiat jest skróconą gałązką, której liście utworzyły rozmaite jego części, a łatwo dostrzeżemy analogię między utworami jak zarodnie paproci a komorami pyłkowemi lub zalążkami roślin kwiatowych. Tylko że z zarodników rozwijają się przedrośle, na których dopiero powstają komórki rozrodcze (plemniki i jaja); tu przedrośl jest zredukowana do minimum: ślad jej stanowi komórka większa ziarka pyłkowego, nie biorąca udziału w zapłodnieniu (przedrośl męzka), a w woreczku zarodkowym — antipody (przedrośl żeńska), komórki zaś zapładniające (męzkie) zmienione są odpowiednio do nowych warunków. Jeżeli przypomnimy sobie budowę plemników, łatwo dostrzeżemy, że są one zastosowane do środowiska wilgotnego. Jakoż przedrośle paproci znajdują się zwykle w miejscach wilgotnych, gdzie pokrywająca je rosa zupełnie wystarcza do ruchów plemników, które tylko w wodzie mogą dostać się do lęgni. U roślin kwiatowych przeciwnie, łagiewka pyłkowa, niosąca w sobie komórkę zapładniającą, przystosowana jest do ośrodka suchego: plemnik tu nie dopływa do jaja, lecz zostaje do niego przeniesiony.

Zmiana pokoleń u roślin rodniowych nie jest również niczem innem, jak tylko wynikiem przystosowania: gdyby zarod-

niki, rozwijające się np. na liściach paproci, kiełkowały na gałązkach rośliny jak pyłek, powstające z nich plemniki nie miałyby dość wilgoci, aby się mogły swobodnie poruszać i dostać do rodni. Muszą więc te zarodniki upaść na wilgotny grunt i tu rozwinąć roślinkę tymczasową (przedrośl), która wyżywiłaby komórki rozrodcze aż do chwili zapłodnienia.

Analogię tę stwierdza poznanie ogniw pośrednich między rodniowcami a okrytonasiennemi. U nagonasiennych przedrośl, zarówno męzka jak i żeńska, jest już wyraźniej zaakcentowana, stanowiąc widoczne przejście od t. zw. paproci wodnych czyli różnozarodnikowych, mających zarodniki mniejsze (mikrospory), wydające przedrośl męzką i większe (makrospory), z których wyrasta przedrośl żeńska. Zarodnikom tym odpowiadają u kwiatowych ziarka pyłku i woreczki zarodkowe. Ponieważ zaś analogia została osnuta na porównaniu z tą klasą roślin, więc dziś stosujemy do pyłku nazwę mikrospor (zarodników mniejszych) do woreczka zarodkowego — makrospory. Pręciki i zalążki nazywamy mikrosporangium i makrosporangium.

Cały szereg form pośrednich odsłoniły badania mikroskopowe nad kopalnemi, dziś zaginionemi gatunkami roślin, zwłaszcza z gromady sagowców stojących na pograniczu między bezkwiatowemi a kwiatowemi.

Najbardziej wszakże przekonywającym dowodem było odkrycie przez badacza japońskiego, Sakugoro Hirase (1895), ruchomych plemników w łagiewce pyłkowej sagowców: dwa plemniki odpowiadają dwóm komórkom rozrodczym okrytonasiennych. Doprowadzone do kanału zalążka przez łagiewkę pyłkową, plemniki przenikają tu same do jego wnętrza.

Wreszcie kształt jąder komórek reprodukcyjnych u okrytonasiennych, jak widać na rys. 169 (Nawaszin), przypomina wygląd plemników.

