

Wł. M. Kozłowski.

~~Nr 742~~
2312

ŻYCIE ROŚLINY.

(z 40-ma rysunkami).

Nr In 2479

WARSZAWA.

W drukarni J. Sikorskiego pod zarządem A. Saładyckiego, Warecka Nr. 14.

1894.

T.2312



29002312000000



chw. inw. 2479

Дозволено Цензурою.
Варшава 23 Августа 1894 года.

H-118609

SPIS RZECZY.

Zamiast przedmowy.	Str. I
----------------------------	-----------

WSTĘP.

Siła i materya. — Życie rośliny. — Zkąd powstaje ciepło przy spaleniu rośliny? — Ciepło jako ruch. — Pierwiastki chemiczne — Energia potencjalna i czynna. — Jakie pierwiastki wchodzi w skład rośliny. — Atomy. — Połączenie i rozkład. — Powinowactwo chemiczne. — Ciepło wywiązane przy połączeniach chemicznych. — W jakiej formie nagromadzona jest energia w roślinach?	1
---	---

ROZDZIAŁ I.

Komórki i tkanki jako organa.

Morfologiczne składniki rośliny: komórka i jej składowe części. — Komórka jest organizmem elementarnym — Dzielenie się komórek; znaczenie takowego dla wzrostu rośliny. — Jak powstają komórki? — Każda komórka jest tworem innej komórki. — Ciągłość życia. — Utwory komórkowe: tkanki stałe rośliny i tkanka twórcza. — Czynność pojedynczych tkanek. — Tkaneka mechaniczna. — Komórki i utwory komórkowe jako materiał budowlany rośliny. — Komórki i tkanki jako organa rośliny. — Komórki jako czynnik tworzący kształty roślinne. — Anatomia, fizjologia i morfologia rośliny.	9
--	---

A. Przyrost materyi i nagromadzenie energii w roślinie.

ROZDZIAŁ II.

Co dostaje roślina z powietrza?

Przyrost substancyj roślinnej. — Zachowanie materyi. — Powietrze i ziemia jako źródła materyi roślinnej. — Materiał bezazotowy i azotowy. — Powierzchnia i masa liścia. — Jego budowa. — Szparki. — Ziarka chlorofilowe. — Ro-
--

śliny wypłnione i chlorotyczne. — Zkąd pochodzi barwa przedmiotów?—
Widmo chlorofilu.—Krochmal jako wytwór chlorofilu. — Przemiany kroch-
malu w roślinie. diastaza i leukoplasty. — Ziarka krochmalu są utwo-
rami uorganizowanemi.—Zależność pomiędzy budową liścia a przyswaja-
niem. — Chlorofil pośredniczy w przemianie energii czynnej promieni sło-
necznych na energię potencjalną krochmalu. — Jaki związek istnieje po-
między barwą chlorofilu a jego czynnością?—Krochmal jako skład energii
słonecznej.—Pasożyty i roztocze.—Pożywienie zwierząt. — Krażenie wę-
gla i krażenie energii w naturze —Słońce jako źródło życia

20

ROZDZIAŁ III.

Co bierze roślina z ziemi?

a) *Organa chłonne i drogi wędrowki soków.*

Droga soków, idących z ziemi.—Korzeń; związek pomiędzy kształtem a czynno-
ścią.—Korzenie chłonne i włosniki. — Długość korzeni. — Korzeń rozpu-
szcza grunt.—Osmoza i jej prawa. — Zastosowanie do rośliny: 1) wybór
substancji z gruntu; 2) przewyciężenie absorbcyjnej siły gruntu; 3) prze-
noszenie się substancji ku miejscu ich zużycia w roślinie; 4) wysiakanie
z włosników. — Wiązki naczyniowe. — Drewno i łyko. — Budowa wiązek
u dwuliścieniowych. — Ich zakończenie w liściu.—Wiązki otwarte i zam-
knięte. — Jak idzie woda w drewnie?— Siły podnoszące wodę w roślinie:
1) ciśnienie korzenia; 2) siła ssąca liści.—Pocenie się roślin

35

ROZDZIAŁ IV.

Co bierze roślina z ziemi?

b) *Grunt i odbywające się w nim sprawy.*

Sposób powstawania i skład gruntu; piasek, glina, wapień, próchnica.—Jego wła-
sności chemiczne i fizyczne; utrzymywanie wilgoci; ciała rozpuszczone
w wodzie gruntowej; *absorbcyja*.—Jakie związki azotu znajdują się w grun-
cie?—Z jakich korzysta roślina?—Nitryfikacya.— Działanie powietrza na
grunt.—Organizmy nitryfikacyjne.

50

ROZDZIAŁ V.

Co bierze roślina z ziemi?

c) *Przyswajanie azotu i innych pierwiastków z gruntu.*

Amidy i udział ich w syntezie białka. — Prawdopodobny przebieg tej reakcyi.—
Gdzie tworzą się ciała białkowate. — Uboczne produkta powstające przy
tem.—Kwas szczawiowy i jego znaczenie. — Przyswajanie azotu z powie-
trza.—Rola bakteryj i organizmów mikroskopowych w tej sprawie.—Kra-
żenie azotu w przyrodzie. — Inne pierwiastki pochodzące z gleby: fosfor,
siarka, potas, wapień, żelazo, chlor, magnezjum i krzem

57

B. *Użycie przyswojonej materji i energii.*

ROZDZIAŁ VI.

Przenoszenie i przechowywanie substancji organicznej.

Trojaki przeznaczenie wytworzonych przez roślinę materiałów: materiały plastyczne, zapasowe i oddechowe.—Drogi ich wędrówki. — Rurki sitowe.—Pierścieniowe wycinanie kory. — Miąższ jako przewodnik cukru i amidów.—Wypływ wodoru węgla z liści. — Protoplazmatyczne połączenia komórek. — Drewno jako przewodnik materiałów plastycznych. — Soki wiosenne. — Naczynia mlecze. — Siły poruszające ciecze przerobione.—Materiały zapasowe.—Miejsce ich nagromadzenia. — Forma przechowania. — Fermenty rozpuszczające. — Czas gromadzenia. — Wypróżnienie i opadanie liści w jesieni. — Przyczyna zgubnego wpływu wczesnych mrozów 66

ROZDZIAŁ VII.

Oddychanie roślin.

Materiał organiczny jako skład materji i energii. — Oddychanie i wzrost. — *Oddychanie normalne.*—Jakie ciała użyte są na oddychanie?—Objętość gazów przy oddychaniu.—Wodany węgla i tłuszcze jako materiał oddechowy.—Wpływ wzrostu na objętość gazów. — Wpływ warunków zewnętrznych i wzrostu na szybkość oddychania. — *Oddychanie wewnątrz-cząsteczkowe.* — Mała wydajność energii przy tem. — Fermentacja i mikroorganizmy.—Teoria oddychania.—Cząsteczki żywego białka.—Ciepło wywiązane przy oddychaniu 74

ROZDZIAŁ VIII

Wzrost i kształty rośliny.

Wzrost i kształty rośliny. — Budowa ciał uorganizowanych.—Micelle. — Teoria wnikania —Sztuczne błony.—Jędrność komórek.—Plazmoliza.—Dwa momenty wzrostu: rozciągnięcie turgorowe i utrwalenie jego.—Udział w tej sprawie protoplazmy. — Miejsca wzrostu u roślin. — Napięcie tkanek.—Wielki okres wzrostu.—Wzrostomierz.—Peryodyczność dzienna.—Przyczyny wielkiego okresu.—Nabyte własności protoplazmy i peryodyczność roczna. — Wpływ warunków zewnętrznych na wzrost: obecność tlenu; temperatura; wilgotność, jej wpływ na kształt organów i hydrotropizm; ciśnienie—rośliny czepne; światło i heliotropizm; ciężenie i geotropizm 82

ROZDZIAŁ IX.

Ruchy i drażliwość roślin.

Ruchy protoplazmy w komórkach roślin wyższych —Ruchy utworów plazmatycznych pozbawionych błon.—Ruchy okrzemek i oscylaryj.—Wpływ czyn-

ników zewnętrznych na ruch: obecność tlenu; temperatura; światło. — Światłoczułość pływek i plazmodyów, hydrotropizm i termotropizm tych ostatnich. Plemniki i bodźce chemiczne. — Drażliwość plazmy. — Mechanika ruchów protoplazmatycznych, pływek i okrzemek. — Ruchy roślin wyższych. — Udział w nich drażliwości. — Ruchy samoistne (hypo- i epinastya, nutacya, wijące się rośliny).^k— Ruchy wywołane: sen roślin; zegar kwiatowy. — Ruchy właściwe, ich mechanizm.— Desmodyum gyrans; mucholówka, mimoza. Pręciki kwiatów

ROZDZIAŁ X.

Mnożenie się roślin.

Osobnik, kolonia.—Chwiejność w pojęciu osobnika.—Mnożenie się wegetacyjne: dzielenie i pączkowanie. — Dzielenie i wzrost. — Pływki.—Rozmnożenie wegetacyjne u roślin wyższych: sadzonki, bulwy i t. d. — Reprodukcyja i jej typy: 1) spojenie pływek; 2) sprzężenie; 3) rodnie i plemnie, przemiana pokoleń; 4) zapłodnienie przez łagiewkę pyłkową. — Budowa i morfologiczne znaczenie kwiatu. — Podobieństwo rozmaitych organów rozrodczych i jedność aktu reprodukcyjnego. — Na czem polega jego istota.—Przyczyna śmierci.—Śmierć i narodzenie

Zamiast przedmowy.

Dwie gałęzie wiedzy botanicznej — morfologia i fizjologia roślin stanowią to, co ogół chętnie nazywa „filozofią botaniki“. Możnaby nazwać pierwszą rozumowaną nauką o kształtach, drugą — o czynnościach rośliny. Są to zarazem gałęzie najmniej znane szerszym kołom publiczności, która częściej bawi się w amatorskie zbieranie ziół, ale rzadko stawia pytania: dla czego? i z kąd?

Zapełnić jeden z ważnych braków naszej literatury, dając czytelnikom książkę, w którejby zrozumiale dla każdego wyłożone były zawile zagadnienia dotyczące życia rośliny, przedstawiając je ze stanowiska, na jakim stanęła wiedza dzięki najnowszym badaniom, rzucając na nie światło współczesnych teoryj fizycznych — takie było moje zadanie; o ile udało mi się je wykonać — trudno sądzić samemu. Mam nadzieję, że krytyka sumienna i umiejętna wytknie popełnione błędy — bo mam świadomość, że bez nich nie mogło się obyć, zwłaszcza przy ciągnącym się przez dwa lata druku książki.

Próba przedstawienia ogółu zjawisk wegetacyjnych rośliny ze stanowiska nagromadzenia i zużytkowania energii, w układzie całości, z poszczególnych zaś zagadnień — teoria przyswajania azotu oraz pogląd na stosunek między rozmnożeniem a śmiercią — to są zdaje mi się główne rysy, któremi wykład mój różni się od zwykle dotychczas przyjętych.

Trudna to i niewdzięczna rzecz wydanie u nas książki naukowej, gdy publiczność tak mało jest przygotowana do poważniejszej lektury i tak niechętna dla dzieł naukowych, kiedy los wydawnictwa zależy

zbyt często od sprawozdań nieznających się na rzeczy krytyków. Gdybym jednak przez wydanie „Życia rośliny“ dopomógł do zorientowania się w przedmiocie tym nielicznym, którzy pragną nabyć gruntowniejsze wykształcenie ogólne, oraz tym jeszcze mniej licznym, dla których książka ta byłaby tylko wstępem do dalszych i poważniejszych studiów ¹⁾, uważałbym zadania swoje za spełnione.

Tylko życie rośliny, tylko zagadnienia fizjologiczne, są przedmiotem tego tomu; o zagadnienia morfologii potrącam w nim jedynie o tyle, o ile związek obu głównych gałęzi botaniki nakazuje i upoważnia do tego. Mam jednak nadzieję z czasem przedstawić również popularny wykład „Budowy rośliny“, obejmujący i filozofię kształtów tych organizmów; za wstęp zaś do niej posłużyć mają „Wodorosty wód słodkich, jako wstęp do morfologii roślin“. Czytelnikom mniej przygotowanym, którzyby pragnęli zorientować się we wszystkich gałęziach botaniki, polecam „Botanikę ogólną“ Gérardina, świeżo wydaną w przekładzie polskim.

Wł. M. Kozłowski.

¹⁾ A takim polecam wychodzącą obecnie w polskim przekładzie „Fizjologię roślin“ Franka.

W S T Ę P.

Siła i materya.—Życie rośliny.—Zkąd powstaje ciepło przy spaleniu rośliny? — Ciepło jako ruch.—Pierwiastki chemiczne.—Energia potencjalna i czynna.—Jakie pierwiastki wchodzą w skład rośliny.—Atomy.—Połączenie i rozkład.—Powinowactwo chemiczne.—Ciepło wywiązane przy połączeniach chemicznych. — W jakiej formie nagromadzona jest energia w roślinach?

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, dla tego, że porusza mechanizm zegarowy. Wszystko to, co zostaje wprowadzone w ruch przez siłę, nazywamy *materyą*. Wszystkie ciała składają się z materyi. Ale oprócz tych ruchów, które łatwo dostrzegamy, istnieje cały szereg innych, o których tylko drogą rozumowania coś wiedzieć możemy.

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 prężne ruchy. Ruchy te, nieprzystępne oku, dają się poznać w innej formie zmysłom naszym: jedne ciała sprawiają wrażenia ciepła przy dotykaniu, inne się świecą, znów inne okazują zjawiska, które nazy-

wamy elektrycznymi i t. d. Wszystkie te oddziaływania na zmysły nasze tłumaczy fizyka przez rozmaite rodzaje ruchów cząsteczek ciał, lub też innej jeszcze subtelniejszej materji, napelniającej zarówno przestrzeń między cząsteczkami ciał, jak i między ciałami niebieskimi, materji przenikającej cały wszechświat, a którą nazywamy *eterem*.

Badając bliżej życie rośliny, odkrywamy 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 materji, 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 materję rośliny. Poznanie więc życia rośliny polega na poznaniu tych dwóch składników: materji (materiału), z której zbudowana jest roślina i sił w niej czynnych. Fizjologia 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 materji, wchodzących w skład rośliny.

Zacniemy od ciepła. Kiedy tworzy się ciepło?

Oprócz palenia rozmaitych ciał, możemy otrzymać ciepło i w inny sposób. Wiadomo, że najdawniejszym sposobem otrzymania ciepła było tarcie dwóch kawałków suchego drzewa. Połóżmy monetę na kowadło i udejrzajmy 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 nimi jakiegokolwiek podobieństwo. Zobaczmy wkrótce, że nie ma tu tak wielkiej różnicy, jak się wydaje.

Zastanówmy się tymczasem bliżej nad ciepłem, powstającym przez tarcie lub uderzenie. Wspólnem w tych obydwu zjawiskach jest to, że przyczyną ciepła jest ruch: ruch kawałków drzewa, ruch młota. W ogóle gdziekolwiek ruch jest raptownie wstrzymany, 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 maszynach parowych ciepło wywiązane przez spalanie 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, aby uważać i samo ciepło za pewien rodzaj ruchu—ruchu najdrobniejszych cząsteczek ciał. Ruch młota spadającego na monetę, zostaje przez nią wstrzymany: moneta sama nie okazuje żadnego ruchu dla oka; lecz dotknięcie ręki wykazuje, że moneta się ogrzała. Ruch młota udzielił się najdrobniejszym cząsteczkom monety, 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 z nim toż samo stanowiło. Nie należy jednak mieszać fizycznego pojęcia o ciepłiku z naszym uczuciem ciepła, które jest zjawiskiem psychologicznym (duchowym). Ciepło fizyków jest przyczyną pewnego szeregu zjawisk, które nazywamy cieplikowami lub termicznymi. Jest to przyczyna, powodująca rozszerzanie 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 ducha na te ruchy, które fizycy nazywają cieplikowami. 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 duchu naszym 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 powstającym ze zmian chemicznych.

Gdybyśmy oprócz węgla, pozostającego po spaleniu, zebrali i gazy tworzące się przy tem (dym), przekonalibyśmy się, że gazy te składają się z kwasu węglowego i pary wodnej, a zważywszy dym i pozostały węgiel, znaleźlibyśmy, że ciężar ich razem wzięty, przewyż-

sza ciężar spalonego drzewa. Wnosimy ztąd, że podczas palenia coś się dodało do zawartej w drzewie materji, a ten dodatek mógł pochodzić tylko z powietrza. Dodatkiem tym jest istotnie gaz, zawarty w powietrzu, podtrzymujący zarówno palenie jak i oddychanie, 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 chemicznymi*; te pierwiastki, łącząc się z sobą, dają *związki* czyli *ciała złożone*. Jeżeli więc po spaleniu drzewa otrzymujemy związki, zawierające węgiel i wodór, wnosimy ztąd, że te dwa pierwiastki (t. j. węgiel i wodór) zawarte były w roślinie. Przy połączeniu się ich z tlenem wywiązało się ciepło, a ponieważ połączenie takie jest sprawą chemiczną, więc ciepło to 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 niektórych wyrazów fizycznych.

Wszelka siła może wykonać pracę i to tem większą, im większa jest siła. Praca więc może służyć za miarę siły.

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 zamienia się przy tem na pracę. Możemy zmniejszyć lub zwiększyć strumień wody za pomocą klapy, młyn będzie się poruszał prędzej lub wolniej, ale ilość zmeltego zboża będzie zawsze odpowiadała ilości wody, która wypłynęła, niezależnie od tego czy prędzej, czy wolniej wypływa. Gdy wszystka woda wypłynie ze zbiornika, powinniśmy go znowu napełnić, podnosząc wodę (np. wiadrem) do wysokości zbiornika.

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 zmeltego zboża będzie również o połowę mniejszą. Woda, spadająca z wysokości dwa razy mniejszej, ma dwa razy mniejszą siłę, może wykonać dwa razy mniejszą pracę (przy tej samej ilości wody). Woda na powierzchni ziemi (nie mogąca spadać) nie może wykonać żadnej pracy.

Zdolność wykonania pracy nazywamy *energją*. Woda nalana do rezerwuaru wzniesionego posiada więc energję. Możemy tę energję zużytkować, otwierając klapę; możemy ją przechować przez dłuższy

czas, trzymając zapas wody. Taka utrzymywana w zapasie energia nazywa się *potencjalną* (możliwą); woda w rezerwuarze ma możność wykonania pracy, skoro tylko otworzymy klapę. Przeciwnie energię spadającej wody nazywamy *czynną*.

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) stoją temu na przeszkodzie. *Energia potencjalna istnieje tam, gdzie są siły w napięciu*; nakręcona sprężyna zegarowa, naciągnięty łuk—posiadają energię potencjalną, a takie położenie ciała, w którem ono posiada energię potencjalną, nazywamy *położeniem korzystnem*. Woda na wysokości ma położenie korzystne.

Jeżeli działanie siły nie spotyka przeszkód, ciało zostaje wprowadzone w ruch i ten ruch przy spotkaniu może się udzielić innym ciałom. *Energia czynna jest siłą ruchu ciała*.

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 potencjalna 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.

Może się wydać niekiedy, że energia potencjalna powstaje jakby z niczego. Lawina leżąca na szczycie góry zawiera ogromną ilość energii potencjalnej, 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 potencjalną? Bliższe zastanowienie się pokazuje, że czynnikiem tym były promienie słoneczne. Ciepło słońca zamieniło wodę na lekką parę, która, unosząc się w wyższe warstwy powietrza, osiadła w postaci śniegu na szczytach gór. Cała kula ziemską jest olbrzymią maszyną 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 łądy, wprawiają w ruch młyny i t. d.

Ciepło może wykonać pracę, a najlepszym tego dowodem są maszyny 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—cząsteczki stanowiące roślinę znajdują się w położeniu korzystnem, posiadają energię poten-

cyalną, siły w napięciu. Jak wytłumaczymy sobie tę potencjalną energię materii roślinnej?

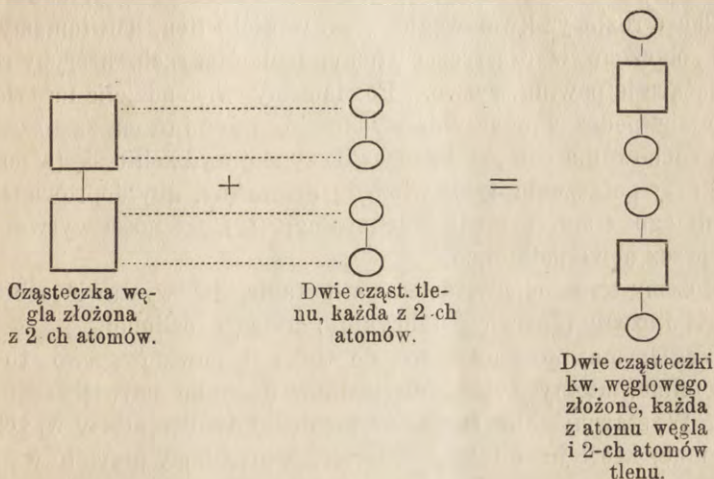
Powróćmy znowu do materiału, z którego utworzona jest roślina. Dokładniejsza analiza chemiczna wykazuje, że składa się on oprócz dwóch wymienionych pierwiastków (t. j. węgla i wodoru), jeszcze z trzech innych: *azotu, tlenu* i niewielkiej ilości *siarki*. Te pięć pierwiastków stanowią *organiczną substancję* rośliny. Jeśli spalimy substancję roślinną przy dostatecznym przyplywie powietrza, to cały zawarty w niej węgiel spali się, t. j. połączy się z tlenem powietrza; zostanie tylko trochę popiołu; popiół ten nazywamy *nieorganiczną substancją* rośliny. Składa się on z rozmaitych metali, które połączone są z kwasami, tworząc to, co chemicy nazywają *solami*. Do soli najczęściej napotykanych w roślinach, należą połączenia wapnia i potasu z kwasami węglowym, siarczanym, saletrzanym i fosfornym. Siarczan wapnia stanowi gips; węglan wapnia—krede, saletrzan potasu—saletrę; fosforan wapnia stanowi główną składową część tej białej masy, która otrzymuje się po zupełnem przepaleniu kości. Oprócz tych dobrze znanych czytelnikom soli, znajdują się w roślinach niektóre inne w mniejszej ilości. Niektóre rośliny zawierają znaczną ilość krzemionki, ciała, które tworzy zwyczajny krzemień i piasek, a w postaci krystalicznej — kryształ górny i składa się z pierwiastku—krzemu, połączonego z tlenem. Zresztą ilość wszystkich soli w roślinach jest stosunkowo niewielka, jak to wnosimy z małej ilości pozostającego popiołu. Żywe rośliny zawierają wiele wody, o czem przekonywa nas znaczny ubytek wagi po wysuszeniu rośliny.

Jak fizycy drogą rozumowania nad spostrzeżeniami zjawiskami przyszedli do wniosku, że materia składa się z cząsteczek, tak chemików obserwacja połączeń i rozkładów ciał zmusiła do orzeczenia, iż te cząsteczki fizyczne składają się z jeszcze mniejszych drobin materii, które nazywają *atomami*. Jeśli cząsteczka utworzona jest z jednakowych atomów, stanowi ona ciało proste czyli pierwiastek chemiczny; jeśli atomy połączone w jedną cząsteczkę nie są jednakowe, otrzymuje się 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. Dzieląc w podobny sposób kwas węglowy na cząsteczki, otrzymalibyśmy cząsteczki kwasu węglowego; ale gdybyśmy posunęli dzielenie dalej, otrzymalibyśmy już dwojaki, rozmaite atomy: atomy tlenu i atomy węgla. Cząsteczka więc kwasu węglowego składa się z atomów węgla i tlenu.

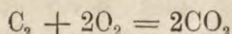
Tłumaczy to nam dla czego nie można rozłożyć pierwiastków: drobiąc cząsteczki pierwiastka, otrzymujemy jednakowe wciąż atomy, które łącząc się z sobą powtórnie, tworzą to samo ciało. Przeciwnie je-

żeli mamy ciało złożone, np. kwas węglowy, to, po rozbiciu jego cząsteczki, atomy węgla mogą się połączyć między sobą, dając cząsteczki węgla, atomy tlenu zaś między 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 też węgiel pali się w powietrzu, łącząc się z tlenem. Każda cząsteczka węgla rozdrabia się przy tem na atomy węgla, każda cząsteczka tlenu—na atomy tlenu, ale te atomy nie łączą się z sobą napowrót, tylko atomy węgla z atomami tlenu, i przytem każdy atom węgla z dwoma atomami tlenu, a w ten sposób powstaje cząsteczka kwasu węglowego. Możemy to unaocznić za pomocą następującej figury:



Chemicy oznaczają atomy węgla literą C, atomy tlenu literą O i połączenie wyżej opisane przedstawiają za pomocą równania:



Liczba postawiona przed literami wskazuje ilość cząsteczek; mała liczba stojąca za każdą literą—ilość atomów. Atomy azotu oznaczają literą N, wodoru H, siarki S.

Czytelnik zapewne już postawił sobie pytanie: dla czego atomy tlenu nie łączą się napowrót z atomami tlenu, ani węgla z węglem? Dla czego węgiel łączy się z tlenem?

Odpowiedzią na to służy przypuszczenie siły osobnej, utrzymującej w związku atomy jednej cząsteczki. Siłę taką nazywamy *powinowactwem chemicznem*. Przypuszczamy, że powinowactwo czyli przyciąganie między atomem węgla a tlenem jest większe, niż pomiędzy atomami jednakowymi (t. j. tlenu do tlenu i węgla do węgla); skoro więc nastą-

pią warunki, w których powinowactwo to działać może, odbywa się połączenie węgla z tlenem.

Przy spaleniu węgla powstaje ciepło. Przypominamy, że ciepło jest ruchem cząsteczek; atomy węgla i tlenu zbliżyły się pod wpływem siły powinowactwa i ruch ten atomów udzielił się powstającemu z nich cząsteczkom kwasu węglowego. Ciepło więc przy spaleniu ciała, w ogóle 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 tak wielką; w pierwszym wypadku ruch większych mas udziela się mniejszym—cząsteczkom; w drugim—cząsteczki te otrzymują ruch od mniejszych drobin materji—t. j. od atomów.

Chcąc rozłożyć kwas węglowy na węgiel i tlen, powinniśmy rozdzielić połączone w cząsteczce atomy; nadać im ruch, któryby zerwał wiążące je powinowactwo. Powinniśmy więc udzielić im tyle ciepła, ile się podczas połączenia wydzielilo, gdyż i tu ma zastosowanie zasada zachowania energii: ile energii czynnej wydzielilo się (w postaci ciepła) przy połączeniu, tyleż włożyć powinniśmy, aby doprowadzić do poprzedniego stanu energii potencjalnej (t. j. możności wytworzenia ciepła przez nowe połączenie).

Możemy teraz odpowiedzieć na pytanie, jak wystawić sobie korzystne położenie (energię potencjalną) materji 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 wypchamy jakies inne, które je oddalają od siebie; wprawiamy przez to w napięcie siłę przyciągania między atomami, tak samo jak wprawiamy w napięcie sprężynę szczypcyków, wciskając klin pomiędzy ramiona tychże. Wszystkie związki organiczne, stanowiące materję rośliny, są właśnie 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 nimi powciskane są rozmaite inne atomy, w skutek czego siły przyciągania chemicznego są w stanie ogromnego napięcia. Cząsteczki tych zawiązków utworzone są z bardzo wielu atomów, są bardzo złożone i dla tego nietrwałe. Równowaga łatwo się zakłóca; cząsteczka rozsypuje się, a pojedyncze atomy łączą się według powinowactw swoich: atomy węgla z atomami tlenu, tworząc kwas węglowy; atomy wodoru z atomami tlenu, tworząc 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 takim rozbiciu cząsteczki złożonej na prostsze, ruch udziela się tym nowo wytworzonym cząsteczkom, a ztąd powstaje ciepło. W ogóle wszelkiej przemianie związków bardziej złożonych (których cząsteczki składają się z licznych atomów) na prostsze towarzyszy wydzielanie ciepła. Aby więc ze związków prostszych otrzymać bardziej złożone, powinniśmy w nie włożyć tyleż energii, ile one wydziela przy odwrotnej przemianie. Tego wymaga prawo zachowania energii.

Roślina składa się ze związków bardzo złożonych; cząsteczki materii roślinnej utworzone są z bardzo licznych atomów i dla tego zawierają wiele energii potencjalnej.

Ale skąd powstała ta energia potencjalna? 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 nieorganicznej przyrody.

Materię, 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.

R O Z D Z I A Ł I.

Komórki i tkanki jako organa rośliny.

Morfologiczne składniki rośliny: komórka i jej składowe części.—Komórka jest organizmem elementarnym.—Dzielenie się komórek; znaczenie takowego dla wzrostu rośliny.—Jak powstają komórki?—Każda komórka jest wytworem innej komórki.—Ciągłość życia.—Utwory komórkowe: tkanki stałe rośliny i tkanka twórcza. — Czynność pojedynczych tkanek. — Tkanka mechaniczna. — Komórki i utwory komórkowe jako materiały budowlane rośliny. — Komórki i tkanki jako organa rośliny. — Komórki jako czynnik tworzący kształty roślinne.—Anatomia, fizjologia i morfologia rośliny.

Poznaliśmy te składowe części rośliny, których nie w stanie wykazać oko, chociażby uzbrojone w najpotężniejsze środki powiększające, części, o istnieniu których przekonywa nas jedynie rozumowanie, oparte na spostrzeżeniach, t. j. atomy i złożone z nich cząsteczki chemiczne ciał, stanowiących materiałów rośliny.

Badanie mikroskopowe pozwala nam odkryć w roślinie istnienie widzialnych składowych części; są to jakby drobne cegiełki, z których zbudowany jest gmach rośliny. Cegiełki te nazwiemy tymczasowo w ogóle komórkami. Komórki więc są widzialne, dostępne oku składowe części rośliny, jej *morfologiczne*, t. j. posiadające kształt pierwiastki.

Jeśli wykroimy za pomocą ostrej brzytwy tak cienki skrawek z samego rosnącego wierzchołka rośliny, aby go można było badać pod mikroskopem (fig. 1), zobaczymy że składa się on z komóreczek zupełnie jednakowych, a tworzących utkanie podobne do tego, jakie widzimy w woskowych plastrach pszczół, tylko mniej regularne. Wspólne ścianki komórek tworzą dla każdej komórki *blonę*, zamykającą ją

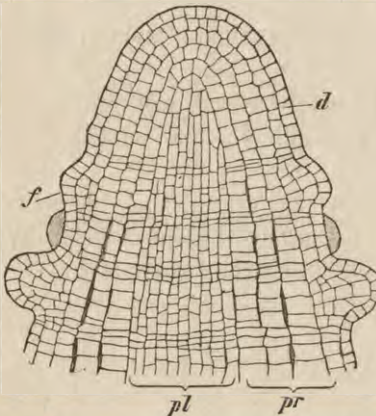


Fig. 1.

Przecięcie podłużne przez rosnący koniec łodygi, przedstawiające utkanie komórkowe (tkanka twórcza). *f*—związki liści. *d*—komórki z których się rozwija naskórek. *pr* — te z których powstanie tkanka. *pl* — te które dadzą początek wiązkom naczyniowym i rdzeniowi.



Fig. 2.

Komórka z włoska kwiatowego; w środku jądro z jąderkiem zawieszzone na niciach protoplazmatycznych; nitce te łączą się z warstwą plazmy leżącej przy ściankach komórki.

zupełnie, a złożoną z ciał, które nazywamy błonnikami. Jest to połączenie atomów węgla wodoru i tlenu w takim stosunku, że na każde 6 atomów węgla, przypada 10 at. wodoru i 5 at. tlenu ($C_6H_{10}O_5$), a ciała tego używamy codziennie w postaci papieru, bawełny i t. d.

Wewnątrz błony znajduje się tak zwana zawartość czyli treść komórki, zamknięta w niej tak samo jak miód w komórkach woskowych pszczół. Tylko treść w komórce roślinnej nie jest jednolitą; rozróżniamy w niej 3 główne składowe części (fig. 2). Najważniejszą z nich jest *protoplasma*, stanowiąca żywną część komórki. Ma ona postać śluzowatej masy, złożonej przeważnie z ciał w chemicznym względzie podobnych do tych, które znajdujemy w jajach, w serze i t. d., a posiadających wspólną nazwę ciał białkowatych. Ciała te składają się z pięciu pierwia-

stków: węgla, wodoru, tlenu, azotu i siarki, a budowa ich chemiczna tak złożona, że dotąd nie zdołano oznaczyć dokładnie ilości atomów pojedynczych pierwiastków, wchodzących w skład cząsteczki; wiadomo tylko, że cząsteczka ta jest bardzo złożoną. To też ciała białkowate bardzo łatwo ulegają rozkładowi, a jednym z objawów tego rozkładu jest ich gnicie. Ta łatwość przemian chemicznych, zachodzących w protoplazmie, a powodujących wywiązanie lub związanie energii, czyni ją podścieliskiem wszystkich objawów życia. Wewnątrz protoplazmy znajduje się druga część komórki nie mniej ważna dla jej życia. Jest nią *jądro* — okrągłe ciało, złożone chemicznie z tych samych substancji co i protoplazma, tylko nieco gęstsze; wewnątrz jądra daje się widzieć maleńkie, również okrągłe ciała — *jąderka*; a przy użyciu pewnych barwników można się przekonać, że masa jądra nie jest jednolitą, lecz składa się z dwóch rozmaitych substancji, z których jedna przyjmuje barwnik i ma postać zwiniętej w kłębek siateczki (*subst. chromatynowa jądra*) (fig. 3), a druga, niebarwiąca się (*subst. achromatynowa*), otacza ten kłębek, stanowiąc masę zasadniczą jądra. Cała wreszcie przestrzeń komórki, nie zajęta przez jądro i protoplazmę, zapelniona jest *sokiem komórkowym*, to jest wodnistą cieczą, zawierającą rozmaite substancje w roztworze. Soku tego bywa bardzo mało w młodych komórkach, znajdujących się na wierzchołku rośliny i znacznie więcej w starszych. Protoplazma nie miesza się z tym sokiem, lecz otacza ścianki jednolitą warstwą, a niekiedy tworzy prócz tego wyrostki, przebiegające w postaci cienkich nici komórkę; wśród takich nici bywa wtedy zawieszona i jądro (fig. 2).

