

9

BIOLOGIA

BIOLOGIA

2017



R. Szałamow
G. Nosow
A. Łytowczenko
M. Kaliberda

BIOLOGIA



**Podręcznik dla klasy 9.
szkół ogólnokształcących
z polskim językiem nauczania**

Zalecany przez Ministerstwo Oświaty i Nauki Ukrainy

Czerniowce
Bukrek
2017

УДК 57(075.3)
Б-63

Перекладено за виданням:

Р. В. Шаламов, Г. А. Носов, О. А. Литовченко, М. С. Каліберда. Біологія :
підруч. для 9 класу загальноосвіт. навч. закладів – Х. : Соняшник, 2017. – 352 с. : іл.

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Наказ Міністерства освіти і науки України від 20.03.2017 №417)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Експерти, які здійснили експертизу підручника
під час проведення конкурсного відбору проектів підручників
для учнів 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів
і зробили висновок про доцільність надання підручнику грифа
„Рекомендовано Міністерством освіти і науки України”:

Артем'єва І. В.,

учитель ліцею м. Славутича, учитель-методист,
заслужений учитель України;

Опаренюк Г. А.,

завідувач лабораторії біології і екології
КВНЗ „Вінницька академія неперервної освіти”, учитель-методист;

Зінченко О. П.,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри зоології
Східноєвропейського національного університету
імені Лесі Українки.

Біологія : підручник для 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів
Б-63 з навч. пол. мовою / Р. В. Шаламов, Г. А. Носов, О. А. Литовченко, М. С. Каліберда;
пер. з укр. – Чернівці : Букрек, 2017. – 352 с. : іл.

ISBN 978-966-399-886-2

УДК 57(075.3)

ISBN 978-966-97147-4-9 (укр.)
ISBN 978-966-399-886-2 (пол.)

© Шаламов Р. В., Носов Г. А.,
Литовченко О. А.,
Каліберда М. С., 2017
© ТО „Соняшник”, 2017
© Видавничий дім „Букрек”,
переклад, 2017

WSTĘP

Drodzy czytelnicy podręcznika! Zwracamy się do dziewięcioklasistów, ich rodziców i nauczycieli biologii, ponieważ spodziewamy się, że to właśnie te trzy grupy ludzi będą czytać ten podręcznik. O czym on opowiada? Na okładce widnieje wyraz „Biologia”, a to znaczy, że on jest poświęcony nauce traktującej o życiu. I tak jest naprawdę. Podręcznik opowiada o życiu, o jego różnorodności, cechach, prawidłowościach rozwoju. My – to ludzkość. Oczywiście, że cała wiedza ludzkości o życiu nie zmieściła się na stronach tej książki i tak naprawdę autorzy nie posiadają jej w całości. Jednak dążyliśmy do tego, aby czytanie tej książki było ciekawe, korzystne i zachęcało was do poznawania czegoś nowego o życiu.

Podstawowe pojęcie biologii – życie – jest bardzo trudne do zdefinicjonowania, jednak wszyscy ludzie na świecie rozumieją, że nie ma większej wartości nad życie. Mamy na uwadze nie tylko życie ludzkie, lecz również życie innych istot, przyrody. I chociaż działalność ludzka w ten czy inny sposób wiąże się z odbieraniem życia, to nie neguje poprzedniego twierdzenia o jego wartości. Właśnie biologia ma na celu zbadanie fenomenu życia w całej jego różnorodności, skomplikowości i wartości.

Na stronach podręcznika zobaczycie portrety ludzi, którzy wnieśli znaczący wkład w tworzenie nauki o życiu. Są to znani naukowcy, którzy żyli dawno temu lub żyją obecnie. „Tworzenie” wiedzy jest procesem nieustającym, dlatego między paragrafami znajdziecie kilka uzupełnień napisanych przez młodych ludzi. Właśnie ci młodzi naukowcy stoją na czele nauki biologicznej, mimo że jeszcze niedawno uczyli się w ukraińskich szkołach. Poprosiliśmy ich, aby dołączyli do powstania tego podręcznika z dwóch powodów: po pierwsze, aby opowiedzieć o życiu bardzo ciekawe i ważne fakty, które nie weszły do podstawowych tekstów, a po drugie, aby udowodnić wam, że można osiągać sukcesy, poświęcając się nauce.

Po każdym paragrafie znajduje się dość duży pod względem rozmiarów rozdział „Zastanów się”. Dwie pierwsze jego części („Wybierz jedną poprawną odpowiedź” i „Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań”) zawierają nietrudne zadania i są przeznaczone dla wszystkich uczniów, w tym również dla tych, którzy nie zwiążą swego życia z biologią, medycyną, biotechnologiami lub innymi dyscyplinami biologicznymi. Szanujemy tych ludzi, ich wybór. Reszta zadań jest przeznaczona dla tych z was, którzy już obrali swój kierunek działalności i zdecydowali, że będą badać życie. Ustosunkowujemy się do was jak do kolegów i bliskich przyjaciół, dlatego zwracamy się na „ty” („Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu” oraz „Dowiedz się sam i opowiedz innym”). Nauczyciele mogą wykorzystywać te zadania do samokształcenia uczniów oraz dołączania znawców biologii do wyjaśniania materiału edukacyjnego. Ostatni rozdział – „Projekt do opracowania w grupie” stworzyliśmy dla tych, którzy lubią nie tylko czytać i pisać, lecz programować i eksperymentować: zsyptywać, zlewać, hodować, odcinać, zagotowywać itd. Są to zwykłe i ciekawe prace, których wykonanie zbliży was do rozumienia tajemnic życia.

Autorzy serdecznie dziękują swoim nauczycielom i uczniom! Pracując nad podręcznikiem, stale o was myśleliśmy. Nie chcemy zawieść oczekiwań tych, którzy nas uczyli; chcemy być ciekawi i pożyteczni dla tych, kogo uczymy.

**Życzymy sukcesów w poznawaniu tak
pięknego i unikalnego zjawiska, jakim jest życie!**

§ 1. Biologia jako nauka

Biologia – to zespół nauk traktujących o życiu

Biologia – to nauka o życiu. Dobrze już o tym wiesz. Życie jest zjawiskiem złożonym i wielostronnym i tak samo skomplikowana jest biologia. Biolodzy badają żywe istoty na różnorodnych poziomach, zaczynając od tych przejawów życia, których nie widać nawet przez najbardziej potężne mikroskopy elektronowe, kończąc na globalnych, które ogarniają wszystkie żywe organizmy na planecie. Biologa można sobie wyobrazić z siatką na motyle czy teczka na zielnik w polu; z probówkami i pipetką w laboratorium; podczas programowania algorytmów analizy informacji genetycznej przy komputerze czy uczącego się struktury cząsteczki za pomocą najbardziej skomplikowanych przyrządów fizycznych.

Taka różnorodność specjalności biologicznych uwarunkowana jest tym, że biologia – to skomplikowana nauka, która łączy wiele innych dyscyplin (tab. 1.1).

Tabela 1.1. Niektóre dyscypliny biologiczne

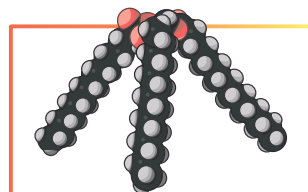
Botanika	nauka o roślinach
Zoologia	nauka o zwierzętach
Biochemia	nauka o chemicznym składzie organizmów żywych i zachodzących w nich w procesach chemicznych
Biofizyka	nauka o procesach fizycznych, które odbywają się w żywych organizmach
Biologia molekularna	nauka o mechanizmach zachowania i przekazywania informacji genetycznej
Fizjologia	nauka o funkcjonowaniu żywego organizmu
Bioinformatyka	nauka o biopolimerach informacyjnych – białkach i kwasach nukleinowych oraz o tworzeniu cząsteczek o zadanych cechach
Genetyka	nauka o dziedziczności i zmienności
Ekologia	nauka o współdziałaniu organizmów ze sobą oraz otaczającym środowiskiem

Biologia jest ściśle powiązana z innymi naukami. W dyscyplinach biologicznych są szeroko zastosowywane podejścia z wielu dziedzin wiedzy – fizyki, chemii, matematyki, informatyki. Na pograniczu nauk powstała biofizyka, biochemia, biologia molekularna, bioinformatyka (ryc. 1.1). Różnorodne badania biologiczne tworzą fundament dla medycyny, farmakologii, rolnictwa, biotechnologii.

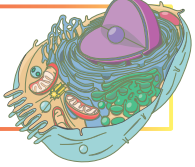
Poznanie poziomów organizacji materii żywej pozwala na lepsze zrozumienie życia

Chociaż życie pod względem swej istoty jest zjawiskiem niepodzielnym (albo ono jest, albo go nie ma), w celu jego poznania należy rozpatrywać wszystko, co żyje, na różnych poziomach jego organizacji. Każdy poziom ma swoje unikalne cechy i taki podział pomimo jego umowności pozwala pełniej i lepiej zrozumieć fenomen życia.

Poziom molekularny. Nie patrząc na to, że na poziomie molekularnym organizacji życie przeważnie nie przejawia się



(cząteczka nie może być żywa czy martwa), badanie cząsteczek, z których składają się żywe organizmy, tłumaczy mechanizmy funkcjonowania. Molekularny poziom organizacji żywej materii jest przedmiotem badań biochemii, biofizyki i biologii molekularnej.



Poziom komórkowy – pierwszy poziom, na którym powstaje życie. Komórka – to podstawowa jednostka żywego organizmu i jej poznanie jest bardzo ważne dla zrozumienia istoty życia. Biologia komórkowa – to nauka, która bada poziom komórkowy.

Poziom narządowo-tkankowy. W organizmie wielokomórkowym komórki łączą się w tkanki i narządy. Te zespoły pracują jako jednostki funkcjonalne żywego organizmu. Zasady funkcjonowania narządów bada fizjologia, ich budowę – anatomia, a rodzaje tkanek – histologia.



Poziom organizmowy. Obok komórkowego ten poziom jest kluczowy dla rozumienia istoty życia. Organizm potrafi funkcjonować jako jednolita niezależna jednostka, podtrzymywać swoje istnienie i rozmnażać się. Ten poziom organizacji życia jest przedmiotem badań wielu nauk: anatomii, fizjologii, genetyki, biologii rozwoju, embriologii.

Poziom populacyjno – gatunkowy – pierwszy poziom ponadorganizmowy. Na tym poziomie organizacji przejawia się nieprzerwalność życia: mimo że trwałość życia niektórych organizmów jest ograniczona, populacja potencjalnie jest nieśmiertelna zarówno jak i gatunek biologiczny w całości. Ten poziom organizacji jest obiektem zainteresowania przede wszystkim ekologów, genetyki populacyjnej i biologii populacyjnej.

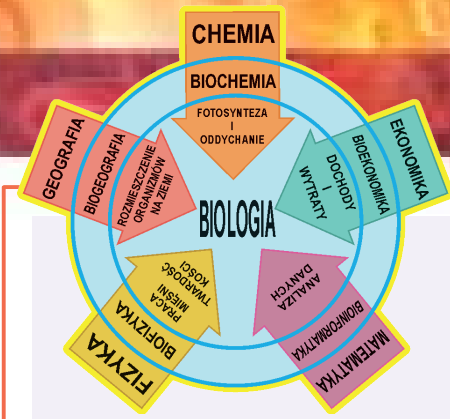


Poziom ekosystemowy – poziom ponadorganizmowy, na którym przejawiają się powiązania organizmów różnych gatunków między sobą i otaczającym je światem. Poziom ekosystemowy bada ekologia.

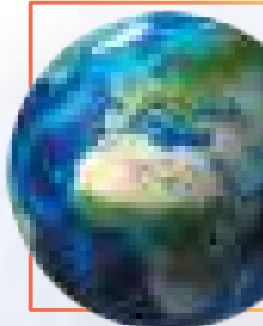
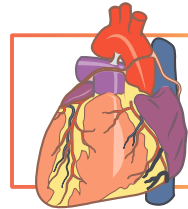
Poziom biosferowy – globalny poziom, który łączy wszystkie żywe istoty na planecie. Ten poziom jest przedmiotem badań ekologii i nauki o biosferze.

Metody badań biologicznych wykorzystuje się w celu poznania życia

Każdy rozdział biologii korzysta z wielu własnych metod poznania obiektów biologicznych. Jednocześnie istnieje szereg ogólnych podejść wspólnych dla wszystkich nauk biologicznych.



Ryc. 1.1. Powiązania biologii z innymi naukami



Обсервация była podstawową metodą na początkowym etapie rozwoju biologii, ale nie utraciła swego znaczenia również obecnie. W trakcie obserwacji uczoney stwierdza fakty, ale nie wpływa na przebieg procesu.

Opis. Aby obserwacja miała sens, należy ją opisać. Opisy, mimo że odzwierciedlają interpretację obserwacji przez badacza, powinny być dokładne i obiektywne. Tylko wtedy możliwe jest porównywanie opisów między sobą.

Porównywanie danych – to jeszcze nie doświadczenie, lecz pierwszy krok do niego. Porównywanie pozwala ustalać prawidłowości rozwoju w przyrodzie.

Експеримент. Zasadnicza różnica między eksperymentem a obserwacją polega na tym, że prowadzący eksperyment wtrąca się w naturalny przebieg wydarzeń i wpływa na badane obiekty za pomocą różnych czynników. Obecnie ta metoda w biologii jest wiodąca.

Metody matematyczne i modelowanie. Statystyczna analiza otrzymanych danych – to niezbędny etap sprawdzenia tego, czy wykryte prawidłowości nie są wynikiem zwykłego przypadku. Czasem, nagromadziwszy fakty, można zbudować matematyczny model obiektu czy zjawiska, co bardzo ułatwia wysunięcie i sprawdzenie hipotez naukowych. Na podstawie istniejących danych wysuwana jest **hipoteza** – możliwe tłumaczenie przyczyn obserwowanych zjawisk. Bardzo ważne jest to, aby hipoteza była sprawdzana, czyli, opierając się na nią, można było przewidzieć nowe fakty. W ten sposób wielokrotnie sprawdzona i potwierdzona hipoteza staje się **teorią naukową**.

Dlaczego należy uczyć się biologii?

Być może ktoś myśli, że „biologia nigdy mu się przyda w życiu” i że można by było jeszcze kilka godzin w tygodniu spędzić o wiele korzystniej? Naszym zdaniem takie sądy jest niepoprawne. Po pierwsze biologia jest w szkolnym programie jednym z najbardziej praktycznie zastosowywanych przedmiotów. Na lekcjach biologii zdobywasz wiedzę o zasadach funkcjonowania ludzkiego organizmu, zachowania zdrowia oraz początkową wiedzę z zakresu medycyny. Już tego wystarcza, aby usprawiedliwić czas poświęcony na nasz przedmiot.

Biologia pomaga ukształtować taki światopogląd, który umożliwi poznanie człowieka i jego miejsca w przyrodzie. Brak takiej percepcji świata prowadzi do strasznych skutków, czasami nawet na szeroką skalę. Skutkiem nierozumienia praw genetyki populacyjnej przez nazistów w Niemczech stało się wyniszczenie milionów ludzi w celu niby to „polepszenia nacji”. Brak znajomości zasad ekologii przez rząd chiński w latach 50. XX wieku doprowadził do masowego głodu i śmierci 15 milionów ludzi. Lekceważenie przez Mykytę Chruszczowa w 60. latach XX wieku najprostszej wiedzy botanicznej doprowadziło w ZSRR do upadku rolnictwa i kupowania pszenicy za granicą.

XXI wiek nazywany jest wiekiem biologii. Niesłychane sukcesy współczesnych biotechnologii, inżynierii genetycznej, bioinformatyki i biomedycyny odkrywają przed ludzkością nowe horyzonty, ale jednocześnie też poruszają nowe problemy. Wiedza z zakresu biologii jest niezbędna, aby połączyć się w różnorodności nowych technologii, artykułów i leków, ponieważ właśnie na niewiedzy „biologicznej” zbijają kapitał nieuczciwi przedsiębiorcy. Czy można spożywać genetycznie modyfikowane produkty? Czy etyczne jest leczenie dziedzicznych schorzeń człowieka metodą terapii genetycznej? A klonowanie ludzi? Kim są „dzieci trojga rodziców” i jakim schorzeniem można zapobiec za pomocą tej technologii? Każdy człowiek, który uczył się biologii w szkole, powinien odpowiedzieć na te pytania.

Chcemy nauczyć was rozumieć i lubić życie we wszystkich jego przejawach. Postaramy się pokazać, jak piękne i ciekawe są żywe istoty na wszystkich poziomach ich organizacji. Człowiek – to też żywa istota, dlatego spodziewamy się, że ten podręcznik pomoże wam lepiej poznać nie tylko otaczające środowisko, lecz również samego siebie.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Jaki poziom organizacji żywej materii bada biochemia?
A cząsteczkowy B komórkowy C organizmowy
D ponadorganizmowy E biosferowy
- 2 Hipotezę od teorii naukowej różni to, że:
A teoria – to wielokrotnie potwierdzona hipoteza
B hipoteza – to wielokrotnie potwierdzona teoria
C hipoteza jest wysuwana na podstawie doświadczeń, a teoria – na podstawie obserwacji
D hipoteza – to wynik doświadczenia, a teoria – modelowania matematycznego
E hipoteza staje się teorią od razu po statystycznej analizie danych
- 3 Na jakim poziomie organizacji fenomen życia przejawia się po raz pierwszy?
A cząsteczkowym B tkankowym C organizmowym
D komórkowym E biosferowym
- 4 Statystyczna analiza danych potrzebna jest po to, aby
A odróżniać realne prawidłowości od przypadku
B dopasowywać wyniki doświadczenia do hipotezy
C modyfikować hipotezę zgodnie z eksperymentalnymi danymi
D korygować obserwacje prowadzone w różnym czasie
E modelować procesy biologiczne

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 5 Do czego biologowi potrzebna jest głęboka wiedza z matematyki? Dla jakich nauk biologicznych matematyka jest szczególnie ważna?
- 6 Na czym polega różnica między obserwacją a eksperymentem?
- 7 Biologia i medycyna – to dwie wzajemnie powiązane nauki. Co jest wspólnego i na czym polega różnica w ich dziedzinach badań?
- 8 W jaki sposób zachęciłbyś młodszego brata lub młodszą siostrę do poznawania biologii?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 9 Jakie rodzaje modeli są zastosowywane w biologii? W jakich przypadkach potrzebne jest tworzenie modeli?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 10 Bioinformatyka – to młoda dziedzina biologii, która szybko się rozwija. Jakie zadania ona rozwiązuje? Jak ona jest powiązana z takimi dyscyplinami biologicznymi jak biologia molekularna i genetyka?
- 11 Dotychczas żywe organizmy były wykryte tylko na Ziemi. Czegoż więc uczy biologia kosmiczna?



Almost all aspects of life are engineered at the molecular level, and without understanding molecules we can only have a very sketchy understanding of life itself.

Francis Crick



ROZDZIAŁ 1

Skład chemiczny komórki i cząsteczki biologiczne

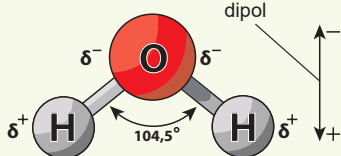
§ 2. Woda

Życie na ziemi jest bardzo uwodnione

Bez wątplenia, woda jest jedną z najważniejszych substancji na Ziemi. Właśnie obecność znacznej ilości ciekłej wody na powierzchni planety umożliwiła istnienie życia. Przyczyny dużej zawartości wody na Ziemi w porównaniu z jej zawartością na innych twardych planetach układu Słonecznego do tej pory nie zostały wyjaśnione. Wielu naukowców uważa, że wodę na Ziemię przyniosły komety na wczesnych etapach kształtowania się planety. Dziś woda okrywa 71% powierzchni Ziemi i stanowi około 0,05% od masy Ziemi. W organizmach żywych zawartość wody waha się od 60 do 99%.

Cząsteczka wody składa się z atomów tlenu i wodoru

Woda jest binarnym związkiem nieorganicznym, którego cząsteczki składają się z jednego atomu tlenu i dwóch atomów wodoru (ryc. 2.1). Nie patrząc na to, że cząsteczka wody jest elektroobojętna, ładunek w niej jest rozmieszczony nierównomiernie: na atomie tlenu



Ryc. 2.1. Budowa cząsteczki wody

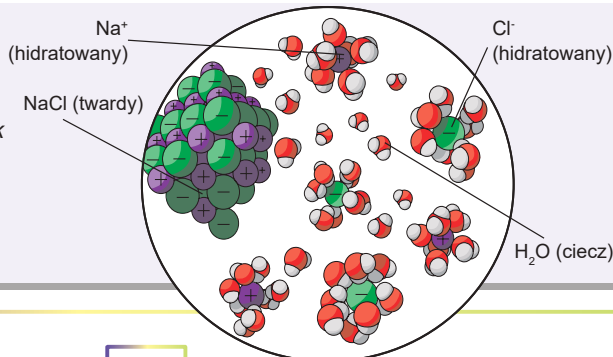
gromadzi się nadmierny ładunek ujemny, a na atomach wodoru – nadmierny dodatni, czyli cząsteczka wody – to **dipol**. Właśnie dzięki polarnej naturze cząsteczek woda jest znakomitym rozpuszczalnikiem innych związków polarnych (na przykład cukrów i alkoholi) oraz soli. Według klasycznych pojęć sole przy rozpuszczaniu rozszczepiają się na naładowane cząsteczki – **jony** (ryc. 2.2). Przy tym dzięki siłom kolonowskim różnoimiennie naładowane jony przyciągają się do siebie, co przeszkadza rozpuszczaniu soli. Jednak woda mocno osłabia siły przyciągania między jonami, wytwarzając wokół nich **powłoki hydratowe**.

Inną cechą wody jest obecność wiązań wodorowych. Pomiedzy atomem wodoru (o częściowym ładunku dodatnim) jednej cząsteczki i atomem tlenu (o częściowym ładunku ujemnym) innej powstaje współdziałanie elektrostatyczne.

Takie współdziałanie nazywa się **wiązaniem wodorowym** (ryc. 2.3). Wiązania wodorowe są znacznie mocniejsze od zwykłych współdziałań międzycząsteczkowych, mimo że są mniej mocne od wiązań kowalencyjnych. Właśnie dzięki obecności wiązań wodorowych woda ma wysoką pojemność cieplną, wysokie temperatury wrzenia i topnienia, a także inne właściwości anomalne.

Ryc. 2.2. Rozpuszczanie się soli kuchennej w wodzie

Woda ułatwia proces rozpuszczania elektrolitów drogą kształtowania powłok hydratowych wokół jonów. Powłoki hydratowe pełnią rolę izolatorów osłabiających oddziaływanie elektrostatyczne pomiędzy jonami.



Woda ma dużo właściwości anomalnych

Dzięki obecności między cząsteczkami wiązań wodorowych woda ma anomalnie wysokie temperatury topnienia (0°C przy ciśnieniu 1 atm.) i wrzenia (100°C przy ciśnieniu 1 atm.). Dlatego w warunkach standardowych (temperatura 25°C i ciśnienie 1 atm.) woda jest cieczą. Dla porównania: podobny pod względem struktury i masy siarkowodor, amoniak i metan – to gazy¹.

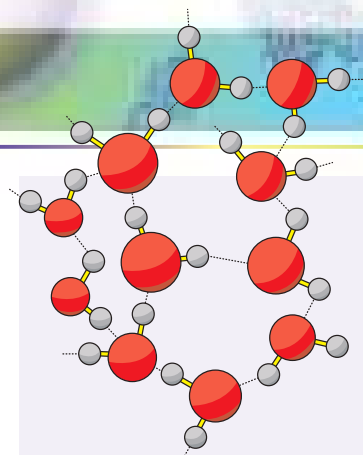
Woda ma anomalnie wysoką pojemność cieplną: aby ogrzać 1 kg wody o 1°C , należy zużyć 4,2 kJ energii. Dlatego nawet dla nieznacznej zmiany temperatury wody niezbędne są duże straty energii. Parowanie wody też jest powiązane z pobraniem dużej ilości ciepła, co pozwala żywym organizmom wykorzystywać wodę jako termoregulatora.

Jeszcze jedna ogólnie znana anomalia: woda posiada maksymalną gęstość przy temperaturze $+4^{\circ}\text{C}$, dlatego lód pływa w ciekłej wodzie i nie tonie. Dla większości substancji postać stała jest gęstsza od ciekłej. Sekret niskiej gęstości lodu także kryje się w wiązaniach wodorowych: w niskiej temperaturze chaotyczny ruch cząsteczek sprowadza się do minimum, dlatego wszystkie cząsteczki wody są uporządkowane w strukturę krystaliczną utrzymywaną wiązaniami wodorowymi. Przy wyższej temperaturze zachodzi rozerwanie części wiązań wodorowych i przejście wody w stan ciekły – mniej uporządkowany, lecz bardziej zwarty (ryc. 2.4). Właśnie dlatego zbiorniki wodne nie zamarzają do dna, a tylko okrywają się warstwą lodu, co umożliwia rybom przeżywanie.

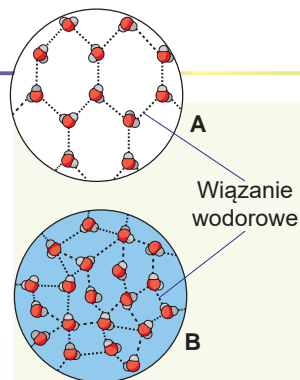
Organizmy wykorzystują wodę do różnych celów

Unikalne właściwości wody wyznaczają jej decydującą rolę dla żywych organizmów. Woda jest głównym rozpuszczalnikiem w komórce, stanowiąc prawie 70% masy komórki. Tylko w roztworze wodnym duże cząsteczki biologiczne, z którymi zapoznasz się w najbliższym czasie, mogą przybierać regularny kształt przestrzenny i normalnie funkcjonować.

Jednak czy wszystkie substancje jednakowo dobrze rozpuszczają się w wodzie. Oczywiście, że nie wszystkie. Są liczne grupy związków, które w ogóle w wodzie nie rozpuszczają się. Gdyby wszystkie części komórki rozpuszczały się w wodzie, to komórka bardzo szybko rozszczepiłaby się (to znaczy rozpuściłaby się), czyli przestałaby istnieć jako jednostka jednolita. Właściwie dlatego wielkie znaczenie ma rozpuszczalność tej lub innej substancji w wodzie. Według zdolności rozpuszczania się w wodzie wszystkie substancje dzielą się na dwie grupy – **hydrofilowe** i **hydrofobowe**². Do pierwszej grupy należą substan-



Ryc. 2.3. Sieć wiązań wodorowych w wodzie



Ryc. 2.4. Struktura lodu (A) i ciekłej wody (B)

1 Tu może powstać pytanie, dlaczego w siarkowodorze i amoniaku nie powstają wiązania wodorowe. W rzeczywistości one w nich powstają, lecz siła tych wiązań jest znacznie niższa niż u wody. Sekret siły wiązań wodorowych między cząsteczkami wody polega na tym, że tlen jest bardziej elektroujemnym atomem niż siarka lub azot, toteż mocniej odciąga elektrony od wodoru. Powoduje to powstanie większych ładunków nadmiernych na atomach, wskutek czego wodór i tlen różnych cząsteczek przyciąga się mocniej.

2 Od greckiego *hydor* – woda, *philia* – lubić, *phobos* – strach.

cje polarne dobrze rozpuszczające się w wodzie. Do drugiej – substancje nierozpuszczalne w wodzie, takie jak tłuszcze i podobne do nich.

Dzięki różnej rozpuszczalności substancje hydrofobowe mogą rozdzielać obszary wewnątrz komórki lub całe komórki. Wszystkie błony biologiczne otaczające komórki są złożone z substancji hydrofobowych.

Jako dobry rozpuszczalnik dla wielu substancji woda zdolna jest do transportowania ich w żywym organizmie. Przypomnij sobie chociażby ruch substancji ksylemem i floemem u roślin lub funkcję transportową osocza krwi.

Woda jest cieczą prawie nieściskalną, dlatego ona wykonuje funkcję podporową. Większą część dojrzałej komórki roślinnej stanowi wodniczka wypełniona cieczą pod ciśnieniem. Właśnie dzięki temu ciśnieniu komórki i narządy roślin zachowują swoje kształty. Gdy komórki tracą wodę, obserwujemy więdnienie roślin, co jest bezpośrednio związane z obniżeniem ciśnienia w wodniczce (ryc. 2.5).

Warto zwrócić uwagę, że woda jest nie tylko środowiskiem, w którym współdziałają różne cząsteczki biologiczne, lecz uczestniczy też w reakcjach chemicznych. W procesie fotosyntezy, którą dokonują rośliny, woda jest jedną z substancji, z których potem będą zbudowane cząsteczki substancji organicznych. Proces trawienia też zachodzi przy bezpośrednim udziale cząsteczek wody: ona jest niezbędna do rozszczepienia dużych cząsteczek na drobniejsze.

Na zakończenie zaznaczmy, że dzięki wysokiej pojemności cieplnej wody organizmy żywe wykorzystują ją do termoregulacji. Organizmy nie zamarzają na mrozie natychmiast i nie przegrzewają się podczas upału właśnie dlatego, że zawierają dużą ilość wody. A takiemu procesowi jak parowanie potu towarzyszy strata znacznej ilości ciepła i ochłodzenie organizmu.

Substancje nieorganiczne organizmów przeważnie są rozpuszczone w wodzie

Zawartość komórki – to roztwór wodny, w którym oprócz cząsteczek wody jest dużo różnych substancji organicznych i nieorganicznych. Większa część płynów wewnątrzkomórkowych i międzykomórkowych – to wodne roztwory jonów nieorganicznych. Wśród anionów nieorganicznych (ujemnie naładowanych jonów) w komórce przeważają jony chloru i fosforanu. Aniony chloru są jak na zewnątrz, tak i wewnątrz komórki, natomiast

aniony fosforanu mają przewagę w środowisku wewnątrzkomórkowym. Wśród kationów (jonów naładowanych dodatnie) dominują jony metali alkalicznych (sód, potas) i ziem alkalicznych (wapń i magnez). Przy tym obserwuje się asymetrię podziału jonów: w płynie międzykomórkowym jest więcej jonów sodu i potasu, a w wewnątrzkomórkowym – jonów potasu i magnezu¹. Jony metali alkalicznych i ziem alkalicznych odgrywają różnorodne role.

Właśnie one są zaangażowane w tworzenie różnicy potencjałów elektrycznych na błonie komórkowej komórek nerwowych, co zapewnia przekazywanie impulsów nerwowych. Jony magnezu mają zasadnicze zna-



Ryc. 2.5. Więdnięcie roślin – bezpośredni skutek utraty wody przez komórki

1 To stwierdzenie nie zawsze jest poprawne: często wewnątrz komórki są odcinki ograniczone błoną, w których stężenie jonów potasu może znacznie przewyższać stężenie na zewnątrz komórki. Przy tym te odcinki są oddzielone od zwykłego środowiska wewnętrznego i są „spiżarniami” jonów potasu wewnątrz komórki.

czenie dla normalnego funkcjonowania wielu dużych cząsteczek biologicznych. Jony wapnia są zaangażowane do takich procesów, jak skurcze mięśniowe i przekazywanie sygnałów wewnątrz komórki.

Niektóre substancje nieorganiczne środowiska międzykomórkowego są nierozpuszczalne

Oprócz ważnej roli wewnątrz komórki, substancje nieorganiczne pełnią znaczącą rolę poza komórką. Tak więc dostateczna ilość jonów wapnia w osoczu krwi jest niezbędna do powstania skrzepów i ustania krwawienia. Sok żołądkowy zawiera do 5% kwasu solnego niezbędnego do procesów rozszczepiania białek i niszczenia bakterii, które dostają się do żołądka wraz z jedzeniem. Określona kwasowość krwi jest podtrzymywana przede wszystkim dzięki obecności we krwi węglanów i fosforanów: one podtrzymują stałą kwasowość osocza krwi, gdy powstaje niebezpieczeństwo jej zmiany. Wiele substancji jest korzystnych dla organizmów również w stanie nierozpuszczalnym. Na przykład ortofosforan wapnia i węglan wapnia stanowią do 70% suchej masy tkanki kostnej człowieka¹, co zapewnia mocne kości i zęby. Sole wapnia i strontu są podstawą szkieletu również innych istot, wchodząc do składu muszli mięczaków i pierwotniaków, a także pancerzy skorupiaków.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Do przeniesienia ciepła w organizmie wykorzystuje się
A żelazo B hemoglobinę C wapń D wodę E fosforan wapnia
- 2 Ciało człowieka o masie 70 kg zawiera 65% wody. Ile ciepła powinno pochłoniąć ciało, żeby ogrzać się o 1 stopień, uwzględniając, że ciepło pochłania tylko woda
A 191 kJ B 294 kJ C 273 kJ D 452 kJ E 4,2 kJ
- 3 W przestrzeni wewnątrzkomórkowej jest więcej niż w międzykomórkowej jonów
A Na^+ i Cl^- B PO_4^{3-} i Mg^{2+} C Cl^- i PO_4^{3-}
D Ca^{2+} i Cl^- E Na^+ i K^+
- 4 Przy przekazywaniu impulsu nerwowego dodatnio i ujemnie naładowane strony błony komórkowej zmieniają się przez przeniesienie jonów
A Na^+ i Cl^- B PO_4^{3-} i Mg^{2+} C Cl^- i PO_4^{3-}
D Ca^{2+} i Cl^- E Na^+ i K^+
- 5 Zawartość jakiego pierwiastka w wysuszonej kości jest największa?
A C B Ca C Mg D Sr E Na

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Jak zmieniłyby się właściwości wody, gdyby między jej cząsteczkami nie powstawały wiązania wodorowe?

1 W rzeczywistości do składu substancji międzykomórkowej tkanki kostnej częścię wchodzi nie przytoczone substancje, a $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$.

- 7) Jakie skutki dla organizmu w wieku podeszłym ma obniżenie się w nim wody?
- 8) Dlaczego, w odróżnieniu od wody, gęstość stałego amoniaku jest większa od gęstości płynnego?
- 9) Psy podczas upału oddychają otwartą kufą z wysuniętym wilgotnym jęzorem. Jakie właściwości wody i jak pomagają psom walczyć z upałem w ten sposób?
- 10) Podaj charakterystykę zaburzeń pracy organizmu człowieka powstających przy niedostatecznej ilości wapnia.
- 11) Dlaczego do stworzenia środowiska kwasowego w żołądku organizm wytwarza kwas solny, a nie jakiś inny kwas?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 12) Ponieważ wewnętrzna przestrzeń organizmów jest wypełniona wodą, to nierozpuszczalne w niej substancje – tłuszcze i wiele soli – nie miałyby transportować się, lecz gromadzić w miejscu powstania. W jaki sposób organizmy rozwiązują ten problem?
- 13) Dlaczego podstawowymi kationami organizmu są kationy metali alkalicznych i ziem alkalicznych, a nie inne kationy?
- 14) Jakie schorzenia i w jaki sposób prowadzą do odwodnienia organizmu? Czy wystarczające jest picie wody w walce z odwodnieniem?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 15) W płynie międzykomórkowym podtrzymuje się określone stężenie jonów nieorganicznych. Co stanie się z komórkami, jeśli ulokujemy je w roztworze, w którym stężenie soli jest 10 razy wyższe lub niższe niż w komórce?
- 16) Komórki wielu organizmów są zdolne do wytrzymywania obniżenia temperatury poniżej zera bez zamarzania zawartości wewnętrznej. Jakie strategie ochrony komórek przed zamrażaniem wykorzystują takie organizmy?

Projekt do opracowania w grupie

- 17) Znaczenie substancji organicznych i nieorganicznych dla twardości i giętkości kości.
 - 1) Zjedz kurczaka, a oczyszczone od miękkich tkanek kości wypłucz wodą i wysusz. Obowiązkowo zachowaj kilka kości do porównania.
 - 2) Umieść kilka kości w puszcze i nalej do niej ocet (roztwór kwasu octowego). Aby ocet nie dawał zapachu, zakryj szczelnie puszkę pokrywką. Po 3–5 dniach przechowywania wyjmij kości, wypłucz wodą i wysusz.
 - 3) Inne kości praż w ciągu różnego czasu. Pamiętaj, że palenie się substancji organicznych powoduje powstawanie ostrego nieprzyjemnego zapachu, dlatego pracuj w dobrze wietrzonym pomieszczeniu. Zaczekaj, dopóki kość nie szczyrnieje od substancji organicznych, które zwęgliły się. Ostrożnie ostudź kości.
 - 4) Przynieś i pokaż kolegom, jak zmieniła się twardość i giętkość kości wskutek doświadczenia. Wyłumacz zmiany, które zaszły.

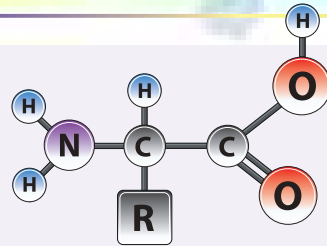
§ 3. Białka

Białka – to najróżnorodniejsze komponenty organiczne dowolnej komórki

Jak już wyjaśniliśmy, część masy wody w żywych organizmach jest największa. Czyli substancji organicznych jest mniej, lecz one są bardziej różnorodne pod względem budowy i roli biologicznej. Nazwy wielu z nich mogłeś słyszeć na lekcjach biologii w poprzednich klasach. Są to na przykład węglowodany, białka, tłuszcze. Spośród tych substancji swoją strukturalną i funkcjonalną różnorodnością wyróżniają się białka. Ich cząsteczki mogą być materiałem budulcowym, motorami, brać udział w reakcjach chemicznych i ochronie organizmu, pobierać sygnały, transportować inne cząsteczki, a także wykonywać wiele funkcji biologicznych. O białkach będzie mowa w tym paragrafie. Są one tak różnorodne, że tylko w organizmie ludzkim jest ich około 60000 gatunków. A razem w przyrodzie żywej nalicza się ich ponad miliard. Co jest powodem takiej różnorodności białek?

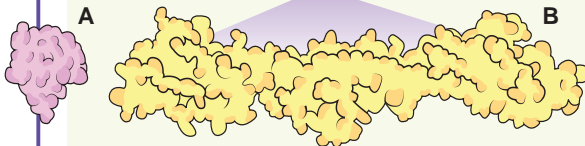
Białka – to duże cząsteczki o złożonej budowie

Odpowiedź kryje się w budowie białka. Białko jest cząsteczką polimerową, która składa się z ogniw monomerowych – **reszt aminokwasowych** (ryc. 3.1), połączonych między sobą w łańcuszek liniowy¹. Takie łańcuszki mogą zawierać od 50 do kilkuset reszt aminokwasowych (ryc. 3.2). Te reszty aminokwasowe w cząsteczkach białkowych różnią się. W procesie powstawania zwierzęcych i roślinnych białek do składu ich cząsteczek wchodzi 20 różnych aminokwasów.



Ryc. 3.1. Ogólny wzór aminokwasu

Aminokwasy różnią się między sobą swymi R-grupami. Do ich składu mogą wchodzić hydrofilowe i hydrofobowe, kwasowe i zasadowe, naładowane i bez ładunku grupy atomów. W taki sposób zespół aminokwasów w cząsteczce białka decyduje o jej fizyko-chemicznych właściwościach. Ze wzorami poszczególnych aminokwasów można zapoznać się w dowolnym podręczniku biochemii lub tu:

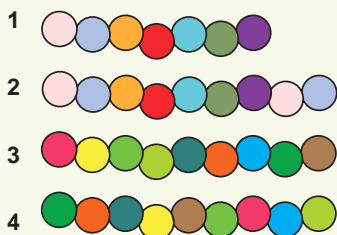


Ryc. 3.2. Insulina (A) i tityna (B)

Białka różnią się kształtem i wymiarami. Na rycinie podano hormon trzustki insulina – jedno z najmniejszych białek, i tityna – jedno z największych białek. Dokładniej z różnorodnością kształtów i wymiarów białek i ich kompleksów można zapoznać się na stronie internetowej Międzynarodowego Banku Informacji o Białkach:



1 Tu liniowy należy rozumieć jako nierozgałęziony, to znaczy, że wszystkie monomery są połączone w nim kolejno jeden za drugim.



Ryc. 3.3. Cztery łańcuszki aminokwasowe, różne pod względem długości, składu i kolejności połączenia

Łańcuszek 1 różni się od łańcusków 2,3 i 4 długością. Łańcuszki 2,3 i 4 posiadają jednakową długość, lecz łańcuszek 2 różni się od 3 i 4 pod względem składu, a łańcuszki 3 i 4 – tylko kolejności połączenia.

W taki sposób cząsteczki białek różnią się od siebie wymiarami (ilością reszt aminokwasowych) i kolejnością ich połączenia (ryc. 3.3).

Cząsteczki białkowe mają skomplikowaną strukturę

Otóż cząsteczka białkowa jest liniowym polimerem. Jednak takie długie cząsteczki w organizmach układają się w struktury o określonej formie. Osiągane to jest dzięki współdziałaniu różnych odcinków cząsteczki białkowej ze sobą (ryc. 3.4). Tylko przybrawszy określoną strukturę trójwymiarową, cząsteczka białkowa może pełnić swoją funkcję biologiczną. Ta struktura praktycznie zawsze wyznacza się sekwencją aminokwasową, ale też znajduje się pod wpływem szeregu czynników środowiska zewnętrznego. Najważniejsze wśród tych czynników – to temperatura, kwasowość i zasolenie.

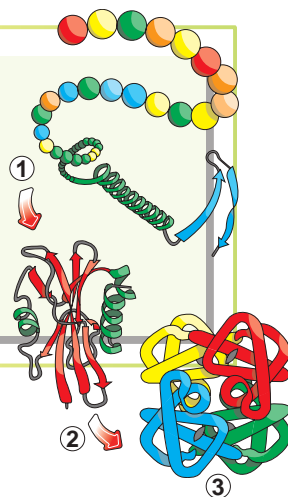
Trójwymiarowe struktury białek są bardzo różnorodne, jednak najbardziej rozpowszechnione są białka **globularne** i **fibrylarne**¹. Białka globularne zazwyczaj są rozpuszczalnymi sferycznymi cząsteczkami.

Te białka zwykle pracują w roztworach (cytoplazmie, osoczu krwi) i wykonują funkcje transportowe, regulatorowe, sygnałowe i katalityczne. Na przykład albumina jest białkiem globularnym, rozpuszczonym w osoczu krwi i transportującym hydrofobowe cząsteczki w organizmie. Białka fibrylarne posiadają strukturę włóknistą i przeważnie są nierozpuszczalne. One są materiałem strukturalnym do budowy karkasu wewnętrznego i pozakomórkowego. Z kolei keratyna – dobitny przedstawiciel białek fibrylarnych – tworzy podstawę nabolnka skóry i jego pochodnych: włosów, paznokci, pazurów, kopyt, rogów.

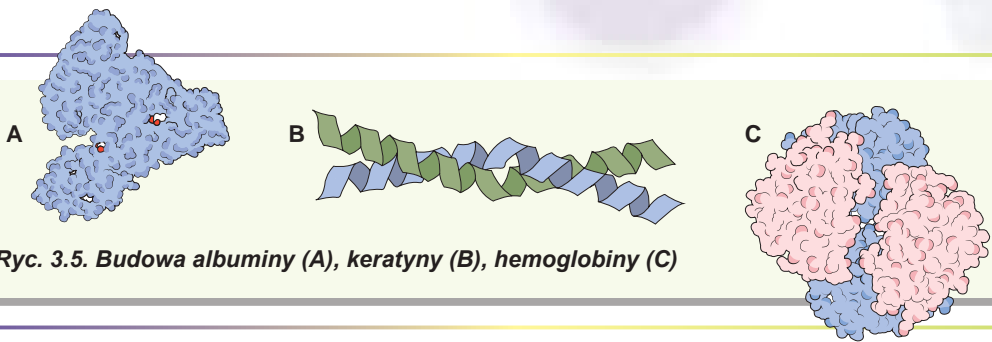
Struktura trójwymiarowa zbudowana z jednego łańcuszka aminokwasowego nie zawsze jest funkcjonalnie aktywna. Dla pełnienia swoich funkcji takie łańcuszki muszą połączyć się w większe kompleksy nadcząsteczkowe. Znane wszystkim białko erytrocytów hemoglobina jest właśnie takim kompleksem – składa się z czterech globularnych cząsteczek (ryc. 3.5).

Ryc. 3.4. Poziomy organizacji cząsteczki białkowej

Łańcuszek aminokwasowy przekształca się w funkcjonalne białko. 1. Droga współdziałania blisko rozmieszczonych reszt aminokwasowych tworzy się lokalnie uporządkowana struktura. 2. Odległe odcinki łańcuszka aminokwasowego współdziałają ze sobą, tworząc cząsteczkę trójwymiarową. 3. U niektórych białek kilka łańcusków aminokwasowych łączy się, tworząc kompleksy nadcząsteczkowe. Etapy 1–3 mogą zachodzić po kolei lub odbywać się jednocześnie.



¹ Z łac. *globulus* – kulka; *fibrylla* – włóknienko, niteczka.



Ryc. 3.5. Budowa albuminy (A), keratyny (B), hemoglobiny (C)

Biologiczna rola białek

Opisując budowę białek, poruszyliśmy już pytanie o ich roli biologicznej. Otóż funkcje białek są bardzo różnorodne. Można powiedzieć, że białka biorą udział w dokonaniu prawie wszystkich procesów w organizmie. W tabeli 3.1. przytoczono przegląd biologicznej roli białek z przykładami.

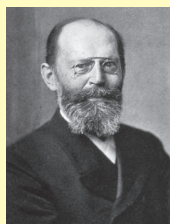
Tabela 3.1. Biologiczna rola białek

	Rola biologiczna	Przykłady	Opis
1	Strukturalna	Keratyna	Kształtuje błonę podstawową skóry i jej pochodnych
		Kolagen	Kształtuje podstawę substancji międzykomórkowej. W kolagen są bogate chrząstki, ścięgna, kości
2	Transportowa	Hemoglobina	Białko erytrocytów. Transportuje tlen i dwutlenek węgla
		Albumina	Transportuje kwasy tłuszczowe, niektóre witaminy i środki lecznicze
3	Katalityczna	Pepsyna	Składowa soku żołądkowego, bierze udział w trawieniu białek pokarmu
		Katalaza	Katalizuje reakcję rozkładu nadtlenu wodoru na wodę i tlen, czym chroni komórki przed utlenieniem
4	Sygnalowa	Rodopsyna	Światłoczułe białko siatkówki oka
5	Ruchowa	Przeciwciała	Pozakomórkowe białka, które biorą udział w reakcjach odpornościowych organizmu
6	Ochronna	Miozyna	Kurczliwe białko tkanki mięśniowej
7	Regulatorowa	Insulina	Hormon trzustki regulujący stężenie glukozy we krwi
8	Magazynująca	Owalbumina	Białko zapasowe jaj ptasich



Aleksandr Danilewski

Urodził się w 1838 roku w Charkowie. Nauki pobierał w Drugim Gimnazjum Charkowskim, potem ukończył studia medyczne na Uniwersytecie Charkowskim. Pracował na Uniwersytecie Charkowskim i Uniwersytecie Kazańskim, w Petersburskiej Imperatorskiej Akademii Wojskowo-Medycznej, laboratoriach Niemiec, Austrii i Szwajcarii. Zaproponował budowę cząsteczki białkowej; udowodnił, że sok żołądkowy hydrolizuje białka, odkrył inhibitory fermentów trawiennych antytrypsynę i antypepsynę, które zapobiegają samotrąwieniu ścianek przewodu pokarmowego. Zmarł w 1923 roku w Piotrogradzie (obecnie Petersburg).



Emil Fischer

Urodził się w roku 1852 w niemieckim mieście Euskirchen. Ukończył Uniwersytet Strasburski. Pracował na Uniwersytetach w Monachium, Erlangen, Würzburgu i Berlinie. Fischer badał chemię białek i odkrył wiązanie peptydowe ustalivszy, że właśnie przy pomocy tego wiązania reszty aminokwasowe łączą się w cząsteczkę białkową. Oto co pisał badacz: „Ponieważ substancje białkowe w ten czy inny sposób biorą udział we wszystkich procesach chemicznych, które zachodzą w organizmie, wyjaśnienie ich struktury i przekształceń powinno być najważniejsze dla chemii biologicznej”. Jednocześnie on badał chemię węglowodanów, zbadał budowę cząsteczek glukozy. Po raz pierwszy syntezował glukozę i fruktozę. W roku 1902 otrzymał Nagrodę Nobla za badania dotyczące chemii węglowodanów. Jednak w swoim wykładzie noblowskim Fischer powiedział: „Stopniowo zasłona, za którą przyroda przechowywała swoje tajemnice dotyczące węglowodanów, była częściowo odsłonięta. Jednak chemiczna zagadka Życia będzie nie do odgadnięcia do tej pory, dopóki chemia nie zbada inny, bardziej złożony przedmiot – białka”. Emil Fischer zmarł w roku 1919 w Berlinie.

Aminokwasy – to zamienne i niezamienne komponenty organizmów

Białka są syntezowane z aminokwasów, jednak nie wszystkie aminokwasy niezbędne do budowy białek mogą syntezować się w organizmie ludzkim. Takie aminokwasy nazywają się aminokwasami **niezamiennymi**¹. One muszą dostawać się do organizmu ludzkiego z pokarmem. Znanych jest osiem niezamiennych dla człowieka aminokwasów. One wchodzi w skład zwierzęcych i roślinnych białek w różnych proporcjach, dlatego w zbalansowanym odżywianiu powinny znaleźć się różnorodne produkty białkowe (mięso, rośliny motylkowate, jaja, nabiał, ryba).

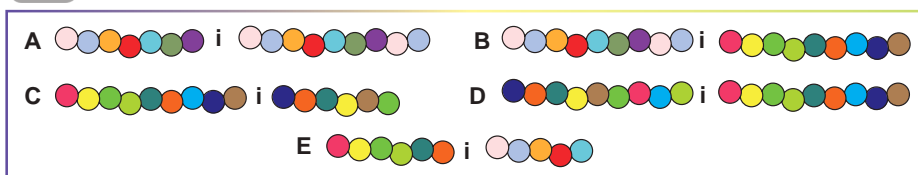
Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Jeżeli kółkami są zaznaczone reszty aminokwasowe, to co może być fragmentem białka?



- 2 Które z dwóch fragmentów białek różnią się tylko składem?



- 3 Które z białek jest złożone z kilku łańcuszków aminokwasowych?
A mioglobina B hemoglobina C pepsyna D katalaza E albumina

1 W odróżnieniu od zamiennych, które organizm może syntezować sam z innych cząsteczek.

- 4** Nazwa jednego z białek wywodzi się z języka greckiego: *colla* (klej), *genno* (rozdzić). To białko tworzy podstawę substancji międzykomórkowej tkanki łącznej. W niego są bogate chrząstki, ścięgna, kości. O jakim białku mowa?
A keratyna **B** albumina **C** hemoglobina **D** kolagen **E** miozyna
- 5** Jeśli na świeże zranienie dodamy kroplę wody utlenionej, zaobserwujemy aktywne powstanie piany, wywołane rozkładem nadtlenu wodoru. Z czynnością którego białka wiąże się to zjawisko?
A pepsyna **B** trypsyna **C** katalaza **D** miozyna **E** rodopsyna

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Dlaczego białka są nazywane najważniejszą składową komórek dowolnego organizmu żywego?
- 7** Podaj charakterystykę biologicznego znaczenia białek. Co umożliwia białkom wykonywanie mnóstwa różnorodnych funkcji w żywych organizmach?
- 8** Białka praktycznie nigdy nie magazynują się na zapas. Jednak są białka zapasowe. Przytocz przykłady białek zapasowych i wskaż, w jakich przypadkach materiałem zapasowym są białka.
- 9** Przytocz kilka przyczyn wielkiej różnorodności białek. Odpowiedź uzasadnij przykładami.
- 10** W jaki sposób rola konkretnego białka jest powiązana z jego strukturą trójwymiarową? Czy można według struktury trójwymiarowej białka wyznaczyć jego funkcje w organizmie? Jak dokładne będzie takie wyznaczenie?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Są choroby człowieka związane z zakłóceniem struktury określonych białek. Na przykład anemia sierpowata rozwija się z powodu zamiany jednego aminokwasu na inny w cząsteczce hemoglobiny. Wiele chorób jest spowodowanych nieznacznymi zakłóceniami w strukturze fermentów (fenyloketonuria, talasemia, różne odmiany porfirii). Wyłumacz, jak takie nieznaczne zmiany w strukturze białek niosą ze sobą istotne skutki dla organizmu.

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 12** Przy niedoborze białka w dziecięcym wieku rozwija się kwashiorkor – ciężka dystrofia, której towarzyszy obrzęk. Obrzęk rozwija się również u dorosłych przy długotrwałym głodowaniu białkowym. Przypuść mechanizm tego zjawiska.
- 13** Dlaczego białka są najbardziej wielofunkcyjnymi cząsteczkami spośród wszystkich wchodzących do naszego organizmu?
- 14** Współczesna nauka o zestawie białkowym komórki – proteomika. Dlaczego powstała ta nauka i jakie są jej zadania?

Dodatek I



Artem Komisarow

Ukończył gimnazjum № 47 w Charkowie w roku 2009. W tym samym roku zdobył brązowy medal na Międzynarodowej Olimpiadzie z Biologii w Japonii. Ukończył Uniwersytet w Heidelbergu. Obecnie robi doktorat w Centrum Regulacji Genomowej w Barcelonie.

Małe cząsteczki organiczne. Monomery i polimery

Wiesz już, że wszystko, co jest żywe, a zwłaszcza człowiek, składa się z czterech podstawowych grup cząsteczek organicznych: białek, tłuszczów, węglowodanów i kwasów nukleinowych. Każda z tych grup jest reprezentowana przez tysiące i dziesiątki tysięcy cząsteczek, czasem o bardzo wysokim poziomie komplikacji, lecz wszystkie one są zbudowane

tylko z kilku dziesiątek typów podstawowych, prostych komponentów. Jak to jest możliwe? W rzeczywistości ewolucja poszła drogą LEGO: posiadając zestaw detali pięciu-sześciu rodzajów i wyobraźnię, można zbudować nieskończoną ilość konstrukcji, które będą wykonywać byle jaką wyobrażalną funkcję (ryc. 1.1). Chemia organiczna pracuje tak samo! Najprostsze cząsteczki nazywają się **monomerami** (z gr. *monos* – jeden i *meros* – część). One tworzą bardziej złożone cząsteczki nazywane **oligomerami** (*oligos* – kilka) i **polimerami** (*polys* – dużo). Rozpatrzmy teraz tę zasadę na przykładach.

Białka lub proteiny

Nasze komórki są zdolne do syntezy dziesiątków tysięcy rodzajów cząsteczek białkowych wykonujących różnorodne funkcje w komórce i cała ta różnorodność zbudowana jest z 20 monomerów – aminokwasów. Wszystkie aminokwasy mają jedną wspólną właściwość – możliwość tworzenia liniowych polimerów białkowych. Jednocześnie każdy aminokwas ma swoje unikalne właściwości, na przykład: rozmiar, strukturę przestrzenną, obecność dodatniego lub ujemnego ładunku, rozpuszczalność w wodzie, niektóre specyficzne właściwości chemiczne. Warto pamiętać, że świat cząsteczkowy też jest trójwymiarowy. Żeby więc lepiej zrozumieć, co to są proteiny, musimy myśleć w przestrzeni trójwymiarowej.

Wyobraź sobie stopniowe składanie japońskiego origami z papieru. Tak samo łańcuszek z określonej kolejności aminokwasów wyznacza bardzo specyficzne skręcanie się polimeru białkowego w przestrzeni 3D (ryc. 1.2).

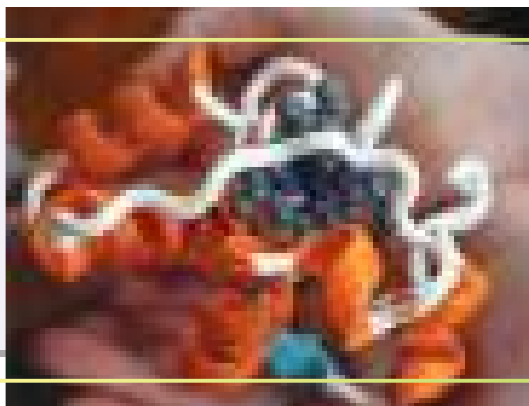


Ryc. 1.1.

Chemia bioorganiczna pracuje na zasadzie LEGO: z niedużej ilości prostych elementarnych części można zbudować wiele różnorodnych złożonych struktur o byle jakich funkcjach.

Ryc. 1.2.

Model ludzkiego cytochromu C, wydrukowany za pomocą drukarki 3D. Ten model jest odzwierciedleniem realnej struktury białka, otrzymanej przy pomocy współczesnej krystalografii. Łańcuszek aminokwasowy połączony z inną cząsteczką – hemem (na modelu szary). Cytochrom C bierze udział w procesie oddychania.



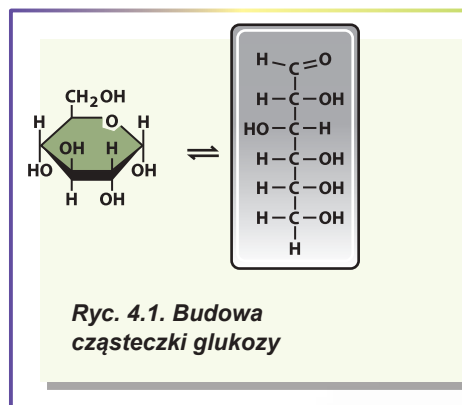
§ 4. Węglowodany

Wiele rzeczy w środowisku otaczającym składa się z węglowodanów

W poprzednim paragrafie zaznaczyliśmy, że największa różnorodność cząsteczek biologicznych cechuje białka. Jednak one nie są jedynymi substancjami, które wchodziły w skład żywych organizmów. Jeżeli białka są najróżnorodniejszymi biocząsteczkami, to najbardziej rozpowszechnione w biosferze przedstawiciele innej grupy substancji organicznych – to węglowodany. Z węglowodanami spotykasz się codziennie. Papier, na którym nadrukowano ten tekst prawie całkowicie składa się z węglowodanu **celulozy**. Cukier otrzymywany z trzciny cukrowej lub buraka cukrowego jest kryształami innego węglowodanu – **sacharozy**. Pancerz raka w znacznym stopniu jest zbudowany z węglowodanu **chityny**. Kiedy czytasz ten tekst, fotony odbite od papieru, fokusują się soczewką twego oka na siatkówce, lecz przedtem one przechodzą przez ciało szkliste oka, które składa się przeważnie z uwodnionego **kwasy hialuronowego**, też węglowodanu. Węglowodany stanowią największą część masy suchej organizmu rośliny i w organizmie zwierząt też pełnią życiowo ważne funkcje. Przekształcenie węglowodanów jest podstawą chemicznych i energetycznych przemian wszystkich żywych organizmów.

Skład cząsteczek węglowodanów wyznaczył ich nazwę

Rozpatrzmy budowę cząsteczki węglowodanów na przykładzie cząsteczki **glukozy**. Jest to niewielka (z punktu widzenia biochemii) cząsteczka zbudowana z atomów węgla, wodoru i tlenu. Wzór glukozy można zapisać jak $C_6H_{12}O_6$. Takie połączenie atomów nadało nazwę węglowodanom – do składu cząsteczki wchodzi węgiel i woda¹. Na rycinie 4.1 podano dwa wzory strukturalne glukozy: w postaci łańcuszka i pierścienia. Oglądając wzór glukozy w postaci łańcuszka, możesz zwrócić uwagę na to, że: **1)** atomy węgla są połączone w łańcuszek liniowy; **2)** cząsteczka zawiera dużo grup hydroksylowych (-OH); **3)** na szczycie cząsteczki znajduje się grupa -CHO². Ta grupa jest bardzo reaktywna i reaguje z jedną grupą hydroksylową, tworząc strukturę pierścieniową (podobną do węża gryzącego własny ogon). W roztworze są obydwa warianty struktur. Te struktury mogą przekształcać się jedna w drugą, jednak równowaga jest znacznie zsunięta w stronę struktury cyklicznej (na jedną cząsteczkę struktury łańcuszkowej glukozy przypada około 5000 cząsteczek pierścieniowych glukozy).



Mono- i polisacharydy – to rozpowszechnione w przyrodzie związki

Cząsteczka glukozy jest niewielką rozpuszczalną cząsteczką. Jednak takie cząsteczki mogą łączyć się jedna z drugą tworząc cząsteczki polimerowe. Kiedy połączyć cząsteczki glukozy kolejno w łańcuszek liniowy, to powstanie cząsteczka **celulozy (błonnik)** – podstawowego składnika ścian komórkowych roślin i najbardziej rozpowszechnionego organicznego polimeru w biosferze. Taka cząsteczka nazywa się **polisacharyd**-

1 W wielu źródłach węglowodany określane są jako substancje o wzorze $C_nH_{2n}O_n$. To określenie jest niepoprawne, ponieważ jemu nie odpowiadają polisacharydy (patrz dalej), a także węglowodany zawierające azot, siarkę i fosfor.

2 Ta grupa nazywa się aldehydową.

dem (**wielocukrem**), a pojedyncza cząsteczka – **monosacharydem**. W odróżnieniu od białek, których łańcuszki aminokwasowe są złożone z różnych reszt aminokwasowych, większa ilość węglowodanów (na przykład celuloza) jest zbudowana z ogniw monomerycznych jednego typu.