7. Wszystkie więc odmiany aktu reprodukcyjnego są tylko rozmaitemi przystosowaniami do warunków lub trybu życia rośliny. Istota jego polega na jednem — spojeniu się dwóch komórek różnorodnych (lub przynajmniej dwóch jąder) w jednę, obdarzoną ogromną siłą wegetacyi.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę tę ostatnią okoliczność; jeżeli przypomnimy sobie dalej, że celem aktu reprodukcyjnego jest wydanie utworów (nasion lub zarodników sprzężonych), które drogą nieskończonych podziałów komórek odtwarzają pierwotny kształt rośliny — mniejsza o to czy powstające skutkiem podziałów komórki zostają z sobą w związku (jak u roślin wielokomórkowych) i razem składają się na utworzenie tego kształtu, czyli, jak u jednokomórkowych, odtwarza się on wiernie w każdej powstającej przez podział komórce — biorąc to wszystko pod uwagę, przychodzimy do wniosku, że spojenie dwóch różnorodnych komórek jest niezbędne dla odnowienia siły kształtującej, którą obdarzona jest każda komórka, a która (sama będąc wynikiem wielorakich działających w protoplazmie sił) jest przyczyną, że najmniejsza część czy to komórki (jak w pączkowaniu), czy to całej rośliny (jak w sadzonkach i t. p.) dąży do uzupełnienia brakujących do całkowitego kształtu części i odtworzenia wiernej kopii pierwowzoru czyli typu.

Rys. 171. a—koniec łagiewki pyłkowej sagowca Zamia floridana z dwoma plemnikami rozwijającymi się na przedrośli (v); s—jest tu komórką powstającą skutkiem podziału komórki macierzystej plemników, poprzedzającego podział wytwarzający te plemniki; b—toż samo w chwili rozpoczynającego się ruchu plemników: komórki przedrośli są już zniszczone (pow. 75, według Webbera).

Innemi słowy nasuwa się myśl, że zdolność rośliny do organizowania materyi, po mniejszym lub większym szeregu podziałów, zostaje wyczerpana. Skutkiem tego wyczerpania jest niezdolność do dalszego formowania organów brakujących lub odnowienia uszkodzonych, objawiająca się jako zgrzybiałość we wszystkich istotach żywych, a prowadząca w końcu do śmierci. Tylko te części protoplazmy, które, tworząc w osobnych organach rozmaite opisane wyżej komórki reprodukcyjne, zdążą aktem spojenia zapobiedz wyczerpaniu siły kształtodajnej, stają się źródłem nowych aktów wegetacyi, czynnikiem, powodującym ukształtowanie materyi nieorganicznej gruntu i powietrza w formy roślinne, przy pomocy energii promieni słonecznych.

Stosunek tej zdolności do zdolności reprodukcyjnej można uzmysłowić przez porównanie stosunku energii potencyalnej do czynnej. Jak podniesiony na znaczną wysokość ciężar ma w sobie wielki zapas energii potencyalnej, która wyczerpuje się w miarę jego spadania, wytwarzając natomiast coraz większy rozpęd, coraz większą dzielność ruchu (energii czynnej), tak i zarodnik sprzężony zawiera wielką zdolność wegetacyjną, która się wyczerpuje stopniowo w miarę wytwarzania (drogą podziałów komórek) coraz większej ilości kształtów, aż nareszcie utworzone przez ostatnie podziały komórki zupełnie pozbawione są zdolności dalszego dzielenia się i kształtowania nowych, dopóki jej nie odnowią przez zlanie się. Zdolność więc do zlania się występować może (przynajmniej w organizmach jednokomórkowych, gdzie wszystkie komórki są jednoznaczące) dopiero po szeregu aktów dzielenia; dla tego też odbywa się zwykle u wodorostów ku końcowi lata, kiedy każdy z zarodników sprzężonych zdążył już wytworzyć liczną potomność drogą wegetacyjną i przez to wyczerpać siłę twórczą [1]).