Opisana tylko co komórka posiada samodzielne życie, a życie całej rośliny jest wynikiem życia pojedynczych składających ją komórek. Gałązka odcięta od drzewa zachowuje życie, jeśli ją umieścimy w odpowiednie warunki co do wilgoci, powietrza, temperatury i t. d., a życie to zawdzięcza temu, że składa się z żywych komórek. Nawet najmniejsza część rośliny, nawet pojedyncza oddzielona od niej komórka będzie żyła, jeśli potrafiśmy postawić ją w takie warunki, aby mogła się żywić. Ale jeśli przetniemy komórkę, to przynajmniej ta część jej, która nie zawiera jądra musi zginąć ¹⁾. Komórka więc jest zarazem i naj-

¹⁾ Są rośliny niższe (np. wodorost *Vaucheria*, rosnący na wilgotnej ziemi), składające się z jednej bardzo długiej komórki, zawierającej wiele jąder. Rozcinając takie roślinki przekonano się, że odcięte części zostają przy życiu, jeśli w każdej jest przynajmniej jedno jądro. Komórki wielojądrowe nie są rzadkie wśród roślin niższych, spotykają się również i u wyższych, jednak za typową uważać możemy komórkę o jednym jądrze. Z powyższego przykładu widać, że jądro jest jakby ośrodkiem żywotnym komórki. Komórka posiadająca kilka jąder, nie jest już najmniejszą jednostką życio-

mniejszą częścią rośliny, posiadającą życie, jest prawdziwym atomem życiowym, nie dającym się podzielić inaczej jak z utratą życia. Części komórki już nie są organizmami.

Ponieważ czynności życiowe rośliny skupione są w komórkach i ponieważ komórki są zarazem najmniejszymi posiadającymi samoistne życie częściami rośliny, nazywamy je *pierwiastkowymi organami* i zarazem *pierwiastkowymi organizmami* takowej.

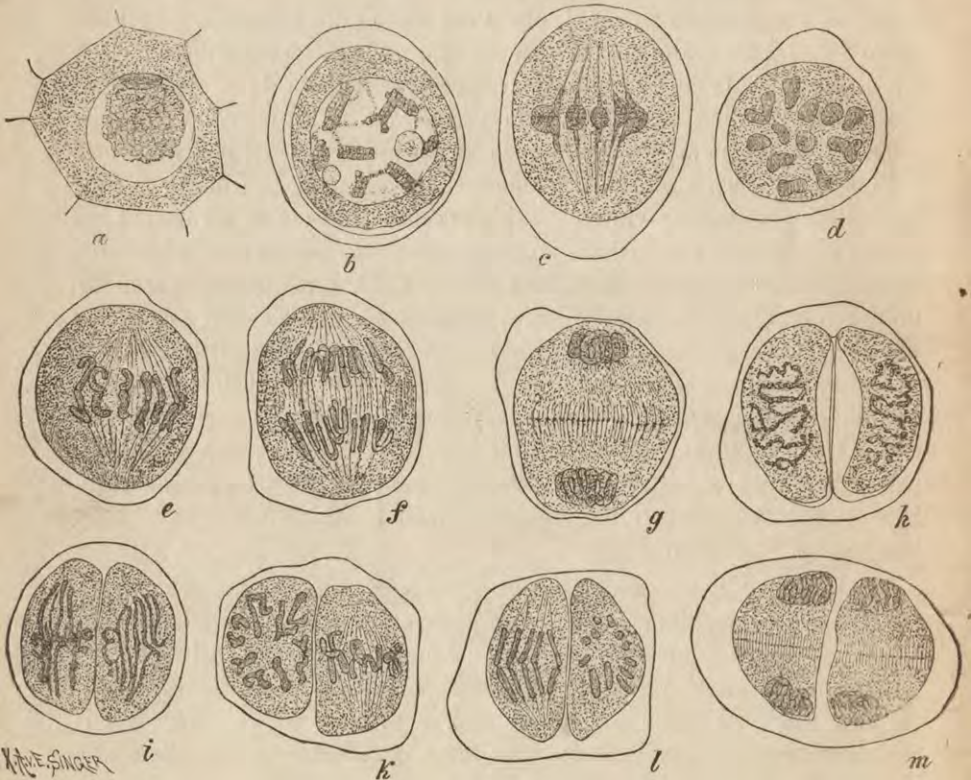


Fig. 3.

Dzielenie się komórki karyokinetyczne. W *a* chromatyna jądra tworzy kłębek, w *b* kłębek rozdzielił się na odcinki. w *c* — odcinki (pętlice) złożyły się, tworząc figurę gwiazdy, *d* — toż samo widziane z góry; *e* — każdy z odcinków dzieli się w kierunku podłużnym; *f* — rozdzielone części przechodzą ku biegunom komórki; *g* — tworzą się z nich dwa kłębki — dwa nowe jądra, jednocześnie dzieli się protoplazma komórki; *h* — *m* — toż samo powtarza się w każdej z nowopowstałych komórek.

Jednym z objawów, w których najwięcej uwytadnia się charakter komórek jako pierwiastkowych (elementarnych) organizmów jest mno-

wą, jest to jakby wynik zlania lub niedokładnego rozdzielania kilku komórek. Niektórzy botanicy proponowali nawet dla roślin złożonych z wielojądrowych komórek nazwę bezkomórkowych.

zenie się takowych drogą dzielenia. Powinniśmy poznać nieco bliżej tę sprawę, gdyż na niej spoczywa inna ważna sprawa życiowa — wzrost całej rośliny. Skoro komórka osiągnie pewnej wielkości, następuje zwykle dzielenie, które zaczyna się od jądra; ciało to wydłuża się w jednym kierunku i następnie rozdziela się na dwie części, z których każda zaokrągla się i przybiera postać pierwotnego jądra; jednocześnie zaczyna się dzielić protoplazma komórki, a błonka, wrastając stopniowo w przewężenie protoplazmy, oddziela ostatecznie obydwie nowo utworzone komórki. Przytem zachodzą bardzo skomplikowane zjawiska w chromatynie jądra (fig. 3): siateczka chromatynowa rozpada się na pojedyncze nici, które z początku tworzą jedną długą nić zwinętą w kłębek. Ta wkrótce się dzieli na odcinki, umieszczające się w środku jądra i tworzące figurę nakształt gwiazdy; następnie każdy z tych odcinków dzieli się na dwa i połówki przechodzą ku przeciwnym stronom jądra, tu znowu spajają się w kłębek, który następnie przeistacza się w siateczkę.

Niekiedy znów błona powstaje odrazu na całej szerokości komórki i jakby przecina protoplazmę i jądro na dwie połówki, z których każda w krótkim czasie przybiera postać taką jaką miały te części w komórce macierzystej (fig. 4). Ten ostatni sposób dzielenia nazywamy *prostym*,

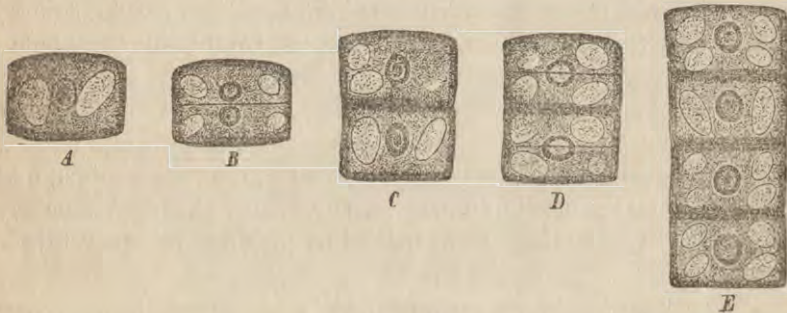


Fig. 4.

Dzielenie się komórek proste, powstająca błona jakby przecina komórkę wraz z jądrem.

poprzednio zaś opisany *kariokinetycznym*, czyli zachodzącym przy udziale ruchów jądra.

W każdym wypadku charakterystyczną cechą dzielenia się komórek jest ta, że każda część komórki po rozdzieleniu przybiera taki sam kształt jaki miała w pierwotnej komórce. Jeśli rozpiłujemy szklanekę, otrzymamy dwie połówki, które niczem nie przypominają szklanek i nie mogą służyć do niczego; będą to proste kawałki szkła; po rozdzieleniu się komórki, powstają nie dwie połówki komórek, lecz dwie całe komór-

ki, zachowujące wszystkie własności pierwotnej, różniące się od niej tylko wielkością swoją. To dążenie każdej połówki do przyjęcia pierwotnego kształtu, do odtworzenia utraconej przez dzielenie części stanowi charakterystyczną cechę dzielenia się jako sprawy życiowej, a stosuje się nie tylko do kształtu, ale i do wielkości, albowiem każda z powstających przez dzielenie komórek wyrasta niebawem do wielkości macierzystej komórki, następnie dzieli się powtórnie; każda nowa znów wyrasta i t. d. (por. fig. 4).

Łatwo zrozumieć, że na tem dzieleniu się i następnem dorastaniu do pierwotnej wielkości, polega nieograniczony wzrost całej rośliny. Pojedyncze komórki nie mogą rosnąć dalej pewnej granicy; nie przekraczają one prawie nigdy wielkości mikroskopowej. Nie wiemy dokładnie skąd to pochodzi, ale faktem jest, że komórka może istnieć i odbywać swoje czynności tylko wtedy, gdy jest niezbyt wielką. Gdyby więc komórki nie mnożyły się, wzrost złożonej z nich rośliny nie przeszedłby nigdy pewnej ograniczonej wielkości; trwałby dopóty dopóki wszystkie komórki nie dościsły granicznej swej wielkości. Przeciwnie gdyby komórki po rozdzieleniu nie dorastały do swojej pierwotnej wielkości, ilość ich w roślinie wzrastałaby po każdym dzieleniu, ale wielkość całej rośliny nicby na tem nie zyskała. Tak więc, połączenie tych dwóch spraw, t. j. właściwego dzielenia się komórek i następnego ich wyrastania, jest przyczyną wzrostu roślin, a na tem przykładzie wiemy już jak czynność życiowa całości (wzrost całej rośliny), składa się z podobnych czynności pojedynczych komórek.

Drobne komórki, z których składa się wierzchołek rośliny, dzielą się ustawicznie, tak, że na końcu rosnącym znajdujemy wciąż nowe komóreczki, leżące zaś niżej ulegają stopniowo przekształceniom, o których natychmiast pomówimy bliżej; ażeby jednak skończyć z pojedynczą komórką, powinniśmy odpowiedzieć na pytanie, jak powstają komórki?

Wyjaśniając sobie znaczenie dzielenia się komórek dla wzrostu rośliny zauważyliśmy, że roślina nie mogłaby wyrastać poza pewną granicę, gdyby komórki jej nie dzieliły się. Teraz możemy dodać, że i ta ilość komórek, która składa roślinę, nie mogłaby być powstać przy podobnem przypuszczeniu, albowiem dzielenie jest jedynym sposobem powstawania komórek. Miliony komórek, z których składa się stuletni dąb, powstały wszystkie drogą dzielenia z jednej komórki pierwotnej, którą nazywamy jajem; jajo to znajdowało się w załączku kwiatu innego dębu przed przemianą tego kwiatu na żołądź, z której wyrósł nasz dąb i powstało również drogą dzielenia z komórek tego drugiego dębu; a dąb, na którym wyrosła ta żołądź, powstał w ten sam sposób z innego jaja, które było na innym dębie i powstało z jego komórek i tak dalej.

bez końca. Zkąd powstała pierwsza komórka? na to nie umiemy odpowiedzieć, ależ kwestye takie nie należą do zakresu wiedzy ścisłej; znajdujemy je na końcu każdej umiejętności: fizyki czy chemii, biologii czy astronomii, a gdy potrącamy o zagadnienia podobne, świadczy to, żeśmy doszli do granic wiedzy, poza któremi zostają zagadki wszechświatowe. Tylko amatorowie, bawiący się z piórkiem w rękę w przyrodoznawstwo popularne, wyobrażają sobie, że posiadają wszystkie tajemnice natury; ale prawdziwa nauka, badająca przyrodę w pracowni, odpowiada na te zagadnienia swoim skromnem *ignoramus* (nie wiemy).

To tylko pewne, że wszystkie dotychczasowe próby doprowadziły do przekonania, że *każda komórka powstaje z innej komórki* i, że wszelkie przypuszczenia pierworodztwa, t. j. powstawania organizmów żywych bez przodków, wprost z substancyj nieorganizowanych (samozarodzenie), były wynikiem powierzchownego i niedokładnego spostrzeżenia. Życie jest ciągle: nie stwarza się ono, tylko udziela się od jednej żywej istoty innej, co nie przeszkadza jednak nieograniczonemu rozmnażaniu się istot żyjących, gdyż dzięki cudownej własności dzielenia się, jedna komórka może wytworzyć miliony potomnych.

Nie z samych jednak komórek w ścisłem znaczeniu składa się roślina.

Zróbmy przekrój cokolwiek niżej wierzchołka rośliny (fig. 5), a rozpatrując go pod mikroskopem, spostrzeżemy wielką różnicę z tem, cośmy widzieli u samego wierzchołka. Już przyglądając się uważniej figurze 1-ej (str. 10) zauważymy, że nie wszystkie komórki mają kształt jednakowy. Te które zajmują środkową część stożka wegetacyjnego (*p l*) są wydłużone w kierunku osi; najbardziej zaś zewnętrzna warstwa (*d*) składa się z komórek nieco spłaszczonych ku powierzchni. Na skrawku niżej wziętym, w miejscu słupka *p l* zauważymy dwa zupełnie odrębne utwory. W samym środku znajdujemy *rdzeń* (fig. 5*a*), złożony z komórek jednostajnie szerokich we wszystkich kierunkach; na zewnątrz idzie warstwa, składająca się z cieniutkich rurczek o ściankach rozmaicie rzeźbionych, pomieszanych z długimi włóknami (fig. 5 od *b* do *f*). Rurki te czyli *naczynia drzewne* powstają z wydłużonych szeregów komórek słupka *pl*, których błonki poprzeczne zostają rozpuszczone, ścianki boczne grubiej przybierając urzeźbienia, a zawartość znika. Włókna powstają, w skutek jednostronnego wzrostu pojedynczych komórek tegoż słupka. Razem ta część łodygi stanowi to, co nazywamy *wiązkami naczyniowemi*, a główną część ich stanowi drewno. Na zewnątrz od wiązek naczyniowych leży warstwa (*gh*), która powstaje z oznaczonej na fig. 1 literami *pr*. Komórki jej zachowują typowy swój charakter i mają wszystkie opisane wyżej składowe części; ale oprócz tego zawierają w młodych częściach łodygi zielone ziarenka, z któremi poznamy się bliżej nieco później,

a które nazwiemy tymczasowo *ziarkami chlorofilowemi*. Komórki te są spojone między sobą dość luźnie, tak że w rogach, gdzie się stykają sąsiednie komórki, zostaje próżna przestrzeń, stanowiąca t. zw. *przewo-ry międzykomórkowe*. Całą tę część łodygi nazwiemy *mięszem chlorofilo-wym*, dla obecności wyżej wspomnianych ziarek zieleni. Wreszcie po-jedyncza warstwa komórek, oznaczona na fig. 1 literą *d*, daje początek temu, co nazywamy *naskórkiem* (i na fig. 5). Komórki składające takowy,

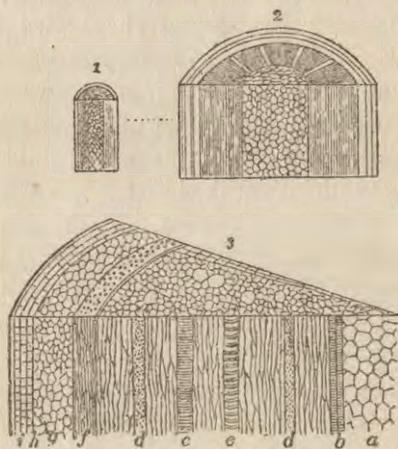


Fig. 5.

wyróżniają się tem, że zewnętrzne ścianki ich błon silnie grubieją i zle-wając się razem tworzą tak zw. *naskórek*—błonekę powlekającą całą ro-slinę, a doskonale zastosowaną do jej ubezpieczenia od wszelkich wpły-wów szkodliwych.

Takie spojenia komórek, jak tylko co opisane, nazywamy *tkanka-mi*; naskórek, miąższ chlorofilowy lub inaczej *tkanka zasadnicza*, wiązki naczyniowe i rdzeń stanowią tkanki stałe rośliny. To zaś połączenie jednorodnych komórek, ustawicznie dzielących się, jakie widzieliśmy u wierzchołka — nazywa się *tkanką twórczą*. Dolne komórki tej tkanki przemieniają się stopniowo w tkanki stałe, górne zaś wciąż zostają w stanie pierwotnym i dzieląc się, podtrzymują wzrost rośliny w górę. Grubienie pnia drzew naszych, odbywa się za pomocą obrączkowej warstwy twórczej, która nazywa się *miazgą*. Powstające przez dziele-nie się komórek miazgi, liczne nowe komórki przeistaczają się na włó-kna i naczynia, tworzące tak zwane *słoje roczne* zgrubienia.

Gdybyśmy zechcieli określić czynność pojedynczych tkanek stałych, moglibyśmy, nie popełniając wielkiej niedokładności, powiedzieć, że naskórek jest okryciem rośliny, chroniącem ją od wszelkich wpływów zewnętrznych, głównie zaś od wysychania, do czego przyczynia się najwięcej gruby naskórek, nasiąknięty u większej części roślin łądowych substancją woskową ¹⁾.

Najlepiej przekonamy się o tem znaczeniu naskórka, jeśli przypomnimy jak długo zachowują świeżość swoje jabłka całe, a jak prędko wędzną obrane, t. j. pozbawione naskórka. Wiązki naczyniowe prowadzą wodę wchłanianą przez korzenie wraz z rozpuszczonemi w niej substancjami ku liściom, gdzie ostatnie rozgałęzienia tych wiązek stanowią to, co nazywamy nerwami. Miąższ chlorofilowy, znajdujący się tylko w zielonych częściach roślin (w korzeniu miejsce jego zastępuje niezawierająca chlorofilu tkanka zasadnicza), służy organem, przyswajającym z powietrza gazowe pożywienie roślin; w ogóle zaś komórki tkanki zasadniczej możemy uważać za prawdziwe laboratoria chemiczne, wytwarzające i przetwarzające rozmaite substancje roślinne. Wreszcie rdzeń, tam gdzie się zachowuje, służy najczęściej jako magazyn substancyj zapasowych. W komórkach jego nagromadzają się takie substancje, jak krochmal i t. d., które następnie służą za pożywienie młodemu pączkom. Często rdzeń zanika wcześniej, jak np. w źdźbłach traw. Jednakże wymienione wyżej czynności nie wyczerpują znaczenia pojedynczych tkanek. Tak drewno, stanowiące część wiązek naczyniowych, służy u większej części naszych roślin, a zwłaszcza w drzewach, za podporę i jest jakby szkieletem rośliny; pełni więc czynność mechaniczną. W roślinach, mających drewno niedość rozwinięte, miejsce jego zastępują grube włókna, umieszczone całemi gromadami w tkance zasadniczej i służące ku wzmocnieniu rośliny. Utwory podobne, które znajdujemy w źdźbłach naszych traw, nazywają się *tkanką mechaniczną*. Rozmieszczenie tej tkanki w roślinach odpowiada najzupełniej wymaganiom mechaniki, innemi słowy jest takie, aby nadać największą oporność, przy najmniejszym zużyciu materiału.

O ile całe tkanki rośliny pełnią określone czynności, możemy je również uważać za organa roślin, jak i pojedyncze komórki; wszelako już ta pobieżna znajomość ich czynności, jaką posiadamy, wykazuje, że nie mamy w roślinach tak doładnie odgraniczonych organów jak u zwierząt.

P. I. F.

¹⁾ Znany w handlu wosk roślinny jest właśnie taką substancją, w wielkiej ilości wydzielaną przez naskórek niektórych drzew podzwrotnikowych.

Mówiąc o komórkach, na początku tego rozdziału, porównaliśmy je do cegiełek, z których zbudowana jest roślina. Znajomość z tkankami pozwala nam posunąć dalej to porównanie: tak samo jak w budowlu 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 ujemny 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 materiał 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 podpira leżącą na niej inną cegłę, a gdy się skruszy od czasu i powietrza, zostaje przez inną zastąpioną 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 pojedynczych części jakiejś wielkiej fabryki chemicznej. Przetwory wyrabiane w jednych komorach lub kotłach płyną rurami do innych, w których ulegają dalszej przeróbce i t. d. Lecz fabryka taka otrzymuje z zewnątrz materiał surowy, a wydala na zewnątrz wyrobiony przetwór. Roślina również otrzymuje z zewnątrz materiał surowy w postaci gazów powietrza i soków ziemi, a materiał ten nazywamy pożywieniem rośliny, gdyż idzie on nie na wytworzenie jakiegoś wydalonego z rośliny przetworu, lecz zużytkowuje się w celach samej rośliny. I to więc stanowisko *fizjologiczne* nie wyczerpuje życia rośliny, jak nie ściśle jest porównanie jej do fabryki.

Ażeby mieć całkowite wyobrażenie o życiu rośliny, powinniśmy dwa poprzednie sposoby zapatrywania się uzupełnić trzecim.

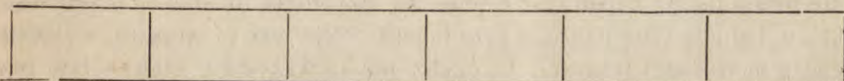
Dokąd idzie ten materiał, który wytwarza się z produktów surowicznych, z pożywienia rośliny?

Idzie na utworzenie samego materiału rośliny i tem się różni organizm żywy od budującego się domu, do którego materiał 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. Materiał ten potrzebny jest na to, aby komórki mogły wzrastać, a zatem dzielić się, t. j. wytwarzać nowe komórki; a wy-

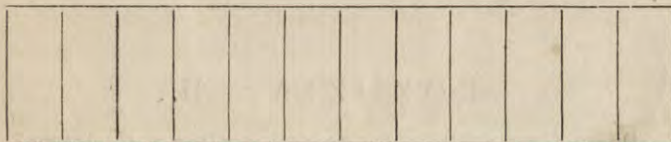
wiązana przy zużyciu części tego materiału energia, idzie na wykonanie wszystkich potrzebnych prac: podnoszenia wody, poruszania części, wytwarzania pewnych kształtów i t. d. Roślinę porównać możemy do domu, który sam wytwarza materiały budowlane i sam je w budowlę układa. Ale materiał chemiczny przyswojony 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 dla tego trzecie stanowisko, z którego obecnie na rośliny zapatrujemy się, nazwać możemy *morfologicznem*¹⁾).

Ażeby wyjaśnić lepiej tę stronę czynności komórek, wróćmy do naszego porównania z cegielkami. Wystawmy sobie cegielkę, obdarzoną własnością dzielenia się taką, jaką poznaliśmy u komórki, t. j. tak, że po każdym rozdzielaniu się połówki cegielki dorastają do pierwotnej wielkości.

Wystawmy sobie teraz, że taka cegielka dzieli się przegódką poprzeczną i każda z nowopowstałych dzieli się znowu w tym samym kierunku; po kilku podziałach otrzymamy pas cegieł zetkniętych węższymi stronami.



Jeśli kierunek dzielenia będzie również wciąż jednakowy, ale popadły do poprzedniego, otrzymamy pas cegieł, zetkniętych szerokimi stronami.



Łącząc razem obydwa sposoby (każda cegielka będzie się dzieliła raz podłużnie, raz poprzecznie) — otrzymamy całą płaszczyzną cegieł; wreszcie jeśli dodamy do tego podziały na grubość, możemy otrzymać stos cegieł. Łącząc zaś podziały skośne z niejednostajnym wyrastaniem połówek po rozdzielaniu, możemy otrzymać najrozmaitsze formy krzywe. W taki sposób obdarzając tylko cegielkę początkową własnością dzielenia się, możemy sobie łatwo wyobrazić, jak z jednej cegielki powstanie sam przez się cały gmach z łukami, kolumnami, sklepieniami; ale trzeba żeby plan tego gmachu był już, że tak

¹⁾ Morfologia — nauka o kształtach.

powiem, naprzód nakreślony w cegielce pierwotnej, jako porządek i kierunek wszystkich podziałów, oraz następnego wyrastania komórek.

Komórka, z której wyrasta roślina, ma już w sobie zawarty cały plan budowy przyszłej rośliny; każde dzielenie musi być naprzód oznaczone. Gdyby dzielenia i wyrastania komórek zależały tylko od warunków zewnętrznych, nie moglibyśmy sobie wytłumaczyć zadziwiającej stałości kształtów każdego gatunku rośliny. Zobaczymy dalej, że nie tylko przewidziane są te wszystkie dzielenia, ale przewidziane są i zbieżności od pierwotnego planu w pewnych granicach, stosownie do osobliwości warunków zewnętrznych, w jakich się znajdzie roślina. Nie tylko jajko, lecz do pewnego stopnia każda komórka tkanki tworczącej 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 gałęź) niejako powtórzeniem kształtu całej rośliny.

Anatomia, fizjologia i morfologia, są to trzy jednostronne sposoby poznania rośliny. Te trzy umiejętności uzupełniają się nawzajem; wszystkie mają jeden i ten sam przedmiot, tylko badają go z różnych stanowisk. Ażeby wytworzyć sobie poprawne pojęcie o życiu rośliny, nie powinniśmy zapominać o tem, że fizjologia odsłania przed nami tylko jedną stronę naszego przedmiotu. Nie jest to zresztą wyłączną cechą naszej umiejętności, bo czyliż nie są wszystkie nauki tylko rozmaitemi sposobami poznania, częściowymi odzwierciedleniami jednego olbrzymiego przedmiotu — wszechświata, którego całość syntetyczną wszechstronnie przedstawić usiłuje filozofia?

R O Z D Z I A Ł II.

Pożywienie rośliny. Co dostaje roślina z powietrza?

Przyrost substancji roślinnej.—Zachowanie materji. — Powietrze i ziemia jako źródła materji roślinnej.—Materiał bezazotowy i azotowy.—Powierzchnia i masa liścia.—Jego budowa.—Szparki. — Ziarka chlorofilowe. — Rośliny wyplnione i chlorotyczne.—Zkąd pochodzi barwa przedmiotów?—Widmo chlorofilu.—Krochmal jako wytwór chlorofilu.—Przemiany krochmalu w roślinie, diastaza i leukoplasty. — Ziarka krochmalu są utworami uorganizowanemi.—Zależność pomiędzy budową liścia a przyswajaniem.—Chlorofil pośredniczy w przemianie energii czynnej promieni słonecznych na energję potencjalną krochmalu. — Jaki związek istnieje pomiędzy barwą chlorofilu a jego czynnością?—Krochmal jako skład energii słonecznej.—Pasożyty i roztocze. — Pożywienie zwierząt.—Krańczenie węgla i krańczenie energii w naturze.—Słońce jako źródło życia.

Najbardziej uderzającym faktem w życiu rośliny jest przyrost stały jej materji, 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 materiał wyrobiony przez roślinę w ciągu jej życia. Jestto tylko jedna strona wzrostu i to strona najmniej 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., innymi słowy morfologiczną stronę tego zjawiska. Oprócz bowiem nabycia materiału, występuje dla rośliny drugie zadanie: ułożenie tego materiału w sposób właściwy. Zobaczymy, że i na tę stronę zjawiska fizyologią może rzucić niejeden, chociaż bardzo blady promyczek światła. Ale w chwili obecnej nas zajmować powinno przedewszystkiem pytanie, z kąd się bierze ów kolosalny przyrost ciała roślinnego?

Powiedziałem przed chwilą, że roślina wyrabia materiał swego ciała. Wyrażenie to jest zupełnie poprawne, o ile mamy na myśli ten sposób wyrobienia, za pomocą którego rzemieślnik wytwarza swoje wyroby, t. j. przerobienie pewnego materiału z kądkolwiek bądź wziętego. Byłoby ono zupełnie błędem, gdybyśmy chcieli przez to powiedzieć, że roślina stwarza ten materiał. Jestto twierdzeniem podstawowym wiedzy przyrodniczej, że materya ani się stwarza, ani znika; że zatem wszystkie nanowo powstające ciała są tylko przemianami jednej i tej samej materyi. Założenie to z taką samą oczywistością wynika z samego pojęcia materyi czyli substancyi, z jaką twierdzenia matematyczne z przyjętych przez geometrów pewników. To też spotykamy myśl tę już u starożytnych filozofów greckich, na pięć wieków przed narodzeniem Chrystusa; ale dopiero przed stu laty zastosował ją Lavoisier do chemii, wprowadzając wagę jako konieczne narzędzie w badaniach chemicznych, przez co nadał tej umiejętności ściśle naukowe podstawy.

Zkąd więc bierze roślina materiał, który przerabia na ciało swoje? Dwa tylko możemy zrobić przypuszczenia. Albo pochodzi on z ziemi, do której roślina zapuszcza korzenie; albo z powietrza, w którym rozpościera koronę swoją.

Pierwsze doświadczenia zrobione były dla rozstrzygnięcia tego pytania jeszcze w XVII stuleciu. Angielski chemik Boyle, uszywszy 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 wy-

niepr
cia z o
ze my
nie ja
dzenie
pójm
stato
sej el
empir

dały rośliny, ważące od 3-ch do 14-u funtów. Ziemia zaś po doświadczeniu przesuszona i zważona nanowo nie wykazywała żadnej dostrzegalnej straty. Van Helmont powtórzył to doświadczenie na wielką skalę. Brał on sto funtów ziemi, do której wsadził wierzbę, ważącą 50 funtów, a zakrywszy naczynie miedzianą blachą, polewał samą tylko destylowaną 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 źródło, z kąd roślina bierze swój pokarm. Przypomnijmy sobie, że do ciał roślinnych wchodzi głównie pięć pierwiastków, składających się na utworzenie organicznej substancji rośliny; są to: węgiel, wodor, tlen, azot i siarka.

Pierwsze trzy pierwiastki, łącząc się z sobą, tworzą tak zwane *beazotowe substancje* rośliny; do tych należy drewno; błonnik, z którego utworzone są błony komórkowe; krochmal, obficie się znajdujący w roślinach; cukier, rozpuszczony w soku komórek. Ciała te nazywają również *wodanami węgla*, dla tego, że ilość tlenu i wodoru połączonego z węglem jest w nich taka, że mogłaby wytworzyć pewną ilość cząstek wody.

Drugą gromadę ciał roślinnych stanowią ciała zawierające azot (*substancje azotowe*), a wśród nich pierwsze miejsce zajmują ciała białkowe. 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 co do ilości stanowią tylko małą część jej wagi. Aby odpowiedzieć na wyżej postawione pytanie, dotyczące pochodzenia substancji roślinnej, należało wyjaśnić źródło, z którego bierze roślina każdy z wchodzących w jej skład pierwiastków.

Już Priestley w zeszłym 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 wodor i tlen. Tak więc wszystkie trzy pierwiastki, wchodzące w skład bezazotowych substancji rośliny, bierze ta ostatnia z kwasu węglowego i wody. Kwas węglowy znajduje się stale w powietrzu, jakkolwiek w nieznaczonej ilości (4 na 1000), jednak wystarczającej dla podtrzymania życia roślin. Woda jest zawsze w powietrzu w postaci pary i wchodzi w skład soków roślin-

Ala czy roślina czerpie wodę z powietrza?

nych. W ten sposób wyjaśnionem więc zostało, że do bezazotowego pożywienia swego, roślina nic nie bierze z gruntu ¹⁾.

Zo-tawało do rozwiązania pytanie, z kąd się bierze azot? Łatwo się nasuwało przypuszczenie, że źródłem tego pierwiastku dla rośliny jest powietrze, zawierające go w obfitości w stanie wolnym. Pytanie to rozwiązał Boussingault w r. 1853. Sadził 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), z których brał nasienie, gdyż jak zobaczymy później, roślina nie może się obyć bez niektórych substancyj mineralnych. Wszystko się pokrywało kloszem, do którego przez jedną 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 wykazują, że roślina nie może korzystać z tego azotu, który jest w powietrzu, musi więc go brać z ziemi. Zobaczymy później, jakim ograniczeniom powinno dziś ulegć to twierdzenie.

Możemy tymczasem przyjąć jako prawo 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 przyzwyczał 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 substancje 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 substancji roślinnej, mamy zawsze na myśli tylko suchą substancję, t. j. to, co zostaje po dokładnem wysuszeniu rośliny. Wszystkłą wodę roślina czerpie z ziemi.

Teraz powinniśmy wyjaśnić sobie, jaką drogą dostają się pierwiastki, o których była mowa, do rośliny; jakie narządy służą do ich

¹⁾ Naturalnie z wyjątkiem wody; twierdzenie to stosuje się tylko do stałych składowych części gruntu.

wydzielenia ze związków, w których znajdują się w naturze; oraz jak i w jakie związki łączą się one na nowo w roślinie.