Szczególną rolę w żywych organizmach odgrywają też węglowodany, których cząsteczki są utworzone dwoma ogniwami monosacharydowymi, – **disacharydy (dwucukry)**. Niżej przytoczono przykłady niektórych węglowodanów spotykanych w organizmach żywych.

Glukoza – monosacharyd, bardzo rozpowszechniony w przyrodzie. Jest podstawą do tworzenia większości di- i polisacharydów. U zwierząt kręgowych transportuje się krwią i jest podstawowym źródłem energii dla komórek mózgowia.

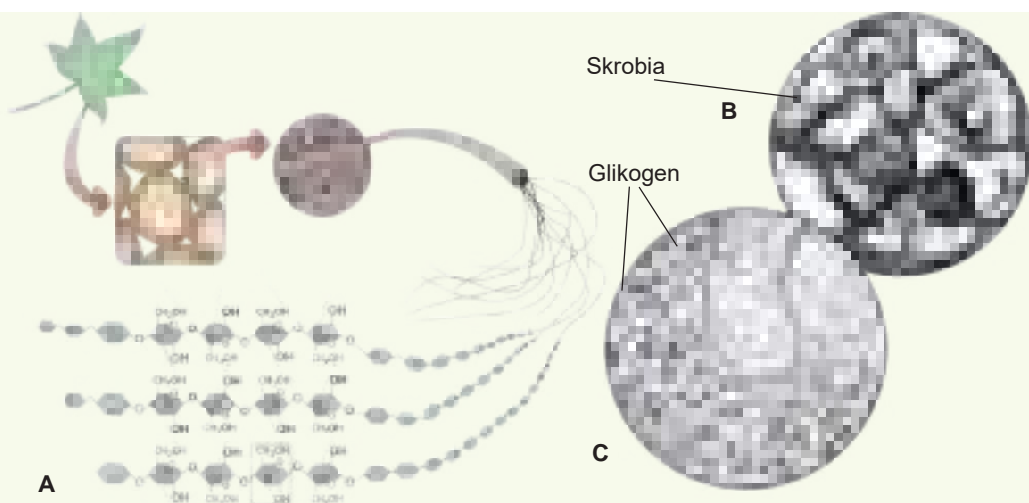
Fruktoza – monosacharyd, posiadający ten sam ogólny wzór cząsteczkowy, co i glukoza, lecz inną budowę przestrzenną. Jest składnikiem niektórych di- i polisacharydów.

Sacharoza – disacharyd, składający się z połączonych między sobą reszt glukozy i fruktozy. Jest transportowana sokiem przez rurki sitowe (floem) u roślin. Krystaliczną formą sacharozy jest cukier.

Laktoza – disacharyd nadający mleku słodki smak.

Celuloza (błonnik) – polimer liniowy glukozy (*ryc. 4.2, A*). Podstawowy składnik ścian komórkowych roślin i najbardziej rozpowszechniony polimer organiczny w biosferze. Organizm zwierząt nie może rozszczepiać błonnika samodzielnie, jednak organizmy zwierząt roślinożernych zawierają drobnoustroje-symbionty zdolne do jego rozszczepienia.

Skrobia – polimer glukozy zawierający jak liniowe (amyloza), tak i rozgałęzione (amylopektyna) postaci (*ryc. 4.2, B*). Skrobia jest podstawowym zapasowym węglowodanem roślin. Ona magazynuje się w chloroplastach lub w bezbarwnych plastydach *leukoplastach* – amiloplastach w postaci ziarenek skrobi. Najbogatsze w skrobię są ziarna zbóż i bulwy ziemniaków.



Ryc. 4.2. Polisacharydy

A. Błonnik w ścianach komórkowych komórek roślinnych. **B.** Skrobia w bulwach ziemniaków. **C.** Ziarenka glikogenu w komórkach wątroby.

Glikogen – bardzo rozgałęziony polimer glukozy (ryc. 4.2, C). Jest podstawowym zapasowym polimerem u zwierząt. Najwięcej glikogenu jest w wątrobie i mięśniach, gdzie on magazynuje się w postaci ziaren w cytoplazmie. Pod wpływem takich hormonów jak adrenalina i glukagon, komórki wątroby rozszczepiają glikogen do glukozy i wydzielają ją do krwi. Natomiast insulina – pobudza wchłanianie glukozy komórkami wątroby i przekształcenie jej na glikogen.

Chityna – polisacharyd wchodzący w skład oskórka (kutykuli) stawonogów, a także do ściany komórkowej grzybów. W odróżnieniu od węglowodanów podanych wyżej, chityna oprócz węgla, wodoru i tlenu zawiera azot.

Kwas hialuronowy – polisacharyd liniowy, który jest podstawowym związkiem substancji międzykomórkowej zwierząt. Jest to duża cząsteczka, składająca się średnio z 50 000 ogniw monosacharydowych. Najbogatsze w kwas hialuronowy są chrząstki, ciało szkliste oka i skóra właściwa.

Rola biologiczna węglowodanów nie ogranicza się do magazynowania energii

W skrócie wyliczymy podstawowe funkcje węglowodanów.

Energetyczna. Przemiana węglowodanów – podstawa przemiany energetycznej komórki. Właśnie węglowodany powstają podczas fotosyntezy w zielonych roślinach i potem są podstawą do syntezy innych cząsteczek organicznych. Utlenianiu węglowodanów przy oddychaniu lub fermentacji towarzyszy wydzielanie się energii, którą potem organizm może wykorzystać.

Strukturalna. Stanowią materiał budulcowy do tworzenia elementów strukturalnych komórek. Na przykład błonnik jest podstawą ścian komórkowych roślin, a z chityny są zbudowane ściany komórkowe wielu grzybów i oskórek stawonogów.

Transportująca i magazynująca funkcja węglowodanów. Węglowodany roznoszą się w wielokomórkowym organizmie w postaciach transportujących. U zwierząt kręgowych postacią transportującą jest glukoza, u roślin wyższych – sacharoza. Węglowodany zapasowe są polisacharydami, które magazynują się w komórkach¹ i mogą później rozszczepiać się, tworząc monosacharydy. U zwierząt typowym magazynującym węglowodanem jest glikogen, a u roślin – skrobia.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Polisacharydem magazynującym jest
A kolagen B glikogen C błonnik D pepsyna E chityna
- 2 Ściany komórkowe pieczarki są utworzone przez
A błonnik B skrobię C glikogen D chitynę E mureinę
- 3 Rozgałęzionym polisacharydem jest
A amyloza B amylopektyna C błonnik D chityna E kwas hialuronowy
- 4 Najbardziej rozpowszechniony polisacharyd w przyrodzie – to
A kolagen B glikogen C błonnik D pepsyna E chityna
- 5 W przypadku nietolerancji laktozy nie można spożywać
A jarzyn B owoców C cukru D nabiału E ryb

1 Rzadko – poza komórkami, jak na przykład hemiceluloza w ścianach komórkowych bielma hurmy.

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Opisz rolę biologiczną polisacharydów. Wymień polisacharydy strukturalne. Które spośród nich są najbardziej rozpowszechnione w przyrodzie?
- 7 Jakie właściwości powinna posiadać substancja, żeby organizmy żywe mogły wykorzystać ją jako materiał budulcowy (strukturalny)?
- 8 Jakie polisacharydy są wykorzystywane jako materiał magazynujący? Wytlumacz powiązanie budowy cząsteczki polisacharydów magazynujących z ich funkcją.
- 9 W jaki sposób budowa cząsteczek glikogenu jest związana z regulacją poziomu cukru we krwi?
- 10 Na czym polega zasadnicza różnica pomiędzy węglowodanami transportowymi i magazynującymi? Dlaczego te same substancje zazwyczaj nie mogą być jednocześnie i transportowymi, i magazynującymi?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11 Błonnik – najbardziej rozpowszechniony biopolimer na planecie. Spróbuj dać odpowiedź na pytanie: dlaczego w organizmach zwierząt nie ma fermentów niezbędnych do rozszczepienia błonnika, czyli dlaczego on nie może służyć dla nas pokarmem?
- 12 Dlaczego w wątrobie i mięśniach zwierząt powstają zapasy węglowodanów w postaci glikogenu, nie patrząc na to, że zwierzęcy organizm zachowuje większą część energii w postaci zmagazynowanych tłuszczów?
- 13 Zwykle rośliny magazynują węglowodany w postaci substancji polimerowych (skrobia, inulina¹), jednak niektóre rośliny magazynują niskocząsteczkowe substancje (sacharozę). Oceń zalety i wady takich różnych strategii magazynowania węglowodanów. Jak myślisz, co spowodowało magazynowanie tych lub innych form węglowodanów?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 14 Dlaczego zwierzęta i rośliny wykorzystują różne substancje jako zapas węglowodanów? Na czym polega zasadnicza różnica między zwierzęcymi i roślinnymi magazynującymi węglowodanami i co ją spowodowało?
- 15 Jakie jeszcze węglowodany (oprócz magazynujących) posiadają budowę rozgałęzioną? Wyjaśnij sens biologiczny tego rozgałęzienia.

Dodatek II



Oleksandr Onikijenko

Ukończył w roku 2004 Liceum Fizyko-Matematyczne № 27 w Charkowie. Zwycięzca ogólnoukraińskich olimpiad i turniejów z chemii. Studiował na Charkowskim Narodowym Uniwersytecie Medycznym. Obecnie pracuje jako kardiolog w Charkowskim Regionalnym Szpitalu Dziecięcym.

O niedoborze laktazy (hipolaktazja)

Noworodki otrzymują korzystne substancje z mlekiem matki, dlatego że z powodu niedojrzałości układu trawiennego organizm dziecka nie jest zdolny do trawienia pokarmu, który spożywają dorośli. Stopniowo racja żywnościowa dziecka powinna być wzbogacana: w taki sposób pobudza się tworzenie biologicznie aktywnych substancji, które pomagają trawieniu (fermentów). Kiedy pokarm staje

1 Podobnie do skrobi, inulina jest węglowodanem zapasowym, jest u wielu roślin, przeważnie rodziny Złożonych (topinambur, cykorja, karczoch, mniszek). Składa się z reszt fruktozy.

bardziej różnorodny, można powiedzieć, że dziecko przechodzi na „dorosły” sposób odżywiania, więc mleko matki już nie jest takie niezbędne. Sygnałem o takim przejściu jest obniżenie zdolności przyswajania mleka.

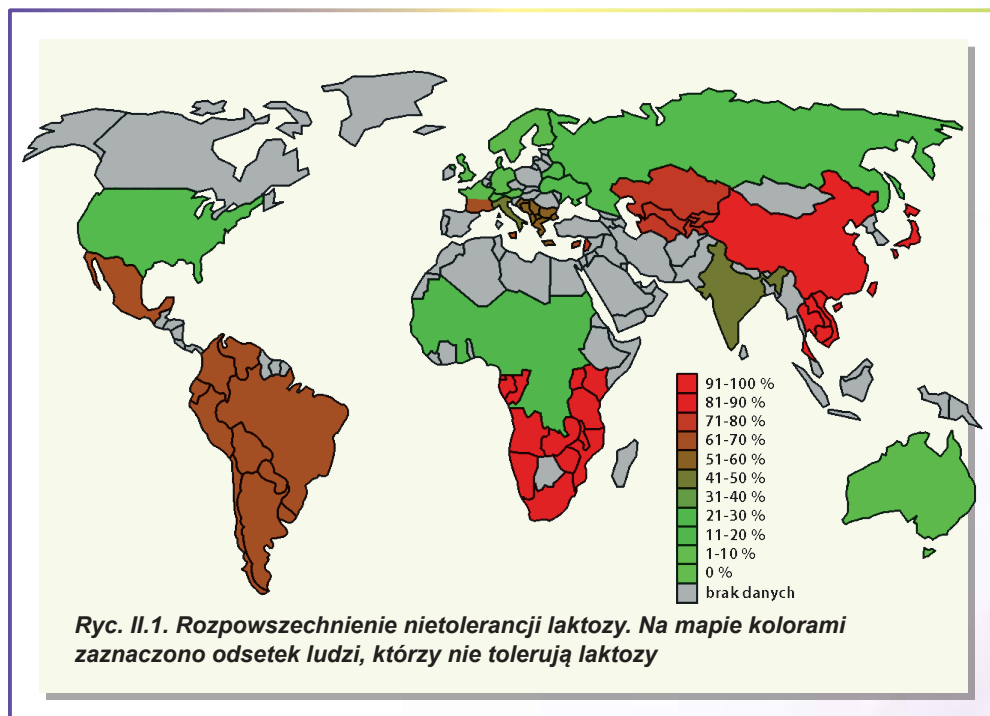
Przy tym obniża się produkcja specjalnego fermentu – laktazy, który wspiera przyswajanie laktozy – disacharydy znajdującej się w mleku. W taki sposób matka mogła zrozumieć, że już może wykarmiać następne dziecko. Niemożliwość przyswajania laktozy nazywa się niedoborem laktazy lub nietolerancją laktozy.

Uważa się, że do okresu zlodowacenia wszyscy dorośli mieli niedobór laktazy, a znaczy, nie spożywali mleka. A około 5 tysięcy lat przed naszą erą zjawili się koczownicy-pasterzy, u których w ciągu rozwoju ewolucyjnego zaszła mutacja genu, umożliwiająca im przyswajanie mleka. Dobra tolerancja laktozy nadała nosicielom tego genu przewagi w walce o byt i umożliwiła rozszerzenie terenów zamieszkania. Przecież mleko tylko jednej krowy umożliwia całej rodzinie przeżycie zimy. Bardziej pracowita i ryzykowna alternatywa – utrzymywać całe stado dla mięsa.

Oprócz tego mleko zawiera witaminę D, którą otrzymujemy z niektórymi produktami nienabiałowymi. Jej obecność w mleku umożliwiła migrację populacji na północ Europy (wówczas obszary całkiem pustynne), nie bojąc się zachorować na krzywicę.

W ciągu około tysiąca lat większość mieszkańców Europy stopniowo otrzymała tę mutację (ryc. II.1). Dzisiaj ta mutacja – to jeden z najlepszych testów na „europejskość”, czyli przynależność do rdzennych mieszkańców kontynentu, mieszkających tu nie mniej niż sześć tysięcy lat. Inaczej mówiąc, im mniejsza w narodzie jest liczba ludzi, którzy nie tolerują mleka, tym bardziej „rdzenny” jest ten naród w Europie.

Niemożliwość przyswajania laktozy sprzyjała szerszemu wykorzystaniu takiego nabiału, jak jogurt, kefir, ser itd., w których laktozę zamiast człowieka rozszczepiają drobnoustroje. Otóż miłośnicy nabiału mogą być spokojni – te produkty pozostaną „modne”!



§ 5. Lipidy

Wspólna właściwość lipidów – ich hydrofobowość

Zwracaliśmy już uwagę na to, że biocząsteczki cechuje wielka różnorodność. W poprzednich paragrafach rozglądaliśmy białka, które są polimerami aminokwasów oraz węglowodany, których cząsteczki zawierają po kilka grup hydroksylowych i po jednej grupie aldehydowej, a także ich pochodne. W tym paragrafie skupimy się na grupie biocząsteczek połączonych nie tak pod względem struktury chemicznej, jak pod względem właściwości fizyko-chemicznych. Węglowodany, aminokwasy i większość białek (jak minimum częściowo) istnieją w środowisku wodnym. Cząsteczki tych związków posiadają polarne i naładowane grupy, które znakomicie współdziałają z rozpuszczalnikami polarnymi. Jednak w żywych organizmach jest też inna grupa różnorodnych, przeważnie niepolarnych związków. Są to **lipidy**. Mimo dość szerokiego zakresu chemicznych struktur lipidów, ich wspólną właściwością jest **hydrofobowość**: lipidy są nierozpuszczalne w wodzie, lecz dobrze rozpuszczalne w rozpuszczalnikach niepolarnych (benzen, chloroform, eter).

Tłuszcze obojętne – to pochodne glicerolu i kwasów tłuszczowych

Podstawą dla wielu lipidów organizmów żywych są **kwasy tłuszczowe**. Kwasy tłuszczowe – to związki zawierające grupę karboksylową ($-\text{COOH}$) i długi łańcuszek węglowodorowy (tab. 5.1). Łańcuszek węglowodorowy zapewnia kwasom tłuszczowym właściwości niepolarne, natomiast grupa karboksylowa może kontaktować ze środowiskiem wodnym. Kwasy tłuszczowe są typowymi **cząsteczkami amfipatycznymi**¹ – związkami zawierającymi część polarną i apolarną. Taka cząsteczka może kontaktować jedną częścią z polarnym, a inną – z niepolarnym otoczeniem. Sole kwasów tłuszczowych – to dobrze znane nam mydła. Ich zdolność do otaczania niepolarnych fragmentów brudu, a potem przechodzenia wraz z nimi do wody wykorzystujemy w życiu codziennym.

Temperatura topnienia kwasu tłuszczowego prosto proporcjonalnie zależy od ilości węgla w cząsteczce, i odwrotnie proporcjonalnie – od stopnia nasyconości (ilości wiązań podwójnych).

Tabela 5.1. Niektóre naturalne kwasy tłuszczowe

Szkielet węglowy ²	Wzór	Nazwa trywialna (pochodzenie)	Temperatura topnienia (°C)
16:0	$\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$	Kwas palmitynowy (od łac. <i>palma</i> – palma)	63
18:0	$\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$	Kwas stearynowy (od gr. <i>stear</i> – twardy tłuszcz)	70
18:1	$\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$	Kwas oleinowy (od łac. <i>oleum</i> – olej)	13
18:2	$\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$	Kwas linolenowy (od gr. <i>lino</i> – lon)	-5
20:4	$\text{C}_{19}\text{H}_{30}\text{COOH}$	Kwas arachidonowy (od łac. <i>arachis</i> – orzacha)	-50

1 Cząsteczki, które posiadają w swoim składzie hydrofilowe i hydrofobowe grupy atomów, nazywamy cząsteczkami *amfipatycznymi* (od gr. *amphy* – podwójny i *philia* – lubić). Jednocześnie substancje o podobnych właściwościach jednakowo źle rozpuszczają się jak w wodzie, tak i w substancjach niepolarnych.

2 Pierwsza liczba wskazuje ilość atomów węgla w cząsteczce kwasu tłuszczowego, a druga – ilość wiązań podwójnych.

Zwykle kwasy tłuszczowe łączą się z alkoholami przy pomocy grup karboksylowych. Jednym z alkoholi, którego pochodne są bardzo rozpowszechnione w przyrodzie, jest **glicerol (gliceryna)**. Cząsteczka glicerolu ma trzy grupy hydroksylowe¹, które mogą łączyć się z trzema cząsteczkami kwasów tłuszczowych. W taki sposób otrzymuje się cząsteczkę **tłuszczu obojętnego** (ryc. 5.1).

Długie niepolarne reszty kwasów tłuszczowych – kwasowo tłuszczowe ogonki – zapewniają cząsteczkom tłuszczów niepolarność. W odróżnieniu od kwasów tłuszczowych cząsteczka tłuszczu nie ma odcinków polarnych dostępnych rozpuszczalnikom. W środowisku wodnym cząsteczki tłuszczów będą łączyć się ze sobą, zmniejszając do minimum powierzchnię współdziałania z wodą. Tak będą tworzyć się kropelki tłuszczu.

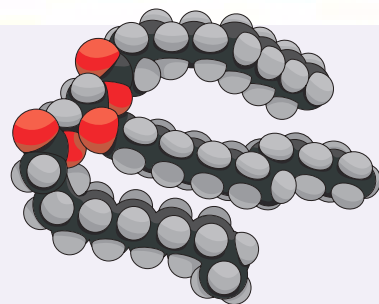
Codziennie masz do czynienia z tłuszczami. Do nich należą jak zwierzęce (wieprzowy, barani, mlekowy), tak i roślinne tłuszcze (olej słonecznikowy, oliwkowy, palmowy, masło kakaowe). Organizmy wykorzystują tłuszcze przede wszystkim do magazynowania energii. Bardziej szczegółowo funkcje tłuszczów rozpatrzemy w końcu tego paragrafu.

Tłuszcze błon są amfipatyczne i zawierają fosfor

Rozpatrzyliśmy już cząsteczki tłuszczów zbudowanych z glicerolu i trzech reszt kwasów tłuszczowych. Jeżeli do glicerolu przyłączymy tylko dwie reszty kwasów tłuszczowych, to zostanie jeszcze jedna grupa hydroksylowa, która nie bierze udziału w powstaniu wiązań chemicznych. Do niej można dołączyć jakąś cząsteczkę polarną lub grupę atomów posiadającą ładunek. Wtedy powstanie cząsteczka amfipatyczna zawierająca dwa niepolarne kwasowo lipidowe ogonki i dużą polarną lub naładowaną główkę. Niezwykle interesujące jest zachowanie takich cząsteczek w środowisku wodnym.

One też będą łączyć się ze sobą, ukrywając ogonki przed kontaktem z wodą, jednak polarne i naładowane główki będą skierowane do wody. Jest kilka typów struktur nadcząsteczkowych, utworzonych przez cząsteczki amfipatyczne w wodzie, wśród których najważniejsze – to **micela** i **błona dwuwarstwowa** (ryc. 5.2, A, B, C). Micela jest strukturą sferyczną, w której ogonki niepolarne są skierowane do środka, a polarna główka – na zewnątrz. Bardziej interesująca i ważna pod względem funkcji biologicznej jest błona dwuwarstwowa. Jest to płaski arkusz utworzony z dwóch warstw lipidów.

W każdej warstwie cząsteczki rozmieszczają się w ten sposób, że ogonki niepolarne są zwrócone do środka arkusza (naprzeciwko siebie), a główki są skierowane na zewnątrz – kontaktują z rozpuszczalnikiem. Właśnie taka błona dwuwarstwowa, zbudowana z cząsteczek amfipatycznych, jest podstawą błon komórkowych wszystkich organizmów żywych. Przykładem takiej cząsteczki może być **lecytyna**, która w dużej ilości znajduje się w komórkach zwierzęcych (ryc. 5.2, E). Nie wdając się w szczegóły opisu precyzyjnej chemicznej struktury tej cząsteczki, należy podkreślić, że w skład

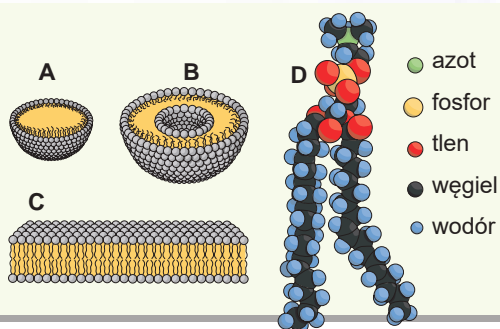


Ryc. 5.1. Cząsteczka tłuszczu (model Van – der – Waalsa)

1 Takie alkohole nazywają się trójwodorotlenowymi – od ilości grup hydroksylowych w cząsteczce.

Ryc. 5.2. Fosfolipidy i utworzone z nich struktury

- A. Jednowarstwowa micela.
- B. Liposom (dwuwarstwowy pęcherzyk lipidowy).
- C. Podwójna warstwa fosfolipidowa – podstawa błon biologicznych.
- D. Model Van-der-Waalsowy cząsteczki lecytyny.



główki wchodzi reszta kwasu ortofosforowego. Takie lipidy nazywają się **fosfolipidami**. Warto zauważyć, że do składu błon biologicznych wchodzi nie tylko fosfolipidy, chociaż one tworzą podstawę błon komórkowych zwierząt.

Steroidy – to i cegiełki, i regulatory

Podstawą tłuszczów i lipidów błon komórkowych bakterii i eukariotów są kwasy tłuszczowe. Jednak wśród lipidów są substancje, które znacznie różnią się od kwasów tłuszczowych. Jedną z nich – **cholesterol** – to życiowo niezbędny lipid. Cholesterol nadaje błonom twardość, dlatego najbardziej bogate w niego są błony komórkowe komórek zwierzęcych, które są pozbawione ściany komórkowej (ryc. 5.3).

Cholesterol jest ważny nie tylko jako niezastąpiony składnik błon biologicznych, jest on także podstawą bardzo różnorodnych związków – **steroidów**. Steroidy różnią się strukturą i funkcjami, lecz wszystkie są pochodnymi cholesterolu¹. Oto tylko niektóre z nich.

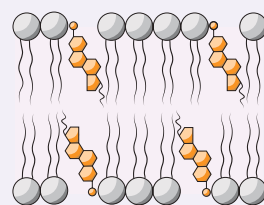
Kwasy żółciowe – pochodne cholesterolu zawierające dużą ilość grup polarnych i grup z ładunkiem. Są one cząsteczkami amfipatycznymi i biorą udział w emulgacji tłuszczów w jelicie cienkim. Syntezują się w wątrobie.

Hormony steroidowe. Wiele hormonów – to pochodne cholesterolu. U człowieka do nich należą hormony gruczołów płciowych, hormony kory nadnerczy.

Witamina D też jest pochodną cholesterolu. Do organizmu człowieka ona zazwyczaj trafia w postaci prowitaminy, a potem dopiero przekształca się na witaminę w skórze pod wpływem ultrafioletowego promieniowania Słońca.

Biologiczna rola lipidów jest niespodziewanie różnorodna

Mówiąc o lipidach, należy przypomnieć, że one pełnią różnorodne funkcje biologiczne. Najważniejszą z nich jest funkcja **strukturalna**: z cząsteczek amfipatycznych lipidów są zbudowane błony (membrany) biologiczne – niezastąpiony składnik wszystkich żywych komórek. Również warto powiedzieć, że cząsteczki lipidów obowiązkowo mają wielką węglowodorową część. Spalaniu takiej cząsteczki towarzyszy wydzielanie jak **dużej ilości** energii, tak i dużej ilości **wody metabolicznej**. To przyczynia się do



Ryc. 5.3. Cholesterol pomiędzy lipidami w błonie (membranie)

¹ Mowa tu jest o organizmach zwierzęcych. W organizmach roślinnych wszystkie steroidy są pochodnymi lanosterolu. Chociaż należy rozumieć, że wszystkie cząsteczki organizmów zwierzęcych pochodzą ostatecznie od roślinnych.

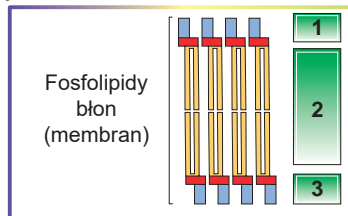
tego, że lipidy (szczególnie tłuszcze) są bardzo dogodnymi substancjami zapasowymi. Tłuszcze gromadzą zwierzęta zapadające w sen zimowy (niedźwiedź brunatny), zwierzęta pustyń (wielbłąd, scynk grubo ogonowy) oraz magazynują się w nasionach rośliny (słonecznik). Tłuszcze źle przewodzą ciepło, dlatego są znakomitymi **izolatorami cieplnymi**. Ważna też jest rola podporowa tłuszczów w tkance tłuszczowej: wiele narządów naszego ciała otoczonych jest tkanką tłuszczową, która zapewnia **zewnętrzną pdporę** (typowym przykładem jest nerka: jeżeli otaczająca ją tkanka tłuszczowa wycieńcza się, to może dojść do opuszczenia się nerki). Gęstość tłuszczów jest niższa od gęstości wody, dlatego zwierzęta morskie wykorzystują je do **podtrzymywania pławności**. Warstwa lipidów jest wodoodporna, dlatego ona okrywa powierzchnię liści i nabłonek skóry, **chroniąc je przed wysychaniem**. Z tegoż powodu większość ptaków pływających smaruje swoje pióra wydzielinami tłuszczowymi gruczołu kuprowego w celu **ochrony przed namoczeniem**. Jak już wspominaliśmy, wiele pochodnych cholesterolu jest hormonami wykonującymi **regulatorową** funkcję oraz **witaminami**. Kwasy żółciowe biorą udział w **emulgacji** tłuszczów w jelicie cienkim dla zapewnienia ich trawienia. Na zakończenie dodamy, że wiele lipidów, o których nie było mowy w tym paragrafie, nadaje światowi zapachy: większość aromatów kwiatowych wywołują oleje estrowe, które zawierają lotne związki hydrofobowe.

Zastanów się

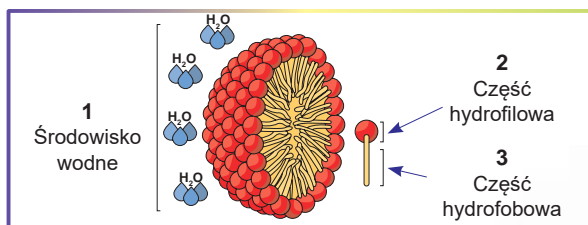
Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Wspólną właściwością dla wszystkich lipidów jest
A hydrofilowość **B** polarność **C** hydrofobowość
D rozpuszczalność w wodzie **E** zwilżalność wodą

- 2 Na rycinie cyframi 1 – 3 zaznaczono grupy
A 1, 2 – polarne; 3 – niepolarne
B 1, 2 – hydrofobowe; 3 – hydrofilowe
C 1, 3 – hydrofilowe; 2 – hydrofobowe
D 1, 3 – niepolarne; 2 – polarne
E 1 – polarne; 2, 3 – hydrofilowe



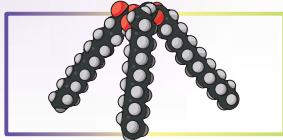
- 3 Które z przytoczonych na rycinie obiektów wymieniono poprawnie?



- A** wszystkie nazwy są niepoprawne
B 1, 2 – poprawne; 3 – niepoprawna
C 1 – poprawna; 2, 3 – niepoprawne
D 1, 3 – poprawne; 2 – niepoprawna
E wszystkie nazwy są poprawne

- 4 Pochodnymi cholesterolu są
A tłuszcze obojętne **B** fosfolipidy **C** mydła
D kwasy żółciowe **E** oleje roślinne

5 Cząsteczka podana na rycinie jest utworzona



- A glicerolem i trzema kwasami tłuszczowymi
- B cholesterolem i kwasem tłuszczowym
- C glicerolem i fosfolipidem
- D fosfolipidem i kwasem tłuszczowym
- E cholesterolem i glicerolem

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Przypuść, jak będą zachowywać się cząsteczki amfipatyczne w substancji niepolarniej (na przykład w oleju roślinnym). Narysuj rozmieszczenie cząsteczek w podanym układzie.
- 7 Jaka jest natura chemiczna tłuszczów obojętnych? Co to są za substancje z punktu widzenia chemii? Jaki jest związek między budową cząsteczek tłuszczów obojętnych i ich rolą biologiczną?
- 8 W komórkach zwierząt zmiennocieplnych ilość kwasów nienasyconych jest większa niż u stałocieplnych. Czym to można wytłumaczyć?
- 9 Według jakiej cechy chemicznie różnorodne substancje są łączone w jedną grupę lipidów? Czy, twoim zdaniem, można w taki sposób połączyć w jedną grupę wszystkie substancje hydrofilowe? Uzasadnij swoją odpowiedź.
- 10 Podaj opis biologicznej roli fosfolipidów. Jakie właściwości tych cząsteczek umiejętnie wykorzystują żywe organizmy podczas budowania błon (membran) biologicznych?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11 Jakie steroidy występują w żywych organizmach? Jaka jest rola steroidów? Opisz, w jaki sposób steroidy biorą udział w humoralnej regulacji funkcji.
- 12 Wiadomo, że temperatura topnienia kwasów tłuszczowych zależy od stopnia ich nasyconości: im bardziej nasycony jest kwas tłuszczowy, tym wyższa jest temperatura jego topnienia. Wiadomo też, że wszystkie błony biologiczne posiadają ciekłokrystaliczną strukturę. Opierając się na te dwa fakty, wyznacz, jakich kwasów tłuszczowych (nasyconych czy nienasyconych) jest więcej w lipidach zwierząt-mieszkańców strefy północnej.

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13 Dlaczego zapas lipidów zbiera się w określonych miejscach organizmu, a nie jest równomiernie rozdzielony po całym organizmie?
- 14 Dlaczego istnieje problem transportu lipidów w organizmie i jak on się rozwiązuje?



Władysław Panow

Ukończył w roku 2004 Liceum Fizyko-Matematyczne № 27 w Charkowie. Zwycięzca ogólnoukraińskich olimpiad i turniejów z biologii. Studiował na Moskiewskim Państwowym Uniwersytecie. Teraz przygotowuje uczniów do olimpiad biologicznych i turniejów.

Dodatek III

Problem transportu lipidów w organizmie

Z własnego doświadczenia dobrze wiemy, czym kończą się próby zmieszania w jednym pojemniku wody z olejem roślinnym. Po pewnym czasie obydwie cieczce wyraźnie oddzielają się jedna od drugiej i zachowują się jak cieczce niemieszające się. Sekret tego zjawiska jest

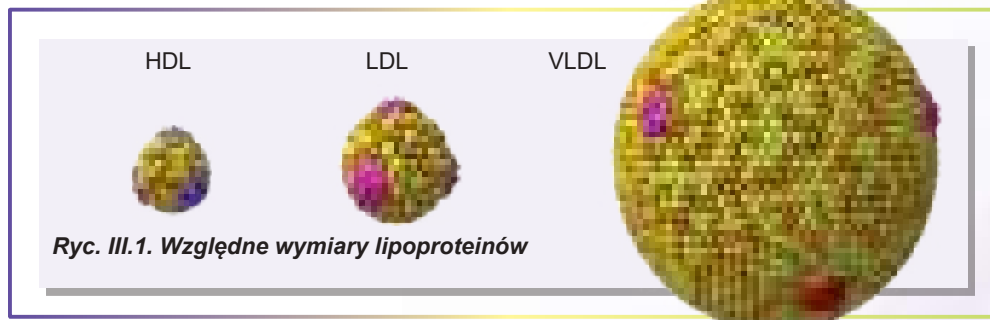
prosty: okazuje się, że zdolność dwóch ciekłych substancji do mieszania się, a nie „rozchodzenia się” w różne strony, wyznacza się ważną fizyko-chemiczną właściwością – polarnością cząsteczek.

Jena z najważniejszych grup biocząsteczek – lipidy – właśnie są tą grupą hydrofobowych substancji niepolarnych. Tę właściwość lipidów organizmy skutecznie wykorzystują do budowy błon biologicznych, których podstawowym składnikiem są lipidy. Jednak w organizmie nie wszystkie narządy mają jednakowe zdolności do syntezy lipidów. Mówiąc prościej, dla różnych tkanek i narządów charakterystyczna jest różna intensywność przemiany materii; wiele tkanek po prostu nie może syntezować sobie tyle lipidów, ile potrzebuje dla swojej czynności, zwłaszcza do budowy błon. Podstawowym narządem, który syntezuje lipidy dla organizmu jest wątroba – laboratorium biochemiczne organizmu. I tu powstaje problem: jak lipidy – substancje hydrofobowe, które powstają w wątrobie, można transportować do wszystkich narządów? Przecież podstawowy komponent układu transportowego organizmu – osocze krwi – to środowisko hydrofilowe: w takim środowisku lipidy niemożliwie jest rozpuścić, a znaczy również i transportować. Znaczenie tego zagadnienia wzrasta, jeśli przypomniemy sobie, że w składzie codziennie spożywanego przez nas pokarmu są tłuszcze (grupa cząsteczek o naturze lipidowej), a ich też należy dostarczyć do różnych narządów.

Wiadomo, że oprócz budowy błon, organizm wykorzystuje lipidy jako energetyczny materiał zapasowy. Zapasy lipidy są rozmieszczone w organizmie nierównomiernie i są magazynowane w dokładnie wyznaczonych miejscach – depo tłuszczowych. Kiedy pewne tkanki potrzebują energii, to powstaje ten sam problem transportu lipidów z miejsc magazynowania do odcinków organizmu potrzebujących energię. W jaki sposób żywe organizmy rozwiązują ten problem? W tym przypadku mamy do czynienia z genialnym wynalazkiem przyrody: lipidy hydrofobowe okrywają się powłoką białek hydrofilowych, tworząc lipoproteidy i właśnie w takiej postaci krążą w układzie krwionośnym.

Lipoproteiny krwi są bardzo różnorodne i różnią się od siebie pod względem wymiarów i gęstości powstających cząsteczek. Podstawowym parametrem, według którego dokonuje się klasyfikacji grup lipoproteiny, jest gęstość (ryc. III.1). Największe pod względem rozmiarów lipoproteiny o minimalnej gęstości nazywamy chylomikronami. Powstają one w komórkach jelita cienkiego i przenoszą nadchodzące do organizmu z pokarmem lipidy (przeważnie są to tłuszcze obojętne). Następnie one dostają się do naczyń limfatycznych, a z nich nadchodzą do krwi i kierują się do miejsc magazynowania tłuszczu. Tam zachodzi składanie nowych cząsteczek – lipoproteinów o bardzo małej gęstości (VLDL). W odróżnieniu od chylomikronów, lipoproteiny transportują tłuszcze obojętne pochodzenia wewnątrzorganizmowego, a nie z otrzymanego pokarmu. Właśnie VLDL odpowiada za dostarczanie cząsteczek, które zapewniają zapotrzebowanie narządów na materiał energetyczny.

Transport innych cząsteczek lipidowych, takich jak cholesterol i fosfolipidy, zapewniają lipoproteiny o niskiej gęstości (LDL) i lipoproteiny o wysokiej gęstości (HDL). Te lipoproteiny transportują lipidy od miejsca ich syntezy – wątroby – do miejsca ich wykorzystania, to znaczy do narządów i tkanek. W znaczeniu fizjologicznym LDL są określane mianem zły cholesterol: duża ich ilość wskazuje na zwiększoną zawartość cholesterolu we krwi i jego wiarygodne odkładanie na ścianach naczyń, co może doprowadzić do powstania miażdżycy. Lipoproteiny HDL natomiast są określane mianem dobry cholesterol, ponieważ one obniżają ryzyko powstania miażdżycy. Być może, że jednym z mechanizmów rozwoju i rozpowszechnienia tego schorzenia jest zakłócenie bilansu między LDL i HDL.



§ 6. Enzymy (fermenty)

W komórkach zachodzą reakcje, które są niemożliwe bez udziału katalizatorów

Jak już wiemy z poprzednich paragrafów, w komórkach żywych organizmów jest niezwykle dużo różnorodnych cząsteczek. Te cząsteczki nie tylko tworzą podstawę komórek i tkanek, z których są zbudowane organizmy, lecz wstępują w reakcje chemiczne między sobą. W organizmie zachodzą różnorodne procesy chemicznych przekształceń cząsteczek: rozszczepienie polimerów pokarmu do monomerów, oddychanie, fotosynteza, synteza nowych białek z aminokwasów itd. Wielu tym reakcjom towarzyszy wydzielanie energii, którą organizm może wykorzystywać, natomiast inne wymagają dodatkowego źródła energii. Rozpatrzmy prostą reakcję rozkładu karbamidu (inna nazwa – mocznik) w wodzie:



Fig 6.1. Profil energetyczny reakcji rozkładu karbamidu w wodzie



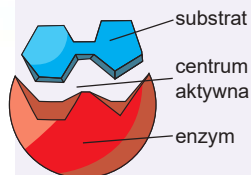
Taka reakcja nie wymaga dodatkowego źródła energii, ponieważ substancje reagujące mają energię większą od produktów reakcji. Ta reakcja zachodzi dowolnie. Na rycinie 6.1. pokazano zmianę energii reagentów w toku reakcji. Taki wykres nazywa się **energetycznym profilem reakcji**. Umieścimy niewielką ilość karbamidu do próbówki z wodą i obserwujemy wydzielanie amoniaku i dwutlenku węgla. Obliczenie energetyczne wskazuje, że karbamid

powinien całkowicie się rozłożyć. Jednak szybkość takiej reakcji jest bardzo mała. Aby ta reakcja zaszła do końca, trzeba czekać miliard lat! Co jest przyczyną tak małej szybkości?

Jeżeli jeszcze raz uważnie rozpatrzmy rycinę 6.1, to zauważymy, że na profilu energetycznym między reagentami i produktami jest „pagórek” – stan z wysoką energią, która przekracza energię substancji reagujących na energię aktywacji. Jeżeli pokonać ten „pagórek”, to reakcja zachodzi bardzo szybko, lecz „wspiąć się” na niego i „przekroczyć” go jest bardzo trudno. Właśnie to ogranicza szybkość reakcji. Lecz niektóre substancje są zdolne do obniżania wysokości tego „wzgórza”, czyli obniżania energii aktywacji. Takie substancje nazywają się **katalizatorami**.

Enzymy (fermenty) – to katalizatory biologiczne

Reakcja rozkładu karbamidu w wodzie zachodzi bardzo powoli. Jeżeli do tego roztworu dodamy roztarte nasiona kawona i podniesiemy wilgotny papierek lakmusowy, to od razu zauważymy, jak on zacznie zmieniać kolor na niebieski: to wydzielający się amoniak stwarza środowisko zasadowe. Można przypuścić, że w nasionach kawona jest katalizator tej reakcji. I rzeczywiście: tym katalizatorem jest białko ureaza. Ureaza – to tylko jeden z licznej grupy katalizatorów o białkowej naturze, które nazywają się **enzymami (fermentami)**. Enzymy stanowią absolutną większość katalizatorów żywych organizmów.



Ryc. 6.2. Enzym i jego substrat

Jak i wszystkie białka, enzymy są bardzo wielkimi cząsteczkami. Na ryc. 6.2 podano enzym i substrat reakcji (reagent). Reaguje z substratem nie cała powierzchnia enzymu, a tylko niewielka jej część, która nazywa się **centrum aktywne**. Inna część tworzy podstawę strukturalną, na której centrum aktywne utrwała się i przybiera strukturę niezbędną do katalizy. Centrum aktywne zwykle jest nieduże, jednak do jego składu często wchodzi oddalone od siebie odcinki sekwencji aminokwasowych. W procesie zakręcania się cząsteczki enzymu te odcinki okazują się jeden obok drugiego.

Zasada pracy enzymów – współdziałanie z substratem

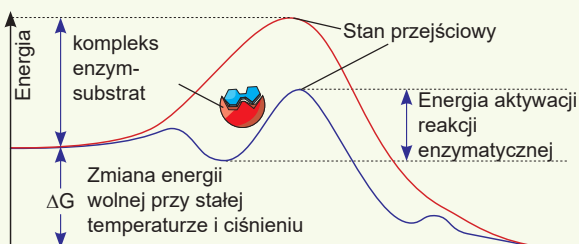
Centrum aktywne – to odcinek katalityczny cząsteczki enzymu. Tam zachodzi połączenie się z substratami reakcji i proces katalizy. Substraty wchodzi do centrum aktywnego i współdziałają z resztami aminokwasowymi, powodując zmiany w trójwymiarowej strukturze enzymu. Wytwarza się **kompleks enzym-substrat** (ryc.6.3). Często te zmiany są nieznaczne, lecz czasem one globalnie przebudowują strukturę cząsteczki. Dotyczy to przede wszystkim białek-rozruszników, które wykonują pracę mechaniczną. Obserwować pracę białka-rozrusznika **możesz na stronie internetowej**.

Centrum aktywne tworzy odpowiednie środowisko dla dokonania reakcji z mniejszą barierą energetyczną niż w roztworze. Właśnie to przyspiesza reakcję o miliony, a nawet setki miliardów razy.

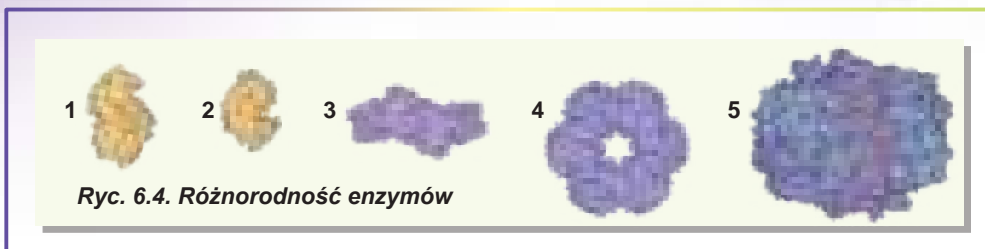
W każdej komórce znajdują się tysiące różnych enzymów, które dokonują różnorodnych reakcji. Przy tym można mówić o **specyficzności** reakcji enzymatycznych: każdy enzym może katalizować tylko ograniczoną ilość reakcji. Na przykład enzym amylaza, który zawarty jest w ślinie, może rozszczepiać skrobię, lecz nie potrafi rozszczepiać błonnika. Specyficzność polega na tym, że centrum aktywne ma określony kształt, dostępny dla współdziałania z jednym substratem, lecz niedostępny dla współdziałania z innymi. Niektóre enzymy przyspieszają tylko jedną reakcję, natomiast inne – wiele.

Na aktywność enzymatyczną wpływają czynniki środowiska

Kataliza enzymatyczna jest niemożliwa bez poprawnego rozmieszczenia reszt aminokwasowych w centrum aktywnym. A rozmieszczenie reszt aminokwasowych w centrum aktywnym zależy od prawidłowego skręcania się cząsteczki enzymu. W § 3 ustaliliśmy, że na skręcanie się cząsteczki białka



Ryc. 6.3. Profil energetyczny reakcji katalizowanej enzymem



Ryc. 6.4. Różnorodność enzymów

wpływają różnorodne czynniki środowiska zewnętrznego: temperatura, kwasowość, zasolenie. Cząsteczki enzymów oraz cząsteczki innych białek są wrażliwe na zmiany tych czynników: jeżeli te parametry nie odpowiadają optymalnym, to zakłóca się struktura trójwymiarowa enzymów i one tracą swoją aktywność. **Pepsyna**, która jest składnikiem soku żołądkowego człowieka, jest aktywna w środowisku kwaśnym żołądka, jednak gubi swoją aktywność w środowisku słabozasadowym jelita. Większość enzymów jest bardzo wrażliwa na zmiany temperatury. Przy ogrzewaniu powyżej 60°C one przestają pracować. Ale enzymy bakterii mieszkających w gorących źródłach często pracują optymalnie przy temperaturze 70–80°C.

Enzymy są niezwykle różnorodne

Wspominaliśmy już na początku paragrafu, że w żywych organizmach zachodzi ogromna ilość różnorodnych reakcji biochemicznych katalizowanych przez enzymy. Enzymy klasyfikujemy według reakcji, które one katalizują, budowy i miejsca rozmieszczenia w komórce. Na rycinie 6.4 podano niektóre enzymy, które są w organizmach żywych.

1. **Amylaza** – enzym pozakomórkowy dokonujący rozszczepienie skrobi. U człowieka zawiera go ślina i sok trzustkowy. Podczas kiełkowania ziarenek zbóż aktywnie syntezuje się przez zarodek i dokonuje rozszczepienie skrobi zgromadzonej w bielmie.
2. **Pepsyna** – enzym zawarty w soku żołądkowym. Dokonuje rozszczepienie białek. Jest aktywny w środowisku kwaśnym.
3. **Nitrogenaza** – enzym syntezowany przez bakterie przyswajające azot. Dokonuje przekształcenie azotu atmosferycznego w amoniak. Odgrywa czołową rolę w krążeniu azotu w przyrodzie.
4. **Syntetaza glutaminowa** – enzym, który odpowiada za włączenie azotu do składu aminokwasów. Jest obecny w komórkach wszystkich organizmów żywych.
5. **Syntetaza kwasów tłuszczowych** – wielki enzym cytoplazmatyczny dokonujący syntezy kwasów tłuszczowych – część składowa tłuszczów. U bakterii to kompleks wieloenzymatyczny, a u człowieka – dimer, zawierający wiele różnych centrów aktywnych.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1 Na rycinie do zadania №4 cyfrą 5 zaznaczono

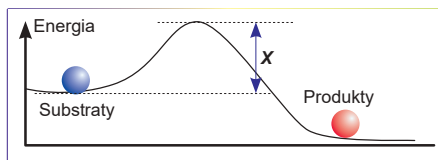
- A centrum aktywne enzymu
- C kompleks enzym-substrat
- E kompleks enzym-produkt

- B substrat
- D produkt reakcji

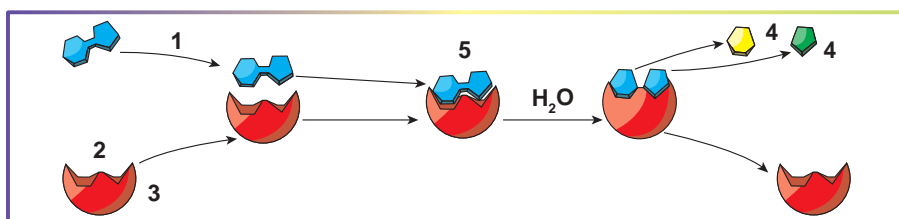
- 2 W energię organizmy zwierzęce zaopatruje proces
A biosyntezy białek **B** syntezy lipidów **C** trawienia pokarmu
D fotosyntezy **E** oddychania

- 3 Na wykresie, na którym podano zmianę energii w toku reakcji chemicznej, literą **X** zaznaczono

- A** energię substratów
B energię produktów
C energię enzymu
D energię aktywacji
E różnicę energii produktów i substratów



- 4 Cyfrą 2 na rycinie zaznaczono
A centrum aktywne enzymu **B** substrat
C kompleks enzym-substrat **D** produkty reakcji
E kompleks enzym-produkt



Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 5 Jak aktywność enzymów zależy od otaczającego środowiska?
6 Czy zużywa się enzym podczas reakcji enzymatycznej? Dlaczego?
7 Który z odcinków enzymu bezpośrednio odpowiada za katalizę?
8 Co to jest specyficzność enzymu? Dlaczego ona jest ważna dla przyrody żywej?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 9 Organizmy termofilowe żyją w miejscach o wysokiej temperaturze środowiska otaczającego (na przykład, w źródłach gorących). Jakie osobliwości powinny mieć enzymy tych organizmów? Zastanów się, jak mogą być wykorzystane te enzymy w praktyce?
10 Zwykle szybkość reakcji chemicznej zwiększa się przy podwyższeniu temperatury (średnio o 2–4 razy na każde 10 stopni). Czy zawsze to twierdzenie sprawdza się dla reakcji katalizowanej przez enzymy?

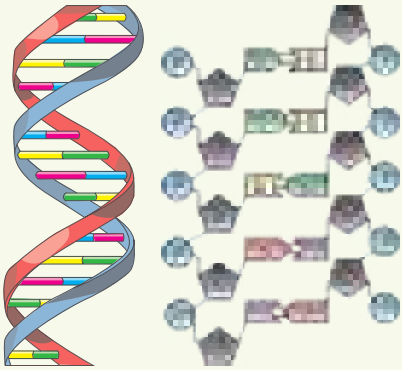
Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 11 Jakie właściwości powinny mieć cząsteczki wykonujące rolę katalizatorów? Dlaczego do tej funkcji jak najbardziej pasują białka?
12 W jaki sposób, dlaczego i jakie enzymy są wykorzystywane w przemyśle?

Projekt do opracowania w grupie

- 13 Wykorzystując różnorodne materiały (papier, tekturę, nici, guziki, plastelinę itd.), zrób model reakcji fermentacyjnej. Pokaż model w klasie i wytłumacz, co on demonstrowa lub wykonaj podobny model wirtualny na komputerze.

§ 7. Kwasy nukleinowe



Ryc. 7.1. Model dwułańcuchowej cząsteczki DNA

P – ortofosforan
D – deoksyryboza
A, T, G, C – zasady azotowe

DNA – nosiciel informacji

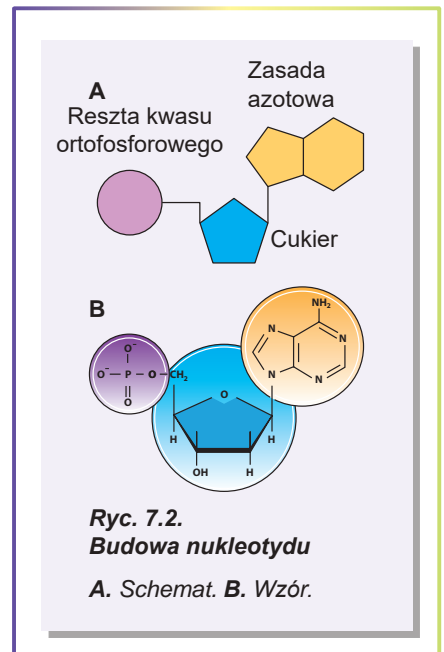
Właściwość wszystkich żywych organizmów – to odtwarzana złożoność. Żywe organizmy cechują się nie tylko złożoną mikro- i makroskopową strukturą, lecz także tym, że ta struktura ma podobne cechy w różnych organizmach, czyli jest skutkiem zarówno przypadkowych, jak i regularnych procesów. Można przypuścić, że organizm zwierzęcia lub rośliny rozwija się według pewnego zapisanego programu. Otóż powinien istnieć nosiciel odpowiedniej informacji. Wygodnie byłoby zapisać tę informację w postaci jakiegoś tekstu. Ten tekst zawierałby ograniczoną ilość „liter”, z nich składałyby się poszczególne „słowa” i „zdania”. Ponadto ten „tekst” mógłby być zachowywany i przekazywany potomkom (właśnie na tym polega zasada dziedziczności). I taki „tekst” mają żywe organizmy. Jego rolę odgrywa cząsteczka **DNA – kwasu deoksyrybonukleinowego**.

DNA – to długa cząsteczka liniowa

Cząsteczka DNA ma niezwykle charakterystyczną i poznawalną strukturę¹. Jest to długa liniowa cząsteczka, złożona z dwu skręconych ze sobą łańcuchów (ryc. 7.1). Zwykle każdy z łańcuchów jest poszczególną cząsteczką, która nie jest powiązana wiązaniem kowalencyjnym z inną. Obydwa łańcuchy zwinięte są wokół wspólnej osi, tworząc **spiralną dwułańcuchową strukturę**.

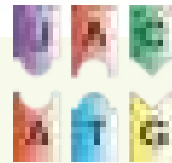
Nukleotydy – to „litery” w cząsteczce DNA

DNA jest cząsteczką polimerową zbudowaną z ogniw monomerowych – **reszt nukleotydowych**. Na rycinie 7.2 podano budowę jednego nukleotydu. W budowie nukleotydu można wyodrębnić trzy ogniwa strukturalne. Po pierwsze jest to **zasada azotowa**, która jest cykliczną strukturą zawierającą azot. Warto zaznaczyć, że zasada azotowa jest płaska, a na swoich krańcach zawiera grupy, zdolne do wytworzenia wiązań wodorowych. Po drugie – to resz-



1 Od razu zaznaczamy, że w tym paragrafie podano opis tylko „kanonicznej” dwułańcuchowej DNA. O innych rodzajach DNA można dowiedzieć się z literatury fachowej.

ta węglowodanu, w przypadku DNA – **deoksyrybozy** (właśnie deoksyryboza dała nazwę DNA – kwas deoksyrybonukleinowy). Po trzecie – reszta **kwasu ortofosforowego**. Nukleotydy w DNA są połączone między sobą tak, że reszta kwasu ortofosforowego jednego nukleotydu łączy się z resztą deoksyrybozy innego. A więc można sobie wyobrazić, że jeden łańcuszek DNA – to następująca po sobie kolejność reszt kwasu ortofosforowego i deoksyrybozy (tak zwany cukrofosforanowy szkielet), na której umocowane są zasady azotowe. Razem jest ich cztery: **adenina (A)**, **guanina (G)**, **tymina (T)** i **cytozyna (C)**. Nukleotydy są „literami” tekstu, za pomocą którego została zapisana informacja w DNA. Długość tego tekstu może być bardzo różna. Najkrótsze genomy bakterii zawierają miliony nukleotydów, najdłuższe genomy roślin – setki miliardów. Genom człowieka zawiera trzy miliardy nukleotydów¹.



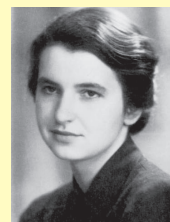
Ryc. 7.3. Zasada komplementarności

Zasada komplementarności – podstawą budowy DNA

Jak już przypomnieliśmy, klasyczna DNA – to spiralna dwułańcuchowa cząsteczka złożona z dwóch polinukleotydowych łańcuchów, owijających się wokół siebie. Przy tym obydwa łańcuchy są zwrócone ku sobie zasadami azotowymi: naprzeciwko zasady azotowej jednego łańcucha polinukleotydowego rozmieszczona jest zasada azotowa innego łańcucha. Jest to nie przypadkowa, lecz uzasadniona odpowiedniość. Tak naprzeciw adeniny (A) jednego łańcucha rozmieszcza się tymina (T) drugiego, a naprzeciw cytozyny (C) rozmieszcza się guanina (G) – i odwrotnie (ryc. 7.3). Taka jednoznaczna odpowiedniość nazywa się **zasadą komplementarności** (od łac. complementum – uzupełnienie). W taki sposób obydwa łańcuchy DNA, które formują strukturę dwułańcuchową, są komplementarne względem siebie. Znając kolejność nukleotydów w jednym łańcuchu DNA, łatwo wyznaczmy ich kolejność w drugim łańcuchu tworzącym cząsteczkę

Rosalind Franklin

Urodziła się w roku 1920 w Londynie. Nauki pobierała w szkole Św. Pawła i w Newnham College Uniwersytetu Cambridge. Podstawowe jej prace naukowe związane są z rentgenografią strukturalną budowy DNA. Model dwułańcuchowy budowy DNA, który był zaproponowany przez J. Watsona i F. Cricka, opierał się na danych otrzymanych przez Franklin. Niestety, Rosalind miała nowotwór i zmarła w roku 1958 w wieku 37 lat. Zgodnie z testamentem Nobla nagrody jego imienia nie mogą być wręczane pośmiertnie. Właśnie z tego powodu Franklin nie została laureatką Nagrody Nobla w 1962 roku za odkrycie struktury i wyjaśnienie znaczenia DNA. Jednak wniosek badaczki w wyjaśnienie struktury DNA był oceniony wieloma instytucjami naukowymi świata. Nawet projekt 2012 edukacji online w dziedzinie bioinformatyki, programowania i biologii molekularnej był nazwany na jej cześć – Rosalind.



¹ Kiedy genów jest dużo, informacja zostaje zapisana na kilku cząsteczkach DNA.



Ryc. 7.4. Warianty struktur drugorzędowych RNA

1. Odcinek jednołańcuchowy.
2. Odcinek dwułańcuchowy.
3. Pętla. 4. Szpilka.

Otóż u każdego organizmu ilość nukleotydów adenylowych dorównuje ilości tymidylowych, a ilość guanilowych – ilości cytydylowych. Jak dowiemy się z następnych paragrafów, zasada komplementarności jest bardzo ważna dla odczytania i realizacji informacji dziedzicznej, zapisanej w DNA.

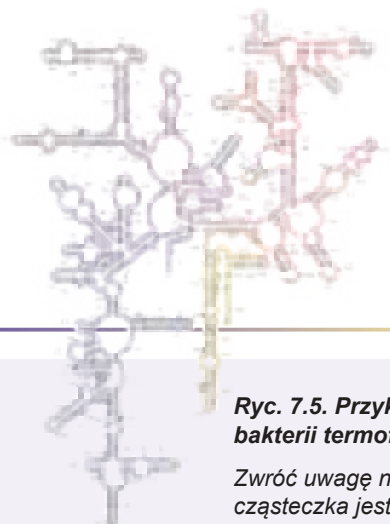
RNA – to inny typ kwasów nukleinowych

DNA nie jest jedynym polinukleotydem znajdującym się w komórce. Inny typ polinukleotydów, który zawsze jest w komórkach i wykonuje życiowo ważne funkcje – to **RNA (kwas rybonukleinowy)**.

Cząsteczki RNA zbudowane są według tego samego schematu, co i cząsteczki DNA: to łańcuch kolejno połączonych nukleotydów. Zasadnicza różnica polega na tym, że w nukleotydach RNA zamiast deoksyrybozy jest **ryboza**. Prócz tego w RNA, w odróżnieniu od DNA, zamiast tyminy jest bliski do niego pod względem budowy chemicznej uracyl¹. Trójwymiarowe struktury, których przybierają cząsteczki RNA, są bardziej różnorodne od struktur DNA. Choć spiralna dwułańcuchowa struktura RNA jest dość rozpowszechniona, obydwie łańcuchy w niej zazwyczaj są odcinkami jednej kolejności polinukleotydowej. W ten sposób cząsteczki RNA tworzą pętle, szpilki, pseudowęzły i inne niezwykle struktury (ryc. 7.4). Warto zaznaczyć, że zasada komplementarności, tak kategoryczna dla DNA, nierzadko jest zakłócana na odcinkach dwułańcuchowych RNA.

Rola RNA w komórce – to realizacja informacji dziedzicznej

Wiesz już, że cząsteczki RNA cechuje wielka różnorodność struktur (ryc. 7.5), co umożliwia im wykonywanie wielu funkcji w komórce. Większość cząsteczek RNA w ten lub inny sposób angażuje się do realizacji informacji genetycznej: odczytania informacji zakodowanej w kolejności nukleotydów DNA, syntezy cząsteczek białka, zapewnienia syntezy innych cząsteczek RNA. Jest RNA, który bierze udział w ochronie komórkowej DNA przed wirusami, a także w regulacji pracy DNA. Niektóre RNA angażują się w przeniesienie białek przez błony oraz katalizę chemiczną. Ostatni rodzaj RNA nazywa się **rybozomy** (według analogii z enzymami). Niektóre wirusy (np. wirus grypy, rynowirusy (powodują przeziębienie) i wirus braku odporności człowieka) wykorzystuje się do zachowania swojej informacji dziedzicznej nie DNA, a RNA.



Ryc. 7.5. Przykład skręcania się cząsteczki RNA – RNA z rybosomem bakterii termofilowej

Zwróć uwagę na wielką ilość struktur dwułańcuchowych, a także na to, że cząsteczka jest kolejnością polinukleotydową.