Pogląd ten wyjaśnia nam również istotę śmierci, niezrozumiałej ze stanowiska czysto mechanicznego poglądu na organizm. Istotnie, roślina jest machiną, która ustawicznie zużywa swoje członki i odbudowuje je na nowo, która sama naprawia wszystkie swoje uszkodzenia. Nie byłoby więc żadnej przyczyny, dla której machina taka nie mogłaby istnieć wiecznie, o ileby w otoczeniu znajdowała dostateczną ilość materyi i energii potrzebnej do tych celów. Tych zaś czynników zapasy są niewyczerpane. Zkądże przychodzi śmierć?

Aby odpowiedzieć na to pytanie, zwróćmy uwagę na wodorost jednokomórkowy, którego jedyna komórka pełni za życia wszystkie czynności: przyswaja z powietrza i wody gazy lub ciała stałe, dzieli się i wyrasta po podziale, odtwarzając wciąż kształty pierwotne, aż nareszcie przychodzi chwila, gdy zamienia się na gametę, aby zlać się z podobną gametą, powstającą z innej, dotąd również niezależnej komórki. Teraz obie przestały istnieć, obie złożyły się na jeden zarodnik

[1]) Taka jest według autora przyczyna stopniowego zmniejszenia się komórek okrzemek drogą następujących po sobie podziałów (ob. rozdz. II, § 6). Przemawiają zatem pewne analogie.

sprzężony, ich protoplasty zlały się w jedne, cała ich indywidualna budowa zburzona. Nastąpiła śmierć obu komórek pierwotnych, a narodzenie z nich nowej, która po upływie czasu spoczynku, potrzebnego na to, aby z ciał dawnych komórek ukształtował się nowy osobnik, zacznie rosnąć, dzielić się, przyswajać, słowem pędzić nowe życie.

Śmierć jest więc koniecznym warunkiem narodzenia, jest przekształceniem cząsteczkowem dawnego organizmu, mającem na celu utworzenie nowego. W wypadku przytoczonym śmierć odbywa się bez trupa, gdyż całe ciało jednokomórkowe przechodzi w zarodek nowego. W organizmach zaś wielokomórkowych, gdzie skutkiem zróżniczkowania czynności tylko niektóre komórki są przystosowane do zlania (komórki rozrodcze), pozostałe mogą jeszcze wegetować czas dłuższy lub krótszy, aby w końcu zginąć skutkiem wyczerpania siły kształtodajnej i utworzyć trup.

Śmierć organizmów jest więc wynikiem nieuniknionym narodzenia. Zostawiając potomność, organizm przelewa w nią część swego życia lub całość jego (istoty jednokomórkowe) i zostaje o tyleż w nie uboższy. Istoty jednokomórkowe umierają odrazu i nie zostawiają nic po sobie. Organizmy wyższe są niejako porywem ku nieśmiertelności, ich życie wyczerpuje się stopniowo w szeregu aktów zapłodnienia, a po ostatecznem jego wyczerpaniu zostaje jeszcze masa uorganizowanej materyi pozbawionej życia — trup. Życie jest ciągłe i przechodzi z komórki do komórki, od osobnika do osobnika, ale pojedyńcze komórki lub osobniki, z których ono odleciało, powracają do wiru nieorganizowanej materyi, rozkładają się na pierwiastki chemiczne, ażeby kiedyś znów wrócić do kształtów żywych [1]).

---

[1]) Naszkicowany tu pogląd na istotę reprodukcyi i przyczynę śmierci organizmów, był przedmiotem referatu odczytanego przez autora w sekcyi teoretycznej Towarzystwa Ogrodniczego (1900), a w tem krótkiem streszczeniu—w pierwszem wydaniu tej książki (p. t. Życie rośliny). W r. 1906, t. j. w 16 lat po ogłoszeniu przez autora swoich poglądów, znakomity zoolog Hartwig wygłosił zupełnie podobny pogląd osnuty na nowszych odkryciach i analogiach w zakresie królestwa zwierzęcego (ob. wykład jego «O przyczynie śmierci» wygłoszony w Monachium 7 grudnia 1906 r.).

Skorowidz alfabetyczny przedmiotów.