Wystawmy sobie, żeśmy zebrali starannie wszystkie liście z jakiegokolwiek drzewa i ułożyli je na równej powierzchni jeden obok drugiego. Jakąż ogromną przestrzeń moglibyśmy zasłać nimi! Ale gdybyśmy położyli te wszystkie liście na jedną szalkę wagi, na drugą zaś ogołocony pień drzewa, ten 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 rozplaszczając go w ciekłą blaszkę. Ze stanowiska morfologicznego liść jest tylko rozplaszczoną i nieco zmodyfikowaną łodygą. Najlepiej nas o tem przekona widok mikroskopowy skrawka poprzecznego przez liść (fig. 6).

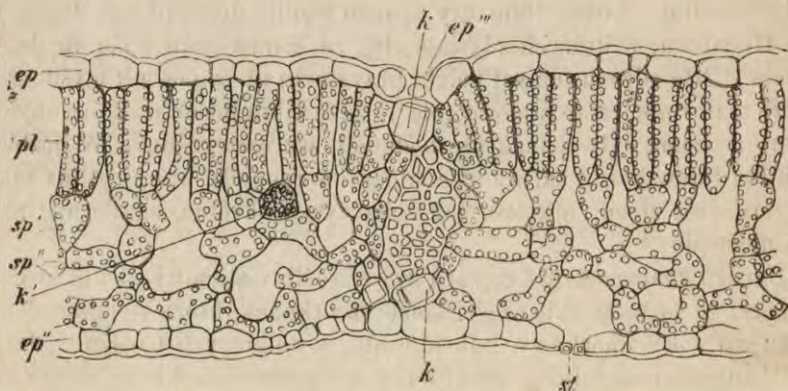


Fig. 6.

Widzimy w nim te trzy główne tkanki, o których wspominaliśmy, opisując łodygę: naskórek (*ep*; *ep''*), tkankę zasadniczą (*pl*, *sp*) i wiązki naczyniowe (między *k* a *k*). 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 (*pl*), przeciwnie, w dolnej czę-

ści liścia, komórki mają kształt mniej foremny (sp' , sp''), po części gwiazdkowaty i są bardzo luźno z sobą spojone, zostawiając próżne miejsca—przestwory międzykomórkowe. Przestwory te łączą się z sobą, tworząc sieć drobnych kanalików, a sieć ta przez ogonki liściowe łączy się z podobnemiż przestworami międzykomórkowemi łodygi i stanowi razem to, co niektórzy botanicy nazywają *układem przewietrzania* rośliny; po tych bowiem kanalikach może swobodnie *cyrkulować* powietrze i inne gazy lub para wodna, a na zewnątrz otwierają się one za pomocą tak zw. *szparek* (*st* na fig. 6). Jeśli spojrzymy przez mikroskop na dolną powierzchnię liścia przy słabem powiększeniu przekonamy się, że jest usiana drobnymi otworkami, przebijającemi naskórek. Są to; szparki, z których jedną, silnie powiększoną, przedstawia fig. 7 (*A* z góry, *B*

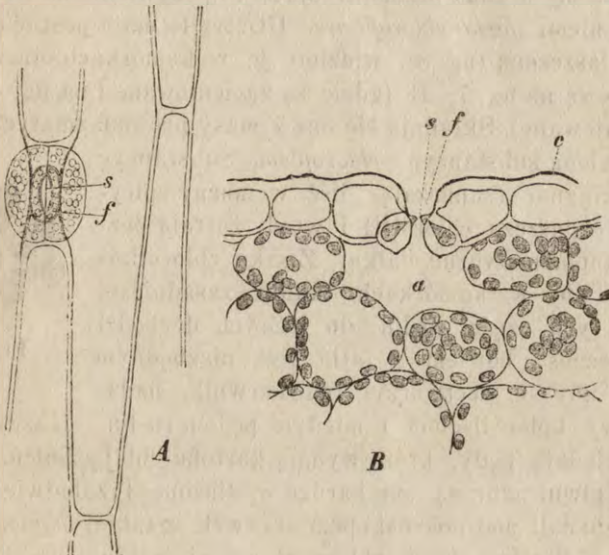


Fig. 7.

w przecięciu poprzecznym). Każda szparka zaopatrzona jest w *komórki zamykające* (*s*), których błona urządzona jest tak, że przy suchej pogodzie komórki te zaciskają otwór szparki; przy wilgotnej zaś, w skutek pęcznienia komórek zamykających, kształt ich odmienia się w ten sposób, że otwór szparki się zwiększa. Łatwo zrozumiemy znaczenie tego przystosowania, jeśli przypomnimy sobie jaką rolę pełni naskórek w roślinie; wiemy bowiem, że dzięki swej nieprzenikliwości, ochrania roślinę od straty wody przez parowanie. Ale strata ta byłaby olbrzymią, gdyby szparki zostawały otwarte podczas posuchy. Ilość bowiem tych otwor-

ków jest prawdziwie kolosalną, gdyż wynosi od 40 do 300, a nawet 700 na 1 milimetrze kwadratowym powierzchni, t. j. na przestrzeni, jakąby zajęła plamka, zrobiona umoczoną w atramencie główką od szpilki; każda zaś szparka komunikuje się z przestworami międzykomórkowymi (za pomocą t. zw. *jamy oddechowej a*), które stykają się z cienkimi błonami komórek. Przez te błony, nieubezpieczone tak jak naskórek, woda z łatwością wysącza się i paruje; przez nie też mogą przenikać do komórek (również jak i z komórek do przestworów międzykomórkowych) rozmaite gazy.

Cały więc układ przestworów międzykomórkowych wraz ze szparkami urządzony jest tak, ażeby gazy powietrza mogły się stykać z komórkami liści, bez narażenia jednak rośliny na zbytnią stratę wody. Jest to droga, przez którą pożywienie gazowe dostaje się do komórek. Teraz rozpatrzmy organa przetwarzające to pożywienie na substancje roślinne. Są niemi *ziarka chlorofilowe*. Utwory te mają postać okrągłąwą, nieco spłaszczoną (fig. 8); widzimy je w komórkach otaczających jamę oddechową na fig. 7, B (gdzie są zacieniowane i na fig. 6, gdzie nie są zacieniowane). Składają się one z masy protoplazmatycznej, nasiąkniętej zieloną substancją — *chlorofilem*. Substancję tę łatwo wyciągnąć (zanurzając liść w mocny spirytus, który rozpuszcza chlorofil) i wtedy zostają bezbarwne protoplazmatyczne ciała. Ziarka chlorofilowe znajdują się w komórkach tkanki zasadniczej wszystkich tych części roślin, do których dochodzi światło; obecność bowiem światła jest niezbędnym warunkiem, aby się wytworzył ten barwnik, nadający właściwy kolor liściom i młodym pędom roślin. Każdy pamięta jak wyglądają pędy, które wydają kartofle lub jęczmień, rosnące w ciemnych piwnicach: są one bardzo wydłużone i zaledwie żółtawe. Gdybyśmy zbadali pod mikroskopem skrawek z takiej *wyplątanej* rośliny, przekonalibyśmy się, że w komórkach jej znajdują się ciała protoplazmatyczne, zupełnie takie, jak w ziarkach chlorofilowych, brak im tylko zieleni. Drugim warunkiem koniecznym dla powstania zieleni w roślinie, jest obecność w gruncie chociażby nieznacznej ilości żelaza. Rośliny, wyrastające na gruncie zupełnie wolnym od tego pierwiastku, są również pozbawione zieleni—(*rośliny chlorotyczne*).

Przyzwyczajeni jesteśmy uważać barwę przedmiotów za rzecz zupełnie przypadkową i nazywając chlorofil barwnikiem łatwo mogą nasunąć czytelnikom myśl, że jest on mało znaczącą częścią rośliny, wprawdzie zdobiącą ją, ale bez istotnego dla niej znaczenia. Że tak nie jest, zaraz się o tem przekonamy; ale wpierym postaram się wyjaśnić, jaki związek istnieje pomiędzy barwą chlorofilu a jego czynnością.



Fig. 8.

Fizyka dzisiejsza uważa światło za drganie eteru, napelniającego całą przestrzeń między ciałami i cząsteczkami ciał, tak samo, jak w dźwięku widzi drgania powietrza. Że drgania (wibracje) 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 cząsteczek materji, o czem już mówiliśmy we wstępie. 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 prędkie obrót, a połączenie to da barwę białą. Biała barwa złożona jest z kolorów widma, tak jak akord—z pojedynczych tonów. 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 fale, które nań spadają, przechodzą przezeń lub odbijają się od niego. Zabarwienie zwyczajnych (nie samoświecących przedmiotów)¹⁾, jest wynikiem tego, że one pochłaniają niektóre fale świetlne; pozostałe zaś łącząc się razem, dają barwę odmienną od białej.

Jak się o tem przekonać?

Oczywiście, że 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* (absorpcyjnym). Fig. 9 przedstawia widmo powstające wtedy, gdy na pryzmat pada światło, które przeszło przez roztwór spirytusowy chlorofilu pewnej grubości. Podobneż widmo, dają żywe liście. W widmie tem brakuje kolorów: fioletowego, niebieskiego i znacznej części czerwonego. Zielona barwa chlorofilu jest więc wynikiem pochłonięcia 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 rozrżażone do białości ciała), ale tylko niektóre z nich.

zajmą całe widmo. Warstwa tej grubości nie przepuszcza już wcale światła.

Co się stało z temi pochłoniętymi falami? Na to niebawem odpowiemy; tymczasem wróćmy do ziarek chlorofilowych i przyjrzyjmy się ich czynności.

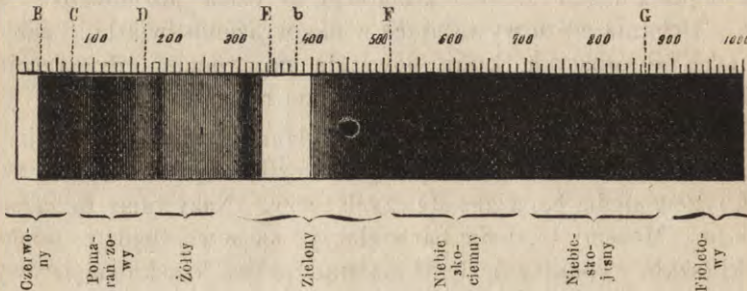


Fig. 9.

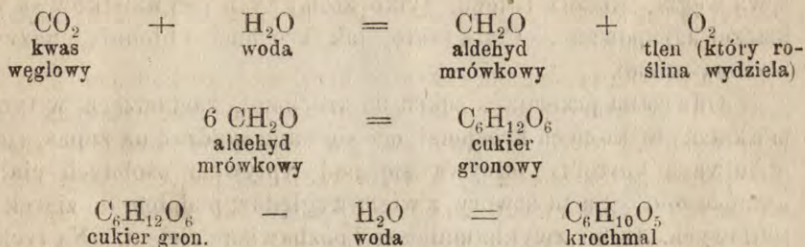
Jeżeli badać będziemy pod mikroskopem liść, zerwany z drzewa nad rankiem lub przez dłuższy czas przechowywany w ciemności, nie zauważymy w jego ciałkach chlorofilowych żadnych obcych domieszek. Dość jednak wystawić liść taki, chociażby na krótki czas, na światło, a badanie mikroskopowe wykaże wewnątrz tych ziarek maleńkie ciała (fig. 9), w których łatwo poznamy drobne ziarenka krochmalu, jeśli dodamy do preparatu kroplę jodiny. Odczynnik ten zabarwia krochmal na niebiesko, po czem łatwo poznać chociażby najmniejsze ślady tego ciała ¹⁾.

Zkąd się wziął ten krochmal? Widzieliśmy że jednym z warunków jego powstania było światło. Doświadczenia jaknajściślej przeprowadzone dowodzą, że materiałem, 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.

Krochmal istotnie jest tem ciałem organicznem, które w roślinie się tworzy ze związków nieorganicznych, t. j. z węgla, zawartego w kwasie węglowym, z tlenu i wodoru, zawartych w wodzie. Wiemy już, że na tem pochłanianiu kwasu węglowego, a wydzielaniu tlenu polega owo oczyszczanie przez rośliny powietrza zepsutego, które zauważył był już Priestley, a przebieg całej sprawy, odbywającej się przy pośrednictwie chlorofilu i potrzebującej koniecznie światła (o czem nie wiedział

¹⁾ Aby zabarwienie było wyraźniejsze, należy poprzednio pozbawić liść chlorofilu, rozpuszczając ten ostatni w spirytusie.

Pristley) da się przedstawić za pomocą następujących zrównań chemicznych:



Innemi słowy z kwasu węglowego i wody tworzy się z początku ciało, które chemicy nazywają aldehydem mrówkowym; następnie sześć cząsteczek tego ciała łączy się w jedną cząsteczkę (przyczem atomy węgla, tlenu i wodoru przyjmują inne ugrupowanie), tworząc cukier; ten zaś ostatni, tracąc cząsteczkę wody, daje już krochmal.

Nie posiadamy wprawdzie ścisłych dowodów, że cała sprawa przebiega tak właśnie, jak tu opisaliśmy; wielkie jednak prawdopodobieństwa przemawiają za tem. Aldehydu mrówkowego nie udało się dotąd odkryć w roślinach; ale jest to ciało bardzo lotne i łatwo ulegające zmianom, nie trudno więc było je przeoczyć. Natomiast cukier znajduje się prawie w każdym soku komórkowym w mniejszej lub większej ilości, a najwięcej w owocach słodkich.

Doświadczenia znowuz pokazują, że rośliny mogą w nieobecności kwasu węglowego wyrabiać krochmal z aldehydu i z cukru: a odwrotną przemianę krochmalu na cukier łatwo możemy uskutecznić i w pracowni. Dość jest gotować przez jakiś czas krochmal z jakimkolwiek rozcieńczonym kwasem. Na tem właśnie polega fabrykacja cukru kartoflanego (melasu). Natomiast chemicy dotąd nie posiadają umiejętności przerobienia cukru na krochmal, jakkolwiek reakcyja ta pospolicie jest w roślinach i może się odbywać w nich bez udziału światła.

Podczas wzrostu rośliny bardzo często odbywa się przemiana krochmalu na cukier i odwrotna. Krochmal bowiem jako ciało nierozpuszczalne służy za dogodny materiał zapasowy; znajdujemy obfite składy jego w nasionach, bulwach i innych częściach roślin, z których wyrastać mają nowe pędy. Podczas wzrostu krochmal ten rozpuszcza się, przechodząc w cukier pod wpływem osobliwego fermentu, tak zw. *diastazy*, która w obfitości znajduje się we wszelkich rosnących nasionach. Słód zawdzięcza swój smak wytworzonemu pod wpływem diastazy cukrowi. W postaci cukru wędruje materiał organiczny z komórki do komórki, cukier bowiem jest łatwo rozpuszczalny i przesiąkać może przez błony komórkowe. Z tego materiału wytwarzają się

blony nowopowstających komórek, błonnik bowiem ma skład chemiczny bardzo zbliżony do krochmalu; zawiera on tę samą ilość procentową węgla, wodoru i tlenu, tylko atomy tych pierwiastków są w nim inaczej ugrupowane. Ciała takie, jak krochmal i błonnik, nazywamy izomerycznymi.

Odwrotna przemiana cukru na krochmal, zachodząca w tych komórkach, w których krochmal ma się nagromadzać na zapas (jak np. w bulwach kartofli), odbywa się pod wpływem osobnych ciałek — *leukoplastów*. Są to utwory z wielu względów podobne do ziarek chlorofilowych, tylko zwykle mniejsze i pozbawione zieleni. Na tych ciałkach zaczyna się odkładać krochmal w postaci warstewek, które tworzą wreszcie *ziarko krochmalu*. Na fig. 10-iej przedstawione są ziarka krochmalu z bulwy kartoflanej. Ziarka krochmalu mają odrębną bu-

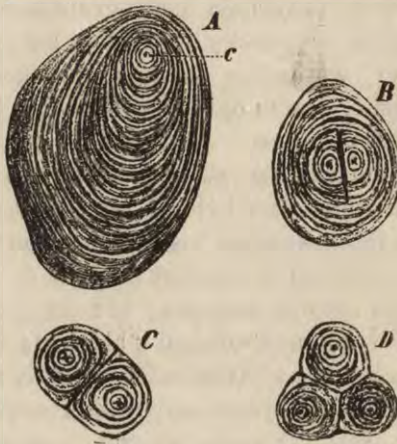


Fig. 10.

dowę i powstają pod wpływem sprawy życiowej w komórce; zaliczamy je przeto do *ciał uorganizowanych*. Bliżej rozpatrzymy osobliwości odznaczające te ciała, gdy wypadnie nam mówić o wzroście komórki; tu dość zaznaczyć, że krochmal, jako materiał z którego utworzone jest ziarko, jest po prostu ciałem chemicznym; ziarko zaś krochmalu jest utworem uorganizowanym. Pierwsze prawdopodobnie niedługo uda się nam otrzymać w pracowni chemicznej, jak dziś otrzymujemy już cukier; drugie może powstać tylko w żyjących istotach ¹⁾.

¹⁾ Nie możemy powiedzieć napewno czy leukoplasty wykonywają obydwie czynności, t. j. i chemiczną przemianę cukru na krochmal i osadzenie jego w postaci ziarek, czy tylko tę ostatnią.

Krochmal, cukier, błonnik są to więc ciała, z łatwością przechodzące jedne w drugie, a pokrewne z nimi są te ciała, które wchodzą w skład drewna i gumy roślinnej. Ciała te zaliczamy do wodorów węgla.

Widzieliśmy, że cukier może się przerabiać w roślinach na krochmal bez udziału światła, przy pomocy leukoplastów; kwas węglowy zaś roślina może rozkładać tylko w obecności światła i nie inaczej jak w zielonych swoich częściach ¹⁾. Wnosimy ztąd, że światło i chlorofil są koniecznymi czynnikami w tej sprawie; a dodać możemy, że wykonywają ją właśnie te promienie światła, które pochłania chlorofil.

Czas już teraz zwrócić uwagę na to, w jakim stopniu kształt i budowa liścia ułatwiają tę sprawę. Widzieliśmy że zewnętrzny kształt liścia jest taki, aby mu nadawał jak największą powierzchnię przy tej samej masie materiału. Ta wielkość powierzchni jest jakby obliczona na to, by przejąć jak najwięcej promieni słonecznych, do czego przyczynia się jeszcze ta okoliczność, że liście żywej rośliny odbywają ruchy takie, aby zwrócić się całą powierzchnią wprost ku światłu. Wielkość powierzchni liścia ma zresztą inne jeszcze znaczenie dla roślin: daje ona możność pomnożyć ilość szparek, przez które dochodzą do komórek chlorofilowych potrzebne do pożywienia gazy. Nie mniej 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 (fig. 6). Jest to oczywiście położenie, w którym jeden i ten sam promień światła może oddziaływać na jak największą ilość ziarek chlorofilowych, tak samo jak kula armatnia zabije najwięcej ludzi wtedy, gdy ci będą tworzyli szereg w kierunku jej lotu. Ale gdy światło jest zbyt słabe, w dzień pochmurny, zrana lub wieczorem, wszystkie fale przy takim ułożeniu byłyby przejęte przez pierwsze już ziarka, leżące zaś głębiej zostawałyby nieczynne. Aby zapobiedz temu, odbywa się przesuwanie ziarek chlorofilowych w tych komórkach: w słabem oświetleniu układają się one przy górnej, zwróconej do światła ścianie komórek, wystawiając jak największą powierzchnię na działanie promieni słonecznych. Ruchy ziarn chlorofilowych odbywają się w skutek przelewania się protoplazmy komórki, w której zanurzone są te utwory

¹⁾ Nasuwa to przypuszczenie, że ta część reakcyi powstawania krochmalu, którą obejmują dwa pierwsze, z wyżej przytoczonych zrównań, t. j. utworzenie cukru z kwasu węglowego i wody, odbywają się w zieleni ziarnka chlorofilowego; dalsza zaś przemiana cukru na krochmal — w jego masie protoplazmatycznej.

Zostawiliśmy dotąd bez odpowiedzi pytanie, co dzieje się z temi promieniami światła, które pochłania chlorofil? Teraz możemy zdać sobie sprawę z tego.

Przypomnijmy sobie, że światło jest ruchem eteru, że skoro światło znikło, to znaczy, że ruch ustał. Ciemne smugi w widmie pochłonięcia chlorofilu świadczą o tem, że drgania eteru pewnej prędkości znikły; ale te drgania przedstawiały pewną pracę, pewną energię; ta zaś, jak wiemy, nie może zniknąć. W co więc zamieniła się, dokąd poszła energia tych drgań? Poszła na to, ażeby atomom węgla, wodoru i tlenu nadać inne ugrupowanie niż miały w wodzie i kwasie węglowym; na to, aby rozrwać silne powinowactwa, wiążące je w tych stosunkowo prostszych związkach, aby je ugrupować inaczej, w cząsteczki bardziej skomplikowane cukru lub krochmalu. Wiemy, że cząsteczki takie zawierają więcej energii potencyalnej, więcej sił w napięciu niż cząsteczki kwasu węglowego i wody. Ta energia potencyalna powstaje z energii czynnej, zawartej w drganiach promieni słonecznych, tak samo, jak zamieniamy energię czynną na potencyalną podnosząc wodę do wysoko umieszczonego rezerwoaru, i dla tego same promienie znikają — na ich miejscu widzimy tylko ciemne smugi. Pośrednikiem w tej przemianie jest chlorofil.

Ażeby wyjaśnić jego rolę, przypomnijmy sobie znany powszechnie fakt, który nazywamy rezonansem. Wiadomo każdemu, że jeżeli nad otwartym fortepianem wyśpiewamy jakąkolwiek nutę, odpowiedzą na nią wszystkie te struny fortepianu, które ją zwykle wydają, które są do niej nastrojone. Tu drgania powietrza wprawiają w ruch współdźwięczne z sobą struny. Toż samo odbywa się pomiędzy światłem a chlorofilem: tylko zamiast powietrza mamy tu eter, zamiast strun—cząsteczki chemiczne chlorofilu. Ze wszystkich promieni składających światło białe, te których drgania współdźwięczne są z drganiami cząsteczek chlorofilu które są do nich dostrojone, wprawiają je w ruch, tak jak drgania powietrza wprawiają w ruch struny, t. j. oddając im prędkość swoją. Wystawmy sobie dalej, że struny fortepianu są połączone z jakimś mechanizmem, który wprawiają w ruch, a moglibyśmy otrzymać pracę przy każdym wykrzyknięciu nuty. Tak samo ciągłe vibracje eteru, pochodzące od słońca, zamieniają się w chlorofilu na energię tych związków (cukru lub krochmalu), które się w nim wytwarzają, nadając inne ugrupowanie atomom chemicznym, przerzucając je tak, jak się przerzucają ziarka piasku, leżące na desce fortepianu, gdy brzmią jego struny ¹⁾.

¹⁾ Zjawisko rezonansu nie ma w sobie nic tajemniczego: ruch fal powietrznych (albo w świetle—drgania eteru) udzielają się strunom (w naszym wypadku — cząstecz-

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; doświadczenie stwierdza to przypuszczenie, a można się najlepiej o tem przekonać za pomocą następującego doświadczenia, wykonanego przed paru laty przez Timiriaziewa.

Bierzemy liść, który przez długi pobyt w ciemności pozbawiony został krochmalu i rzucając na niego za pomocą pryzmatu widmo słoneczne. Po upływie pewnego czasu zanurzamy liść w mocnym spirytusie, aby oddalić z niego wszystką zieleń. Jeśli następnie osmarujemy go jodem, to niebieskie zabarwienie zaznaczy miejsca, w których nagromadził się krochmal. Miejsca te ściśle odpowiadają ciemnym smugom widma; otrzymamy na liściu jakby fotografię tego ostatniego. Krochmal więc powstaje najsamprzód pod wpływem tych promieni, które najsilniej pochłania chlorofil; najbardziej czynnymi są promienie, odpowiadające ciemnej smudze w barwie czerwonej.

Krochmal jest nie tylko składem materii organicznej, wytworzonej z nieorganicznych substancyj (kwasu węglowego i wody) i mogącej łatwo przemienić się w inne substancje roślinne — cukier, błonnik i t. d., ale zarazem przechowuje zapas energii, zapożyczoną od słońca, a przeprowadzonej w stan potencjalny przy pośrednictwie chlorofilu. Ponieważ wszelka materia organiczna w ogóle ma budowę bardziej skomplikowaną, niż nieorganiczna, wytworzenie jej więc wymaga pewnego zużycia energii czynnej, która w niej zostaje nagromadzona jako energia potencjalna. Dla tego też tylko rośliny zielone i tylko w obecności światła, mogą wytwarzać substancję organiczną z nieorganicznej. Grzyby i niektóre inne rośliny pozbawione zieleni muszą się

kom chemicznym). Może jednak powstać pytanie, dla czego tylko współdziałające struny odpowiadają na wykrzyknietą nutę? Odpowiedź polega na tem, że tu ruch mniejszej masy (powietrza) udziela się większej (strunie). Wyjaśnić to możemy następującym przykładem: wystawmy sobie człowieka, usiłującego rozkołysać bardzo ciężki dzwon. Siła jego jest prawie znikająca w obec masy dzwonu i gdyby próbował to zrobić jednym zamachem, lub szeregiem zamachów 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 popchnięcie, jakkolwiek słabe, wyprowadza jednak dzwon z położenia równowagi, każe mu odbywać bardzo nieznaczne wahania. Jeśli drugie, trzecie i t. d. pchnięcia będą nadane wtedy, kiedy dzwon odbywa wahania w tym samym kierunku (a więc zgodnie z rytmem dzwonu), będą się one dodawały do siebie i w końcu zwiększą zamach dzwonu do pożądanego 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.

żywić substancją organiczną, wyrobioną przez zielone rośliny, czerpiąc ją bądź z soków żywej rośliny, bądź ze szczątków umarłej.

W pierwszym wypadku nazywamy je *pasażystami*, w drugim — *roztocami*. Zwierzęta również nie mogą wyrabiać materij, wchodzących w skład ich ciała, z pierwiastków nieorganicznych. Żywią się one organiczną substancją, 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 substancji 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. Tłómaczy nam to, dla czego ilość kwasu węglowego w powietrzu nie ubywa, bez względu na ciągłą pracę niezliczonych liści 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 nas, że powstały one w skutek stopniowego zwęglenia substancji roślinnej olbrzymich lasów; węgiel zaś zawarty w tej substancji nie mógł pochodzić zkadınąd, tylko z kwasu węglowego powietrza. Pomijając ten niewielki wyjątek, powiedzieć możemy, że taż sama ilość węgla krąży ustawicznie w przyrodzie, dzięki uzupełniającej się nawzajem czynności roślin i zwierząt. Zobaczymy później, że i same rośliny oddają w postaci kwasu węglowego część węgla przyswojonego z powietrza; jest to tak zwane oddychanie roślin. Tłómaczy ono nam po części znikanie z liścia ziarek krochmalu w ciemności.

Żywiąc się wprost lub pośrednio substancją roślinną, zwierzęta nie tylko czerpią z niej materiał do zbudowania swego ciała, ale i tę 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 substancje organiczne utleniają się w krwi zwierząt. W tym krążeniu energii źródłem jej — a więc i źródłem 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 materji, do pierwotnego źródła swego.

ROZDZIAŁ III.

Co bierze roślina z ziemi?

a) *Organa chłonne i drogi wędrówki soków.*

Droga soków, idących z ziemi. — Korzeń; związek pomiędzy kształtem a czynnością. — Korzenie chłonne i włosniki. — Długość korzeni. — Korzeń rozpuszcza grunt. — Osmoza i jej prawa. — Zastosowanie do rośliny: 1) wybór substancyj z gruntu; 2) przewyżczenie absorbcyjnej siły gruntu; 3) przenoszenie się substancyj ku miejscu ich zużycia w roślinie; 4) wysiłekanie z włosników. — Wiązki naczyniowe. — Drewno i łyko. — Budowa wiązek u dwuliścieniowych. — Ich zakończenie w liściu. — Wiązki otwarte i zamknięte. — Jak idzie woda w drewnie? — Siły podnoszące wodę w roślinie: 1) ciśnienie korzenia; 2, siła ssąca liści. — Pocienie się roślin.

Widzieliśmy w poprzednim rozdziale, że w liściach wytwarza się substancja organiczna bezazotowa, nagromadzając się w nich tymczasowo w postaci ziarek krochmalu. Azot i siarka potrzebne dla wytworzenia białka, oraz inne ciała, wchodzące w skład rośliny jako jej substancja nieorganiczna, dostają się jak wiemy z ziemi przez korzenie, a więc naprzeciwległemu końcu rośliny. Aby wszystkie te ciała mogły wejść z sobą w zetknięcie, bez którego niemożliwe byłoby ich oddziaływanie wzajemne, powinno odbywać się przenoszenie substancji w roślinie. Dzieje się to przy pośrednictwie wiązek naczyniowych, które zaczynają się w najcieńszych korzonkach, przebiegają przez całą łodygę lub pień rośliny, aby się zakończyć w postaci najdrobniejszych rozgałęzień w liściach (żyłki liścia). Wiązkami temi wędruje cała masa wody, dostająca się do rośliny przez korzeń ku liściom, a w niej rozpuszczone idą i te ciała, o których wspominaliśmy. Zadaniem naszym teraz jest bliższe poznanie tych ciał, dróg któremi się one dostają do rośliny i wędrują po niej, sił poruszających tę, jak ujrzymy, kolosalną ilość wody, wreszcie przemian jakim te związki ulegają, zanim wejdą ostatecznie w skład ciała rośliny.

Przedewszystkiem przyjrzyjmy się organom, oraz sposobowi ich działania.

Zadaniem liścia jest nietylko jak najrozleglejsze zetknięcie się z powietrzem i zawartemi w niem gazami, ale i przejęcie jak największej ilości promieni świetlnych. Do osiągnięcia tego ostatniego celu najlepiej się nadaje kształt płaski liścia — promienie słoneczne bowiem padają z jakiegokolwiek jednej strony — a przyczyniają się do niego

w znacznym stopniu pewne ruchy liści, które poznamy w jednym z następnych rozdziałów. Dla tego też większość roślin ma liście płaskie ¹⁾.

Zadaniem korzenia jest jak najwszechstronniejsze znurtowanie tej części gruntu, którą zagarnia roślina jako siedzibę swoją, jak najzupełniejsze wyzyskanie jego sił pożywczych. Płaski kształt nie byłby tu na miejscu, gdyż korzeń ma do czynienia z gruntem, który we wszystkich kierunkach zawiera mniej więcej jednostajną ilość pożywienia. Przeciwnie—włóknisty kształt, oraz liczne rozgałęzienia, jakie spotyka-



Fig. 11.
Korzeń młodej roślinki pszenicy; dolne części
oblepione są cząsteczkami gruntu, przylegają-
cemi do włósników.

my w korzeniach roślin (fig. 11), jak najlepiej odpowiadają przeznaczeniu tych organów. Zwykle rozróżniamy *główny korzeń* (niekiedy bra-

¹⁾ Wyjątek stanowią przeważnie rośliny stref podzwrotnikowych, gdzie więcej grozi nadmiar, niż brak słońca, oraz niektóre stepowe; a te wyjątki tłumaczą się doskonale potrzebą roślin zabezpieczenia siebie od nadmiernego parowania, które jest tem większe, im większa wystawiona na światło powierzchnia liścia, o czem będzie mowa w końcu tego rozdziału.

kuje go całkiem, jak na fig. 11-ej), od którego idą boczne rozgałęzienia, dające od siebie cały szereg cienkich włóknistych korzonków (*korzenie chłonne*), które są gęsto obsadzone *włośnikami*, t. j. drobnymi, zaledwie widzialnymi gołym okiem włoskami, stanowiącemi właściwy organ wchłaniający rośliny. Morfologicznie włosniki są 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 włosniki są oblepione cząsteczkami gruntu,



Fig. 12.
Włosnik z przylegającymi do niego cząsteczkami gruntu.

a przy próbie usunięcia tych ostatnich odrywają się zwykle same włosniki. Okrywając korzenie w ogromnej ilości, włosniki zwiększają niezmiernie powierzchnię zetknięcia się korzenia z gruntem. O wielkości powierzchni, jaką posiada korzeń dzięki rozgałęzieniom swoim, oraz włosnikom, dają pojęcie następujące liczby: korzeń pszenicy jeśli zmierzmy wszystkie widzialne okiem rozgałęzienia dosięga długości 520 metrów. Ilość włosników możemy obliczyć jeśli policzymy pod mikroskopem, ile wypada ich na 1 mm. długości i pomnożymy przez długość korzenia. Otrzymalibyśmy liczbę 10,000,000. Obliczając według tego długość korzenia razem ze wszystkimi włosnikami, otrzymamy 20 kilometrów (przeszło 3 mile). Taką drogę przebiegają rozgałęzienia korzenia pszenicy w niewielkiej stosunkowo bryle ziemi. Oczywiście że

zauważają ją wszechstronnie. Czynność włośników nie polega tylko na wchłanianiu rozpuszczonych w wodzie gruntowej substancyj; nawet nierozpuszczalne w wodzie cząsteczki gruntu zostają przez włośnik obrośnięte (fig. 12), a następnie rozpuszczone za pomocą wysiłekających z niego cieczy. Działanie to korzeni, przyczyniające się nieraz do przedziurawienia i zniszczenia skał, uwydatnić można, nakładając na gładko polerowaną tafelkę marmurową warstwę ziemi i zasadzając w nią roślinę. Po upływie pewnego czasu, usunąwszy ziemię, zauważymy na marmurze rysunek, odpowiadający rozgałęzieniom korzenia; marmur został rozpuszczony w tych punktach, gdzie dotykał go korzeń.