1 RNA cechuje większa różnorodność zasad azotowych wchodzących do jego składu, jednak podstawowych jest cztery: adenina, guanina, uracyl i cytozyna.

Francis Crick

Urodził się w roku 1916 w angielskim mieście Northampton. Jego dziadek był biologiem i miał kilka wspólnych naukowych prac z Charlesem Darwinem. Nauki pobierał w Mill-Hill School, a potem w University College London. Główne badania uczonego dotyczyły struktury cząsteczki DNA. Dzięki staraniom Cricka i jego kolegów w 1953 roku udało się zaproponować model budowy DNA w postaci podwójnej helisy. Uchony sformułował właściwości kodu genetycznego, główny dogmat biologii molekularnej, podstawowe osobliwości biosyntezy białka. W roku 1962 wraz z Jamesem Watsonem i Maurice'em Wilkinsem został laureatem Nagrody Nobla w dziedzinie fizjologii lub medycyny „za odkrycie dotyczące struktury kwasów nukleinowych i ich znaczenia w przekazywaniu informacji dziedzicznej w układach żywych”. Do końca swoich dni Crick pozostawał badaczem, humanistą i ateistą. Zmarł w roku 2004 w San Diego, USA.



Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Funkcję zachowania informacji dziedzicznej pełnią
A białka B kwasy nukleinowe C lipidy D węglowodany E aminokwasy
- 2 Monomerami kwasów nukleinowych są
A aminokwasy B nukleotydy C zasady azotowe
D fosforan-jony E kwasy tłuszczowe
- 3 W składzie DNA zwykle nie bywa zasady azotowej
A tyminy B adeniny C uracylu D guaniny E cytozyny
- 4 Z podanych par nukleotydów nie jest komplementarna para
A A–T B G–C C U–T D A–U E C–G
- 5 Na miejscu zaznaczonym X w podwójnej helisie DNA ma być nukleotyd
1 łańcuch: T G C C T A T G A C
2 łańcuch: A C G G A X A C T G
A A B G C T D U E C

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Napisz kolejność DNA, która jest komplementarna do kolejności: ATGCGCTTAT-TCGAC. Napisz kolejność RNA, która jest komplementarna do tego łańcucha DNA.
- 7 Wymień różnice w przyrodzie chemicznej i budowie DNA i RNA.
- 8 Co znaczy pojęcie „komplementarność łańcuchów DNA”? W jakim stopniu ta cecha jest właściwa cząsteczkom RNA?
- 9 Przy wzroście temperatury zachodzi tak zwane topnienie DNA, przy którym on rozkręca się i staje się jednołańcuchowy. Uwzględniając to, że energia współdziałania G–C jest nieco wyższa od energii współdziałania A–T, zastanów się, który z tych dwóch fragmentów DNA (przytoczono tylko po jednym łańcuchu!) będzie posiadać wyższą temperaturę topnienia: GCAAAGTTAATTCATAT czy TAGCGCTGTCCGTCGG?

- 10** Mocznik może być wykorzystany do zakłócenia trójwymiarowej struktury białek, ponieważ sprzyja rozerwaniu wiązań wodorowych. Czy może mocznik być wykorzystany do niszczenia podwójnej helisy DNA?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Jeden komplet DNA w jądrze człowieka zawiera około 3 miliardów par nukleotydów. W DNA każda zasada zajmuje około 0,34 nm spirali. Wykorzystując te dane, oblicz, jaka by była sumaryczna długość cząsteczki DNA w każdej komórce ludzkiego organizmu, gdyby cały DNA był całkowicie rozkręcony i znajdował się w postaci podwójnej helisy (uwzględnij, że w komórce zwykle jest po dwie kopie każdej cząsteczki DNA!).
- 12** Wybitny fizyk Maks Delbrück porównał odkrycie struktury DNA pod względem znaczenia dla nauki z odkryciem przez Rutherforda jądra atomowego. Zastanów się, jaki wpływ wywarły prace dotyczące wyznaczenia struktury DNA na dalszy rozwój nauki biologicznej i na czym polega ich znaczenie.

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Wiadomo, że jednołańcuchowy DNA wchłania ultrafioletowe światło w przybliżeniu o 40% efektywniej niż dwułańcuchowy. Spróbuj спрогноzować, jak zmieni się wchłanianie światła DNA przy wzroście temperatury od 25 do 98°C. I co zaszędzie, gdy temperaturę powoli obniżymy z 98 do 25°C?

Dodatek IV



Anastazja Bondariewa

Ukończyła w roku 2008 Gimnazjum № 47 w Charkowie. W tym samym roku zdobyła brązowy medal na Międzynarodowej Olimpiadzie z Biologii w Indiach. Ukończyła Kijowski Narodowy Uniwersytet im. T. Szewczenki. Obecnie robi doktorat na wydziale medycznym Uniwersytetu Technicznego w Dreźnie.

„Zwariowane” poszukiwanie podwójnej helisy¹

W roku 1869 Fridrich Miescher badając leukocyty, wyodrębnił z ich jąder „nuklein”, który następnie przemianowano na kwas nukleinowy. Później, w latach 20. XX stulecia amerykański chemik Fibus Lewin ustalił, że DNA zawiera cztery rodzaje nukleotydów (z adeniną (A), guaniną (G), cytozyną (C) i tyminą (T), które są zbudowane z węglowodanu deoksyrybozy, reszty kwasu ortofosforowego odpowiedniej

zasady azotowej) i opisał wiązania powstające między nimi. Jednak Lewin jest bardziej znany ze swojej błędnej teorii struktury DNA: on uważał, że jedna cząsteczka DNA zawiera tylko po jednym nukleotydzie każdego rodzaju (teoria tetra nukleotydu). W roku 1924 tę teorię obaliło odkrycie tego, że DNA jest polimerem wielu nukleotydów połączonych w łańcuch.

Ponad pół wieku DNA ciekawił przeważnie chemików: wtedy w biologii panowało zdanie, że nosicielami dziedziczności są białka. W 1928 roku Frederik Griffith otrzymał niespodziewany rezultat eksperymentu, w którym zabite przez ogrzewanie bakterie chorobotwórcze (zwykle przy wysokich temperaturach u białek niszczy się struktura przestrzenna i one przestają funkcjonować) były zdolne do przekazywania swojej patogenności innym bakteriom, nie wywołującym objawów chorobowych. To wskazywało na obecność innego nosiciela dziedziczności niż białko. Decydujące eksperymenty, które nie pozostawiały wątpliwości dotyczące natury genu, były opublikowane

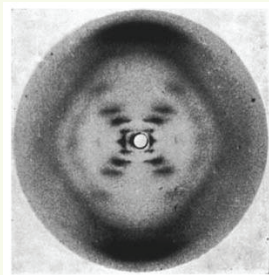
¹ Dialog z nazwami książek F. Cricka i J. Watsona: Francis Crick „What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery”, 1988; James Watson „The Double Helix”, 1968.

przez grupę Oswalda Avery'ego w 1944 roku po 10 latach pracy: te eksperymenty pokazały, że dziedziczność u bakterii zniknęła tylko wtedy, kiedy uczeni niszczyli DNA, a nie RNA lub białka. To udowodniło, że właśnie DNA jest nosicielem dziedziczności i połączyło wysiłki genetyków i biochemików w poszukiwaniu „sekrety życia”.

Następne 10 lat trwały wyścigi o pierwszeństwo w odszyfrowaniu struktury DNA. W Ameryce tym zagadnieniem zaciekał się Linus Pauling, jeden z najbardziej autorytatywnych ówczesnych chemików, który opisał naturę wiązania chemicznego, Laureat Nagrody Nobla w dziedzinie chemii w roku 1954. Jednocześnie w King's College w Londynie Maurice Wilkins i Rosalind Franklin ze swym studentem Raymondem Goslingiem pracowali nad rentgenografią strukturalną DNA. A w Laboratorium Biologii Molekularnej na Uniwersytecie w Cambridge biolog James Watson i fizyk Francis Crick zainteresowali się problemem struktury DNA z innej strony: zachęceniu sukcesem Paulinga w wykorzystaniu modelowania cząsteczek do odszyfrowania struktury białka (α -helisa zaproponowana w 1951 roku), postanowili modelować strukturę DNA. Jednak, jak pisze Watson w swojej książce „Podwójna heliksa”, oni prędko zrozumieli, że składniki DNA mają o wiele więcej wariantów wzajemnego rozmieszczenia niż aminokwasy w białkach. Pierwsze rentgenogramy DNA, które otrzymali Franklin i Wilkins, wskazywały na to, że DNA ma strukturę helisy, chociaż Franklin odmawiała się wyciągać takie wnioski bez dodatkowych eksperymentów. Jednak to nie powstrzymało Watsona i Cricka: jeden z pierwszych zbudowanych przez nich modeli miał postać helisy o trzech łańcuchach z zasadami azotowymi na zewnątrz i glikofosforanami w środku cząsteczki. Zobaczywszy ten model, Franklin zauważyła, że jej dane wskazują na to, iż w przypadku spiralności DNA glikofosforany powinny być na zewnątrz cząsteczki. Skomplikowało modelowanie niedawne odkrycie Erwina Chargaffa (który urodził się w Czerniowcach): suma adeniny i guaniny w DNA zawsze dorównuje sumie tyminy i cytozyny. Jaki by nie był model DNA, on miałby tłumaczyć ten fenomen lub przynajmniej nie zaprzeczać go.

Mniej więcej rok po nieudanej próbie zbudowania trójłańcuchowego modelu DNA przez Watsona i Cricka Linus Pauling opublikował artykuł ze swym modelem, który był bardzo podobny do ich. Ten model zawierał kilka poważnych błędów i w żaden sposób nie tłumaczył reguły Chargaffa, dlatego Watson i Crick kontynuowali swoje „szalone” poszukiwania czynnego modelu DNA. Decydującym bodźcem do odszyfrowania struktury stało się najsłynniejsze zdjęcie w historii biologii – tak zwane zdjęcie 51 (ryc. IV.1), które otrzymał Raymond Gosling – student Rosalind Franklin. Był to rentgenogram sodowej soli DNA, z którego Watson i Crick zrozumieli, że DNA jest złożony z dwóch łańcuchów zakręconych w helisę. Maurice Wilkins i jego zespół otrzymali podobne rentgenogramy w tym samym czasie. Przeprowadziwszy eksperymenty z różnymi wariantami podwójnej helisy, Watson i Crick stworzyli wytworny model (ryc. IV.2) z komplementarnymi nukleotydami (A-T i G-C), który nie tylko tłumaczył reguły Chargaffa, nie zaprzeczał chemicznych charakterystyk składników, lecz ponadto proponował prosty mechanizm przekazywania informacji genetycznej, w którym DNA podwaja się dzięki syntezie nowych łańcuchów

na matrycę obecnego DNA. W roku 1953 w czasopiśmie Nature nadrukowano dwa artykuły poświęcone strukturze DNA: artykuł Wilkinsa i Franklin z analizą rentgenostrukturalną DNA oraz artykuł Watsona i Cricka z opisem proponowanej struktury podwójnej helisy i zasady komplementarności nukleotydów, za co w roku 1962 James Watson, Francis Crick i Maurice Wilkins otrzymali Nagrodę Nobla w dziedzinie fizjologii lub medycyny. Rosalind Franklin, niestety, zmarła w 1958 roku i nie mogła otrzymać nagrody wraz z innymi.



Ryc. IV.1. Rentgenogram sodowej soli DNA

Ryc. IV.2. Schemat podwójnej helisy DNA narysowany przez żonę Francisca Cricka



Praca praktyczna № 1

Rozwiązywanie podstawowych zadań ze struktury białek i kwasów nukleinowych

Cel: nauczyć się wykorzystywać w praktyce wiedzę o budowie białek i kwasów nukleinowych do rozwiązywania zadań.

Informacja: długość liniowa jednej reszty aminokwasowej : $l(ak) = 0,35\text{nm}$; średnia względna masa cząsteczkowa jednej reszty aminokwasowej: $M_r(ak) = 110$; długość liniowa jednego nukleotydu: $l(nk) = 345$.

Przebieg pracy

Ćwiczenia i zadania o strukturze białek

- 1 Względna masa cząsteczkowa białka mięśni miozyny wynosi około 500 000. Ile reszt aminokwasowych zawiera jej łańcuch?
- 2 Białko pepsyna zawiera 340 reszt aminokwasowych. Wyznacz masę i długość łańcucha białkowego tego fermentu.
- 3 Napisz wszystkie możliwe warianty łańcuchów aminokwasowych zawierających dwie różne lub jednakowe reszty aminokwasowe „A” i „B”, i policz ich ilość. Dokonaj tego samego z zestawem aminokwasów „A”, „B” i „C”. Wyprowadź wzór ogólny do wyznaczania ilości wariantów łańcuchów aminokwasowych w zależności od ich długości (ilości reszt aminokwasowych) i różnorodności aminokwasów wchodzących do ich składu.
- 4 Hormon wzrostu somatotropina zawiera 9 reszt aminokwasowych lizyny o względnej masie cząsteczkowej 146. Jaką względną masę cząsteczkową posiada całe białko, jeżeli lizyna stanowi tylko 5,29% jego masy?
- 5 Jaka ilość wiązań peptydowych jest w cząsteczce białka złożonego z 191 reszty aminokwasowej?

Ćwiczenia i zadania o budowie DNA

- 6 Fragment cząsteczki DNA ma długość 10,2nm. Ile nukleotydów on zawiera i jaka jest jego masa?
- 7 DNA jednej komórki człowieka zawiera 3,1 miliardy par nukleotydów. Wyznacz masę i długość DNA w jednej komórce.
- 8 Jeden z łańcuchów DNA ma kolejność AGACTTGATCTGA. Zapisz kolejność drugiego łańcucha DNA i wyznacz długość tego fragmentu.
- 9 Fragment cząsteczki DNA zawiera 120 nukleotydów adenylowych, co stanowi 30% od ich ogólnej ilości. Ile innych nukleotydów zawiera ten fragment?
- 10 Kolejność jednego z łańcuchów DNA jest następująca: GCCTAATCAGGT. Jaka jest zawartość od ogólnej ilości każdego z nukleotydów w tym odcinku DNA?
- 11 Ile reszt deoksyrybozy zawiera cząsteczka DNA, jeżeli w jej składzie jest 27% nukleotydów guanilowych, a nukleotydów tymidylowych – 432?

Dowiedz się, od czego zależy budowa RNA i jak będzie wpływać na nią zamiana jednego nukleotydu na inny, rozwiązując łamigłówki i tworząc modele cząsteczek RNA na stronie internetowej.



§ 8. ATP

Життя залежить від енергії

Життя – то рух. То твердження повністю підтверджують щоденні спостереження. Птахи літають, трепочаючи крильми і відштовхуючись від мас повітряних. Муха рухами своїх крильок вводить у рух повітря, створюючи над собою розріджену простору, яку вона втягує. Ваше серце в стані спокою б'ється з частотою 60–80 ударів на хвилину, перекачуючи кров в організмі. Рослини менш рухливі, однак і вони обертають листки і квіти в залежності від положення Сонця.

В середині клітини теж є рух. Кожен мить сотні маленьких мітохондрій переміщуються в цитоплазмі, зливаються і розпадаються, транспортують в далекі відстані від місця виникнення до місця роботи. Для виконання всієї цієї різноманітності рухів необхідне є джерело енергії, так як паливо є необхідним для руху транспорту.

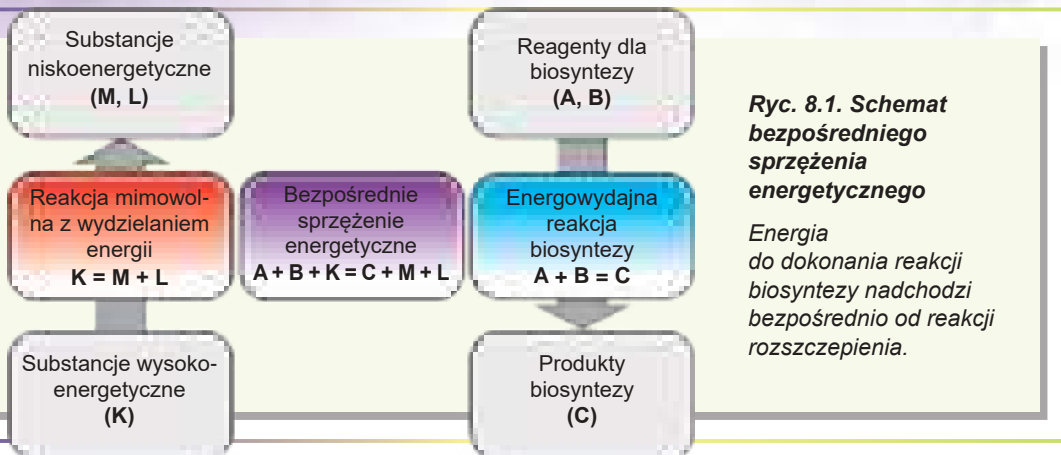
Енергія є необхідною також для відбиття реакцій хімічних. Коли вміст води, що містить крохмаль, додаємо до цієї суміші ферменту амілазу, то крохмаль починає розпадатися. Мовлячи про ферменти, зазначили ми вже, що такі реакції як розщеплення біополімеру відбуваються самозвичайно, оскільки продукти реакції мають нижчу енергію ніж субстрати. Однак живі організми виконують також зворотні реакції – синтез полімерів з одиниць мономерних. Для протікання таких реакцій є необхідним надходження додаткової енергії.

Джерела енергії для живих організмів можуть бути різні

Живі організми можуть поглинати енергію з оточуючого середовища різними способами. Тварини отримують енергію шляхом окислення („спалення“) часточок речовини, що містяться в їжі. Окисленню глюкози до вуглекислого газу і води супроводжується виділенням енергії, яку можна використати організмом. В разі спалення ця енергія виділяється в формі тепла і світла, однак живі організми вміють „повільно спалити“ глюкозу, а енергію, яку виділяється, використовувати згідно своїх потреб (детальніше про це буде мова в § 17). Так от тварини використовують енергію хімічну зберігану в часточках речовини їжі. Живі організми, що отримують енергію з часточок „їжі“ є називаються **хемотрофами** (від гр. *hemo* – хімія і *tropho* – їжа). До них належать тварини, гриби, багато бактерій і одноклітинні організми. Ще одним способом отримання енергії є захоплення енергії світла сонячного. Живі організми, що отримують енергію таким чином називаються **фототрофами** (від гр. *photos* – світло). Фототрофи мають спеціальні „антенні часточкові“ для захоплення енергії світла, яку потім перетворюють на енергію зв'язків хімічних (детальніше про це поговоримо в § 18).

ATP – то валюта енергетична

Як ми вже згадали, реакції синтезу біомолекул пов'язані з використанням енергії. Джерелом цієї енергії можуть бути реакції хімічні розкладу часточок речовин при їжі. Таким чином в організмі одночасно відбуваються як і реакції, що використовують енергію, так і реакції, що виділяють енергію. Щоб забезпечити якусь реакцію біосинтезу енергію, можна її пов'язати з певною реакцією мимовільною, яку викликає виділення певної кількості енергії.



Ryc. 8.1. Schemat bezpośredniego sprzężenia energetycznego

Energia do dokonania reakcji biosyntezy nadchodzi bezpośrednio od reakcji rozszczepienia.

Takie połączenie nazywa się **sprężeniem energetycznym**. Otrzymać sprzężenie energetyczne jest łatwo. Wyobraźmy sobie, że mamy reakcję biosyntezy:



oraz określoną reakcją, zachodzącą mimowolnie z wydzielaniem się dużej ilości energii:



Reakcja (1) nie zachodzi, jeśli nie nadejdzie energia z zewnątrz. Jednak możemy dodać do układu, który zawiera substancje A, B i K jakiś ferment, który będzie dokonywał reakcję:

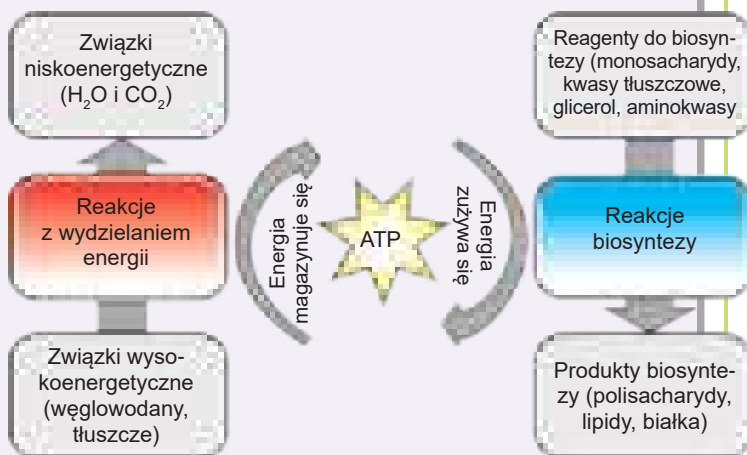


Faktycznie od tej pory obie reakcje będą katalizowane przez jeden ferment i energia otrzymana podczas reakcji (2) będzie wykorzystana do dokonania reakcji (1).

Wykorzystując taką strategię, można dla każdej reakcji biosyntezy dobrać odpowiednią reakcję z wydzielaniem się energii. Otrzymamy schemat podano na *rycynie 8.1*. Jednak taki schemat ma szereg wad: w przypadku nieobecności pewnych ener-

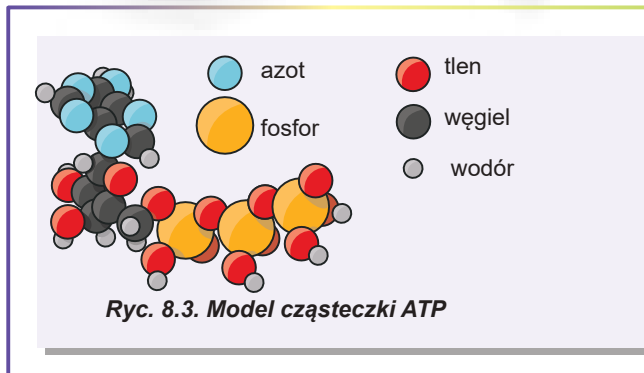
Ryc. 8.2. Schemat sprzężenia energetycznego w żywych organizmach z pośrednikiem uniwersalnym – ATP

Przy utlenianiu substancji otrzymanych z pokarmu wydzielają się energia, która magazynuje się w wiązaniach chemicznych cząsteczki ATP. Następnie ta energia jest wykorzystywana w procesach syntezy biologicznych cząsteczek niezbędnych do pracy komórki.



getycznych substratów niektóre reakcje nie będą możliwe. Reakcje powinny być w takim stosunku względem siebie, żeby energia, która uwalnia się, była nie mniejsza niż energia niezbędna do syntezy. O wiele wygodniejszy byłby układ, kiedy podczas reakcji rozszczepienia cząsteczek, które nadeszły z pokarmem, powstawałby uniwersalny pośrednik („waluta energetyczna”), który mógłby być wykorzystany jako źródło energii w reakcjach biosyntezy.

Taki pośrednik powinien mieć pewne właściwości: ma to być nieduża cząsteczka, stabilna (by nie rozszczepiać się samorzutnie), a energia jej rozszczepienia powinna być mała (innymi słowy – „waluta energetyczna” ma być w „drobnych monetach”). Właśnie taki schemat jak na rycinie 8.2 wykorzystują żywe organizmy, a najważniejszy spośród cząsteczek energetycznych pośredników – to **ATP**.



Pod względem budowy cząsteczka ATP jest zwyczajnym nukleotydem

Na rycinie 8.3 podano model budowy cząsteczki ATP (kwasu adenozyotrójfosforowego = adenozyotrójfosforan). Ona jest nukleotydem (rybonukleotydem – zawiera węglowodan rybozę) podobnym do tego, z którego zbudowane są kwasy nukleinowe. Cząsteczka ATP zawiera zasadę azotową – adeninę – połączoną z rybozą i trzy reszty kwasu ortofosforowego połączonych między sobą. Pod wpływem wody w obecności fermentu ATP może rozszczepić się do ADP i kwasu ortofosforowego. Tej reakcji towarzyszy wydzielanie się energii¹. Właśnie trójfosforan jest tą częścią cząsteczki ATP, w której magazynuje się energia wykorzystywana w celu dokonania biosyntezy. Natomiast inna część cząsteczki służy do połączenia z fermentem.

ATP wykorzystuje się przez komórki nie tylko do zapewnienia reakcji biosyntezy w energię. On też wykorzystuje się do wykonywania ruchów i przeniesienia substancji przez błony komórkowe. Kurczliwe białka zapewniają przemieszczanie się cząsteczek i organelli komórki, ruch rzęsek i wici, a także inne ważne dla życia procesy, które są związane z ruchem ukierunkowanym. One są fermentami, które rozszczepiają ATP i wykorzystują wydzielającą się energię do wykonywania pracy mechanicznej. Z niektórymi już zapoznałeś się w § 6. Jest to na przykład wspomniana już miozyna. Żywe komórki są bogate w ruch, powodowany silnikami cząsteczkowymi. Za pomocą mikroskopu można obserwować przemieszczanie się organelli w żywej komórce². Niektóre komórki wyspecjalizowane są zdolne do wykonywania bardziej skomplikowanych procesów ruchowych. Są to na przykład komórki tkanki mięśniowej. One zawierają białko kurczliwe – miozynę – zebrane w złożone struktury. Liczne cząsteczki miozyny rozszczepiają ATP i dzięki ich skoordynowanej pracy kurczą się mięśnie. Możesz zapoznać się z tym procesem, **oglądając wideo na stronie internetowej**.



- 1 Jest inny sposób rozszczepienia ATP: najpierw on rozszczepia się na AMP i kwas hydrofosforanowy (cząsteczkę, która składa się z dwóch reszt fosforanowych), a potem kwas pirofosforowy rozszczepia się na dwie cząsteczki kwasu ortofosforowego. Przy takim rozszczepieniu ATP wydziela się prawie dwa razy więcej energii niż przy rozszczepieniu do ADP i kwasu ortofosforowego.
- 2 możesz obserwować ruch chloroplastów w listku rośliny wodnej moczarki **na wideo na stronie internetowej**.

ATP jest też substratem dla znacznej ilości białek, które biorą udział w przenoszeniu cząsteczek i jonów przez błony biologiczne. Do normalnego funkcjonowania żywej komórki niezbędna jest różnica stężeń substancji po różnych bokach błony biologicznej.

Żeby stwarzać takie różnice, trzeba zapewniać przeniesienie substancji wbrew gradientowi stężeń: z miejsca o niskim stężeniu do miejsca o wysokim stężeniu. A taki proces jest energochłonny. Źródłem dla niego służy ATP. Typowym przykładem białka powierzchniowego (wchodzi w skład błony komórkowej) przenoszącego jony wbrew gradientowi stężeń jest pompa sodowo-potasowa. Ona mieści się w błonie plazmatycznej komórek zwierzęcych i wykonuje przeniesienie trzech jonów sodu z komórki i dwóch jonów potasu do środka komórki w ciągu jednego cyklu pracy. Na to ferment zużywa jedną cząsteczkę ATP.

W taki sposób enzym stwarza nadmiar jonów sodu poza komórką i nadmiar jonów potasu w komórce. Powstaje też dysbilans dodatnich ładunków po różnych bokach błony plazmatycznej, ponieważ w ciągu jednego cyklu pracy z komórki wynosi się więcej kationów niż do niej nadchodzi.

Tę asymetrię komórka zwierzęca wykorzystuje do przeniesienia innych substancji przez błonę plazmatyczną. Z cyklem pracy pompy sodowo-potasowej możesz zapoznać się, oglądając **wideo na stronie internetowej**.....



Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1** Zatrącenie energii ATP nie potrzebuje proces naturalny taki jak
 - A bicie serca
 - B lot burzyka
 - C lot skrzydłaka kłonu
 - D brzęczenie trzmiela
 - E obracanie się kwiatostanów słonecznika za Słońcem

- 2** Żywe organizmy, otrzymujące energię z substancji pokarmowych, nazywają się (1). W odróżnieniu od fototrofów, wykorzystujących jako źródło energii (2).
 - A 1 – autotrofami, 2 – reakcje chemiczne
 - B 1 – heterotrofami, 2 – utlenianie substancji odżywczych
 - C 1 – mikсотrofami, 2 – wchłanianie substancji z powietrza
 - D 1 – chemotrofami, 2 – wychwytywanie światła słonecznego
 - E 1 – saprotrofami, 2 – redukcję związków mineralnych

- 3** Wybierz parę reakcji, w której pierwsza reakcja może być bezpośrednio sprzężona z drugą, powodując jej przebieg.
 - A $C + O_2 = CO_2 + 393 \text{ kJ}$ i $C + 2H_2 = CH_4 + 72 \text{ kJ}$
 - B $2H_2 + O_2 = 2H_2O + 572 \text{ kJ}$ i $N_2 + O_2 = 2NO - 180 \text{ kJ}$
 - C $3O_2 = 2O_3 - 284 \text{ kJ}$ i $2N_2 + O_2 = 2N_2O - 164 \text{ kJ}$
 - D $CaCO_3 = CaO + CO_2 - 178 \text{ kJ}$ i $S + O_2 = SO_2 + 297 \text{ kJ}$
 - E $N_2 + 3H_2 = 2NH_3 + 92 \text{ kJ}$ i $CO_2 + C = 2CO - 132 \text{ kJ}$

- 4 Częsteczka ATP zawiera reszty
A adeniny, deoksyrybozy, trzech ortofosforanów
B tyminy, rybozy, dwu ortofosforanów
C adeniny, rybozy, trzech ortofosforanów
D guaniny, deoksyrybozy, jednego ortofosforanu
E kwasu askorbinowego, trzech ortofosforanów

- 5 Równania reakcji rozszczepienia ATP – to
A $ATP + H_2O = ADP + H_3PO_4$
B $ATP + H_2O = ADP + H_4P_2O_7$
C $ATP + H_2O = AMP + P_3PO_4$
D $ATP + H_2O = ADP + P_3PO_4$
E $ATP + H_2O = AMP + P_3PO_4$

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

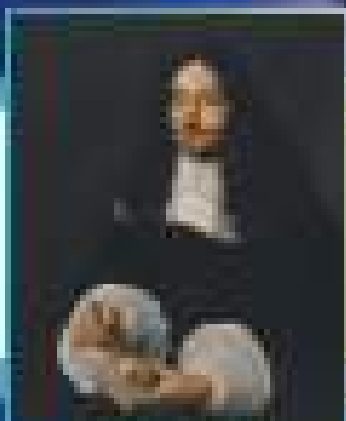
- 6 Dlaczego, według ciebie, życie jest procesem energowydajnym?
- 7 Jakie źródła energii wykorzystują organizmy? Na jakie grupy można podzielić organizmy według tej cechy? Do której grupy należymy my, ludzie?
- 8 Co to jest sprzężenie energetyczne? Jak ono powstaje w przyrodzie żywej?
- 9 Dlaczego ATP nazywamy „wymenną monetą” przemiany energetycznej?
- 10 Jak ATP w przyrodzie żywej pełni funkcję pośrednika między reakcjami z zużyciem energii i reakcjami z wydatkiem energii?
- 11 Jak pracuje pompa sodowo-potasowa? Dlaczego do jej pracy niezbędna jest energia ATP?
- 12 Podaj charakterystykę procesów komórkowych potrzebujących energię ATP.

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 13 Dlaczego prawie wszystkie organizmy wykorzystują jednakową substancję jako przenośnika i akumulatora energii? O czym to świadczy?
- 14 Większość procesów energozależnych w przyrodzie zachodzi dzięki energii ATP. Dlaczego więc rośliny i zwierzęta gromadzą węglowodany i tłuszcze, a nie ATP?

Dowiedz się samodzielnie i powiedz innym

- 15 Jakie jeszcze substancje są przenośnikami i akumulatorami energii w przyrodzie żywej? Gdzie one są wykorzystywane przez organizmy żywe i dlaczego?
- 16 Oprócz ATP nosicielami energii są: guanozynotrójfosforan (GTP), tymidynotrójfosforan (TTP), cytydynotrójfosforan (CTP). Jakie są przyczyny dominowania ATP nad innymi trójfosforanami?
- 17 Chemotrofy i fototrofy bywają heterotrofami i autotrofami. Na czym polega różnica pomiędzy tymi czterema pojęciami i dlaczego one są często mylone?
- 18 Dlaczego w żywych organizmach jako reakcji z wydzielaniem się energii najczęściej wykorzystuje się reakcje utleniania?



Nature deserves praise and admiration for making machines so small.

Marcello Malpighi

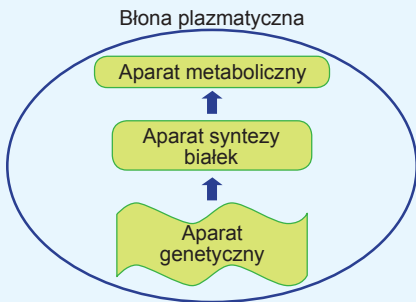


Robert Brown

ROZDZIAŁ 2

Struktura komórki

§ 9. Struktura komórki eukariotycznej



Ryc. 9.1. Części funkcjonalne komórki

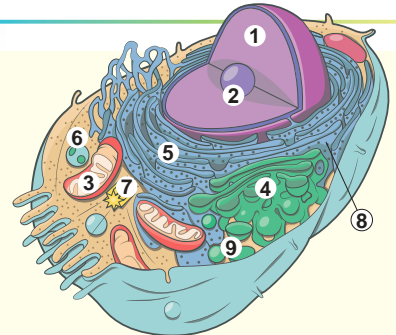
Komórka – to podstawowa uniwersalna jednostka życia

Żywe organizmy są niezwykle różnorodne. One różnią się od siebie pod względem budowy, sposobów otrzymywania energii i substancji odżywczych, typu rozmnażania. Jednak wszystkie żywe organizmy mają uniwersalną właściwość: każdy z nich składa się z komórek. **Komórka jest materiałem genetycznym oddzielnym od środowiska zewnętrznego błoną białkowo-lipidową, posiada pełnosprawny aparat syntezy białka i metabolizm** (ryc. 9.1). Można powiedzieć, że komórka – to najmniejsza uniwersalna jednostka żywego organizmu – najdrobniejsza struktura posiadająca właściwości żywego układu: samoregulację i samoodtworzenie. Niektóre komórki organizmów wielokomórkowych tracą część tych

właściwości. Lecz nie istnieje struktury mniejszej od komórki, która byłaby zdolna do samoregulacji i samoodtworzenia poza innymi komórkami. Wirusy, co prawda, wykazują szereg właściwości organizmów żywych, ale tylko znajdując się w środku komórki-żywiela. Poza komórką wirus – to tylko kompleks makrocząsteczkowy.

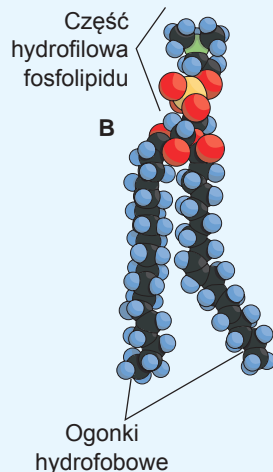
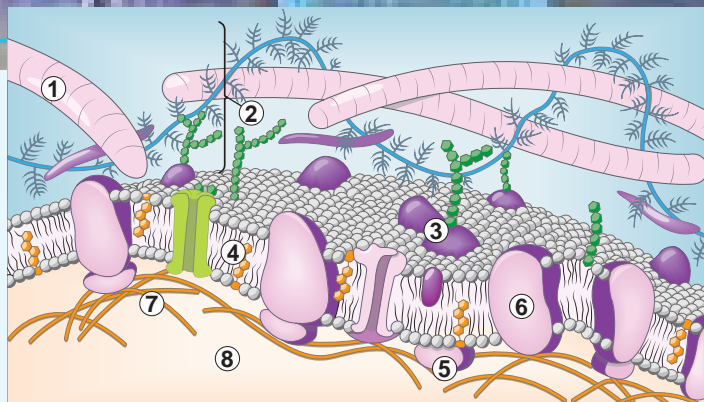
Komórka zwierzęca posiada złożoną budowę komórkową

Jako przykład rozpatrzmy budowę komórki zwierzęcej (ryc. 9.2). Typowa komórka wielokomórkowego zwierzęcia ma liniowe wymiary 20–100 μm . Ona jest otoczona błoną cytoplazmatyczną i nie ma zwartej polisacharydowej ściany komórkowej. Pod błoną cytoplazmatyczną znajduje się **cytoplazma** i **jądro**. Jądro odpowiada za zachowanie materiału genetycznego i początkowe stadium syntezy białka. Cytoplazma otacza jądro ze wszystkich stron. Można rozdzielić ją na **cytozol** (cytoplazmę podstawową) – ciekłą frakcję i **organelle** – struktury foremne wyspecjalizowane do wykonywania określonej funkcji. Najbardziej widoczne organelle otoczone są własną błoną. Do nich należą: **retikulum endoplazmatyczne (ER)** (siateczka śródplazmatyczna) – ciągła sieć kanalików i cystern, które przeszywają cytoplazmę i biorą udział w tworzeniu błon (syntezie lipidów i białek błony cytoplazmatycznej), wydzielaniu i dezaktywacji toksyn; **struktury Golgiego** – stacje segregacji i modyfikacji białek błony plazmatycznej i białek wydzielanych komórką; **lizosomy** – organelle trawienne, a także **pęcherzyki transportowe**.



Ryc. 9.2. Budowa komórki zwierzęcej

1. Jądro. 2. Jąderko. 3. Mitochondria.
4. Struktura Golgiego. 5. Retikulum endoplazmatyczne. 6. Lizosom.
7. Centrum komórkowe. 8. Rybosom.
9. Pęcherzyk transportowy.



Ryc. 9.3. Struktura błony cytoplazmatycznej

A. Odcinek błony cytoplazmatycznej. 1. Fibrylle matrix międzykomórkowej. 2. Glikokaliks. 3. Glikoproteina. 4. Cholesterol. 5. Białko powierzchniowe. 6. Białko integralne. 7. Elementy cytoszkieletu. 8. Cytosol. **B.** Model fosfolipidu błony cytoplazmatycznej.

Mitochondria – to stacje energetyczne komórki otoczone podwójną błoną białkowo-lipidową. One zawierają własny aparat genetyczny i zdolne są do rozmnażania w komórce. Niektóre wewnątrzkomórkowe struktury nie są obłonione. Do nich na przykład należą: **cytoszkielet** – sieć niteczek białkowych wykonujących podporową i ruchową funkcję, **rybosomy** – kompleksy makrocząsteczkowe zbudowane z białka i RNA, które syntezują cząsteczki białkowe, a także **centrum komórkowe** – organella, która bierze udział w kształtowaniu cytoszkieletu.

Błona komórkowa składa się z podwójnej warstwy lipidów

Nieodłączną częścią komórki jest **błona komórkowa**. Właśnie dzięki błonie komórkowej zawartość komórki jest oddzielona od środowiska zewnętrznego. Oprócz tego wiele organelli, jak już ustaliliśmy, posiada własne błony. Ich podstawą są lipidy amfipatyczne. One formują podwójną warstwę, w której polarne i posiadające ładunek główki skierowane są do środowiska wodnego, a niepolarne ogonki unikają kontaktu z wodą i skierowane są ku środkowi warstwy podwójnej (ryc. 9.3).

Oprócz tego do składu błon komórkowych wchodzi białka. Stosunek między lipidami i białkami może znacznie różnić się w różnych błonach. W błonie komórkowej



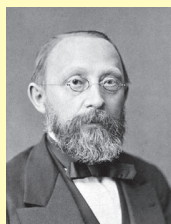
Robert Hooke

Urodził się w roku 1635 w angielskiej miejscowości Freshwater na wyspie Wight. Robert Hooke – to prawdziwy encyklopedysta. Właśnie on wprowadził naukowy termin „komórka”. Hooke, posługując się skonstruowanym przez siebie mikroskopem, obserwował przekroje korka z dębu korkowego i każde oczko jego siatkowatej budowy nazwał komórką. Wyniki swoich badań naukowiec rzetelnie zarysowywał, a w roku 1665 opublikował swoją książkę „Mikrografia”, do której weszły te rysunki.

Przejrzeć tę książkę **możesz na stronie internetowej**.

Zmarł uczony w roku 1703 w Londynie.



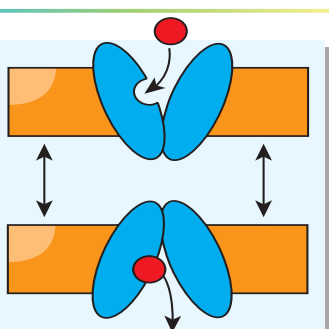


Rudolf Virchow

Urodził się w miejscowości Schivelbein w Pomeranii (obecnie Świdwin w Polsce) w roku 1821. Wykształcenie zdobył w Berlinie w Instytucie Medycznym. Virchow stał się założycielem patologii komórkowej, uzasadniając tezę o tym, że dowolny proces patologiczny sprowadza się do zmian czynności życiowych komórek organizmu. Uczony sformułował postulat „omnis cellula e cellula” (każda komórka z komórki), czym zaprzeczył poglądy o tym, że komórki mogą powstawać z substancji międzykomórkowej. To twierdzenie weszło do teorii komórkowej jako jeden z postulatów. Zmarł uczony w roku 1902 w Berlinie.

komórki Schwanna, która wytwarza osłonkę izolacyjną wypustek komórek nerwowych, stosunek wynosi 1 : 3 na korzyść lipidów. Natomiast w błonie wewnętrznej mitochondrium – 3 : 1 na korzyść białek. Białka błony można podzielić na dwa typy: **integralne**, ze znaczną powierzchnią hydrofobową zanurzoną w warstwę niepolarną błony; **powierzchniowe**, znajdujące się na zewnętrznej lub na wewnętrznej powierzchni błon. Te z kolei bywają dwóch rodzajów: **obwodowe**, które kontaktują tylko z główkami lipidów i **zakotwiczone**, do których wiązaniem kowalencyjnym przyłączony jest komponent lipidowy zanurzony w błonę. Lipidy błon cechuje wielka różnorodność główek. Większość z nich – to grupy z ładunkiem posiadające ujemny lub sumarycznie zerowy ładunek (jeżeli w główce są jednocześnie i dodatnio, i ujemnie naładowane grupy). Tak więc powierzchnia błon w warunkach fizjologicznych ma ładunek ujemny, zapobiegający samoczynnemu zlewaniu się obłonionych organelli ze sobą dzięki obecności odpychania elektrostatycznego. Niektóre lipidy i białka błon mają komponent węglowodanowy przyłączony do ich cząsteczek. Takie „chimerne” cząsteczki nazywają się odpowiednio glikolipidami i glikoproteinami. W błonie cytoplazmatycznej komponenty węglowodanowe zawsze są rozmieszczone z zewnętrznej (zwróconej do środowiska zewnętrznego) strony¹.

Właściwości błony komórkowej: półprzepuszczalność, ciekłość, ciekłokrystaliczność



Ryc. 9.4.
Transport
glukozy
przez błonę

Warto określić szereg właściwości, charakteryzujących błonę biologiczną i bezpośrednio wpływających z jej struktury.

Po pierwsze wszystkie błony posiadają warstwę niepolarną, którą tworzą ogonki lipidowe. Wiadomo, że cząsteczki polarne i posiadające ładunek bardzo słabo rozpuszczają się w rozpuszczalniku niepolarnym. A więc błona lipidowa jest nieprzepuszczalna dla naładowanych i dużych cząsteczek polarnych (małe cząsteczki polarne, takie jak woda i amoniak, przenikają przez błonę lipidową stosunkowo łatwo). Jednak błonę można zrobić przepuszczalną dla takich cząsteczek i tę rolę wykonują białka. Mogą one wytwarzać przechodzące przez błonę kanały, które wykazują wybiórczość w stosunku do określonej substancji. I tak kanały potasowe błony cytoplazmatycznej przepuszczają jony potasu, lecz są nieprzepuszczalne dla jonów sodu. Mogą to być bardziej skomplikowane przenośniki, na przykład przenośnik glukozy. To białko nie ma kanału

1 Ta reguła jest naruszona na przykład u roślin, u których są glikolipidy z komponentem węglowodorowym „patrzącym” do środka komórki. Takie niezwykle glikolipidy biorą udział w syntezie celulozy.

na wylot, lecz może „przepychać” przez siebie cząsteczki glukozy (ryc. 9.4).

W przeciwieństwie do przeniesienia substancji przez białarstwę (dyfuzja prosta), przeniesienie substancji za pośrednictwem białek (dyfuzja wspomaganą) można kontrolować. Taki transport nie potrzebuje затрат energii i nazywa się transportem **pasywnym**. Niektóre białka, wykorzystując energię, są zdolne do przenoszenia substancji wbrew gradientowi stężeń, to znaczy z mniej nasyconego roztworu do bardziej nasyconego. Taki rodzaj przenoszenia nazywa się **transportem aktywnym**. On odgrywa ważną rolę w czynnościach życiowych komórki.

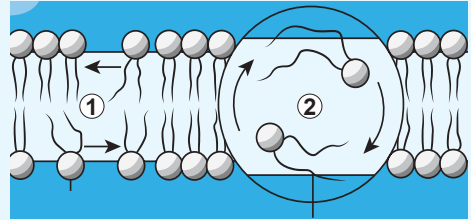
Inną właściwością błony jest to, że lipidy w niej są zdolne do przemieszczania (ryc. 9.4). I wreszcie jest jeszcze jedna niezwykle ciekawa właściwość błon. Nie patrząc na to, że lipidy stale przemieszczają się w granicach swej warstwy, ogólna struktura błony nie zmienia się: jest to płaski zespół ukierunkowanych cząsteczek lipidowych. Takie układy, w których komponenty stale przemieszczają się, lecz przy tym nie zakłóca się ich uporządkowana struktura, nazywają się **ciekłymi kryształami**. Wszystkie błony biologiczne są ciekłymi kryształami.

Funkcje błony opierają się na wyżej wymienionych właściwościach. Właśnie te właściwości warunkują funkcję **barierową** i funkcję **transportu wybiórczego**, co zapewnia odmienność składu wewnętrznej zawartości komórki od otaczającego ją środowiska. A także błony tworzą większość organelli komórkowych, pobierają i przekazują sygnały, biorą udział w przemianie energetycznej. Na tym polegają odpowiednio ich funkcje: **strukturalna, sygnałowa i energetyczna**.

Od zewnątrz komórka zwierzęca jest okryta węglowodanowym „futrem” – glikokaliksem

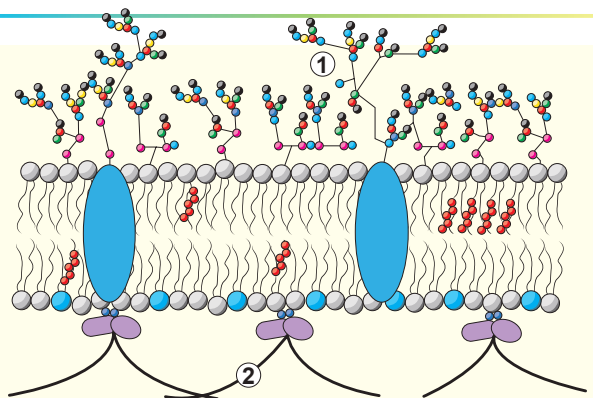
Błona cytoplazmatyczna jest podstawą dowolnej błony komórkowej. Jednak zwykle komórki mają dodatkowe powierzchniowe struktury. Rozpatrzmy budowę błony typowej komórki zwierzęcej organizmu wielokomórkowego. Zaznaczyliśmy już, że na zewnętrznej powierzchni błony cytoplazmatycznej są obecne glikolipidy i glikoproteiny.

Całokształt ich węglowodorowych komponentów tworzy wokół komórki „futro” – **glikokaliks**. Glikokaliks zapewnia współdziałanie komórek z substancją międzykomórkową. Od wewnątrz błona jest dodatkowo wzmocniona przybłonowym cytoszkieletem, który nadaje komórce kształt i zapewnia jej ruchliwość (ryc. 9.6).



Ryc. 9.5. Ruchy lipidów w błonie

1. Przemieszczenie lipidów w granicach jednej warstwy. 2. Przemieszczenie między warstwami – flip-flop przejście.



Ryc. 9.6. Glikokaliks (1) i przybłonowe elementy cytoszkieletu (2)

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1** Żywa komórka od zewnątrz otoczona jest błoną, która składa się z (1) substancji, które swymi (2) częściami są skierowane do środka błony, a (3) – na zewnątrz.
- A** 1 – hydrofobowych, 2 – amfipatycznymi, 3 – hydrofilowymi
B 1 – amfipatycznych, 2 – hydrofobowymi, 3 – hydrofilowymi
C 1 – hydrofilowych, 2 – hydrofobowymi, 3 – amfipatycznymi
D 1 – amfipatycznych, 2 – hydrofilowymi, 3 – hydrofobowymi
E 1 – hydrofobowych, 2 – hydrofilowymi, 3 – amfipatycznymi

- 2** Niektóre struktury komórkowe posiadają własny aparat genetyczny są zdolne do syntezy białek i rozmnażania wewnątrz komórki. W komórce zwierzęcej do nich należą

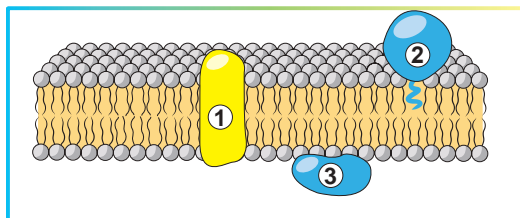
A cysterny aparatu Golgiego **B** rybosomy **C** mitochondria
D jądra **E** lizosomy

- 3** Powstanie błon w komórce zwierzęcej (synteza fosfolipidów i składanie podwójnych warstw) zachodzi w

A mitochondriach **B** strukturach Golgiego **C** retikulum endoplazmatycznym
D lizosomach **E** jądrze

- 4** Na rycinie pokazano część błony. Wskaż, jakie obiekty zaznaczono cyframi 1 – 3.

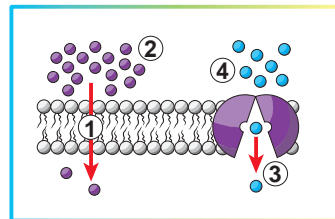
A 1 – białko integralne,
2 – białko obwodowe,
3 – białko zakotwiczone
B 1 – białko obwodowe,
2 – białko integralne,
3 – białko zakotwiczone



C 1 – białko integralne,
2 – białko zakotwiczone, 3 – białko obwodowe
D 1 – białko obwodowe, 2 – białko zakotwiczone, 3 – białko integralne
E 1 – białko zakotwiczone, 2 – białko obwodowe, 3 – białko integralne

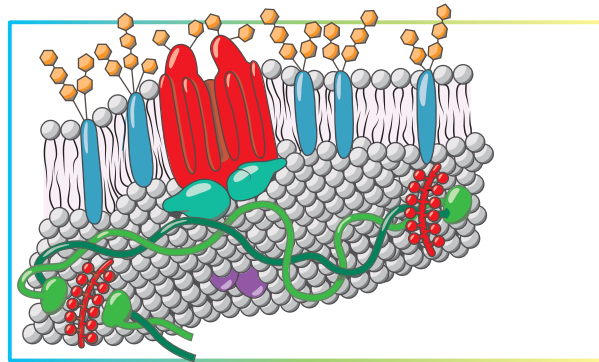
- 5** Na rycinie pokazano dwa rodzaje transportu przez błony. Po lewej stronie ryciny przedstawiono (1), w taki sposób przez błonę może przedostawać się (2). Po lewej stronie ryciny podano przykład (3), dzięki czemu zachodzi transport (4).

A 1 – transport pasywny, 2 – tlen,
3 – transportu aktywnego, 4 – kationu potasu
B 1 – transport aktywny, 2 – kation sodu,
3 – dyfuzji prostej, 4 – wody
C 1 – dyfuzję prostą, 2 – dwutlenek węgla,
3 – dyfuzji wspomaganą, 4 – glukozy
D 1 – transport aktywny, 2 – kation sodu,
3 – transportu pasywnego, 4 – wody
E 1 – dyfuzję wspomaganą, 2 – woda, 3 – dyfuzji prostej, 4 – glukozy



Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Wytłumacz pojęcia wykorzystane w twierdzeniu: „Komórka jest najmniejszą uniwersalną jednostką żywego organizmu – najdrobniejszą strukturą, która ma właściwości żywego układu: samoregulację i samoodnawianie”.
- 7 Na rycinie 9.2 przedstawiono ogólną budowę komórki zwierzęcej. Widzimy, że ona posiada dużo części strukturalno-funkcjonalnych. Spróbuj je połączyć w grupy i wskaż zasadę, którą się kierowałeś, łącząc te części w grupy.
- 8 Dokonaj analizy osobliwości funkcjonowania komórki, których przykłady podano w paragrafie i wyjaśnij, jak zmienia się i od czego zależy stosunek białek i lipidów w błonach biologicznych.
- 9 Jak i dlaczego przemieszczają się cząsteczki fosfolipidów w błonie? Wykonaj rysunki, zaznaczając możliwe przemieszczenia lipidów. Zastanów się nad biologiczną rolą tych przemieszczeń i ich podstawy chemicznej.
- 10 Błona erythrocytu zawiera wiele komponentów. Wskaż, gdzie na rycinie pokazano zewnętrzną stronę błony. Omów możliwe funkcje narysowanych na rycinie komponentów.



Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11 Podaj charakterystykę różnorodności fosfolipidów, tworzących błony komórek zwierzęcych. Spróbuj ułożyć listę takich fosfolipidów i zaznacz osobliwości ich budowy i roli biologicznej. Gdzie człowiek wykorzystuje fosfolipidy?
- 12 W błonie nie można zrobić dziury. Wskaż, w jakich sytuacjach jest to korzystne, a w jakich – nie bardzo. Taka „odporność” jest uwarunkowana niektórymi właściwościami błony i komponentów, które wchodzi w jej skład. Wymień te właściwości.

Dowiedz się samodzielnie i powiedz innym

- 13 Pośrednicy wtórni (lub mesendżerzy) przekazują różnorodne sygnały wewnątrz komórki. Podaj opis fosfatydylinozytolowej drogi sygnałowej i jej znaczenia w regulacji funkcji organizmu.
- 14 Bardzo ważne wydaje się rozumienie procesów składania błon, ich funkcjonowania i rozkładania. Spróbuj ułożyć schemat lub plan „życia” dowolnej błony biologicznej.

Projekt do opracowania w grupie

- 15 **Wysłuchaj pieśń o komórce** i spróbuj stworzyć coś podobnego po polsku. Nagraj filmik, umieść go na *You Tube* i zaśpiewaj kolegom na lekcji biologii.



§ 10. Cytoplazma i organelle

Cytozol jest przeszyty elementami cytoszkieletu

W poprzednim paragrafie dokładnie zapoznaliśmy się z budową błony cytoplazmatycznej. Teraz zanurzymy się do środka komórki i rozpatrzmy struktury i procesy zachodzące pod błoną komórkową.

Bezpośrednio pod błoną komórkową mieści się zawartość komórki – cytoplazma. Historycznie złożyło się tak, że słowa cytoplazma używa się, mając na myśli całą zawartość komórki oprócz jądra. W cytoplazmie rozróżnia się płynną część (cytoplazmę podstawową) – **cytozol (hialoplazmę)** i foremne organelle. W cytozolu zachodzą różne procesy biochemiczne, z którymi zapoznasz się dokładniej w § 15,16. W środku komórki są przeszyte podporowymi filamentami¹ – **cytoszkieletem**. Właśnie cytoszkielet zapewnia podtrzymywanie kształtu komórki, a także większość jej ruchów. Wicie i rzęski, które zapewniają przemieszczanie się pierwotniaków, plemników oraz ruch wydzielin w błony śluzowej, zawierają w środku trzon z osobliwych filamentów – **mikrotubul** zdolnych do przemieszczania się względem siebie – właśnie to przemieszczanie zapewnia im ruch (ryc. 10.1). Mięśnie kurczą się dzięki temu, że niteczki zbudowane z białka aktyny przemieszczają się względem niteczek zbudowanych z białka miozyny. Powierzchnia komórek nabłonkowych wyścielających jelito cienkie jest wielokrotnie zwiększona dzięki obecności na niej mikrokosmków. Te mikrokosmki są podtrzymywane ze środka niteczkami z białka aktyny.

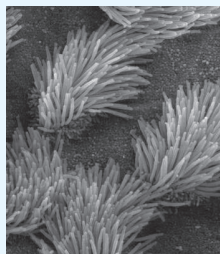
Ważna właściwość białek cytoszkieletu (aktyny i tubuliny) polega na tym, że one mogą być wbudowane w niteczki (filamenty) cytoszkieletu (ryc. 10.2 ,A) lub znajdować się w postaci rozpuszczonej.



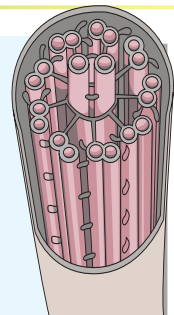
A



B



C



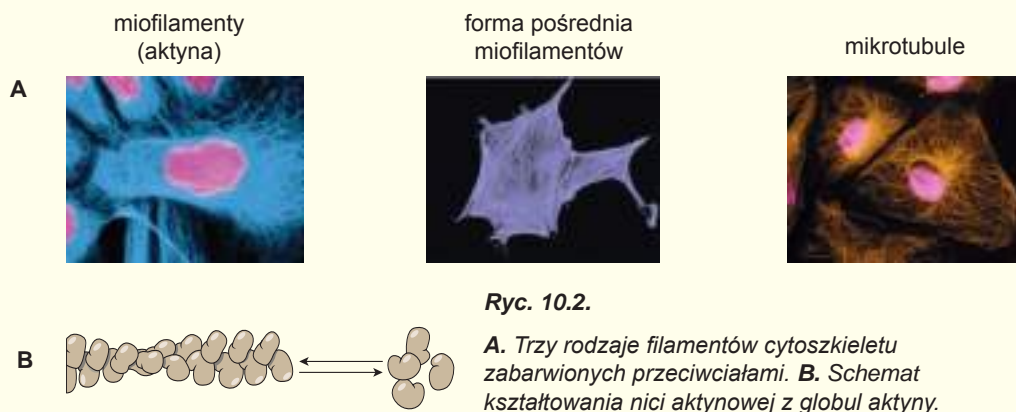
D

Ryc. 10.1. Wici i rzęski

A. Komórka zawłotni ma dwie wici. Dzięki ich zsynchronizowanym ruchom ona porusza się w wodzie. **B. Plemnik** na powierzchni nabłonka jajowodu. Plemnik posiada jedną długą wic, dzięki której on przemieszcza się do komórki jajowej. Komórki nabłonka jajowodów też posiadają ruchowe struktury – rzęski, po kilka na komórkę. Ich zsynchronizowane uderzenia pomagają komórce jajowej poruszać się w stronę plemnika. **C. Rzęski** tchawicy człowieka pomagające wyprowadzać śluz i drobne cząsteczki z dróg oddechowych. **D. Schemat** budowy wici.



1 Filament (od ang. *filament* – nić) – wewnątrzkomórkowy niteczkowy twór



Na przykład aktyna – to typowe białko globularne rozpuszczalne w cytoplazmie. Jednak ona może polimeryzować się¹, tworząc długie nici aktynowego cytoszkieletu (ryc. 10.2,B). Ten proces jest obracalny i komórka może kontrolować zarówno powstanie, jak i rozpad filamentów.

Wakuom – to całokształt jednobłonowych organelli komórki

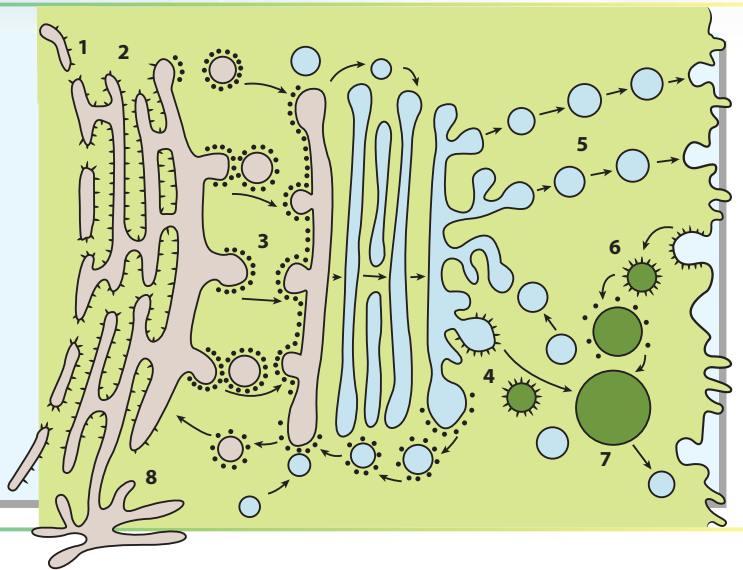
Wśród wewnątrzkomórkowych struktur komórki zwierzęcej najbardziej wyróżniają się organelle otoczone własną błoną. Całokształt organelli otoczonych jedną błoną tworzą **wakuom** komórki. Organelle, które są zawarte w wakuom – to pęcherzyki, rureczki i struktury siatkowate. Centralne w wakuomie jest **retikulum endoplazmatyczne (ER)** – ciągła sieć kanalików i cystern zajmująca znaczną część komórki. Różniamy **retikulum szorstkie (GER)**, czyli **granularne** i **retikulum gładkie (SER)**, czyli **agranularne**. Pierwsze (GER) bierze udział w syntezie białka i nazywa się tak dlatego, że jego błona pokryta jest rybosomami. Drugie (SER) – nie posiada rybosomów i bierze udział w syntezie lipidów oraz służy miejscem gromadzenia się jonów wapnia. ER daje początek innym składnikom wakuomu, tworząc pęcherzyki, które następnie zlewają się z innym składnikiem wakuomu – **aparatem Golgiego** (ryc. 10.3).