Absorbcya gleby, 212.
Aethalium septicum, 29.
Albinizm, 193.
Aleuronu ziarka, 100, 246.
Alkaloidy, 77.
Ameba, 24.
Amidy, 213.
„ jako pożywienie roślin, 214, 215.
Amylodekstryna, 99.
Amyloid, 61.
Anabenina, 58.
Anaerobioza, 264.
Anafaza, 112.
Antikliny, 127.
Antipody, 299.
Apozycya, 73.
Asparagina, 76, 231, 233.
Azot w glebie, 213.

Bakteroidy, 236.
Bawełny włókna, 148.
Beggiatoa, 264.
Betulina, 150.
Białko jako składnik protoplazmy, 50, jego budowa. 228; jego synteza w roślinach, 231 i następne; pierwotne i drugorzędowe, 262; zapasowe, 246; żywe, 260.
Białkowe kryształy, 100, 246.
Biegunowość u roślin, 277, 287 i nast.
Biel, 163.
Bielmo, 301.
Bioplasty, 48.
Blaszki sitowe, 154.
Blizna po liściu, 151.
Błona komórkowa, 58–75; jej skład chemiczny, 59; jej reakcye 60; odmiany chemiczne, 61–63; budowa cząsteczkowa, 63–68; własności optyczne, 64; jej wzrost i zróżniczkowanie. 68; grubienie, 68; warstwowatość, 69; wzrost na powierzchnię, 71; wzrost odśrodkowy i dośrodkowy, 71; teorye jej wzrostu, 72; błony sztuczne, 75.
Błonnik, 59.
„ zapasowy, 61, 246.
Brodawki korzeniowe u strąkowych, 236.

Cambium, 153.
Caulom, 12.
Cebula, 15.
Chemotropizm, 84.
Chityna w błonie grzybów, 62.
Chlamydomonas, 40.
Chlorofil, 92; jego chemia, 192; czynność, 195; widmo, 193; związek czynności z widmem, 199.
Chlorofilowe ziarka, 92; ich powstawanie, 94; ich ruchy, 205; ich dzielenie się, 97.
Chloroplasty, 92.
Chloroza roślin, 193.
Chromatofory, 92; u okrzemek, 33.
Chromatyna, 56.
Chromozomy, 109.
Chryzofil, 192.
Chwytniki, 171, 298.
Cebuleczki, 293.
Centrosfery, 57.
Centrozomy, 57, 114.

Ciągnienia wpływ na wzrost, 272.
Ciecze pożywcze, 209.
Ciepła wpływ na życie w ogóle, 89; na oddychanie, 250; na wzrost, 271; wywiązanie przy oddechaniu, 263.
Ciernie, 14.
„ jako bodziec, 273.
Ciśnienie korzenia, 224.
Ciśnienia wpływ na wzrost, 272.
Cocconeis (sprzężenie), 35.
Cuticula, 144.
Cynoplazma, 47.
Cystolity, 102.
Cytazy, 247.
Czepiec, 167.
Czepne rośliny, 271.
Członki morfologiczne, 8.
Czołko u okrzemek, 32.

Darwina wygięcie, 273.
Dekstryna, 99.
Dermatogen, 129.
Diakineza, 112.
Diatomeae, 32, 93.
Diastaza, 99, 198, 246.
Drewno, 61, 154; jego funkcya, 222.
Dwugwiazd, 111.
Działki kielicha, 8.
Dziedziczność, 285.
Dzielenie się u ameby, 27; komórek, 107; kariokinetyczne, 109; redukcyjne, 112.

Ekologia, 5.
Ekologiczne modyfikacye, 285; odmiana wzrostu, 293.
Ektoplazma, 26.
Enzymy, 26.
Endodermis u paprotników, 166; w korzeniu, 168.
Endogeniczne utwory, 170.
Endoplazma, 26, 47.
Energia cynetyczna i potencyalna, 180.
Epiblema, 144.
Epinastia, 279.
Epithelium, 145.
Eudorina, 40.
Exfoliacya czepca, 168.