Tak wsiąkanie do włośnika cieczy z gruntu, jako też wysiłekanie z niego ulega prawom fizycznym, które powinniśmy nieco bliżej poznać, tem bardziej, iż tłumaczą one niejedno zjawisko w roślinie.

Zjawisko, o którym chcę mówić, nazywa się *przesiakiem* czyli *osmozą*. Dla poznania jego może służyć prosty przyrząd, odrysowany na fig. 13-ej (dializator), składający się z mniejszego walca szklanego (np. słoika z odciętym dnem) *b*, zawiązanego u dołu pęcherzem lub pargaminem roślinnym ¹⁾. Walec ten zanurzony jest w większem naczyniu *n n* i połączony za pomocą korka z rurką *a*.

Jeżeli do zewnętrznego naczynia nalejemy czystej wody, do wewnętrznego zaś roztworu soli kuchennej (lub jakiej innej: saletry, alunu i t. d.), to po upływie pewnego czasu, próbując wodę w naczyniu, *nn* zauważymy, że część soli przeszła przez pęcherz do tego naczynia; natomiast część wody wsiąkała z naczynia zewnętrznego do wewnętrznego, tak iż roztwór soli w tem ostatniem stał się mniej mocnym. Ten podwójny prąd: wody, idący wewnątrz i roztworu soli na zewnątrz trwa dopóty, aż roztwór soli w obudwu naczyniach nie nabierze jednakowej mocy. Osmoza odbywa się tem energiczniej, im większa jest różnica stężenia roztworów po obu stronach dzielącej je błony; w miarę zaś jak różnica ta zmniejsza się, słabnie też i prąd osmotyczny, tak iż w rzeczywistości zupełne zrównanie stężenia w obudwu naczyniach mogłoby nastąpić tylko po upływie nieskończonego czasu. Równość ta jest idealną granicą, która faktycznie nigdy się nie osiąga.

Jest jeszcze druga okoliczność, którą łatwo dostrzeżemy, robiąc doświadczenie z dializatorem. Oto zauważymy, że poziom cieczy w naczyniu wewnętrznym stopniowo się podnosi: ciecz staje coraz wyżej w rurce *a*.

¹⁾ Pargamin roślinny otrzymują zanurzając na krótki czas papier w kwasie siarczanym, następnie starannie go wymywając. Nabiera przez to papier własności, przypominające własności pargaminu, z kąd pochodzi jego nazwa. Używają go w handlu do zawijania herbaty, masła i t. p.

Wnosimy ztąd, że woda prędzej wsiąka do wewnętrznego naczynia, niż wsiąka z niego roztwór soli. Rozmaite ciała niejednakowo prędko wsiąkają przez błony organiczne; cukier i niektóre inne związki organiczne wsiąkają trudniej niż sole. Istnieje zaś cała klasa związków, które nazywamy *koloidami* (t. j. podobnemi do kleju, ponieważ

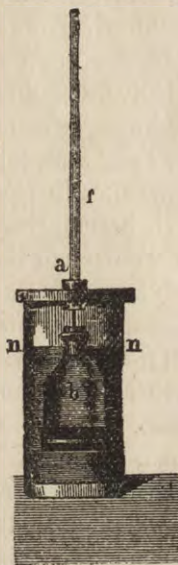


Fig. 13.
Dializator.

roztwory ich są gęste, podobne do kleju), jak guma arabska, białko, krochmal, żelatyna, które wcale nie są zdolne wsiąkać przez błony organiczne, co tłumaczymy sobie znaczną wielkością ich cząsteczek chemicznych w porównaniu z porami tych błon. Jeśli więc naczynie wewnętrzne będzie zawierało jedno z takich ciał koloidowych, to prąd będzie odbywał się tylko w jednym kierunku: woda będzie wsiąkała do tego naczynia, dążąc do coraz większego rozcieńczenia zawartego w niem roztworu, ale roztwór ten nie będzie wsiąkał na zewnątrz. A ponieważ przytem podniesie się znacznie poziom cieczy w naczyniu wewnętrznym, więc ciecz ta będzie wywierała na jego ścianki pewne ciśnienie, które nazywamy ciśnieniem osmotycznym.

Na podstawie praw osmozy możemy sobie wytłumaczyć cały szereg pozornie bardzo dziwnych zjawisk, odbywających się w roślinie.

W gruncie znajdują się zwykle najrozmaitsze substancje mineralne i w rozmaitej proporcji; jeżeli jednak zrobimy analizę chemiczną po-

popiołu jakiegokolwiek rośliny, przekonamy się, że nie wszystkie związki, jakie były w gruncie, weszły w skład rośliny, a te które weszły, nie znajdują się w tej proporcji 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 zastępować drugie (np. potas zastępuje wapień przy przeniesieniu rośliny z gruntu wapiennego na gliniasty). Innemi słowy roślina robi wybór z zawartych w gruncie substancyj, 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 dość 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,

Łatwo sobie wytłómaczyć to zjawisko. Zobaczymy naprzykład, że w roślinie saletra się *zużywa*, t. j. zamienia się na inne związki. Saletra jest połączeniem metalu potasu z kwasem azotnym; pod wpływem znajdujących się w roślinie kwasów organicznych saletra rozkłada się; potas łączy się z temi kwasami, zaś kwas azotny uwalnia się, aby uleść następnie dalszym przemianom. Otóż ilekolwiek bądź saletry przeniknie do rośliny z gruntu, zawsze ilość ta zostanie rozłożoną i prąd roztworu saletrzanego będzie wciąż się odbywał do rośliny, 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 choć saletra się rozkłada, pierwiastek ten, w innych już związkach, zostaje w roślinie. Przeciwnie, jakaśkolwiek 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 nieznaczną.

Prawa osmozy tłómaczą nam również dla czego 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 absorbcyjną siłę gruntu. Przypomnijmy tylko wypadek, gdy w dializatorze znajduje się ciecz nie mogąca wsiąkać; wtedy prąd osmotyczny odbywa się wciąż w jednym kierunku. W komórkach rośliny zawsze są rozmaite substancje, mogące spowodować podobne zjawisko, a jak zobaczymy później, należy do nich i cukier, który jakkolwiek przesiąka przez błony komórkowe, nie może je-

dnak przejść przez warstwę żywej protoplazmy, otaczającej wnętrze komórek.

Z tych samych praw wynika, że każda substancja w roślinie będzie wędrowała ku miejscu swego zużycia. Wystawmy sobie szereg komórek (fig. 14) i przypuśćmy, że jakieś ciało (np. saletra) dostaje się z zewnątrz do komórki *a*, ulega zaś rozkładowi w komórce *x*. W tej ostatniej więc będzie jej zawsze najmniej, w komórce zaś *a* najwięcej, (bo tu ona ciągle przybywa); ponieważ zaś błony, oddzielające komórki, zachowują się zupełnie tak samo jak pęcherz w opisanym wyżej dializatorze, więc prąd saletry będzie się wciąż odbywał od komórki *a* ku komórce *x*, t. j. od miejsca bardziej stężonego roztworu ku miejscu,

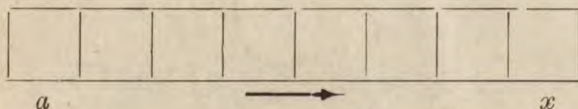


Fig. 14.

gdzie jest on najbardziej rozcieńczony. Odwrotnie: jakaś substancja nagromadzona w znacznej ilości we włośniku, a łatwo przechodząca przez błony, będzie z niego wysiadała do gruntu, gdzie jej nie ma wcale lub jest mniej. W ten sposób wysiadają naprzykład kwasy organiczne, które w wyżej opisanem doświadczeniu rozpuszczały marmur, a w przyrodzie rozjadają nierozpuszczalne w wodzie cząsteczki gruntu.

Gdyby jednak w naszych wielkich drzewach wędrowka wchłoniętych przez włośniki substancyj odbywała się taką drogą, z komórki do komórki, przyływ nie mógłby zadość uczynić potrzebom przeróbki; czynność bowiem osmozy jest nadzwyczaj powolna. Jakoż do przenoszenia soków, wchłoniętych przez korzeń, posiada roślina osobny układ organów, o którym wspominaliśmy już pobieżnie, jako o wiązkach naczyniowych. Wiązki te zaczynają się w najcieńszych korzeniach okrytych włośnikami i przebiegają w ich środku, tak że tylko warstwy komórek, oddzielające włośnik od tych wiązek (mięszs czyli tkankę zasadniczą) przebywają soki drogą osmozy. Dalszy ruch po wiązkach naczyniowych odbywa się według innych praw fizycznych; aby jednak zrozumieć mechanizm tego ruchu, powinniśmy przedewszystkiem poznać bliżej budowę pośredniczących w nim organów. Drewno, które jest drogą podnoszących się z korzenia soków roślinnych, stanowi tylko część wiązek naczyniowych, a najlepiej wyjaśnimy sobie ich budowę, gdy weźmiemy jakąkolwiek bardzo młodą gałązkę drzewa lub łądygę ziela.

Jeśli zrobimy przekrój poprzeczny w pobliżu końcowego pączka gałązki, zauważymy, badając go pod mikroskopem, że wśród jednolitych

większych komórek miąższu, znajdują się gromadki, wyodrębniające się wielkością i grubością ścianek. Są to wiązki naczyniowe, jedną z których widzimy na fig. 15-ej. Każda z nich jest przedłużeniem głównego nerwu liścia, a niżej zlewa się z całą masą drewna, jak to natychmiast ujrzymy. Wiązki te składają się z dwóch części: *drzewnej* (od *a* do *e*) i *łykowej* (*f* *g*). Rozróżnienie to polega na chemicznej własności ścianek utworów komórkowych, składających każdą z tych części. Jeśli na pre-

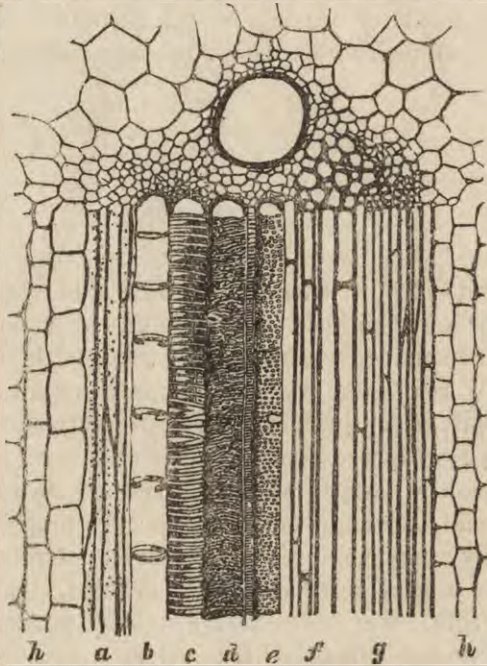


Fig. 15.

Wiązka naczyniowa rośliny jednoliściennej. Górna część rysunku przedstawia przekrój poprzeczny, dolną podłużny
h h—tkanka zasadnicza otaczająca wiązkę; *a*—włókna drzewne; *b, c, d, e*, naczynia drzewne; *f*—rurki sitowe; *g*—włókna łykowe.

parat nasz puścimy kroplę jodyny, a następnie dodamy trochę mocnego kwasu siarczanego, to komórki łykowej części, również jak i otaczającego wiązkę miąższu, zabarwią się w najrozmaitsze odcienie niebieskiego i fioletowego koloru; komórki zaś drzewnej części przyjmą barwę żółto-brunatną. Pierwsze zabarwienie jest charakterystycznym dla błonnika; świadczy ono, że w części łykowej błony zachowały te same własności, które mają w młodych komórkach, w komórkach miąższu i t. d. Zabarwienie żółto-brunatne wykazuje chemiczną zmianę błony,

którą nazywamy zdrzewnieniem; w skutek zmiany tej, nabierają one znacznej sztywności, jak to widzimy na rozmaitych gatunkach drzew.

Drzewna część wiązki składa się z pierwiastków trojakich. Najbardziej widzimy w niej długie i cienkie rurki czyli *naczynia* o rozmaicie rzeźbionych ściankach (*b, c, d, e*); od kształtu urzeźbienia nadajemy im rozmaite nazwy (obrączkowe — *b*, węzownicowe — *c*, drabinkowa-



Fig. 16

Zakończenie wiązek naczyniowych w liściu. *fv* - końcowe rozgałęzienia wiązek naczyniowych, tworzących delikatną siateczkę — *s* komórki miąższu chlorofilowego, przeświecające przez naskórek; niezacieniowane są komórki naskórka, wśród których *s t* - szparki; *h* - włoszek złożony z kilku komórek; na lewo włoszek innego kształtu; *K* - kryształy szczawianu wapnia, które wypadły z komórek miąższu, podczas przecinania.

te — *d*, kropkowane — *e*). Rurki te powstają przez zlanie się szeregu komórek, przyczem błony ich boczne dostają zgrubienia, stanowiące rzeźbę, poprzeczne zaś zostają wchłonięte (na rysunku widać w *e* ślady wchłoniętych poprzecznych błon). Oprócz naczyń widzimy na rysunku *włókna drzewne* (*a*) — są to wydłużone komórki, o zgrubiałych i zdrzewniałych błonach, pozbawione zawartości tak samo jak naczynia. Trzeci pierwiastek stanowi *miąższ drzewny*, którego nie widzimy na rys. 11. Są to komórki co do kształtu podobne do tych jakie widzimy w *h*. Przeznaczenie ich jest zgoła inne, niż tylko co opisanych pierwiastków drzewnych, o niem wspomniemy w swoim czasie.

Część łykowa składa się z *rurek sitowych* (*f*), o budowie których wypadnie nam mówić w innym miejscu, oraz z *włókien łykowych* (*g*),

z wielu względów podobnych do drzewnych, a różniących się głównie tem, że mają niezdrewniałe błony. U dwuliścieniowych między *e* i *f* znajduje się jeszcze warstwa komórek (miazga), które się dzielą nieustannie.

W roślinach dwuliścieniowych wiązki są zwykle umieszczone w kółko i zwrócone drzewnymi częściami ku wnętrzu; część tkanki, zawarta wewnątrz pierścienia stanowi rdzeń. W miarę jak pęd staje się starszym, tkanka w przerwach pomiędzy pojedynczemi wiązkami zamienia się również na drewno i łyko: komórki tkanki zasadniczej, znajdującej się w tych przerwach, dzielą się; jedne wyrastają w naczynia i włókna drzewne, drugie w rurki sitowe i włókna łykowe. Jeśli więc zrobimy przekrój nieco niżej, niż pierwszy, znajdziemy już jednolity pierścień (na przekroju — w rzeczywistości zaś walec wydrążony) drewna, a na zewnątrz takież łyka. Między niemi zostaje warstwa komórek (zwana *miazgą*), które dzieląc się nieustannie wytwarzają z jednej strony drewno, z drugiej łyko. Roczny przyrost drewna stanowi *słoje roczne*, dzięki którym drzewo grubieje stopniowo. Cała więc masa drzewna w pniu składa się ze zlanych z sobą wiązek naczyniowych, które przedłużają się dalej w gałęzie i gałązki, następnie przez ogonek liściowy wchodzi do liścia, przebiegają go jako nerw główny (widzimy go w przecięciu poprzecznym na fig. 6 w Nr. 20 r. z.), rozgałęziają się na drobne nerwy liści i nareszcie kończą się w postaci niewidzialnych dla oka rozgałęzień końcowych, złożonych z pojedynczych naczyń wężownicowych (fig. 16), pomiędzy komórkami miąższu chlorofilowego liścia.

Z drugiej znów strony ta masa drzewna wchodzi w korzeń, przebiega korzeń główny, rozgałęzia się w korzeniach bocznych, dochodzi aż do najcieńszych korzeni chłonnych, aby tam zbierać wchłonięte przez włosniki z gruntu soki, t. j. wodę, z rozpuszczonemi w niej mineralnemi częściami. Wiązki naczyniowe tak urządzone, nazywają się *otwartemi*, a charakterystyczną ich cechą jest to, że w skutek ciągłego dzielenia się komórek miążgi, rokrocznie przybywają nowe włókna i naczynia. Potrzebę tego wytworzenia nowych pierwiastków drzewnych zrozumiemy, jeśli przypomnimy sobie, ile nowych gałęzi i liści wyrasta corocznie. Każdy z liści musi być zaopatrzony w wiązkę naczyniową, któraby go łączyła z korzeniem, a dalszy ciąg tej wiązki stanowią przybywające w słojach rocznych naczynia. Inne rośliny mają inaczej urządzone wiązki naczyniowe. Nad szczegółami budowy takich nie potrzebujemy się zatrzymywać; dość jest zaznaczyć, że wiązki pozbawione miążgi jak u roślin jednoliścieniowych (i innych) nazywamy *zamkniętymi*. Te nie mogą rzeczywiście ani się zlewać, ani wzrastać na grubość; do każdego nowo utworzonego liścia wytwarza się w takim

razie (w roślinach jednoliścieniowych) nowa wiązka w tkance zasadniczej.

W prowadzeniu wody bierze udział jedynie drzewna część wiązek naczyniowych. Przekonywa o tem następujące doświadczenie: jeżeli obetniemy korę dookoła drzewa w postaci pierścienia, to drzewo nie zwiednie, jakkolwiek usuwamy przytem całe łyko. Takie przecięcie kory nie jest obojętnem dla drzewa, jak to się niżej pokaże, ale nie tamuje bynajmniej dopływu wody.

Powinniśmy teraz odpowiedzieć na pytania: jak przenosi się woda po wiązkach naczyniowych i jakie siły popychają ją ku górze?

Pierwsze z nich może się wydać zbyt cennym, bo skoro mamy szereg rurek, łączących korzenie z liśćmi, to zdaje się rzeczą nie potrzebującą dyskusji, że po tych rurkach, t. j. w ich wnętrzu, płynie woda. Jednakże są fakta, które, zdawało się, stanowczo przemawiały przeciwko temu najprostszemu przypuszczeniu; aż do ostatnich czasów więc sądzono, że nie we wnętrzu naczyń, a tylko po ich ściankach, również jak po ściankach włókien, przenosi się woda, sącząc się w nich tak jak oliwa w knocie. Dziś, jakkolwiek dyskusya nad tym przedmiotem nie jest jeszcze zamkniętą, większość fizyologów przechyla się do opinii przeciwnej, t. j. że drogą wznoszącej się wody są wnętrza rurek naczyniowych.

Główne fakta, które zdają się przeczyć 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. Pomimo to drzewo zostaje przy życiu i pobiera soki z ziemi.

2. Są rośliny (np. iglaste), których drewno wcale nie zawiera rurek naczyniowych, ale 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 napelnione jest powietrzem, gdzieniegdzie tylko przeciętem niewielkimi słupkami wody. Sądzono więc, że i w żyjącej roślinie zachowuje się ten sam stosunek. Otóż powietrze takie poprzecinane słupkami wodnymi (tak zwane „łańcuchy Jamina“), zawarte w bardzo cienkich (włoskowatych) rurkach okazuje ogromny opór przesuwaniu; potrzeba bardzo wielkiej siły ażeby je poruszyć z miejsca.

Doświadczenie pokazało jednak, że powietrze nie zawsze bywa w naczyniach; łańcuchy Jamina tworzą się dopiero po przecięciu rośliny, w skutek tego, że ciecz w rurkach naczyniowych zostaje pod zmniejszonym ciśnieniem—o przyczynie tego zjawiska będzie mowa za chwilę. Skoro więc przecinamy gałązkę, powietrze zewnętrzne dostaje

się do otwartych rurek; jeśli zegnijemy gałązkę i przetniemy ją pod ręką, ciśnienie powietrza wtłoczy rękę do naczyń rośliny i badając skrawek jej pod mikroskopem, zobaczymy słupki ręki w rurkach ¹⁾).

Co do dwóch innych faktów, wytłómaczenie ich polega na tem, że tak włókna jak i naczynia posiadają miejsca, w których błona jest bardzo cienka. Miejsca takie we włóknach mają kształt bądź punkcików (jak na fig. 4-ej), bądź kresiek i nazywają się *kropkami*; w naczyniach są to wszystkie niezgrubiałe miejsca ścianek. Badając przecięcia pod mikroskopem widzimy, że zawsze kropki jednego włókna odpowiadają kropkom sąsiedniego. To samo stosuje się i do naczyń. Należy przypuszczać, że woda może z łatwością przesiąkać przez te cienkie miejsca i przenosić się w poprzecznym kierunku w drewnie. Słup więc wody przenoszącej się w pniu drzewa stanowi jakby jedną całość. We włóknach drzew iglastych (których drewno pozbawione jest naczyń), widzimy też osobne przystosowanie, ułatwiające przenoszenie się wody z włókna do włókna.

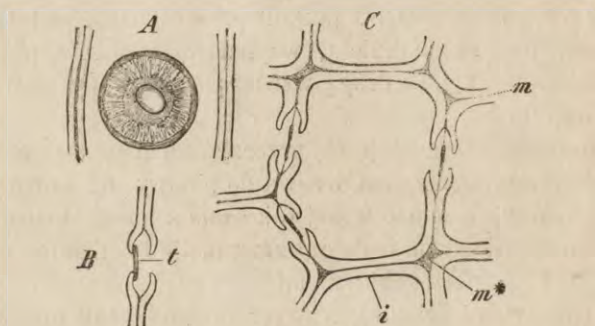


Fig. 17.
Kropka obwódkowa włókna drzewnego sosny A—z góry;
B i C w przecięciu poprzecznym; t—krążek.

Są to tak zwane *kropki obwódkowe* (fig. 17), które prawdopodobnie służą zarazem i za regulatory prądu wody, pełniąc czynność klap.

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 kropki, zawieszona w rurkach na pewnej wysokości, nie cisną na leżące pod nimi. Siły więc, podnoszące wodę w roślinie, mają do przewyciężenia nie cały ciężar słupa wodnego, licząc od ziemi, ale tylko opór ścianek. Trudność, jaką nasuwały słupki Jamina, wypływała ztąd, że myślano dawniej wytłómaczyć 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.

Cienka błonka tych kropek posiada zgrubienie w środku (*krażek-t*). Gdy błonka ta zajmuje takie położenie, jak na rys. *C*, woda może łatwo przesiąkać przez jej cienką część; lecz skoro błonka zostanie przyciśnięta ku jednej stronie, jak na rys. *B*, krażek zaciska otwór i utrudnia sączenie się wody.

Rozróżniamy dwie siły, poruszające wodę w roślinie: ciśnienie korzeniowe i ssącą siłę liści.

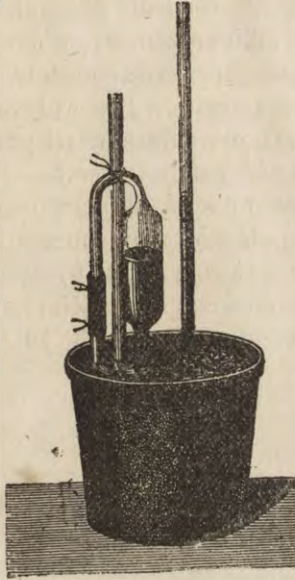


Fig. 18.
Manometr przymocowany do korzenia
dla wykazania ciśnienia korzeniowego.

Jeśli zetniemy łodygę jakiegokolwiek rośliny i na pozostający w ziemi korzeń nasadzimy szczelnie rurkę szklaną, zauważymy, że po upływie pewnego czasu rurka napełni się cieczą, wyciśniętą przez korzeń. Można zmierzyć wielkość tego ciśnienia, jeżeli zamiast rurki przymocujemy do korzenia przyrząd, przedstawiony na fig. 18-iej (manometr). Składa się on z rurki rozszerzonej w jednym miejscu i napełnionej rtęcią. Sok wypływający z korzenia wyciska rtęć z rozszerzenia, a różnica poziomów rtęci w obu kolanach wykaże wielkość ciśnienia w milimetrach słupa rtęciowego, tak jak ją zwykle przedstawiają fizycy. Możemy z łatwością obliczyć ją w atmosferach, jeśli będziemy pamiętali, że ciśnienie jednej atmosfery równe jest ciśnieniu słupa rtęci na 760 milimetrów wysokiego. Ciśnienie korzeniowe dosięga

znacznych wielkości. Według spostrzeżeń Neubauera może ono u winogron dochodzić do 112 centymetrów, czyli niewiele mniej od 2-ch atmosfer. Zwykle bywa jednak nierównie mniejsze. U rozmaitych roślin jest ono rozmaite i zmienia się zależnie od pory dnia. Jeżeli przypomniemy sobie, że ciśnienie jednej atmosfery może podnieść słup wody na wysokość blisko 10-u metrów, to okaże się, że samo ciśnienie korzeniowe może podnieść soki roślinne do znacznej wysokości.

Co do przyczyny ciśnienia korzeniowego, to źródła jego niezawodnie szukać należy w ciśnieniu włośników. Mamy tu zjawisko podobne do tego, jakie przedstawia fig. 13. Ciecz wchłonięta przez włośniki zostaje pod silnem ciśnieniem (w skutek przewagi prądu wsiąkającego nad wysiłekającym). Pod wpływem tego ciśnienia wtlacza się ona przez komórki, otaczające wiązkę naczyniową, do naczyń z siłą, której miarę wykazał nam manometr.

Drugą siłę czynną w tej sprawie ujawnić można na świeżo ściętej gałązce rośliny. Jeżeli gałązkę taką zanurzymy przecięciem do wody i wyjmemy natychmiast, zauważymy, że wisząca na końcu gałązki kropla wody po chwili zostanie wciągnięta. Miarę siły ssącej da nam również manometr, tylko inaczej urządzony (fig. 19). Mamy tu znowuż rurkę



Fig. 19.
Manometr do wykazania ssącej siły liści.

zgiętą z rtęcią. Do jednego z kolan wstawia się za pomocą szczelnego korka kauczukowego świeżo ściętą gałązkę. Różnica poziomów rtęci

pokaże o ile rozrzedzone jest powietrze w kolanie *a*. Różnica ta dochodzi do 30 cm. i więcej, t. j. rozrzedzenie powietrza w skutek ssącej siły liści dochodzi do $\frac{1}{2}$ atmosfery lub więcej. Przyczyną tego zjawiska jest tak zwane *pocenie się* roślin, czyli *wyziewanie* 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 olbrzymią powierzchnię parującą posiadają liście, zrozumimy 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.

Ciśnienie korzenia działa więc jak pompa tłocząca; wyziewanie korony — jak pompa ssąca.

Pocenie jest w ścisłej zależności od suchości powietrza, od temperatury i wiatrów, ruch bowiem powietrza, jak wiadomo, przyspiesza parowanie; prócz tego światło wywiera ogromny wpływ na pocenie i, jak pokazują nowsze badania, zjawisko to jest w pewnym związku z czynnością ciał chlorofilowych. Wyziewanie jest tem mniejsze, im silniejsze przyswajanie; jeżeli zatruc ciała chlorofilowe eterem, przestają one przyswajać, a jednocześnie zwiększa się pocenie. Takież skutek wywiera umieszczenie rośliny w atmosferze, pozbawionej kwasu węglowego. Oczywiście że 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 i t. p.) 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 nadszórka (por. R. I).

Komórki więc liścia możemy porównać do parownic, w których stężeją woda morska, aby dobyć z niej sól. Bardzo rozcieńczone roztwory, przybywające z gruntu przez wiązki naczyńniowe, zgęszczają się w nich w skutek pocenia liścia; woda, która służyła tylko jako środek rozpuszczenia i doprowadzenia rozmaitych substancyj do miejsca ich przeznaczenia, wydała się w postaci pary, nietolne zaś ciała mineralne

¹⁾ Należą tu: znaczna grubość nadszórka (por. R. I), oraz nasiąknięcie tego ostatniego substancjami 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 liściem).

nagromadzają się w liściu, gdzie ulegają dalszym przeróbkom. Jakie są te ciała i jakim przeróbkom ulegają, to stanowić będzie przedmiot następującego rozdziału.

ROZDZIAŁ IV.

C o b i e r z e r o ś l i n a z z i e m i ?

b) *Grunt i odbywające się w nim sprawy.*

Sposób powstania i skład gruntu; piasek, glina, wapień, próchnica. — Jego własności chemiczne i fizyczne; utrzymywanie wilgoci; ciała rozpuszczone w wodzie gruntowej; *absorbeyca*. — Jakie związki azotu znajdują się w gruncie? — Z jakich korzysta roślina? —

Nitryfikacya. — Działanie powietrza na grunt. — Organizmy nitryfikacyjne.

Skład powietrza odżywiającego liść jest prosty i wszędzie jednakowy; grunt, z którego czerpie soki korzeń ma prawie w każdym miejscu odmienną budowę i inny skład. Poznanie własności gruntu, oraz spraw odbywających się w nim, a stanowiących niejako przygotowanie odpowiedniego dla rośliny pożywienia, koniecznem jest dla zrozumienia jej życia, a ważnem jest szczególnie dla ogrodnika i rolnika. Uprawa gruntu bowiem nie jest czem innym, tylko wytworzeniem warunków, ułatwiających naturalnie odbywające się w nim, a potrzebne dla rośliny przemiany lub też dodaniem brakujących w naturze składowych części (nawozy).

To co nazywamy gruntem, stanowi mniej lub więcej grubą warstwę, powstającą przez wietrzenie skał, t. j. rozkład wchodzących w ich skład minerałów, pod wpływem kwasu węglanego, wilgoci i powietrza, któremu towarzyszy 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 zdalny jest do uprawy i może wydać bujną roślinność, gdy piasek zawiera pewną domieszkę nierównie drobniejszych cząstek gliny. Gлина albo powstaje na miejscu przez wietrzenie tych samych minerałów i skał (przeważnie feldspatu i granitów), z których powstał piasek, lub też bywa przyniesiona prądem wody, tak samo jak piasek. Obok tego zawiera gleba okruszyny rozmaitych innych minerałów; jeżeli są to cząstki wa-

pienne, nazywamy grunt stosownie do ilości wapna marglowym, marglem lub wapiennym marglem (od 50 do 90% wapna).

Obok tych mineralnych części, zawiera ziemia żyzna mniejszą lub większą ilość substancji organicznej, nadającej jej szarą lub czarną barwę, jest to tak zw. *próchnica* (*humus*). Próchnica tworzy się przeważnie z pozostających w gruncie szczątków 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 szczególnie (przez Karola Darwina) wpływ glist ziemnych na wytworzenie próchnicy (*czarnoziemu*); części roślin rozdrobione przez żucie i chemicznie zmienione w przewodzie pokarmowym tych robaków zamieniają się rychło w próchnicę. Najbogatsze w nią są grunta bagniste i torfowe. W skład próchnicy wchodzi 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 substancją porowatą, zdolną do nasiąkania wodą. Woda, zapełniająca przestwory między ziarkami piasku i gliny, utrzymuje się w glebie przez siłę przyciągania, którą wywiera powierzchnia tych ziarek (*przyleganie*); każde takie ziarko otoczone jest warstewką wody, a im drobniejsze cząstki gruntu, tem większą stosunkowo powierzchnię mają ziarka i tem więcej wody może utrzymać ziemia. Siła przylegania wstrzymuje wodę zarówno od przesiąkania jej w głąb — w niższe warstwy, do których już nie sięgają korzenie roślin, jako też i od parowania. Gruby żwir lub piasek już w krótkim czasie po deszczu wysychają, bo woda nie trzyma się w nich tak uporczywie, po części wsiąkając głębiej, po części ulatniając się. Przeciwnie ziemia żyzna, chociaż wydaje się niekiedy zupełnie suchą, zawiera jeszcze dosyć wilgoci, ażeby żyć rośliny; przestwory między cząsteczkami gruntu są tu drobniejsze, powierzchnia większa, a siła przylegania skuteczniej przeciwdziała osuszającemu wpływowi słońca i powietrza. Tę właśnie chłonną siłę gruntu przewyciężyć powinny włósniki korzeni, aby odebrać glebie wodę, którą niełatwo oddaje pod wpływem ciepła słonecznego, a wiemy już, że dzieje się to drogą osmozy.

Woda, zapełniająca przestwory między cząsteczkami gruntu, zawiera rozpuszczone w sobie, pochodzące z tegoż gruntu rozmaite ciała, a cała masa wody, przepływająca w ciągu lata przez roślinę, ma jak wiemy, za główne zadanie, doprowadzenie tych rozpuszczonych w wodzie substancji do liści, gdzie pozostają one aby uleść przeróbce,

woda zaś, która służyła jako środek ich przeniesienia, ułatwia się przez szparki (pocenie się roślin).

Skład więc chemiczny rozpuszczonych w gruntowej wodzie ciał ma główne znaczenie dla życia rośliny, a mogą nimi być rzeczywiście tylko te, które zawarte są w glebie. Woda bowiem deszczowa jest prawie zupełnie czysta; oprócz nieznacznych ilości gazów z powietrza, nie zawiera ona żadnych ciał rozpuszczonych. Wchodzi tu jednak w grę, oprócz chemicznego składu samego gruntu, inny czynnik—zdolność wyborowa roli czyli *absorbeyca*.