Aparat Golgiego komórki zwierzęcej ma charakterystyczną budowę: składa się z błoniastych dysków rozdętych na końcach i ułożonych jeden na drugim. W aparacie Golgiego zachodzi dojrzewanie białek błon i białek wydzielniczych syntezowanych w ER oraz ich sortowanie. Podczas sortowania komórka podejmuje decyzję, czy białko pozostanie „pracować” w komórce czy będzie wydzielone na zewnątrz. Białka skierowane na zewnątrz dostają się do transportowych pęcherzyków. Następnie one zlewają się z błoną cytoplazmatyczną komórki, przy tym zawartość pęcherzyka przedostaje się do środowiska zewnętrznego, a błonowe lipidy i białka przechodzą do składu błony cytoplazmatycznej.

1 Pod terminem „polimeryzacja” rozumiemy formowanie makrocząsteczkowych zespołów z wielu subjednostek bez powstania wiązań kowalencyjnych.

Ryc. 10.3.
Organelle błoniaste:
schemat przemian
wzajemnych

1. Osłonka jądrowa.
2. Retikulum szorstkie (GER).
3. Ruch pęcherzyków od ER do aparatu Golgiego.
4. Powstanie lizosomów pierwotnych.
5. Wyprowadzanie substancji.
6. Wchłanianie substancji.
7. Wodniczka trawienna (lizosom wtórny).
8. Retikulum gładkie (SER).



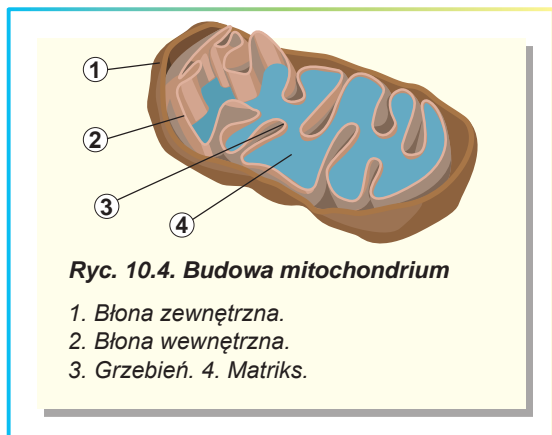
Jeszcze jeden typ pęcherzyków produkowanych przez aparat Golgiego – to **lizosomy**. Lizosomy – to organelle trawienne zawierające enzymy trawienne. One trawią cząsteczki pokarmu lub całe organelle i komórki.

Mitochondrium – to całokształt mitochondriów komórki

W szczególną grupę warto wyodrębnić organelle cytoplazmatyczne okryte dwiema błonami. U zwierząt takimi organelami są **mitochondria**. Budowę „klasycznego” mitochondrium podano na rycinie 10.4. Jest ono okryte podwójną błoną cytoplazmatyczną. **Zewnętrzna błona mitochondrium** jest gładka i otacza mitochondrium jak pończocha, natomiast **błona wewnętrzna** jest nierówna i zawiera liczne fałdy – **grzebień**, które wielorazowo zwiększają jej powierzchnię. U różnych organizmów one mogą mieć postać płytek, rurczek, pęcherzyków. Pod błoną wewnętrzną mięści się **macierz mitochondrialna**, inaczej **matriks** – zawartość cieśla mitochondrium. Mitochondria mają własne **DNA**, a także aparat syntezy białka. DNA rozmieszczony jest w matriksie i nie okrywa go żadna błona.

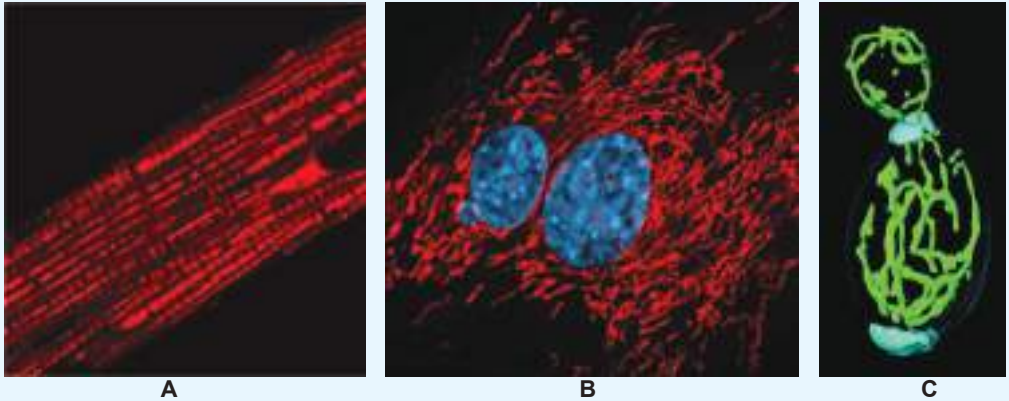
Mitochondria są stacjami energetycznymi komórki. Właśnie w nich zachodzą procesy ostatnich etapów oddychania komórkowego zwierząt: utlenianie związków organicznych tlenem do dwutlenku węgla i wody z wydzielaniem energii. Większość etapów oddychania komórkowego zachodzi na wewnętrznej błonie mitochondrium, właśnie dlatego jej powierzchnia jest wielokrotnie zwiększona dzięki obecności wpukleń.

Bardzo często mitochondria znacznie różnią się pod względem kształtu od podanego na rycinie 10.4. Na przykład mitochondria włókien mięśniowych zlewają się ze sobą, tworząc jedyną sieć, która przeszywa całą cytoplazmę – **retikulum mitochondrialne** (ryc. 10.5.A).



Ryc. 10.4. Budowa mitochondrium

1. Błona zewnętrzna.
2. Błona wewnętrzna.
3. Grzebień.
4. Matriks.



Ryc. 10.5. Przykłady mitochondriów w różnych rodzajach komórek

A. Mitochondria komórki mięśniowej (zabarwione na czerwono). **B.** Komórka tkanki łącznej człowieka (mitochondria zabarwione na czerwono, jądro –na błękitno). **C.** Drożdże (mitochondria zabarwione na zielono).

Taka struktura efektywniej dostarcza energii kurczliwym strukturom włókna mięśniowego. W innych komórkach czasem bywa do kilka tysięcy mitochondriów, a u wielu pierwotniaków w komórce jest tylko jedno duże mitochondrium (ryc. 10.5, B, C).

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1 Mikrokosmki komórek jelita ze środka podtrzymywane są niemi (1). Nabłonek jelita dzięki obecności mikrokosmków (2). Od zewnątrz mikrokosmki są otoczone (3).

A 1 – miozyny, 2 – jest chroniony przed sokami trawiennymi, 3 – kolagenem

B 1 – aktyny, 2 – zwiększa swoją powierzchnię, 3 – glikokaliksem

C 1 – tubuliny, 2 – zapewnia ruch komórki jajowej, 3 – błonnikiem

D 1 – aktyny, 2 – jest zdolny do regeneracji, 3 – śluzem

E 1 – tubuliny, 2 – jest zdolny do ruchu, 3 – błoną lipidową

2 Do polimeryzacji i tworzenia struktur fibrylarnych zdolne są białka globularne

A kolagen, keratyna **B** hemoglobina, mioglobina **C** tubulina, aktyna

D miozyna, kolagen

E hemoglobina, keratyna

3 W skład wakuomu komórki wchodzi

A organelle nieobłonione **B** mitochondria i chloroplasty

C organelle ruchu **D** lizosomy i struktury Golgiego

E jądro i cytoplazma

4 Wybierz poprawną charakterystykę mitochondriów z podanego wykazu:

- 1) zawierają własny DNA;
- 2) są zdolne do podziału wewnątrz komórki;
- 3) posiadają własny aparat do syntezy białek;
- 4) zawierają własne retikulum endoplazmatyczne;
- 5) należą do wakuomu komórki;
- 6) należą do organelli ruchu.

A 1, 2, 3 **B** 2, 3, 4 **C** 3, 4, 5 **D** 4, 5, 6 **E** 1, 5, 6

5 Mitochondria nazywane są energetycznymi stacjami komórki, ponieważ one

- A** są obłoniowane dwoma błonami
- B** utleniają substancje organiczne
- C** są wypełnione matriksem
- D** mają pofałdowaną wewnętrzną błonę
- E** zawierają własny DNA

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

6 Co to jest cytozol? Spróbuj podać charakterystykę zawartości cytozolu. Wskaż podstawowe funkcje cytozolu.

7 Nici cytoszkieletu często są złożone z polimerowych białek globularnych, a nie z długich cząsteczek fibrylarnych. Jak myślisz, dlaczego?

8 Jest kilka różnych organelli ruchu. Dokonaj charakterystyki porównawczej tych organelli w postaci tabeli. Wskaż rozpowszechnienie i budowę każdej z przytoczonych przez siebie organelli.

9 Terminem „wakuom” określa się wszystkie organelle jednobłonowe, podkreślając tym samym, że one są wzajemnie powiązane. Podaj opis tego powiązania wzajemnego z punktu widzenia funkcji i struktury.

10 Podaj opis budowy mitochondrium i wskaż jego podstawowe składniki. Ustal strukturalno-funkcjonalne połączenia i wyjaśnij ich znaczenie.

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

11 Niektóre jednokomórkowe pasożyty nie posiadają mitochondriów, mimo że są prawdziwymi eukariotami. Jak one mogą żyć bez stacji energetycznych?

12 Cytoszkielet jest nie tylko w komórkach eukariotycznych, ale i w komórkach prokariotów. Jakie białka biorą udział w jego kształtowaniu u bakterii?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

13 Cytoszkielet i organelle ruchu są wzajemnie powiązane. Jak zachodzi to powiązanie? Jaką rolę odgrywa w tym powiązaniu centrum komórkowe?

14 Przemieszczenie substancji w błoniastych pęcherzykach w granicach jednej komórki zachodzi za pomocą „kroczących” białek dyneiny i kinezyiny. Znajdź o nich informację, wideo i opowiedz w klasie, jak pracują te zdumiewające białka.

§ 11. Jądro

Jądro – to charakterystyczna cecha komórki eukariotycznej

Rozpatrzyliśmy różnorodne organelle komórkowe znajdujące się w cytoplazmie. Nastal czas na zapoznanie się z najważniejszą częścią komórki – **jądrem komórkowym**.

Po raz pierwszy jądro obserwował A. Leeuwenhoek (Lewenhuk) w komórkach krwi łosia jako duże „granulki” w środku komórki. Potem szkocki botanik Robert Brown (od jego nazwiska nieuporządkowany ruch cząstek nazwano ruchami Browna) wykrył podobne struktury w pyłku storczyków. Wyjaśniło się, że obecność

jądra - to uniwersalna właściwość zwierzęcych i roślinnych komórek oraz komórek grzybów i pierwotniaków. Jądro jest i w białych krwinkach człowieka, i w komórkach liści stonecznika, w komórkach pieczarki, w komórkach pełzaka i pantofelka. Bakterie jądra nie posiadają, lecz o tym będzie mowa już w następnym paragrafie.

Wszystkie komórki zwierząt zawierają co najmniej jedno jądro (ryc. 11. 1). Niektóre „komórki” są pozbawione jądra – na przykład eryocyty (czerwone krwinki) ssaków, neurony najdrobniejszych owadów, komórki rogowych łuseczek nabłonka. Jednak w tych przypadkach poprawniej nazywać je nie komórkami, a postkomórkowymi strukturami utworzonymi ze zwyczajnych komórek, które straciły jądro.

Jądro wykonuje w komórce najważniejszą funkcję: przechowuje informację genetyczną zapisaną w cząsteczkach DNA¹. Jądro też pełni funkcję ochrony komórkowej DNA przed kwasami nukleinowymi cytoplazmy i większością wirusów². Właśnie w jądrze odbywa się powstawanie cząsteczek RNA i przebiegają początkowe etapy syntezy białka. W jądrze zachodzi składanie rybosomów – cząsteczkowych maszyn odpowiedzialnych za późne etapy syntezy białka. Warto przypomnieć, że w jądrze cząsteczki DNA są upakowane bardzo ściśle i dokładnie. Jeśli wyciągniemy w jedną linię cały jądrowy DNA człowieka tylko z jednej komórki, to otrzymamy nić około 204 cm długości. Natomiast w komórce człowieka on jest upakowany w jądrze o średnicy około 5 mm.

Składniki budowy jądra: otoczka, pory, chromatyna, jąderko

Jądro ma złożoną budowę. Od zewnątrz okrywa je **otoczka jądrowa**, która oddziela jądro od cytoplazmy (ryc. 11.2). Otoczka jądrowa składa się z dwóch błon i jest bezpośrednim przedłużeniem siateczki śródplazmatycznej. Ona jest przesyta **porami jądrowymi** – miejscami, w których błony otoczki jądrowej łączą się ze sobą, tworząc kanały. Jednak pory jądrowe – to nie są po prostu otwory w otoczce jądrowej. One zawierają dużo białek tworzących **materiał anularny por jądrowych** – przejścia, które kontrolują, jakie cząsteczki mogą dostawać się do jądra i wychodzić z niego, a jakiego nie mogą. Na przykład zwykłe białka cytoplazmatyczne i RNA nie mogą przejść przez

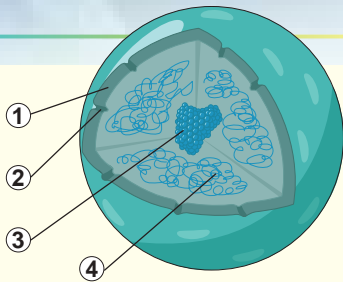


Ryc. 11.1. Jądra w żywych komórkach ssaków (DNA jest zabarwiony)

Komórka z lewej strony dzieli się.

1 Wiesz już, że nie cały DNA komórki zwierzęcej rozmieszczony jest w jądrze: mitochondria też zawierają własny DNA, jednak ilość DNA w jądrze jest wiele razy większa niż w mitochondriach.

2 Niektóre wirusy, na przykład wirus grypy i wirus HIV, potrafią przedostawać się do jądra w celu dokonania swego cyklu życiowego.



Ryc. 11.2. Budowa jądra

1. Otoczka jądrowa
2. Por jądrowy. 3. Jąderko.
4. Chromatyna.

por jądrowy. Jednak, gdy białko zawiera specjalną kolejność sygnałową reszt aminokwasowych – swoisty „bilet” do jądra, ono może być przeniesione do środka przez por jądrowy¹.

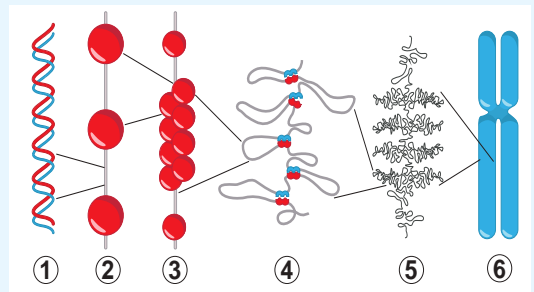
Większa część jądra jest wypełniona **chromatyną** – złożonym kompleksem z DNA i białek (w stosunku do masy około 2 : 3). DNA zachowuje się i funkcjonuje w komórce właśnie w składzie chromatyny. Białka chromatyny służą potrzebom DNA – upakowują go, chronią przed uszkodzeniami, rozerwaniami, poprawiają błędy, zapewniają jego kopiowanie i powstawanie cząsteczek RNA. Można wyodrębnić dwie frakcje chromatyny: **euchromatyna** i **heterochromatyna**. Heterochromatyna jest chromatyną „nieaktywną”, w której procesy powstawania RNA prawie nie zachodzą. Natomiast odcinkami aktywnej syntezy RNA jest euchromatyna – bardziej luźna część chro-

matyny. Stosunek hetero- i euchromatyny zmienia się od komórki do komórki. Jeżeli w komórce trwa aktywna synteza RNA i białka, to jej jądro bogate jest w euchromatynę, a kiedy komórka jest w stanie nieaktywnym, to jej jądro niemal całkowicie jest wypełnione heterochromatyną.

W większości jąder komórek zwierzęcych można wykryć jeden lub kilka zwartych kulistych tworów – jąderko. **Jąderko** – to szczególny wewnątrzjądrowy składnik nie ograniczony błoną. W jąderku zachodzi ważny proces – tworzenie rybosomów. W nim powstaje specjalny rybosomowy RNA (który tam okrywa się białkami rybosomowymi) i zachodzi składanie rybosomów. Następnie gotowe części rybosomów porzucają jądro przez pory jądrowe i są gotowe stanąć do pracy i wykonać swoje bezpośrednie zadanie – syntezować białko.

Chromosomy – to organelle zawierające DNA

Mówiliśmy już o tym, że DNA w jądrze znajduje się w składzie chromatyny – zwartego związku z białkiem. W takiej postaci on jest dość zwarcie upakowany (ryc. 11.3). Jeżeli rozpatrzmy budowę chromatyny na poziomie mikroskopowym, to zobaczymy, że ona znajduje się w postaci nici DNA owiniętej na koralki białek. Taki łańcuszek z „koralek” przed podziałem komórkowym (dokładniej w § 28) składa się w bardziej skomplikowaną strukturę z gniazdek i pętli. W końcu cała cząsteczka DNA okazuje się upakowana w duży, ale zwarty kompleks z białkiem – **chromosomy** (ryc. 11.4). Chromosomy mają liniową strukturę. Klasyczny chromo-

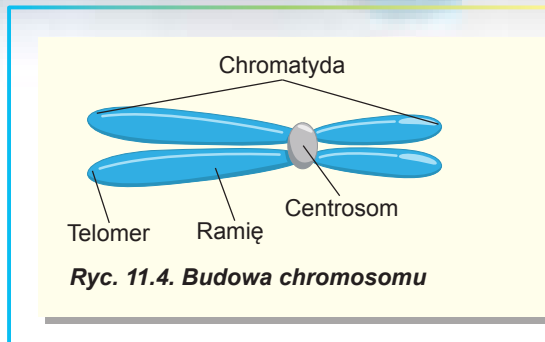


Ryc. 11.3. Upakowanie DNA

1. Helisa podwójna DNA. 2. Nić nukleosomowa.
3. Fibryla. 4. Pętli (solenoid). 5. Chromatyda.
6. Chromosom.

¹ Malutkie białka zwykle mogą dostawać się do jądra nawet bez specjalnej kolejności reszt aminokwasowych.

som ssaków ma następującą budowę: to pałeczka, na której końcach są rozmieszczone **telomery** – odcinki chromatyny odpowiedzialne za podtrzymywanie długości chromosomu. Po środku jest przewężenie – **centromer**, zapewniający poprawne rozchodzenie chromosomów podczas podziału komórki. Przewężenie dzieli chromosom na dwa ramiona. **Ramiona** bywają różnej długości, tym chromosomy różnią się od siebie. Czasem można obserwować inny schemat chromosomu – w postaci litery X. Taki chromosom jest zdwojony: on składa się z dwóch identycznych chromosomów, połączonych centromerem. W takim przypadku chromosomy-kopie nazywają się **chromatydami**. Właśnie w takim X-podobnym kształcie chromosomy są na początku podziału komórkowego.



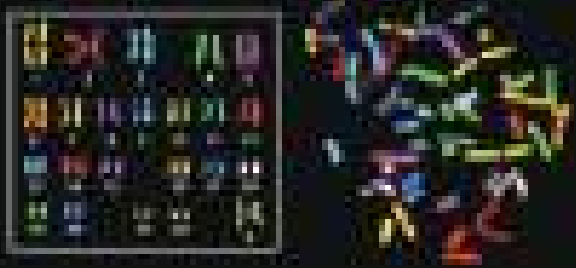
Kariotyp – to zestaw chromosomów

Ilość chromosomów w jądrze może się zmieniać (ryc. 11.5). W jądrach komórek czarnej mrówki – *Myrmecja pilosula* znajduje się tylko po dwa chromosomy, natomiast u raka rzecznoego – 176. Rekordzistą pod względem ilości chromosomów wśród wielokomórkowych organizmów jest nasięźrzał – jego komórki zawierają 1440 chromosomów. W porównaniu z tymi organizmami ilość chromosomów u człowieka jest niewielka: jądra naszych komórek zawierają 46 chromosomów. Ilość chromosomów nie zależy od złożoności organizmu czy jego położenia systematycznego. Nawet u blisko spokrewnionych organizmów ona może różnić się: jeleń karłowaty mundżak chiński ma ich 46, a spokrewniony z nim mundżak indyjski – tylko 6¹.

Całokształt wszystkich chromosomów jądra nazywa się **kariotypem** (od gr. *kariion* – jądro). Chromosomy zawarte w jądrze różnią się od siebie. Jeżeli one wszystkie są różne, to taki zestaw nazywa się **haploidalny** (od gr. *haploos* – pojedynczy): w nim każdy chromosom jest unikalny, przedstawiony tylko jeden raz. W komórkach dorosłych zwierząt zwykle każdy chromosom jest obecny w postaci dwu kopii: taki zestaw chromosomów nazywa się **diploidalnym** (od gr. *diploos* – podwójny).



1 To samica mundżaka indyjskiego, natomiast samiec ma dodatkowy chromosom, to znaczy razem ma ich 7.



**Рyc. 11.6. Кариотип
члoвiкa**

Фарбoваннe дoкoнaнo мeтoдoм флуoрoсцeнтнeй гiбридизaцiї (дoклaднeй в § 39.).

Zestaw diploidalny chromosomów człowieka zawiera 46 chromosomów, haploidalny odpowiednio – 23. Na rycinie 11.6 przytoczono diploidalny karyotyp człowieka: chromosomy różnią się swymi wymiarami i budową. Szczególną uwagę trzeba zwrócić na ostatnią, 23. parę chromosomów – **chromosomy płciowe**. Kobiety posiadają dwa tak zwane X-chromosomy (jak na rycinie), a mężczyźni – jeden X-chromosom i jeden mały Y-chromosom. Reszta – niepłciowe chromosomy – nazywa się **autosomami**.

Niektóre żywe organizmy posiadają trzy lub więcej pełnych zestawów chromosomów. Takie zestawy chromosomów nazywają **poliploidalnymi**. Jądra poliploidalne są dość rozpowszechnione wśród roślin, a także wśród ryb i płazów¹. Karyotyp jest cechą specyficzną gatunku². Zmiana ilości chromosomów w karyotypie może być przyczyną dziedzicznych schorzeń genomowych. Na przykład obecność trzech chromosomów 21. pary w karyotypie człowieka jest przyczyną rozwoju zespołu Downa (dokładniej w § 37.).

Zastanów się

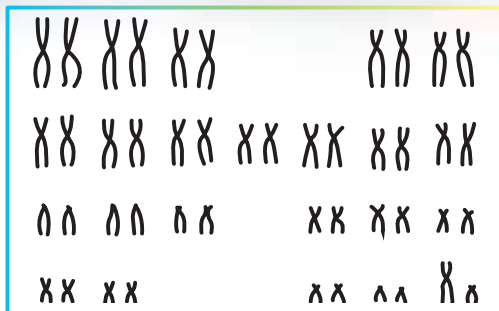
Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Jądra nie ma w
A komórkach owocnika borowika
B erytrocytach żaby
C komórkach owoców ogórka
D komórkach zarodźca malarii
E komórkach bakterii wywołującej gruźlicę
- 2 W organizmie człowieka nie ma jądra w takich strukturach
A białych krwinkach (leukocytach)
B komórkach wątroby
C komórkach mięśnia sercowego
D płytkach krwi (trombocytach)
E światłoczułych komórkach siatkówki (czopkach i pręcikach)
- 3 Pochodzenie jądrowe ma
A rybosom B mitochondrium C system Golgiego
D lizosom E chloroplast

1 Czasem nawet różne tkanki jednego organizmu zawierają różną ilość haploidalnych zestawów chromosomów. Na przykład w jądrach komórek wątroby i serca dorosłego człowieka są cztery haploidalne zespoły chromosomów.

2 Chociaż od tej reguły są wyjątki. Najlepszy przykład – czarny szczur, którego różne podgatunki mają 38, 40 i 42 chromosomy w zestawie diploidalnym.

- 4 Na rycinie podany kariotyp
 A człowieka – kobiety
 B człowieka – mężczyzny
 C mundżaka indyjskiego – samicy
 D mundżaka indyjskiego – samca
 E raka rzecznego



- 5 Kariotyp mężczyzny różni się od kariotypu kobiety
 A jednym chromosomem
 B dwoma chromosomami
 C dwudziestu dwoma parami chromosomów
 D dwudziestu trzema parami chromosomów
 E ilością chromosomów

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Podaj charakterystykę otoczki jądrowej. Jakie funkcje ona pełni? Jak realizują się stosunki jądrowo-cytoplazmatyczne i na czym polega ich rola?
- 7 Retikulum endoplazmatyczne łączy się z zewnętrzną błoną otoczki jądrowej w wielu miejscach. Tak więc przestrzeń między wewnętrzną i zewnętrzną błoną otoczki jądrowej jest powiązana z cysternami ER. Czy można tę przestrzeń zaliczyć do wakuomu komórki? Zastanów się, co wspólnego i co odmiennego ma skład i funkcje tej przestrzeni i przestrzeni ER.
- 8 Materiał anularny por jądrowych – to przejście, które kontroluje, jakie cząsteczki mogą dostawać się do jądra i wychodzić z niego, a jakie – nie. Zastanów się, jakie cząsteczki i dlaczego powinny dostawać się do jądra, a jakie – nie powinny.
- 9 Większą część jądra wypełnia chromatyna. Co to za substancja? Jakie zmiany zachodzą z chromatyną przy przejściu komórki do podziału?
- 10 Co to jest kariotyp? Określony kariotyp charakterystyczny jest dla każdego indywiduum czy ogólnie dla gatunku? Czy obserwujemy w przyrodzie zmiany kariotypu?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11 Z tego paragrafu wiesz, że w chromosomie wyróżniamy różne strukturalne części: telomery, centromery, ramiona. Jakie są osobliwości budowy i rola biologiczna tych części chromosomu?
- 12 Wiesz, że nie wszystkie komórki człowieka posiadają jedno jądro: niektóre mają dwa lub więcej jąder, a niektóre nie posiadają go wcale. Przytocz przykłady takich „dziwnych” komórek i w każdym przypadku wyjaśnij przyczynę takiej „wyjątkowości”.

Dowiedz się samodzielnie i powiedz innym

- 13 Chromatyna jest kompleksem DNA i białek. Jakie białka wchodzą w skład chromatyny i jak jest ich rola biologiczna?
- 14 Czym różni się DNA jądra od DNA mitochondrium? Spróbuj dać odpowiedź z punktu widzenia struktury i pełnionych funkcji.

§ 12. Typy komórek

Komórki nie wszystkich organizmów posiadają jądro

Wiesz już, że wszystkie komórki zwierząt, roślin, grzybów i pierwotniaków, na przykład pełzaka lub pantofelka, zawierają jądro komórkowe. Organizmy, których komórki zawierają jądro, nazywają się **eukariotami**. Niektóre komórki organizmów wielokomórkowych przy dojrzewaniu tracą jądro, a wraz z nim – większą część materiału genetycznego, tworząc postkomórkowe struktury (na przykład eryocyty ssaków i komórki rurek sitowych roślin okrytonasiennych). One nie mogą nazywać się pełnosprawnymi komórkami, ponieważ są pozbawione swego materiału genetycznego. Jednak istnieje wiele organizmów, których materiał genetyczny nie jest otoczony otoczką jądrową, a kontaktuje się z cytoplazmą. Organizmy pozbawione jądra komórkowego nazywają się **prokariotami**. Najbardziej różnorodną i największą grupą prokariotów są bakterie.

Komórki prokariotyczne i eukariotyczne różnią się nie tylko obecnością jądra. Przy porównaniu pro- i eukariotycznych komórek przede wszystkim rzuca się w oczy różnica wymiarów. Średnio komórka eukariotyczna jest 1000–10000 razy większa od prokariotycznej pod względem objętości (ryc. 12.1). Komórki eukariotyczne, wykorzystując tę przewagę, często odżywiają się prokariotycznymi, pochłaniając je w całości (możesz obserwować ten proces, **oglądając wideo na stronie internetowej**). Jednak od tej reguły są dość ciekawe wyjątki. Na przykład komórki bakterii *Thiomargarita* i *Epulopiscium* mogą dorastać nawet do 0,7 mm, wyprzedzając pod tym względem nie tylko komórki eukariotyczne, a i niektóre organizmy wielokomórkowe. Tajemnica *Thiomargarita* polega na tym, że prawie całą jej objętość zajmuje wodniczka, a cytoplazma cienką warstwą jest przyciśnięta do błony. W związku z tym przytoczoną regułą trzeba nieco zmienić: objętość aktywnej cytoplazmy komórek eukariotycznych jest większa niż objętość aktywnej cytoplazmy prokariotów. Wy-



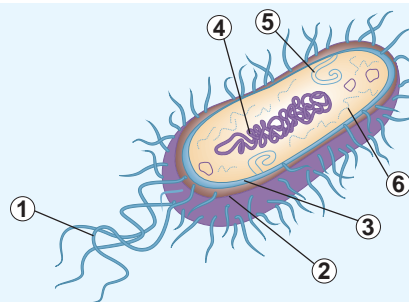
Ryc. 12.1. Porównanie rozmiarów komórek pro- i eukariotycznych

A. Komórka układu odpornościowego człowieka zagarnia bakterie. Na zdjęciu widać, że wymiary liniowe komórki człowieka około 10 razy przewyższają rozmiary komórki bakteryjnej. Otóż objętość jest większa około 1000 razy. **B.** Olbrzymia bakteria *Epulopiscium* w towarzystwie czterech jednokomórkowych eukariotów – pantofelków. **C.** Budowa pospolitej bakterii – pałeczki jelitowej, olbrzymiej *Thiomargarita* i pierwotniaka zawłotni w jednej skali. Z ryciny widać, że cytoplazma olbrzymiej bakterii jest przyciśnięta do błony, a w środku znajduje się duża wodniczka.

mieniona bakteria – to „balonik powietrzny”, w którym całe życie „jest rozsmazane po ścianie”.

Eukarioty potrafiły stworzyć duże komórki dzięki obecności efektywnego systemu transportu wewnątrzkomórkowego, kompartmentalizacji procesów biochemicznych¹ i doskonałemu energetycznemu metabolizmowi. Układ transportowy eukariotów zawiera rozwinięty cytoszkielet i system wewnętrznych kanalików. Wiesz już, że cytoszkielet jest nie tylko karkasem podporowym komórki, lecz i systemem dróg transportowych. Poruszając się nimi, białka motorowe mogą przenosić cząsteczki i organelle na duże odległości. Transport cząsteczek w komórce bakterii zachodzi tylko drogą dyfuzji, która pracuje efektywnie tylko na niedużych odległościach (w przypadku komórki – 0,5 – 1 μm, co odpowiada rozmiarom liniowym większości komórek bakteryjnych).

Innym ważnym czynnikiem, który umożliwił znaczne zwiększenie wielkości komórek eukariotycznych, jest powstanie mitochondriów, które są wewnątrzkomórkowymi stacjami energetycznymi. Chodzi o to, że mechanizm oddychania komórkowego powiązany jest z błonami: wewnętrzną błoną mitochondriów w komórkach eukariotów i błoną cytoplazmatyczną komórek prokariotycznych. Jeżeli wielkość liniowa komórki bakteryjnej zwiększy się na przykład dziesięciokrotnie, to jej objętość zgodnie z zasadami geometrii zwiększy się 1000 razy, a powierzchnia błony – tylko 100 razy. Ponieważ zapotrzebowanie na energię w komórce jest proporcjonalne do objętości, a jej produkcja – do powierzchni błony, taka komórka będzie odczuwać znaczny deficyt energii. W komórkach eukariotów ten problem jest rozwiązywany dzięki obecności wewnątrzkomórkowych ośrodków produkcji energii – mitochondriów.



Ryc. 12.2. Budowa komórki bakterii

1. Wici.
2. Ściana komórkowa.
3. Błona cytoplazmatyczna.
4. Nukleoid.
5. Mezosom.
6. Rybosomy.

Budowa komórki prokariotycznej

Rozpatrzmy dokładniej, jak zorganizowana jest komórka bakteryjna (ryc. 12.2). Weźmy na przykład pałeczkę jelitową – organizm symbiotyczny, który żyje w jelicie grubym ssaków. Komórkę bakterii otacza błona cytoplazmatyczna, która przypomina pod względem budowy błonę komórkową komórki zwierzęcej. Od zewnątrz komórka jest otoczona ścianą komórkową zbudowaną z mureiny – złożonej substancji zawierającej zarówno polisacharydy, jak i łańcuchy aminokwasowe. Ściana komórkowa chroni bakterie przed wpływami zewnętrznymi oraz bierze udział we współdziałaniu komórki bakterii ze środowiskiem zewnętrznym. Jest wiele komórek bakterii, które są ruchome i zawierają osobliwe struktury ruchowe – wici. Wici bakterii bardzo różnią się od wici eukariotów. W przeciwieństwie do nich nie są otoczone błoną cytoplazmatyczną, lecz całkowicie są zbudowane z białka. Ruch wici zachodzi dzięki motorowi, który mieści się

¹ Czyli podział komórki na kompartmenty – nieduże, strukturalnie i funkcjonalnie oddzielone części (na przykład wakuom lub mitochondria) ze swymi osobliwościami przemiany substancji.

w samej podstawie wici i jest umocowany w błonie cytoplazmatycznej. Dzięki ruchowi motoru wic obraca się wokół swej osi, zmuszając komórkę do poruszania się. Zapoznać się z zasadą pracy wici możesz, **przeglądając wideo na stronie internetowej**.



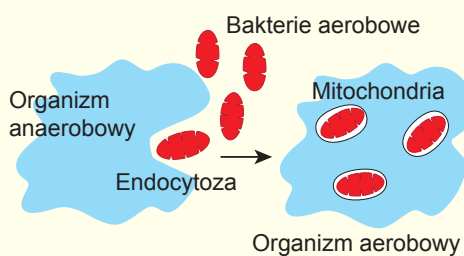
W cytoplazmie bakterii, w odróżnieniu od cytoplazmy eukariotów, nie ma pęcherzyków i obłonionych organelli¹. Cytoplazma jest dość jednolita, zawiera rybosomy, chociaż czasami w niej trafiają się ziarna substancji zapasowych (zarówno organicznych, jak i nieorganicznych) nie otoczonych błoną.

DNA bakterii tworzy z białkiem kompleks, który jest nazywany **nukleoidem**. Stosunek masy DNA i białka, w odróżnieniu od chromatyny eukariotów, w nukleotydzie jest przesunięty w stronę DNA i wynosi około 3:2. Nukleoid nie jest otoczony błoną. On bezpośrednio kontaktuje się z cytoplazmą komórki².

Wtórność komórki eukariotycznej w porównaniu do komórki prokariotycznej

Jak widzimy, komórka prokariotyczna ma bardziej prostą budowę niż eukariotyczna. Ona nie posiada systemu błon wewnętrznych, mitochondriów i wykształconego jądra. Jednak plan budowy komórki prokariotycznej przypomina budowę jednej z organelli eukariotycznej – mitochondrium. Mitochondrium zawiera własny DNA i własne rybosomy. Te osobliwości umożliwiły Lynn Margulis w roku 1967 zaproponować teorię **endosymbiozy** – pochodzenia mitochondriów od prokariotów i w następstwie pochodzenie komórki eukariotycznej od prokariotycznej. Zgodnie z tą teorią jedna duża komórka prokariotyczna pochłonęła mniejszą drogą owijania błoną, czyli drogą **endocytozy** (ryc. 12.3). Przy tym błona wodniczki komórki przekształciła się na błonę zewnętrzną mitochondrium, a błona cytoplazmatyczna pochłoniętej komórki stała się wewnętrzną błoną mitochondrialną. Endocytowana komórka częściowo zachowała swój genetyczny i syntezujący białko aparat³. Taka hipoteza była sformułowana przez kilku

naukowców jeszcze w końcu XIX – na początku XX stulecia, lecz nie od razu była przyjęta przez wspólnotę naukową. Dopiero w 60. latach XX wieku dzięki rozwojowi technologii genetycznych wskazano na uderzające podobieństwo DNA mitochondriów i DNA jednej z grup bakterii – tak zwanych alfa-proteobakterii. Stopniowo teoria endosymbiozy otrzymywała potwierdzenie i zdobywała popularność, a od lat 80. uważa się za ogólnie przyjętą. Tak więc komórka eukariotyczna – to chimera zbudowana z kilku komórek prokariotycznych, które połączyły się ze sobą. Jedna z nich utworzyła większą



Ryc. 12.3. Schemat endosymbiozy

- 1 U niektórych bakterii błona cytoplazmatyczna tworzy liczne wpięcia (mezosomy), przypominające siateczkę błonową. Jednak te struktury nie są zamknięte i zachowują połączenie z błoną komórkową.
- 2 Co prawda są wyjątki: u bakterii z grupy planktomicet i porybakterii błona cytoplazmatyczna tworzy kubkowate zagłębienie otaczające nukleoid. Ponieważ jednak ta struktura, nazywana ciałkiem jądrowym, zostaje powiązana z błoną cytoplazmatyczną i nie wytwarza prawdziwych kompleksów jądrowych z porami, ona nie może być uważana za jądro.
- 3 W procesie ewolucji znaczna część aparatu genetycznego mitochondrium była stracona lub przeniesiona do jądra komórki-gospodarza.

Lynn Margulis

Urodziła się w roku 1938 w Chicago (USA). Szkolni nauczyciele charakteryzowali Lynn jako „złą uczennicę, która często stała w kącie”. Jednak po ukończeniu szkoły ona kontynuowała naukę na Uniwersytecie w Chicago i w wieku 22 lat zdobyła stopień magistra w dziedzinie zoologii i genetyki. Była profesorem University of Massachusetts Amherst. Margulis znana jest przede wszystkim jako autorka teorii endosymbiozy. Tę ideę od środka XIX stulecia w tej czy innej postaci wypowiadali różni badacze, jednak dopiero Lynn ułożyła ją w uporządkowany system i domogła się jej rozpowszechnienia i uznania wśród czołowych naukowców świata. Oprócz tego Margulis wraz z chemikiem angielskim Jamesem Lovelockiem jest autorką hipotezy Gai, zgodnie z którą cała biosfera jest samoregulującym się superorganizmem. Lynn Margulis zmarła w roku 2011. Jej ciało, zgodnie z testamentem, było poddane kremacji, a popiół rozproszono na ulubionej działce naukowo-badawczej koło budynku. Na stronie internetowej możesz **oglądnąć wywiad z badaczką.**



część komórki eukariotycznej, a inne przekształciły się na mitochondria. Co prawda mitochondria nie są jedynymi organellami komórki eukariotycznej, które powstały podczas endosymbiozy. Dowiesz się o tym w następnym paragrafie

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Z wymienionych organizmów do prokariotów należą
A pleśń biała B zarazek malaryczny C laseczka sienna
D pełzak czerwonki E pantofelek
- 2 Do struktur stałych można zaliczyć
A leukocyty
B plemniki
C komórki jajowe
D komórki pyłku roślin nasiennych
E komórki rurek sitowych roślin kwiatowych
- 3 Błona komórki bakteryjnej złożona jest z
A błony fosfolipidowej i mureinowej ściany komórkowej
B błony fosfolipidowej i glikokaliksu
C nukleotydu i celulozowej ściany komórkowej
D błony steroidowej i chitynowej ściany komórkowej
E błony otoczonej warstwą glicerynową
- 4 Pochodzenie bakteryjne ma następujące organellum komórki eukariotycznej
A rybosom B lizosom C retikulum endoplazmatyczne
D mitochondrium E aparat Golgiego
- 5 Nukleoid bakterii zawiera
A białka i DNA B białka i lipidy C białka i węglowodany
D DNA i lipidy E węglowodany i DNA

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Dowiedziałeś się, że niektóre komórki organizmów eukariotycznych w procesie rozwoju straciły jądro. Przytocz przykłady takich komórek. Wskaż ich funkcje. Spróbuj wyjaśnić powiązanie budowy wymienionych przez siebie komórek z pełnionymi funkcjami.
- 7 Komórki prokariotyczne są prawie tysiąc razy mniejsze pod względem objętości od eukariotycznych. Z czym to jest związane?
- 8 Wymień podstawowe strukturalne różnice w budowie pro- i eukariotycznych komórek.
- 9 Co stanowi materiał dziedziczny komórki prokariotycznej?
- 10 Na czym polega teoria endosymbiozy? Jaki jest los tej teorii?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11 Komórki prokariotyczne zwykle są o wiele mniejsze od eukariotycznych. Jednak są wyjątki. Przytocz przykłady takich wyjątków. Co jest gwarancją skutecznego istnienia wielkich komórek prokariotycznych?
- 12 Wpuklenia błony komórkowej do środka komórki prokariotycznej nazywają się mezosomami. Jakiego jest ich znaczenie? U jakich prokariotów najbardziej są rozwinięte mezosomy? Dlaczego niektórzy badacze przez długi czas uważali, że mezosomy w rzeczywistości nie istnieją, a tylko są błędami interpretacji mikrozdjęć?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13 Życie bakterii. Jakiego jest? Spróbuj podać charakterystykę życia jednej komórki bakteryjnej dowolnego gatunku (od jej powstania do następnego podziału).
- 14 Jakiego organelle komórki prokariotycznej są znane? Jakiego funkcje one pełnią? Jak komórka typowego prokariota żyje bez wielu organeli, które są w komórce eukariotycznej?

Dodatek V



Hryhorij Zołotariow

Ukończył w roku 2013 Liceum Uniwersyteckie w Charkowie. Zdobył brązowy medal na Międzynarodowej Olimpiadzie z Biologii w Szwajcarii. Obecnie studiuje w Pradze na Uniwersytecie Karola na wydziale medycznym.

Teoria endosymbiozy: mitochondria

Już w końcu XIX stulecia zoologowie dokonali opisu niezwykłych komórkowych organeli, które są we wszystkich komórkach. Niemiecki patolog Richard Altmann w 1890 roku nazwał te organelle bioplastami i wysłowił dziwne przypuszczenie, że bioplasty – to małe żywe istoty w środku bardziej złożonych komórek.

W roku 1910 zoolog Kostiantyn Mereżkow dokonał opisu swej „teorii dwóch plazm”, w której

wysunął przypuszczenie, że bardziej skomplikowane komórki powstały z bardziej prostych drogą połączenia. Tę teorię on nazwał symbiogenesą. Za czasów Altmanna i Mereżkowskiego takie poglądy były uważane za heretyczne i naukowa wspólnota nie odbierała je poważnie. Przy tym zoologom i botanikom były dobrze znane przykłady symbiontów, na przykład porosty, które są symbiozą grzyba i glonu.

Pasożyty mieszkające w środku komórek też były znane. W roku 1909 Howard Taylor Ricketts dokonał opisu czynnika chorobotwórczego wywołującego gorączkę plamistą Gór Skalistych – małej bakterii, która żyje w środku komórek. W tym samym roku Rickettsowi udało się wyodrębnić czynnik chorobotwórczy duru plamistego w Meksyku – też małej bakterii. Niestety, po kilku dniach badacz zginął zarażony tą bakterią. Na jego pamiątkę bakterie wywołujące tę chorobę nazwano riketsjami.

W roku 1922 Iwan Wallin, wykładowca anatomii w Kolorado, który otrzymał nazwisko „Mitochondrial Man”, wysłowił przypuszczenie, że mitochondria mogły powstać z bakterii. Tę myśl nasunął mu fakt, że mitochondria i bakterie mogą zabarwiać się jednakowymi barwnikami, co znaczy, że mają jednakową strukturę chemiczną.

W XX stuleciu bitwy grzmiąły i na polach biochemii. Wspólnota naukowa była zajęta poszukiwaniem odpowiedzi na jedno z najciekawszych pytań życia: jak komórka otrzymuje energię i do czego jest potrzebny tlen. O mitochondriach znów zaczęto mówić: stało się oczywiste, że właśnie te małe organelle są stacjami energetycznymi komórki. Pytania ewolucji mitochondriów były odłożone na potem: po co spekulować i wysuwać bezsensowne hipotezy, kiedy poważna nauka zajmuje się konkretnymi zagadnieniami?

Dopiero w roku 1967 Lynn Margulis, opierając się na prace swoich poprzedników, sformułowała podstawowe idee teorii endosymbiozy. Ona stwierdziła, że mitochondria prawdopodobnie pochodzą od nieparazytujących bakterii, a chloroplasty – od sinic (cyjanobakterii).

Jej praca naukowa była odrzucona przez 15 wydawnictw. Na Margulis potoczyła się krytyka ze strony niezgodnych z nią biologów. Zasługuje na szacunek to, z jakim zapalem ta wybitna kobieta broniła swych poglądów. Na cóż opierała się badaczka w swoich wnioskach?

Mitochondria i chloroplasty mają własny DNA, własne rybosomy, które są bardzo podobne do rybosomów bakterii. Proces syntezy białka w środku tych organelli jest bardzo podobny do tego procesu u bakterii. A niektóre białka w błonie wewnętrznej mitochondriów są takie same, jak na błonie zewnętrznej bakterii. Oprócz tego nowe mitochondria i chloroplasty mogą powstawać w wyniku podziału (jak ich niesymbiotyczni przodkowie).

W 80. latach XX wieku wraz z rozwojem metod sekwencjonowania stało się oczywiste, że DNA, który jest zawarty w tych organellach, znacznie różni się od DNA jądra i bardziej przypomina DNA bakterii. Później okazało się, że genom mitochondriów jest podobny do genomu alfa-proteobakterii, do których należą riketsje. Stopniowo dowodów zebrało się tyle, że już nie można było nie wyznać faktu: mitochondria i chloroplasty – to szczątki kiedyś wolnych bakterii.

Znany angielski popularyzator nauki, autor „Samolubnego genu” Richard Dawkins nazwał teorię endosymbiozy „jednym z najważniejszych osiągnięć w biologii XX stulecia”.

Od momentu publikacji sensacyjnej pracy Margulis minęło pół stulecia, jej teorię endosymbiozy przyjęła cała wspólnota naukowa. Pojawienie się mitochondriów uważane jest za główne wydarzenie powstawania komórek eukariotycznych: otrzymawszy małe komórki fery z produkcji energii, komórki stały się wreszcie zdolne do „oddychania pełnymi piersiami”.

Należy zaznaczyć, że mitochondria nie tylko dostarczają do komórek energii, od nich zależą ważne decyzje. Zaprogramowaną śmierć komórki – apoptozę – uruchamiają mitochondria. Te małe organelle decydują, czy komórka będzie żyła dalej, czy popęłni samobójstwo.

Mitochondria są przekazywane tylko przez matkę wraz z cytoplazmą komórki jajowej. Jest to cecha wszystkich gatunków rozmnażających się drogą płciową (nawet tych, których zlewające się komórki płciowe są jednakowe). Dlatego wyznaczyć płeć można następująco: żeńska – to ta, która przekazuje potomkom mitochondria, a męska – nie przekazuje. Powstaje logiczne pytanie: czy nie odegrały mitochondria pewnej roli w powstaniu rozmnażania płciowego?

Biologia mitochondriów – to dziedzina intensywnych badań we współczesnej medycynie. Wiele chorób genetycznych wiąże się właśnie z tymi organellami. Są też bardziej skomplikowane aspekty, które mitochondria mogą wyjaśnić: starzenie się i nowotwór. Mitochondria gromadzą mutacje i same stają się źródłem tlenowych radykałów uszkadzających komórki. Oddychanie samo w sobie jest bardzo niebezpiecznym procesem, mitochondria dosłownie igrają z ogniem!

Mitochondria zostawiły ślad w kinematografii: George Lucas we wszechświecie Star Wars pokazał dżedajów, obdarzonych Mocą dzięki małym żywym istotom – midichlorianom. Dlatego dzień gwiazdnych wojen – 4 maja – uważany jest za dzień mitochondriów.

§ 13. Komórka roślinna i zwierzęca

Organizację eukariotyczną posiadają komórki zwierząt, roślin, grzybów i pierwotniaków

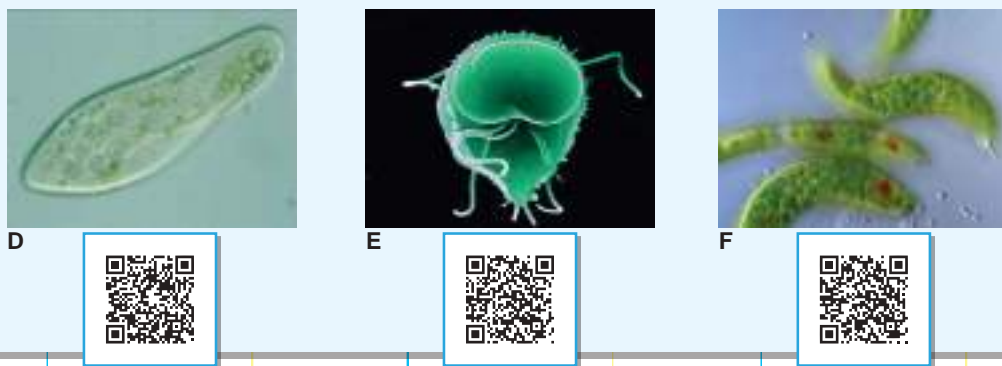
W poprzednim paragrafie ustaliliśmy, że oprócz komórek eukariotycznych są też komórki prokariotyczne pozbawione jądra i systemu błon wewnętrznych. Organizację eukariotyczną posiadają komórki zwierząt, roślin, grzybów i pierwotniaków (ryc. 13.1). Jednak przedstawiciele tych grup bardzo różnią się od siebie i prowadzą różny tryb życia. Ich komórki z kolei też mają cechy charakterystyczne. W poprzednich paragrafach rozpatrzyliśmy budowę komórki zwierzęcej. Ona nie jest otoczona ścianą komórkową, jej kształt może zmieniać się, niektóre komórki zwierząt wielokomórkowych są ruchome. Komórki zwierząt tworzą między sobą różnego rodzaju kontakty, które łączą je w jednolity organizm. Często obecne są organelle ruchu (wici lub rzęski).

Komórki roślin wyższych mają swoje osobliwości uwarunkowane trybem życia roślin, a mianowicie nieruchomość i zdolność do fotosyntezy. Komórki roślin otacza



Ryc. 13.1. Różne rodzaje komórek wielokomórkowych i jednokomórkowych eukariotów

A. Erytrocyty żaby. W odróżnieniu od erytrocytów ssaków one zawierają jądro. **B.** Komórki liścia. Widać liczne zielone chloroplasty, a komórki są otoczone potężnymi celulozowymi ścianami komórkowymi. **C.** Przekrój owocnika grzyba kapeluszowego. Owocnik utworzony jest zwartą siecią przepłątanych nitczek – zbitymi strzępkami zbudowanymi z komórek otoczonych ścianą komórkową. Nieduża przestrzeń między strzępkami jest wypełniona powietrzem. **D.** Pantofelek. **E.** *Lamblija*. **F.** Klejnotka.



zwarta ściana komórkowa zbudowana z polisacharydu celulozy (błonnik). Komórka otoczona taką ścianą komórkową jest nieruchoma i nie może zmieniać swego kształtu¹. W środku komórki roślinnej znajdują się organelle osobliwego rodzaju – **chloroplasty**, które biorą udział w procesie fotosyntezy. Nie wszystkie komórki dorosłej rośliny biorą udział w fotosyntezie. Na przykład komórki korzenia przeważnie znajdują się pod ziemią i nie są zdolne do fotosyntezy z powodu braku światła. Takie komórki zawierają bezbarwne plastydy – **amyloplasty** (rodzaj leukoplastów), które często wykorzystują się do magazynowania skrobi. Niektóre komórki roślin zawierają **chromoplasty** – plastydy gromadzące dodatkowe barwniki (pigmenty) i nadające częściom rośliny jaskrawego (czerwonego, żółtego, pomarańczowego) koloru. W środku komórki roślin mieści się jedna lub kilka **wodniczek** – dużych obłonionych organelli wypełnionych sokiem komórkowym. W dojrzałej komórce wodniczka znajduje się w centrum i zajmuje większą część objętości komórki, wypierając cytoplazmę i jądro na obwód komórki. Większość komórek wyższych roślin (z wyjątkiem plemników) nie posiada organelli ruchu².

Komórki grzybów mają wiele wspólnego z komórkami zwierzęcymi, jednak są otoczone ścianą komórkową. W odróżnieniu od roślin podstawą ściany komórkowej większości grzybów jest chityna, a nie błonnik. Często ciało grzyba jest siecią rozgałęzionych niteczek (strzępek). Te niteczki mogą być podzielone na poszczególne komórki, jak u borowika lub trufła czarnego, lub być jednolitą nitkowatą wielojądrową strukturą. Takie ciało ma na przykład pleśniak biały – zwykła pleśń na chlebie. A ot drożdże, które też są grzybami, istnieją w postaci poszczególnych komórek.

Komórki pierwotniaków są bardzo różnorodne. Podstawowa osobliwość polega na tym, że komórka pierwotniaka – to cały organizm, który powinien wykonywać wszystkie ważne życiowe funkcje: odżywiać się, rozmnażać się, poruszać się, znajdować dogodny warunki środowiska. Taka komórka ma bardziej skomplikowaną budowę niż, powiedzmy, komórka wielokomórkowej rośliny lub zwierzęca. Weźmy na przykład komórkę pantofelka. Ona jest okryta licznymi rzęskami, które zapewniają jej poruszanie się w środowisku. Bezpośrednio pod błoną cytoplazmatyczną znajduje się sieć pęcherzyków kształtująca swoistą zwartą błonę: ona nadaje komórce kształtu i wykonuje rolę opory dla rzęsek i innych organelli.

Pantofelek posiada „otwór gębowy” (cytostom), dzięki któremu wchłania cząsteczki pokarmowe, a także zespala się z pantofelkami „przeciwległej płci”³. Wewnątrz pantofelka widoczne są dwie wodniczki tętniące, które zapewniają wyprowadzanie nadmiaru wody nadchodzącej do komórki. Podobnych tworów wielokomórkowe eukarioty nie posiadają.

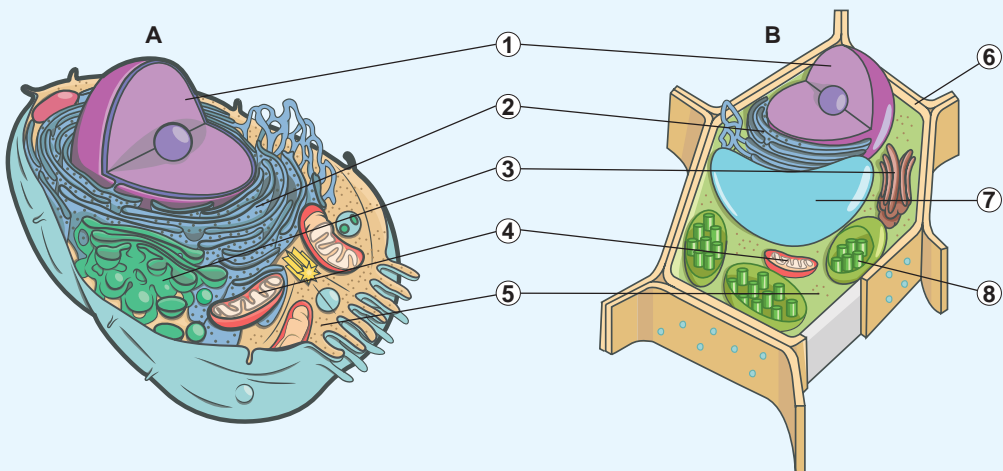
Na czym polega różnica między zwierzęcą i roślinną komórką?

W tym rozdziale dokonamy charakterystyki porównawczej komórek roślin i zwierząt – dwóch grup eukariotów, które osiągnęły złożoną wielokomórkową organizację (tab. 13.1, 13.2).

- 1 Ściana komórkowa młodej komórki zawiera mniej błonnika, dlatego ona może rozciągać się, zapewniając wzrost komórki. Zmiana kształtu może też zachodzić na przykład przy powstawaniu włosników. Jednak w odróżnieniu od komórki zwierzęcej te zmiany są powolne, nieobracalne i nie powiązane z przemieszczaniem się w przestrzeni.
- 2 A w komórkach roślin kwiatowych wici nie ma.
- 3 Wiele pierwotniaków, u których obserwuje się proces płciowy, ma coś podobnego do płci roślin i zwierząt, lecz „płci” jest nie dwie, a znacznie więcej.

Tabela 13.1. Charakterystyka porównawcza komórki zwierzęcej i roślinnej

Składniki komórki	Obecność w komórce zwierzęcej	Obecność w komórce roślinnej
Ściana komórkowa	Nie ma	Zwarta ściana komórkowa, której podstawą jest błonnik
Cytoskielet	Jest. Oprócz mikrotubuli i nici aktynowych obecne są też inne struktury	Jest. Składa się tylko z mikrotubuli i nici aktynowych
Rybosomy	Są	Są
Retikulum endoplazmatyczne	Jest	Jest
Wodniczki	Są, w postaci wodniczek trawiennych	Są. Jedna lub kilka dużych wodniczek wypełnionych sokiem komórkowym. Często wodniczki zajmują większą część objętości komórki
Organelle ruchu	Wici i rzęski. Są i u plemników, i u komórek ciała	Tylko plemniki mają wici. U roślin kwiatowych wici są nieobecne
Jądro	Jest	Jest
Mitochondria	Są	Są
Plastydy	Brak	Są u większości komórek. Oprócz zielonych chloroplastów są chromoplasty i bezbarwne leukoplasty



Ryc. 13.2. Budowa komórki zwierzęcej (A) i roślinnej (B)

Wspólne organelle: 1. Jądro. 2. ER. 3. Aparat Golgiego. 4. Mitochondria. 5. Rybosomy.

Różniące się organelle: 6. Ściana komórkowa. 7. Wodniczka z sokiem komórkowym. 8. Chloroplast.

Plastydy – to dwubłonowe organelle komórki roślinnej

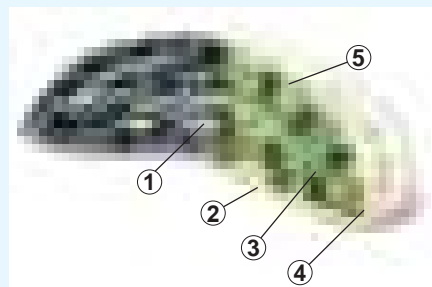
Teraz rozpatrzmy niektóre organelle, które są charakterystyczne dla komórki roślinnej. Bez wątplenia wyrazistym przykładem takich struktur są chloroplasty – organelle, w których zachodzi najważniejszy proces energetyczny – fotosynteza. Budowa chloroplastów (ryc. 13.3) ma wiele wspólnego z budową mitochondriów. One też mają dwie błony: zewnętrzną i wewnętrzną, lecz wewnętrzna błona prawie nie wytwarza wygięć. Wewnętrzna błona otacza zawartość chloroplastu, który nazywa się **stromą**. W stromie chloroplastu zawarty jest DNA chloroplastu i rybosomy, a także dyskokształtne błoniaste pęcherzyki – **tylakoidy**. Prawie całą stromę wypełniają tylakoidy, które zwykle są zwarcie upakowane i tworzą grupy przypominające stosy monet. One nazywają się **granami**. Właśnie w błonie tylakoidów zawarty jest chlorofil i inne pigmenty, które biorą udział w wychwytywaniu energii światła słonecznego i przekształcają ją na energię wiązań chemicznych (czyli fotosyntezie).

Zarówno chloroplasty, jak i mitochondria mają swój aparat genetyczny i aparat syntezujący białko. Istnieje przekonanie, że chloroplasty powstały wskutek endosymbiozy z bakterią fotosyntezującą. Tak więc przodkowie roślin wstępowali w endosymbiozę dwa razy: najpierw otrzymano mitochondria, a potem – chloroplasty. Niektóre chloroplasty w toku specjalizacji zatraciły zdolność do fotosyntezy (przekształcając się w inny rodzaj plastydu) i zaczęły pełnić inne funkcje. Niektóre z nich są wykorzystywane przez komórkę do magazynowania skrobi (na przykład amyloplasty w bulwach ziemniaków). Dla chloroplastów, amyloplastów, chromoplastów i innych podobnych do nich organeli istnieje wspólna nazwa – **plastydy**.

Wodniczki zawierają sok komórkowy

Jeszcze jedna cecha komórki roślinnej – to obecność wodniczki wypełnionej sokiem komórkowym. W komórce roślin jest jedna wielka lub kilka drobnych wodniczek. Sok komórkowy – to roztwór nieorganicznych i organicznych substancji. Wodniczka pełni mechaniczną funkcję: szczelnie wypełniona wodą nadaje komórce sprężystości. Wędnięcie roślin z powodu braku wilgoci związane jest ze zmniejszeniem się objętości wodniczek. Niektóre komórki organizmu roślinnego są zdolne do zmieniania objętości swoich wodniczek, wykonując przy tym ruchy. Do nich należą na przykład komórki zamykające szparki, komórki w liściach mucholówki amerykańskiej i mimozy wstydlivej (ryc. 13.4).

W wodniczках odkładają się różne substancje. Na przykład w wodniczках płatków kwiatów gromadzą się pigmenty (barwniki), które nadają kwiatom niebieskiego, purpurowego, fioletowego, różowego, brązowego lub czerwonego koloru. Kolor zależy od kwasowości zawartości komórkowej. Roztwór pigmentów-antocyjanów w środowisku kwaśnym ma czerwony kolor, w obojętnym – niebiesko-fioletowy, a w zasadowym – żółto-zielony.