Felloderma, 150, 151.
Fellogen, 150.
Fermentacya, 256 i następne.
Filocyanina, 192.
Filoksantyna, 192.
Filoporfiryna, 192.
Filotaonina, 192.
Fizyologia komórki, 78; rośliny, 173.
Flagellata, 27.
Floema, 153.
Fosfor w roślinach, 239.
Fragmentacya, 115.

Gamety, 295.
Garbniki, 77.
Geotropizm, 276 i następne.
Gleba i jej własności, 210.
Glikogen, 99.
Glikorydy, 77.
Globoidy, 100.
Glukoza, 76.
Glutenu ziarka, 100.
Gniłek, 29.
Granice życia, 89—91.
Grzbietobrzuszna budowa, 146.
Gwiazdy faza, 111.

Heliotropizm, 274 i następne.
Hematoporfiryna, 192.
Hexozy, 247, fermentujące, 258.
Hodowle wodne, 208.
Hyaloplazma, 47.
Hydrozol, 49.
Hydrożel, 49.
Hyponastia, 278.

Idioblasty, 189.
Intussuscepcya, 74.
Inulina, 76.
Inwertazy, 247.
Izosmotyczny roztwór, 87.

Jajo, 297.
Jama przydechowa, 146.
Jądro, 56; drugorzędowe, 299; jego rola w komórce, 90, 108; przy dzieleniu się komórek, 109.
Jąderko, 56.
Jednokomórkowe organizmy, 12, 118.
Jędrność komórek, 86.

Kambiform, 165.
Kariokineza, 109.
Karotyna, 192.
Kielich, 8.
Kierunki podziałów komórek, 125.
Klasyfikacya roślin, 18.
Klinostat, 276.
Kłącze, 15.
Kłębka faza, 109.
Kolce, 14.
Kolenchyma, 140.
Kolloidy, 53.

Kolonie komórek, 119.
Kołowanie plazmy, 78; pędu, 279.
Kora, 149.
Korak, 150.
Komórka roślinna, 20, 44 i następne; jej dzielenie się, 27, 107, 109, 112; swobodne powstawanie, 116; wierzchołkowa, 131; komórki wielojądrowe, 38, 115; przyrurkowe, 154, zatyczkowe, 164; rozrodcze, 300; pomocnicze, 299; komórek spojenia, 118; zlanie się, 139; kolonie, 119; rodziny, 120; komórkowe nici i ciała, 122.
Konary, 8.
Koniferyna i wanilina w drewnie, 61.
Korona, 9.
Korzeń, 8; jego budowa, 167; korzenie włókniste, 2; chłonne, 8, 2, 18; przybyszowe, 12; powietrzne, 16; korzeni bocznych powstawanie, 170.
Korzeniaki, 15.
Korzonek, 7.
Krążenie plazmy, 78.
Krążenie węgla w przyrodzie, 205; azotu, 238.
Kropki, 70; obwódkowane, 158.
Kryształy, 101; białkowate, 100, 246.
Kultury wodne, 208.
Kupki, 298.
Kutyna, 61
Kwasu szczawiowego rola, 232.
Kwasy organiczne, 77, 232.
Kwiat, 8; jako pęd, 12.

Leuticellae, 151.
Leukoplasty, 95.
Lęgnia, 296.
Lignina, 61.
Linina, 110.
Liść, 11; jego budowa, 190; jego funkcya, 204.
Liściaki, 12.
Liścienie, 7.

Łagiewka pyłkowa, 10, 299.
Łodyga, 7; budowa jej: dwuliścieniowych, 161; jednoliścieniowych, 165; u paprotników, 166; u mchów, 172; łodygi podziemne, 15.
Łyko, 153; jego czynność, 244.