To, co chemicy nazywają solą, jest związkiem jakiegokolwiek kwasu z zasadą, t. j. utlenionym (połączonym z tlenem) metalem. Tak saletra zwyczajna jest wynikiem działania kwasu azotowego na tlenek metalu potasu (ług potasowy)¹⁾; każda więc sól zawiera jakiś metal. Jeśli ziemię z roli polewać będziemy roztworem rozmaitych soli, zauważymy, że po przejściu przez warstwę ziemi skład zawartych w wodzie soli ulegnie zmianie. Gdy do doświadczenia wzięte były sole potasowe lub amoniakalne²⁾ kwasów azotowego, siarczanego lub solnego, to woda spływająca zawiera przeważnie wapienne, a po części magnezowe sole tych samych kwasów i tylko nieznaczne ilości wziętych do doświadczenia potasowych i amonowych. Grunt więc zatrzymuje jedne zasady z przepływających przezeń w roztworze soli, oddając na ich miejsce inne. W ten sam sposób zatrzymuje grunt oprócz zasad i kwas fosforny. Ten kwas również jak i zasady pochłaniane przez grunt, jak się niżej pokaże, należą do najważniejszych dla roślin. Gleba więc posiada zdolność nagromadzania potrzebnych dla rośliny, a mało stosunkowo rozpowszechnionych w naturze związków.

Zjawisko absorbeyi tłómaczy się chemicznymi przemianami, zachodzącymi 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 (wapien) w zamian za te, które były w wodzie (amoniak i potas).

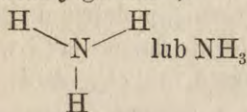
Według najnowszych badań jednak (Berthelot i André) własność utrzymywania potasu zależy od kwasu huminowego, który tworzy z nim sól nierozpuszczalną.

¹⁾ Ścisłejsze określenie soli według nowoczesnych poglądów chemicznych jest nieco odmienne: sól jest kwasem, w którym zamiast wodoru stanął metal, kwas zaś jest związkiem, zawierającym wodor, dający się zastąpić przez metale.

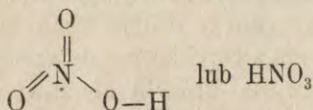
²⁾ Amoniak nie jest metalem, lecz związkiem jednego atomu azotu z trzema wodoru (NH_3); ale związek ten występuje w stosunku do kwasów tak jak metal i daje z nimi sole.

Obok zdolności nagromadzania w sobie pewnych substancyj, 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.

Najważniejszym pierwiastkiem, który roślina bierze z gruntu jest azot. Azot tworzy rozmaite związki z innymi pierwiastkami, z pomiędzy których 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⁾:



Kwas azotny jest połączeniem tlenowym azotu, zawierającym tylko jeden atom wodoru, który nie jest wprost połączony z azotem, ale przez pośrednictwo atomu tlenu:



Atom ten może być zastąpiony przez metale i wtedy właśnie otrzymujemy sole, np. saletrę przedstawić można tak:

$$\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{O}=\text{N}-\text{O}-\text{K} \end{array} \quad (\text{K}=\text{potas}); \text{ innymi słowy jest to kwas azotny, w którym zamiast wodoru stoi metal potas.}$$

Rośliny korzystają jeśli nie wyłącznie, to przynajmniej przeważnie z tego azotu, który zawarty jest w gruncie w postaci kwasu azotnego, t. j. saletry lub wapiennej soli tego kwasu. Przekonywają o tem tak zwane hodowle sztuczne, któremi się posługują w ogóle botanicy, aby ocenić znaczenie pojedynczych składowych części gruntu dla życia rośliny.

W tym celu bierze się czystą wodę (destylowaną); i dodają się do niej te sole, które—jak wykazuje poprzednio dokonana analiza—wchodzą w skład popiołu roślin w ilości, nie przewyższającej 1-ej części na 2000 części wody. W taki bardzo rozcieńczony roztwór, służący do żywienia rośliny, zanurzamy korzonek kiełkującego nasienia,

¹⁾ Przypominamy, że litera N znaczy atom azotu, H—wodoru, O—tlenu.

którego kielek przepuszczamy przez otwór w nakrywce słoika z cieczą pożywną. W takich warunkach, jeśli sole potrzebne do żywienia rośliny są odpowiednio dobrane, rozwinięta ona również dobrze jak w ziemi. Jeśli zaś będziemy usuwać to jedną to drugą ze składowych części roztworu, zmiany, zachodzące w roślinie, pozwolą nam odróżnić niezbędne dla jej życia sole, od tych, bez których może się rozwijać pomysłnie.

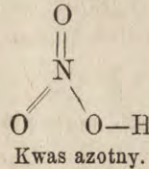
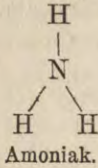
Ogrodnikowi lub rolnikowi, sądzącemu według praktyki swojej, łatwo nasuwa się myśl, że głównem pożywieniem rośliny w gruncie jest substancja organiczna, którą nazwalibyśmy próchnicą. Doświadczenie jednak przekonywa o mylności podobnego przypuszczenia: możemy poddać czarną ziemię żarzeniu, przez co spalimy w niej całą substancję organiczną; otrzymamy białą ziemię, podobną do piasku, w której jednak rośliny mogą się rozwijać równie dobrze jak i w nieprzepsalanej. Niesłusznem byłoby atoli wnosić ztąd, jakoby substancja organiczna gruntu była zupełnie nieużyteczną; zobaczymy niebawem, że jest ona kapitałem zapasowym azotu, którego część rokrocznie przechodzi w inną formę, zdatną do przyswojenia. Doświadczenie atoli przekonywa, że nie tylko substancja organiczna gruntu nie jest niezbędną dla utrzymania przy życiu rośliny, ale że roślina wcale nie może się posługiwać nią dla zadośćuczynienia swojej potrzebie azotu. Jeżeli do hodowli sztucznej weźmiemy roztworu, któryby nie zawierał tego pierwiastku w innej formie, tylko w postaci związków azotowych organicznych (np. mocznika lub innych t. zw. amidów, które bliżej poznamy niebawem), to roślina bardzo prędko przestaje w nim rosnąć, mianowicie skoro tylko wyczerpie cały zapas substancji azotowych, zawartych w nasieniu. Przeciwnie, biorąc zamiast związków azotowych organicznych saletrę lub sól wapienną kwasu azotowego, otrzymamy bujnie rozwiniętą roślinę. Jeżeli roztwór zawiera azot w postaci jakiegokolwiek soli amoniakalnej, roślina rozwija się również, ale wcale nie tak bujnie, jak przy zastosowaniu saletry.

Wnosimy ztąd, że najzdatniejszą formą do przyswajania azotu jest saletra lub w ogóle sole kwasu azotowego.

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. Przyroda w ekonomii swojej zapobiega takiemu trwonieniu nieocenionych dla roślin substancji przez to, że wytwarzają się one w gruncie wciąż w niewielkiej ilości i w miarę wytworzenia zostają przez rośliny zużytkowane. Materyałem, do utworzenia kwasu azotowego w gruncie jest owa substancja organiczna,

którą nazwaliśmy kapitałem zapasowym gruntu, a sprawa przemiany jej w sole kwasu azotnego, nazywa się *nitryfikacją*.

Azot w substancjach organicznych znajduje się przeważnie w związkach, zbliżonych budową swoją do amoniaku, a przy rozkładzie tych ciał wydziela się w postaci amoniaku. Jeżeli przypomnimy sobie wzory amoniaku i kwasu azotnego:



widzimy, że dla przejścia od jednego do drugiego powinniśmy oderwać od atomu azotu wszystkie trzy atomy wodoru i zastąpić je atomami tlenu. Taka sprawa nazywa się utlenieniem. Nitryfikacja jest więc odbywającą się w gruncie sprawą utlenienia, do której tlenu dostarcza powietrze.

Analiza powietrza zamkniętego w naczyniu, zawierającym wilgotny czarnoziem (Wolf) wykazała, że ziemia pochłania tlen i wydziela kwas węglowy ¹⁾ (t. j. oprócz azotu utlenia się i węgiel), ale nie wydziela azotu wolnego. Cały więc azot substancji organicznej gruntu, przemienia się na kwas azotny, węgiel zaś powraca do powietrza w postaci kwasu węglowego. Doświadczenia (Schlössinga) wykazały jednak, że przy niedostatecznym przyplywie tlenu, nie tylko przerywa się utlenianie zawartego w gruncie amoniaku na kwas azotny, ale odwrotnie ten ostatni zostaje odtleniony na amoniak, głównie zaś na azot wolny, który ulatnia się w powietrze i zostaje bezpowrotnie stracony dla gruntu. Spostrzeżenie to wykazuje, że przeorywanie lub w ogóle 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.

Nowsze badania (Schlössinga i Müntza) wykazały, że sprawa nitryfikacji zależną jest od obecności pewnych niższych organizmów, pełniących rolę fermentów, t. j. taką, jaką pełnią drożdże przy fermentacji piwa lub bakterye, powodujące choroby.

Ziemia *sterylizowana*, t. j. poddana wysokiej temperaturze dla zabicia tych organizmów, a zabezpieczona od ich rozmnożenia się ponownego, nie przemienia amoniaku na kwas azotny, dość jednak wszcze-

¹⁾ Wodor zawarty w amoniaku utlenia się na wodę.

pić w taką ziemię organizmy nitryfikacyjne, przez dodanie świeżego czarnoziemiu, a szybko rozmnażają się one i prowadzą swoją sprawę utleniania. Taki sam wpływ tamujący nitryfikacją wywierały szkodliwe dla niższych organizmów substancje, np. para chloroformu, kwas karbolowy i t. d. Wreszcie Frankland, a głównie Winogradsky wydzielili te organizmy, które należą do dwóch gatunków: jedne są monadami, drugie lasecznikami: jedne z nich przemieniają amoniak na kwas

azotawy, mniej niż azotny utleniony ($\text{NHO}_2 = \overset{\text{O}}{\parallel} \text{N} - \text{OH}$ kwas azotowy), drugie doprowadzają utlenienie do końca.

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 nawet przypuszcza, że pokłady saletry chilijskiej, którą przywożą do Europy jako nawóz sztuczny, zawdzięczają swoje istnienie tym monadom.

Czynność organizmów nitryfikacyjnych przemienia więc zawarty w postaci niedogodnej do przyswojenia azot organicznej substancji gruntu, w najwłaściwszą ku temu formę—kwas azotny. Gdyby jednak tylko resztki dawnych roślin (t. j. próchnica) służyły za materiał do wytworzenia nowych, cała ilość substancji 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 użyźniające ziemię (t. zw. nawozy zielone) należą do rzędu strąkowatych (lubin, groch, wyka i t. d.).

Zanim jednak poznamy bliżej ten sposób wzbogacania gruntu w azot, powinniśmy wysledzić dalszy los azotu w zwykłych roślinach, t. j. takich, które go czerpią wyłącznie z ziemi.

ROZDZIAŁ V.

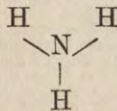
Co bierze roślina z ziemi?

c) Przystawianie azotu i innych pierwiastków z gruntu.

Amidy i udział ich w syntezie białka. — Prawdopodobny przebieg tej reakcji. — Gdzie tworzą się ciała białkowane. — Uboczne produkta powstające przy tem. — Kwas szczawowy i jego znaczenie. — Przystawianie azotu z powietrza. — Rola bakteryj i organizmów mikroskopowych w tej sprawie. — Krążenie azotu w przyrodzie. — Inne pierwiastki pochodzące z gleby: fosfor, siarka, potas, wapień, żelazo, chlor, magnezjum i krzem.

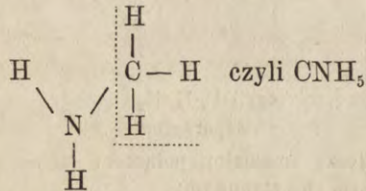
Ażeby zrozumieć przemianę kwasu azotnego na ciała białkowane, powinniśmy poznać jedną gromadę związków azotu, której przypada ważna rola w sprawie odżywiania roślin.

Jeśli w amoniaku, którego wzór jest



zamiast jednego, dwóch lub wszystkich trzech atomów wodoru (H) umieścimy jakiegokolwiek gromady atomów węgla, wodoru i tlenu otrzymamy związki, które obejmujemy wspólną nazwą *amidów*.

Najprostszy z amidów będzie miał wzór:



Przypominamy, że każda litera znaczy tu jeden atom; zamiast je-

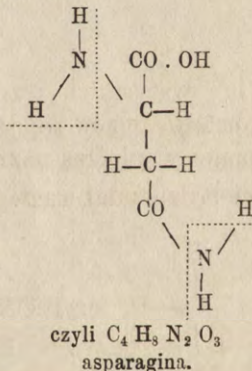
dnego atomu wodoru stanęła tu gromada $\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{C} - \text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$ czyli CH_3 zwana metylem, a otrzymane przez to ciało nazywa się metyljakiem.

Najważniejszym dla rośliny związkiem amidowym, jest asparagina ¹⁾.

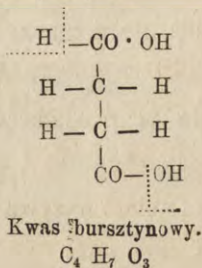
Doświadczenie wykazało, że ilekroć roślina lub jej część znajduje się w takich warunkach, w których nie może wytwarzać wodorów węgla (krochmalu i cukru), więc gdy ją utrzymujemy w ciemności lub pozbawiamy dostępu kwasu węglowego z powietrza, również w pączkach, odciętych od przyswajających te ciała liści, — nagromadza się zawsze znaczna ilość asparaginy lub innych amidów, znikających natychmiast, skoro tylko przywracają się normalne warunki, pozwalające na wytworzenie wodorów węgla, a natomiast zwiększa się ilość ciał białkowych. Wnosimy ztąd, że ciała białkowe powstają przez połączenie wodorów 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 białkowe przenoszą się z jednej jej części do drugiej, ulegają one rozkładowi na cukier i asparaginę, glutaminę lub inne amidy.

Obecność tych związków w roślinach, tłumaczy nam tworzenie się amoniaku ze szczątków roślinnych w gruncie; wszędzie gdzie

¹⁾ Wzór asparaginy jest taki:



Mamy tu dwie cząsteczki amoniaku, połączone łańcuchem atomów, należącym do związku, zwanego kwasem bursztynowym:



tylko rozkładają się części roślin przy niedostatecznym dopływie tleny z powietrza, azot jak widzieliśmy uwalnia się w formie amoniaku i zostaje stracony dla gruntu, o ile nie ulegnie utlenieniu przez organizmy nitryfikacyjne. Niewątpliwie też i ten azot, który wchodzi w skład białka, nie jest tam w stanie utlenionym (jak w kwasie azotnym), lecz odtlenionym (połączony z wodorem) jak w amoniaku czyli w formie t. zw. *grup amidowych*. Świadczy o tem nietylko łatwość z jaką ciała białkowate rozkładają się w roślinach na związki amidowe (i cukier) lub z nich powstają, ale i doświadczenie laboratoryjne: przy gotowaniu bowiem białka z ługiem potasowym wydziela się amoniak. Bądź co bądź azot, postępujący do rośliny z gruntu w postaci kwasu azotnego, połączonego w sole potasu (saletra zwyczajna) lub wapnia (saletra wapienna), ażeby wejść w skład ciał białkowatych, powinien się poprzednio odtlenić, t. j. przejść na amoniak i amidy, czyli przerobić odwrotną tej reakcyi, jaką wykonywają w gruncie organizmy nitryfikacyjne.

Wśród związków azotu nieutlenionych istnieje jedna gromada, dotąd jeszcze mało zbadana, w której występują zawsze dwa z sobą połączone atomy azotu: $—N=N—$. Do końców wolnych łączników mogą być przyłączone atomy pojedyncze lub ich gromady, tworząc w ten sposób rozmaite związki *diazowe*, jak np. $Cl—N=N—C_6H_5$.

Jeśli teraz umieścimy w szereg znane nam typowe związki azotu z tlenem i wodorem, postępując od najbardziej utlenionych do najbardziej odtlenionych (zawierających najwięcej wodoru), otrzymamy rząd następujący: (w którym spotykamy nową gromadę—*hydrazyn*).

N_2O_5	N_2O_3	N	$—N=N—$	$=N—N=$	NH_3
Bezwodnik azotny, który łącząc się z cząsteczką wody daje kwas azotny (HNO_3).	Bezwodnik azotowy, który z wodą daje kw. azotowy (HNO_2).	Azot jako pierwiastek wolny.	Grupa dwóch atomów azotu, charakterystyczna dla związków diazowych.	Grupa dwóch atomów azotu, charakterystyczna dla <i>hydrazyn</i> .	Amoniak (typ. związk. amidowych $NH_2—H$)

Pierwsze dwa z tych połączeń poznaliśmy już, rozpatrując sprawę nitryfikacyi w gruncie: widzieliśmy, że przytem tworzy się początkowo kwas azotowy, następnie azotny; w roślinie odwrotna przemiana przechodzi najprawdopodobniej przez te same stopnie: kwas azotny saletry odtlenia się początkowo na azotowy, następnie na amidy. Ale między temi krańcowemi ogniwami naszego szeregu stoją: wolny azot, związki diazowe i hydrazyny. Te ostatnie powstają przez odtlenianie (dodanie wodoru) ciał diazowych.

Jeśli w pracowni chemicznej działac będziemy bezwodnikiem lub kwasem azotowym na amidy, to stosownie do warunków doświadczenia wynik będzie dwojaki:

1. Albo cały azot jednego i drugiego wydzielili się w postaci wolnego pierwiastka, zostaną zaś ciała, wcale nie zawierające azotu.

2. Albo, jeśli doświadczenie dokonywa się z większą ostrożnością i reakcja przebiega wolniej, tworzą się dwa związki, z których jeden nie zawiera wcale azotu, drugi zaś zatrzymuje cały azot w postaci gromady diazowej; t. j. otrzymujemy ciała diazowe.

W roślinach prawdopodobnie odbywa się reakcja, według tego ostatniego typu: kwas azotawy, powstający przy odtlenianiu azotnego, działa na grupy amidowe białka: przytem oddzielają się ciała nie zawierające azotu (błonnik, idący na utworzenie ścianek komórkowych) z drugiej zaś strony powstają ciała typu diazowego, które, odtleniając się następnie, dają hydrazyny i amidy, te zaś, łącząc się z nowo wytworzonymi przez ziarno chlorofilowe ilościami cukru, przechodzą nanowo w ciała białkowate. Takim sposobem cała przemiana odbywa się bez najmniejszej straty azotu, pierwiastku tak ważnego i z taką trudnością wydobywanego przez roślinę z ziemi: każdy nowo przybywający atom jego przyłącza się do istniejących już w ciałach białkowatych, dając możność roślinie ustawicznie zwiększać ilość tych ostatnich ¹⁾.

Jeśli nieznamość bliższej budowy ciał białkowatych nie pozwala nam, mówiąc o ich powstawaniu w roślinach, wyjść poza granice przypuszczeń, to co do miejsca, gdzie się tworzą, nie pozostawiają najmniejszej wątpliwości spostrzeżenia ostatnich lat. Badania Schimpera przekonali, że pracownią chemiczną, w której odbywa się owa 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 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 miąższu chlorofilowym tych ostatnich. Tu więc ulega przeróbce.

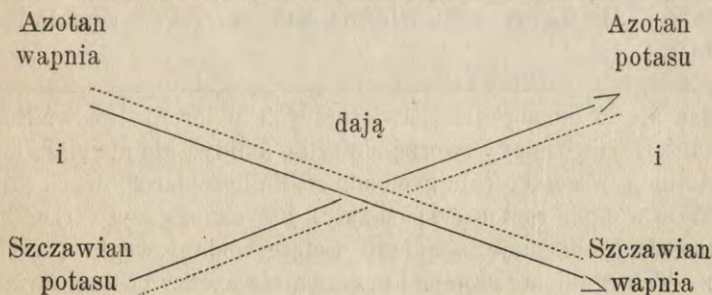
Widzieliśmy już, że przeróbka ta polega na odtlenieniu, odbywać się więc może tylko w obecności ciał, które chętnie łączą się z tlenem odbierając go innym, odtleniając te ostatnie. Do takich ciał należy cukier. Część utworzonego przez ziarno chlorofilowe cukru utlenia się

¹⁾ Ścisłejsze uzasadnienie naukowe wypowiedzianej tu hipotezy dał autor w pracy p. t. „Synteza białka w roślinach“. („Kosmos“ 1893 r.).

prawdopodobnie, odbierając tlen kwasowi azotnemu ¹⁾, kiedy druga część wchodzi w związek z utworzonymi 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 *kwaz szczawiowy*, używany powszechnie do wywabiania plam atramentowych; dalej *kwaz winny*, który pijemy w proszkach musujących; następnie znajdujące się przeważnie w owocach *kwaz cytrynowy* (w cytrynie, porzeczkach), oraz *jablkowy* (w jabłkach, wiśniach, śliwkach, malinach).

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 wytworzonymi kwasami organicznymi, przeważnie z kwasem szczawiowym, tworząc z nim nierozpuszczalne w wodzie kryształy szczawianu wapnia, które w obfitości znajdujemy wszędzie, gdzie jest tkanka chlorofilowa (ob. fig. 6—K, fig. 16—K). W taki sposób zostają usunięte z komórki niepotrzebne produkta uboczne. Kryształy te nagromadzają się aż do jesieni, kiedy wraz z opadającymi liśćmi zostają odrzucone precz.

Nie wszystkie jednak kwasy szczawiowe znajdują 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 jakiegokolwiek również rozpuszczalnej soli wapnia, np. azotanu wapnia, to następuje reakcja 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.

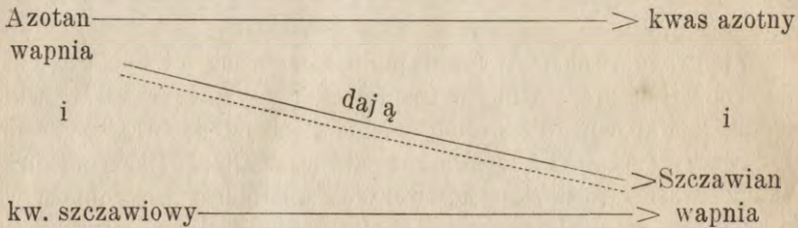


Taka właśnie reakcja odbywa się w liściach przed ich opadaniem, a ma ona dla rośliny wielkie znaczenie: cały potas, metal ważny dla

¹⁾ Zresztą ten sam autor zauważył w komórkach chlorofilowych obecność jakichś innych, silnie odtleniających ciał. Możliwie, że są to hidrazyny.

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 azotowego) wapień, połączony w postaci kryształów z również niepotrzebnym kwasem szczawiowym, odrzuca się wraz z liśćmi.

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, kw. szczawiowy wywiązuje wolny kwas azotny, który odtleniając się, daje materiał na utworzenie ciał białkowych.

Może być, że w związku z nagromadzeniem zapasowego białka w nasieniu—białka przeznaczonego na żywienie młodej roślinki, dopóki się nie wykształci tyle, żeby 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.

Reakcja syntezy białka w roślinach może się odbywać bez udziału światła, byleby był gotowy materiał wodorów 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 białkowe. Istnieje wszelako cała gromada roślin bezchlorofilowych (grzyby i wszystkie w ogóle roztocze i pasożyty), które mogą wytwarzać białko w ciemności, jeżeli mają zkadąd 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 azotowego.

Wiemy już, że grunt ustawicznie traci swój azot: z substancyj organicznych część azotu przechodzi na amoniak i ulatnia się w powie-

trze; 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 się zmniejszać i można by przewidzieć czas, wprawdzie bardzo odległy, w którym zostaną zużyte przez rośliny ostatnie atomy związanego azotu i nastąpi koniec wszelkiego życia na naszej 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 jednym ostrzeżeniem więcej co do tego, jak mało ufać powinniśmy zbyt szerokim uogólnieniom, opartym chociażby na najściślejszych badaniach. Każde uogólnienie naukowe jest zupełnie ścisłe tylko w granicach faktów obserwowanych; gdy je przekraczamy cokolwiek—wychodzimy z dziedziny pewności w zakres prawdopodobieństwa; sięgając jeszcze dalej, opuszczamy grunt prawdopodobieństw dla chwiejnych i bezpodstawnych domysłów; rozciągając na nieskończoność w czasie lub przestrzeni, możemy być prawie pewni błędu.

Już dawno nauka rolnictwa przyjmowała na podstawie licznych doświadczeń agronomicznych istnienie roślin, wzbogacających ziemię w azot: do tych zaliczano takie, jak łubin, groch, fasola, wyka, w ogóle strąkowe. Jednak te spostrzeżenia agronomów nie mogły się ostać 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 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 głębokich warstw, do których nie sięgają korzenie zbóż.

Dopiero przed kilku laty (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 substancyj organicznych, a więc pozbawiona tych organizmów niższych (sterylizowana). Jeśli jednak rośliny strąkowe rozwi-

jają 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. Badając pod mikroskopem przecięcie takiej brodawki, dostrzeżemy że komórki jej zapelnione są *bakteroidami*, ciałkami podobnego do bakteryj kształtu a powstającemu z tych ostatnich pod wpływem protoplazmy komórek.

Jeżeli posadzimy nasienie grochu lub łubinu do ziemi pozbawionej bakteryj i nawozów azotowych, 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 zaszcześcić do gruntu trochę bakteryj, 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 w skutek podrażnienia rośliny przez bakterye ¹⁾, w skutek jej zakażenia zupełnie podobnego do tego jakie 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, wziętymi z brodawek rośliny strąkowej innego gatunku (np. bakterye robinii przeniesione na groch), wcale nie sprzyja jej rozwojowi (Noble).

Z drugiej strony zakończone przed paru miesiącami badania Berthelota nad temi bakteryami, również jak i innemi, które wydzielił z gruntu, przekonały niezawodnie, że one to przysparzają ilość azotu w ziemi. Tak np. wyciśnięte z brodawek łubinu bakterye zwiększyły w ciągu kilku miesięcy ilość azotu w cieczy pożywnej na 50%. Inne bakterye, wyciągnięte z gruntu, dały przyrost azotu na 75—100%. Podobnie działają, chociaż w słabszym stopniu, grzybki pleśniowe, wodorosty i inne niższe rośliny.

Dzięki więc temu mikroskopowemu ludkowi roślinnemu, gnieżdżącemu się w glebie, część azotu przechodzi stopniowo z powietrza do gruntu w stan związany—w postaci azotu organicznego; a inny, również mikroskopowy ludek—organizmy nitryfikacyjne przerabia ten azot organiczny na saletrę tak potrzebną dla roślin wyższych. W ten sposób wynagradza się ciągle strata azotu gruntowego, a może i wzrasta ilość tego pierwiastka w glebie. Krążenie azotu w przyrodzie przy udziale organizmów, możemy więc (w ślad za Schloesingiem) przedstawić w sposób następujący: kwas azotny, powstający w gruncie odtlenia się w roślinach, idąc na utwo-

¹⁾ Proces ich powstawania pod wpływem bakteryj opisał p. Prażmowski.

zenie 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 tego ostatniego wchłania się przez korzenie roślin, inna wypłukuje się wodą deszczową z gruntu i unosi się w morza, gdzie działaniem roślin morskich przerabia się znowu na związki amoniakalne, które razem z parą wodną wracają do powietrzni.

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 stanowi część składową osobliwego ciała białkowego *nukleiny*, która znajduje się w jądrach komórek roślinnych. Prócz tego w postaci kwasu fosforowego towarzyszy zawsze białku. Ilość jego w roślinie jest bez porównania mniejsza niż azotu, który stanowi około $\frac{1}{6}$ części wysuszonego białka protoplazmy komórek. Pochodzi on z kwasu fosforowego gruntu, ulegającego nieznanym bliżej przeróbkom w roślinie. Niedostateczną ilość fosforu w glebie uzupełniają nawozami, zawierającymi 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 uzupełniającym 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 substancji). Znaczenie jego uwydatnia się ztąd, że roślinki hodowane w cieczach, pozbawionych tego pierwiastku, 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. Możliwie że obecność jego potrzebna do wędrówki ciał białkowatych. Jako nawozy potasowe służą *kainit* (minerał, zawierający prócz potasu magnezium i kwas siarczany), oraz *chlerek potasu* (do warzyw); prócz tego wszelkie *odrzutki roślinne* bogate w potas jak wyłoczyny burakowe, resztki od fabrykacji melasu i t. d.

Wapień, jak dowodzą doświadczenia nad hodowlą roślin, niezbędny jest do przenoszenia wodoranów węgla (cukru) z jednych komórek do drugich.

Żelazo wchodzi w nieznaczną ilość w skład wszystkich części rośliny. Nieobecność jego powoduje chorobliwy stan protoplazmy, która nie może wtedy wytwarzać zieleni (bladaczka), chociaż w skład tej ostatniej, jak pokazują najnowsze badania, pierwiastek ten nie wchodzi.

Krzem, chlor i magnezium należą do pierwiastków, które wchodzi w mniejszej lub większej ilości w skład wszystkich roślin, których niezbędność jednak nie jest stanowczo dowiedziona. 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 $\frac{1}{2}\%$ tej soli w gruncie. Krzemionkę nagromadzają niektóre rośliny w znacznej ilości (trawy, skrzypy); pełni ona w nich przeważnie czynność mechaniczną, nadając sztywność tkankom. Magnezja znajduje się przeważnie w nasionach w związku z kwasem fosforowym. Zdaje się, że jest niezbędną do życia roślin.

Użycie przyswojonej materii i energii.

ROZDZIAŁ VI.

Przenoszenie i przechowywanie substancji organicznej.

Trojaki przeznaczenie wytworzonych przez roślinę materiałów: materiały plastyczne, zapasowe i oddechowe. — Drogi ich wędrówki. — Rurki sitowe. — Pierścieniowe wycinanie kory. — Miąższ jako przewodnik cukru i amidów. — Wpływ wodoranów węgla z liści. — Protoplazmatyczne połączenie komórek. — Drewno jako przewodnik materiałów plastycznych. — Soki wiosenne. — Naczynia mlecze. — Siły poruszające ciecze przerobione. — Materiały zapasowe. — Miejsce ich nagromadzenia. — Forma przechowania. — Fermenty rozpuszczające je. — Czas gromadzenia. — Wyróżnienie i opadanie liści w jesieni. — Przyczyna zgubnego wpływu wczesnych mrozów.

Wiemy już, że pracownią chemiczną, w której się odbywa nadzwyczaj złożona i dziś jeszcze prawie całkiem tajemnicza sprawa wytwarzania substancji organicznej, jest komórka miąższu chlorofilowego liścia lub zielonej kory młodych pędów. Poznaliśmy też i drogi, które mi dochodzą do tych niezliczonych drobnych pracowni materiały 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 substancje mineralne gruntu, przechodzi długą

drogę włóśników i wiązek naczyniowych korzenia, łodygi lub pnia, gałęzi, ogonków i żeberk liściowych, ażeby z tych ostatnich wsiąknąć do komórek zielonego miąższu i w nich zgęszczać się pod wpływem promieni słonecznych, zostawiając jak w parownicach nietłone części mineralne, kiedy para wodna ulatnia się tą samą drogą, którą przybywały gazy, t. j. przez przetwory między komórkami i szparki, razem z wytworzonym podczas sprawy przyswajania tlenem.

Powinniśmy teraz odpowiedzieć na pytanie, co się dzieje z wyrobioną w liściach substancją organiczną, tak bezazotową (wodany węgiel), jak i azotową?

Wiemy przedewszystkiem, że każda żyjąca roślina *rośnie*, t. j. wytwarza nowe części ciała i liście, gałązki, korzenie, kwiaty i t. d. Materiałem, z którego tworzą się te nowe organa, jest oczywiście nagromadzona w istniejących już poprzednio materia organiczna, a tak zużytkowana jej część nazywa się *materiałem budowlanym* czyli *plastycznym*.

Drugiem, mniej powszechnie znanem zastosowaniem wyrobionej w liściach substancji, jest jej przechowanie w postaci *materiałów zapasowych* do przyszłego użytku.

Wszystkie rośliny wyższe, jak wiadomo, wytwarzają nasiona, przy których pomocy się rozmnażają; każde nasienie zawiera oprócz drobnutkiego *zarodka* przyszłej rośliny tyle *materiałów zapasowych* azotowych i bezazotowych, ile potrzeba na rozwinięcie owego zarodka do tej chwili, od której, wytworzywszy korzonek i listki, młoda roślina będzie w stanie żywić się, t. j. wytwarzać dalej materiały plastyczne, o własnych siłach.

Prócz tego rośliny zimujące i trwale składają ku końcowi lata pewną ilość *materiałów zapasowych* (najczęściej w podziemnych częściach), które na wiosnę służą na pożywienie młodych pączków do chwili, gdy rozwinięte z nich liście zaczną same przyswajać.

Trzecia część wreszcie produktów przyswajania zostaje utlenioną, t. j. wykonywa reakcję odwrotną tej, która pod wpływem promieni słonecznych odbyła się w ziarnkach chlorofilowych: cukier lub w ogóle wodany węgiel wytworzone w nich, zostają spalone na kwas węglowy i wodę, energia zaś, zapożyczona od słońca przy pomocy chlorofilu, wywiązuje się teraz i idzie na potrzeby rośliny. Sprawa ta, której towarzyszy pochłonięcie tlenu, a wydzielenie kwasu węglowego, zupełnie tak jak przy oddychaniu u zwierząt, nazywa się *oddychaniem roślin*.

Tylko część substancji organicznej, mającej to ostatnie przeznaczenie, zużywa się na miejscu jej wytworzenia, t. j. w samych chlorofilowych komórkach liści; wszystek pozostały materiał powinien być doprowadzony do miejsc swego użycia, a więc *plastyczny* — do m

rosnących części, *zapasowy* — do organów przechowujących; wreszcie cały niezaużyty na potrzeby zielonych tkanek materiał *oddechowy* — do tych części lub organów rośliny, które pozbawione będąc zieleni, nie mogą wytwarzać wodoru węgla, a jednak potrzebują oddychać, t. j. spalać wyrobione gdzieindziej wodany węgla, gdyż wywiązana przy tem energia jest jedynym źródłem sił, objawiających się we wzroście i innych ruchach, słowem w całym życiu rośliny. Takimi organami są młode pączki, korzenie, kwiaty, owoce.