Ryc. 13.3. Budowa „klasycznego” chloroplastu roślin wyższych

Lewa część obrazu jest zdjęciem zrobionym za pomocą elektroskopu elektronowego, prawa część – rycina stworzona przez malarza.

1. Stroma.
2. Błona zewnętrzna.
3. Tylakoid.
4. Błona wewnętrzna.
5. Grany.



Ryc. 13.4. . Rośliny wykonują wiele ruchów dzięki zmianie objętości wodniczek komórkowych

A. Szparki

B. Liście muchotłówki amerykańskiej

C. Liście mimozy wstydlivej.



Ściana komórkowa komórki roślinnej zbudowana jest z błonnika (celulozy)

Jeszcze jedna charakterystyczna osobliwość komórki roślinnej – to obecność ściany komórkowej, której podstawą jest błonnik¹. Błonnik, jak pamiętasz z § 4, jest liniowym polimerem glukozy. Cząsteczki błonnika „sklejają się” między sobą, tworząc mikroskopijne nici, które widzisz na mikrofotografiach (ryc. 13.5, A). Ściana komórkowa nadaje komórce kształtu, chroni przed uszkodzeniami mechanicznymi (ryc. 13.5, B). Czasem ona znacznie grubieje, jak w tkankach mechanicznych wykonujących funkcję podporową (ryc. 13.5, C, D).

Ściana komórkowa bierze udział w transporcie wody i substancji mineralnych w komórce. Przekazywanie roztworu od ściany komórkowej do ściany komórkowej okazuje się często szybsze niż przekazywanie od cytoplazmy do cytoplazmy. W skład tkanek przewodzących niektórych roślin wchodzi naczynia. Na późnych etapach kształtowania się naczyń komórka-przednik obumiera, po niej zostaje tylko ściana komórkowa. Właśnie ten system kapilarny przenosi wodę w roślinie na duże odległości.



Ryc. 13.5. Budowa ścian komórkowych komórek roślinnych

A. Ściana komórkowa rośliny: widać mikroskopijne nici, które są pęczkami cząsteczek błonnika.

B. Zgrubienie ściany komórkowej w tkance mechanicznej młodej łąki. Komórki magazynujące, widoczne w dolnej części ryciny, mają cienką ścianę komórkową. W górnej części zdjęcia pokazano tkankę mechaniczną ze zgrubieniami ścian komórkowej. **C.** Grupy komórek ze zgrubiałymi ścianami komórkowymi w miąższu gruszki (komórki kamienne). **D.** Naczynia i inne elementy przewodzące rośliny kwiatowej (pofarbowano sztucznie).

1 Oprócz błonnika do niej wchodzi polisacharydy, białka i inne polimery.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1 Komórkę roślinną podano na rysunku

- A 1 B 2 C 3
D 4 E 5

2 Wśród wymienionych komórek całym organizmem jest

- 1) klejnotka, 2) pantofelek, 3) leukocyt, 4) miocyt, 5) komórka jajowa.
A 1 i 2 B 2 i 3 C 3 i 4 D 4 i 5 E 1 i 5

3 Błona komórkowa roślinnej komórki składa się z

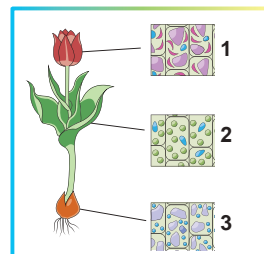
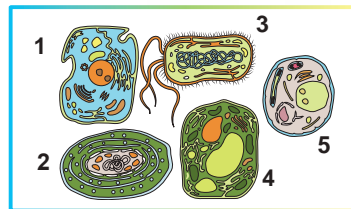
- A błony fosfolipidowej i białkowej ściany komórkowej
B błony fosfolipidowej i glikokaliksu
C błony fosfolipidowej i celulozowej ściany komórkowej
D błony steroidowej i chitynowej ściany komórkowej
E błony zdrewniałej okrytej warstwą korową

4 Pochodzenie endosymbiotyczne mają takie organelle komórki roślinnej jak

- A rybosomy B lizosomy C retikulum endoplazmatyczne
D chloroplasty E wodniczki

5 Wskaż szereg poprawnych podpisów podanych plastyd

- A 1 – chloroplasty, 2 – chromoplasty, 3 – amyloplasty
B 1 – amyloplasty, 2 – chromoplasty, 3 – chloroplasty
C 1 – chromoplasty, 2 – chloroplasty, 3 – amyloplasty
D 1 – amyloplasty, 2 – chloroplasty, 3 – chromoplasty
E 1 – chloroplasty, 2 – amiloplasty, 3 – chromoplasty



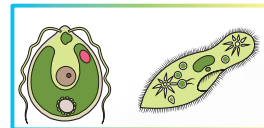
Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

6 Czy ruchliwość komórek zwierzęcych i roślinnych jest jednakowa? Jak to odzwierciedla się na budowie i funkcjonowaniu wielokomórkowego organizmu?

7 Wymień organelle, za pomocą których z pewnością można odróżnić komórkę roślinną od zwierzęcej. Jakie funkcje pełnią te organelle?

8 Jakie cechy budowy mają komórki grzybów? Na jakie grupy dzielą się grzyby pod względem budowy ich strzępek? Wskaż cechy podobieństwa pomiędzy komórkami grzybów a komórkami zwierzęcymi i roślinnymi.

9 Porównaj budowę dwóch przedstawionych organizmów. Wskaż wspólne i odmienne organelle. Wyjaśnij ich obecność z punktu widzenia sposobu życia tych organizmów.



10 Wymień podstawowe rodzaje plastyd. Podaj opis funkcji wymienionych przez ciebie plastyd.

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

11 Zaprezentuj na kilku przykładach różnorodność składu i właściwości soku komórkowego wodniczek.

12 Jak tworzy się celulozowa ściana komórkowa komórki roślinnej? Jakie substancje, oprócz błonnika, wchodzi w jej skład? Jaką rolę one pełnią w strukturze ściany komórkowej?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Dokonaj opisu niezwykłych komórek roślin: największych i najmniejszych, rucho- mych i nieruchomych, żywych i martwych, jądrowych i pozbawionych jądra. Wyja- śnij powiązanie między osobliwością komórki i jej funkcją w organizmie roślinnym.
- 14** Przytocz kilka przykładów jednokomórkowych fotosyntezujących eukariotów. Porównaj budowę ich komórek z budową komórek roślin zielonych. Zwróć uwa- gę na podobieństwo i różnicę. Spróbuj to wyjaśnić.

Projekt do opracowania w grupie

- 15** Wyodrębnianie i rozdzielanie pigmentów roślinnych.
- A. *Otrzymanie mieszaniny pigmentów roślinnych.*
- 1) Umyj i wysusz 3–4 listki dowolnej rośliny.
 - 2) Pokrój je drobno nożyczkami do moździerza i rozetrzyj tłuczkiem.
 - 3) Otrzymaną masę roślinną i sok przenieś łyżką do szklanki.
 - 4) Dodaj kilka mililitrów spirytusu lub płynu do usuwania lakieru z paznokci. Zo- staw mieszaninę na 10–15 minut.
 - 5) Przez serwetkę (lub ręcznik papierowy) umieszczoną w lejku odfiltruj otrzy- maną mieszaninę do czystej szklanki.
- B. *Przeprowadzenie papierowej chromatografii pigmentów.*
- 6) Odkrój wstążkę cienkiego papieru (do kawowych filtrów lub od ręcznika pa- pierowego).
 - 7) Nakręć wstążkę na ołówek tak, żeby jej koniec nie dotykał dna czystej szklan- ki, kiedy ołówek leży na szklance.
 - 8) W odległości 2cm od dolnego końca wstążki nanieś kroplę filtratu. Pozwól zielonej kropli wyschnąć i nanieś na to samo miejsce jeszcze jedną kroplę. Powtórz czynność jeszcze 2–3 razy.
 - 9) Nalej do szklanki benzyny, nafty lub płynu do usuwania lakieru z paznokci tyle, żeby wysokość nalanej cieczy sięgała około 1 cm.
 - 10) Opuść nawiniętą na ołówek wstążkę z zieloną plamą do szklanki tak, żeby ta wstążka nie dotykała ścianek, ale jej koniec był zwilżony w cieczy. Nie dopuszczaj zwilżenia zielonej plamy!
 - 11) Przykryj szklankę, żeby ciecz nie wyparowywała i zostaw ją na 20–40 minut. Obserwuj, jak plama, poruszając się ku górze, rozdziela się na różnokolo- rowe komponenty.
- C. *Ocena wyników i podsumowanie.*
- 12) Wyciągnij wstążkę ze szklanki, kiedy plama przesunie się do górnej krawędzi papieru. Wysusz ją.
 - 13) Zaznacz ołówkiem kolorowe smugi na papierze, które odpowiadają różnym pigmentom:
 - najniższa smuga – żółto-zielony chlorofil b;
 - następna smuga – zielony i niebiesko-zielony chlorofil a;
 - jeszcze wyższa smuga – żółte ksantofile;
 - najwyższa smuga – żółto-pomarańczowe karotenoidy.
 - 14) Wyjaśnij, dlaczego różne pigmenty poruszają się z różną prędkością w tym rozpuszczalniku.
 - 15) Spróbuj otrzymać i rozdzielić podobnym sposobem mieszaninę pigmentów z kwiatów, jagód i niezielonych liści roślin. Porównaj wyniki.

Dodatek V (ciąg dalszy)

Teoria endosymbiozy: chloroplasty

Odkrycie chloroplastów zwykle jest przypisywane Juliusowi von Sachsowi – „ojcu fizjologii roślin”. W roku 1884 Edward Strasburger zaproponował nazwę „chloroplasty”, która przyjęła się w biologii.

Współcześnie uważa się, że chloroplasty pochodzą od sinic (cyjanobakterii). Cechą charakterystyczną sinic jest fotosynteza z chlorofilem a i b i wydzielanie tlenu – taka sama jak i u roślin lądowych. Sinice mają dwie błony: wewnętrzną i zewnętrzną, między którymi rozmieszczona jest ściana komórkowa. Sinice mają złożony system błon i obłonionych pęcherzyków, które analogicznie do podobnych struktur w chloroplastach nazywają się tylakoidami.

Wskutek pierwszego endosymbiotycznego zdarzenia około 1,6mld lat temu sinica była pochłonięta przez eukariota. Tak powstał pierwotny chloroplast. Ponieważ podczas wchłaniania powstaje pęcherzyk obłoniony, który ogranicza dwubłonową sinicę, to taki chloroplast powinien mieć trzy błony. Ale pierwotne chloroplasty posiadają tylko dwie błony. Obecnie uważa się, że trzecia błona (pęcherzykowa) była utracona, a zewnętrzna błona chloroplastu odpowiada jej u sinic.

Potem powstały trzy główne typy chloroplastów: chloroplasty glaukofitów, chloroplasty zielonicy i roślin lądowych oraz chloroplasty krasnorostów. Wszystkie trzy typy pierwotnych chloroplastów są ograniczone dwiema błonami.

Osobliwość plastyd polega na tym, że w ewolucji eukariotów zdarzenia endosymbiotyczne zachodziły kilkakrotnie. To znaczy, że różne eukarioty otrzymywały plastydy, traciły je i znów otrzymywały wskutek endosymbiozy.

Jeżeli glon z pierwotnym chloroplastem ograniczonym dwoma błonami będzie pochłonięty przez inny glon, to powstanie chloroplast wtórny ograniczony czterema błonami. Cały ten proces nazywa się wtórną endosymbiozą. Chloroplasty kryptomonad nawet zachowały szczątki jądra należące do pochłoniętego krasnorostu.

Chloroplasty euglenid powstały tak: przodek klejnotki pochłoniął zielenicę. Wskutek tego powstał chloroplast z trzema błonami (zewnętrzna była utracona).

Chloroplasty pochodzące od krasnorostów są bardziej rozpowszechnione niż pochodzące od zielenicy. Takie chloroplasty są na przykład u okrzemek, brunatnic, chryzofitów i różnociowców. Sporowce zawierają szczątki chloroplastów pochodzących od krasnorostów – apikiplasty. Najbardziej znanym sporowcem jest czynnik chorobotwórczy malarii – zarodek malarii. Wyobraź sobie! Chorobę, która zabiera corocznie życie milionów, wywołuje organizm, którego przodkowie byli glonami, dokonywali fotosyntezy i nawet nie myśleli o tym, by żyć w środku krwinek, odżywiać się ich zawartością i powodować napady febrы.

Jednak najbardziej wyróżniające się nosiciele chloroplastów (którzy są potomkami krasnorostów) – to bruzdnice. Te glony powodują świecenie się wody (nocoświatliki), a także czerwone przyływy – zakwity, przy których woda nabiera krwawo-czerwonego koloru. Bruzdnice mogą mieć różne typy chloroplastów, pochodzących od różnych glonów, które same otrzymały chloroplast wskutek pochłaniania glonu. Takie zjawisko nazywa się trzeciorzędową endosymbiozą.

Komórka *Dinoflagellata* kryptopterydia zawiera chloroplast ograniczony pięcioma błonami. Ten chloroplast – to pochłonięty kiedyś okrzemek, który sam posiada chloroplasty pochodzące od krasnorostów. Jądro okrzemka nie zniknęło, on nawet zachował własne mitochondria. Oprócz tego w komórkach kryptopterydia zachowały się jeszcze własne wtórne chloroplasty. Tak więc jedna komórka zawiera dwa różne jądra eukariotyczne, dwa różne typy chloroplastów i dwie różne grupy mitochondriów!

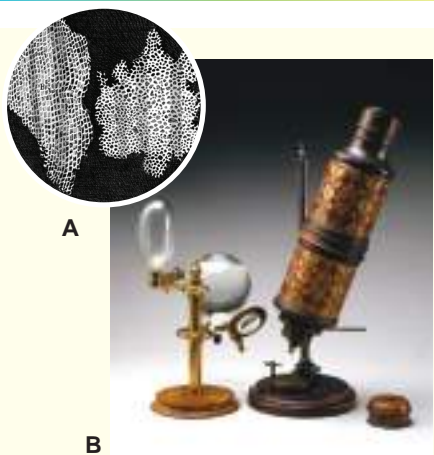
Można powiedzieć, że symbiotyczne pochodzenie chloroplastów jest tak oczywiste z ich struktury, że żadnych wątpliwości nie może być. Jeżeli chloroplasty nie powstawały wskutek endosymbiozy, należałoby przypuścić, że różne grupy eukariotów wynalazły swoje chloroplasty niezależnie co najmniej 15 razy. Otóż rozumienie ewolucji chloroplastów odgrywa ważną rolę w ustanowieniu nieprostych ewolucyjnych stosunków między eukariotami.

§ 14. Metody badań komórki

Wielu naukowców wniosło swój wkład w badania komórki

Pierwszym człowiekiem, który zobaczył komórki, był angielski przyrodnik **Robert Hooke**¹. W 1665 roku, posługując się ulepszonym przez siebie mikroskopem, oglądał przekroje korka z dębu korkowego (ryc. 14.1). Ujrzał wtedy siatkowate struktury przypominające plastry ula i nazwał je **komórkami**. Hook przypuszczał, że „żywe” są ściany komórkowe, a nie zawartość komórek.

Po 10 latach włoski lekarz **Marcello Malpighi** zaproponował teorię budowy komórkowej roślin. Podstawowe założenie tej teorii polega na tym, że wszystkie narządy roślin są zbudowane z komórek. Badacz przypuszczał, że „życie” koncentruje się nie tylko w błonie komórki, lecz i w płynie w środku. Mniej więcej w tym samym czasie holender **Antoni van Leeuwenhoek** po raz pierwszy zaobserwował jednokomórkowe drobnoustroje oraz niektóre komórki człowieka – erytrocyty i plemniki. Znany francuski zoolog **Jean-Baptiste de Lamarck** na początku XIX stulecia przypuszcił, że wszystkie żywe organizmy mają budowę komórkową. Potem te przypuszczenia były potwierdzone badaniami czeskiego fizjologa **Jana Purkyně** i angielskiego botanika **Roberta Browna**, którzy dokonali opisu jądra. Niemieccy naukowcy **Teodor Schwann**, **Matias Schleiden** i **Rudolf Virchow**, opierając się na znanych faktach, wyciągnęli wnioski i uogólnili je w teorię komórkowej budowy organizmów żywych. Narzędziem zwierząt, którego budowa komórkowa była udowodniona najpóźniej, okazało się mózgowie.



Ryc. 14.1.

A. Rysunek korka pod mikroskopem wykonany przez Roberta Hooka. **B.** Makiet mikroskopu, z którego korzystał Hook podczas swoich badań.

Pierwszymi mikroskopami były mikroskopy świetlne

Historycznie pierwsze mikroskopy były mikroskopami **świetlnymi**. Zasada ich pracy polega na tym, że przez przezroczysty obiekt badań przechodzą promienie światła, które potem trafiają do układu soczewek wielokrotnie powiększających badany obiekt. Budowę mikroskopu świetlnego podano na rycinie 14.2, A.

Świetlny mikroskop umożliwia badanie drobnych obiektów z dość wysoką dokładnością. Przy pomocy szkolnego świetlnego mikroskopu można powiększać obiekty 100–400 razy, a przy pomocy laboratoryjnych – 1000 razy. Jednak istnieje **granica zdolności rozdzielczej** – minimalna odległość między dwoma punktami, kiedy one są jeszcze widoczne jako osobne obiekty. Granice zdolności rozdzielczej wyznacza przyroda fizyczna światła i one nie mogą być pokonane poprzez używanie potężnych soczewek. Teoretyczna granica zdolności rozdzielczej mikroskopu świetlnego wynosi 0,2 μm (porównaj: długość pałeczki jelitowej wynosi około 1–2 m), a maksymalne zwiększenie – około 2000 razy. Zdolność rozdzielcza, która jest mniejsza od wymiaru komórki, pozwala ba-

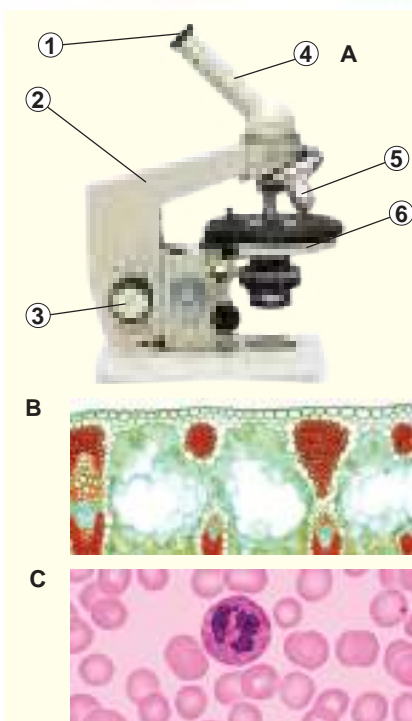
1 Na lekcjach fizyki poznałeś sformułowane przez niego prawo sprężystości – prawo Hook’a.

dać drobne zwierzęta i jednokomórkowe organizmy, budowę tkanek i komórek. Jednak wewnętrzna budowa organelli, bakterii oraz struktura wirusów i cząsteczek jest niedostępna zwykłemu mikroskopowi świetlnemu.

Elektronowe mikroskopowanie – to potężna metoda badań komórki

Teoretyczną granicę rozdzielczej zdolności mikroskopu świetlnego można pokonać, wykorzystując do otrzymywania obrazu nie światło, a wiązkę elektronów. Taki mikroskop będzie nazywać się nie mikroskopem świetlnym, lecz **elektronowym**. On również ma soczewki, lecz nie szklane, a magnetyczne, które zbierają elektrony w wiązki (fokusuja) i rzutują obraz na ekran. Wykorzystanie elektronów pozwala zwiększyć granicę zdolności rozdzielczej mikroskopu do 0,5 nm, co na praktyce zwiększa obraz obiektu 1mln razy i więcej. Jest kilka konstrukcji mikroskopu elektronowego, najbardziej rozpowszechniony – **transmisyjny** i **skaningowy**. W elektronowym mikroskopie transmisyjnym (TEM) wiązka elektronów przechodzi przez bardzo cienki obiekt i rzutuje obraz na ekran (ryc. 14.3). W elektronowym mikroskopie skaningowym przegląda się powierzchnia obiektu punkt po punkcie – wiązka elektronów skanuje obiekt i odbija się od jego powierzchni (ryc. 14.4). Analiza torów odbitych elektronów daje możliwość złożenia obrazu powierzchni obiektu o znacznej głębi ostrości obrazu.

Mimo głębi ostrości obrazów otrzymanych przy pomocy mikroskopu elektronowego, przygotowanie próbek do mikroskopii elektronowej jest dość długotrwałym i trudnym procesem. I, niestety, badanie żywych obiektów z wykorzystaniem mikroskopu elektronowego jest niemożliwe.

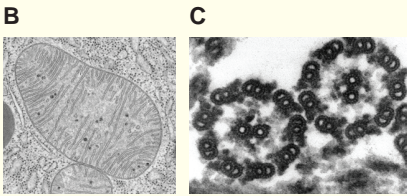


Ryc. 14.2.

A. Budowa mikroskopu świetlnego. 1. Okular. 2. Statyw. 3. Śruba ostrości. 4. Tubus. 5. Obiektyw. 6. Stolik przedmiotowy. **B.** Poprzeczny przekrój liścia kukurydzy. **C.** Krew człowieka: po środku bezjądrowe erythrocyty, po bokach duże leukocyty z segmentowanymi jądrami. Wszystkie preparaty były dodatkowo zabarwione w procesie przygotowania, ponieważ większość tkanek zwierząt i roślin jest bezbarwna.

Fluorescencyjne mikroskopowanie pozwala rekonstruować trójwymiarową budowę komórki

W ostatnich dziesięcioleciach zjawiało się wiele nowych metod mikroskopii świetlnej, które polegają na wprowadzeniu do obiektu specyficznych świetlnych znaków. Są określone substancje nazywane substancjami **fluorescencyjnymi**, które przy oświetleniu światłem jednego koloru zaczynają świecić się innym kolorem (ryc. 14.5).



Ryc. 14.3.

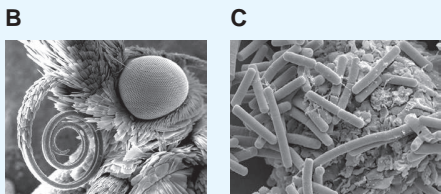
- A.** Współczesny elektronowy mikroskop transmisyjny (TEM).
B. Wygląd mitochondrium w TEM.
C. Poprzeczny przekrój eukariotycznej wici w TEM.

Takimi substancjami fluorescencyjnymi można znakować cząsteczki i obiekty badań, co ułatwia studiowanie wewnątrzkomórkowego położenia cząsteczek, które nas interesują. A udoskonalone metody mikroskopii fluorescencyjnej umożliwiają rekonstrukcję trójwymiarowej budowy obiektów biologicznych!

Fracjonowanie pozwala „rozebrać” komórkę na części

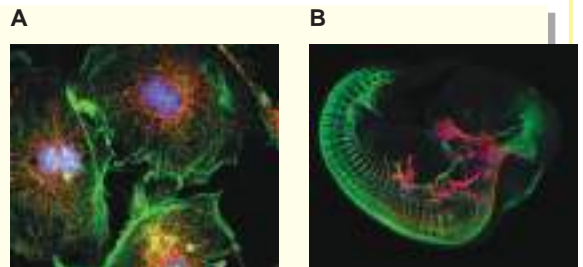
Aby zbadać budowę i funkcję poszczególnych komponentów komórki, należy wyodrębnić je w czystej postaci. Najczęściej dokonują tego za pomocą metody **frakcjonowania**. W celu rozdzielania organelli komórkę uprzednio podrabia się i w specjalnych probówkach umieszcza w wirówce. Wirówka – to przyrząd do rozdzielania składników komórki **pod działaniem siły odśrodkowej**.

W wirówce próbówka z organelami obraca się z wysoką prędkością, wskutek czego powstaje znaczne odśrodkowe przyspieszenie (zwykle od 100 g do 100 tysięcy g, gdzie g – przyspieszenie ziemskie). Siła odśrodkowa, która powstaje wraz z przyspieszeniem odśrodkowym, jest proporcjonalna do masy. Dlatego cięższe komponenty będą jako pierwsze osiadać na dno próbówki, za nimi – lżejsze i najlżejsze. Otóż najpierw osiadną jądra, potem – mitochondria i tak dalej, aż do czasu kiedy jako ostatnie osiadną pęcherzyki obłonione i rybosomy. Rozdzielone organelle można już badać.



Ryc. 14.4.

- A.** Współczesny elektronowy mikroskop skaningowy **B.** Głowa motyla w elektronowym mikroskopie skaningowym
C. Pałeczka jelitowa w elektronowym mikroskopie skaningowym.



Ryc. 14.5.

- A.** Komórki nabłonka **B.** Embrion myszy.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Powstanie teorii komórkowej byłoby niemożliwe bez
A mikroskopu świetlnego B mikroskopu elektronowego C wirówki
D mikroskopu fluorescencyjnego E eksperymentów chemicznych
- 2 W mikroskopie świetlnym można zobaczyć
A budowę wirusa grypy B poszczególne części rybosomu C cząsteczkę białka
D mitochondrium E krateczkę krystaliczną soli
- 3 EMT i EMS różnią się tym, że
A obraz w EMT jest płaski, a w skaningowym – przestrzenny
B w EMS obiekt jest zabarwiony w swoje naturalne kolory
C zwiększenia obiektów zawsze są różne
D w elektronowym mikroskopie transmisyjnym badany obiekt może być żywy
E w elektronowym mikroskopie transmisyjnym do fokusowania wykorzystuje się magnezy, a w skaningowym – szklane soczewki
- 4 Ostatni podczas frakcjonowania będzie osiadać taki komponent komórki, jak
A chloroplast B mitochondrium C wodniczka trawienna D rybosom E jądro

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 5 Na czym polega podobieństwo i różnica mechanizmów, za których pomocą preparaty dla mikroskopii świetlnej i fluorescencyjnej zabarwiają się na różne kolory?
- 6 Dlaczego w biologii powstało zapotrzebowanie na wykorzystanie elektronowego mikroskopu?
- 7 Jaka jest przyczyna wymiany soczewek szklanych na magnetyczne w mikroskopie elektronowym?
- 8 W jakie dodatkowe komponenty trzeba wyposażyć mikroskop świetlny, żeby on pracował jak fluorescencyjny?
- 9 Obejrzyj rycinę 14.2, A i opisz, przez jakie części mikroskopu świetlnego i w jakiej kolejności przechodzi wiązka promieni świetlnych. Jakie elementy dokonują powiększenia obrazu?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 10 Dlaczego komórkowa budowa roślin była odkryta wcześniej niż komórkowa budowa zwierząt?
- 11 Jakie choroby człowieka i w jaki sposób można diagnozować, stosując mikroskopię świetlną?
- 12 Jak można za pomocą frakcjonowania rozdzielać komórki lub duże cząsteczki? Jakie cechy posiada takie rozdzielanie?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13 W 2008 roku grupa naukowców otrzymała Nagrodę Nobla za poznanie struktury i opracowanie sposobów zastosowania zielonego fluorescencyjnego białka. Na czym polega znaczenie tej substancji dla współczesnej biologii?



There are living systems; there is no living „matter”. No substance, no single molecule, extracted and isolated from a living being possess, of its own, the aforementioned paradoxical properties. They are present in living systems only; that is to say, nowhere below the level of the cell.

Jacques Monod





ROZDZIAŁ 3

Zasady funkcjonowania komórki

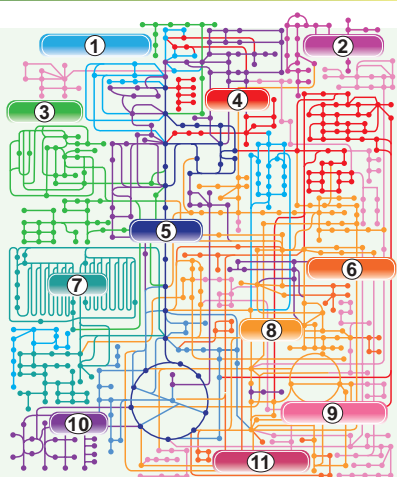


§ 15. Przemiana materii i energii

Przemiana materii – to całokształt reakcji chemicznych w organizmie

Żywy organizm zawiera olbrzymią ilość różnych chemicznych substancji reagujących ze sobą. Organizmy jedne substancje wykorzystują, a inne – wydalają. My wdychamy tlen i wykorzystujemy go do utleniania substancji organicznych, natomiast wydychamy dwutlenek węgla, który przy tym powstaje. Rośliny są zdadne do tworzenia substancji organicznych z dwutlenku węgla i wody, a produktem ubocznym tego procesu jest tlen, który wydziela się do atmosfery. Potrafią również pochłaniać azotany (sole kwasu azotowego), które potem redukują się do grup aminowych aminokwasów, które wejdą w skład białek. W organizmach zwierząt białka roślinne znów rozszczepiają się do aminokwasów, a z tych aminokwasów zwierzęta „budują” własne białka. Sacharoza, którą my spożywamy z poranną herbatą, rozszczepia się do fruktozy i glukozy. Ostatnia może być skierowana bezpośrednio do mózgowia w celu „spalania” lub może dostać się do wątroby, gdzie wejdzie w skład polimeru – glikogenu magazynowanego na przyszłość. Całokształt wszystkich tych oraz innych reakcji chemicznych zachodzących w organizmie, nazywamy **metabolizmem**¹.

Drogi metaboliczne – to rozgałęziona sieć reakcji



Ryc. 15.1. Sieć dróg metabolicznych komórki

- 1, 5. Węglowodany.
2. Unieszkodliwienie substancji obcych.
- 3, 7. Aminokwasy.
9. Witaminy.
10. Metabolizm energetyczny.
11. Substancje specyficzne.

Reakcje zachodzące w organizmie są dość różnorodne. Na ryc. 15.1 podano schemat metabolizmu człowieka.

Patrz: **strona internetowa**.

Poznawszy schemat wszystkich procesów chemicznych zachodzących w organizmie, można zauważyć, że bardzo często reakcje łączą się w kolejności, które mogą być dwóch rodzajów: liniowe i cykliczne (ryc. 15.2). Takie kolejności reakcji chemicznych nazywają się **drogą metaboliczną**. U nich substrat (początkowy komponent drogi metabolicznej, S) przekształca się na produkt drogi metabolicznej (P) poprzez substancje przejściowe (I). Zwykle substancje przejściowe nie pełnią żadnych funkcji biologicznych i ich stężenie w organizmie jest nieznaczne. Tu warto przypomnieć ważną właściwość metabolizmu: przekształcenie substratu na biologicznie aktywny produkt prawie nigdy nie odbywa się jednoetapowo, a tylko przez łańcuszek substancji pośrednich.

Drogi metaboliczne można klasyfikować na różne sposoby, na przykład według funkcji. Rozpatrzmy podstawowe funkcje dróg metabolicznych w organizmie zwierzęcym.

A. Rozszczepianie cząsteczek pokarmu z wytworzeniem małych cząsteczek – uniwersalnych monomerów.

¹ Od greckiego *metabole* – przekształcenie.

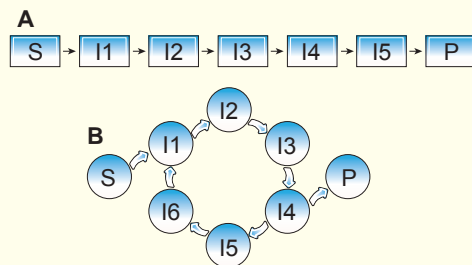
B. Synteza dużych i złożonych cząstecek z uniwersalnych monomerów i monomerów z substancji nieorganicznych.

C. Rozszczepianie uniwersalnych monomerów do nieorganicznych substancji w celu otrzymania energii.

D. Kształtowanie małotoksycznych produktów przemiany i neutralizacja trucizn.

Drogi metaboliczne, które należą do grupy B, często nazywane są **anabolizmem**, a te, które należą do grupy C – **katabolizmem**. Wyraźnego podziału na anabolizm i katabolizm nie istnieje, dlatego te terminy, mimo że są wykorzystywane w literaturze naukowej, można uważać za przestarzałe.

Pod względem ogólnej organizacji metabolizmu żywe organizmy bardzo się różnią, dlatego dalej rozglądniemy podstawowe typy metabolizmu organizmów żywych.



Ryc. 15.2. Dwa rodzaje dróg metabolicznych

A. Kolejność liniowa reakcji
(na przykład glikoliza).

B. Cykliczna droga metaboliczna
(na przykład ciemna faza fotosyntezy).

Auto- i heterotrofy – to dwa sposoby odżywiania w przyrodzie

Wszystkie żywe organizmy są zbudowane z substancji organicznych. Wiadomo nawet, że większość substancji organicznych w atmosferze Ziemi i za granicami biosfery (ropa naftowa, gaz ziemny i gębinowe hydraty gazowe) ma pochodzenie organiczne. Inaczej mówiąc, żywe organizmy – to podstawowi producenci substancji organicznych w biosferze. Jednak nie wszystkie żywe organizmy potrafią syntezować substancje organiczne z nieorganicznych. Niektóre organizmy muszą wchłaniać inne substancje organiczne do zapewnienia swego zapotrzebowania na substraty do syntezy. Organizmy, które są zdolne do syntezywania substancji organicznych z nieorganicznych (z dwutlenku węgla) nazywają się **autotrofami**, a te, które powinny pochłaniać już gotowe substancje organiczne – **heterotrofami**. Do autotrofów należy wiele przedstawicieli sinic i zielonych roślin, a do heterotrofów – grzyby i zwierzęta.

Foto- i chemotrofy różnią się pod względem wykorzystywania źródła energii

Wszystkim organizmom do zapewnienia czynności życiowych niezbędna jest energia. Jednak źródła tej energii są różne. Mogą to być chemiczne reakcje substancji, wchłanianych przez organizmy. Takie organizmy nazywają się **chemotrofami**. A inne organizmy są zdolne do wykorzystywania światła słonecznego jako źródła energii. Takie organizmy nazywają się **fototrofami**.

W zależności od źródła energii i substancji organicznych można wyodrębnić różne typy metabolizmu, podane w tabeli 15.1 i na rycinie 15.3. Zwierzęta, grzyby, część pierwotniaków (na przykład pełzak, zarodziec malarii) i bakterii, niektóre rośliny-pasożyty nie są zdolne do samodzielnego syntezywania substancji organicznych z dwutlenku węgla. Jako źródło energii one wykorzystują reakcje chemiczne pochłoniętych cząstecek (na przykład, „spalanie” cząsteczek pokarmu tlenem). Takie organizmy nazywane są **chemoheterotrofami**. Rośliny zielone, glony, sinice potrafią przyswajać energię Słońca i syntezować substancje organiczne z dwutlenku węgla i wody. Takie organizmy są **fotoautotrofami**.



Ryc. 15.3. Różnorodność organizmów o różnych sposobach odżywiania

A. Typowy chemoheterotrof w naturalnym środowisku życia. **B.** Łuskiewnik – roślina-pasożyt, chemoheterotrof. **C.** Typowy fotoautotrof. **D.** Bakteria *Nitrosomonas*, chemoautotrof. **E.** Bakteria *Chloroflexi*, fotoheterotrof. **F.** Klejnotka miksotrof.

Fotoautotrofy i chemoheterotrofy – to dwie najbardziej rozpowszechnione wśród istot żywych strategie metaboliczne. Jednak spotykają się bardziej niezwykle połączenia. Na przykład niektóre glebowe bakterie zdolne są do otrzymywania energii w procesie utleniania związków amonowych do azotynów i azotanów i przy tym syntezowania substancji organicznych z dwutlenku węgla. A więc te bakterie są **chemoautotrofami**. Jeszcze dziwniejszy metabolizm mają bakterie typu *Chloroflexi*: one wykorzystują energię światła słonecznego, jednak zmuszone są pochłaniać organiczkę z otaczającego środowiska. Są więc przykładem bakterii **fotoheterotroficznych**.

Tabela 15.1. Klasyfikacja organizmów ze względu na źródło energii i substancji

	Autotrofy	Heterotrofy
Fototrofy	Fotoautotrofy (większość roślin i glonów)	Fotoheterotrofy (bakterie typu <i>Chloroflexi</i>)
Chemotrofy	Chemoautotrofy niektóre bakterie glebowe)	Chemoheterotrofy (zwierzęta i grzyby)

Warto zaznaczyć, że ta klasyfikacja nie jest absolutna: w zależności od warunków środowiska zewnętrznego niektóre organizmy potrafią zmieniać swoją strategię metaboliczną. Klejnotka na świetle potrafi syntezować substancje organiczne z dwutlenku węgla, zachowując się jak fotoautotrof, lecz w ciemnościach zmuszona jest do pochłaniania substancji organicznych ze środowiska jako chemoheterotrof. Takie żywe organizmy nazywają się **miksotrofami**.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1 W procesach fotosyntezy i oddychania biorą udział gazy

1) O_2 , 2) N_2 , 3) CO , 4) NO_2 , 5) CO_2 .

A 1 i 2

B 2 i 3

C 3 i 4

D 4 i 5

E 1 i 5

2 Drogi metaboliczne, które zwykle zaliczamy do anabolizmu powiązane są z

A rozszczepieniem cząsteczek jedzenia

B syntezą dużych i złożonych cząsteczek z uniwersalnych monomerów

C reakcjami, które sprzyjają gromadzeniu się energii w komórce

D tworzeniem małotoksycznych produktów przemiany materii

E powstaniem substancji nieorganicznych z uniwersalnych monomerów

3 Do heterotrofów z podanych niżej organizmów należą



A 1 i 2

B 2 i 3

C 3 i 4

D 4 i 5

E 1 i 5

4 Niektóre bakterie glebowe zdolne są do przyswajania energii, utleniając związki amoniaku do azotynów i azotanów i przy tym syntezowania substancji organicznych z dwutlenku węgla. One są

A fototrofami

B fotoheterotrofami

C chemoheterotrofami

D chemoautotrofami

E miksotrofami

5 Zawłotnia jest zdolna do fotosyntezy na świetle i oprócz tego do wchłaniania substancji organicznych całą powierzchnią ciała. Opierając się na to, można wyciągnąć wnioski, że zawłotnia – to

A fototrof

B fotoheterotrof

C chemoheterotrof

D chemoautotrof

E miksotrof

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

6 Dlaczego bez przemiany materii życie jest niemożliwe?

7 Na jakie rodzaje można podzielić drogi metaboliczne zachodzące w organizmie? Jaka zasada jest przyjęta za podstawę przytoczonego systemu? Jak jeszcze można klasyfikować drogi metaboliczne?

8 Na czym polega zasadnicza różnica między autotrofami i heterotrofami? Przytocz przykłady organizmów, które należą do tych grup. Wyznacz charakterystyczne cechy ich budowy, uwarunkowane typem odżywiania.

9 Podaj charakterystykę różnorodności typów odżywiania organizmów. Na podstawie czego wyodrębnia się te typy? Przytocz przykłady organizmów należących do każdej z wymienionych przez siebie grup.

10 Niektóre organizmy odżywiają się miksotrofowo. Co to oznacza? Jakim wymaganiom muszą odpowiadać takie organizmy?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

11 Na czym polegają wady i zalety liniowych i cyklicznych dróg metabolicznych? W jakich przypadkach organizmowi wygodniej jest stosować jedno, a w jakich – drugie?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

12 Rośliny i zwierzęta niby przedstawiają dwa światy: autotrofów i heterotrofów. Jednak, jak zwykle bywa w żywej przyrodzie, są wyjątki. Przytocz przykłady i podaj opis ich biologii.

13 Być miksotrofami jest wygodnie: w obecności światła – one są syte, w obecności gotowych substancji organicznych – mają zapewniony pokarm. Dlaczego więc tak mało organizmów odżywia się miksotrofowo?

§ 16. Rozszczepienie substancji

Substancje pokarmowe rozszczepiają się w układzie trawiennym

W poprzednim paragrafie dowiedzieliśmy się, że zwierzęta nie są zdolne do samodzielnego syntezowania substancji organicznych z dwutlenku węgla i wody, dlatego muszą otrzymywać je z pokarmem. W tym paragrafie dowiemy się, co zachodzi z cząsteczkami pokarmu, który był spożyty przez człowieka. Najpierw trzeba zaznaczyć, że pokarm zawiera wiele polimerów (białek i polisacharydów), które komórki jelita cienkiego nie mogą bezpośrednio wchłoniąć. Dlatego te substancje muszą być rozszczepione na monomery (aminokwasy i monosacharydy odpowiednio). Tłuszcze też nie mogą wchłaniać się bez uprzedniego rozszczepienia, dlatego one rozszczepiają się do kwasów tłuszczowych i glicerolu. Właśnie te procesy opiszemy.

Rozszczepienie białek rozpoczyna się w żołądku

Pokarm białkowy jest podstawą racji żywieniowej człowieka, lecz zawartość białek w pokarmie znacznie różni się w różnych kulturach narodowych: bardzo bogata w białko jest kuchnia Azji Środkowej, natomiast biedna – kuchnia polinezyjska i kuchnia aborygenów afrykańskich. W układzie trawiennym rozszczepienie białek zachodzi etapowo. Początkowe etapy rozszczepienia białek zachodzą w żołądku. Tu, w środowisku kwaśnym u białek niszczy się struktura trójwymiarowa i zachodzi rozszczepienie początkowe enzymem **pepsyną**. Przy tym cząsteczka białkowa rozszczepia się na krótsze łańcuszki aminokwasowe, lecz nie do wolnych aminokwasów. Potem powstałe łańcuszki aminokwasowe dostają się do jelita cienkiego. Tu, w środowisku słabozasadowym na nie oddziałuje enzym **trypsyna** i **chymotrypsyna** produkowane przez trzustkę. Praca tych enzymów prowadzi do powstania jeszcze krótszych łańcuszków aminokwasowych (2–20 aminokwasów). Ostatecznego rozszczepienia tych skróconych łańcuszków do aminokwasów dokonują inne enzymy jelita cienkiego. Tylko wolne aminokwasy mogą wchłaniać się komórkami jelita cienkiego i dostawać do krwi¹.

Rozszczepienie węglowodanów zachodzi w kilku etapach

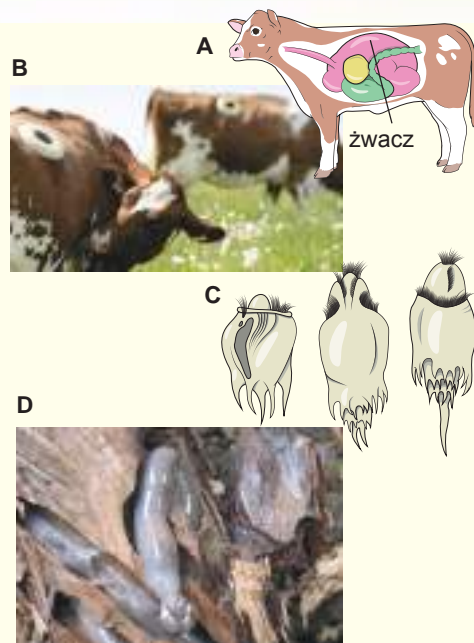
Pokarm zawiera różnorodne węglowodany: polisacharydy (takie jak skrobia i błonnik), disacharydy (takie jak sacharoza i laktoza), a także monosacharydy, z których najważniejszy – to glukoza. Zawartość względna wolnej glukozy w pokarmie zwykle jest niewielka, a większość węglowodanów znajduje się w postaci di- i polisacharydów. Jak i w przypadku aminokwasów, komórki nabłonka jelita cienkiego są zdolne do wchłaniania tylko monosacharydów, dlatego di- i polisacharydy muszą być rozszczepione w układzie trawiennym. Disacharydy rozszczepiają się w jelicie cienkim: sacharozę rozszczepia enzym **sacharaza**, a laktozę – **laktaza**. Warto przypomnieć, że zwykle laktaza u ssaków powstaje tylko w okresie odżywiania się mlekiem matki, z wiekiem jej produkcja ustaje i ssaki tracą zdolność do przyswajania mleka. W niektórych populacjach ludzkich laktaza tworzy się w ciągu całego życia (patrz: dodatek II).

1 To stwierdzenie nie jest całkiem prawidłowe. Niektóre białka potrafią dostawać się do krwi ze światła jelita cienkiego w całości, nie rozszczepiając się. Takie jest na przykład białko mleka laktoferyna, która bierze udział w przeniesieniu żelaza od matki do niemowlęcia, a także w ochronie przeciw bakteriom i wirusom. Jednak taki przykład przeniesienia białek jest raczej wyjątkiem niż regułą.

Rozszczepienie polisacharydów zachodzi bardziej skomplikowanie i w kilku etapach. Jako przykład rozpatrzmy rozszczepienie skrobi zawartej w wielu produktach żywnościowych. Początek rozszczepienia skrobi zachodzi już w jamie ustnej, ponieważ ślina zawiera enzym **amylazę**. Amylaza rozszczepia łańcuchy skrobi na krótsze. W jelicie cienkim one są poddawane działaniu amylazy trzustkowej. Tu zachodzi rozszczepienie krótkich łańcuchów do disacharydu **maltozy**, złożonej z dwóch reszt glukozy. Enzym **maltaza** rozszczepia maltozę do glukozy.

Jak już wiemy, większa część glukozy w biosferze znajduje się w składzie błonnika. Enzym **celulaza**, który zawierają niektóre bakterie, pierwotniaki i grzyby, rozszczepia błonnik. Zwierzęta kręgowce celulazy nie posiadają. Jednak zwierzęta roślinożerne przyswajają błonnik dzięki obecności w ich układzie trawiennym organizmów symbiotycznych. Te organizmy preferują życie w środowisku beztlenowym. U ssaków roślinożernych drobnoustroje symbiotyczne rozszczepiające błonnik mieszkają w jelicie grubym i ślepy (jak u nieparzystokopytnych iającokształtnych) lub w wyspecjalizowanym odcinku przełyku (jak u przeżuwaczy parzystokopytnych). Na przykład żwacz¹ krowy zajmuje całą lewą stronę jamy brzusznej i sięga objętości 300 litrów (ryc. 16.1).

W żwaczu kształtuje się unikalny ekosystem drobnoustrojów. Większość „mieszkańców” żwacza stanowią bakterie, które rozszczepiają błonnik i wchłaniają glukozę. Nimi odżywiają się różnorodne pantofelki, które też mieszkają w żwaczu przeżuwaczy. Właśnie te pantofelki są podstawowym „pokarmem” przeżuwaczy. Można powiedzieć, że krowa „odżywia” się nie tyle trawą, co biomasą drobnoustrojową, którą ona „hoduje” w swoim żwaczu.



Ryc. 16.1.

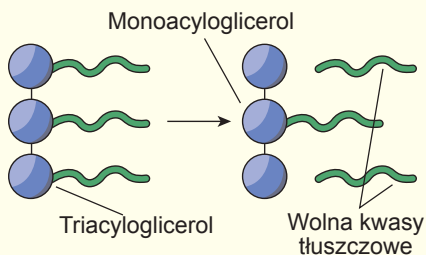
A. Budowa czterooddziałowego „żołądka” krowy z dużym żwaczem.

B. Krowy z przetokami w boku, które są połączone ze żwaczem, umożliwiają badanie procesu trawienia.

C. Podstawowy „pokarm” krowy – pantofelki (2 mln/ml) zamieszkujące w żwaczu.

D. Świdrak okrętowy - niezwykle małż odżywiający się drewnem. On nie tylko zawiera w układzie trawiennym drobnoustroje symbiotyczne trawiące błonnik, lecz i wytwarza własną celulazę. Chociaż małż jest szkodnikiem niszczącym drewniane statki, jednak ma wielkie znaczenie dla przyrody: niszczy martwe drewno w Oceanie Światowym.

1 Często żwacz rozpatrywany jest jako pierwszy oddział żołądka czterooddziałowego, lecz prawdziwemu żołądkowi odpowiada tylko ostatni oddział – trawieniec.



Ryc. 16.2. Rozszczepienie tłuszczów obojętnych przez lipazę trzustkową

Do rozszczepienia tłuszczów niezbędna jest ich emulgacja

Tłuszcze też są ważną częścią racji żywieniowej zwierząt. Szczególnie warto wspomnieć o wysokiej energetycznej wartości tłuszczów. „Spalanie” jednego grama tłuszczu daje znacznie więcej energii niż „spalanie” jednego grama białka lub węglowodanu. Jednak tłuszcze są trudno przyswajalne. Jak wiemy, tłuszcze są cząsteczkami niepolarnymi formującymi w roztworze wodnym krople tłuszczowe. Takie krople nie mogą być wchłaniane przez komórki nabłonka jelita cienkiego. Duża niepolarna cząsteczka tłuszczu nie

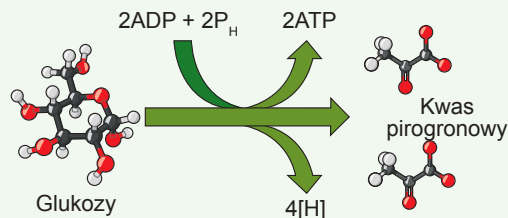
może przedostać się przez warstwę polarnych główek na powierzchnię błony komórkowej. Dlatego enzym **lipaza** rozszczepia cząsteczkę tłuszczu w jelicie cienkim i dopiero potem ona jest wchłaniana przez komórki jelita (ryc. 16.2).

Enzym lipazę wydziela trzustka. Jak i wiele innych enzymów, ona jest cząsteczką rozpuszczalną w wodzie, dlatego może rozszczepić tłuszcze tylko na powierzchni tłuszczowych kropeł. Oczywiście, że szybkość takiego procesu będzie ograniczona powierzchnią tłuszczowych kropeł. Do zwiększenia powierzchni są niezbędne **kwasy żółciowe**, utworzone przez wątrobę. Kwasy tłuszczowe emulgują tłuszcze – rozbijają duże tłuszczowe krople na drobne, znacznie zwiększając powierzchnię dostępną lipazie. Komponenty, które powstały wskutek rozszczepienia tłuszczów pokarmu nadchodzą do komórek nabłonka jelita cienkiego, gdzie z nich znów syntezują się cząsteczki tłuszczów. Takie cząsteczki w retikulum endoplazmatycznym zbierają się w specjalne krople, które wydzielają się z przeciwległej strony komórki. Jednak dostają się one nie do krwi, a do limfatycznych naczyń włosowatych. Dopiero potem z prądem limfy krople dostają się do układu krwionośnego w żyłach szyi i żyłe próżnej górnej.

Wewnątrzkomórkowe utlenianie glukozy zachodzi w kilku etapach

W poprzednich rozdziałach przypomnieliśmy, że di- i polisacharydy, które dostają się do układu trawiennego, są rozszczepiane przez enzymy do monosacharydów, z których najważniejszy – to glukoza. Glukoza przez komórki nabłonka jelita cienkiego dostaje się do krwi i roznosi się po organizmie. W środku komórki z glukozą mogą zająć takie zmiany:

1. Ona może całkiem utlenić się do dwutlenku węgla i wody. Przy tym będzie zmagazynowana energia w postaci ATP. Ten proces zachodzi w obecności tlenu i nazywa się **oddychaniem**.
2. Ona może przekształcić się w kwas mlekowy podczas **fermentacji**. Do tego procesu tlen nie jest potrzebny, a ATP tworzy się mniej niż przy oddychaniu.



Ryc. 16.3. Ogólny schemat glikolizy

P_H – ortofosforan.

Jakub Parnas

Urodził się w roku 1884 w Mokrzanach, koło Drohobycza w obwodzie lwowskim. Wychowanie otrzymywał we Lwowie, Strasburgu, Zurichu. Był wykładowcą na uniwersytetach Strasburga, Warszawy, Lwowa. Podstawowe naukowe osiągnięcia uczonego – w dziedzinie biochemii wymiany węglowodanowej. Najbardziej znany jest na świecie z odkrycia procesów rozszczepienia glikogenu w mięśniach i wykrycia poszczególnych reakcji glikolizy, która jest nazywana schematem EMP (schemat Embdena-Meyerhofa-Parnasa). Po sowieckiej okupacji Zachodniej Ukrainy w 1939 roku miał możliwość na zaproszenie kolegów wyjechać do Londynu lub Nowego Jorku, lecz został we Lwowie. Po wybuchu wojny niemiecko-sowieckiej został ewakuowany do Ufy, a w 1943 roku został przeniesiony do Moskwy. W Moskwie stał się jednym z założycieli Akademii Nauk Medycznych ZSRR, założycielem i dyrektorem Instytutu Biologicznej i Medycznej Chemii. Prowadził ogromną pracę edukacyjną, organizując każdego czwartku seminaria z udziałem wybitnych biochemików, fizjologów, medyków. Na początku 1949 roku został aresztowany przez MGB w związku ze sprawą Żydowskiego Komitetu Antyfaszystowskiego niby za działalność wywiadowczą na rzecz innego państwa. Wszystkie zarzuty przeciwko Parnasowi były sfabrykowane i nie były potwierdzone. W tym czasie uczoney chorował na cukrzycę i niewydolność układu krążenia. W styczniu 1949 roku Jakub Parnas zmarł w czasie przesłuchania na zawał serca. Tak zapisano w dokumentach KGB, a jak było naprawdę, do dziś nie wiadomo. Nie wiadomo też, gdzie został pochowany wybitny uczoney. Obecnie co dwa lata Ukraińskie Towarzystwo Biochemiczne i Polskie Towarzystwo Biochemiczne przeprowadzają konferencję naukową poświęconą pamięci wybitnego uczonego.



3. Ona może przekształcić się na inne monosacharydy, a także na lipidy i aminokwasy.
4. Ona może być przekształcona na polimer glikogen, w którego postaci przechowywane jest w cytoplazmie. Najczęściej glikogen magazynuje się w wątrobie i mięśniach szkieletowych. Przy zapotrzebowaniu organizmu na glukozę glikogen znów się rozszczepia.

Początkowym etapem utleniania glukozy jest **glikoliza** – rozszczepienie jednej cząsteczki glukozy do dwóch cząsteczek **kwasu pirogronowego**. Ten proces w całości zachodzi w cytoplazmie komórki. Jest to liniowa droga metaboliczna, włączająca 10 kolejnych reakcji. Schemat glikolizy podano na rycinie 16.3.

Zauważyłeś, że w tym procesie tlen udziału nie bierze. Jeżeli dokładniej przyjrzymy się do schematu glikolizy, to zauważymy, że dwie cząsteczki kwasu pirogronowego zawierają tyle węgla i tlenu, ile jedna cząsteczka glukozy, jednak nie wystarcza czterech atomów wodoru. Te cztery atomy wodoru przechodzi na specjalny przekaźnik. W następnym paragrafie dowiemy się, co odbywa się dalej z tymi atomami wodoru, a także jak cząsteczki kwasu pirogronowego utleniają się do dwutlenku węgla. I w tym procesie już będzie uczestniczył tlen.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Cząsteczki polimerowe nie powinny dostawać się do wewnętrznego środowiska organizmu – krwi i limfy, dlatego rozszczepiają się na monomery. Zachodzi to w
- A układzie krwionośnym B układzie trawiennym C układzie wydalniczym
D układzie oddechowym E układzie odpornościowym

- 2** Kwaśne środowisko soku żołądkowego sprzyja
- 1) niszczeniu trójwymiarowej struktury cząsteczki białka;
 - 2) aktywacji pepsyny;
 - 3) emulgacji tłuszczów.
- A** 1 i 2 **B** 2 i 3 **C** 1 i 3 **D** tylko 1 **E** 1, 2 i 3

- 3** W układzie trawiennym lipidy pokarmu są emulgowane. Głównym celem tego procesu jest
- A** ułatwienie wchłaniania lipidów przez błony
 - B** sformowanie grudeczki pokarmowej
 - C** sprawienie, że cząsteczki pokarmu będą niedostępne dla jelitowej mikroflory
 - D** zwiększenie powierzchni kropelek lipidowych
 - E** zwiększenie powierzchniowego napięcia lipidów

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 4** Ludzie, jak i inne zwierzęta, potrzebują nadchodzenia do organizmu substancji organicznych. W jakim celu ludzie powinni regularnie otrzymywać substancje organiczne?
- 5** Dlaczego przed wchłanianiem do komórek organizmu białka rozszczepiają się na aminokwasy? Czy tylko duże rozmiary cząsteczek białkowych ograniczają ich wchłanianie? Jeżeli nie, to przyczyną jest?
- 6** Czy każdy pokarm trzeba żuć? A jeżeli można go łatwo połknąć, jak na przykład rzadką kaszę manną lub owsianą? Uzasadnij odpowiedź, uwzględniając skład pokarmu i fizjologię trawienia.
- 7** Jakich trudności doświadczają zwierzęta, odżywiające się trawą i drewnem? Dlaczego prawie wszystkie one hodują w swoim układzie trawiennym drobnoustroje symbiotyczne? Cóż więc jest pokarmem krowy?
- 8** Najbardziej rozpowszechniony w przyrodzie żywej monosacharyd – to glukoza. Jakie są możliwe drogi jej wykorzystania przez organizm człowieka?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 9** Krowy mają wielu symbiontów w swoich żwaczach, króliki – w jelicie ślepym. A w jaki sposób symbionty tam dostają się, przecież te zwierzęta nie rodzą się z już zasiedlonym układem trawiennym?
- 10** Wiadomo, że żółć sprzyja emulgacji tłuszczów, co umożliwia ich rozszczepienie. Jakie substancje żółci są odpowiedzialne za ten proces? Jakie osobliwości cząsteczek żółci umożliwiają taką niezwykłą funkcję?

Dowiedz się samodzielnie i powiedz innym

- 11** Celulaza – to enzym, który mają nieliczne organizmy. A dlaczego? O ile by było prościej żyć, gdybyśmy się odżywiali drewnem, trocinami, papierem. Spróbuj wyjaśnić nieznaczne rozpowszechnienie takiego korzystnego enzymu w świecie zwierzęcym.
- 12** Uwzględniając energetykę procesu, wyjaśnij, dlaczego od glukozy podczas glikolizy odszczepia się wodór, a nie węgiel lub tlen.

§ 17. Biochemiczne mechanizmy oddychania

Tlen w organizmie wielu zwierząt tworzy kompleks z hemoglobiną

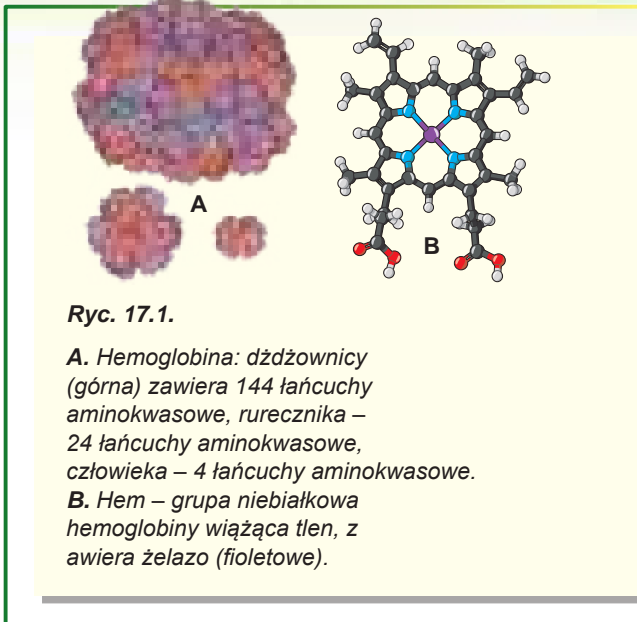
Jak wyjaśniliśmy już wcześniej, pełne utlenienie glukozy przez zwierzęta niemożliwe jest bez udziału tlenu. Żeby ten proces odbył się, on musi być dostarczony do komórki organizmu. U wielu niewielkich organizmów tlen dostaje się ze środowiska do komórki drogą dyfuzji prostej. Jednak ze zwiększeniem wymiarów organizmu dyfuzja przestaje być efektywnym sposobem dostarczania tlenu. Wielkie organizmy posiadają specjalne przenośniki tlenu – białka, u których jest niebiałkowy (czyli taki, który nie składa się z reszt aminokwasowych) komponent, tworzący kompleks z cząsteczką tlenu. Przykładem takich białek jest hemoglobina¹ – multimerowe (czyli takie, które składa się z kilku łańcuchów aminokwasowych) białko, które zawiera grupę niebiałkową – **hem** (ryc. 17.1). Hemoglobina zwierząt kręgowych złożona jest z czterech łańcuchów aminokwasowych i znajduje się w erytrocytach. U bezkręgowców hemoglobiny mogą składać się z większej ilości łańcuchów aminokwasowych i znajdować się przeważnie w osoczu krwi.

Hemoglobiny są zdolne do wchłaniania tlenu w płucach, wilgotnej skórze lub skrzelach, jeżeli jego zawartość tam jest wysoka, a potem oddawania w tkankach. Otóż, tlen zagarnięty ze środowiska, okazuje się być połączony z białkiem-przenośnikiem i może z potokiem krwi lub innego płynu być dostarczony komórkom organizmu.

Na osobne rozpatrzenie zasługuje układ oddechowy owadów. Zazwyczaj komórki dorosłych owadów nie posiadają pigmentów oddechowych i tlen transportuje się do tkanek drogą dyfuzji siecią cieniutkich rureczek – tchawek. Tchawki dochodzą bezpośrednio do komórek organizmu i dostarczają im tlen. Jednak taka budowa układu oddechowego ogranicza wymiary owadów².