Makrosporangia, 302.
Makrospory, 302.
Materyały oddechowe, 252.
„ plastyczne, 243.
Materyały zapasowe, 245.
Mączki ziarka, 97.
Mchów budowa, 172.
Meristema, 136.
Metafaza, 112.
Metamorfoza roślin, 3, 10.
Mdzoporfiryna, 192.
Miazga, 153, 159.
Miąższ, 134.
„ drzewny, 159.
„ łykowy, 153.
Micelle, 63, 81.
Mikrosporangia, 302.
Mikrospory, 302.
Mikrozomata, 47, 48.
Mitoza, 109.
Morfologja kształtów zewnętrznych, 10.
Morfologii zagadnienia, 2, 174.
Morfozy, 176.
Myriatonia, 87.
Myxoameba, 31.
Myxomycetes, 19, 29.

Nabłonek, 145.
Naczynia: mleczne, 139, 248; drzewne, 139, 154; rozciągliwe i nierozciągliwe, 157.
Nadskórek, 144.
Napięcie tkanek, 267.
Naskórek i jego utwory, 154 i dalsze.
Nibynóżki, 25; ich ultramikrony, 49.
Nibyowoc, 10.
Nibytkanki, 135.
Nić komórek, 122.
„ pręcikowa, 9.
Nitryfikacya, 215.
Nitryfikacyjne organizmy, 217.
Nukleiny, 56.
Nutacya, 279.

Obrączka (u okrzemek), 32.
Obwódka, ob. périoycle.
Oczka, 15.
Oddychanie roślin, 251 i następne; zależność od warunków, 254; wewnątrzcząsteczkowe, 255; jako fermentacya, 260; bez tlenu, 264.
Oedogonium, 35.
Okrzemki, 32; ich barwnik, 93.
Opróżnienie liści, 247.
Organizmy jednokomórkowe, 12, 118.
Osadnik kwiatowy, 8.
Osmoza i jej teorya, 53.
Osobnik i jego pojęcie, 127, 291, 298.
Oś główna, 7, 11.
Osie boczne, 11.
Otoczka jądra, 56.

Otworki oddechowe, 171.
Owadożerne rośliny, 238.
Owoc, 10

Pancerz u okrzemek, 32.
Paramilon, 99.
Paraplazma, 48.
Parenchyma, 134.
Pasorzyty, 206.
Pączek, 8; wierzchołkowy, 287.
Pączkowanie, 115.
Pektoza, 60.
Pełzak, 24.
Periblema, 129.
Pericambium, 169.
Pericycle u jednoliścieniowych, 166; w korzeniu, 169.
Perikliny, 127.
Peryodyczność dzienna i roczna, 270.
Pęd, 10.
Pętlice, 107.
Phyllodia, 12.
Phyllom, 12.
Piankowa teorya plazmy, 48.
Pierwiastki chemiczne, 179.
Pierwotek, 37.
Pierwotniaki, 22.
Piórko 7.
Pirenoidy, 93.
Planogamety, 295.
Plasmodezmy, 137.
Plasmodyum, 29.
Plasmoliza, 86.
Plazmatyczny woreczek, 45.
Plecha, 17, 170, 171.
Plechowce, 17.
Plemnia, 296.
Plemniki, 297.
Pleroma, 129.
Płaszczyzna podziału: jej wpływ na wzrost, 122.
Pływki, 293; u śluzowców, 31; u oedogonium, 36; u ulothrix, 295; u vaucherii, 39.
„ rozrodcze, 295.
Pobudliwość plazmy, 83.
Pochwa ochronna, 166, 168.
Podnoszenie wody w roślinach, 222, siły czynne przytem, 224.
Podział roślin, 118.
Podziału kierunki, 135; płaszczyzna: jej wpływ na wzrost, 122.
Polarność u roślin, ob. biegunowość.
Polaryzacya w zastosowaniu do błony, 65; do ziarek mączki, 98.
Połączenia plazmatyczne, 137.
Potas w roślinie, 240.
Potoki plazmy, 80.
Prążkowatość, 73.
Pręciki, 9.
Profaza, 119.
Promienie rdzeniowe pierwotne, 152; drugorzędowe, 163.
Proteazy, 247.
Protoplazma, 24, 46 i dalsze; jej budowa mikroskopowa, 47; cząsteczkowa, 52; ruchy, 77; nieprzenikliwość, 88.
Protoplazmatyczne połączenia, 137.
Protoplasty 46.
Próchnica, 211.
Przedrośl, 298; u kwiatowych, 301; u nagonasiennych, 302.
Przekrój optyczny, 37.
Przemiana pokoleń, 297.
Przestwory międzykomórkowe, 140.
Przetchliny, 151.
Przewietrzania systemat, 140.
Przewody żywiczne, 149; w drewnie, 163.
Przyswajanie azotu, 188, 214; przez strąkowe, 235; przyswajanie węgla, 195 zależność od światła i barw, 201; fosforu, 239; siarki, 240; potasu, 240.
Ptomainy, 258.
Pylnik, 9.
Pyłek, 9.