Pierwsze więc pytanie, dotyczące dalszego losu produktów przyswajania i syntezy komórki chlorofilowej będzie: *jakimi drogami i w jakiej postaci odbywa się wędrówka materiałów roślinnych?*

Przypomnijmy sobie pominiętą dotąd część wiązki naczyniowej (ob. rys. 15—f g). Wspomnieliśmy już, że składa się ona z *włókien tykowych*, przypominających ze wszystkich względów włókna drzewne, prócz tego, że ścianki ich nie są zdrewniałe, oraz z *rurek sitowych*. Te ostatnie do pewnego stopnia odpowiadają naczyniom drzewnym, różnią się jednak od nich tak budową jak i istotą płynącej po nich cieczy. Doświadczenia bowiem wykonane dotychczas każą wnosić, że służą one jeżeli nie jako jedyne, to przynajmniej jako przeważne przewodniki wyrobionych przez roślinę materiałów plastycznych, a budowa ich odpowiada temu przeznaczeniu. Nie są one ani nieprzerwane, ani próżne (fig. 20) wewnątrz, jak rurki drzewne; ale składają się z szeregu wydłużonych walcowatych komórek, których przegródki poprzeczne przedziurawione są nakształt sita. Podobnie *blaszki sitowe* spotykają się na bocznych ściankach rurek tych tak, że przy ich pośrednictwie łączą się nie tylko wprost nad sobą leżące komórki, ale i oboczne. Wnętrze tych komórek wypełnione jest masą śluzową, otoczoną woreczkiem protoplazmy; masa ta ścina się od spirytusu, a zachowaniem się chemicznem zdradza obfitość ciał białkowych. Zawartość sąsiednich komórek łączy się przez otworki blaszek sitowych.

Wiemy jak powolnie odbywa się sączenie cieczy przez błony; również i to, że nie wszystkie ciała mogą tą drogą przechodzić z komórki do komórki, a do takich nieosmotycznych ciał należą i białkowe. Urządzenie rurek sitowych, posiadających otworki w ścianach, zdaje się zapobiegać tej trudności, na którąby natrafiła wędrówka białka i innych ciał koloidalnych, tak obfitych w roślinie.

W jesieni blaszki sitowe zamykają się *zasklepką*, utworzoną z nieznaney bliżej substancyi (barwi się ona od jodu na czerwono z żółtawym odcieniem, anilinowa siń barwi ją na niebiesko), która się rozpuszcza na wiosnę.

O roli rurek sitowych, jako dróg materiałów plastycznych, przekonują doświadczenia z obrączkowemi nacięciami kory (Hanstein). Ro-

śliny dwuliścieniowe — a więc wszystkie nasze drzewa — mają wiązki naczyniowe ułożone łykiem na zewnątrz: kiedy drzewne ich części spajając się razem, tworzą nieprzerwany walec drewna, łykowe leżą w korze w postaci wysepek, lub zlewają się w pierścień, otaczający drewno. Gdy zdejmujemy z młodej gałązki to, co pospolicie nazywa się „korą zieloną“, zostaje tylko drewno; łyko oddziela się razem z korą (w morfologicznym znaczeniu), gdyż rozerwanie następuje w cieniutkiej i delikatnej warstwie miazgi.

Jeżeli więc wytniemy taki pierścień kory, przerwiemy zupełnie komunikację rurek sitowych w częściach rośliny leżących powyżej i poniżej wyciętego pierścienia. Wiemy już, że wchłanianie i wędrowka soków z ziemi nic na tem nie ucierpi; ale jeżeli zrobimy takie doświadczenie z odciętą gałązką wierzby, którą wsadzimy dolnym końcem w wodę, zau-



Fig. 20.
Rurki sitowe *s* — blaszki sitowe
d — zawartość rurek, ścinająca
się od spirytusu.

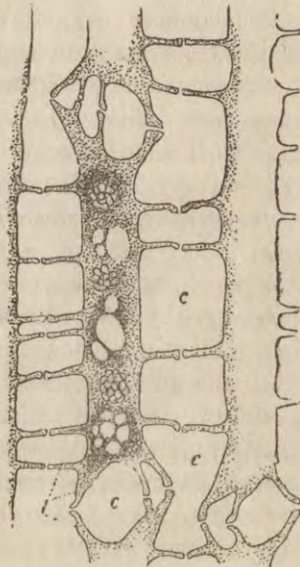


Fig. 21.
Połączenia protoplazmatyczne komórek; *c* — części błony silnie napeężniałej przy opracowaniu.

ważymy, że tylko część jej leżąca wyżej wycięcia kory wyda korzenie przybyszowe. Przeciwnie: jeżeli weźmiemy do podobnych doświadczeń jedną z nielicznych roślin, posiadających drugie łykowe wiązki w rdzeniu (tak zwane *wiązki dwuoboczne*), korzenie wytworzą się

nizej i wyżej wycinka. Takież wyniki dają rośliny jednoliścieniowe, których wiązki naczyniowe rozrzucone są na całej szerokości łodygi. Z doświadczeń tych wnosimy, że materiał plastyczny, niezbędny do utworzenia korzeni przybyszowych, wędruje po pierwiastkach łykowych, a obfitość białka w rurkach sitowych, oraz ich budowa wskazują na nie jako na drogę tej wędrowki ¹⁾.

Ten prąd materiałów plastycznych w łyku nazywano niegdyś *zstępującym* w przeciwstawieniu do *wstępującego* prądu wody w drewnie. Nazwa ta jest niewłaściwą, i dziś już zarzuconą, nie tylko 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 części rośliny prąd materiałów plastycznych bywa niejednakowy: materiały 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.

Prawdopodobnie rurki sitowe prowadzą wyłącznie lub przeważnie ciała białkowate, zawartość bowiem w nich wodorotlenku węgla jest nieznaczna, w stosunku do tej ogromnej ich ilości, która zużywa się w rozmaitych częściach rośliny. Doświadczenia wykazują, że część wodorotlenku węgla (krochmalu i cukru) przechodzi ustawicznie z liści, gdzie się one tworzą — do łodygi: liście pozostawione na roślinie i zakryte od światła tracą w tym samym czasie 5 razy więcej wodorotlenku węgla niż odcięte od niej, które zużywają te ciała tylko na własne potrzeby oddechu. Wysoce prawdopodobnym jest, że wędrowka ta odbywa się przez miąższ korowy. Wprawdzie ani krochmal w swojej rozpuszczalnej odmianie, ani cukier, nie mogą się przedostać osmotycznie z komórki do komórki; chociaż bowiem ten ostatni może się przesączać przez błony komórkowe, nie jest jednak w stanie przejść przez woreczek żywej protoplazmy, wyścielający komórkę. Trudność tę jednak zdaje się usuwać nowsze odkrycie połączenia protoplazmatycznego pomiędzy komórkami: badając przy bardzo silnych powiększeniach opracowane pewnymi odczynnikami skrawki miąższu, można przekonać się, że oddzielając pojedyncze komórki, błony nie są całkowite, lecz posiadają cieniutkie otworki, przez które przechodzą nici protoplazmatyczne, łączące zawartość sąsiednich komórek. Połączenia te powstają podczas dzielenia się komórek. W ten sposób cała masa protoplazmy jednej rośliny zostaje z sobą w bezpośredniej komunikacji, a komunikacją

¹⁾ To samo daje się widzieć przy gojeniu ran drzew: miazga, tworząca bliznę, zaczyna się formować przy górnym brzegu uszkodzenia.

tą da się wytłómaczyć zapewne niejedno zagadkowe dotąd zjawisko, jak np. wydalenie protoplazmy z tych komórek, które przeznaczone są na utworzenie naczyń drzewnych, mechanicznych pierwiastków i t. d. (Fig. 21).

Oprócz cukru mogą komórki miąższowe w pewnych warunkach przenosić i ciała białkowate, mianowicie, gdy ciała te rozkładają się na wodany węgla i amidy, jak to się dzieje z zapasowem białkiem nasion kiełkujących, oraz przy nagromadzeniu tegoż do dojrzewających owoców; amidy bowiem należą do ciał łatwo przesiąkających przez błony.

Zresztą w tych warunkach przewodnikiem amidów jak i wszystkich ciał łatworozpuszczalnych i osmotycznych, mogą być wszelkie tkanki, przedewszystkiem zaś drewno wiązek naczyniowych. Stосуje się to zwłaszcza do cukru, w obfitości dopływającego wiosną z korzeni do rozwijających się pączków, którego obecność nadaje słodki smak sokom wiosennym rośliny i pozwala ich używać jako napój (sok brzo-zowy). Wiosenny sok idzie drewnem pod znacznem ciśnieniem i dla tego łatwo wypływa przez prześwidrowany otwór. Ciśnienie to możemy sobie wytłómaczyć, jeżeli przypomnimy prawo 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 ostatni, jako ciało bardzo czynne osmotycznie, przyciąga wodę z ziemi do wnętrza włóśników, lecz sam nie może z nich wysiąkać, gdyż na przeszkodzie temu stoi żywa protoplazma tych ostatnich. 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 kosztem dowożonych materiałów zapasowych liście i zaczyna się wyziewanie przez nie, które zmniejsza ciśnienie wody w drewnie, dając jej upust w postaci pary. Skoro ukażą się liście, sok przestaje się sączyć przez otwory w drewnie.

Łatwo zrozumieć, że podwyższenie nad zwyczajną normę ciśnienia komórkowego niezbędne było do podniesienia soków na wysokość pączków, dopóki brakowało tego drugiego czynnika, poruszającego wodę—siły ssącej liści, spowodowanej wyziewaniem.

Bardzo liczne, chociaż daleko nie wszystkie rośliny posiadają osobne *naczynia mleczne*, służące prawdopodobnie również do przenoszenia rozmaitych materiałów pożywnych, chociaż obok nich zawierają ciała, które możemy uważać za odpadki rośliny, jak smoły i gумы. Odłamując łodygę maku, mniszka lekarskiego, jaskółczego ziela i t. d., widzimy występujące kropelki białego lub żółtego soku, podobnego do mle-

ka; sok ten wypływa z naczyń mlecznych, a przyczyna jego osobliwego wyglądu jest ta sama jak i w mleku: zawiera on liczne mikroskopowe kropelki tłuszczu, zawieszony w wodnistej cieczy i nadające mu białą barwę (jeśli nie jest zabarwiony innymi ciałami rozpuszczalnymi) i nieprzejrzystość. Prócz tłuszczu, znajdują się w soku mlecznym rozmaite ciała rozpuszczone: gumy, białko, cukier i pływające ziarka krochmalu.

Naczynia zawierające sok mleczny, składają się z rozgałęzionych rurek, tworzących sieć przy pomocy połączeń bocznych (fig. 22); przebiegają one w korze, często i w rdzeniu.



Fig. 22.
Naczynia mleczne.

Co do sił, poruszających wszystkie te ciecze, to oprócz znanych nam już sił osmotycznych, działających w mięszu i ciśnienia korzeniowego w drewnie, na przenoszenie materiałów plastycznych muszą wpływać zmiany napięcia tkanek (o którym 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 na przykład wyciskamy część zawartości rurki kauczukowej, zmieniając kształt tej ostatniej (np. zginając ją).

Najbliższa przeróbka, której ulega wytworzona przez roślinę substancja organiczna, jest przemiana jej na *materyały zapasowe*.

Miejszem nagromadzenia ich są albo osobne organa, np. bulwy kartofli, które są przekształconymi specjalnie w tym celu częściami łodygi podziemnej, lub też zwykle 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 trzciniowy, rozpuszczony w soku komórkowym (burak, cebula i t. d.);

tluszcze (tłuste nasiona: len, konopie, rącznik i t. d.); *inulina* — ciało zbliżone do krochmalu, lecz rozpuszczalne w soku komórkowym (bulwy georgini, korzeń cykoryi); wreszcie pewna odmiana *blonnika*, tworząca niezmiernie grube ścianki w komórkach niektórych nasion (np. daktyla), a rozpuszczająca się podczas ich kiełkowania, kiedy służy do żywienia zarodka.

2. Substancje azotowe przechowują się w postaci *białka*, bądź jako protoplazma, bądź 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 substancji 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. Odwrotna przemiana cukru na krochmal odbywa się, jak wiadomo, w *leukoplastach*, ciałkach zupełnie podobnych do ziarn chlorofilowych, tylko pozbawionych zieleni ¹⁾. W najnowszym czasie wydzielono z nasion tłustych *ferment rozkładający tłuszcze*. Ciała które się przechowują w postaci rozpuszczalnej, jak cukier, amidy i t. d. oczywiście nie potrzebują żadnej przeróbki do wędrówki.

Czas nagromadzenia zapasów zimowych jest rozmaity w różnych roślinach: u klonu zaczyna się już w maju ruch substancyj 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 wegetacji, t. j. ku końcowi lata lub jesienią.

W tym czasie następuje w drzewach naszych klimatów *jesienne opróżnienie liści*: wszystkie użyteczne i cenne dla rośliny materiały: protoplazma, wodany węgla, sole potasowe (ob. R. V), po części i chlorofil przenoszą się do gałązek i pnia, tak że opadające liście zawiera-

¹⁾ Na świetle mogą leukoplasty wytwarzać zieleni i przemieniać się w *chloroplasty* czyli ciała chlorofilowe.

ją tylko błony i bezużyteczne lub przeznaczone do wyrzucenia substancje (szczawian wapnia). Przenoszenie to prawdopodobnie odbywa się przy udziale wyżej wspomnianych połączeń protoplazmatycznych. Gdy liść jest już dostatecznie opróżniony, tworzy się w nasadzie ogonka cienka warstewka tkanki korkowej, odcinająca go od łodygi, po czym następuje zamiana na śluz komórek przylegających od ogonka, w skutek czego liść opada, pozostawiając korkową bliznę, zamykającą wiązki naczyniowe pnia.

Użytkowanie materiałów zapasowych zaczyna się na wiosnę z początkiem wegetacji. 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.

ROZDZIAŁ VII.

Oddychanie roślin.

Material organiczny jako skład materji i energii.—Oddychanie i wzrost. — *Oddychanie normalne.* — Jakie ciała użyte są na oddychanie?—Objętości gazów przy oddychaniu.—Wodany węgla i tłuszcze jako material oddechowy. — Wpływ wzrostu na objętość gazów.—Wpływ warunków zewnętrznych i wzrostu na szybkość oddychania.—*Oddychanie wewnątrz-cząsteczkowe.*—Mała wydajność energii przy tem.—Fermentacja i mikroorganizmy. — Teorya oddychania. — Cząsteczki żywego białka. — Ciepło wywiązane przy oddychaniu.

Material organiczny wytworzony przez roślinę, przedstawia, jak wiemy, nietylko pewną sumę *materji*, ale i pewne ilości *energji*, a użycie jego w roślinie odpowiada tej podwójnej funkcji. 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 potencjalna* 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 więc ruch czyli wywiązanie *energji czynnej* towarzyszącej zjawiskom życiowym.

Wszelkie reakcje, w których material roślinny 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 odbywają się jakiegokolwiek ruchy: czy to dostrzegalne dla oka ruchy części roślin—liści, kwiatów i t. d., czy widzialne tylko pod mikroskopem ruchy drobnych ziareczek protoplazmy, czyli też niedostępne dla najsilniejszych powiększeń ruchy atomów, powodujące wiązanie się ich w cząsteczki chemiczne lub składanie się tych ostatnich na budowlę organicznych części komórek.

Energia więc nagromadzona w materiałach roślinnych, nie inaczej może być zużytkowaną na potrzeby życia, jak drogą zniszczenia pewnej części tych materiałów, a taki ich rozkład, połączony z wywiązaniem energii i wydzieleniem prostszych związków—jego produktów, nazywa się *oddychaniem roślin*. *Oddychanie więc jest środkiem zamiany potencjalnej czyli zapasowej energii rośliny, na czynną.*

Nie jest to wszelako jedyny sposób zużycia wytworzonego przez roślinę materiału 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 substancji wzrasta bardzo znacznie. Roślina rosnąc wytwarza nowe komórki, czyli nowe ilości protoplazmy i błon komórkowych, a na te zużywa pewną ilość białka, wodorów węgla — w postaci błonnika i dwóch ciał, któreśmy już poznali z tej strony, nazywając je materiałem plastycznym czyli budowlanym. Czynność, przez którą materiał plastyczny zostaje wcielony w ciało rośliny, czyli użyty na jej budowę, nazywamy *wzrostem*.

Oddychanie więc i wzrost są czynnościami, w których występuje dwojaka rola materiału organicznego: jako zapasu sił czyli energii i jako składu materiału czyli materii.

Ingenhous w r. 1779, t. j. wkrótce po odkryciu Priestleya, że rośliny „poprawiają“ powietrze, zepsute przez zwierzęta, czyli wydzielają tlen, zauważył, że zjawisko to ma miejsce tylko w świetle i tylko przy użyciu zielonych roślin lub ich części. W ciemności, jak się przekonał, zielone rośliny i części pozbawione zieleni—zawsze „psują“ powietrze, t. j. wydzielają kwas węglowy. Zjawisko to, którego bliższemu zbadaniem zajął się Saussure (1804), nazwano oddychaniem, gdyż jest zupełnie po-

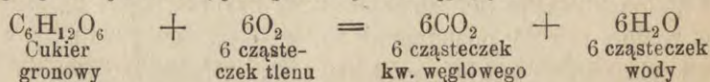
dobne do tej sprawy u zwierząt, polega bowiem na wchłanianiu tlenu a wydzieleniu kwasu węglowego i wody.

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 w świetle, tylko 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 ten ostatni 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 wywiązania 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 maszyny 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 pochłonięciem tlenu, czyli *oddychanie normalne* powolnem spalaniem substancji organicznej.

Rozglądając się dalej w produktach tego powolnego spalania, 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 substancji bezazotowej. Najprostsze, nasuwające się przypuszczenie, że *substancją oddechową* są wodany węgla, stwierdza stosunek objętości wchłoniętego 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 (po lewej stronie) możemy otrzymać 6 cząsteczek kwasu węglowego i tyleż wody, które napiszemy po prawej stronie, jak pokazuje następujące zrównanie:



Jest to reakcja zupełnie odwrotna tej, którą poznaliśmy, badając przyswajanie węgla, a dla tej samej co tam przyczyny, objętość pochło-

monego tlenu musi być przy oddychaniu równa objętości wydzielonego kwasu węglowego: ilość bowiem cząsteczek jednego i drugiego w obu wypadkach jest jednakowa; chemia zaś uczy nas, że *cząsteczki wszystkich ciał w stanie pary lub gazu mają jednakową objętość* (prawo Avogadra). Takież 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 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 wytłómaczyć innemi przyczynami. Stosuje się to przede wszystkim do kiełkowania nasion olejnych, t. j. zawierających materiał zapasowy bezazotowy w postaci oleju zamiast mączki; do takich należą: rzepak, konopie i wiele innych. Ponieważ tłuszcze zawierają w ogóle tlenu znacznie mniej niż wodany węgiel, potrzebują więc pochłonać większą jego ilość z powietrza dla wytworzenia tyluż cząsteczek kwasu węglowego; zgodnie z tem, stosunek objętości tego ostatniego do tlenu, przy kiełkowaniu takich nasion, jest znacznie mniejszy niż zwykle: objętość powietrza w zamkniętej przestrzeni nad rtęcią zmniejsza się widocznie, jeżeli w niej rosną nasiona olejne. Odwrotne zjawisko daje się widzieć przy dojrzewaniu tych nasion: przy dojrzewaniu maku np. znalazł p. Godlewski, że pochłania się $1\frac{1}{2}$ razy mniej tlenu, niż wydziela się kwasu węglowego.

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 w skutek czynności protoplazmy, łatwo więc nasuwa się myśl, że materiał 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 (może ciało dwuazotowe) wiąże się z jego syntezą, i odradzaniem z tej drugiej części przy pośrednictwie wodań węgla, oraz ze zwiększeniem jego ilości, dzięki nowo przyłączonego azotowi kwasu azotowego. 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.

Zewnętrzne warunki wpływają rozmaicie na energię oddychania roślin. Przedewszystkiem należy tu ciepota; z podwyższeniem temperatury zwiększa się wymiana gazów; trwa to dopóki temperatura nie dojdzie do 40° C. W tej temperaturze oddychanie osiąga *największego stopnia (maximum)*; jej dalsze podwyższenie aż do śmierci rośliny, nie zwiększa energii oddychania.

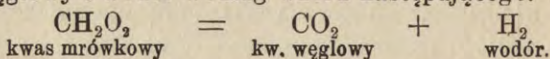
Ilość wodoru węgla w roślinie wpływa również na energię oddychania, dla tego też zielone rośliny oddychają żywiej, gdy są wystawione na światło, gdyż wytwarzają wtedy znaczne ilości tych ciał. Samo jednak światło zmniejsza prędkość oddychania, jak o tem przekonują doświadczenia nad roślinami pozbawionemi chlorofilu.

Wreszcie wpływa znacznie częściowe ciśnienie tlenu: przy podwyższeniu ciśnienia powietrznego 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 równoległe z prędkością wzrostu, ulegając tej samej co i on peryodyczności.

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 nanowo 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. Charakterystycznym dla tego rodzaju oddychania jest wytworzenie obok kwasu węglowego alkoholu.

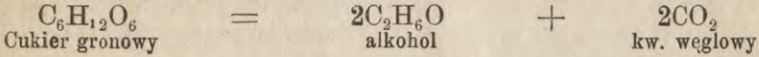
Zjawisko bardzo zbliżone do tego, t. j. samowolny rozkład cząsteczki chemicznej, można wywołać i poza rośliną. Tak Berthelot zauważył, że kwas mrówkowy w obecności gąbki platynowej rozkłada się na kwas węglowy i wodór według wzoru następującego.



Ponieważ ta 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 potencjalnej, więc ilość energii wywiązanej przy tem 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:



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 odjąć od 709.

Otrzymamy w ten sposób 57 jednostek ciepła zamiast 709, wywiązanych przy normalnem oddychaniu.

Do zjawisk tegoż samego typu, co i oddychanie wewnątrz-cząsteczkowe, należy *fermentacja*. 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

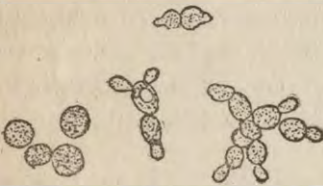


Fig. 22

Drożdże. Drobne komórki okrągłe mnożą się *pączkowaniem*, t. j. wypuszczając z siebie małe guziczki, które dorastają do wielkości komórki macierzystej i zostają z nią połączone. W ten sposób powstają łańcuszki komórek. Pow. 250 razy.

kształt kulek (fig. 22) — nie mogą same wytwarzać cukru, zużywają więc gotowy. Rozkładając cząsteczki cukru, znajdujące się w cieczy pożywnej, wywiązują drożdże 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 fermentacji polega, jak wiadomo, techniczne użycie drożdży dla otrzymania alkoholu, piwa i innych napojów spirytusowych ¹⁾.

Pasteur, który w swoich klasycznych „Studyach nad piwem“ położył podstawę nauki o fermentacji i organizmach fermentacyjnych,

¹⁾ Używany do tego sład czyli kielkujący 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 fermentacja muszą być rozcieńczone, skoro bowiem ilość w nich alkoholu dośięgnie 16%, fermentacja przerywa się w skutek znieczulenia komórek drożdżowych.

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 materiału przy tem psuje się, niż zużywa. Jakoż znalazł Pasteur, że drożdże mnożąc się bez tlenu, muszą zniszczyć 176 gramów cukru, ażeby utworzyć jeden gram swego ciała (suchej substancji drożdżowej); przeciwnie przy swobodnym dopływie tlenu wystarczają do tego 4 gr. cukru. Oczywiście, że w tym samym stosunku zmniejszyć się musi wydajność alkoholu. 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 tego ostatniego jest większa. W braku substancji pożywnych w cieczy, przy innych zaś warunkach sprzyjających, drożdże wytwarzają kwas węglowy i alkohol, kosztem własnego ciała (fermentacja własna drożdży), przyczem zmniejsza się ilość ich suchej substancji. Takież zmniejszenie substancji suchej odbywa się przy kiełkowaniu nasion w ciemności, gdy nie mogąc przyswoić kwasu węglowego, żyją kosztem materiałów zapasowych.

Zupełnie analogiczne są inne fermentacje, odbywające się bez udziału tlenu, np. fermentacja gliceryny pod wpływem pewnego lasecznika. W ogóle wielka szkoda, którą przyczyniają istotom żywym rozwijające się w nich organizmy fermentacyjne, zwłaszcza zaś bakterie chorobotwórcze, polega na tem, że w swojej gospodarce rabunkowej niszczą one więcej materiału, niż zużywają, że mnożą się nadzwyczajnie szybko i że często wytwarzają produkta uboczne bardzo szkodliwe (trucizny bakteryjne czyli *ptomainy*).

Bliższe poznanie oddychania wewnątrz-cząsteczkowego nasunęło myśl, że i w normalnem oddychaniu pobudką do rozkładu złożonej cząsteczki, 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 innymi najnowsze poszukiwania Detmera, który znalazł, że wpływ temperatury na oddychanie wewnątrzdrobinowe jest prawie zupełnie taki sam, jak i na normalne. W taki sposób zjawisko to najbliższej pokrewne z fermentacją, którą Pasteur określa jako „życie bez tlenu“, wiąże się z jednej strony z reakcjami czysto-chemicznymi, jak opisany przez Berthelota rozkład kwasu mrówkowego gąbką platynową, z drugiej zaś wyja-

śnia nam jeden z najbardziej zasadniczych objawów, właściwych wszystkim istotom żywym—oddychanie czyli wywiązywanie energii. *Oddychanie jest fermentacją wyższych roślin, odbywającą się kosztem ich własnego ciała, której produkta spalane są do reszty w przyptywającym z powietrza tlenie.*

Z takim poglądem na istotę oddychania wiąże się ściśle rzucona przez Pflügera, a rozwijana coraz bardziej w zastosowaniu do komórki roślinnej, teoria *żywego białka*.

Według zwolenników tej hipotezy białko, z którym mają do czynienia chemicy, czyli białko nieżywe różni się zasadniczo od tego, które wchodzi w skład żyjącej protoplazmy. Cząsteczki tego ostatniego są tak nietrwałe, że ustawicznie się rozkładają samowolnie, a istnieć mogą jedynie przez to, że natychmiast na nowo się odtwarzają. Dopóki trwa to odnowienie, utrzymuje się życie komórki, które właśnie polega na owym nieustannym rozkładzie i odradzaniu cząsteczek żywego białka. Skoro ustanie życie, wszystkie cząsteczki żywego białka rozkładają się, dając białko martwe czyli zwyczajne, znane chemikom. Przypuszcza się następnie, że ową ustawicznie oddzielającą się od białka częścią, jest jakiś związek bezazotowy, jakiś bardzo łatwo utleniający się gatunek cukru, który natychmiast zostaje rozłożony dalej i ostatecznie spalony przez oddychanie, wywiązując potrzebną do życia energię, a natomiast przyłącza się do pozostałej, zawierającej azot cząsteczki nowa jego ilość, wytworzona w ziarku chlorofilowem.

Hipoteza ta doskonale wiąże się z wypowiedzianym w jednym z poprzednich rozdziałów poglądem na syntezę białka w roślinie i z przytoczonymi tam faktami, dotyczącymi związku pomiędzy tą syntezą, a czynnością chlorofilu, oraz znalezionymi przez Schimpera w komórkach chlorofilowych ciałami odtleniającymi. Na jej korzyść przytoczyć można również odkrytą przez Löwa i Bokornego *reakcję 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 redukcji srebra. Reakcyę więc życiową plazmy świadczy o tem, że podczas życia komórki wytwarzają się w niej pewne silnie odtleniające ciała, których nie znajdujemy w zabitej protoplazmie, prawdopodobnie w skutek bardzo szybkiego ich utleniania.

¹⁾ Autor obserwował podobnie odkładanie się rtęci z roztworów sublimatu w gatunku *Mesocarpus*, zwłaszcza zaś w sprzegających się niciach.

Ponieważ wywiązana przy oddychaniu energia zużywa się nietylko na podwyższenie temperatury, ale i na rozmaite inne objawy czynne, odmienne w każdej roślinie, nie powinno więc nas dziwić, że nie znaleziono stałego stosunku pomiędzy energią oddychania, a wywiązaniem przez rośliny ciepłem.

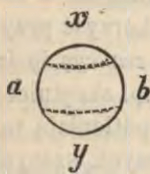
ROZDZIAŁ VIII.

Wzrost i kształty rośliny.

Wzrost i kształty rośliny.—Budowa ciał uorganizowanych.—Micelle.—Teorya wnikania.—Sztuczne błony.—Jędrność komórek.—Plazmoliza.—Dwa momenty wzrostu: rozciągnięcie turgorowe i utrwalenie jego.—Udział w tej sprawie protoplazmy.—Miejsca wzrostu u roślin.—Napięcie tkanek.—Wielki okres wzrostu.—Wzrostomierz.—Peryodyczność dzienna.—Przyczyny wielkiego okresu.—Nabyte własności protoplazmy i peryodyczność roczna.—Wpływ warunków zewnętrznych na wzrost: obecność tlenu; temperatura; wilgotność, jej wpływ na kształt organów i hydrotropizm; ciśnienie—rośliny czepne; światło i heliotropizm; ciążenie i geotropizm.

Wzrost całej rośliny lub jej części jest wynikiem wzrostu niezliczonych, wchodzących w jej skład komórek, ten zaś ostatni poprzedzony bywa ich dzieleniem się. Dzielenie się i wzrost komórek są więc jedynymi czynnikami, z których wynikają rozmaite i złożone zjawiska wzrostu, nadające kształty roślinie.

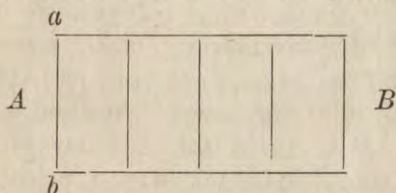
Wszystkie, niekiedy bardzo rozmaite i złożone kształty pojedynczych komórek, jakie zwłaszcza dają się widzieć wśród mikroskopowych wodorostów jednokomórkowych, łatwo wyprowadzić z najprostszej formy kulistej lub wielościennej, przyjmując niejednostajny wzrost pojedynczych punktów błony. Tak np. jeśli przeważnie lub wyłącznie rość będzie pas równikowy (ab) — kula zamieni się na walec wydłużony; jeżeli wzrost będzie najprędniejszy u biegunów (x, y) — otrzyma się guziczek spłaszczony, podobny do tych opłatków, w których zażywają lekarstwa. Jeżeli dolna połowa kuli będzie rosła prędzej od górnej, powstanie miseczek z wklęsłością u góry. Jeżeli pas równikowy będzie rosł najprędzej, ale z niejednostajną prędkością, tak że ze strony a prędzej niż ze strony b , wytworzy się walec zgięty w kształcie półksiężyca. Przeważny wzrost w kilku odosobnionych punktach powoduje gwiazdkowatą formę lub woreczkowate wyrostki w tych punktach i t. d.



W roślinach wielokomórkowych różnorodność kształtów oddzielnych komórek jest bardzo ograniczona; tylko te komórki naskórka, które wyrastają we włoski, przybierają kształty bardziej złożone: stożków, gwiazdek i t. d.

Komórki wewnętrzne, zwłaszcza zaś mięszkowe, ulegają innemu czynnikowi, który tu ma przewagę, t. j. wzajemnemu ciśnieniu jednych na drugie, w skutek którego przybierają kształty wielokątne. Za to w naczyńach i tracheidach charakterystyczne urzeźbienia błon, są wynikiem miejscowego wzrostu błony na grubość: miejsca zgrubiałe stanowią wypukłości rzeźby, jej wklęsłości są mniej zgrubiałymi lub wcale niezmiennymi częściami błony.

Jak niejednostajny wzrost błony tłomaczy różnorodność kształtów pojedynczych komórek, tak niejednakowa prędkość dzielenia się i wzrostu tych ostatnich, jest przyczyną różnorodności form organów roślinnych. Przypomnijmy sobie porównanie z cegielkami, a łatwo zrozumieemy zasadę, na której spoczywa rozwój kształtów rośliny. Jeżeli np. komórki dzielą się przeważnie przegódkami równoległymi do $a b$, to cały organ będzie się wydłużał w kierunku $A B$, gdyż w tym kierunku najwięcej nowych komórek wstawi się między dawne. Innymi słowy, *kierunek największego wydłużenia jest zawsze prostopadły do przeważającego kierunku podziałów czyli do kierunku przegódek*. 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. Znaczenie podobnych wygięć i ich przyczyny poznamy niebawem.

Szczegółowe zbadanie zależności kształtów roślin od kierunku i porządku dzielenia, oraz wzrostu komórek, należy do morfologii; zadaniem fizjologii jest wyjaśnienie mechanizmu wzrostu, strony fizycznej tego zjawiska. W tym celu przedewszystkiem poznać winniśmy osobliwość budowy ciał uorganizowanych.