Odszczepienie wodoru od cząsteczek substancji odżywczych – to sposób otrzymania paliwa aerobowego

W poprzednim paragrafie zatrzymaliśmy się na tym, że cząsteczki glukozy w cytoplazmie komórki utleniają się do dwóch cząsteczek kwasu pirogronowego, przy tym syntezuje się dwie cząsteczki ATP i odszczepia się cztery atomy wodoru. Wodór – to bardzo dobre paliwo z punktu widzenia energetyki.



1 Hemoglobiny nie są jedynymi białkami-przenośnikami tlenu. Oprócz nich u zwierząt zdarzają się hemoerytryny (zawierają jon żelaza poza kompleksem z hemem), hemocyjaniny (zawierają miedź, wraz z tlenem nadają krwi błękitnego koloru), a niektóre morskie robaki zawierają bonelinę, która nadaje płynom ich ciała zielonego koloru.

2 Spróbuj wyjaśnić, dlaczego taka budowa układu oddechowego ogranicza wymiary ciała owadów. Najpierw zastanów się, jak maksymalnie głęboko może zanurzyć się uczeń dziewiątej klasy z rurką do nurkowania.

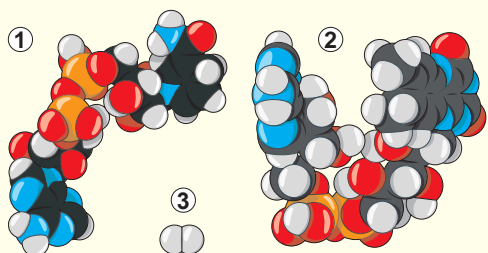


Рис. 17.2. NAD⁺ (1), FAD (2) і часточка водору (3) в одній шкалі

Można go utlenić tlenem (być może, widziałeś takie doświadczenie na lekcjach chemii) z wydzielaniem dużej ilości energii. Tej energii ma wystarczyć na syntezę około trzech cząsteczek ATP (a to, zauważmy, nie jest mało). Zadanie komórki – delikatnie utlenić wodór tlenem do wody (niebezpiecznie – to eksplozja mieszaniny piorunującej, czego żywe organizmy sobie nie mogą pozwolić). Tu powstaje problem.

Wodór – to cząsteczka bardzo mała i obojętna (jak nie paradoksalnie, lecz cząsteczka H₂ jest mniejsza od pojedynczego atomu wodoru), z którą enzymom pracować jest bardzo ciężko. Dlatego byłoby stosownie „osadzić”

cząsteczkę wodoru na przenośniku, z którym potem będą pracować enzymy.

Do rozstrzygnięcia tego problemu w komórce są specjalne przenośniki wodoru. Przykładami takich przenośników mogą być NAD⁺ i FAD. Na rycinie 17.2 podano te dwa przenośniki w jednakowej skali z cząsteczką wodoru. Enzymowi znacznie łatwiej trzymać się dużej polarnej cząsteczki przenośnika podczas pracy z wodorem.

Dlatego cztery atomy wodoru uwalniające się podczas glikolizy, są wychwytywane przenośnikami, w tym przypadku NAD⁺. „Wychwycony” wodór będzie potem utleniony do wody z wydzielaniem energii. Zanim będziemy rozpatrywać ten ciekawy proces, warto odpowiedzieć sobie na jeszcze jedno pytanie: jaki jest los kwasu pirogronowego powstającego z glukozy?

Kwas pirogronowy powinien utlenić się do dwutlenku węgla. Dlatego on kieruje się do mitochondrium, gdzie od niego odłącza się cały wodór. On dostaje się na te same przenośniki – NAD⁺ i FAD, a trzy atomy węgla utleniają się do trzech cząsteczek dwutlenku węgla. Następnie dwutlenek węgla będzie wyprowadzony z organizmu i w komórce od glukozy zostanie tylko wodór „siedzący” na przenośnikach. Właśnie jego komórka będzie „spalać” tlenem w mitochondriach.

Utlenienie wodoru tlenem zachodzi w mitochondriach

A teraz rozpatrzmy najciekawszy etap procesu oddychania u zwierząt. Wodór, który powstał w poprzednich etapach oddychania (podczas glikolizy i utlenienia kwasu pirogronowego) i połączony jest z przenośnikami, gotowy jest utlenić się tlenem. Ta reakcja zachodzi z wydzielaniem dużej ilości energii. Właśnie ją organizmy żywe próbują wychwycić i wykorzystać do swoich potrzeb.

Wyjaśnić uwalnianie energii można następująco. Elektron obracający się wokół jądra atomu wodoru posiada dość duży zapas energii. Jednak w cząsteczce wody ten elektron jest związany z tlenem – bardzo elektroujemnym atomem, który ma jądro ze znacznym dodatnim ładunkiem. Elektron, który znajduje się w pobliżu takiego jądra, ma mniejszą energię. Otóż elektron, przechodząc z cząsteczki wodoru na cząsteczkę wody, gubi dużą ilość energii. I tu też powstaje problem.

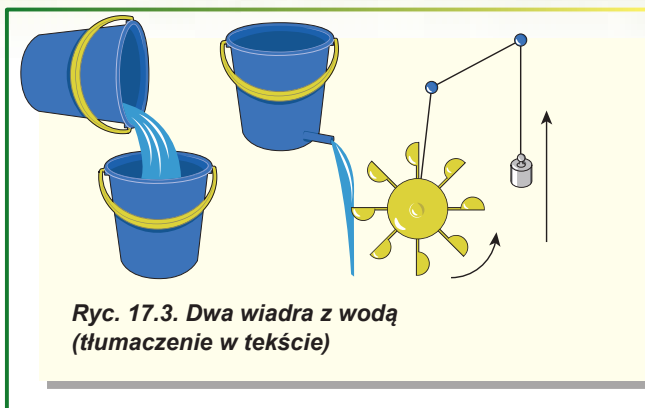
Zwykle spalanie wodoru w tlenie – to burzliwa reakcja, której towarzyszy wydzielanie dużej ilości energii w postaci ciepła. Jednak ciepło – to energia, którą żywy organizm może wykorzystać tylko do ogrzewania. Żeby wychwycić maksymalną ilość korzyst-

nej energii i wykorzystać ją do syntezy ATP (inaczej mówiąc, zwiększyć współczynnik sprawności wykorzystania energii substancji odżywczych), utlenienie ma zachodzić stopniowo w kilku etapach. Wydzielanie ciepła na każdym etapie będzie obniżać się i maksimum energii będzie skierowane na syntezę ATP. Tę zasadę można zilustrować przykładem.

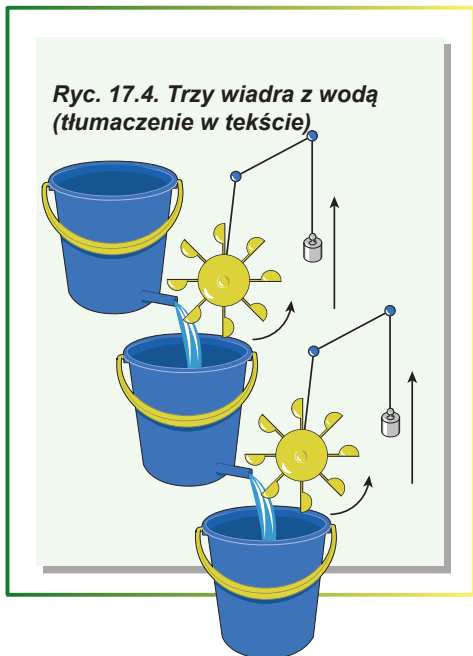
Wyobraźmy sobie, że my mamy dwa wiadra z wodą, przy tym jedno rozmieszczone jest wyżej od drugiego (ryc. 17.3). Oczywiście, że woda w górnym wiadrze ma większą energię potencjalną niż woda w dolnym; przepływając z jednego wiadra do drugiego ona tę energię traci. W najprostszym przypadku ta energia rozprasza się w postaci ciepła. Jednak możemy umieścić w kierunku ruchu tego strumienia niewielką turbinę. Ciekąca woda wprowadza turbinę w ruch i ciężar podnosi się – turbina będzie mogła wykorzystać część energii i skierować ją na wykonanie wydajnej pracy.

Jednak znaczna ilość energii jeszcze będzie rozpraszać się w postaci ciepła. Jeżeli chcemy otrzymać jeszcze więcej energii od spadającej wody, to postawmy między dwoma wiadrami trzecie (ryc. 17.4). Taki system umożliwi rozmieszczenie już dwóch turbin i wychwycenie jeszcze większej ilości energii. Im więcej turbin będziemy wprowadzać do systemu, tym wyższy będzie jego współczynnik sprawności. Jednak 100% współczynnika sprawności osiągnąć nie potrafimy: ponieważ im więcej turbin będziemy wprowadzać do systemu, tym powolniej w nim będzie płynąć woda. Kiedy w końcu rozmieścimy taką ilość turbin, żeby współczynnik sprawności był 100%, to woda przestanie ciekąć tym układem i całe urządzenie przestanie pracować. Określone zatory energii są więc niezbędne chociażby po to, by proces zachodził.

Właśnie tak pracuje mitochondrium. Tylko rolę wody pełnią tu elektrony, które „biegną” od wodoru do tlenu. A rolę wiader – składniki tak zwanego transportującego elektrony łańcuchu oddechowego, ustawione na wewnętrznej błonie mitochondrium cząsteczki, które kolejnie przyjmują i oddają elektrony. Właśnie dzięki łańcuchowi oddechowemu żywe organizmy rozdzielają proces utleniania wodoru na kilka etapów, przekształcając 40% energii na wydajną pracę.



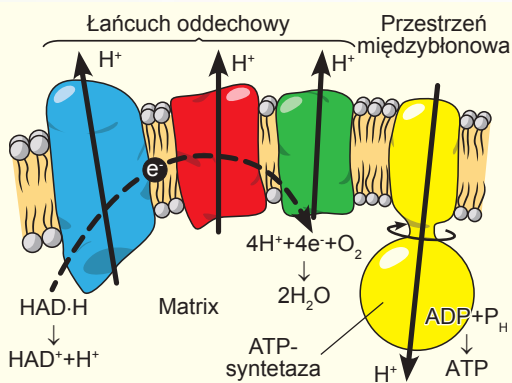
Ryc. 17.3. Dwa wiadra z wodą (tłumaczenie w tekście)



Ryc. 17.4. Trzy wiadra z wodą (tłumaczenie w tekście)

Synteza ATP – to podstawowa funkcja mitochondriów

Pozostało nam ostatnie nierozpatrzone pytanie: jak energia elektronu przenoszonego łańcuchem oddechowym przekształca się na energię związków ATP? Przeniesienie elektronów łańcuchem oddechowym od jednego komponenta do drugiego związane jest z wykonaniem wydajnej pracy – przepompowywaniem protonów (jonów H^+) przez błonę wewnętrzną mitochondrium



Ryc. 17.5. Schemat syntezy ATP w mitochondrium

(ryc. 17.5). Przy tym protony z matrix mitochondrium dostają się do przestrzeni międzybłonowej. Na wewnętrznej błonie powstaje gradient¹ protonów: ich zawartość w przestrzeni międzybłonowej jest większa niż w matrixie. Gdyby błona była przepuszczalna dla protonów, to one by powracały z powrotem do matrixu, a energia rozpraszałaby się w postaci ciepła. Jednak mitochondrium jest urządzone w taki sposób, że proton, który dostaje się do przestrzeni międzybłonowej, nie może tak prosto przejść do matrixu. On musi przechodzić przez unikalne cząsteczkowe urządzenie – **ATP-syntetazę**. Jest to duży kompleks białkowy posiadający kształt grzyba. Przy tym „kapeluszu” zdolny jest do dokonania syntezy ATP z ADP i jonów ortofosforowych.

Ale skąd on bierze energię? Proton, poruszający się z przestrzeni międzybłonowej do matrixu mitochondrium przez ATP-syntetazę, rozkręca jej „trzon”. Ta mechaniczna energia w „kapeluszu” przekształca się na energię wiązań ATP. Video o pracy mitochondriów możesz **przeglądać na stronie internetowej**.....



Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Transportować tlen do komórki tylko dzięki dyfuzji, bez białek-przenośników tlenu może
A człowiek **B** makrela **C** dżdżownica **D** kolibry **E** komar
- 2 Białka-przenośniki tlenu transportują go do organizmu z miejsc
A o dużej jego zawartości do miejsc, gdzie on powstaje
B o niskiej jego zawartości do miejsc, gdzie jego jest dużo
C o dużej jego zawartości do miejsc, gdzie jego jest mało
D o niskiej jego zawartości do miejsc, gdzie jego nie ma
E o dużej jego zawartości do miejsc, gdzie jego też jest dużo
- 3 Do najsukuteczniejszej pracy w łańcuchu oddechowym potrzebna jest:
A minimalna ilość komponentów **B** jeden komponent
C dwa komponenty **D** kilka komponentów
E nieograniczona ilość komponentów
- 4 Do transportu tlenu do komórek kręgowców niezbędny jest pierwiastek chemiczny
A sód **B** fosfor **C** żelazo **D** wapń **E** siarka

1 Gradient – charakterystyka, wskazująca kierunek najszybszego zwiększenia pewnej wielkości, której znaczenie zmienia się od jednego punktu przestrzeni do innego.

- 5** Poprawna kolejność przekazywania energii przy oddychaniu – to
- A glukoza → kwas pirogronowy → NAD·H → łańcuch oddechowy → różnica zawartości protonów po obu stronach wewnętrznej błony mitochondrialnej → ATP
 - B glukoza → NAD·H → łańcuch oddechowy → ATP → tlen
 - C kwas pirogronowy → glukoza → NAD·H → różnica zawartości protonów po obu stronach wewnętrznej strony błony mitochondrialnej → ATP
 - D glukoza → NAD·H → łańcuch oddechowy → różnica zawartości protonów po obu stronach błony cytoplazmatycznej → ATP → tlen
 - E ATP → różnica zawartości protonów po obu stronach wewnętrznej błony mitochondrialnej → łańcuch oddechowy → NAD·H → kwas pirogronowy → glukoza

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Jaka reakcja chemiczna jest źródłem energii do przenoszenia jonów H⁺ przez wewnętrzną błonę mitochondrium? Uzasadnij swój wybór.
- 7** Gdyby energia z wodoru nie wydzielala się etapowo, a od razu, jak by to wpłynęło na żywe organizmy?
- 8** Jakie substancje są końcowymi produktami oddychania zwierząt?
- 9** Współczynnik sprawności (WS) oddychania komórkowego jest wyższy niż silnika benzynowego (jego WS 25-30%), chociaż w obydwu przypadkach paliwo dzięki tlenowi „spala się” z powstaniem tych samych produktów. Jakie osobliwości oddychania zwierząt dają im możliwość podwyższenia WS?
- 10** ATP-syntetaza uważa się komórkowym transformatorem energii. Opisz, z jakiego rodzaju energii i na jaki ten kompleks przekształca energię. Jak on to dokonuje?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** U ssaków, które zapadają w sen zimowy, w brunatnym tłuszczu obniża się efektywność przekształcenia energii z glukozy w energię ATP. Dokąd znika energia, która nie wykorzystuje się do syntezy ATP? W jaki sposób te organizmy obniżają WS oddychania?
- 12** W okresie węglowym geologicznego rozwoju Ziemi istniały olbrzymie owady. Jednak ich układ oddechowy był taki sam, jak u współczesnych owadów. Jakie osobliwości atmosfery Ziemi tego okresu pozwoliły tym owadom stać się olbrzymimi? Jakie inne hipotezy mogą wyjaśnić istnienie takich owadów?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Dzięki mechanicznemu obracaniu ATP-syntetazę można wykorzystać jako silnik cząsteczkowy. W jakim celu i w jaki sposób można wykorzystać taki ATP-syntetazowy silnik?
- 14** Czy są inne sposoby, oprócz w mitochondriach, syntezy ATP w żywych organizmach? Na czym polegają ich zalety i wady w porównaniu z oddychaniem mitochondrialnym?
- 15** Są substancje, które mogą pogarszać lub w ogóle blokować pracę łańcucha oddechowego. Jakie to są substancje, na czym polega ich niebezpieczeństwo i gdzie one znalazły swoje zastosowanie?

§ 18. Fotosynteza

Fotosynteza – to proces, który zmienia atmosferę

Żywe organizmy zasiedlające naszą planetę ciągle ją zmieniają. Jedne organizmy niszczą minerały, żeby dostać się do mikroelementów. Ze szczątków innych powstaje kreda, globigerynowy muł¹, ziemie okrzemkowe. Jednak trudno wyobrazić sobie proces biologiczny, który zmienił naszą planetę bardziej niż fotosynteza, którą dokonują zielone rośliny. Dzięki niej atmosfera zawiera dużą ilość tlenu – 21%. Fotosynteza zabarwiła naszą Ziemię w zielono-błękitne kolory: zielony chlorofil potwierdza zwycięstwo roślin na lądzie, a błękitne niebo i ocean świadczą o czystej atmosferze i hydrosferze, które były oczyszczone tlenem od zabarwionych domieszek nieorganicznych. Warstwa ozonowa, która powstała w atmosferze z tlenu, broni wszystko, co jest żywe przed śmiertelnym ultrafioletowym promieniowaniem, a także zapobiega rozszczepieniu cząsteczek wody. Jakże by powolne nie było rozszczepienie cząsteczek wody pod działaniem ultrafioletu, w ciągu dwu miliardów lat istnienia **tlenowej fotosyntezy** (fotosyntezy, w której procesie powstaje tlen) ten proces mógłby zniszczyć zapas wody w Oceanie Światowym (jak to, być może, zaszło na Marsie). Tlen, który nasycił ponad miliard lat temu Ocean Światowy, utlenił rozpuszczone żelazo dwuwartościowe do nierozpuszczalnych związków trójwartościowego, które wytrąciły się w osad z powstaniem rudy żelaza, którą aktywnie wykorzystuje ludzkość. Tak samo tlen oczyścił ocean od domieszek siarki, a atmosferę – od metanu.

Organizmy fotosyntezujące zaczęły wchłaniać węgiel z krążenia substancji w przyrodzie, gromadząc jego związki w sobie. Tak powstała ropa naftowa, gaz ziemny i węgiel kamienny. Tlen zmienił również przyrodę żywą. Ponieważ on jest najmocniejszym (po fluorze) utleniaczem, żywe organizmy zaczęły go wykorzystywać do oddychania. Utlenianie tlenowe wodoru daje znacznie więcej energii, jak utlenianie żelazem (oddychanie żelazowe), kwasem siarkowym (oddychanie siarczanowe) lub kwasem azotowym (oddychanie azotanowe). A produktem utleniania jest woda. Taki wygodny i efektywny sposób oddychania opisany w poprzednim paragrafie, umożliwił organizmom stać się organizmami większymi i wielokomórkowymi. Można więc stanowczo stwierdzić, że bez tlenu na planecie nie byłoby żywych organizmów bardziej złożonych niż bakterie.

Fotosynteza – to dwa różne, lecz ściśle powiązane ze sobą procesy

Rozpatrzmy fotosyntezę, którą dokonują zielone rośliny, tak zwaną fotosyntezę tlenową, której ubocznym produktem jest tlen. Warto zaznaczyć, że taki typ fotosyntezy jest najbardziej złożony ze wszystkich istniejących². Fotosynteza stanowi dwa różne, lecz powiązane ze sobą procesy.

1. Wychwytywanie energii słonecznej i przekształcenie jej na energię wiązań chemicznych ATP do zapewnienia potrzeb energetycznych organizmu.
2. **Fotoliza** wody – rozszczepienie cząsteczek wody pod działaniem światła z powstaniem tlenu. Podczas fotolizy od wody odszczepiają się elektrony, protony i

1 Podstawowa odmiana wapiennego (węglanowego) mułu składa się z pancerzyków kilku rodzajów otwornic. Pokrywa od 30% powierzchni dna Oceanu Światowego.

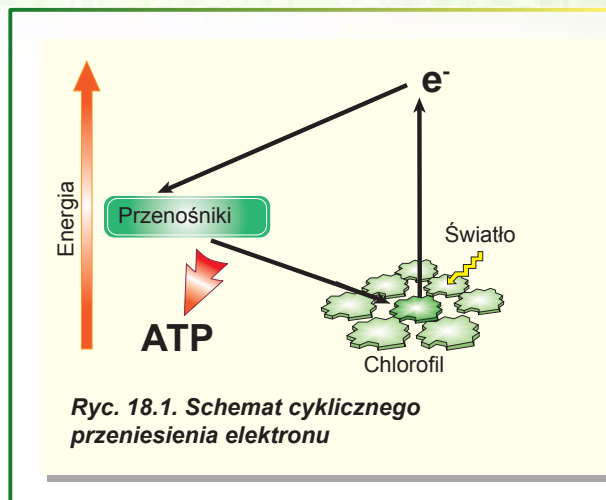
2 Większość typów fotosyntezy zachodzi bez wydzielania tlenu. U niektórych prokariotów fotosynteza nawet nie jest powiązana z reakcjami redukcji-utleniania (redox). Dalej termin „fotosynteza” będzie rozumiany właśnie jako tlenowa fotosynteza.

powstaje tlen cząsteczkowy. Nadal elektrony wykorzystuje się do redukcji różnych związków – azotanów do amoniaku, siarczany do siarczynów, a dwutlenek węgla – do związków organicznych. Faktycznie jest to część „syntezująca” fotosyntezy, która jest bardzo ważna dla biosfery, ponieważ właśnie w niej powstają węglowodany (a następnie z nich – wszystkie inne związki organiczne).

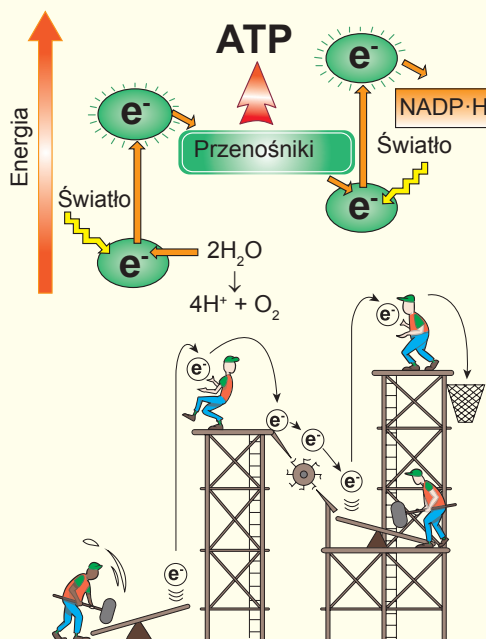
Oba te procesy związane są z pracą łańcucha przenoszącego elektrony (ŁPE), podobnego do łańcucha oddechowego wewnętrznej błony mitochondrium. Jednak fotosyntetyczny ŁPE ma jedną dość ważną odmienną od oddechowego ŁPE.

Elektrony ŁPE mitochondriów mogą przekazywać się tylko w jednym kierunku – od wodoru do tlenu, przy tym ich energia tylko spada. Dopóki elektron biegnie „w dół” łańcuchem oddechowym, on wykonuje pracę. Lecz w końcu swego szlaku on staje się całkowicie „wycieńczony” i niezdolny do wykonania żadnej wydajnej pracy. To oznacza, że „wysokoenergetyczne” elektrony powinny bezustannie nadchodzić do ŁPE mitochondriów wraz z wodorem, a „wycieńczone” wyprowadzać się w składzie wody.

Fotosyntetyczny ŁPE zdolny jest do zwiększania energii elektronu i powracania go do pracy. Tę zdolność zapewniają barwniki (pigmenty) fotosyntetyczne, z których najważniejszy jest **chlorofil**. Zarówno one, jak i ŁPE, rozmieszczone są na błonie tylakoidów. Elektron, znajdując się w cząsteczce chlorofilu, ma dość niską energię. Jednak cząsteczka potrafi wchłonąć foton¹ światła, następnie energia elektronu znacznie wzrasta. Oznacza to, że elektron znów okaże się na szczycie łańcucha przenoszącego elektrony. Potem on będzie poruszać się „w dół”, wykonując pracę. „Wycieńczony” elektron znów okazuje się na samym dole, na cząsteczce chlorofilu. Ta cząsteczka znów pochłania światło i proces zaczyna się od nowa. Taki proces nazywa się **cyklicznym przeniesieniem elektronu** (ryc. 18.1) i zachodzi w chloroplastach zielonych roślin. Praca, którą wykonuje elektron, jest analogiczna do pracy elektronu łańcucha oddechowego - przeniesienie protonów przez błonę. Korzystając z różnicy stężeń protonów, ATP-syntazy chloroplastów będą syntezować ATP. Jak widzimy, cykliczne przeniesienie elektronów nie wymaga bezpośredniego nadchodzenia elektronów do ŁPE i umożliwia syntezowanie ATP dla potrzeb organizmu. Lecz taki system nie pozwala zredukować dwutlenek węgla i, odpowiednio, syntezować substancje organiczne. Do redukcji dwutlenku węgla niezbędne jest stałe nadchodzenie wysokoenergetycznych elektronów. W procesie oddychania takie elektrony nadchodzą z substancji organicznych, ale to źródło nie nadaje się do fotosyntezy. Dlatego zielone rośliny wykorzystują całkiem inne źródło elektronów – wodę.



1 Foton – elementarna cząsteczka, kwant światła.



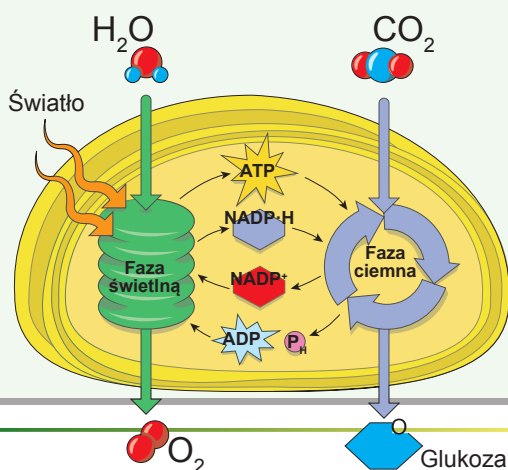
Ryc. 18.2. Schemat niecyklicznego przeniesienia elektronów (Z-schemat)

Wydawałoby się, że wykorzystywanie wody jako donora elektronów – to sprawa niewdzięczna. Energia elektronu w cząsteczce wody jest tak niska, że nie może być wykorzystywana do redukcji dwutlenku węgla. Jednak nie warto zapominać, że rośliny mają zdolność do podwyższania energii elektronu drogą wchłaniania energii światła. Elektron, oderwany od cząsteczki wody podczas fotolizy, dostaje się na cząsteczkę chlorofilu. Wchłaniając energię światła słonecznego, elektron od cząsteczki chlorofilu podnosi się „do góry” po schodach energetycznych. Jednak tej energii okazuje się za mało, żeby zredukować cząsteczkę dwutlenku węgla. Nieznacznie powędrowawszy po ŁPE i wykonawszy niedużą pracę w postaci pompowania protonów, „nie do końca wyczerpany” elektron dostaje się na inną cząsteczkę chlorofilu i znów pochłania foton światła. Otóż elektron ma już pod dostatkiem energii do redukcji dwutlenku węgla. Ten elektron łączy się z protonem, co powoduje powstanie atomu wodoru, który natychmiast łączy się z przenośnikiem, w tym przypadku – $NADP^+$. Wodór na przenośniku

będzie następnie wykorzystany do redukcji dwutlenku węgla. Podany schemat funkcjonowania ŁPE nazywa się **niecyklicznym transportem elektronów** lub **Z-schematem** (ryc. 18. 2).

Otóż w toku uzależnionych od światła reakcji fotosyntezy elektron odrywa się od cząsteczki wody. On pochłania energię światła i zaczyna swój ruch po łańcuchu przenoszącym elektrony chloroplastu. Przy tym on może wykorzystać swoją energię do pompowania protonów przez błonę, co prowadzi do syntezy ATP lub łącząc się z protonem, utworzyć atom wodoru, który następnie wykorzystuje się do redukcji dwutlenku węgla. Całokształt wszystkich procesów w ŁPE chloroplastu nazywa się **fazą świetlną (jasną) fotosyntezy**. ATP i wodór (na przenośniku $NADP^+$), które powstały podczas tej fazy, będą uczestniczyć w fascynujących kolejnościach reakcji nazywających się **fazą ciemną fotosyntezy**. W jej rezultacie z dwutlenku węgla utworzą się cząsteczki organicz-

Ryc. 18.3. Jasna i ciemna faza fotosyntezy



ne (ryc. 18.3). Faza ciemna zaczyna się od przyłączenia dwutlenku węgla, który bierze udział w cyklu reakcji prowadzących do powstania glukozy. W tym cyklu dwutlenek węgla redukuje się wodorem wody (wodór jest dostarczany przenośnikiem NADP⁺). Nazwy „świetlna” i „ciemna” fazy fotosyntezy wprowadzają w błąd. Ich podstawowa różnica polega na tym, że procesy fazy świetlnej bezpośrednio zależą od światła. Jednak obydwie fazy fotosyntezy zachodzą na świetle, ponieważ faza ciemna potrzebuje produktów fazy świetlnej. Oprócz tego, aktywność wielu enzymów fazy ciemnej pośrednio jest regulowana światłem i w ciemności one są w stanie nieaktywnym. Pod promieniami porannego słońca ŁPE chloroplastu zaczyna stopniowo nasycać się elektronami. Następnie aktywują się enzymy fazy ciemnej, które wykorzystują produkty fazy świetlnej fotosyntezy i zaczynają produkować organicę.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Brak wody na Marsie, prawdopodobnie, związany jest z
A brakiem tam życia B brakiem tam warstwy ozonowej
C obecnością tam dużej ilości atomów żelaza
D czerwonym kolorem gleby E niską temperaturą
- 2 Bez łańcucha przenoszącego elektrony chloroplastów rośliny będą mogły
A otrzymywać energię świetlną B rozszczepiać wodę
C wytwarzać tlen D wytwarzać ATP E oddychać
- 3 Do przyczyn, przez które enzymy fazy ciemnej fotosyntezy źle funkcjonują w nocy, należą
A 1 – faza świetlna dostarcza za mało substancji, z którymi one pracują;
2 – one są nieaktywne
B 1 – faza świetlna dostarcza za mało substancji, z którymi one pracują;
2 – one są zbyt aktywne
C 1 – faza świetlna dostarcza za dużo substancji, z którymi one pracują;
2 – one są nieaktywne
D 1 – faza świetlna dostarcza za dużo substancji, z którymi one pracują;
2 – one są zbyt aktywne
E 1 – faza świetlna dostarcza za mało substancji, z którymi one pracują;
2 – one nie powstają w ciemności
- 4 Cykliczny transport elektronów jest wygodniejszy od niecyklicznego, ponieważ
A nie potrzebuje światła
B podczas niego zachodzi przeniesienie protonów przez błonę
C on potrzebuje dwóch cząsteczek chlorofilu
D dzięki niemu potem powstają cząsteczki ATP
E on nie potrzebuje stałego uzupełniania zapasu elektronów

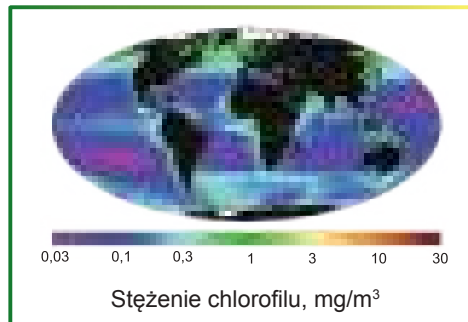
Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 5 Jaki wygląd miałyby Ziemia, gdyby w procesie ewolucji nie powstała tlenowa fotosynteza?
- 6 Co wspólnego jest w procesach oddychania w mitochondriach i fotosyntezy w chloroplastach?

- 7** Z jakiej substancji i podczas jakiego procesu powstaje tlen podczas fotosyntezy? Czy możliwa jest fotosynteza bez jego powstania?
- 8** W jaki sposób węgiel wyłącza się z obiegu w przyrodzie? W jaki sposób ludzkość zmienia stan tego „wyłączonego” węgla?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 9** Rozpatrz mapę rozdzielenia chlorofilu w hydrosferze. Znajdź obszary szczególnie bogate w chlorofil. Dlaczego właśnie w tych miejscach woda jest bogata w zielone rośliny z chlorofilem?
- 10** U niektórych roślin kolor liści latem nie jest zielony, lecz czerwony, żółty lub fioletowy. Czy świadczy to o braku w liściach chlorofilu? Co powoduje taki „dziwny” kolor liści?



Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 11** Mimo swej korzyści, w momencie powstania 2,3 mln lat temu tlenowa fotosynteza spowodowała klęskę tlenową i zasadnicze zmiany w biosferze. Dlaczego pojawienie się tlenu stało się klęską i jak to zmieniło atmosferę?
- 12** Stworzenie efektywnej fotosyntezy sztucznej w znacznym stopniu pomogłoby ludzkości otrzymać niezbędne do odżywiania produkty „z światła słonecznego”. Jakie kroki już zrobiono na drodze jej stworzenia i czy daleko jest jeszcze do sukcesu?

Projekt do opracowania w grupie

- 13** Powstanie skrobi w liściu podczas fotosyntezy.
- 1) Zostaw roślinę pokojową na kilka dni w ciemności, żeby zapasy skrobi w liściu były zużyte.
 - 2) Nakryj część liścia nieprzezroczystym papierem lub folią i postaw roślinę na jaskrawe światło.
 - 3) Po upływie kilku godzin zetnij liść, zdejmij papier lub folię i zanurz liść na kilka minut do wrzątku, a potem do gorącej wódki lub spirytusu.
 - 4) Przepłucz liść wodą i zanurz do roztworu jodyny.
 - 5) Zrób zdjęcie tego, co otrzymałeś i pokaż je na lekcji. Wyłumacz, dlaczego liść zafarbował się właśnie w taki sposób.
- 14** Wpływ światła na intensywność fotosyntezy.
- 1) Zanurz w przybliżeniu w jednakowych ilościach moczarkę lub glony nitkowate do dwóch szklanek wypełnionych wodą z naturalnego źródła.
 - 2) Przykryj rośliny niedużą przewróconą do góry dnem szklanką mniejszego rozmiaru tak, żeby wszystkie rośliny okazały się pod szklanką, a z góry pozostał nieduży zapas powietrza.
 - 3) Zaznacz poziom wody w obu szklankach.
 - 4) Jedną szklankę postaw na światło, a inną nakryj nieprzezroczystą tkaniną.
 - 5) Po kilku dniach porównaj poziom wody w szklankach.
 - 6) Opowiedz o otrzymanych rezultatach na lekcji i wyjaśnij, dlaczego poziom wody w szklankach jest różny.

§ 19. Chemosynteza

Fotosynteza – to nie jedyny naturalny sposób syntezy substancji organicznych z nieorganicznych

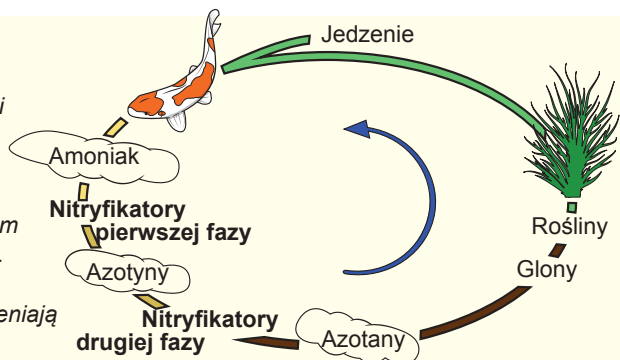
W poprzednim paragrafie rozpatrzyliśmy, jak zielone rośliny wykorzystują energię słoneczną do otrzymania wodoru z wody. Potem ten wodór używa się do redukcji dwutlenku węgla i syntezy substancji organicznych. Taki proces nazywa się **fotosyntezą**. Jednak w biosferze istnieje również inny sposób syntezy związków organicznych, który nie zależy bezpośrednio od energii słonecznej. Wodór do redukcji dwutlenku węgla można otrzymywać i od różnych cząsteczek nieorganicznych, jednak do tego niezbędny jest bardzo mocny utleniacz. Takim utleniaczem jest tlen. Żywe organizmy (chemoautotrofy) zdolne są do utleniania związków nieorganicznych (na przykład amoniaku, siarkowodoru, siarczynów, związków żelaza dwuwartościowego itp.) tlenem i wykorzystywania wydzielonych w tych procesach elektronów i wodoru do redukcji dwutlenku węgla. Taki proces nazywa się **chemosyntezą**. Tak samo jak w przypadku z roślinami zielonymi, część energii od utleniania wykorzystuje się do syntezy ATP. Taki sposób otrzymywania energii jest właściwy tylko prokariotom. A samo zjawisko chemosyntezy było odkryte w 1887 roku przez **Siergieja Winogradskiego**.

Nitryfikacyjne bakterie – to zwykle chemotrofy

Najbardziej rozpowszechnionymi chemoautotroficznymi drobnoustrojami są głębokie **bakterie nitryfikacyjne**. Właśnie te bakterie odkrył Winogradski, podkreślając, że one potrafią rosnąć w środowisku z solami amonowymi¹ przy pełnym braku substancji organicznych, to znaczy, że są organizmami autotroficznymi. Do tego czasu sądzono, że autotroficzność cechuje tylko organizmy fotosyntezujące, takie jak rośliny i glony. Odkrycie chemoautotroficznych bakterii nitryfikacyjnych zmieniło wyobrażenie o żywej

Ryc. 19.1. Cykl nitryfikacji

Zwierzęta wskutek swoich czynności życiowych produkują substancje zawierające azot, które ostatecznie rozkładają się do amoniaku i soli amonowych. Jeszcze jednym źródłem tych substancji jest gnijąca organika. Rośliny źle przyswajają amoniak. A bakterie nitryfikacyjne najpierw utleniają go do azotynu, a potem do azotanu. Azotan łatwo przyswajają roślinami i znów redukuje się do grup aminowych aminokwasów. Rośliny służą pokarmem dla zwierząt, w taki sposób cykl nitryfikacji zamyka się.

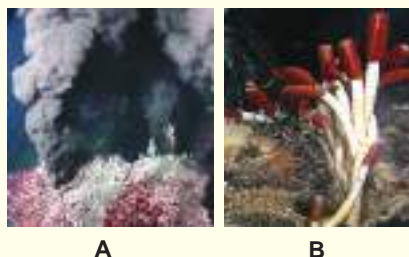


1 Sole amonowe – sole powstające wskutek reakcji amoniaku z kwasami, na przykład chlorek amonowy NH_4Cl .

przyrodzie. Bakterie nityfikacyjne – to drobnoustroje o różnorodnej budowie zewnętrznej, które biorą udział w utylizacji amoniaku, powstającego w procesie rozszczepiania substancji organicznych zawierających azot. Bakterie nityfikacyjne dzielą się na dwie grupy: tak zwane nityfikatory pierwszej fazy zapewniają utlenianie amoniaku do azotynów, a nityfikatory drugiej fazy utleniają azotyny tlenem do azotanów. Bakterie nityfikacyjne odgrywają ważną rolę w glebowej wspólnocie organizmów: one przekształcają amoniak i sole amonowe powstające podczas gnicia organiki w łatwo dostępną dla roślin formę (ryc. 19.1). Oczywiście, do dokonania normalnej nityfikacji niezbędna jest obecność w glebie tlenu. Dlatego spulchnianie gleby jest potrzebne do podwyższenia jej naturalnej urodzajności.

Bakterie siarkowe „czarnych palaczy” – to autotrofy w całkowitych ciemnościach

Ekosystemy są niezwykle różnorodne. Jesteśmy przyzwyczajeni do ekosystemów, w których produkcja pierwotna¹ stwarza się organizmami fotosyntetyzującymi. Jednak w biosferze są ekosystemy, w których praktycznie cała biomasa pierwotna wytwarzana jest przez bakterie chemosyntetyzujące. Mowa jest o ekosystemach głębinowych rozwijających się wokół „czarnych palaczy” – (ryc. 19.2, A). „Czarni palacze” – to źródła hydrotermalne rozmieszczone na głębokości około 2500 metrów wzdłuż grzbietów oceanicznych. Z nich do wody wyrzucają się strumienie wysoko mineralizowanej, bogatej w siarkowodor, ogrzanej do 350°C wody pod ciśnieniem w kilkaset atmosfer. Zdumiewa fakt, że takie obszary dna oceanicznego są gęsto zasiedlone żywymi organizmami. W pobliżu kominą żyją skorupiaki, ryby, małże, olbrzymie dwumetrowe robaki. Zagęszczenie żywych organizmów wokół kominów jest dziesiątki tysięcy razy wyższe niż na innych obszarach dna oceanicznego. Można powiedzieć, że to są swoiste głębinowe oazy życia. Jednak światło do takich ekosystemów nie dociera, a znaczy one nie mają organizmów fotosyntetyzujących². Większość zwierząt na dnie oceanów istnieje dzięki „deszczowi” z obumarłej organiki padającego z górnych warstw oceanu. Ale ekosystemy „czarnych palaczy” potrafią samodzielnie wyrabiać związki organiczne za pomocą bakterii-chemoautotrofów zamieszkujących te obszary oceanu. Takie bakterie należą do **bakterii siarkowych**: one utleniają siarkowodor znajdujący się w wodzie bijącej ze źródeł hydrotermalnych, tlenem wody morskiej najpierw do siarki, a potem – do kwasu siarkowego (H₂SO₄).



Ryc. 19.2. Ekosystemy głębinowych źródeł hydrotermalnych

A. Wygląd ogólny ekosystemu: widać czarne kłęby roztworu soli bijącego z krateru „czarnego palacza”, a także liczne Rurkoczulkowce (*Riftia*), które mieszkają w pobliżu. B. Z rurczek *Riftia* wychylają się czułki, nasycone krwią bogatą w hemoglobinę.

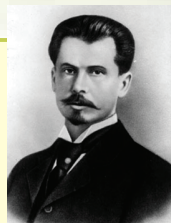


1 Produkcja pierwotna – to produkcja organizmów- autotrofów (fotoautotrofów i chemoautotrofów).

2 To, szczerze mówiąc, nie jest prawdą. Kominy promieniują słabe światło, które wykorzystują niektóre bakterie do fotosyntezy. Jednak intensywność tego procesu jest bardzo niska.

Siergiej Winogradski

Urodził się w roku 1856 w Kijowie. Wykształcenie zdobył na Uniwersytecie w Petersburgu, później pracował w Szwajcarii i Francji. Działalność Sergiusza Winogradskiego jako uczonego związana jest z mikrobiologią. Sławę światową przyniosło mu odkrycie chemosyntezy u bakterii siarkowych i nityfikacyjnych, a także bakterii asymilujących azot atmosferyczny. Oprócz tego uczony zajmował się epidemiologią i gleboznawstwem. Jeden z jego uczniów – Danyło Zabolotnyj – został założycielem ukraińskiej mikrobiologii i epidemiologii, był prezesem Ogólnoukraińskiej Akademii Nauk w latach 1928–1929. Zmarł Siergiej Winogradski w roku 1953 w Paryżu.



W taki sposób one otrzymują energię i dokonują fiksacji dwutlenku węgla. Niektóre bakterie żyją samodzielnie, a inne – wstępują w stosunki symbiotyczne ze zwierzętami zasiedlającymi komin hydrotermalny. Najbardziej zadziwiająca jest symbioza z **rukoczułkowcami** – olbrzymimi robakami żyjącymi w zbudowanych przez siebie rurkach obok krateru źródła hydrotermalnego (ryc. 19.2, B). Dorosłe robaki nie mają w ogóle układu pokarmowego, a jego szczątki tworzą specjalny narząd zasiedlony bakteriami siarkowymi. Bakterie siarkowe tworzą substancje organiczne, a nimi już odżywiają się robaki. Rurkoczułkowce wyróżniają się jaskrawoczerwonymi skrzelami wystającymi z rurek: ich krew jest bogata w hemoglobinę dostarczającą tlen nie tylko tkankom robaka, a i bakteriom siarkowym, którym on jest potrzebny do dokonania chemosyntezy. Oprócz tego hemoglobina przenosi siarkowodór dla bakterii siarkowych.

Często można usłyszeć stwierdzenie, że ekosystemy głębinowych źródeł hydrotermalnych są niezależne od światła słonecznego. Jest to błędne stwierdzenie. Rzeczywiście, synteza związków organicznych w tych ekosystemach zachodzi dzięki chemosyntezie, a nie fotosyntezie. Jednak do dokonania chemosyntezy niezbędny jest tlen, który powstaje na Ziemi dzięki czynności organizmów fotosyntetyzujących. Właśnie dzięki energii Słońca do biosfery stale nadchodzi tlen. Tlen nasycza morską wodę i z głębinowymi prądami dosięga źródeł hydrotermalnych. Tutaj dzięki czynnościom bakterii siarkowych utlenia się siarkowodór. To staje się źródłem energii niezbędnej do syntezy związków organicznych. Dlatego istnienie głębinowych ekosystemów oazy hydrotermalnej nie można sobie wyobrazić bez fotosyntezy na powierzchni planety.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1

Wśród wymienionych organizmów chemosyntezy dokonuje

- A rurkoczułkowiec
- B ostryga
- C bakteria mlekowa
- D bakteria siarkowa
- E prątek gruźlicy

2

Bakterie nityfikacyjne do syntezy związków organicznych wykorzystują

- A azotany
- B tlen
- C dwutlenek węgla
- D wodę
- E azot

- 3** Udowodnieniem autotrofowości bakterii nityfikacyjnych jest taka charakterystyka
A zdolność wykorzystywania amoniaku
B zdolność wchłaniania tlenu
C fałdy błony w komórce
D zdolność do życia w środowisku bez substancji organicznych
E zdolność do życia w środowisku z solami amonowymi
- 4** Do chemosyntezy bakteriom siarkowym niezbędne są takie substancje
A siarkowódór i tlen
B kwas siarkowy i tlen
C substancje organiczne i siarkowódór
D siarka i kwas siarkowy
E siarkowódór i kwas siarkowy
- 5** Źródłem tlenu dla bakterii siarkowych żyjących w rurkoczułkowcach jest
A komin
B tlenowa fotosynteza
C oddychanie zwierząt
D substancje organiczne, które pochłania rurkoczułkowce
E kwas siarkowy

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Ścieki przemysłowe można oczyszczać za pomocą organizmów chemosyntetyzujących. Jakie substancje można wydalic ze stoków dzięki chemosyntetykom?
- 7** Jak zmieni się zawartość gleby, gdy w niej wymrą wszystkie bakterie nityfikacyjne? Jak to będzie miało skutki dla roślin?
- 8** Jakimi substancjami wymieniają się *Riftia* z bakteriami siarkowymi, które w nich żyją? Czy możliwe jest osobne istnienie tych organizmów?
- 9** Dlaczego oranie ziemi po zbieraniu plonów ulepsza wzrost roślin uprawnych następnego zasiewu?
- 10** Porównaj fotosyntezę i chemosyntezę. Na czym polega podobieństwo tych procesów, a na czym różnica?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Dzięki czynności niektórych bakterii chemosyntetyzujących powstały złoża kopalin użytecznych. Jakie bakterie i za jakie kopaliny są „odpowiedzialne”, jakie warunki są niezbędne do kształtowania złóż?
- 12** Wiele chemosyntetyzujących organizmów jest rozpowszechnionych przede wszystkim w miejscach o warunkach ekstremalnych: na dnie mórz, w beztlenowych, wysoko kwaśnych lub zbyt gorących zbiornikach wodnych. Dlaczego w tych kącikach, gdzie życie nie jest bardzo różnorodne, okazały się właśnie chemosyntetyki?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Według jednej z hipotez życie na Ziemi powstało w oazach hydrotermalnych i pierwszym sposobem odżywiania była właśnie chemosynteza. O jakie dowody opiera się ta hipoteza?
- 14** Uważa się, że krążenie wielu pierwiastków chemicznych jest niemożliwe bez chemosyntetyków. Jakie skutki dla planety i istnienia ludzkości będzie miało zniknięcie organizmów chemosyntetyzujących?

§ 20. Zasady procesów syntetycznych

Organizmy charakteryzują się wielkim zestawem specyficznych cząsteczek – polimerów

W pierwszym rozdziale podręcznika rozpatrzyliśmy różnorodne cząsteczki, które są w organizmach żywych. Jak ustaliliśmy, największa różnorodność cechuje duże cząsteczki polimerowe, takie jak białka, polisacharydy i kwasy nukleinowe. Pałeczka jelitowa ma około 5 tysięcy różnych białek, człowiek – 60 tysięcy. Przy tym białka, wykonujące jednakową funkcję, w różnych organizmach też różnią się. Na przykład kolejność reszt aminokwasowych hemoglobiny myszy różni się od kolejności reszt aminokwasowych hemoglobiny człowieka. Są to więc różne cząsteczki. I nawet obserwuje się wewnątrzgatunkową różnorodność białek. Ludzie mają dwa warianty glikoforyny A – podstawowego białka okrywającego powierzchnię erytrocytów – krwinek czerwonych. Łańcuchy aminokwasowe tych dwóch wariantów, które nazywają się M i N, różnią się od siebie tylko według dwóch pozycji. Jedni ludzie mają tylko M-postać glikoforyny A, inni – tylko N-postać, a trzeci – obydwie postacie. Różne postacie glikoforyny A wyznaczają różne grupy krwi¹. Biopolimery charakteryzują się wielką różnorodnością w granicach jednego organizmu, uwzględniając wewnątrz- i międzygatunkowe różnice, ich sumaryczna różnorodność w biosferze jest po prostu bezgraniczna.

Polimery składają się ze stosunkowo niewielkiej ilości monomerów

Nie patrząc na wielką różnorodność biopolimerów w przyrodzie żywej, wszystkie one są zbudowane z dość ograniczonej ilości ogniw monomerowych. Na przykład cała różnorodność białek tworzy się tylko z 20 aminokwasów². Wszystkie aminokwasy z tego zestawu są i u człowieka, i u karasia, i u słonecznika, i u muchomora. Przy tym te aminokwasy nie obowiązkowo muszą być syntezowane we wszystkich organizmach. Ani człowiek, ani mysz nie są zdolni syntezować niezamienny aminokwas fenyloalalaninę, lecz otrzymują ją w dostatecznej ilości z pokarmem. Od reguły o „uniwersalności ogniw monomerowych” są, oczywiście, wyjątki. Na przykład niektóre organizmy prokariotyczne, zamieszkujące żwacz przeżuwaczy, mają dodatkowy aminokwas, który mogą wykorzystywać do budowy swoich białek³. Jednocześnie brakuje im jednego aminokwasu „eukariotycznego”⁴. Wynika stąd, że ich białka też są zbudowane z 20 ogniw monomerowych, jednak ten zespół nie jest taki sam, jak u eukariotów.

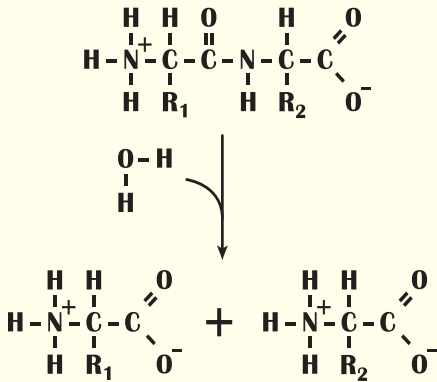
Z polisacharydami sprawa jest bardziej skomplikowana. Różnorodność ogniw monomerowych, z których mogą składać się łańcuchy, u roślin kilkakrotnie przewyższa taką różnorodność u zwierząt. Jednak monomery nie są jednakowo rozpowszechnione wśród różnych gatunków roślin. Różnorodność ogniw, z których są zbudowane oligo- i polisacharydy, jest nieco większa niż u białek, jednak i ona ogranicza się do kilku

1 Faktycznie M i N-postaci glikoforyny A różnią się nie tylko sekwencją aminokwasową, lecz i węglowodanami, połączonymi wiązaniem kowalencyjnym z białkami. Przy tym komponent węglowodanowy wynosi 60% masy cząsteczki. Z tym właśnie wiąże się nazwa glikoforyny, która tłumaczy się jako „ten, co niesie stódycz”. Różnice w składniku węglowodanowym wyznaczają się właśnie tymi nieznacznymi różnicami w kolejności łańcuchów aminokwasowych.

2 Jak już zaznaczaliśmy wcześniej, niektóre reszty aminokwasowe przekształcają się chemicznie, kiedy już wejdą w skład łańcuchów białkowych. Poprawniej jest więc powiedzieć, że cała różnorodność cząsteczek białkowych powstaje z kilku dziesiątek reszt aminokwasowych.

3 Mowa tu o pirolizynie.

4 Mowa tu o selenocysteinie.



Ryc. 20.1. Rozszczepienie dipeptydów do aminokwasów

dziesiątek. Otóż cała różnorodność dużych cząsteczek powstaje dzięki różnym kombinacjom ograniczonej ilości ogniw monomerowych. Dotyczy to białek, oligo- i polisacharydów i kwasów nukleinowych.

Różnice międzygatunkowe uwarunkowane różnicą w biopolimerach

Powróćmy do różnorodności cząsteczek białkowych. Jak już zaznaczyliśmy, podstawą do tworzenia wszystkich białek w przyrodzie żywej służy zestaw z 20 aminokwasów. Z tego samego zestawu aminokwasów będą zbudowane białka myszy, rumianku i muchomora. Przy tym zespoły białek w tych organizmach bardzo różnią się. Oprócz tego część białek rumianku nie ma podobnych sobie wśród białek człowieka i odwrotnie. Można wyciągnąć wniosek, że z ograniczonej ilości uni-

wersalnych małych cząsteczek kształtuje się bardzo wiele gatunkowo specyficznych dużych biopolimerów. Wobec tego można stwierdzać, że zestaw ogniw monomerowych do budowy biopolimerów jest dość ograniczony. Każdy organizm ma w sobie znaczną część tego zestawu (niektóre różnice, jak ustaliliśmy, są), lecz większość różnic międzygatunkowych w składzie chemicznym organizmów opiera się na różnorodności biopolimerów. Większość biopolimerów jest gatunkowo specyficzna, ponieważ tworzą się z monomerów odpowiednio do genetycznych programów organizmów.

Do budowy polimerów niezbędna jest energia

Jak już wyjaśniliśmy w poprzednich paragrafach, podczas trawienia zachodzi rozszczepianie polimerowych cząsteczek do monomerów. Ten proces nie potrzebuje energii, czyli zachodzi mimowolnie. Enzymy trawienne tylko przyspieszają to rozszczepienie. Logicznie możemy przypuścić, że odwrotny proces syntezy polimerów z ogniw monomerowych ma zachodzić z zatratami energii. Jednak synteza polimeru nie jest prostym odwrotnym procesem rozszczepienia. Na rycinie 20.1 podano reakcję rozszczepienia krótkiego łańcucha z dwóch aminokwasów (dipeptydu) na poszczególne monomery. Odwrotna reakcja jest niemożliwa, ponieważ aminokwasy nie posiadają dostatecznej energii do połączenia w łańcuszek. Do tego potrzebne jest dodatkowe zewnętrzne źródło energii.

Zwykle źródłem energii do syntezy polimeru jest ATP. Lecz rozszczepienie ATP i połączenie ogniw monomerowych w polimer nigdy nie dokonuje jeden enzym. Te reakcje są rozdzielone przestrzennie i w czasie. Najpierw zachodzi powstanie z monomeru (na przykład aminokwasu lub monosacharydu) wysokoenergetycznego poprzednika dzięki energii ATP. I tylko potem te wysokoenergetyczne poprzedniki łączą się ze sobą i wytwarzają polimer.

Tak więc, **bezpośrednie substraty do syntezy polimeru zawsze różnią się od produktów jego rozszczepienia**. Dokładniej o niektórych procesach biosyntetycznych opowiemy w następujących paragrafach.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 U człowieka przy anemii sierpowatej w cząsteczce normalnej hemoglobiny zachodzi zmiana jednej reszty aminokwasowej na inną, co powoduje, że hemoglobina staje się gorzej rozpuszczalna, a erythrocyty – sierpowate. Ten przykład ilustruje wpływ
- A składu na budowę białka B składu jakościowego na ilościowy
C budowy na skład białka D składu ilościowego na jakościowy
E ilości aminokwasów na ich zestaw
- 2 Białka komórek dębu, niedźwiedzia i człowieka są
- A jednakowe
B złożone z jednakowych sekwencji aminokwasowych
C złożone z jednakowych reszt aminokwasowych
D mają różne zasady tworzenia
E mają jednakową masę
- 3 Różnorodność monomerów polisacharydów jest
- A jednakowa u zwierząt i roślin
B większa u zwierząt niż u roślin
C mniejsza u zwierząt niż u roślin
D jest u zwierząt i nie ma u roślin
E nie ma u zwierząt i jest u roślin

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 4 Dlaczego właśnie biopolimery są najbardziej różnorodnymi związkami w przyrodzie żywej?
- 5 Wymień wszystkie możliwe przyczyny różnorodności białek w przyrodzie.
- 6 Dlaczego nie można syntezować białka bezpośrednio z aminokwasów? Jak je trzeba przekształcić, aby one mogły utworzyć biopolimer?
- 7 Jak byś sformułował zasadę uniwersalności ogniw monomerowych? Jakie ogniwa monomerowe i jakich biopolimerów można uważać za uniwersalne?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 8 Najbardziej różnorodną grupą białek człowieka są białka obronne – immunoglobuliny. Dlaczego one mają być takie różne? Dzięki czemu osiąga się taką różnorodność?
- 9 Niektóre enzymy w komórkach bywają w dwóch lub więcej postaciach zmodyfikowanych: z grupą ortofosforową lub bez niej, z łańcuchem węglowodorowym lub bez niego itp. Przy tym one mogą przechodzić z jednej postaci w inną w ciągu życia komórki. Po co są potrzebne takie modyfikacje i jak komórka je dokonuje?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 10 Niektóre rodzaje białek u wszystkich organizmów jednego gatunku są różne. Do czego organizmom potrzebna jest taka osobliwość? Jak to uwzględnia transplantologia?



Biology is the only science in which multiplication means the same thing as division.

Source undetermined



Wydawnictwo

ROZDZIAŁ 4

Zachowanie i realizacja informacji dziedzicznej

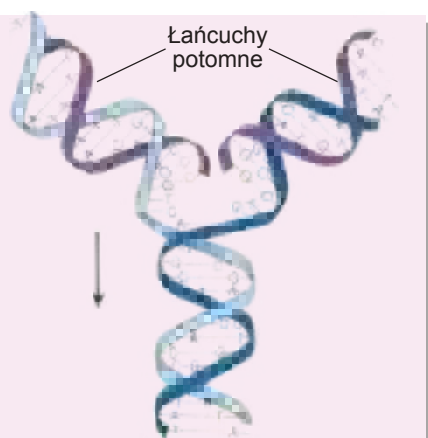
§ 21. Podwojenie DNA

DNA – to nosiciel informacji dziedzicznej, zapisanej w kolejności (sekwencji) nukleotydów

Jak już wiesz, nosicielem informacji o rozwoju, budowie i czynnościach żywego organizmu jest cząsteczka DNA. Ta cząsteczka jest polimerem liniowym – polinukleotydem w postaci łańcucha z ogniów nukleotydowych. Ten łańcuch zawiera nukleotydy z zasadami azotowymi czterech rodzajów: **adeniną (A)**, **guaniną (G)**, **cytozyną (C)** i **tyminą (T)**¹. Te nukleotydy kolejno układają się jeden po drugim i w kolejności ich połączenia jest zaszyfrowany tekst – program, według którego buduje się i pracuje żywy organizm. W tym rozdziale będziemy omawiać, jak ten program, zapisany w kolejności nukleotydów DNA, wykonuje komórka. Dla organizmów żywych posiadanie niezawodnej przechowalnej informacji nie jest wystarczające. Ważne jest, aby tę informację można było skopiować i przekazać potomkom.

Podwójna helisa – to podstawa zasady semikonserwatywnej replikacji

Wielu ludzi, nawet nie znających biologii, wie, jak w przybliżeniu wygląda cząsteczka DNA: to kompleks dwóch łańcuchów owiniętych wokół siebie – helisa podwójna. Rzeczywiście, prawie cały czas cząsteczka DNA znajduje się w takim kompleksie². Przy tym łańcuchy polinukleotydowe nie są identyczne. Naprzeciw reszty adeniny (A) jednego łańcucha rozmieszczona jest reszta tyminy (T) innego łańcucha, naprzeciw reszty guaniny (G) – reszta cytozyny (C). Jest to rozpatrzona przez nas wcześniej **zasada komplementarności**. W budowie DNA kryje się klucz do mechanizmu jego kopiowania. Ten proces nazywa się **replikacją**. Cząsteczka DNA najpierw rozkręca się: łańcuchy oddzielają się od siebie, tworząc odcinki jednołańcuchowe. Potem dzięki pracy układów enzymatycznych komórki naprzeciwko każdego łańcucha, który powstał z wyjściowej – macierzyńskiej – cząsteczki DNA, według zasady komplementarności kształtują się łańcuchy potomne. Tak powstają dwie identyczne dwułańcuchowe helisy cząsteczki DNA. Każda z nich otrzymała jeden łańcuch nukleotydów od macierzyńskiej cząsteczki DNA, a drugi – nowo syntezowany. Taki mechanizm replikacji nazywa się semikonserwatywny: każda cząsteczka DNA zawiera nowy i stary (konserwatywny) łańcuch (ryc. 21.1).



Ryc. 21.1. Replikacja DNA

Strzałka wskazuje kierunek replikacji

- 1 Wiele nukleotydów modyfikuje się, szczególnie u organizmów eukariotycznych. Jednak te modyfikacje zachodzą już po tym, jak nukleotydy wejdą w skład łańcuchów DNA. Tu obserwuje się określoną paralela do białek.
- 2 Wyjątkiem są niektóre wirusy, takie jak wirus adenoasocjowany, którego DNA genomu znajduje się w postaci jednego łańcucha. Lecz w ciągu cyklu życiowego wirusa on staje się dwułańcuchowy.