Rdzeń pierwotna, 152.
Rdzeniowe promienie, 152, 163.
Reakcya chemiczna, 182.
Reprodukcya, 293.
Rhizom, 12.
Rodnia, 297.
Rodniowce, 297.
Rodziny komórek, 120.
Rotacya plazmy, 8; pędów, 279.
Rozłogi, 15.
Rozmnożenie roślin, 291 i następne; wegetacyjne i reprodukcyjne, 292; rozmnożenie i wzrost, 293; rozmnożenie u ulothrix, 295; u skrętnicy, 295; u vaucherii, 296; u rodniowców, 297; u kwiatowych, 299, u sagowców, 302.
Roztocze, 206.
Równiki i bieguny komórki, 109.
Ruchome, 40.
Ruchy: plazmy, 78; oscyllaryi, 80; amebowe, 24, 82; plasmodyum, 84; pływek 36; ziarn chlorofilowych, 205; ich teorya, 81; warunki fizyczne, 83; ruchy utworów sztucznych naśladujące ruchy plazmy,

85; ruchy roślin wyższych, 278; autonomiczne, 278; paratoniczne, 279; wzrostowe, 278; jędrnościowe, 278; liści, 204, 274, 279; czułka, 281; muchołówki, 281; wahadlnika, 280; pręcików, 282.
Rurki sitowe, 153.

Sacharoza, 76.
Samorodztwo, 103.
Sen roślin, 279.
Sferokryształy, 76, 101.
Siarka w roślinach, 240.
Siła ssąca liści. 225.
Sinorosty, 57, 311.
Sklerenchyma, 141.
Słoje roczne, 162.
Słupek, 9.
Sok komórkowy, 44, 75 i następne.
Sokowa przestrzeń, 44.
Sprzężenie, 295.
Stałość typu u roślin, 283 i następne.
Stożek wegetacyjny, 43, 133.
Strzępki grzybów, 135.
Suberyna, 61.
Substancye azotowe i bezazotowe rośliny, 187.
„ oddechowe, 252.
„ plastyczne, 243.
„ zapasowe, 245.
Symetrya przy podziale, 123.
Synapsis, 112.
Synergidy, ob. komórki pomocnicze (299).
Systemata tkanek, 143.
Szparki, 145; wodne, 146.

Ślady liściowe, 160.
Śluzowce, 19, 29.
Śmierć, 304.
Światła wpływ na przyswajanie, 198, 201, 205; na wzrost, 273; na wyziewanie, 226; na oddychanie, 255; położenie liści, 204; na ruchy ziarn chlorofilowych, 205, na pływki, 84.
Światło jako bodziec, 275.