Wiemy już, że z połączenia atomów ciał prostych powstają cząsteczki chemiczne, te zaś składają się na cząsteczki fizyczne, z których utworzone są wszystkie ciała. Przypuszczają na podstawie szeregu faktów, dotyczących głównie zjawisk podczas pęcznienia i wysychania ciał uorganizowanych, oraz ich zachowania się wobec światła polaryzowanego, a w których bliższe rozpatrzenie nie możemy tu wchodzić,—że cząsteczki fizyczne składające te ciała, połączone są w większe jeszcze gromady — *cząsteczki organiczne* czyli *micelle*, posiadające kształty krystaliczne. Oddzielne micelle nie stykają się z sobą

lecz każda otoczona jest warstwą wody, utrzymywaną siłą przyciągania materji 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 pojedyncze 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 przewyciężenia ich wzajemnego przyciągania, nasiąkanie ustaje. Gdy ciało organizowane traci wodę, micelle zbliżają się do siebie, przez co ciało nabiera mocy i sztywności, gdyż przyciąganie cząstek jest silniejsze przy mniejszych odległościach.

Zjawiska polaryzacyjne każą przypuszczać prócz tego, że osie krystaliczne micell są jednakowo skierowane (fig. 23). Zresztą w naj-



Fig. 23.
Położenie micell w błonie;
każda micella (zacięniowa-
na) otoczona jest warstwą
wody.

nowszym czasie usiłowano wytlómaczyć te zjawiska niejednakowem napięciem rozmaitych warstw, porównyując ciała organizowane do szybko oziębionego szkła. Kwestya ta jest dotychczas sporną.

Wzrost jakiegokolwiek ciała organizowanego odbywa się przez to, że wśród istniejących micell tworzą się nowe. Jak wzrost całej rośliny jest wynikiem wstawienia nowych komórek (powstających skutkiem dzielenia dawnych) między te ostatnie, tak wzrost pojedynczych części komórki: błony, plazmy, jądra, ziarek krochmalu, ciał chlorofilowych i t. d. jest skutkiem *wnikania* nowych micell między istniejące. Tem się różni wzrost ciał uorganizowanych od wzrostu np. kryształów, w których nowe warstwy *nakładają* się z wierzchu istniejących ¹⁾. Materiał, z którego tworzą się nowe micelle, powstaje oczywiście w skutek czynności chemicznej komórek, a wytworzenie jego, oraz wnikanie nowoutworzonych micell jest nieodłączne od działalności żywej protoplazmy, chociaż rodzaju jej udziału bliżej nie znamy. *Wzrost ciał orga-*

¹⁾ Obok *teorii wnikania (intussusceptio)*, wysnutej przez Karola Nägelego na podstawie wyczerpujących studyów nad budową błon komórkowych i ziarek krochmalu, istnieje w botanice *teorya nakładania (appositio)*, tłómacząca wzrost utworów organizowanych na wzór nieorganicznych, t. j. przez nakładanie młodych warstw na starsze, teorya ta ma jednak do zwalczenia prawie nieprzewyciężone trudności, nie mówiąc już o tem, że nie wyjaśnia tak dobrze jak pierwsza wszystkich faktów znanych.

nizowanych odbywa się tylko w komórkach żywych i tem się różni jeszcze od wzrostu kryształów, odbywającego się w każdej cieczy, zawierającej materiał kryształu.

Można jednak i w nieobecności żywej plazmy wywołać zjawiska, naśladujące wzrost ciał organizowanych, a zwłaszcza błon komórkowych. Roztwór żelatyny sztywnieje, jeżeli do niego dodamy garbniku. Jeżeli więc weźmiemy kroplę żelatyny na pręcik szklany i zanurzymy ją do roztworu garbnika, to na jej powierzchni utworzy się zaraz błonka, rozdzielająca obie ciecze. Ponieważ jednak po obu stronach błony zostają ciecze rozmaite, utworzy się między nimi prąd osmotyczny; żelatyna, jako ciało koloidalne, nie może wysiąkać, natomiast roztwór taniny, z łatwością sączy się przez błonkę, zwiększając ciśnienie cieczy wewnątrz *sztucznej komórki*, a rozciągając błonę zwiększa jej pory. W ten sposób ułatwia się zmieszanie nowej ilości żelatyny z garbnikiem, a powstający ztąd osad, odkładając się w porach błonki pierwotnej, przyczynia się do jej wzrostu i grubienia.

Też same siły fizyczne czynne są i przy wroście błon organizowanych. Ponieważ komórka zwykle zawiera w soku swoim więcej ciał rozpuszczonych, niż otaczająca ją ciecz (np. woda gruntowa), przytem takich, których wysiłekaniu sprzeciwia się woreczek plazmatyczny (jak np. cukier, kwasy organiczne i t. d.), więc prąd osmotyczny do wnętrza komórki zawsze przeważa nad odwrotnym, utrzymując wewnątrz komórki podwyższone ciśnienie. Stan taki nazywa się *jędrnością komórki (turgor)*; jędrność jest przyczyną, że w każdej młodej komórce w normalnych warunkach błona jest rozciągnięta. Łatwo się o tem przekonać za pomocą prostego doświadczenia: jeżeli świeży skrawek młodej tkanki roślinnej położymy w kropli wody i zmierzyszy pod mikroskopem wielkość kilku komórek, dodamy do preparatu stężonego roztworu soli, to natychmiast zauważymy ich zmniejszenie się. Pochodzi to ztąd, że teraz komórki otoczone są cieczą gęstszą, niż zawarty w ich wnętrzu sok, prąd więc osmotyczny na zewnątrz bierze przewagę nad odwrotnym i komórki, tracąc wodę, pozbywają się jędrności, błony zaś w skutek własnej sprężystości powracają do wielkości normalnej. Przy dłuższem działaniu roztworu soli, protoplazma również zaczyna tracić wodę, kurczy się w skutek tego i oddziela się od ścianek.

Zjawiska tylko co opisane nazywają się *plazmolizą*. Jeżeli przerwać teraz działanie stężonego roztworu soli i zanurzyć komórki w czystej wodzie, to niebawem protoplazma powróci do pierwotnego stanu, a wkrótce nastąpi i wydłużenie komórek, które może nawet przewyższać początkowe, gdyż jędrność zwiększa się przez zanurzenie tkanek do wody.

Jędrność komórek jest przyczyną tęgości świeżych części roślinnych, a wszystkie warunki zmniejszające jędrność, t. j. odbierające roślinie wodę, usuwają tę tęgość, powodując stan miękki, który nazywamy wędnięciem. Tak działa zanurzenie w roztworze soli lub wysychanie.

Jędrność komórek i rozciągliwość błony są niezbędnymi warunkami wzrostu; jak się pokaże niebawem wyjaśniają one szereg osobliwości, towarzyszących temu zjawisku. Spowodowane przez jędrność rozciągnięcie jest pierwszym momentem wzrostu, a zależy jak wiemy od sił fizycznych, których sposób działania jest zupełnie jasny. Drugim momentem jest utrwalenie tego rozciągnięcia przez odpowiednie zgrubienie błon, następujące w skutek wnikania nowych micel błonnika w zwiększone przez rozciąganie przestwory między dawnymi, lub jak tłumaczy teoria nakładania—przez osadzenie nowych warstw błonnika na rozciągniętą błonkę pierwotną. W każdym razie ten drugi moment nieodłączny jest od czynności żywej protoplazmy.

Udział protoplazmy objawia się jeszcze i w innym względzie. Gdyby błona rosła jedynie pod wpływem rozciągnięcia turgorowego, komórka zwiększałaby się we wszystkich kierunkach jednostajnie, w rzeczywistości zaś często widzimy, że komórka daje woreczkowate wyrostki w jednym punkcie błony, jak np. przy wyrastaniu łagiewki pyłkowej. W tych wypadkach protoplazma robi błonę w pewnych punktach rozciągliwszą, jakby rozmiękczała ją miejscowo. Podobnym wpływem protoplazmy tłumaczą się wszystkie zaznaczone na początku wypadki niejednostajnego wzrostu błony.

Skoro tylko ścianki komórek zgrubiały o tyle, że plazmolizą nie możemy wykryć w nich rozciągnięcia zależnego od jędrności ¹⁾, wzrost komórki ustaje. W takim 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 wczesnie 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: jeżeli odejmiemy pochwę liściową, otaczającą źdźbło w tem miejscu i służącą ku ochronie tego punktu wegetacyjnego środkowego, zauważymy paseczek tkanki bardzo miękiej i delikatnej, w którym odbywa się wzrost. Wreszcie wzrost na grubość drzew naszego klimatu, odbywa się, jak wiemy, w pier-

¹⁾ A nawet nieco wcześniej jak wykazał p. Godlewski.

ścieniu miazgi, wytwarzającym wciąż nowe komórki, z których jedne przemieniają się na drewno, drugie na lyko.

W tych punktach wegetacyjnych, gdzie istnieje tkanka twórcza, złożona z ciągle dzielących się komórek, wzrost tych ostatnich jest dość jednostajny; lecz nieco niżej, gdzie powstały już tkanki stałe, nie rosną one jednakowo prędko, w skutek czego wytwarza się *napięcie tkanek*. Jeżeli wytniemy podłużny kawałeczek z łodygi lub młodej gałązki, i zmierzyszy 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 przez szybciej rosnący rdzeń (*napięcie ujemne*), ten ostatni zaś ściśnięty jest przez opóźniającą się we wzroście korę (*napięcie dodatnie*). Podobnież i w kierunku poprzecznym rozwijające się na grubość wiązki naczyniowe, rozciągają nie podążające za nimi 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 potęguje napięcie tkanek, wędnienie znosi je.

Jeżeli na młodym korzonku kiełkującego nasienia zrobimy tuszem znaczki równoległe (fig. 24—A), to po upływie doby zauważymy, że odległości między znaczkami zwiększyły się w skutek wzrostu niejednakowo (B). Najwięcej urosła część objęta między pierwszą a drugą po-

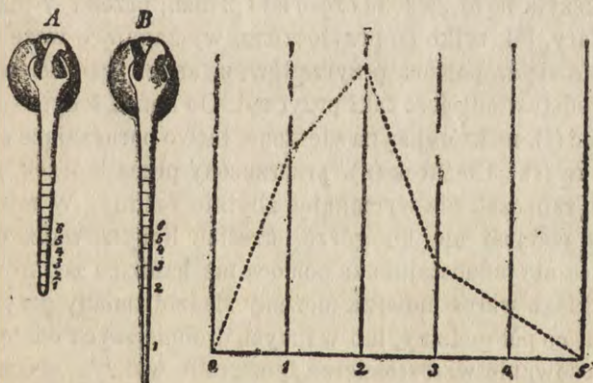


Fig. 24.

Wielki okres i wielka krzywa wzrostu.

działką (nie końcową), 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 za-

kreśliły wielkości przyrostu w tym czasie, to łącząc te ostatnie punkta otrzymamy krzywą (lub łamaną) linię, przedstawioną na rysunku. Krzywa ta wykazuje, że przyrost odbywa się szybko z początku; 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 paseczek, bliski rosnącego punktu.

Następująca tabliczka wyjaśni lepiej znaczenie tego prawa: u wierzchołka łodygi fasoli zaznaczony był paseczek długi na $3\frac{1}{2}$ milimetry. Następnie co dnia mierzono jego przyrost. Przyrost ten wynosił:

Przez 1-szy dzień	1,2 mm.
„ 2-gi „	1,5 „
„ 2-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-y już na 14 mm.

Pomiary, jak tylko co przytoczone, wymagające wszelkiej dokładności, robią się za pomocą przyrządów, zwanych *wzrostomierzami*. Na rys. 25 przedstawiony jest taki przyrząd. Do końca łodygi (*a*) przywiązana jest nić (*f*), na której są zawieszane, łatwo poruszające się saneczki z wskazówką (*s*). Ciężarek (*p*), przerzucony przez bloczek, równoważy ciężar tych saneczek nie wyciągając zbyt roślina. W miarę wzrostu wskazówka podnosi się ku górze, kreśląc linię na walcu okopconym, który obraca 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.

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-iej 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 tŁomaczy się zupełnie wlasnościami błon i komórek części rosnących. W samym punkcie wzrostu błony są wprawdzie bardzo cienkie i łatwo rozciągliwe, ale komórki tkanki tworzącej 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 dość cienkie i rozciągliwe, więc pas tych komórek stanowi miejsce, gdzie wzrost jest najszybszy. Dalej błony są coraz grub-

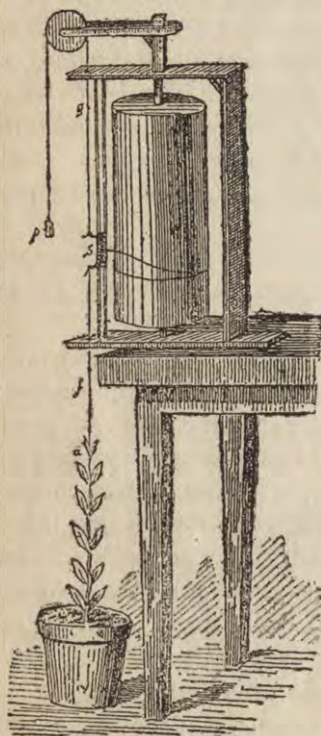


Fig. 25.
Wzrostomierz.

sze, a choć jędrność utrzymuje się na tym samym stopniu, rozciągliwość coraz się zmniejsza, a razem z nią ubywa prędkość wzrostu. Przyczyny peryodyczności dziennej nie są jeszcze wyjaśnione; prawdopodobnie składają się na nią wpływy czynników zewnętrznych, zwłaszcza zaś światła i wilgoci, połączone z osobliwością protoplazmy, w skutek której pewne peryodycznie działające przyczyny wywołują peryodyczność skutków, trwającą nawet po usunięciu przyczyn; innymi słowy protoplazma „przyczwycza się“ do tej peryodyczności.

Takimi nabytymi wlasnościami protoplazmy, tŁomaczy się i *peryodyczność roczna*, którą okazują wszystkie rośliny naszego klimatu, wstrzymujące wzrost na zimę, a rozpoczynające go z początkiem wiosny. I tu odziaływa nabyte przez protoplaz-

mę nawyknięcie, zależne od peryodyczności przyczyn zewnętrznych. Tak, cebule hyacynców nie rosną wcześniej niż w lutym, chociaż znajdują się w ciepłym pokoju; podobnie 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 Wenezueli, zachowują liście przez cały rok i nie przerywają wzrostu.

Z warunków zewnętrznych, wpływających na wzrost, poznaliśmy już jeden. Wiemy, że obecność tlenu niezbędna jest dla wzrostu, oraz że energia oddychania zmienia się równoległe do zmiany szybkości 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 dla tej rośliny 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, oddziałując na jędrność, wpływa i na wielkość lub kształt pojedynczych części roślin. Liście niektórych ziół (nasturecy, mniszka lekarskiego), w powietrzu bardzo wilgotnem dosięgają wielkości kilka razy przewyższającej normalną. Stokrotka, rosnąca pod kloszem, w powietrzu nasyconem parą, wytwarza lodygę o wyraźnie skrętoległych liściach zamiast zwykłego okółka: stłumienie wzrostu lodygi w naturalnych warunkach pochodzi ztąd, że wcześniej rozwijające się liście, wyciągając wielką ilość wody, odbierają ją od lodygi. Wortmann, hodując roślinki w czystej wodzie i w roztworze cukru (odbierającym wodę roślinie, a więc zmniejszającym jędrność komórek), zauważył, że kiedy w pierwszej komórki wyrastają na długość, w drugim zachowują nieznaczną wielkość, a natomiast błony ich silnie grubieją. Podobnie wpływem braku wilgoci tłómaczy się szereg zmian, jak grubienie naskórka, wytworzenie okrycia włoskowego i t. d., które swoją drogą chronią roślinę od nadmiernego wyciewania. Obecność wilgoci wpływa również i na skład chemiczny roślin. Schlösing zauważył, że liście tytoniowe wytwarzają więcej substancji organicznej w powietrzu nasyconem parą.

Jednostronnie działająca wilgotność wywiera wpływ przyciągający na korzenie. Jeżeli obręcz obwiązaną tiulem, napełnioną wilgotnemi trocinami i wysiejemy w nie nasiona, a potem zawiesimy ukośnie, to wy-

chodzące przez tiul korzonki będą rosły prosto w dół (ob. niżej—geotropizm), jeżeli powietrze jest jednostajnie nasycone parą. Jeżeli jednak pryzmat ten zawiesimy w suchym powietrzu, korzonki, rosnąc, będą się wyginały ku wilgotnej powierzchni tiulu: 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 łądygi, t. j. wyginają się w kierunku od wilgotnego miejsca.

Cisnienie 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.

Cisnienie 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 zmniejszyło 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 łądygę rośliny do podpory.

Analogiczne z tem jest t. zw. wygięcie Darwina, 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 przyspiesza się ze strony uszkodzonej, oddalając koniec korzenia od niebezpiecznego miejsca.

Światło wywiera wpływ tamujący na wzrost, a wpływ ten mają tylko niebieskie i fioletowe promienie widma. Długość międzywęzła roślin wyplonionych (rosnących w ciemności), oraz ich wiotkość, zależy od znacznej wielkości komórek i słabego zgrubienia ich błon. Działanie światła polega na jakimś, bliżej nieznanym wpływie na protoplazmę komórek, w skutek którego błona rośnie więcej na grubość, niż na powierzchnię. Dla tego też światło jest niezbędnym warunkiem do wytworzenia grubościennych pierwiastków mechanicznych, nadających sztywność łądydze. Pokładanie się zboża, np. jest wynikiem niedostatecznego rozwoju tych pierwiastków w skutek zaciemnienia przy gęstym siewie.

Wpływ jednostronnego oświetlenia powoduje cały szereg zjawisk które obejmujemy nazwą *heliotropizmu* ¹⁾. Wszystkim wiadomo, że je-

¹⁾ Dosłownie znaczy zwracanie się ku słońcu.

żeli roślina zostaje jednostronnie oświetlona, 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, w skutek czego ogonek wygina się w ten sposób, że powierzchnia liścia zwraca się ku światłu. Takie *ruchy kuświatlne* noszą nazwę *heliotropizmu dodatniego*. 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 innych opór, których się czepiają. Wyjaśnienia tych dwóch odmian heliotropizmu nie posiadamy.

Najbardziej uderzającym i godnym uwagi jest wpływ *siły ciężenia* na wzrost, który obejmujemy nazwą *geotropizmu*. 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; te części, w których już ustał wzrost, zostają bez zmiany. Wnosimy ztąd, że geotropizm zależy od wzrostu. Że przyczyną jego jest siła ciężenia, 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. Przeciwnie jeżeli umieścimy kiełkujące nasiona na walcach poziomych, obracających się powolnie (*klinostaty*), tak że kierunek rosnących części względem siły ciężenia będzie się zmieniał co chwila, przez co wyklucza się jej działanie, to i korzonek i łodyga zachowują, rosnąc, dowolny kierunek w jakim były umieszczone.

Geotropizm polega oczywiście jak i heliotropizm i hydrotropizm na niejednakowym wzroście; zostaje atoli (jak i w tamtych wypadkach) zupełnie niewyjaśnionem, dla czego w leżącej poziomo łodydze rosną prędzej komórki dolnej strony, powodując wygięcie ku górze, w korzeniu zaś przeciwnie, a z kilku teoryj podanych dla wyjaśnienia tej różnicy, żadna nie wyczerpuje zagadnienia. Prócz tych dwóch rodzajów geotropizmu, znany jest jeszcze *geotropizm poprzeczny*, właściwy niektórym łodygom podziemnym (kłączom), rosnącym w kierunku prostopadłym do siły ciężenia.

ROZDZIAŁ IX.

Ruchy i drażliwość roślin.

Ruchy protoplazmy w komórkach roślin wyższych — Ruchy utworów plazmatycznych pozbawionych błon.—Ruchy okrzemek i oscylaryj. — Wpływ czynników zewnętrznych na ruch: obecność tlenu; temperatura; światło. Światłoczułość pływki i plazmodyów hydrotropizm i termotropizm tych ostatnich. Plemniki i bodźce chemiczne.—Drażliwość plazmy.—Mechanika ruchów protoplazmatycznych, pływki i okrzemek.—Ruchy roślin wyższych.—Udział w nich drażliwości. — Ruchy samoistne (hypo- i epinasty, nutacja rośliny wijące się).—Ruchy wywołane: sen roślin; zegar kwiatowy. — Ruchy właściwe, ich mechanizm.—*Desmodium gyrans*; muchołówka, mimoza. Pręciki kwiatów.

Protoplazma w żyjących komórkach często wykonywa pewne ruchy. Obserwować je najlepiej można na częściach rośliny dość drobnych, aby je można było umieścić pod mikroskop, a więc na włoskach i innych utworach, złożonych z jednej lub niewielu komórek. Bardzo dogodnym przedmiotem do podobnych spostrzeżeń są parzące włoski pokrzywy (fig. 26). Umieszczając pod mikroskopem jeden z nich, dostrzeżemy liczne prądy drobnych ziareczek, odbywające się w rozmaitych kierunkach, tak w plazmie otaczającej ścianki, jak i w niciach plazmatycznych idących ku jądru. Również dobrym przedmiotem są wielokomórkowe włoski kwiatowe trzykrotki (*Tradescantia*), którego jedna komórka przedstawiona jest na fig. 2 (R. I). W innych komórkach, np. u *Valisneria* cała masa protoplazmy krąży w jednym kierunku, unosząc ziarka chlorofilowe, jądro i inne zanurzone w niej części komórki. Ruchy protoplazmy mają miejsce prawdopodobnie we wszystkich młodych komórkach, chociaż nie zawsze można je widzieć. Przy pomocy tych ruchów odbywa się zmiana położenia ziarn chlorofilowych pod wpływem światła, o którym wyżej była mowa.

W większym stopniu posiada swobodę ruchu protoplazma, gdy nie jest otoczona błoną; takie pozbawione błon komórki spotykają się wśród roślin niższych i służą tu za organa rozmnożenia. Do tej kategorii należą *plywki* wodorostów, oraz *plemniki* większej części roślin bezkwiatowych. Są to drobne komórki, złożone z plazmy i jądra, pozbawione błony, a posiadające pewną ilość (najczęściej dwie) nici plazmatycznych, które szybko wiosłują podczas ruchu.

Pierwsze mają zwykle kształt jajowaty (fig. 27); bezbarwny koniuszeczek ostry, zaopatrzone jest w ruchome nici plazmatyczne, szeroka zaś tylna część zawiera chlorofil. Plemniki są znacznie mniejsze, pozbawione chlorofilu i mają najczęściej kształt wężykowaty.

Drugi typ ruchu wolnych mas plazmatycznych spotykamy u *śluzowców*. Te bardzo niskiej organizacyi rośliny, spotykające się na korach drzew i rozmaitych szczątkach roślinnych, składają się z masy plazmatycznej, niepodzielonej na komórki i pozbawionej chlorofilu. Masa ta (plazmodium) może odbywać *ruch pełzający*: na brzegu jej tworzy się

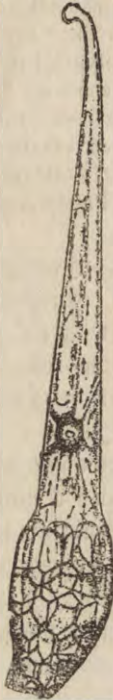


Fig. 26
Włosek pokrzywy.
Strzałki wskazują
kierunek prądów.
Pow. 250 razy.



Fig. 27.
Pływki wodorostów. Pow. 300 razy.

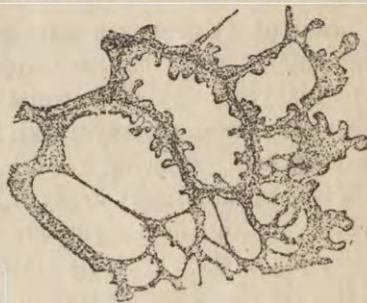


Fig. 28.
Plazmodium śluzowca; u góry tworzą się
wyrastki w kierunku ruchu plazmodyum.
Silnie powiększone.

przytem szereg wyrostków, w które stopniowo i powoli przelewa się cała masa śluzowca (fig. 28).

Niektóre niższe wodorosty, chociaż zaopatrzone w błonę, odbywają jednak ruchy postępowe. Do takich należą okrzemki i oscyllarye. Pierwsze składają się z pojedynczych komórek, kształtem najczęściej przypominających czółenka. Błona ich nasiąknięta jest w silnym stopniu krzemionką, która zostaje po spaleniu komórki w postaci panczerza, zachowując kształt i rzeźbę żywej błony (fig. 30). Oscyllarye są to nici, złożone z krótkich komóreczek. Ruchy tych istot są bardzo powolne,

przypominające ślizganie się lub pływanie; oscyllarye przytem często jeszcze obracają się około podłużnej osi, co można zauważyć po ruchach wygiętego koniuszeczka nici.

Ruchy protoplazmy odbywają się tylko w pewnych warunkach: niezbędną ku temu jak i dla wzrostu jest obecność tlenu i pewna cie-



Fig. 29.

Okrzemka (*Pinnularia*) silnie powiększona. Lewy rysunek przedstawia ją ze strony czoła gdzie błona jest rzeźbiona; środkowy z boku. Prawy przedstawia dzie-
lenie się. Pow. około 400 razy.

płota. Istnieje pewien stopień temperatury, w którym ruch odbywa się najenergiczniej (*optimum*) i inne dwa (*najwyższa i najniższa* temperatura), poza którymi ustaje. Środki znieczulające, jak eter lub chloroform wstrzymują ruch. Inne czynniki fizyczne również oddziałują nań. Tak na ruch protoplazmy we włoskach pokrzywy działają w sposób bardzo osobliwy czerwone promienie światła: ruch przytem początkowo przyspiesza 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 nie zakłócają wcale jej ruchu.

Jednostronne oświetlenie działa rozmaicie na pływki i plazmodia. Większa część pierwszych dąży ku światłu (*światłoczułość dodatnia*); podobnie zachowują się okrzemki i oscyllarye. Plazmodye 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, którymi rozmnażają się śluzowce, plazmodya ich unikają miejsc wilgotniejszych i podnoszą się na suche, gdzie łatwiej dojrzewają zarodniki i mogą być rozsiane powiewem wiatru. Podobnież czułem i są

¹⁾ Doświadczenia te dokonane były poraz pierwszy przez Borszczowa, następnie zaprzeczone na podstawie nieściśłych spostrzeżeń (użyto szkieł kolorowych zamiast roztworu dwuchromianu potasu). Powtórzyłem je w pochmurny dzień jesienny, kiedy niepodobna było myśleć o rozgrzewaniu oświetlającym 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.

plazmodya 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 okazują czułość na bodźce chemiczne. Roztwór kwasu jabłkowego działa na plemniki paproci przyciągając je, roztwór cukru trzcinowego działa tak samo—na plemniki mechów. Własność ta wyjaśnia nam przyczynę, pobudzającą te komórki do podążania ku *rodniom*, zawierającym komórki jajowe, z którymi łącząc się, wytwarzają zdolne do kiełkowania zarodniki. Ciecz wydzielana przez szyjkę rodni działa chemicznie na plemniki, przyciągając je w potrzebnym kierunku.

Wszystkie opisane tu objawy oddziaływania protoplazmy na wpływ czynników zewnętrznych obejmujemy wspólną nazwą *drażliwości*. *Drażliwość jest własnością wszelkiej żywej protoplazmy, w skutek której odpowiada ruchem na działanie rozmaitych czynników zewnętrznych*. Takie czynniki nazywamy *bodźcami*. Drażliwość i ruch, to dwie istotne cechy życia.

Spróbujmy teraz zdać sobie sprawę z fizycznej strony tego zjawiska. Przedewszystkiem powinniśmy postawić pytanie: z kąd bierze się energia, potrzebna do wywołania ruchu.

Odpowiedź łatwo znajdziemy, jeżeli przypomnimy sobie to, co wiemy o oddychaniu i o stosunku energii potencjalnej do czynnej. Ruch jest wynikiem wywiązania energii, nagromadzonej w cząsteczkach białka w postaci sił napięcia (energii potencjalnej). Że zaś owo wywiązanie energii odbywa się drogą utlenienia, tłómaczy nam to niezbedność tlenu do ruchów. Z tej samej zasady mechanicznej wynika i ta własność, charakteryzująca ruchy żywej plazmy, że nie są one w żadnym stosunku ilościowym do siły bodźca: niekiedy słabe, prawie niedostrzegalne podrażnienie może wywołać silne oddziaływanie i odwrotnie. Przyczyną tego jest—że siła, wywołująca ruch, nie pochodzi od bodźca, lecz z samej plazmy; bodziec działa tu jak *odczepienie*: gdy zawiesimy wielki ciężar, wprawiający w ruch mechanizm zegarowy na znacznej wysokości, dość będzie nieznaicznego usiłowania, potrzebnego do usunięcia utrzymującej ciężar zasuwki, aby wywołać wielką ilość ruchu. Siła potrzebna ku temu była już poprzednio nagromadzona przy podnoszeniu ciężaru i działanie mechanizmu będzie odpowiadało temu zasobowi siły, nie zaś drobnej cząstce, która potrzebna była na odczepienie. Toż samo mamy w protoplazmie: zawiera ona nagromadzoną energię, która tylko wywiązuje się pod wpływem rozmaitych bodźców.

Możemy teraz bliżej rozejrzeć się w samym mechanizmie ruchów protoplazmy. Przypominamy sobie micelarną budowę ciał uorganizowanych. Każda zmiana chemicznej budowy micelli, dodanie lub odjęcie

kilku atomów, powoduje zmianę siły, z jaką przyciąga otaczającą ją warstwę wodną.

Jeżeli w punkcie *a* przyciąganie to zmniejszy się, w *b* zaś urośnie, powstanie prąd wody od *a* ku *b*, ztąd wyniknie zwiększenie po-



Fig. 30.
Schemat ruchów protoplazm: micelle z ich otoczkami wodnemi.

włók wodnych i odległości między micellami w *b*, ich zmniejszenie w *a*. Wiemy zaś, że cząsteczki żywej plazmy są w stanie ciągłego rozkładu i odtwarzania się, nie 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.

Taki jest w ogólnych zarysach mechanizm prądów protoplazmatycznych, oraz ruchów plazmodiów.

Zupełnie inne są zasady ruchu pływki; przyczyną ich jest prawdopodobnie odpychanie, wywołane przez wydzielające się z zaopatrzonej w chlorofil części niewidzialne pęcherzyki tlenu. 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, w skutek czego wydzielał się tu kwas węglowy, a cały utwór płynął lakierowanym końcem naprzód.

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. Udział światła w przyswajaniu służy za wskazówkę, gdzie szukać należy objaśnienia światłoczułości tych komórek.

Ruchy zwierząt są prostym wynikiem kurczliwości protoplazmy i ich mięśni.

Ponieważ protoplazma komórek wyższych roślin zamknięta jest w błonach, same zaś rośliny przymocowane do ziemi korzeniem, niemożliwa więc tu jest ani zmiana miejsca rośliny, ani bezpośredni wpływ prądów plazmatycznych na ruchy pojedynczych jej organów. Ruchy

roślin wyższych polegają też na mechanizmie w niczem niepodobnym do tego, który sprawia ruchy zwierząt.

Poznaliśmy już niektóre zmiany położenia części roślin, zależne od jednostronnego wpływu rozmaitych czynników, jak światło ciężenie, wilgoć. Wszystkie miały tę wspólną cechę, że powstawały w skutek wzrostu i dla tego raz zaszły zmiany zostawały nadal. Takie ruchy nazwać możemy *wzrostowemi*. Wspólną ich cechę, oddzielającą je od zwyczajnych zjawisk wzrostu, a zbliżającą do *ruchów właściwych*, jest udział w nich drażliwości protoplazmy. Wiemy już, że stosuje się to do wąsów: najłżejsze dotknięcie jednego punktu, powoduje tu zmianę prędkości wzrostu, szerzącą się na cały organ. Toż samo dotyczy według nowszych badań i wygięć kuświatlnych: pokazało się mianowicie, że koniuszeczki rosnącego pędu jest najbardziej wrażliwy na działanie światła i że otrzymane przezeń podrażnienie, wywołuje wygięcie ku światłu nieoświetlonej rosnącej części ¹⁾. Również prawdopodobnym jest, że i w zjawiskach geotropizmu bierze udział drażliwość koniuszka rosnącego pędu lub korzenia, szerząca się na całą rosnącą część.

Widzimy więc tu przeniesienie drażliwości od komórki ku komórce, a zjawisko to nie powinno nas dziwić wobec istnienia znanych już nam połączeń protoplazmatycznych między komórkami. Wpływ więc na przyspieszenie lub zwolnienie wzrostu odbywa się przez pośrednictwo protoplazmy i jej drażliwości.

Niekiedy zmiany położenia wywołane przez wzrost, odbywają się względnie prędko i tak często zmieniają kierunek, że przybierają zupełnie charakter ruchów w zwyczajnym znaczeniu słowa. Do tego typu należą tak zwane *ruchy autonomiczne*, czyli samoistne.

Najbardziej powolne z nich są te, którym zawdzięczają rozwinięcie pączki liściowe i kwiatowe. Dopóki pączek jest zwinięty, liść lub płatek rośnie prędkiej na swojej stronie zewnętrznej (*hyponastia*), co właśnie powoduje przyciskanie się do innych i zwaniecie w pączku. Przeciwnie, gdy pączek się rozwija organa te zaczynają rosnąć prędkiej na stronie wewnętrznej, która teraz staje się górną (*epinastia*).