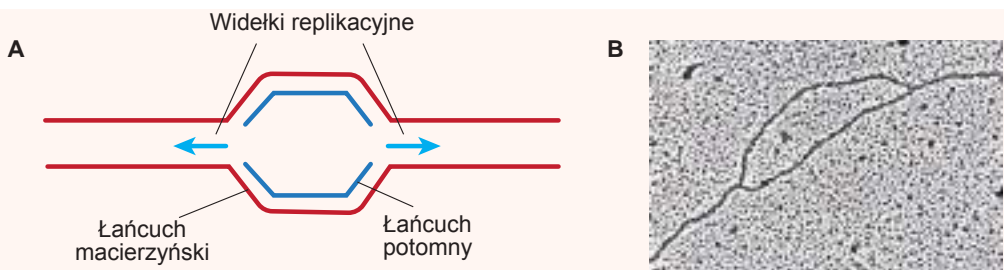
Najważniejszy enzym replikacji – to DNA-polimeraza

Replikacja DNA dokonuje się z udziałem złożonego kompleksu białek-enzymów i jest dokładnie kontrolowana przez komórkę. Jedne białka biorą udział w rozkręcaniu podwójnej helisy, inne – stabilizują odcinki jednołańcuchowe, trzecie – biorą udział w syntezie nowych łańcuchów DNA. Poznać, jak pracuje aparat replikacyjny, możesz, **oglądając wideo na stronie internetowej**.



Podstawowy enzym, który bierze udział w replikacji DNA – to **DNA-polimeraza**. DNA-polimeraza zapewnia przyłączenie nowych nukleotydów do wzrastających łańcuchów DNA. Nukleotydy, które przyłączają się do rosnącego łańcucha DNA, zawierają trzy kolejno połączone reszty kwasu ortofosforowego, zarówno jak i cząsteczka ATP¹. Pod względem energetycznym to jest równoważne rozszczepieniu dwóch cząsteczek ATP do ADP i fosforanu. Wydzielająca się energia wykorzystuje się po pierwsze do przyłączenia nukleotydu do łańcucha, a po drugie – do poruszania się DNA-polimerazy wzdłuż nici DNA. DNA-polimeraza jest więc nie tylko enzymem biosyntezy DNA, ale i cząsteczkowym motorem poruszającym się po nim.

Odcinek DNA, na którym zachodzi proces replikacji, ma charakterystyczną Y-podobną budowę i nazywa się **widelkami replikacyjnymi** (miejscem jednoczesnego rozwijania cząsteczki DNA i syntezy nowych nici) (ryc. 21.2). Widelki replikacyjne powstają tylko na określonych odcinkach DNA zawierających kolejności, które odpowiadają za włączenie replikacji. Zazwyczaj na jednym odcinku powstają jedne widelki replikacyjne, które podczas replikacji tworzą boki **oczka replikacyjnego**. Widelki replikacyjne są asymetryczne. Asymetria wynika z działania DNA-polimerazy, która prowadzi replikację w jednym kierunku jednym ciągiem w obu rozkręconych łańcuchach. Ilość punktów początku replikacji jest różna u różnych organizmów. W DNA bakterii jest jeden punkt początku replikacji, a w chromosomach eukariotów – wiele. Związane jest to z tym, że wymiary chromosomów eukariotów dziesiątki i setki razy przewyższają wymiary nukleoidu prokariotycznego. Aby przyspieszyć proces kopiowania całego DNA,



Ryc. 21.2. Widelki replikacyjne

A. Schemat ukazujący widelki replikacyjne, tworzące boki oczka replikacyjnego.

B. Mikrozdjęcie.

1 Tylko zamiast rybozy one zawierają deoksyrybozę.

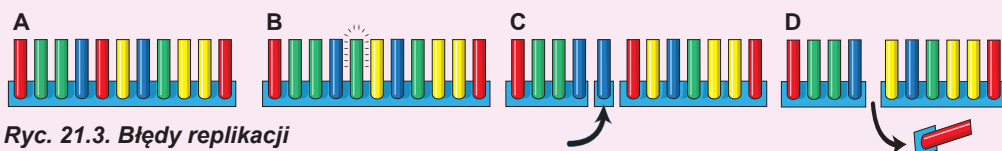
replikacja u eukariotów włącza się jednocześnie w kilku miejscach. Przy tym sąsiadujące oczka podczas wzrostu zlewają się ze sobą. Oprócz tego ilość punktów włączenia replikacji różni się nawet w komórkach jednego organizmu. Na przykład u dorosłej muszki owocowej (drozofili) replikacja całego DNA komórki zazwyczaj trwa 8 godzin. A u embrionu na wczesnych stadiach rozwoju replikacja tej samej ilości DNA trwa 30 minut. Osiągane jest to nie dzięki zwiększeniu szybkości syntezy, a zwiększeniu ilości punktów rozpoczęcia replikacji. Tak więc w komórce embrionu muszki owocowej na jednostkę długości DNA jest więcej aktywnych widełek replikacyjnych niż u dorosłej muszki. Umożliwia to znacznie przyspieszenie procesu podwojenia DNA.

DNA komórki prokariotycznej replikuje się w cytoplazmie, natomiast u eukariotów ten proces całkowicie zachodzi w jądrze. Poza tym u eukariotów DNA występuje w organelach – mitochondriach i chloroplastach. Replikacja tego DNA zachodzi niezależnie od DNA jądra, a układy enzymatyczne, które biorą udział w tym procesie, bardziej przypominają prokariotyczne niż eukariotyczne. Replikacja DNA eukariotów dokładnie związana jest z pewnym okresem w życiu komórki i zachodzi przed podziałem komórkowym. Przeważnie w odstępie czasu między komórkowymi podziałami cały DNA replikuje się tylko jeden raz.

Replikacja zachodzi z błędami

Replikacja DNA – to proces życiowo ważny, ponieważ zapewnia kopiowanie informacji dziedzicznej i przekazywanie jej potomkom. Od dokładności przebiegu replikacji zależy zachowanie w czasie programu genetycznego, przekazywanie z pokolenia na pokolenie. Jednak replikacja niemożliwa jest bez błędów. DNA-polimeraza łączy nukleotydy zgodnie z zasadą komplementarności, lecz czasem myli się w wyborze nukleotydu. Zazwyczaj ona dokonuje jeden błąd na miliard nukleotydów. Czasem polimeraza „przepuszcza” nukleotyd, a czasem – wstawia zbyteczny. To wszystko prowadzi do zmiany kolejności nukleotydów w potomnych łańcuchach DNA w porównaniu z macierzyńskim DNA (ryc. 21.3).

W komórce są układy enzymatyczne rozpoznające te błędy i poprawiające je. Te układy nazywają się **układami reparacji** (układami naprawy DNA)¹. Chodzi o to, że na tych odcinkach DNA, gdzie jest para niekomplementarnych nukleotydów (albo jednego nukleotydu brak, albo jeden jest zbyteczny), powstaje zakłócenie klasycznej podwójnej helisy. Takie zakłócenia rozpoznają układy reparacyjne. Te układy wyznaczają, który łańcuch jest macierzyński, a który – potomny. Możliwe to jest dzięki modyfikacjom nukleotydów: macierzyński łańcuch DNA zawiera je, natomiast w potomnym one jeszcze nie zdążyły pojawić się. Łańcuch macierzyński zawiera „poprawną” kolejność nukleotydów, a potomny – kolejność „z błędem”. Następnie enzymy reparacji wydalają element łańcuchu, który zawiera błąd i osobiwa DNA-polimeraza na nowo go dobudowuje.



Ryc. 21.3. Błędy replikacji

- A. Początkowy łańcuch. B. Zamiana nukleotydu. C. Wprowadzenie dodatkowego nukleotydu. D. Utrata nukleotydu.

1 Od łacińskiego reparatio – odnowienie.

Jednak, nie patrząc na pracę układu reparacji, niektóre błędy zostają niezauważone. Jeżeli błąd w łańcuchu potomnym zostanie niezauważony i nie będzie poprawiony, to w następnej replikacji on utwali się. W taki sposób powstaje **mutacja punktowa**.

Błędy, które zachowały się, są podstawą do zmienności

Mutacje stale są powodowane błędami w replikacji. Nie patrząc na dość niską częstotliwość błędów, a także pracę układu reparacji, z czasem mutacje nagromadzają się i powodują zmiany informacji genetycznej. Takie zmiany mogą źle wpłynąć na jakość informacji zakodowanej w DNA. Wyjaśnijmy to, co było powiedziane, na przykładzie. Wyobraź sobie, że mamy określony tekst, zapisany literami (nie są to nukleotydy DNA, lecz możemy obserwować niektóre podobieństwo).

SZYSZKINASOŚNIEWARCABYNASTOLEUSONIWARCABYUSYMYSZYSZKI

Jest to dość pojemny tekst, który zawiera informację o przedmiotach (SZYSZKI, WARCABY), ich właścicielach (USONI, USYMY), miejscu rozmieszczenia (NASOŚNIE, NASTOLE). Ten tekst będzie przepisywany jako kolejności DNA i w nim będą wynikały nieuniknione błędy. Większość błędów przyczyni się do beztreściowości tekstu.

SZYSZKINACOBNIIEWARCABYNASTOLEUSONIWARCABYUSYMYSZYSZKI

SZYSZKINASOŚNIEWARCABYNASTOLEGSONIWARCABYUSYMYSZYSZKI

SZYSZKINASOŚNIEWARCABYNASTOLEUJONIWARCABYUSYMYSZYSZKI

Lecz okresowo będą powstawać błędy, które będą powodować zjawienie się nowych programów.

MYSZKINASOŚNIEWARCABYNASTOLEUSONIWARCABYUSYMYSZYSZKI

SZYSZKINASOŚNIEWARCABYNASTOLEUSONIWARCABYUSYMYMYSZKI

SZYSZKINASOŚNIEWARCABYNASTOLEUSONIWARCABYURYMYSZYSZKI

W pierwszym i drugim wypadku zmienia się przedmiot (MYSZKI), w trzecim – właściciel (URYMY). Te programy zawierają już inną „treściową” informację. One mogą utwalić się w toku ewolucji i stać się źródłem nowych cech. Inne „beztreściowe” i „szkodliwe” programy z czasem są odrzucane. Właśnie tak zachodzi ewolucja na poziomie cząsteczkowym. Dokładniej ten proces rozpatrzmy w § 44. Teraz wyciągniemy tylko dwa ważne wnioski.

1. Mutacje DNA, powstające wskutek błędów replikacji oraz pod wpływem innych czynników, są źródłem różnorodności kolejności DNA, a znaczy i zmienności w populacjach organizmów.

2. Mutacje mogą sprzyjać powstaniu nowej informacji pod warunkiem, że zachodzi segregacja „treściowych” i „nie bardzo szkodliwych” połączeń nukleotydów. W innym przypadku mutacje prowadzą do utraty informacji genetycznej.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1

DNA- polimeraza przyłącza nukleotydy do

A macierzyńskiego łańcucha polinukleotydowego

B potomnego łańcucha polinukleotydowego

C i macierzyńskiego, i potomnego łańcucha polinukleotydowego

D trzech reszt kwasu ortofosforowego

E widełek replikacyjnych

§ 22. Transkrypcja

RNA – to polimer z nukleotydów

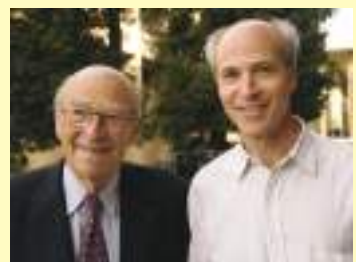
Kiedy były omawiane kwasy nukleinowe, wspominaliśmy, że istnieją dwa typy polinukleotydów – kwas deoksyrybonukleinowy (DNA) i kwas rybonukleinowy (RNA). W obydwu przypadkach jest to polimer liniowy złożony z reszt nukleotydowych. Różnice chemiczne między DNA i RNA polegają na tym, że w nukleotydach RNA znajduje się reszta węglowodanu rybozy, a w nukleotydach DNA – deoksyrybozy. Różnice dotyczą też zespołu zasad azotowych, z których są zbudowane polimery: w RNA zamiast tyminy obecny jest uracyl. Jednak takie nieznaczne różnice odbijają się na fizyko-chemicznych właściwościach cząsteczek. DNA jest bardziej stały, mniej poddaje się spontanicznym rozerwaniom łańcucha i modyfikacjom pod działaniem agentów chemicznych. Czyli DNA idealnie nadaje się na rolę niezawodnej przechowalni informacji. RNA jest mniej stały, lecz z innej strony – zdolny do nabywania różnorodnych kształtów przestrzennych, które zwykle są niedostępne dla DNA. W nim powstają pętle, węzły, szpilki; on tworzy kompleksy z jonami metali. RNA jest też katalizatorem niektórych reakcji chemicznych. Tak więc, chociaż RNA przegrywa DNA w niezawodności zachowania informacji, to on na pewno jest pierwszy pod względem kształtów i funkcji. Otóż wyjaśnijmy, jak cząsteczki RNA powstają w komórce.

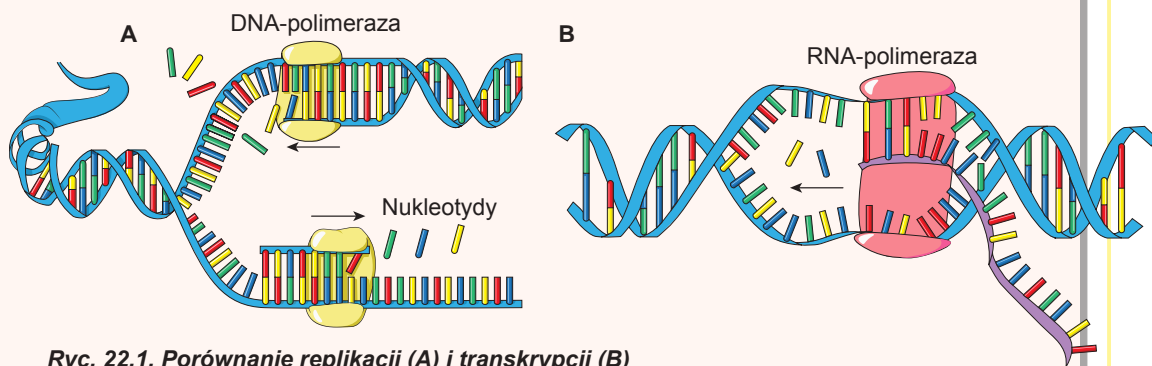
RNA może syntezować się na matrycy DNA

W poprzednim paragrafie rozpatrzyliśmy, jak zachodzi synteza DNA. Można przypuścić, że synteza RNA zachodzi w podobny sposób. Rzeczywiście, RNA w komórce powstaje drogą połączenia rybonukleotydów w łańcuch polimerowy na matrycy DNA. Ten proces nazywa się **transkrypcją**.

Arthur i Roger Kornbergowie

Arthur Kornberg urodził się w roku 1918 w Nowym Jorku w rodzinie emigrantów z Galicji. Studiował na Uniwersytecie w Rochester. Znany w świecie przede wszystkim jako badacz enzymów syntezy kwasów nukleinowych. On odkrył enzym DNA-polimerazę oraz po raz pierwszy dokonał syntezy DNA i RNA „w próbówce”. Właśnie „za badania mechanizmów biosyntezy kwasów rybonukleinowych i deoksyrybonukleinowych” w roku 1959 otrzymał Nagrodę Nobla z fizjologii lub medycyny. Arthur Kornberg miał trzech synów. Jeden z nich – Roger Kornberg – stał się kolegą ojca. Urodził się w roku 1947 w Saint Louis (stan Missouri, USA). Studiował na Uniwersytecie Harvardu. Roger kontynuował ojcowskie badania syntezy kwasów nukleinowych. Bodźcem do tego mogło być to, że on w wieku 12 lat był obecny w Sztokholmie na ceremonii wręczenia ojcowi Nagrody Nobla. Za swoje prace Roger w roku 2008 otrzymał Nagrodę Nobla „za badania mechanizmu kopiowania komórkami informacji genetycznej”. Arthur Kornberg kontynuował badania do końca swego życia (uczony zmarł w roku 2007 z powodu przeziębienia), a Roger pracuje na stanowisku profesora na Uniwersytecie Stanforda w USA.



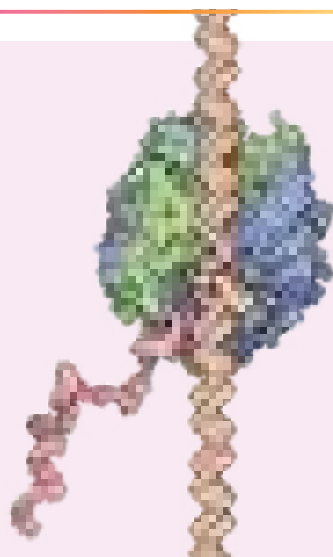


Ryc. 22.1. Porównanie replikacji (A) i transkrypcji (B)

Przebieg procesu transkrypcji ma wiele wspólnego z replikacją (ryc.22.1). Jak i w przypadku replikacji, transkrypcja zaczyna się od rozkręcania niewielkiego odcinka podwójnej helisy DNA. Podstawowe białko włączone do transkrypcji – to **RNA-polimeraza**. Jak i w przypadku z DNA- polimerazą, RNA-polimeraza będzie

budować łańcuch polinukleotydowy, lecz jako ogniwa monomerowe będą wykorzystane rybonukleotydy. One mają taką samą budowę jak deoksyrybonukleotydy i zawierają trzy kolejno połączone reszty kwasu ortofosforowego przyłączone do cukru rybozy. RNA-polimeraza rozszczepia dwa z nich, a energię, która przy tym wydziela się, wykorzystuje do włączenia nukleotydu do łańcucha oraz do ruchu po DNA. Tym ona bardzo przypomina DNA-polimerazę. RNA-polimeraza buduje nić RNA na zasadzie komplementarności, tylko na miejsce tyminy stawia uracyl. Realizacja zasady komplementarności dokonuje się dzięki temu, że na krótkim odcinku, który zajmuje RNA-polimeraza, tworzy się dwułańcuchowy spiralny kompleks z nici DNA i komplementarnej nici syntezowanej przez RNA

W procesie replikacji tworzą się widelki replikacyjne, na których syntezują się dwie potomne nici¹. A podczas translacji zachodzi synteza RNA **tylko na jednym z łańcuchów DNA i tylko w jednym kierunku**². Jeżeli więc do dokonania replikacji jest potrzebna praca **dwóch** DNA-polimeraz, po jednej na każdy rozkręcony łańcuch, to do dokonania jednokierunkowej transkrypcji – **tylko jednej** RNA-polimerazy.



Ryc. 22.2. Transkrypcja

Model cząsteczkowy RNA-polimerazy, która dokonuje transkrypcji.

- 1 To tak zwana dwukierunkowa replikacja. Często w przyrodzie spotyka się i jednokierunkową replikację, kiedy dobudowuje się tylko jeden łańcuch.
- 2 Jak pokazały badania ostatnich lat, ta zasada nie zawsze wykonuje się, szczególnie u wielokomórkowych eukariotów (takich jak my). Czasem synteza RNA może zachodzić jednocześnie na dwóch łańcuchach DNA.

Rozkręcony odcinek DNA w procesie transkrypcji nie zwiększa się, a tylko przesuwają się za ruchem RNA-polimerazy. Na wyjściu z RNA-polimerazy obydwa odcinki jednołańcuchowego DNA znów łączą się ze sobą w dwułańcuchowy spiralny kompleks (ryc. 22.2). Zobaczyc, jak pracuje eukariotyczna RNA-polimeraza, możesz, oglądając **na wideo na stronie internetowej**.



Replikacja ustaje wtedy, kiedy dwie widelki replikacyjne, które poruszają się jedna ku drugiej, spotykają się. W ten sposób zachodzi kopiowanie całego DNA. Co dotyczy transkrypcji, to tu sytuacja jest zasadniczo inna. Zwykle zachodzi odczytywanie niewielkiego (kilka tysięcy nukleotydów) odcinka DNA. Następnie transkrypcja ustaje. RNA-polimeraza odłącza się od DNA, zachodzi zwolnienie syntezowanej cząsteczki RNA. Proces ustania transkrypcji regulowany jest przez komórkę w różny sposób i w różnych rodzajach RNA.

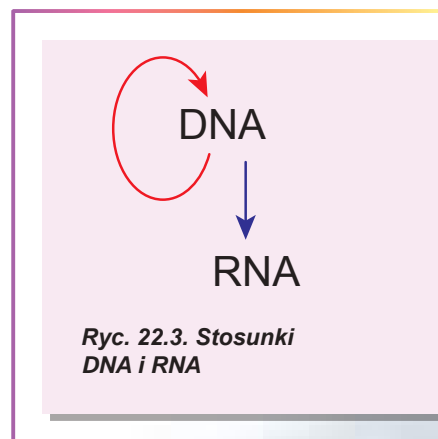
U prokariotów transkrypcja zachodzi w cytoplazmie, u eukariotów – tylko w jądrze, jak i replikacja¹. W odróżnieniu od replikacji, która u eukariotów powiązana jest z dokładnie ustalonym okresem życia komórki, transkrypcja określonych odcinków DNA może zachodzić w różnym czasie. Obserwuje się określoną konkurencję pomiędzy transkrypcją a replikacją. Te obydwa procesy mogą zachodzić równocześnie. W „bitwie” zwycięża replikacja: gdy poruszające się widelki replikacyjne spotykają się z poruszającą się ku nim RNA-polimerazą, to one po prostu zrzucają ją z łańcucha DNA. W komórkach, które intensywnie dzielą się, a znaczy, w których intensywnie zachodzi replikacja, transkrypcja jest zwykle tłumiona. Jest to charakterystyczne dla wczesnych stadiów rozwoju embrionów zwierząt: pierwsze podziały przeważnie zachodzą bardzo szybko i prawie cały jądro DNA „zajęty” jest replikacją, więc komórki obchodzą się tym RNA, który był syntezowany i zmagazynowany w komórce jajowej.

Czy naprawdę DNA jest bardziej „pełnowartościowy” niż RNA?

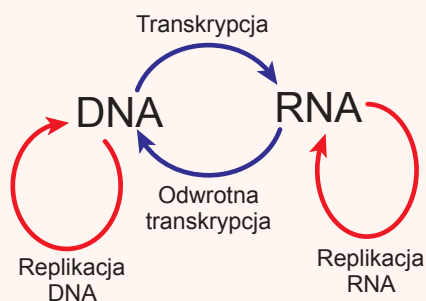
Komórka zawiera różne układy do syntezy polinukleotydów. W § 21 rozpatrzyliśmy replikację – syntezę jednego łańcucha DNA na innym, którą dokonuje enzym DNA-polimeraza (czasem ona jest nazywana DNA-zależną DNA-polimerazą). Jak ustaliliśmy w tym paragrafie, na łańcuchu DNA też może zachodzić synteza łańcucha RNA – transkrypcja, którą dokonuje enzym RNA-polimeraza (czasem ona jest nazywana DNA-zależną RNA-polimerazą). Otóż stosunki między RNA i DNA wyglądają tak, jak pokazano na rycinie 22.3.

Powstaje sytuacja niesymetryczna: DNA wydaje się „pełnosprawniejsza”, ponieważ potrafi odtwarzać siebie i prócz tego służyć podstawą do syntezy RNA. Natomiast RNA może tylko syntezować się RNA-polimerazą na niciach DNA i wykonywać swoje funkcje w komórce. Jednak już dawno wiadomo, że sytuacja w żywej przyrodzie jest o wiele symetryczniejsza.

Najpierw odkryto enzym zdolny syntezować łańcuch DNA na łańcuchu RNA. Ten proces nazwano odwrotną transkrypcją, a enzym – odwrotną transkryptazą (rewertazą) (lub polimerazą DNA zależną od RNA). Ten ferment jest, na przykład, u wirusa zespołu nabytego braku odporności (wirus niedoboru odporności – HIV) i jest niezbędny do dokonania jego cyklu życiowego. Nie warto zapominać, że odwrotna transkrypcja



1 Jeśli nie uwzględniać transkrypcję, która zachodzi w mitochondriach i chloroplastach.



Ryc. 22.4. Pełny schemat stosunków DNA i RNA

pracuje również u ludzi: ona załączona jest do procesu przebudowy DNA. Później odkryto enzym zdolny syntezować łańcuch RNA na innym łańcuchu RNA – **RNA-replikaza** (lub polimeraza RNA zależna od RNA). Po raz pierwszy ona została wykryta u wirusa choroby Heinego-Mediny (poliomyelitis), a później – i u wielu eukariotów. Wynika stąd, że schemat stosunków między kwasami nukleinowymi jest symetryczniejszy (ryc. 22.4).

Nie patrząc na różnorodność tych procesów, wszystkie one mają wspólną właściwość: jeden łańcuch polinukleotydowy syntezuje się na innym łańcuchu polinukleotydowym według zasady komplementarności. Jest to przykład tak zwanej **syntezy matrycowej** – jedna z częste-

czek jest matrycą do budowy innej. Jak widzimy, w przypadku kwasów nukleinowych realizują się wszystkie cztery możliwe warianty: DNA → DNA, DNA → RNA, RNA → DNA i RNA → RNA. Później zapoznamy się z jeszcze jednym przykładem matrycowej syntezy, lecz najpierw rozpatrzmy nieograniczoną różnorodność RNA, która obecna jest w komórce.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Po transkrypcji odcinek łańcucha DNA –adenina-guanina-cytozyna-tymina- odpowiednim RNA będzie wyglądać
 - A -guanina-uracyl-adenina-cytozyna-
 - B -adenina-guanina-cytozyna-tymina-
 - C -tymina-cytozyna-guanina-adenina-
 - D -adenina-guanina-cytozyna-uracyl-
 - E -uracyl-cytozyna-guanina-adenina-
- 2 Wybierz charakterystyki, które odróżniają RNA od DNA.
 - A wykonuje więcej funkcji i jest mniej stabilny
 - B jest bardziej stabilny i może nabywać większej różnorodności kształtów
 - C mniej pewnie zachowuje informację i pełni mniej funkcji
 - D może posiadać mniejszą różnorodność kształtów i bierze udział w przyspieszeniu reakcji chemicznych
 - E bierze udział w przyspieszeniu reakcji chemicznych i pewniej zachowuje informację
- 3 Na początkowych etapach rozwoju zarodka transkrypcja nie zachodzi, ponieważ
 - A nie ma niezbędnych enzymów
 - B komórka nie posiada DNA
 - C nie ma wolnych nukleotydów
 - D DNA zajęty jest w procesie replikacji
 - E do pracy RNA-polimerazy brakuje energii

- 4** Kopiowanie informacji z RNA na nową RNA odbywa się dzięki
A odwrotnej transkrypcji
B polimerazie DNA zależnej od DNA
C replikazie
D polimerazie DNA zależnej od RNA
E polimerazie RNA zależnej od DNA
- 5** Jeżeli DNA-polimeraza i RNA-polimeraza spotykają się na cząsteczce DNA, to
A replikacja i transkrypcja ustaje
B replikacja ustaje i kontynuuje się transkrypcja
C replikacja kontynuuje się, a transkrypcja ustaje
D replikacja i transkrypcja nie przeszkadzają jedna drugiej i trwają
E replikacja przekształca się na transkrypcję

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Podaj charakterystykę wszystkich znanych ci różnic między DNA i RNA.
- 7** Ile łańcuchów jednocześnie syntezuje się podczas replikacji i transkrypcji? Co jest przyczyną tej różnicy?
- 8** Jak na podstawie mechanizmów syntezy matrycowej wyjaśnić krótszą długość cząsteczki RNA w porównaniu z długością cząsteczki DNA?
- 9** Które z czterech możliwych syntez matrycowych kwasów nukleinowych są potrzebne do przekazywania cech potomkom u eukariotów i prokariotów? Wyjaśnij swoje rozważania.
- 10** Na czym polega matrycowość syntezy RNA lub DNA według innej DNA? Bez jakich osobliwości budowy tych substancji takie syntezy matrycowe byłyby niemożliwe?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Po co wirusowi HIV dokonywać odwrotnej transkrypcji? Jak ta właściwość może być wykorzystana do leczenia HIV-infekcji?
- 12** Najpełniej syntezy matrycowe kwasów nukleinowych wykorzystują wirusy. Dlaczego właśnie w tej grupie istot one są tak rozpowszechnione?
- 13** Niektóre RNA-zawierające wirusy do rozmnażania replikują swój kwas nukleinowy, a niektóre – nie. Czym są uwarunkowane takie różnice?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 14** Jeden z rodzajów odwrotnej transkryptazy w niektórych komórkach eukariotów dobudowuje końcowe odcinki chromosomów – telomery, żeby one nie skracaly się podczas replikacji. Dla jakich komórek jest ważny ten proces i jak on zachodzi? Co spowoduje „włączenie” tego enzymu we wszystkich komórkach?
- 15** Za odkrycie wielu matrycowych syntez kwasów nukleinowych uczeni otrzymali Nagrody Nobla. Kim są ci uczeni i dlaczego Komitet Noblowski uznał te odkrycia jako ważne?

§ 23. Rodzaje RNA

Różnorodność strukturalna RNA – podstawą różnorodności funkcjonalnej

Z dwóch typów kwasów nukleinowych, które są w komórce, rolę nosiciela informacji dziedzicznej otrzymał DNA. Jednak RNA, jak już niejednokrotnie zaznaczaliśmy, ma zdolność do nabywania dużej różnorodności kształtów. Zazwyczaj uważa się, że DNA jest dwułańcuchową spiralną cząsteczką, natomiast RNA ma tylko jeden łańcuch, a struktura dwułańcuchowa dla niej nie jest charakterystyczna. Jednak tak nie jest. Co prawda, większość funkcjonalnych cząsteczek RNA składa się tylko z jednego łańcucha polinukleotydowego, ale w jego granicach można wyjawiać dużą ilość odcinków dwułańcuchowych (ryc. 23.1). Przy tym łańcuch polinukleotydowy wygina się i tworzy strukturę dwułańcuchową sam ze sobą, przestrzegając zasady komplementarności. Przeważnie w jednej cząsteczce RNA jest kilka odcinków dwułańcuchowych. Odcinki dwułańcuchowe są bardzo ważne, ponieważ to one wyznaczają kształt cząsteczki RNA i odpowiednio – jej funkcję. Tak duża strukturalna różnorodność warunkuje różnorodność funkcji RNA w komórce.

Matrycowy RNA – mRNA syntezuje się w jądrze w postaci poprzedników, a potem – po dojrzwaniu – znów dąży do cytoplazmy. W matrycowej RNA zakodowana jest sekwencja aminokwasowa białek. Rybosomy odczytują tę kolejność i syntezują łańcuch aminokwasowy białek.

Rybosomowy RNA – rRNA jest podstawą rybosomów, które funkcjonują w cytoplazmie. Wiele rybosomów jest związanych z błoną retikulum endoplazmatycznego (powstaje szorstkie retikulum endoplazmatyczne). Synteza rybosomowego RNA, jak i składanie rybosomów, zachodzi w jądrze.

Transportujący RNA – tRNA zaangażowany jest w biosyntezę białek. On bierze udział w aktywacji reszt aminokwasowych i ich transportu do rybosomu, który pracuje. Transportujący RNA powstaje w jądrze, a potem dąży do cytoplazmy. Niektóre transportujące RNA mitochondriów są kodowane jądrową DNA, a po powstaniu przenoszą się do mitochondriów przez cytoplazmę.

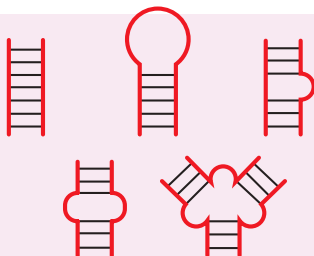
Małe jądrowe RNA powstają i funkcjonują w jądrze. One biorą udział w procesie dojrzwania matrycowego RNA.

Małe jądrowe RNA biorą udział w dojrzwaniu rybosomowego RNA

W cytoplazmie znajduje się duża ilość krótkich **cytoplazmatycznych RNA**, zaangażowanych w różnych procesach, takich jak przeniesienie białka przez błonę, ochrona komórki przed wirusami, regulacja syntezy białek.

W jądrze i cytoplazmie komórki obecne też są „zagadkowe” długie niekodujące RNA, które pełnią regulatorowe funkcje.

Mitochondria zawierają własny zespół matrycowych, rybosomowych i transportujących RNA, które powstają bezpośrednio w mitochondriach. Rybosomowe RNA mitochondriów znacznie różnią się od zakodowanych w jądrze i bardziej przypominają rybosomowe RNA bakterii. Niektóre transportujące RNA mitochondriów, jak już było powiedziane, kodowane są w jądrze, a potem przedostają się do mitochondriów.



Ryc. 23.1.
Różnorodność
elementów
budowy RNA

Wśród dużej różnorodności RNA w komórce warto wyróżnić trzy rodzaje, które biorą udział w biosyntezie białka. Jest to matrycowy RNA, rybosomowy RNA i transportujący RNA. Te trzy rodzaje RNA są absolutnie we wszystkich żywych organizmach, ponieważ biosynteza białek – to proces uniwersalny dla wszystkich żywego. Zatrzymajmy się dokładniej na rozpatrzeniu budowy i funkcji tych cząsteczek.

Matrycowy RNA niesie informację o budowie białkowej cząsteczki

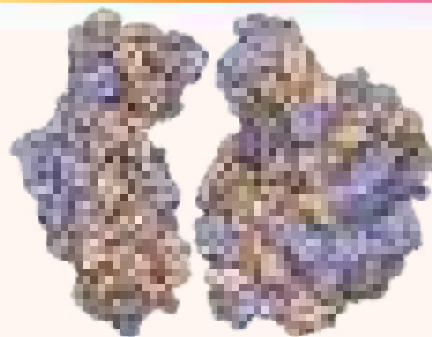
Matrycowy RNA (mRNA) – to długa liniowa cząsteczka, która zawiera w sobie informację o kolejności połączenia reszt aminokwasowych w cząsteczce białka. U prokariotów ona powstaje w procesie transkrypcji i od razu bierze udział w syntezie białka. U prokariotów **jedna cząsteczka matrycowego RNA** może zawierać informację o budowie **kilku różnych cząsteczek białka**.

U organizmów eukariotycznych mRNA powstaje wskutek transkrypcji w jądrze w postaci poprzednika (pre-mRNA), który potem „dojrzewa” też w jądrze. Proces „dojrzewania” jest dość złożony: w nim bierze udział dużo białek i regulujących cząsteczek RNA. W procesie „dojrzewania” pre-mRNA traci do 90% swej długości, do niego dołączają się niektóre dodatkowe nukleotydy, a niektóre poddają się chemicznemu przekształceniu. Tak tworzy się gotowy „dojrzały” mRNA.

Potem on transportuje się do cytoplazmy dla dokonania biosyntezy białka. Niektóre mRNA żyją niedługo: one są niszczone przez komórkę po kilku minutach od momentu powstania i z nich nadają „odczytać się” tylko całkiem mało cząsteczek białkowych. Inne żyją kilka godzin. Niektóre mRNA mogą zachowywać się w nieaktywnym stanie w ciągu kilku dni lub nawet tygodni, dopóki one nie staną się potrzebne komórce. Regulacja pracy mRNA jest złożona i różnorodna.

Rybosomowy RNA jest nie tylko strukturalną, lecz i funkcjonalną podstawą rybosomu

Jeżeli wyodrębnić z komórki cały RNA, to największą część masy będzie wynosić rRNA. Jak pamiętasz, rybosomy – to małe kompleksy z cząsteczek rybosomowych białek i RNA, które biorą udział w biosyntezie cząsteczek białek. W skład rybosomu wchodzi kilka różnych cząsteczek rRNA. Rybosomy są złożone z dwóch podjednostek – większej i mniejszej. W pracującym rybosomie obydwie podjednostki są połączone jedna z drugą. Między dwiema podjednostkami umieszczona jest cząsteczka mRNA. Rybosom porusza się wzdłuż mRNA, odczytuje z niej „instrukcje” i syntezuje cząsteczkę białka zgodnie z tymi „instrukcjami”.



Ryc. 23.2. Cząsteczkowy model podjednostek rybosomów pałeczki okrężnicy

Jasnobrązowym kolorem pokazano RNA, fioletowym – białka. Rybosomowe białka rozmieszczone są na obwodzie rybosomu i biorą udział w stabilizacji cząsteczek rRNA.

Jeżeli rozpatrzmy trójwymiarowy model rybosomu na rycinie 23.2, to łatwo zauważymy, że jego „podstawa” jest zbudowana z rybosomowych RNA, a białka służą zewnętrzną „dekoracją”. W rzeczywistości rola białek rybosomu polega przeważnie na stabilizacji rRNA, który dokonuje połączenia reszt aminokwasowych w łańcuszek białka.

Rybosomy występują u wszystkich żywych organizmów. Wielu badaczy nawet określa żywe organizmy jako „replikatory, które zawierają rybosomy”, żeby odróżniać je od wirusów, które swoich rybosomów nie posiadają, a bezczelnie wykorzystują do swoich celów rybosomy gospodarza. rRNA są nie tylko uniwersalne, ale i dość konserwatywne (niezmienne): różnice w kolejnościach nukleotydowych rRNA różnych organizmów bardzo powoli gromadzą się w toku ewolucji. Te prawidłowości dają możliwość uczonym wykorzystywać porównania kolejności rRNA różnych organizmów do ustalenia łączności ewolucyjnej pomiędzy królestwami przyrody żywej

Transportujące RNA przenoszą aminokwasy do miejsc syntezy białka

Jeszcze jeden rodzaj RNA włączony do procesu biosyntezy białka – to transportujące RNA (tRNA). Te RNA mają dość rozpoznawalne kształty (ryc. 23.3). One są złożone z jednego łańcucha nukleotydowego, który wytwarza cztery dwułańcuchowe odcinki i układa się w przestrzeni w strukturę przypominającą trójlistek koniczyny. Potem ten trójlistek wskutek niekomplementarnych oddziaływań nabywa L-podobnego kształtu. Właśnie w takiej postaci tRNA istnieje w komórce.

Specjalne enzymy przyłączają aminokwasy do cząsteczki tRNA. Ten proces wymaga затрат energii ATP. Skutkiem tego jest powstanie wysokoenergetycznego pośrednika (aminoacylo-tRNA – aa-tRNA), który dostaje się do rybosomu syntezującego białko. Dokładniej o tym procesie będzie mowa w następnych paragrafach.

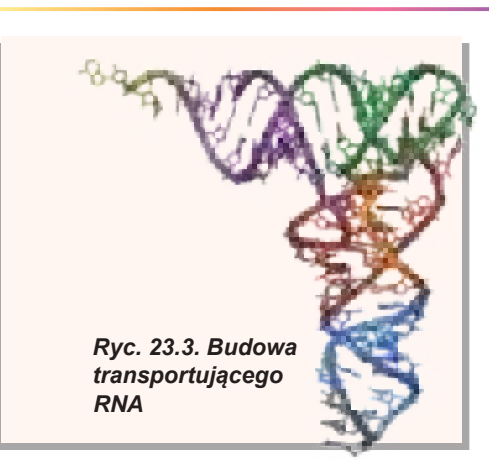
Inne rodzaje RNA – źródłem nowych odkryć w biologii współczesnej

Rozpatrzyliśmy zwięźle trzy rodzaje RNA, które biorą udział w biosyntezie białek, lecz tym nie ograniczają się wszystkie różnorodności cząsteczek RNA w komórce. Rozwój współczesnych technologii umożliwił odkrywanie coraz to nowych rodzajów RNA, które biorą udział w różnorodnych procesach. Szczególnie rozpięta ta różnorodność jest w komórkach eukariotycznych. Przytoczmy krótki przegląd innych rodzajów RNA znajdujących się w komórce.

7S RNA – to krótki RNA, obecny w dużej ilości w cytoplazmie jak pro-, tak i eukariotycznych komórek. Bierze udział w przeniesieniu cząsteczek białek przez błony komórkowe (u prokariotów) i przez błonę retikulum endoplazmatycznego (u eukariotów).

Interferujące RNA (siRNA), mikro-RNA (miRNA) i piRNA – to niezwykle różnorodne pod względem budowy i pochodzenia cząsteczki RNA. One są wciągnięte w proces regulacji syntezy białka, a także zapewniają ochronę komórki przed wirusami i innymi szkodliwymi agentami.

Jak pokazały ostatnie badania, w komórkach eukariotów powstaje też duża ilość RNA różnej długości. Przy tym funkcje większości tych RNA są nieznanne. Być może one są takim sobie „hałasem informacyjnym”. Całokształt DNA kodujących te RNA otrzymał nazwę „ciemnej materii genomu”.





A

B

C

D

Ryc. 23.4. Modele wirusów zawierających genom RNA

A. *Wirus grypy w przekroju. Pod błoną widoczne są cząsteczki RNA w kompleksie z białkami. Nie patrząc na powszechność jest śmiertelny. Najstraszniejsza epidemia wirusa grypy – „hiszpanka” – zabiła do 100 milionów ludzi. I do dziś od wirusa grypy umiera 250–500 tysięcy osób corocznie. Tylko dzięki uzgodnionej pracy medyków i uczonych udaje się trzymać wirus grypy, który stale ewoluuje, pod kontrolą. B.* *Ludzki wirus niedoboru odporności. Poraża komórki układu odpornościowego, pozbawiając ludzki organizm naturalnej ochrony. Każda cząsteczka wirusowa zawiera dwie identyczne cząsteczki RNA. W komórce gospodarza dzięki enzymowi – obrotnej transkryptazie – na nich syntezuje się DNA, który wbudowuje się w DNA gospodarza. C.* *Rinowirus. Rinowirusy powodują przeziębienie, ponieważ namnażają się w komórkach nabłonka śluzowego dróg oddechowych. Zazwyczaj one nie wyrządzają poważnej szkody zdrowiu człowieka, chociaż mogą doprowadzić do komplikacji u dzieci. D.* *Wirus Ebola. Ten wirus ma niciopodobny kształt. On wywołuje gorączkę krwotoczną Ebola - rzadkie schorzenie tropikalne, jedno z najśmiertelniejszych schorzeń. Niektóre rodzaje wirusów powodują prawie stuprocentową śmierć. W latach 2014–2015 były zarejestrowane ogniska schorzeń na gorączkę krwotoczną Ebola od razu w kilku miejscach na planecie.*

Wirusy posiadają genomy RNA

Na koniec rozpatrzmy jeszcze jedną funkcję, którą mogą wykonywać RNA w układach żywych. W poprzednim paragrafie zaznaczyliśmy, że DNA jest stabilniejszy, a znaczy – bardziej niż RNA nadaje się do zachowania informacji. Jednak stosunkowo niewielkie cząsteczki RNA często są wykorzystywane do zachowania informacji. Ilość informacji zapisanej w tej cząsteczce będzie ograniczona, ale wystarczająca do zapewnienia funkcjonowania najprostszych układów, które rozmnażają się – wirusów. Wirusy w pewnym stopniu nie mogą być uznawane za organizmy żywe. Jest to coś na kształt pasożytów genomu, które potrafią przez pewien czas istnieć poza komórką gospodarza. Wiele wirusów wykorzystuje RNA, a nie DNA do zachowania informacji genetycznej. Przykładami takich wirusów są : wirus grypy, ludzki wirus niedoboru odporności, rinowirus powodujący przeziębienie i wirus Ebola (ryc. 23.4).

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1

Za transport aminokwasów do rybosomów odpowiadają

A mRNA

B tRNA

C rRNA

D małe jądrowe RNA

E wirusowe RNA

- 2** Cząsteczka RNA składa się z
A jednego łańcucha
B jednego łańcucha, który może tworzyć fragmenty dwułańcuchowe
C jednego łańcucha, który może tworzyć fragmenty trójłańcuchowe
D dwóch łańcuchów
E dwóch łańcuchów, które mogą tworzyć fragmenty dwułańcuchowe
- 3** Wirus Ebola jest jednym z najniebezpieczniejszych, ponieważ
A jest rozpowszechniony tylko w krajach o wysokim poziomie życia
B wśród ludzi infekowanych jest bardzo wysoki poziom śmiertelności
C ma bardzo małe wymiary **D** ma bardzo duże wymiary
E ma niciowaty kształt
- 4** Dla cząsteczki tRNA charakterystyczna jest struktura
A czworolistka, zwiniętego w postaci litery T
B trójlistka, zwiniętego w postaci litery T
C czworolistka, zwiniętego w postaci litery L
D trójlistka, zwiniętego w postaci litery L
E trójlistka, zwiniętego w postaci litery C
- 5** Żeby wbudować się w DNA gospodarza, wirusowi niedoboru odporności niezbędny jest enzym zdolny do
A syntezy DNA według DNA **B** syntezy RNA według RNA **C** syntezy RNA według DNA
D syntezy DNA według RNA **E** syntezy RNA według DNA i według RNA

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Jakie osobliwości cząsteczek RNA dają im możliwość nabywania różnorodnych kształtów?
- 7** Podaj charakterystykę powiązań między mRNA, tRNA i rRNA w procesie syntezy białek.
- 8** Dokonaj opisu różnic w budowie i funkcjach eukariotycznych i prokariotycznych mRNA.
- 9** Zaznacz różnice między różnymi rodzajami rRNA. A co wspólnego jest między nimi?
- 10** Dlaczego obecność rRNA może być uważana za cechę żywego?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Na czym polega istota hipotezy „prorybosomów z RNA” i jakie są dowody tej hipotezy?
- 12** Wrzecionowatość bulw ziemniaka spowodowana jest wiroidem – cykliczną cząsteczką RNA. Jakie są osobliwości takich form życia i dlaczego one mogą być „żywymi kopalniami” RNA-świata?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Jakie osobliwości budowy matrycowego RNA eukariotów dają mu możliwość pełnienia swojej funkcji? Dlaczego bez nich on nie jest zdolny do pracy?
- 14** W przyrodzie istnieją osobliwe RNA – rybozomy. Na czym polega ich osobliwość w porównaniu z innymi RNA? W jaki sposób wyjawia się ich zdolność do autokatalizy? Jakie technologiczne zastosowanie mogą mieć rybozomy?
- 15** Mały interferujący RNA wykorzystywany jest jako lek przeciwko niektórym chorobom. Z jakimi chorobami i w jaki sposób mogą walczyć odpowiednie preparaty?

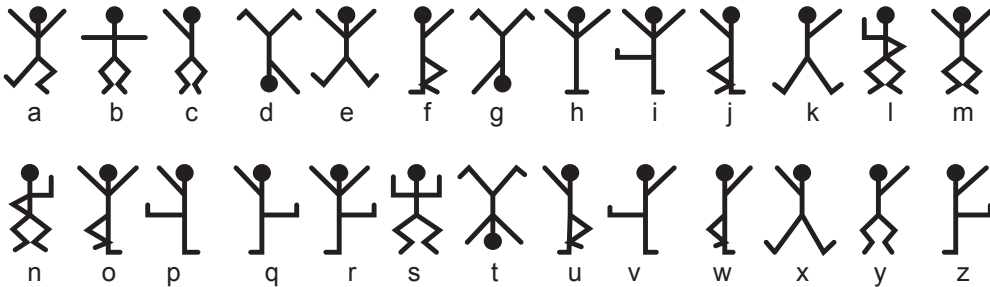
§ 24. Kod genetyczny

Kod – to system umownych znaków do zachowania i obróbki informacji

„Sherlock Holmes już od kilku godzin siedział milczący i zgarbiony nad chemiczną próbką, w której warzył coś śmierdzącego. Głowa jego była pochylona i on przypominał mi dziwnego kościstego ptaka z szarymi piórami i czarnym czubem”. Tak zaczyna się opowiadanie Arthura Conana Doyle’a – „Tańczące sylwetki”. W majątku Ridling Torp-Menor zaczynają zjawiać się dziwne rysunki w postaci tańczących sylwetek. Oto przykład jednego z takich rysunków.



Gospodar majątku zwraca się o pomoc do genialnego detektywa Sherlocka Holmesa. Ten łatwo dochodzi do wniosku, że rysunki – to zaszyfrowane postania. Holmes zabiera się za ich odszyfrowanie i okazuje się, że każda sylwetka odpowiada literze angielskiego alfabetu. Sherlock Holmes układa tabelę kodu – tabelę odpowiedniości między pozami sylwetek i literami.



Wykorzystując ten kod, można odszyfrować, co jest napisane w tajemniczym pośłaniu: „przychodź tu szybko” (ang. „*come here at once*”)¹. Ten kod był opracowany przez szefa chicagowskiego gangu w celu obcowania z podwładnymi. Jednak o wiele ciekawszą i bardziej złożoną pracę wykonali uczeni w celu odgadnięcia najważniejszego kodu żywej przyrody – kodu genetycznego. Zanim przejdziemy do zapoznania się z tym fenomenem, podajmy definicję pojęcia „kod”.

Kod – to zasada odpowiedniości jednemu konkretnemu obiektowi wyraźnie określonej kombinacji symboli. Innymi słowy, kod – to reguła, zgodnie z którą symbole jednego systemu (na przykład litery) jednoznacznie uzgadniają się z symbolami innego systemu (na przykład z postaciami sylwetek).

Kod genetyczny – to kodowanie kolejności (sekwencji) aminokwasów w białkach odpowiednio do kolejności nukleotydów w kwasach nukleinowych

Jak już przypominaliśmy w poprzednim paragrafie, matrycowy RNA bierze udział w biosyntezie białka. Właśnie on zawiera informację o kolejności połączenia reszt aminokwasowych w łańcuszek białka. Tę informację on otrzymał od cząsteczki DNA podczas

¹ W ukraińskim tłumaczeniu Wołodymyra Panczenki sylwetki musiały wykonywać jeszcze inne ruchy, ponieważ w ukraińskim alfabecie jest więcej liter. Ciekawa rzecz, jak będzie wyglądał ten kod w języku khmerskim, który zawiera 72 litery?..

transkrypcji. Jeżeli natomiast w przypadku transkrypcji rybonukleotydy mRNA potrzebują odpowiedności do deoksyrybonukleotydów według zasady komplementarności, to do syntezy cząsteczki białka komórka powinna dobrać odpowiednio do nukleotydów mRNA aminokwasy. Do tego ma być reguła. Ta reguła nazywa się **kodelem genetycznym**.

Zbrodniarz Abe Slaney posługiwał się kodelem gangu chicagowskiego, aby ukryć treść swoich wiadomości. A komórka wykorzystuje kod genetyczny z konieczności, bo kwasy nukleinowe i białka „mówią różnymi językami”: kwasy nukleinowe – językiem nukleotydów, a białka – językiem aminokwasów. Komórka musi tłumaczyć z języka nukleotydów na język aminokwasów w przybliżeniu tak samo, jak Sherlock Holmes tłumaczył z języka „tańczących sylwetek” na angielski. Tu jest ważny jeden szczegół: zdania w postaci tańczących sylwetek też były zapisane po angielsku, ale innymi symbolami. Można powiedzieć, że matrycowy RNA też napisany jest językiem białek, lecz innymi symbolami – nukleotydami. Nie można rozpatrywać tłumaczenia z języka kwasów nukleinowych na język białek jako tłumaczenia z angielskiego na ukraiński.

Chicagowscy bandyci musieli wymyślić 27 sylwetek, by zaszyfrować 27 liter angielskiego alfabetu. Lecz komórka ma tylko cztery nukleotydy, żeby zakodować 21 aminokwasów. Nie jest to łatwe.

Jednak ten problem można rozwiązać, jeżeli dobierać do aminokwasu kombinację z nukleotydów. Jeżeli będziemy kodować aminokwasy dwójkami nukleotydów, to otrzymamy: $4 \times 4 = 16$ kombinacji. Tego jest za mało, żeby kodować całą różnorodność aminokwasów (jest ich 20). Jeżeli natomiast będziemy kodować trójkami, to otrzymamy $4 \times 4 \times 4 = 64$ kombinacje, a znaczy dostatecznie do kodowania wszystkich aminokwasów. I rzeczywiście, do kodowania aminokwasów komórka wykorzystuje trójki nukleotydów, tak zwane **triplety**. Tabela 24.1 demonstruje kod genetyczny komórki.

Tabela 24.1. Kod genetyczny (mRNA)

Nukleotydy					
1-y	A doua				3-i
	U	C	A	G	
U	Fenyloalanina	Seryna	Tyrozyna	Cysteina	U
	Fenyloalanina	Seryna	Tyrozyna	Cysteina	C
	Leucyna	Seryna	Koniec trans.(stop-kodon)	Koniec trans ¹	A
	Leucyna	Seryna	Koniec trans	Tryptofan	G
C	Leucyna	Prolina	Histydyna	Arginina	U
	Leucyna	Prolina	Histydyna	Arginina	C
	Leucyna	Prolina	Glutamina	Arginina	A
	Leucyna	Prolina	Glutamina	Arginina	G
A	Izoleucyna	Treonina	Asparagina	Seryna	U
	Izoleucyna	Treonina	Asparagina	Seryna	C
	Izoleucyna	Treonina	Lizyna	Arginina	A
	Metionina	Treonina	Lizyna	Arginina	G
G	Walina	Alanina	Kwas asparaginowy	Glicyna	U
	Walina	Alanina	Kwas asparaginowy	Glicyna	C
	Walina	Alanina	Kwas glutaminowy	Glicyna	A
	Walina	Alanina	Kwas glutaminowy	Glicyna	G

1 Ten triplet czasem wykorzystuje się do kodowania aminokwasu selenocysteiny.

Po zapoznaniu się z tą tabelą można wyciągnąć następujące wnioski o właściwościach kodu genetycznego. Po pierwsze kod genetyczny jest **trójkowy**, czyli trójka nukleotydów koduje jeden aminokwas. Po drugie kod genetyczny jest **nadmierny**: tripletów jest więcej niż aminokwasów. Po trzecie kod genetyczny jest **zdegenerowany**. Jeden aminokwas może być kodowany przez kilka **kodonów** (kodonem nazywa się kombinacja z trzech nukleotydów – triplet). Po czwarte kod genetyczny jest **jednoznaczny**: jeden kodon koduje tylko jeden rodzaj aminokwasu. Po piąte kod genetyczny jest **bezzpracinkowy** (czyli kodony nie są rozdzielone), lecz **zawiera znaki przestankowe**: jeden „start” i trzy „koniec translacji” (stop-kodony).

Na ostatniej właściwości warto zatrzymać się dokładniej. Start-kodon (AUG) koduje też jeden z aminokwasów – metioninę, a więc wszystkie cząsteczki białka zaczynają się właśnie z metioniny¹. Jednak często metionina jest rozmieszczona również w środku łańcucha białkowego. Przeważnie jako startowy wykorzystuje się pierwszy kodon AUG od początku matrycowego RNA, a reszta rozpoznaje się jako kodony metioniny. Jeszcze jedna osobliwość: stop-kodon UGA czasem koduje selenocysteinę – 21. aminokwas. Aby on był rozpoznany jako kodon selenocysteiny, a nie „stop”, po nim ma być rozmieszczona osobliwa kolejność nukleotydów.

Zwróćmy uwagę na jeszcze jedną właściwość kodu genetycznego, którą dokładniej omówimy w następnym paragrafie. Kod genetyczny jest **nienakładający (niezachodzący)**: kolejne trójki położone są obok i nie zachodzą na siebie².

Kod genetyczny jest uniwersalny (powszechny)

Kod genetyczny – to bardzo surowa reguła. Przestrzega jej każda komórka organizmu w ciągu całego życia. Najpierw był odszyfrowany kod genetyczny pałeczki okrężnicy, lecz potem okazało się, że taki sam kod posiada i człowiek, i słonecznik. Postulowano uniwersalność kodu genetycznego: wszystkie żywe organizmy mają jednakowy kod genetyczny. Wynika stąd, że powstawszy jednego razu od wspólnego przodka wszystkich żywych organizmów, kod genetyczny więcej nie zmieniał się.

Ten fenomen ma logiczne tłumaczenie: jeżeli u kogoś organizmu powstaje odchylenie od kodu genetycznego, powiedzmy triplet AAA zaczyna kodować zamiast lizyny argininę, to we wszystkich jego białkach w połowie przypadków zamiast lizyny zaczyna zjawiać się arginina (dlaczego w połowie przypadków – spróbuj odpowiedzieć samodzielnie, uważnie rozpatrzywszy tabelę kodu genetycznego). To zakłóci strukturę i funkcję większości z nich i będzie śmiertelne dla istoty-wynalazcy.

Jednak warto zrobić kilka uwag. Popierwsze kod genetyczny powstał nie od razu. Najprawdopodobniej na różnych etapach ewolucji biologicznej (być może jeszcze przed powstaniem komórki) kod genetyczny ewoluował. Teraz są wszystkie podstawy, aby sądzić, że kod genetyczny był dwójkowy, czyli aminokwasy były kodowane dwójkami nukleotydów (tak więc aminokwasów było nie więcej niż 15) i tylko potem stał się trójkowy. Ale można z pewnością powiedzieć, że kod genetyczny ostatniego wspólnego przodka wszystkich żywych organizmów był taki sam jak u nas.

Po drugie kod genetyczny jednak zmienia się, chociaż bardzo powoli. Po raz pierwszy odchylenia były zauważone w mitochondriach człowieka. Z nich triplet UGA (który w kodzie klasycznym odczytuje się jako „stop”) koduje aminokwas tryptofan³, a triplet

1 Często on potem „wycina się” enzymami i u dojrzałej cząsteczki białek jest nieobecny.

2 Ta zasada często zakłóca się u wirusów.

3 Jest to charakterystyczne dla mitochondriów wszystkich badanych organizmów.

AUA (w kodzie klasycznym – izoleucyna) koduje metioninę. Potem były zauważone nieznaczne odchylenia w kodzie genetycznym niektórych bakterii i pierwotniaków, a także mitochondriów roślin i grzybów. Jednak te zmiany są rzadkie i nieznaczne, dlatego można mówić o uniwersalności kodu genetycznego (lub prawie uniwersalności lub, jak mówią uczeni, kwaziuniwersalności).

Jak odczytuje się kod genetyczny?

Teraz, mając dane kodu genetycznego, spróbujmy odszyfrować sekwencję aminokwasową białka, zakodowaną w kolejności nukleotydów matrycowego RNA.

UUUAGUAUGGUGUUUAUCCAGUGGAAGUG

Najpierw wyznaczmy, gdzie jest początek tej wiadomości: to nie musi być pierwszy nukleotyd! Powinniśmy odnaleźć „start” – kodon AUG. Zaznaczmy położenie pierwszego AUG.

UUUAGUAUGGUGUUUAUCCAGUGGAAGUG

On koduje metioninę. Następnie, gdy kolejnie podstawimy aminokwasy z tabeli kodu genetycznego odpowiednio do tripletów nukleotydów, to otrzymamy łańcuszek: metionina (AUG) – walina (GUG) – leucyna (UUA) – fenyloalanina (UUC) – prolina (CCA) – walina (CCA) – walina (GUG) – kwas glutaminowy (GAA) – glicyna (GGC).

Jest to tylko początek jednego z łańcuszków aminokwasowych białka. Takie łańcuchy mogą zawierać setki aminokwasów, a synteza jednego z nich trwa w komórce kilka minut. Jak ona to robi, rozpatrzmy w następnym paragrafie.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 To, że istnieje 64 triplety nukleotydów, a aminokwasów tylko 20, prowadzi do
A zdegenerowania kodu genetycznego B trójkowości kodu genetycznego
C uniwersalności kodu genetycznego D jednoznaczności kodu genetycznego
E bezprzecinkowości kodu genetycznego
- 2 Wszystkie trzy stop-kodony – to
A UAG, UGA, UUU B AUG, UAG, UGA
C UAA, AUG, UGG D UAA, UUU, UGG
E UGA, UAG, UAA
- 3 Jeżeli na mRNA znajduje się triplet AUC, to białko
A będzie zawierać trzy reszty izoleucyny
B będzie zawierać trzy reszty metioniny
C będzie zawierać trzy reszty izoleucyny i syntezować się trzy razy
D będzie zawierać dwie reszty izoleucyny i jedną resztę metioniny
E będzie zawierać trzy reszty aminokwasowe
- 4 Kolejność nukleotydów AAA – UGU – ACG – CCU odpowiada kolejności aminokwasów
A asparagina-cysteina-treonina-prolina B lizyna-fenyloalanina-prolina-treonina
C lizyna-cysteina-prolina-treonina D lizyna-cysteina-treonina-prolina
E asparagina-tryptofan-prolina-treonina

- 5 Metionina i tryptofan, w odróżnieniu od innych aminokwasów, kodują się tylko jednym kodonem. W stosunku do tych aminokwasów NIE realizuje się taka właściwość kodu genetycznego jak
- A zdegenerowanie B trójkowość C uniwersalność
D jednoznaczność E nienakładalność

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Kod genetyczny zapewnia odpowiedniość między kolejnością nukleotydów i aminokwasów białka. Podaj charakterystykę podstawowych cech tej odpowiedniości.
- 7 Stop-kodony jeszcze nazywane są nonsens-kodonami (od łac. *non* – brak i *sensus* – treść). Dlaczego one mają taką drugą nazwę? Czy ona jest uzasadniona?
- 8 Jakie są wady kodu trójkowego? Dlaczego żywe organizmy nie mogą wykorzystywać dwójkowego kodu genetycznego?
- 9 Czym wytłumaczyć, że bakterie, rośliny i zwierzęta posiadają identyczny kod genetyczny?
- 10 Dlaczego kod genetyczny uważany jest za kwaziuniwersalny?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11 Jak odszyfrowanie kodu genetycznego zmieniło postrzeganie otaczającego świata? Jakie możliwości i technologie były odkryte?
- 12 Wielu organizmom właściwe jest zjawisko „przekrzywienia się według kodonów”. Przy tym z kilku trypletów, które kodują określony aminokwas, niektóre wykorzystują się częściej od innych. Jak i w jakim celu może być wykorzystywane to dziwne zjawisko?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13 Zdegenerowanie i nadmierność kodu genetycznego dają organizmom niektóre przewagi w porównaniu z sytuacją, kiedy ilość aminokwasów i trypletów byłaby jednakowa. Na czym polegają te przewagi? Dlaczego z reguły różni się trzeci nukleotyd kodonu?
- 14 Francis Crick wysłowił hipotezę „zamrożonego przypadku”, co do tego, że stosunek trypletów i kodowanych przez nich aminokwasów jest pierwszym, przypadkowo zafiksowanym systemem. Jakie właściwości kodu genetycznego obalają tę hipotezę?