Teleofaza, 112.
Tkanki, 121; trwałe. 131; tkanek systemata, 143; tkanka twórcza, 44; korkowa, 150; zasadnicza, 148; mechaniczna, 140.
Tracheidy, 154.
Trichoma, 12.
Trofoplazma, 47.
Twardziel, 164.

Ulothrix, 295.
Ultramikrony, 49.

Vaucheria, 38.

Wapień w roślinach, 240.
Warstwowatość błony, 69; ziarek mączki, 98.
Wąsy, 14.
Wiązki naczyniowe, 152; dwuboczne, 166; dwuliścieniowych, 166; jednoliścieniowych, 165; w korzeniu, 167; w liściu, 157; oboczne, 166; otwarte, 159; paprotników, 166; pierwszo i drugorzędowe, 152, 160; przebieg ich, 159, 165; współśrodkowe, 166; zamknięte, 165; ich części: drzewna, 154; łykowa, 153.
Wiciowce, 27.
Wielki okres wzrostu, 267.
Wierzchołkowa komórka, 131.
Wijące się rośliny, 299.
Wilgotności wpływ na wzrost i kształty roślin, 272; na wzrost korzenia, 272; na ruchy plasmodyów, 30.
Włoski, 8, 16, 147; gruczołowe, 147; obronne i ochronne, 147.
Włośniki, 148; ich czynność, 218.
Włókna łykowe, 154; drzewne, 154.
Włośnia u śluzowców, 30.
Wodniki, 44.
Woreczek pierwotny, 47.
„ zarodkowy. 299.
Wnikania teorya, 74.
Wosk roślinny, 144.
Wrzeciono, 110.
Współzależność organów, 285.
Wypłonione rośliny, 193.
Wyziewanie, 225; jego zależność od warunków zewnętrznych, 226.
Wzrost komórki, 69 i następne; roślin, 265 i następne; końcowy, 130; środkowy, 130; wpływ na niego warunków zewnętrznych, 271; jego peryodyczność, 267, 270.
Wzrostomierz, 269.

Xylema, 152.
Xylochromy, 164.

Zalążek, 9.
Zalążnia, 9.
Zamykanie się kwiatów, 280.
Zarodek, 128.
Zarodkowe warstwy, 129.
Zarodnik sprzężony, 295; u okrzemek, 35.
Zawiązek, 9.

Zbiornik kurczliwy, 26.
Zegar kwiatowy, 280.
Zgalaretowaciałe błony, 61, 62.
Zlanie się komórek w utwory rurkowe, 139.
Zmienność u roślin, 273 i następne.
Znamię, 9.
Zróżniczkowanie komórek, 134.
Zwarcica, 140.
Zygota, 295.

Żelaza znaczenie dla rośliny, 193, 240.

WAŻNIEJSZE BŁĘDY.

Str. 9 wiersz 11 z góry, zamiast: otwór, powinno być: utwór.
„ 10 „ 5 „ po wyrazie szyjki, dodać: rozsuwając jej luźną tkankę.
„ 10 „ 16 z dołu, zamiast: migdał, powinno być: orzech.
„ 17 wiersz ostatni tekstu po kropce dodać: a mianowicie obecność naczyń.
„ 84 „ 18 z góry, przed kropką dodać: (chemotropizm).
„ 87 „ 16 z dołu, zamiast: takiej, powinno być: najwyższej.
„ 87 „ 15 „ „ wcale, „ „ jeszcze.
„ 144 „ 6 „ „ bakteryi, „ „ grzybów pleśniowych.
„ 151 „ 19 „ „ robur, „ „ suber.
„ 302 „ 6 „ dodać po kropce: Istnieje gromada roślin (sinorosty), u których wcale nie obserwowano dotąd aktu reprodukcyi (rośliny rozszczepkowe) co zostaje, zdaje się, w związku z brakiem jądra w ich komórkach.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

BG Politechniki Śląskiej
nr inw.: 102 - 134359
Dyr.1 134359