Zmiany prędkości wzrostu różnych części pędu, powodują wyginanie się jego końca to w jedną, to w drugą stronę (*nutacja*); niekiedy koniec ten opisuje kółko lub owal (*kołowanie*), w skutek tego, że linia najprędszego wzrostu zmienia ustawicznie swoje położenie. Te ruchy

¹⁾ Spostrzeżenie to, podane w zbyt absolutnej formie przez Franciszka Darwina, zaprzeczone następnie przez Wiesnera, zostało stwierdzone i sprostowane w najnowszym czasie przez p. Władysława Roterta.

bywają bardzo znaczne u roślin wijących się i pełnią tu ważną rolę. Gdy nasienie kiełkuje, rosnący pęd opisuje coraz większe koła, używając na cały óbrót kilka lub kilkanaście godzin. Przytem jedne gatunki, (np. chmiel), kołują w kierunku wskazówek na zegarze, większa część zaś innych roślin wiciowatych w przeciwnym. Kołowanie tu trwa, dopóki koniec pędu nie natrafi na jakąś oporę dość cienką, ażeby mógł się w około niej owinąć. Wtedy ruch kołowy nie ustaje, ale pod wpływem jego zaczyna się obwijanie pędu w około opory; 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.

Ruchami wywołanemi (paratonicznemi) nazywamy takie, które zależą od działania czynników zewnętrznych. Najbardziej charakterystycznymi są ruchy, powodujące tak zwany *sen roślin*, czyli zmianę położenia liści w nocy i w dzień. Możemy je łatwo widzieć u akacji: 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 przyspieszenie wzrostu ¹⁾ górnej lub dolnej strony ogonka liściowego: gdy rośnie prędzej pierwsza—liść się opuszcza, gdy druga—podnosi się. Można wywołać w dzień nocne położenie liści, pokrywając roślinę czarnym kloszem; zmiana położenia następuje w ciągu $\frac{1}{2}$ —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 szczególnie 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 (<i>Hemerocallis flava</i>)	5 z rana	7—8 wieczorem
Grzybień biały (<i>Nymphaea alba</i>)	7 „	5 popołud.
Nogietki (<i>Calendula</i>).	9 „	3 „
Len (<i>Linum usitatissimum</i>)	5 „	12 „

¹⁾ Dla tego też stają się mniej wyraźnymi, gdy wzrost liścia zwalnia się, a ustają zupełnie skoro ten ostatni dosięgnie kresu.

Właściwe, niezależne od wzrostu ruchy roślin polegają na mechanizmie, o którym daje przybliżone pojęcie ruch palców rękawiczki przy jej nadymaniu. Tylko zamiast powietrza działa woda, a mniejsze lub większe naprężenie pewnych części roślin, wywołujące ruchy, zależy od jędrności komórek. Tylko co opisane ruchy wzrostowe nie różnią się od właściwych tak dalece jakby się zdawać mogło: wiemy, że jędrność jest jednym z czynników wzrostu: różnica więc polega tylko na tem, że w ruchach wzrostowych zmiana położenia, spowodowana przez jędrność, zostaje utrwaloną; w ruchach zaś właściwych — nie, i dla tego organ w skutek nowej zmiany jędrności powraca do pierwotnego położenia.

Ruchy tego rodzaju są nierównie szybsze, niż wzrostowe. 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, powolniejsze, dwa zaś boczne prędsze, przyczem opisują długie owale. Ruchy te nie są wywołane przez żadne bodźce zewnętrzne, lecz zupełnie autonomiczne, ale warunkiem ich jest pewna temperatura. W 35° C. obrót listków bocznych trwa 1½ minuty; w 28° — 4 minuty, a niżej 22° ruch ustaje zupełnie. Przyczyną ich jest peryodyczna zmiana jędrności komórek pewnych poduszczynek, znajdujących się u nasady liści.

Ruchy muchołówki należą przeciwnie do wywołanych przez bodźce zewnętrzne: liść jej, złożony z dwóch połówek, zaopatrzony jest we włoski bardzo czule na dotknięcie: jeśli owad potrąci o jeden z nich połówki liścia szybko się zwierają, a osadzone na jego brzegach kolce, wchodzą między siebie, zupełnie zamykając owad. Liść zostaje zwartym przez kilka dni, dopóki z owadu nie zostaną tylko szczątki. Przeciwnie po dotknięciu innym przedmiotem liść prędko się otwiera. Przyczyną ciągłego zwarcia liścia, utrzymującego w niewoli muszkę, jest to, że ciała białkowane i w ogóle wszelkie substancje azotowe działają jako bodziec chemiczny i podtrzymują podrażnienie. O ile wydzielony przez gruczołki liściowe sok jest istotnie sokiem trawiącym i czy roślina korzysta z rozpuszczonego ciała owadu na pożywienie swoje, może to ulegać pewnym wątpliwościom.

Druga roślina, zaliczana również do owadożernych, pospolita u nas rosiczka (*Drosera*), zatrzymuje owady lepką wydzieliną czerwonych włosków gruczołkowych, które pokryte są jej liście. Podrażnienie spowodowane obecnością owadu wywołuje ruchy wzrostowe z początku najbliższych, później bardziej odległych włosków, które się nachylają ku owadowi i oblepiają go ze wszech stron. I tu podrażnie-

nie, rozpoczęte dotknięciem, podtrzymuje się działaniem chemicznym części owadu.

Najbliżej zbadane są ruchy czulka. Są one dwojakie: 1) na noc przyjmuje czulek położenie właściwe wielu innym roślinom tej rodziny, składając listki po dwa ku górze; 2) przy każdym dotknięciu lub wstrząśnieniu przybierają liście również położenie nocne, trwające zresztą bardzo niedługo. Szczególną czułością na dotknięcie odznacza się dolna



Fig. 31.

Czulek, jeden osobnik pod kloszem znieczulony eterem wylanym na gąbkę, zachowuje położenie dzieńne liści; drugi w skutek wstrząśnienia stulił je.

część poduszcзки u ogonka liściowego: przy dotknięciu staje się ona ciemniejszą, co pochodzi ztąd, że woda zostaje wyciśnięta z komórek do przetworów 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. Ostatniemi czasy znaleziono (Haberlandt) w łykowej części wiązek czulka organ, któremu przypisują szerzenie pobudliwości: są to szeregi komórek połączonych przy pomocy przedziurawionych siatkowato błon, wypełnionych protoplazmą. Środki znieczulające jak chloroform, eter, pozbawiają mimozę na pewien czas czułości. Tak samo działa ciemność, niska 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 okazują ruchy wywołane. Bardzo łatwo je obserwować na berberysie. Jeżeli dotkniemy wewnętrznej strony pręcika tej rośliny u podstawy nitki, porusza się on szybko ku słupkowi. Ruchy te mają niekiedy znaczenie przy zapylaniu.

ROZDZIAŁ X.

Mnożenie się roślin.

Osobnik, organ, kolonia.—Chwiejność w pojęciu osobnika.—Mnożenie się wegetacyjne: dzielenie i pączkowanie. — Dzielenie i wzrost. — Pływki.—Rozmnożenie wegetacyjne u roślin wyższych: sadzonki, bulwy i t. d. — Reprodukcyja i jej typy: 1) spojenie pływek; 2) sprzężenie; 3) rodnie i plemie, przemiana pokoleń; 4) zapłodnienie przez łagiewkę pyłkową.—Budowa i morfologiczne znaczenie kwiatu. — Podobieństwo rozmaitych organów rozrodczych i jedność aktu reprodukcyjnego. — Na czem polega jego istota.—I rzyczyna śmierci.—Śmierć i narodzenie.

Rozmnożeniem nazywamy zwiększenie ilości osobników roślinnych. Osobnikiem biologicznym w ogóle nazywamy istotę oddzielną od innych i niejako zakończoną w sobie, t. j. obdarzoną określonym kształtem i zdolną pędzić życie niezależne. Gałązka odcięta od wierzby, nie jest jeszcze osobnikiem; lecz jeżeli posadzona w ziemię zakorzeni się w niej

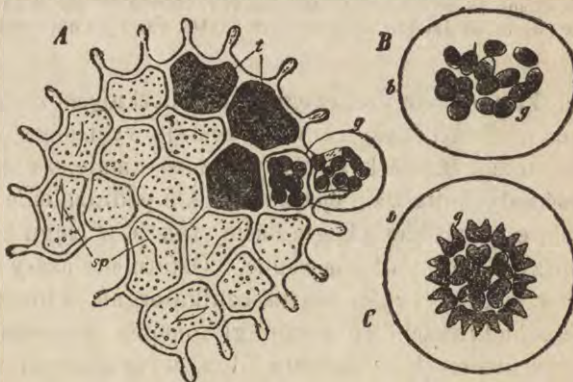


Fig. 32.

Gwiazdnica (*Pediastrum*); tworzenie się młodej kolonii z jednej komórki starej.

i utworzy młode liście, stanowi już nowy osobnik, powtarzający w ogólnym zarysie kształty pierwotnego i mogący wykonywać samodzielnie wszystkie czynności życiowe. Nie tak wszakże łatwe jest rozgraniczenie pomiędzy częścią rośliny, a nowym osobnikiem wśród organizmów niższych, gdzie z jednej strony wszystkie komórki składające osobnik, są

jednakowe co do budowy i równoznaczące pod względem fizjologicznym, z drugiej zaś strony spojenie ich w jedną całość nie bywa stałym, lecz przerywać się może zupełnym rozdzieleniem. Za przykład posłużyć może bardzo pospolity w wodach naszych wodorost mikroskopowy *gwiazdnica*. Jestto tabliczka ułożona z komórek; każda z nich zawiera protoplazmę, jądro i zieleni, a jeżeli pominiemy różnicę kształtów środkowych i brzeżnych komórek, wszystkie są sobie równe. Każda może przyswajać kwas węglowy i mineralne substancje z wody, odnawiać zużyty przez oddychanie materiał swego ciała, a w pewnej chwili może nawet wydać potomstwo w postaci kolonii, zupełnie podobnej do tej, w której skład wchodzi. Dzieje się to tak: zawartość komórki dzieli się na pewną ilość części (po poprzednim rozdzieleniu jądra na tyleż jąder potomnych), które niebawem wypływają przez powstającą w błonie szparkę razem z otaczającą je w postaci pęcherza kroplą utworzonego z wewnętrznej warstwy błony śluzu. W tej kropli zostają płytki poruszają się przez pewien czas, następnie zatrzymują się, spajają się razem i tworzą młodą kolonię, podobną do macierzystej.

To chwilowe rozdzielenie komórek, po którym następuje złączenie, trwające aż do chwili utworzenia nowej gwiazdnicy, świadczy o znacznym stopniu ich samodzielności, w skutek czego nazwaliśmy całą gwiazdnicę kolonią, przyznając przez to każdej komórce znaczenie osobnika. Lecz nawet w takich wodorostach jak skrętnica, której komórki zostają przez całe życie spojone z sobą, są one zupełnie równoznaczące pod względem budowy i czynności, a nie złożona z nich może być rozcięta, lub sama często rozdziela się na kilka części, z których każda żyje nadal niezależnie. I tu więc granica między osobnikiem a częścią, nie da się ściśle oznaczyć; organizmy takie nazywamy *jednokomórkowemi w szerokim znaczeniu wyrazu*.

Jeszcze bardziej uwydatnia się chwiejność pojęcia osobnika, wtedy, gdy bierzemy pod uwagę to, co nazywa się zwykle *rozmnożeniem wegetacyjnem*.

Jeżeli weźmiemy na szkiełko przedmiotowe mikroskopu odrobinę pyłku zielonego, pokrywającego często korę drzew, parkany lub ziemię wilgotną, przekonamy się, że składa się on z osobnych komórek okrągłych. Jest to jeden z najprostszych wodorostów — *pierwotek* (*Protococcus viridis*). Komórki jego od czasu do czasu dzielą się według ogólnego typu, opisanego już wyżej ¹⁾, ale powstające skutkiem dzielenia komórki potomne nie zostają w związku z sobą, jak u roślin wyższych, lecz oddzielają się zupełnie. Sprawę taką nazywamy *rozmnożeniem*.

¹⁾ Por. Roz. I.

niem drogą dzielenia się komórek, uważamy bowiem pojedyncze komórki pierwotka za osobniki.

Za odmianę tej formy uważać możemy pączkowanie, które można obserwować u komórek drożdżowych (fig. 22). Polega ono na tem, że z komórki macierzystej wyrasta początkowo mały guziczek, oddzielający się od niej błoną i dorastający następnie do jej wielkości. Przez takie pączkowanie powstają łańcuszki luźnie spojonych komórek, które następnie łatwo się rozłączają. Różnica pomiędzy dzieleniem a pączkowaniem polega jedynie na tem, że w pierwszym komórka dzieli się na części równe, w drugim na nierówne.

Jeżeli po rozdzieleniu związek między komórkami nie zrywa się, to w skutek następujących po sobie podziałów, mogą utworzyć się nici komórkowe (por. fig. 4), płaszczyzny lub ciała i wtedy sprawę tę nazywamy jak i u roślin wyższych *wzrostem*. Granica więc między wzrostem

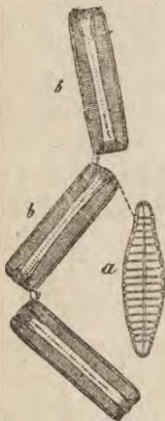


Fig. 33.

Kolonia okrzemek (*Diatoma vulgare*).
a—z góry, b—z dołu.



Fig. 34.

Wstążnica (*Ulothrix zonata*) tworząca pływki—*a* wyjście pływek zwyczajnych; *b*—jedna z nich; *c*—młoda roślina wyrastająca z nich; *d*—pływka mniejsza przeznaczona do spojenia się (*planogameta*); *e*—planogamety wyrastające bezpośrednio; *f*—dwie spajające się planogamety; *g*—zygota; *h*—początek tworzenia się z niej pływek.

a rozmnożeniem vegetacyjnym nie jest ściśle i zupełnie zależy od tego, co będziemy uważali za osobnik. Pączkowanie drożdży np. można uważać jako wzrost łańcuszka, dopóki tworzące go komórki zostają w związku z sobą. Pośród okrzemek (por. fig. 29) dają się widzieć często długie wstążki (kolonie) komórek, powstające z jednej, w skutek szeregu podziałów; w pewnej chwili jednak, łącząca komórki błonka

rozpuszcza się w swojej warstwie środkowej i komórki mogą zostać połączone tylko na rogach, tworząc zygzagowate kolonie; z czasem może się zerwać i ten luźny związek, przez co pojedyncze komórki otrzymują zupełną niezależność.

Nie zmienia się istotnie postać rzeczy i w drugim typie rozmnożenia wegetacyjnego, który polega na wytworzeniu *ruchomych zarodników* czyli *plywek*. Obserwować je można u bardzo wielu wodorostów. Jako przykład podajemy powstawanie pływki u *wstężnicy* (*Ulothrix*): zawartość komórki dzieli się tu na dwa lub cztery ciała okrągłe, które wypuszczają z siebie nici protoplazmatyczne i wiosłując nimi wypływają przez powstający w błonie otwór w otaczającą wodę, gdzie po upływie pewnego czasu zatrzymują się, otaczają się błoną i każda z nich drogą dzielenia wytwarza nową nić wstężnicy (fig. 34 a, b, c).

Obok więc *wzrostu* właściwego nici (jeżeli ją uważać będziemy za osobnik), mamy tu *rozmnożenie wegetacyjne* (wytworzenie nowych osobników—nici) przez pływki. Z punktu widzenia zaś fizjologicznego 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 powinniśmy uważać jako przystosowanie mające na celu danie roślinie możności skorzystania z najlepszych warunków dla jej rozwoju i uniknięcie skupienia osobników w jednym miejscu, przez co utrudnia się ich odżywianie,—znalezienie bardziej oświetlonego i lepiej zaopatrzonego w pożywienie gazowe i mineralne stanowiska. Sprzyjają temu własności tych pływki: dążą one ku światłu (są *dodatnio światłoczułe*) i ku powierzchni wody, gdzie wymiana gazów z powietrzem odbywa się szybko.

Równoznaczące z tem są sposoby rozmnażania roślin wyższych, przez sztucznie odcięte (sadzonki, zrazy, odkłady i t. d.) lub też naturalnie odpadające części, jak np. bulwy, które są nabrzmiałymi i obficie zaopatrzonymi w pożywienie dla swoich pączków (*oczek*) częściami lodygi, cebuleczki (*buibillae*), t. j. odpadające i obdarzone zdolnością zakorzenienia się pączki i t. p.

Każda taka część dawnego osobnika, mogąca utworzyć nowy, powstaje przez szereg podziałów jednej komórki pierwotnej, którą u roślin wyższych nazywamy jajem, a która powstaje ze zlania dwóch innych. Ten to akt zlania, poprzedzający dzielenie się, stanowi właściwy akt reprodukcji, czyli rozmnożenia płciowego.

Istota więc reprodukcji czyli właściwego rozmnożenia polega na utworzeniu z dwóch komórek jednej, obdarzonej w wysokim stopniu zdolnością do dzielenia się według pewnego planu. Miliony komórek olbrzymiego dębu powstają w skutek podziałów jednej takiej komórki, a kierunek i następstwo podziałów są tak z góry nakreślone, że każda gałązka, każdy liść, każdy kwiatek powtarza formę dalekich przodków naszego dębu. Rzec można, że cały plan olbrzymiego drzewa jest z góry nakreślony w mikroskopowym jajeczku.

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, różnią się znacznie mniejszą wielkością. Pochodzi to ztąd, że tworzą się w większej ilości z jednej komórki (np. u wstężnicy w liczbie 8 lub więcej); różnią się przytem i zachowaniem względem światła, którego unikają (czyli są *ujemnie światłoczułe*). (Fig. 34, d, e, f, g).

Pływki takie spajają się po dwie lub po kilka. Zaczyna się zlanie zwykle od zaostrego bezbarwnego końca (fig. 27). Utworzony przez zlanie *zarodnik sprzężony (zygota)*, zostaje zwykle jakiś czas w spoczynku (zimuje), później zaś kielkuje, t. j. drogą dzielenia wytwarza nici lub rozdzielne komórki, zupełnie podobne do tych, z których powstały pływki lub też pływki większe, które następnie wyrastają w nici (fig. 34 h i e).

Drugi typ tego aktu przedstawia *sprzężenie*. Możemy je obserwować u niektórych wodorostów i grzybów. Za przykład niech posłużą skrętnice: komórki dwóch leżących naprzeciwko siebie nici tworzą wyrostki ku sobie, które spajają się w rurczkę; błonka przegradzająca ją zostaje rozpuszczona i cała masa protoplazmy jednej komórki, poprzednio oddzieliwszy się od błony i zaokrągliwszy się (t. j. tworząc t. zw. *gametę*) zlewa się z podobnie zaokrągloną masą przeciwległej komórki. Przelewanie gamet zawsze odbywa się w jednym kierunku, t. j. z komórek nici *męzkiej* do *żeńskej*, które zresztą niczem się nie różnią na oko (fig. 35).

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 istotnie sprawa ta nie różni się 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 kielkować, t. j. drogą szeregu podziałów wydać nową nić skrętnicy, dopiero po upływie pewnego czasu.

Trzeci typ aktu reprodukcyjnego właściwy jest przeważnie wyższemu bezkwiatowemu (mchy, paprocie, skrzypy, widłaki), t. zw. *rodniowcom*. Tu już istnieje znaczna różnica w ukształtowaniu zlewających się komórek, przytem jedna z nich — *jajo* zostaje nieruchoma i bywa stosunkowo wielka. Bardzo liczne zaś *plemniki* mają kształt najczęściej wężykowaty, są drobne i szybko pływają przy pomocy rzęś protoplazmatycznych.



Fig. 35.
Sprężenie skrętnic *a*—początek;
b—chwila przelewania się gamety
męskiej; *c*—zygota pow. 100 razy.



Fig. 36
Zarodnie paproci; prawa pęknięta
wysiewa zarodniki, pow. 150
razy.

Plemniki powstają przez rozdzielenie się jednej komórki w osobnych organach—*plemniach* (fig. 37); jajo zaś tworzy się w *rodni* (fig. 38), która otwiera się wtedy, gdy plemniki i jajo są dojrzałe. Substancje chemiczne wydzielane przez szyjkę rodni działają na plemniki, przyciągając je (u mchów działa w ten sposób cukier trzcinowy, u paproci—kwas jabłkowy), w skutek czego cisną się tłumnie do rodni. Skoro jeden z plemników dostanie się do jaja (nazywamy to *zapłodnieniem* jego), otacza się ono błoną i dzieli się przegródkami na kilka komórek, tworząc zarodek.

U tych roślin jednak, o których tu mowa (t. j. u rodniowców), z zarodka nie wyrasta wprost roślinka podobna do tej, na jakiej tworzyły się plemnie i rodnie, lecz zupełnie odmienna kształtem i wielkością. Spotykamy się tu ze zjawiskiem *przemiany pokoleń*, wprowadzającym nowe trudności do pojęcia osobnika.

Znane wszystkim roślinki paproci są tą formą, która wyrasta z zapłodnionego jaja, t. zw. formą *wegetacyjną*. Ale plemniki i rodnie nie tworzą się na niej. Tylko ku jesieni na dolnej powierzchni liści pa-

proci dostrzedz można brunatne plamy; są to *kupki* złożone z *zarodni* (fig. 36). W każdej z tych ostatnich powstają drogą dzielenia liczne *zarodniki*, t. j. pojedyncze komórki, otoczone błoną. Wysiewają się one po pęknięciu zarodni i każda z nich wyrasta w małą zieloną plechę, nie większą od jednego centymetra kwadratowego. Jest to *przedrośl*. Na niej dopiero powstają rodnie i plemniki, a z wytworzonych przez nie jaj rozwija się znowuż forma wegetacyjna.

Przedrośl paproci przymocowana jest do gruntu za pomocą osobnych korzonków (*chwytників*); komórki jej zawierają chlorofil. Może więc



Fig. 37.
Plemniki paproci otwarta z wypływającymi plemnikami, pow. 300 razy.



Fig. 38.
Rodnia wątrobowca (*Marchantia polymorpha*) z jajem i otwartą szyjką, pow. 540 razy.

żyć się samodzielnie i w myśl podanego na początku rozdziału określenia jest osobnikiem niezależnym. Gdybyśmy jednak chcieli uzupełnić to określenie tak, ażeby obejmowało całość zasadniczych czynności rośliny, nazywając *osobnikiem* istotę nie tylko obdarzoną określonym kształtem, zdolną żyć się i rosnąć, ale i wytwarzać podobne do siebie, to określenie takie nie dałoby się zastosować do paproci i wszystkich innych rodniowców, gdyż tu przedrośl wydaje zupełnie niepodobne do siebie pokolenie wegetacyjne.

Pomiędzy pierwszymi dwoma typami rozmnażania reprodukcyjnego a trzecim, istnieją rozmaite formy przejściowe. Również są i ogniwą, łączące ten trzeci typ z czwartym — zapłodnieniem jaja u roślin kwiatowych przy pomocy *łagiewki pyłkowej*.

Aby lepiej zrozumieć podobieństwo tych zjawisk, powinniśmy się zatrzymać na budowie kwiatu, oraz na jego morfologicznym znaczeniu.

Kwiat składa się, jak wiadomo, z czterech okółków liściowych. Z tych najniższy, tworzący *kielich*, ma zwykle barwę zieloną i jest tak podobny do zwyczajnych liści, że myśl o jego pokrewieństwie z nimi nie wyda się nikomu dziwną. Płatki, tworzące *koronę*, różnią się już więcej tak barwą jak i delikatniejszą budową. Kształt ich wszelako przypomina bardzo formę liści. Trudniej umysłowi mniej przygotowanemu pogodzić się z tem, że *pręciki* są również tylko zmienionymi liśćmi. Dla botaników jednak nie ulega to najmniejszej wątpliwości.

Pręcik składa się z *nici* i *pylników*; te ostatnie, w liczbie dwóch leżą po obu stronach nici, a każdy zawiera najczęściej po dwie komory napełnione drobnym pyłkiem, który przeniesiony na inne kwiaty przez wiatr lub owady, powoduje, jak zobaczymy natychmiast, zapłodnienie. Nić pręcika jest zmienionym ogonkiem liściowym; same zaś komory składają się z bardzo zmniejszonej i skręconej w dwie rurczki blaszki liściowej. Pyłek rozwija się na dolnej powierzchni tej blaszki.

Słupek—czwarta część składowa kwiatu powstaje również przez zrośnięcie brzegami kilku *listków owocowych*, które razem tworzą rodzaj dzbanuszka. Wnętrze jego stanowi zalążnię (fig. 39). Tu na brzegach listków owocowych lub na dnie zalążni powstają małe utwory—*zalążki*. Są to wyrostki złożone 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 kilkakrotnie, 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 pomocniczymi*, trzecia zaś *jajem*. Trzy dolne nie biorą udziału w zapłodnieniu, nazywają je *antipodami*. Wreszcie dwa pozostałe w środku jądra łączą się razem, aby po zapłodnieniu drogą dzielenia wytworzyć liczne komórki bielma nasienia (*jądro wtórne*).

Gdy te przemiany są dokonane, jajo jest gotowe do zapłodnienia. Sprawa ta odbywa się tak: skoro tylko ziarenka pyłkowe z pręcików dostaną się na górną część słupka (*znamię*), zaczynają kiełkować pod wpływem wydzielanego przez znamię roztworu cukru. Z każdego ziarn-

ka wyrasta długi woreczek, wrastający wzdłuż szyjki w głąb załąźni, podążając ku woreczkowi zarodkowemu (fig. 39).

Przed wyrastaniem jeszcze łagiewki komórka tworząca ziarnko pyłkowe dzieli się na dwie nierówne; z nich tylko komórka mniejsza (a właściwie jej jądro) bierze udział w zapłodnieniu.

Gdy koniec rurki pyłkowej zetknie się z górną ścianką woreczka zarodkowego, błony obu rozmiękczejają się i jądro czynne komórki pyłkowej dostaje się do jaja, łącząc się z jego jądrem. Teraz następuje w jaju szereg podziałów, skutkiem czego tworzy się z niego zarodek przyszłej rośliny. Woreczek zarodkowy, rozrastając się w skutek podziału



Fig. 39.

Słupek w przecięciu z jednym załąźnikiem e—woreczek zarodkowy. Z ziarnek pyłkowych, leżących na znamieniu, wyrastają łagiewki dochodzące do woreczka zarodkowego. (Słabo powiększony).

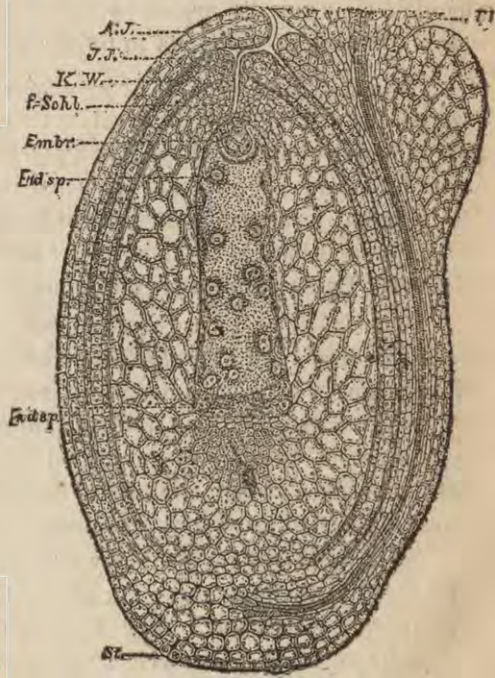


Fig. 40.

Przecięcie załąźnika (*Viola tricolor*) wkrótce po zapłodnieniu A.J. i J.J. okrywy załąźnika Embr., zarodek P. Schl.—łagiewka pyłkowa; Endsp.—bielmo, pow. 350.

wspomnianego już jądra wtórnego, wytwarza bielmo, przeznaczone do żywienia tego zarodka podczas kiełkowania nasienia; cały załąźnik przemienia się w nasienie (jego okrywy tworzą okrycie nasienia) a załąźnia—w owoc. Utworzony zarodek zostaje jakiś czas w spoczynku;

gdy zaś nasienie znajdzie się w przyjaznych warunkach—kiełkuje, t. j. rozwija się dalej, początkowo kosztem nagromadzonych w bielmie materiałów zapasowych, później zaś, gdy zapuści korzonek w ziemię i rozwinię pierwsze liście — przyswajając pokarm z powietrza i ziemi.

Jeżeli porównamy teraz sprawę zapłodnienia u roślin kwiatowych z podobną sprawą u rodniowych, nie trudno będzie wykryć (zwłaszcza mając na oku pominięte tu ogniwa pośrednie) zupełne podobieństwo obu. Przypomnijmy tylko, że kwiat jest skróconą gałązką, której liście utworzyły rozmaite jego części, a łatwo zauważymy podobieństwo takich utworów jak np. zarodnie paproci a komory pyłkowe lub zalążki roślin kwiatowych. Tylko z pierwszych rozwijają się przedrośle, na których powstają komórki rozrodcze (plemniki i jaja); tu przedrośl jest zredukowana do minimum (śląd jej stanowi komórka większa ziarenka pyłkowego, nie biorąca udziału w zapłodnieniu, a w woreczku zarodkowym—komórki pomocnicze), komórki zaś zapładniające (męzkie) zmienione są odpowiednio do nowych warunków. Jeżeli przypomnimy sobie budowę plemników, łatwo dostrzeżemy, że zastosowane one są do ośrodka 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.

Zmiana pokoleń u roślin rodniowych również nie jest niczem innym jak tylko wynikiem przystosowania: gdyby zarodniki 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 ich zapłodnienia.

Wszystkie więc odmiany aktu reprodukcyjnego, są tylko rozmaitemi przystosowaniami do warunków lub trybu życia rośliny. Istota jego polega na jednym—spojeniu się dwóch komórek różnorodnych (lub przynajmniej dwóch jąder) w jedną, obdarzoną ogromną siłą wegetacji.

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 utworze-

nie tego kształtu, czyli — jak u jednokomórkowych — odtwarza się on wiernie w każdej powstającej przez podział komórce — biorąc to wszystko pod uwagę, mimowoli przychodzimy do wniosku, że spojenie dwóch różnorodnych komórek jest niezbędne dla odnowienia siły kształtującej, którą obdarzona jest każda komórka, a która (sama będąc może wynikiem wielorakich działających w protoplazmie sił) jest przyczyną, że najmniejsza część czy to komórek (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.

Innemi słowy nasuwa się myśl, że ta siła, po mniejszym lub większym szeregu podziałów zostaje wyczerpaną. Skutkiem tego wyczerpania jest niezdolność dalszego kształtowania organów brakujących lub odnowienia uszkodzonych objawiająca się jako zgrzybiałość we wszystkich istotach żywych, a prowadząca do śmierci. Tylko te części protoplazmy, które tworząc w osobnych organach rozmaite opisane wyżej komórki reprodukcyjne, zdążą aktem spojenia zapobiedz wyczerpaniu siły kształtującej stają się źródłem nowych aktów vegetacji, czynnikiem, powodującym ukształtowanie materii nieorganicznej gruntu i powietrza w formy roślinne przy pomocy energii promieni słonecznych.

Ta więc siła kształtotwórcza nie jest jakąś formą energii, wprawiającą w ruch materię rośliny: energię bierze roślina z zewnątrz i ma jej zawsze podostatkiem, kiedy przeciwnie siła vegetacyjna wyczerpuje się z czasem. Jest ona raczej kierowniczką, rozporządzającą zasobami energii słonecznej i gdybyśmy chcieli podciągnąć ją pod znane nam kategorie mechaniczne, może najwłaściwszem byłoby przyrównanie z tem, cośmy nazwali *odczepieniem* (por. R. IX). Ale głębsza jej istota zostaje zagadką i zagadkowość jej zlewa się może w jedno z niepojętymi tajnikami ostatecznych zasad mechaniki, które wykryło w nowszych czasach badanie matematyczne teorii odczepień.

Bądź co bądź stosunek tej siły da się doskonale uzmysłowić przez porównanie do stosunku energii potencjalnej i czynnej. Jak podniesiony na znaczną wysokość ciężar ma w sobie wielki zapas energii potencjalnej, która wyczerpuje się w miarę jego spadania, wytwarzając natomiast coraz większy rozpęd, coraz większą ilość ruchu (energii czynnej), tak i zarodnik sprzężony zawiera wiele siły vegetacyjnej, która się wyczerpuje stopniowo w miarę wytworzenia (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 zla-

nie się. Zdolność więc zlania się występować może (przynajmniej w organizmach jednokomórkowych, gdzie wszystkie komórki są jednoznaczające) 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.

Pogląd ten wyjaśnia nam również istotę śmierci, niezrozumiałej ze stanowiska czysto mechanicznego poglądu na organizm. Wiemy już (ob. R. I), że roślina jest maszyną, która ustawicznie zużywa swoje członki i odbudowuje je nanowo, że sama naprawia wszystkie swoje uszkodzenia. Nie byłoby więc żadnej przyczyny dla czego maszyna taka nie mogłaby istnieć wiecznie, o ileby w otoczeniu znajdowała dostateczną ilość materii 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 zarodek sprzężony, ich protoplazmy i jądra zlały się w jedno, cała ich indywidualna budowa zourzona. 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 cząsteczkowym dawnego organizmu, mającym 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

ostatecznym jego wyczerpaniu zostaje jeszcze masa uorganizowanej materii pozbawionej życia—trup. Życie jest ciągle i przechodzi z komórki do komórki, od osobnika do osobnika, ale pojedyncze komórki lub osobniki, z których ono odleciało, powracają do wiru nieorganizowanej materii, rozkładają się na pierwiastki chemiczne, ażeby kiedyś znów wrócić do kształtów żywych ¹⁾.

K O N I E C .



¹⁾ Bliższe uzasadnienie i rozwinięcie naszkicowanych tu poglądów na istotę reprodukcji i śmierci organizmów, które były przedmiotem referatu odczytanego przed kilku laty w sekcji teoretycznej Towarzystwa Ogrodniczego, ale dotąd nie ogłoszone drukiem, znajdują czytelnicy w osobnej rozprawie, którą mam nadzieję już wkrótce wydać.