Dodatek VI

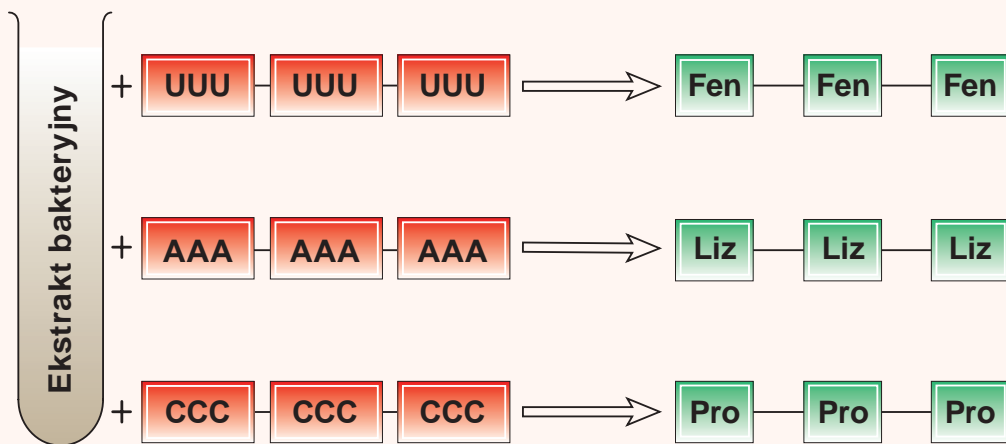
Jak odszyfrowano kod genetyczny?

Struktura i aktywność białka w organizmie zależy od kolejności aminokwasów, które są w jego cząsteczce. W skład białka wchodzi 20 aminokwasów. James Watson i Francis Crick w roku 1953 wykryli, że DNA składa się z dwóch łańcuchów nukleotydów, których zasady azotowe (A, T, G, C) łączą się wiązaniami wodorowymi i tworzą helisę. Było wiadomo, że DNA odpowiada za właściwości dziedziczne, że on w jakiś sposób koduje białka w organizmie. Pozostawało niewyja-

Denys Kuźmin

Ukończył w roku 2002 Liceum Fizyko-Matematyczne № 27 w Charkowie. Zwycięzca ogólnoukraińskich olimpiad i turniejów z biologii. Studiował na Moskiewskim Narodowym Uniwersytecie. W Instytucie Chemii Bioorganicznej obronił rozprawę doktorską, zdobywając stopień doktora w dziedzinie nauk biologicznych. Obecnie pracuje w tym instytucie jako pracownik naukowy instytutu.





Ryc. VI.1. Schemat badań, które pomogły w odszyfrowaniu kodu genetycznego

śnione, jak strukturalne jednostki białka – aminokwasy – odpowiadają jednostkom strukturalnym DNA, które je kodują – czterem nukleotydom. Uczniwi przypuścili, że istnieje jakiś specjalny kod.

Fizyk Georgij Gamow w 1958 roku zwrócił uwagę na to, że w takim razie jeden aminokwas miałby kodować co najmniej trzy nukleotydy. Gdyby jednemu nukleotydowi odpowiadał jeden aminokwas, to można by było zakodować tylko 4 aminokwasy. Gdyby za jeden aminokwas odpowiadały dwa nukleotydy, to z czterech nukleotydów można by było ułożyć $4^2 = 16$ dwuliterowych kombinacji i zakodować tylko 16 aminokwasów, a ich jest więcej. Otóż kod genetyczny, jak minimum, jest trójliterowy, czyli trójkowy.

W 1961 roku Francis Crick ze współpracownikami badał mutacje u bakteriofagów, oddziałując na nich mutagenem – akrydyną. Za pomocą tych doświadczeń oni stwierdzili, że kodony są trójkowe, między nimi nie ma znaków przestankowych („przecinków”); geny, które kodują strukturę białek, mają stały początek, określony kierunek i stałe zakończenie; istnieje nieduża ilość niekodujących kodonów. Sprostowano wcześniej wysunięte teoretyczne przypuszczenie, że kod jest nakładający. Kod nie jest nakładający – kolejne trójki położone są obok i nie zachodzą na siebie.

Kod genetyczny pałeczki okrężnicy był odszyfrowany w systemie bezkomórkowym w 60. latach przez Marshalla Nirenberga i Heinricha Matthaeia. Komórkowy ekstrakt bakterii zawierał wszystko, co jest niezbędne do syntezy białka: rybosomy do zbierania białka, aminokwasy, enzymy, źródło energii. Badacze dodawali do systemu mieszaninę aminokwasów i łańcuchy nukleotydów o znanej strukturze (ryc. VI.1). W każdej z 20 prób w mieszaninie aminokwasów była radioaktywnie znakowana tylko jedna. Na przykład przy dodawaniu kwasu poliurydylowego (zawiera tylko uracyl) jako matrycy RNA powstawał łańcuszek aminokwasowy, który zawierał znakowaną fenyloalaninę. Za pomocą prostego doboru ustalono, że kodon UUU koduje tylko fenyloalaninę. Lecz trójki nukleotydów o określonej kolejności otrzymywać na razie nie umieli.

Amerykański biolog Har Gobin Khorana do 1965 roku nauczył się syntezować krótkie fragmenty RNA z określoną kolejnością – najpierw duplety (dinukleotydy), a potem triplety (trójnukleotydy). Potem zaczęto wprowadzać do systemu triplety o zadanej strukturze. Na przykład dodając triplet, który zawiera 2U i 1G, ustalili, że walina jest kodowana kodonem GUU, a nie UGU i UUG i tak dalej. W ten sposób stopniowo, kodon za kodonem odszyfrowano kod genetyczny pałeczki okrężnicy.

§ 25. Biosynteza białka

Rybosom – to aparat do biosyntezy cząsteczek białkowych

W poprzednim paragrafie powiedzieliśmy, że komórka potrafi odczytywać informację o budowie cząsteczki białkowej, która jest zapisana w postaci kolejności nukleotydów mRNA i odpowiednio do kodu genetycznego syntezować cząsteczkę białka. Ten proces – **translację** – całkowicie wykonuje bardzo dawny i konserwatywny kompleks cząsteczkowy – rybosom. Wyjaśniliśmy już budowę rybosomu w § 23. Przypominamy, że rybosom – to aparat cząsteczkowy, który cechuje wszystkie żywe organizmy, od bakterii do wyższych roślin i ssaków. Rybosom składa się z dwóch podjednostek, zbudowanych z cząsteczek rybosomowych RNA i białek. Rybosomy u eukariotów powstają w osobliwej części jądra – jąderku. Tu zachodzi synteza rybosomowych RNA i składanie podjednostek. Rybosomy kierują się do cytoplazmy przez pory jądrowe. W cytoplazmie zachodzi translacja – proces, który rozpatrzemy w tym paragrafie.

Rybosom stwarza warunki do współdziałania mRNA i tRNA

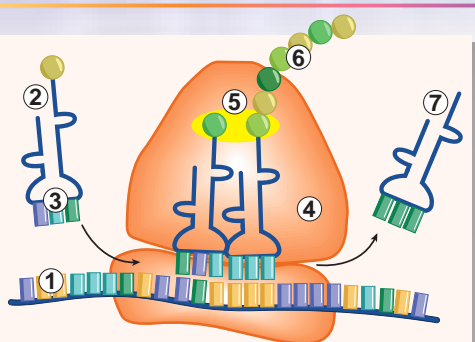
Do translacji u bakterii zadziałanych jest wiele cząsteczek, lecz jeszcze więcej – u eukariotów. Zatrzymajmy się na podstawowych uczestnikach tego procesu we wszystkich organizmach: matrycowym RNA, rybosomie, aminokwasach przyłączonych wiązaniem kowalencyjnym do transportującego RNA oraz enzymach, które katalizują biosyntezę białek w komórce.

Monomerami do syntezy białka służą nie wolne aminokwasy, a aminokwasy połączone z transportującym RNA. Aminokwasy przyłączają się do tRNA osobliwymi enzymami, **kodazami**, które rzetelnie pilnują przestrzegania kodu genetycznego. Każdemu aminokwasowi odpowiada jedna kodaza. Enzym zapewnia odpowiedniość aminokwasów i tRNA. Dla każdego aminokwasu jest jeden lub więcej tRNA. Kodaza rozpoznaje potrzebny aminokwas i odpowiadające mu tRNA, które mogą współdziałać z tripletami nukleotydów w mRNA kodującymi ten aminokwas. Proces przyłączenia aminokwasu do tRNA wymaga затрат energii ATP, a otrzymany produkt (tRNA połączony ze „swoim” aminokwasem) ma dość wysoką energię, żeby połączyć między sobą dwa aminokwasy¹.

Jak pamiętamy, tRNA ma kilka pętli i „łodygę” i przypomina trójlistek koniczyny. Aminokwas przyłącza się do łodyżki, a za współdziałanie z mRNA odpowiada jedna z pętli, która zawiera trójkę nukleotydów. Trójkę tę nazywamy **antykodonom**. Antykonon jest komplementarny do trójki nukleotydów w mRNA – kodonu. Współdziałanie komplementarne pomiędzy antykononem i kodonem decyduje, który aminokwas wbuduje się w łańcuszek tworzącego się białka. Współdziałanie tRNA z mRNA, a także przyłączenie aminokwasu do łańcuszka białka dokonuje rybosom. A więc do realizacji syntezy białka jest niezbędne wykonanie trzech warunków.

1. Kodazy dokonują przyłączenia aminokwasów do transportujących RNA odpowiednio do zasad kodu genetycznego.
2. Antykonon tRNA komplementarnie współdziała z kodonem mRNA.
3. Rybosom zapewnia przyłączenie aminokwasu do łańcuszka powstającej cząsteczki białkowej.

¹ Jak już zaznaczono wcześniej, biosynteza białka nie jest procesem odwrotnym do jego rozszczepienia.



Ryc. 25.1. Schemat syntezy białka

1. mRNA.
2. tRNA z aminokwasem.
3. Antykodon.
4. Rybosom.
5. Powstanie wiązania peptydowego.
6. Łańcuszek aminokwasowy.
7. Wolny tRNA.

Połączenie aminokwasów w białkową cząsteczkę odbywa się w rybosomie

Rozpatrzmy dokładniej, jak łączą się aminokwasy (ryc. 25.1). Proces biosyntezy białka zaczyna się od tego, że mniejsza podjednostka rybosomu łączy się z osobliwą cząsteczką tRNA, która niesie aminokwas metioninę. Jak pamiętasz, synteza białka zaczyna się właśnie od tego aminokwasu. Potem mniejsza podjednostka rybosomu z tym tRNA przyłącza cząsteczkę mRNA i zaczyna ją skanować, szukając start-kodonu, kodującego właśnie metioninę. Jak tylko ona go odnajduje, to zatrzymuje się, przyłącza większą podjednostkę i cały rybosom przygotowuje się do przyłączenia nowych aminokwasów. On przyjmuje następną cząsteczkę tRNA z przyłączonym do niej aminokwasem. Antykodon tego drugiego tRNA odpowiada następnemu po metioninowym kodonie w mRNA. W tym stanie rybosom jest połączony z dwiema

cząsteczkami tRNA. A reszty aminokwasowe, przyłączone do tych tRNA, okazują się w bliskim sąsiedztwie. Właśnie w tym momencie zachodzi powstanie wiązania między tymi aminokwasami. Tę reakcję dokonuje rybosom, lecz bezpośrednio za katalizę tej reakcji odpowiada nie białko, lecz rRNA. Jest to przykład swoistych biochemicznych reakcji, które są katalizowane nie enzymami, a RNA. Przy tym połączenie między pierwszym aminokwasem (metioniną) i transportującym RNA rozrywa się. Okazuje się, że pierwszy aminokwas wraz ze swoim tRNA przenosi się na aminokwas przyłączony do drugiego tRNA. Pierwszy transportujący RNA, zwolniony od swego aminokwasu, pozostawia rybosom. Krótki łańcuszek z dwóch aminokwasów okazuje się przyłączony do drugiego tRNA. Przy tym rybosom przesuwają się o jeden kodon względem matrycowego RNA i jest przygotowany do przyjęcia następnego transportującego RNA z resztą aminokwasową. Następnie powtarza się ten sam proces: łańcuszek z dwóch aminokwasów przenosi się z drugiego tRNA na aminokwas, przyłączony do trzeciego tRNA i tak dalej. Tak kształtuje się długi aminokwasowy łańcuszek cząsteczki białkowej. Proces powtarza się do tej pory, dopóki rybosom nie wykryje stop-kodonu. Przy tym rybosom zatrzymuje się i zakończony łańcuszek aminokwasowy odłącza się od tRNA, który przyszedł ostatni. W ciągu swojej syntezy cząsteczka białka skręca się w strukturę trójwymiarową i po zakończeniu tych procesów jest gotowa do pełnienia swoich funkcji¹. Podjednostki rybosomów rozpadają się i zwalniają matrycowy RNA. Na tym proces translacji się kończy. Obejrzeć, jak zachodzi translacja, możesz **na wideo na stronie internetowej**.

Biosynteza białka u prokariotów i eukariotów ma przestrzenne różnice

Translacja stale zachodzi w żywych komórkach i zapewnia ich zapotrzebowanie na białka. U bakterii procesy transkrypcji i translacji nie są zrozerwane w przestrzeni: w cytoplazmie cząsteczka ma-

1 Dla niektórych białek skręcanie się zachodzi już po zakończeniu translacji.



trycowego RNA jest syntezowana RNA-polimerazą na cząsteczce DNA, a rybosomy odczytują z niego informację i syntezują białko też w cytoplazmie (ryc. 25.2). Przy tym translacja może zaczynać się jeszcze przed zakończeniem transkrypcji: rybosomy łączą się z mRNA jeszcze przed zakończeniem jego syntezy RNA-polimerazą. U eukariotów jest to bardziej skomplikowane. One posiadają otoczkę jądrową, ściśle oddzielającą transkrypcję i translację. Przy tym matrycowy RNA syntezuje się w postaci pre-mRNA (poprzednika), któremu niezbędne jest dojrzewanie, aby połączyć się z rybosomem. Translacja zachodzi w cytoplazmie po tym, jak dojrzały matrycowy RNA przez porę wydostanie się z jądra.

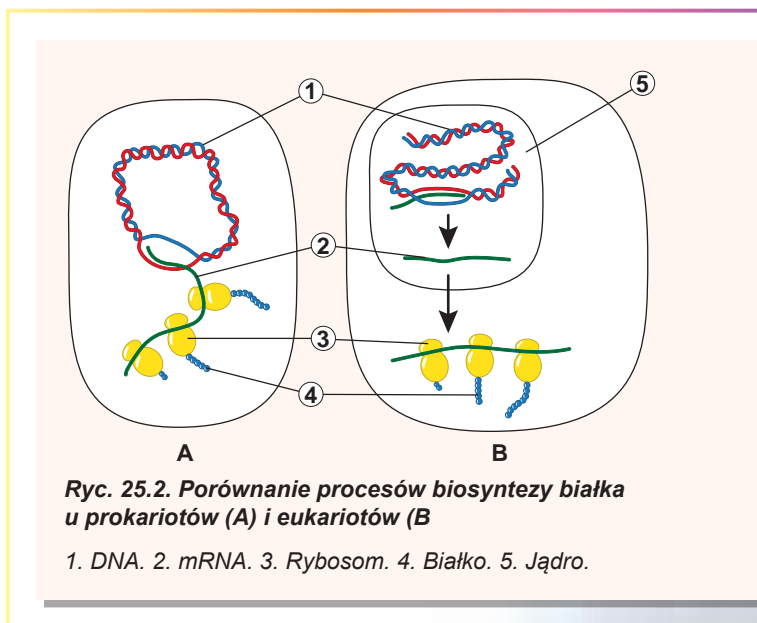
Są różnice w biosyntezie białek cytozolu oraz białek błonowych i wydzielniczych. Translacja białek cytozolu dokonuje się pojedynczymi rybosomami bezpośrednio w cytozolu. Jeżeli jednak białko błonowe będzie pracować w środku pęcherzyka (lub, powiedzmy, lizosomu czy aparatu Golgiego) albo będzie skierowane do przestrzeni międzykomórkowej (jak na przykład enzymy trawienne lub kolagen), jego syntezę urzeczywistnią rybosomy retikulum endoplazmatycznego. Translacja takich białek zaczyna się tak samo, jak i translacja zwykłych białek cytozolu w przestrzeni komórki. Jednak pierwsze aminokwasy tworzą sygnałową kolejność. Ta kolejność decyduje o dalszych losach białka: translacja ustaje, a rybosom kieruje się do retikulum endoplazmatycznego. Po połączeniu z jego błoną translacja jest kontynuowana, lecz powstający łańcuszek aminokwasowy porusza się bezpośrednio do środka ER. Możesz obejrzeć, jak zachodzi ten proces, **oglądając wideo na stronie internetowej**.



Warto zaznaczyć, że w komórkach eukariotycznych też są mitochondria i chloroplasty, które zawierają własne rybosomy. Te rybosomy są podobne do prokariotycznych, a translacja, jak i u przypadku bakterii, przestrzennie nie jest rozdzielona z transkrypcją.

Informacja o budowie białka przekazuje się w kierunku DNA → RNA → białko

Uogólnijmy proces syntezy białka na przykładzie komórki zwierzęcej. Informacja o kolejności połączenia aminokwasów w białku zakodowana jest w cząsteczce DNA, znajdującej się w jądrze. Enzym DNA-polimeraza syntezuje na niej matrycowy RNA w postaci poprzednika zgodnie z zasadami komplementarności. Poprzednik matrycowego RNA „dojrzewa” w jądrze, a potem „dojrzała” cząsteczka matrycowego RNA kieruje się do cytoplazmy. Tam ona spotyka się z rybosomami oraz transportującymi RNA, które niosą aminokwasy – przyszłe ogniwa łańcucha białkowego. Aminokwasy przyłą-



Ryc. 25.2. Porównanie procesów biosyntezy białka u prokariotów (A) i eukariotów (B)

1. DNA. 2. mRNA. 3. Rybosom. 4. Białko. 5. Jądro.

czony są do swoich tRNA nie przypadkowo, a zgodnie z zasadami kodu genetycznego. Enzymy, dokonujące tego przyłączenia – to kodazy. W rybosomie powstają warunki, które zapewniają współdziałanie antykodonu transportującego RNA z kodonem matrycowego RNA zgodnie z zasadami komplementarności. Przy tym reszty aminokwasowe okazują się blisko siebie. Rybosom wytwarza połączenie między dwiema resztami, przy tym przenosi pierwszą resztę aminokwasową z pierwszego tRNA na drugi. Rybosom powtarza ten proces wielokrotnie, zapewniając syntezę długiego aminokwasowego łańcucha białka.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1** Aminokwasy otrzymują energię do dalszego połączenia się w białko
 - A podczas przeniesienia się z jednego tRNA na inny w rybosomie
 - B podczas syntezy w komórce
 - C podczas przyłączenia do tRNA
 - D po dostaniu się tRNA z aminokwasem do rybosomu
 - E podczas połączenia się subjednostek rybosomu
- 2** Jeżeli kodon dla metioniny – AUG, to antykodon dla niego – to
 - A GUA
 - B AUG
 - C UGA
 - D TAC
 - E UAC
- 3** Poprawna kolejność procesów podczas syntezy białka jest taka:
 - A przyłączenie metioninowego tRNA do małej podjednostki, potem połączenie małej i dużej podjednostki rybosomu
 - B połączenie małej i dużej podjednostki rybosomu, potem przyłączenie mRNA do rybosomu
 - C wejście drugiego tRNA do rybosomu, potem połączenie mRNA do rybosomu
 - D przeniesienie reszty aminokwasowej metioniny na drugi tRNA, potem połączenie małej i dużej podjednostki rybosomu
 - E przyłączenie mRNA do rybosomu, potem przyłączenie metioninowej tRNA do małej podjednostki
- 4** Światłoczułe białko rodopsyna znajduje się w błonie komórkowej pręcików siatkówki oka. Gdzie zachodzi jego translacja?
 - A w rybosomach mitochondriów
 - B w rybosomach w cytozolu
 - C w rybosomach na ER
 - D zaczyna się w rybosomach w cytozolu, kończy się – w rybosomach ER
 - E zaczyna się w rybosomach ER, kończy się – w rybosomach w cytozolu
- 5** Poprawna kolejność wydarzeń biosyntezy białka jest następująca:
 - A skręcanie się białka – transkrypcja – translacja
 - B translacja – skręcanie się białka – translacja
 - C translacja – skręcanie się białka – transkrypcja
 - D transkrypcja – translacja – skręcanie się białka
 - E translacja – transkrypcja – skręcanie się białka

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Translacja w tłumaczeniu z łacińskiego oznacza „tłumaczenie”. Dlaczego proces syntezy białka według matrycy mRNA był tak dziwnie nazwany?
- 7 Podaj charakterystykę podstawowej różnicy w biosyntezie białka eukariotami w cytozolu i eukariotami w mitochondriach. W którym z tych procesów powstaje większa różnorodność białek i dlaczego?
- 8 W jakim stopniu kodazy w komórkach eukariotów są różnorodne i czym taka różnorodność jest uwarunkowana?
- 9 Jakie komponenty są niezbędne do dokonania translacji u eukariotów? Czy jest możliwa translacja poza komórką, w próbówce?
- 10 Jakie komponenty komórki zapewniają dokładną i wyraźną odpowiedniość kodonów mRNA i aminokwasów, które wbudowują się w łańcuszek białkowy? Dzięki jakim współdziałaniom komponenty to robią?
- 11 Ile rodzajów tRNA jest w komórce człowieka? Dlaczego ich ilość jest mniejsza od ilości kodonów?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 12 Dlaczego komórka nie dokonuje syntezy białka według matrycy DNA? Jaka jest rola pośrednika – matrycowego RNA?
- 13 Po co eukarioty rozdzieliły transkrypcję i translację w przestrzeni? Jaka jest ujemna strona takiego rozdzielenia?
- 14 Jak i dlaczego zachodzi „dojrzewanie” mRNA w jądrze u eukariotów? Jakie dodatkowe możliwości różnorodności białek daje „dojrzewanie”?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 15 W translacji wyróżnia się trzy zasadnicze fazy. Co to za fazy i jakie procesy zachodzą w tych fazach? Która faza jest najszybsza, a która – najpowolniejsza?
- 16 W różnych momentach w komórce syntezuje się niejednakowa ilość białek. Na jakich etapach może dokonywać się regulacja syntezy białek w komórce? Jakie są sposoby takiej regulacji?

Projekt do opracowania w grupie

- 17 Model translacji.
 - 1) Wykorzystując materiały podręczne (tekturę, papier, pudełka, sznurki, kolorowe flamastry lub ołówki itp.), wykonaj model potrzebnych elementów translacji.
 - 2) Jeżeli bardziej podoba ci się praca przy komputerze, to, wykorzystując programy do tworzenia prezentacji lub animacji i opierając się na porady nauczycieli informatyki, stwórz swój komputerowy model translacji.
 - 3) Zademonstruj kolegom proces translacji, wykorzystując swoje modele.

Praca praktyczna № 2

Rozwiązywanie podstawowych zadań z replikacji, transkrypcji i translacji

Cel: nauczyć się wykorzystywać wiedzę o replikacji, transkrypcji i translacji do rozwiązywania zadań.

Przebieg pracy

Ćwiczenia i zadania z replikacji

- 1 Jeden z łańcuchów DNA ma kolejność ATT CAT GAT GGG ACT. Wyznacz kolejność nukleotydów drugiego łańcucha i policz, ile w sumie adenylowych nukleotydów będą zawierać obydwie cząsteczki DNA po replikacji.
- 2 Ile nowych nukleotydów A, T, G i C trzeba wykorzystać, żeby dokonać replikacji DNA, którego jeden z łańcuchów ma następującą kolejność: AAA TGC TGG TAC?
- 3 Cząsteczka RNA zawiera 620 adenylowych i 850 guanylowych nukleotydów. Ile i jakie nukleotydy są potrzebne do dokonania replikacji?

Ćwiczenia i zadania z transkrypcji

- 4 Cząsteczka mRNA zawiera 1244 nukleotydy. Ile nukleotydów zawiera fragment DNA, który koduje tę cząsteczkę mRNA?
- 5 Kolejność nukleotydów w cząsteczce mRNA jest następująca : UAG CGU UUG ACC. Wyznacz kolejność nukleotydów w fragmencie DNA, który koduje ten fragment mRNA.
- 6 Do składu mRNA wchodzi 20% adenylowych nukleotydów, 16% urydylowych, 31% cytydylowych. Jaka jest zawartość nukleotydów we fragmencie DNA, według którego był syntezowany ten mRNA?

Ćwiczenia i zadania z translacji

- 7 Białko składa się z 803 reszt aminokwasowych. Ile nukleotydów w mRNA i DNA koduje to białko?
- 8 Cząsteczka mRNA złożona jest z 1302 nukleotydów, wśród których jest jeden kodon UAA. Jaką maksymalną długość może mieć cząsteczka białka syntezowanego według tej mRNA?
- 9 Wyznacz kolejność aminokwasów w białku, o którym informacja jest zapisana w mRNA z taką kolejnością nukleotydów – UUU ACG AKGG AGU AAC GAU.
- 10 Jak zmieni się struktura białka, jeżeli we fragmencie DNA, który go koduje – TAT TCT TTT TGT GGA CGA – wypadnie 11. nukleotyd?
- 11 Początkowy odcinek cząsteczki białka ma kolejność: walina – leucyna – histydyna – seryna – izoleucyna. Jaka będzie struktura mRNA i DNA, w których zapisana jest informacja o tym odcinku białka.
- 12 Wyznacz antykodony tRNA, które biorą udział w syntezie białka, kodującego się fragmentem DNA o takiej kolejności: AGT ACG ATG TCA AGA.

§ 26. Geny

Podać definicję pojęcia „gen” nie jest łatwo

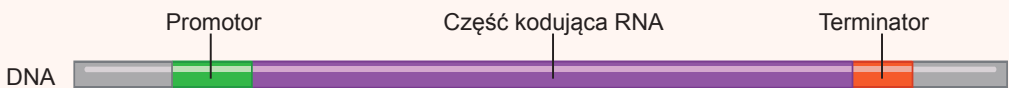
W poprzednim paragrafie rozpatrzyliśmy, jak informacja o budowie DNA kolejno realizuje się w procesach transkrypcji, a potem translacji. Najpierw RNA-polimeraza syntezuje matrycowy RNA na cząsteczce DNA, a potem rybosom syntezuje białko, odczytując informację z matrycowego RNA. U eukariotów jeden matrycowy RNA zwykle zawiera informację o budowie całego typu cząsteczek białkowych. Ten matrycowy RNA syntezuje się z osobliwego odcinka DNA, który nazywa się **genem**.

Otóż informacja o kolejności reszt aminokwasowych w cząsteczce białka zakodowana jest w osobliwym odcinku cząsteczki DNA – genie. Jednak geny kodują nie tylko matrycowy RNA. Transportujące RNA, rybosomowe RNA i inne rodzaje RNA też są kodowane swymi genami, jednak te RNA nigdy nie ulegają translacji, zostając na zawsze RNA. Możemy więc sformułować szerszą definicję genu: **gen – to odcinek DNA, który koduje cząsteczkę RNA**¹.

Rozpatrzmy budowę zwykłego genu, który koduje matrycowy RNA komórki zwierzęcej (ryc. 26.1). Gen, jak już wiemy, jest odcinkiem dwułańcuchowego DNA i tylko jeden łańcuch koduje mRNA. Ten łańcuch nazywa się łańcuchem **antytreściowym (nić sensowna)**. Kolejność nukleotydów w nim jest komplementarna do matrycowego RNA, właśnie z tym łańcuchem będzie pracować RNA-polimeraza. Kolejność nukleotydów innego łańcucha DNA zbiega się z kolejnością nukleotydów matrycowego RNA kodującego się genem. Ten łańcuch nazywa się łańcuchem **treściowym (nić niesensowna)**. Przy tym jeden łańcuch DNA może być antytreściowy dla jednych genów i treściowy – dla innych.

Antytreściowy łańcuch DNA	TACCAGGGCTAACCGAAACT
Treściowy łańcuch DNA	ATGGTCCCGATTGGCTTTGA
Matrycowy RNA	AUGGUCCCGAUUGGCUUUGA

Teraz rozpatrzmy, jak rozmieszczają się różne odcinki genu wzdłuż cząsteczki DNA. Gen zaczyna się z odcinka, który odpowiada za przyłączenie RNA-polimerazy i początek translacji – promotora. Następnie za promotorem rozmieszczony jest odcinek genu, który koduje matrycowy RNA – część kodująca genu. Jak pamiętasz, matrycowy RNA zawiera start-kodon. Taki sam start-kodon zawiera gen. Za nim rozmieszczona



Ryc. 26.1. Budowa genu eukariotów

¹ Jednak nawet taka definicja nie jest doskonała. Do niej nie pasują na przykład geny wirusów z RNA-genomem. Wiadomo, że często u eukariotów z jednego genu syntezuje się kilka różnych cząsteczek RNA. U prokariotów kilka genów może kodować jedną cząsteczkę RNA, o czym będzie mowa w tym paragrafie. Chociaż nasza definicja pojęcia „gen” jest dość ścisła, ona ukazuje jego istotę.

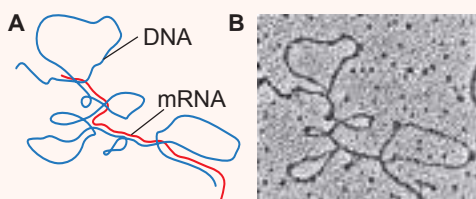
kolejność nukleotydów, kodujących aminokwasy w białku. W końcu kodujący odcinek kończy się stop-kodonem¹. Jednak nawet po stop-kodonie transkrypcja powinna jakiś czas być kontynuowana: cząsteczka matrycowego RNA zawiera długi odcinek, który nie transluje się rybosomem, lecz jest ważny dla funkcjonowania matrycowego RNA. Gen kończy się odcinkiem, który odpowiada za ustanie transkrypcji – **terminatorem**. Terminator zapewnia odłączenie RNA-polimerazy od DNA i ustanie transkrypcji. Jak i w przypadku promotora, terminator może być po różnemu zorganizowany w różnych genach. Ciekawa rzecz, że kolejność, która wykonuje rolę terminatora w genach matrycowego RNA eukariotów, nie kończy transkrypcji natychmiast: RNA-polimeraza odczytuje jeszcze 100–200 nukleotydów i tylko wtedy „odpada” od DNA. Zbyteczne nukleotydy potem są odcinane enzymami komórki.

Geny prokariotów i eukariotów różnią się pod względem budowy

Jak już zaznaczaliśmy, jeden łańcuch DNA, a dokładniej – antytreściowy, jest całkowicie komplementarny do cząsteczki RNA syntezowanej na nim RNA-polimerazą. To znaczy, że jeżeli w próbówce dodamy do tego łańcucha syntezowany na nim RNA, to one utworzą dwułańcuchową strukturę podobną do tej, którą tworzą dwa łańcuchy DNA. Natomiast gdy dodamy antytreściowy łańcuch DNA do dojrzałego matrycowego RNA kodowanego tym genem, to okaże się, że ilość komplementarnych odcinków nie będzie tak duża. Większa część antytreściowego DNA nie będzie komplementarna do matrycowego RNA i będzie tworzyć pętle, część komplementarna będzie w postaci kilku rozróżnionych odcinków (ryc. 26.2).

Tłumaczy się to tym, że u eukariotów po syntezie poprzednika matrycowego RNA z niego wycinane są nieduże odcinki. Te odcinki nazywają się **intronami**. Introny przeważnie nie kodują kolejności aminokwasowej białka. One bezpowrotnie usuwają się z cząsteczki RNA podczas jej dojrzewania. Przy tym odcinki kodujące, które pozostały – **egzony** – łączą się między sobą. Proces wycinania intronów zachodzi w jądrze przy udziale małych jądrowych RNA. Ten proces jest nieodjemną częścią dojrzewania matrycowego RNA. Czasami introny stanowią 90% całej kolejności genu. Wynika stąd, że w toku dojrzewania pre-mRNA skraca się dziesięciokrotnie. Funkcje intronów poznane są nie do końca. One są uważane za potomków szkodliwych kolejności DNA, które infekowały genom i bez kontroli namnożyły się w nim (tak zwany egoistyczny DNA). Według tej teorii wycinanie intronów – to proces oczyszczenia genów od niekodowanych kolejności, które ich zaraziły. Jednak komórki nauczyły się wykorzystywać introny do kodowania kilku białek jednym genem, zwiększając w ten sposób różnorodność własnych białek. Dlatego czasami introny kodują odcinki aminokwasowej kolejności białka. Przypuśćmy, że w procesie wycinania jeden intron zostanie. Wtedy informacja, którą on zawiera, rybosom wykorzysta do budowy cząsteczki białka. Ciekawa rzecz, że wskutek tego procesu z jednego genu powstają różne matry-

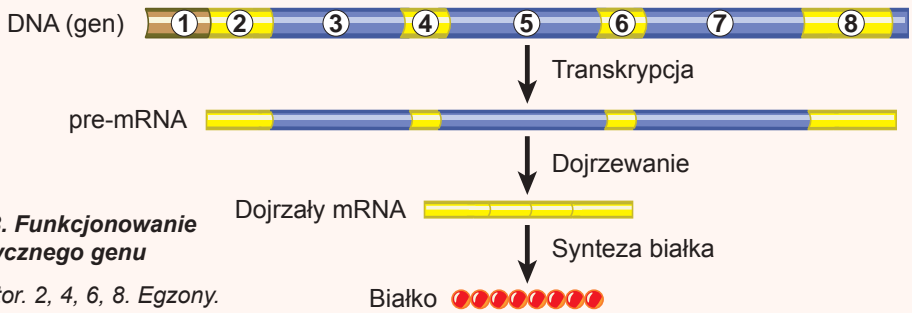
cy



Ryc. 26.2. Połączenie dojrzałego mRNA i antytreściowego łańcucha DNA

A. Schemat. B. Mikrofotografia.

1 Eukarioty mogą mieć dużo stop-kodonów. Zwykle po głównym znajduje się kilka dodatkowych, żeby na pewno wstrzymać syntezę białka. Zobaczmy, że w genie eukariotów są odcinki, które będą wycięte podczas dojrzewania matrycowego RNA. Te odcinki nie powinny translować się i często zawierają stop-kodony, żeby zapobiec syntezie nieprawidłowego białka w przypadku naruszenia ich wycinania.

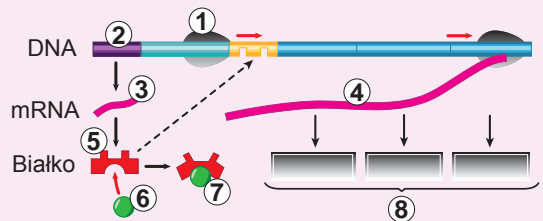


Ryc. 26.3. Funkcjonowanie eukariotycznego genu

1. Promotor. 2, 4, 6, 8. Egzony.
3, 5, 7. Introny.

cowe RNA, a z nich – różne białka. Przykładem takiego genu może być gen fibronektyny. On zawiera fragment, kodujący odcinek RNA, który u większości komórek nie wycina się, czyli rozpoznaje się jako egzon. Ten odcinek odpowiada za wiązanie z białkami międzykomórkowej substancji i jej włączenie do cząsteczki białka prowadzi do powstania **nierozpuszczalnej** formy fibronektyny. Jednak w komórkach wątroby ten odcinek rozpoznaje się jako intron i wycina się. Prowadzi to do kształtowania **cyркуlującej** formy fibronektyny rozpuszczonej w osoczu krwi. Otóż jeden gen koduje dwa białka. Uważa się, że u człowieka tak funkcjonuje większość genów, dlatego ilość białek przewyższa ilość genów kodujących białka. Introny mają dość stałe położenie w genach, które mało zmienia się w toku ewolucji. Tak więc geny, które kodują matrycowy RNA eukariotów, mają przerywaną budowę (ryc. 26.3).

Gen prokariotów znacznie różni się pod względem budowy od genu eukariotycznego. Po pierwsze, gen prokariotyczny nie posiada intronów. Przy tym cała kolejność genu ulega transkrypcji bezpośrednio do matrycowego RNA. Po drugie, jedna cząsteczka matrycowego RNA zwyczajnie koduje kilka białek. Odcinek DNA, kodujący tę mRNA nazywa się **operonem** (ryc. 26.4). Przy tym wszystkie geny, z których zbudowany jest operon, mają tylko jeden promotor na początku operonu. Operon łączy kilku genów białek włączonych do wspólnego procesu i dlatego syntezowanych razem. Najbardziej znany jest laktozowy operon kodujący trzy białka, które biorą udział w spożyciu laktozy i operon tryptofany kodujący pięć białek, które uczestniczą w biosyntezie aminokwasu tryptofanu. Większość genów prokariotów połączonych jest w operony. Ciekawa rzecz to, że operony rzadko są spotykane u eukariotów.



Ryc. 26.4. Budowa operonu laktozowego

1. RNA-polimeraza. 2. Gen białka-regulatora. 3. mRNA białka-regulatora. 4. mRNA trzech enzymów trawienia laktozy. 5. Białko-regulator. 6. Laktoza. 7. Nieaktywne białko-regulator. 8. Enzymy trawienia laktozy. Zwróć uwagę, że białko-regulator może zablokować dostęp RNA-polimerazy do genów enzymów tylko w przypadku nieobecności laktozy w komórce.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1** Gen eukariotów zawiera informację o
A mRNA **B** mRNA lub tRNA **C** tRNA lub rRNA
D mRNA, tRNA i rRNA **E** mRNA, tRNA, rRNA lub DNA
- 2** Gdy matrycowy RNA ma kolejność nukleotydów ACUGGCA, to łańcuch treściwy DNA miał kolejność
A ACUGGCA **B** UGACCGU **C** ACGGTCA **D** ACTGGCA **E** TGACCGT
- 3** Prawidłowe rozmieszczenie elementów genu jest następujące
A start-kodon – promotor – część kodująca – stop-kodon – terminator
B promotor – start-kodon – część kodująca – stop-kodon – terminator
C stop-kodon – część kodująca – promotor – stop-kodon – terminator
D promotor – start-kodon – część kodująca – terminator – stop-kodon
E start-kodon – promotor – część kodująca – terminator – stop-kodon
- 4** W operon łączą się geny kodujące
A białka błony **B** białka niezbędne do biosyntezy białka
C różne RNA **D** białka niezbędne do jednego procesu **E** rRNA
- 5** Eukarioty wycinają introny podczas dojrzewania mRNA, dlatego że
A rybosomowi niewygodnie jest pracować z długą mRNA
B długie mRNA nie mogą opuścić jądra przez porę jądrową
C introny zawierają informację o szkodliwych białkach
D introny nie kodują części białek
E introny przeszkadzają odczytywać egzony

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Dlaczego do syntezy mRNA wykorzystuje się antytreściowy łańcuszek DNA? Czy można odczytać ten sam gen z łańcuszka treściwego?
- 7** Długość genu zawsze jest większa od długości dojrzałej mRNA. Co jest tego przyczyną? Dokąd znikają zbędne fragmenty?
- 8** Dlaczego przy mieszanii dojrzałej mRNA z łańcuchem antytreściowym DNA powstają pętle?
- 9** Czego w komórce jest więcej – genów czy różnych rodzajów białek syntezowanych według nich? Czy odpowiedź dotycząca eukariotów i prokariotów będzie jednakowa i dlaczego?
- 10** Czy ważne jest, w jakim kierunku będzie odczytywany gen podczas transkrypcji? Jak myślisz, co decyduje o kierunku odczytywania?
- 11** Co jest wspólnego między Terminatorem w wykonaniu Arnolda Schwarznegera w filmie o tym samym tytule i terminatorem genu?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 12** Oceń wady i zalety operonowego systemu organizacji genów u prokariotów. Dlaczego eukarioty „odmówiły się” od takiego systemu?
- 13** Jaką rolę pełnią małe jądrowe RNA w procesie dojrzewania mRNA?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 14** Oprócz genów kodujących enzymy w skład operonów wchodzi geny regulatorowe. Dokonaj opisu pracy takiej regulacji na przykładzie laktozowego operonu bakterii.
- 15** Alternatywne składanie genowe (splicing) znacznie rozszerza różnorodność białek organizmu. Na czym polega istota tego procesu i do jakich schorzeń może doprowadzić jego zakłócenie?

Dodatek VII

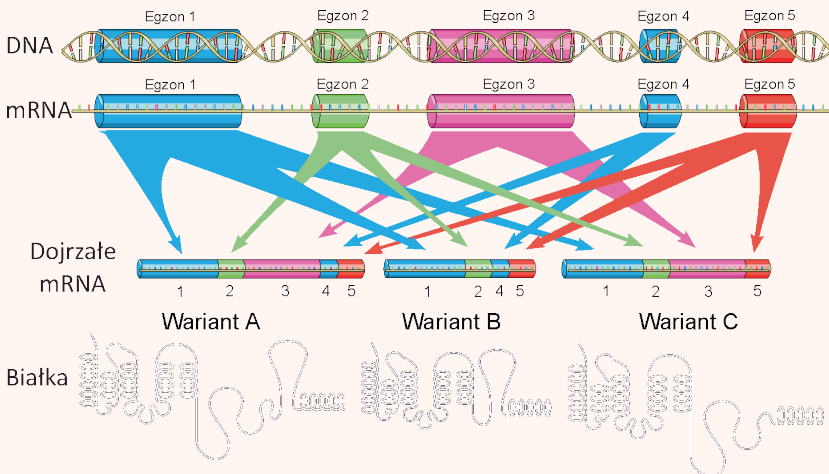
Hipoteza „jeden gen – jedno białko”

Przedtem uczeni sądzili, że każdemu białku odpowiada swój odcinek DNA, który nazywa się genem, i że jeden gen koduje jedno białko. Lecz już w końcu ubiegłego stulecia okazało się, że jeden gen może kodować kilku białek jednocześnie, a dla niektórych odcinków DNA końcowym produktem funkcjonalnym jest nawet nie białko, a cząsteczka RNA.

Cząsteczka RNA otrzymana w toku transkrypcji DNA nie od razu uczestniczy w translacji i syntezie polipeptydowego łańcucha nowego białka, a najpierw doznaje znacznej reorganizacji – dojrzewania. Dopiero co syntezowana podczas transkrypcji cząsteczka RNA – transkrypt – zawiera w sobie egzony i introny. W toku dojrzewania cząsteczki RNA, oprócz wszyst-

Anton Abyzow

Ukończył w roku 2005 Liceum Fizyko-Matematyczne № 27 w Charkowie. Zwycięzca ogólnoukraińskich olimpiad i turniejów z biologii. Uzyskał licencjat z fizyki w Moskiewskim Fizyko- Technicznym Instytucie i tytuł magistra z biologii w Ekol Politechnik (Francja). Obronił rozprawę doktorską na Uniwersytecie w Grenoble, zdobywając tytuł doktora filozofii. Obecnie pracuje w Centrum badań procesów zapalnych INSERM we Francji.



Ryc. VII.1. Schemat alternatywnego składania genowego z pięcioma egzonomi

W toku transkrypcji syntezuje się łańcuch RNA, zawierający introny i wszystkie pięć egzonów, lecz do dojrzałego mRNA docierają tylko niektóre egzony, więc w wyniku tego powstają trzy warianty mRNA, które odpowiadają trzem formom białkowego produktu.

kiego innego, zachodzi jej składanie (splicing): introny wycinają się, a egzony łączą się razem i taki już dojrzały matrycowy RNA (mRNA) jest podstawą do translacji. Za proces składania RNA w komórce odpowiada kompleks białek i cząsteczek RNA – spliceosom.

Lecz nie zawsze wszystkie egzony zszywają się i dostają do mRNA. Niektóre z nich w określonych warunkach w ciągu składania wycinają się wraz z intronami, a czasem niektóre introny nie wycinają się i zostają w mRNA. Wskutek tego zjawiska, który nazywa się alternatywnym składaniem, zachodzi translacja różnych wariantów białka z tego samego genu. Schematycznie proces alternatywnego składania podano na rycinie VII.1.

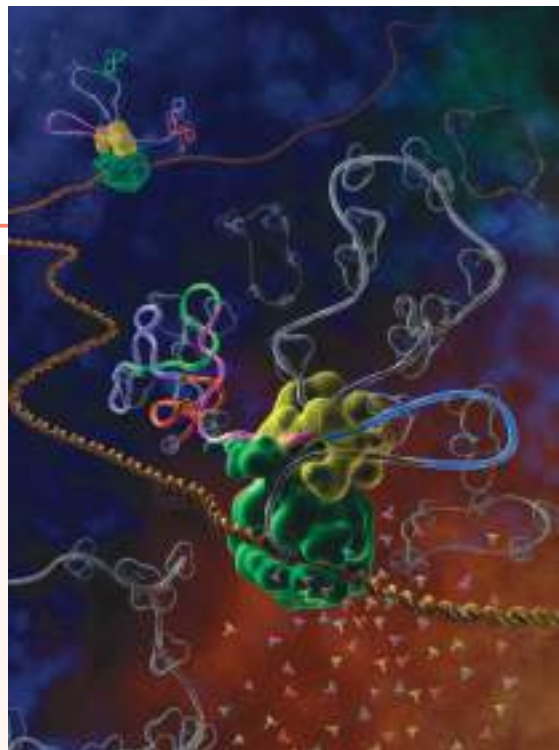
Składanie alternatywne było odkryte w końcu 70. lat XX wieku u adenowirusów, lecz jego rozpowszechnienie i znaczenie dla żywych organizmów udało się zrozumieć tylko niedawno.

Wychodząc z hipotezy, że jeden gen koduje jedno białko, uczeni nie mogli wyjaśnić, dlaczego człowiek ma tylko 23 tysiące genów, co nie jest o wiele więcej niż genów w genomie obleńca *Caenorhabditis* (około 20000), ale przy tym organizm ludzki jest bardziej skomplikowany niż obleńców. Analiza matrycowego RNA, przeprowadzona w roku 2008 przez uczonych z USA pokazała, że składaniu alternatywnemu poddaje się do 94% genów człowieka. Natomiast u *Caenorhabditis* składanie alternatywne dotyczy tylko około 15% genów. Wynika z tego, że przy prawie takiej samej ilości genów w organizmie człowieka syntezuje się o wiele więcej różnych białek.

Najlepiej składanie alternatywne było poznane u drozofili, która w ciągu dziesięcioleci jest ulubionym obiektem różnorodnych badań genetycznych. Różnice między samicami i samcami u tych muszek owocowych wyznaczają kaskady wzajemnie powiązanych genów, które poddają się alternatywnemu składaniu. Przytoczmy przykład: płeć u drozofili determinowana jest przez ilość X-chromosomów, która wywiera wpływ na składanie alternatywne genu *Sxi*. Przy tym białko funkcjonalne *Sxi* odczytuje się tylko u samic. To białko reguluje alternatywne składanie genu *Tra*, wskutek jego działania zachodzi synteza funkcjonalnego białka *Tra* (tylko u samic). Z kolei w układzie nerwowym drozofili białko *Tra* reguluje alternatywne składanie genu *Fru*, ale już w taki sposób, że białko na otrzymanym mRNA u samic nie powstaje. Wskutek tego funkcjonalne białko *Fru* jest tylko u samców i właśnie ono wyznacza nawyki zachowawcze, niezbędne im do zalecania się do samic! W toku eksperymentu udowodniono, że samice-mutanty z „męskim” wariantem białka *Fru* też zalecają się do samic.

Ryc. VII.2. Składanie alternatywne oczyma malarzy

Dwie RNA-polimerazy (zielone białko globularne) porusza się podwójną helisą DNA (pomarańczowego koloru) w głąb ryciny, syntezując cząsteczkę mRNA – transkrypt (szare odcinki wstążki). Syntezowany transkrypt RNA zawiera różne egzony (odcinki kolorowe) i introny (odcinki szare wstążki). Spliceosom (żółta globularna struktura) wycina kolejny intron (szara pętla ku górze) i łączy końce błękitnego i różowego egzonu. W już opracowany łańcuch RNA (po lewej stronie od spliceosomu) włączony jest zielony egzon. A drugi spliceosom (w głębi ryciny), na odwrót, wycina zielony egzon ze swego łańcucha RNA. Wycięte introny, zamknięte w pierścieniu, płyną precz od spliceosomu.



§ 27. Genomy

Genom – to całokształt informacji dziedzicznej

Przypomnij sobie, że informacja o budowie, rozwoju i funkcjonowaniu organizmów zachowuje się w cząsteczkach DNA. Często ona też zachowuje się w postaci cytoplazmatycznych cząsteczek RNA i w postaci białek modyfikacyjnych połączonych z DNA. Jednak cząstka takiej informacji jest niezwykle mała. Większa część DNA w komórce upakowana jest w postaci kompleksu z białkami – chromosomów. Bakterie zwykle mają jeden nukleoid (koliście zamknięty DNA), a eukarioty – wiele.

Komórki zawierają też pozachromosomowy DNA. U bakterii są to plazmidy – nieduże cząsteczki DNA wywołujące patogenność lub odporność na antybiotyki. Plazmidy są bardzo różnorodne i z reguły dają tę lub inną przewagę w środowisku życia. Na przykład w przypadku obecności antybiotyku bakterie, które mają plazmidę zawierającą geny odporności, otrzymują przewagę w porównaniu z bakteriami, które są pozbawione takiej ochrony. Na szczęście dla bakterii (i niestety dla nas!) one mogą wymieniać się swymi plazmidami, rozpowszechniając geny odporności. Jeżeli jednak antybiotyk zabierzemy ze środowiska, w którym rosną bakterie (to znaczy, że odporne bakterie więcej nie będą posiadać przewagi), to u bakterii stopniowo zaczną zanikać te plazmidy.

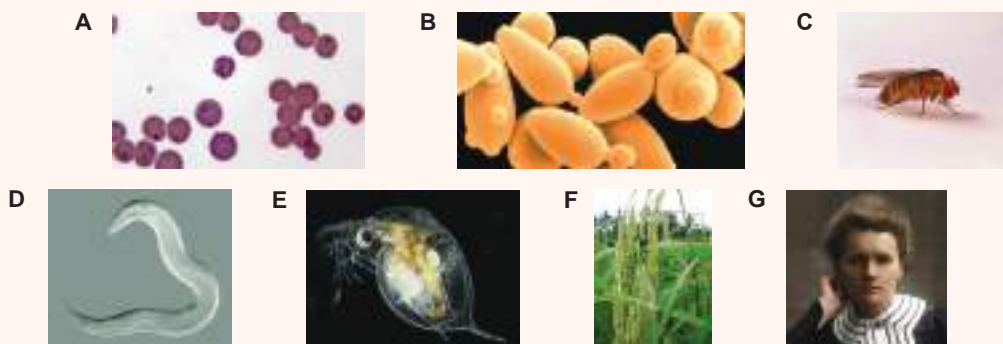
Plazmidy były też wykryte u niektórych pierwotniaków: chlorelli, zawłotni i drożdży piekarskich. Korzystając z metod inżynierii genowej uczeni mogą wprowadzać plazmidy do komórek eukariotycznych specjalnie po to, żeby zmusić je syntezować białko lub RNA. Jednak u eukariotów w dużej ilości obecne są pozachromosomowe DNA innego rodzaju – DNA organelli. Mitochondria i chloroplasty też zawierają cząsteczki DNA, kodujące część białek i RNA tych organelli (ryc. 27.1). Z DNA mitochondriów, chloroplastów i plazmid jest związana tak zwana **dziedziczność cytoplazmatyczna**, to znaczy taka, którą zapewniają struktury poza jądrem. Całokształt całej informacji dziedzicznej w postaci DNA zawartego w komórce organizmu nazywa się **genomem**¹.

Ryc. 27.1. Pstre liście wielu roślin – to jaskrawy przykład cechy, o której decydują geny chloroplastu

W białej części liści są chloroplasty, u których wskutek mutacji w ich DNA jest zakłócona synteza zielonego barwnika chlorofilu. Te chloroplasty nie mogą dokonywać fotosyntezy, a człowiek, hodując takie rośliny w celach ozdobnych, pośrednio sprzyja rozpowszechnieniu tej mutacji..



¹ Przypomnijmy, że wiele wirusów posiada w genomie RNA. Oprócz tego u wielu wielokomórkowych organizmów całokształt DNA jest różny w różnych komórkach i tkankach, dlatego poprawniej będzie wykorzystywać definicję genomu jako całokształtu DNA w zygocie – komórce, która powstaje wskutek zlewania się komórek piciowych – gamet.



Ryc. 27.2. Przykłady organizmów i wielkości ich genomów

A. *Mycoplasma* w erytrocytach człowieka (500 genów). **B.** Drożdże piekarskie (5800 genów). **C.** Muszka owocowa *Drosophila* (13600 genów). **D.** Oblieniec *Caenorhabditis* (18 500 genów). **E.** Rozwielitka (31000 genów). **F.** Ryż siewny (40000 genów). **G.** Człowiek rozumny (23000genów).

Ilość genów w komórce nie zależy od złożoności organizmu

Ilość genów w genomie poszczególnych organizmów znacznie się różni. Zazwyczaj istnieje taka zasada: eukarioty mają więcej genów niż prokarioty, wielokomórkowe organizmy – więcej niż jednokomórkowe (ryc. 27.2). Na uwagę zasługują też pasożyty wewnątrzkomórkowe, które mają mniej genów niż ich wolno żyjący krewni. U wolno żyjących bakterii minimalny zestaw stanowi około 1500 genów, a u bakterii wewnątrzkomórkowych pasożytów (na przykład u mikoplazm, których różne gatunki wywołują u człowieka atypową anemię i schorzenia układu płciowego) – około 500 genów. U jednokomórkowych eukariotów minimalna ilość genów stanowi około 5000, a u wielokomórkowych – 13000. U roślin wyższych i ssaków – zwykle 25000 genów. Jednak ilość genów wewnątrz grup może znacznie się różnić. Na przykład genom muszki owocowej *Drosophila* zawiera 13600 genów. A u mikroskopijnego obleńca *Caenorhabditis*, który żyje w butwiejących roślinach – 18500. Rekordzistą pod względem ilości genów wśród zbadanych genomów zwierząt jest malutki skorupiak rozwielitka – 31000 genów. W tym ona znacznie wyprzedza człowieka, który ma 23000 genów. Jednak genom ryżu siewnego jest jeszcze większy – 40000 genów. Tłumaczy się to tym, że u rozwielitki i ryżu większość genów w genomie ma po kilka kopii. Wymiary genomu też nie zawsze są proporcjonalne do ilości genów. Drożdże piekarskie mają 5800 genów przy wymiarach genomu stanowiących 12,2 mln par nukleotydów, a drożdże innego gatunku – 5000 genów, chociaż genom jest dłuższy – 14,1mln par nukleotydów. Ten paradoks tłumaczy się tym, że w genomie oprócz genów jest jeszcze **DNA niekodujący**.

Nie cały DNA eukariotów jest złożony z genów

Co zawiera genom? Pierwsza myśl, która wpada do głowy – geny. Rzeczywiście, geny – to obowiązkowy składnik genomów wszystkich żywych organizmów¹. Jednak geny nie są rozmieszczone jeden za drugim w postaci ciągłego łańcucha – między nimi jest DNA międzygenowy. Ta część DNA nie koduje cząsteczki RNA i transkrypcja na

1 U roślin, co prawda, są osobliwe infekujące RNA – wiroidy, które są zdolne samodzielnie namnażać się, nie posiadając w sobie przy tym żadnego genu. Rzeczywiście, takie RNA nie są bardziej żywe niż wirusy.

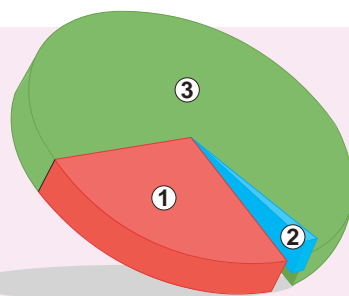
nich nie zachodzi¹. Częstotliwość mutacji na tych odstępach jest bardzo wysoka, ponieważ mutacje na nich zwykle nie doprowadzają do zakłócenia pracy organizmu. Takie mutacje nie są szkodliwe i w odróżnieniu od mutacji w genach nie wydalają się, ponieważ niczego nie zmieniają. U bakterii takie odstępy międzygenowe są bardzo krótkie i składają się tylko z kilku nukleotydów. Ale gdy rozpatrzmy kolejność DNA człowieka, to ku swemu zdziwieniu stwierdzimy, że odstępy między genami mogą być utworzone tysiącami, dziesiątkami tysięcy i nawet setkami tysięcy par nukleotydów niekodującego DNA.

U człowieka tylko niewielka część DNA koduje białka

U człowieka DNA, który koduje RNA i białka, stanowi tylko 1,5% od całego DNA chromosomów. Obecność takiego wielkiego niekodującego genomu u eukariotów (szczególnie wielokomórkowych) długo była zagadką dla uczonych. Najpierw uważano, że on jest niepotrzebny i lekceważąco nazywano go „junk-DNA” (śmieciem). Jednak okazało się, że ten DNA nie jest aż tak niepotrzebny². Rozpatrzmy więc, jakie kolejności są w genomie człowieka (ryc. 27.3).

Jak już ustaliliśmy, egzony kodujące RNA i białka stanowią 1,5% DNA. Na introny przypada około 26%. Jeszcze około 25% stanowi niekodujący międzygenowy materiał, który zawiera elementy regulatorowe oraz martwe, niefunkcjonujące geny, które kiedyś pracowały. Ponad 5% przedstawiono powtórzeniami różnego stopnia złożoności: od prostych (typu ...ACACACAC..., i tak setki razy) do bardziej złożonych.

Jednak największa część genomu, która pozostała (około 45%) – to tak zwany ruchomy DNA. Ten DNA jest zdolnym w ten czy inny sposób zmieniać swoje położenie w genomie i nawet namnażać się w nim, zwiększając ilość swoich kopii. Znaczna część tego DNA (więcej niż 8%) – to zabite wirusy, które kiedyś wbudowały się do genomu naszych przodków, lecz straciły swoje właściwości chorobotwórcze. Teraz one pasywnie wędrują z nami w czasie. Wielka część tego ruchliwego DNA stała się „nieruchoma”: otrzymała mutacje, które pozbawiły ją zdolności do „skoków” po genomie. Lecz kolejność nukleotydów świadczy o jego pochodzeniu od bardziej „dynamicznych” przodków. Ruchliwy DNA należy do tak zwanego „samolubnego” DNA. On żyje w genomie własnym życiem, namnaża się, może nawet nieumyślnie naszkodzić. Wyobraź sobie, że fragment takiego „skokowego” DNA raptem wbudował się do egzonu genu kodującego białko. To praktycznie nieuchronnie doprowadzi do tego, że gen straci swoją funkcję. Wiele „martwych” genów naszego genomu ma w sobie ślady tych „bombardowań”. Co prawda komórka posiada systemy ochrony genomu przed takim „burzliwym” DNA i próbuje go uśmierzyć. Komórka nawet wykorzystuje ten DNA do swoich celów. Zagadnienia związane z „samolubnym” DNA uczeni nadal aktywnie badają.



Ryc. 27.3. Skład genomu człowieka

1. Introny.
2. Kolejności kodujące białka.
3. Kolejności niekodujące białka.

1 Ostatnie badania wskazują, że ona jednak odbywa się, lecz realizuje się w bardzo osobliwy sposób i nie wiadomo po co
2 Chociaż śmieci tam też jest dużo.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Wskutek badań komórki organizmu udało się wykryć tam tylko jeden chromosom i kilka plazmidów. Najbardziej prawdopodobny obiekt badań – to
A człowiek
B motyl cytrynek
C robak *Caenorhabditis*
D chlorella
E bakteria czerwunki
- 2 Do dziedziczności cytoplazmatycznej NIE należy taki rodzaj dziedzicznego materiału, jak
A DNA plazmid
B DNA mitochondriów
C DNA chloroplastów
D DNA amyloplastów E chromosomowy DNA eukariotów
- 3 Poprawny szereg rozmieszczenia organizmów według zwiększania się ilości genów w ich genomie jest następujący:
A mikoplazma – niedźwiedź – pełzak
B prątek gruźlicy – drożdże piekarskie – skoczek
C bakteria anginy – rozwielitka – muszka owocowa
D człowiek – robak *Caenorhabditis* – chlorella
E ryż – wiewiórka – bakteria mlekowa
- 4 Wybierz poprawne stwierdzenie:
A w genomie pasożytów jest więcej genów niż w genomie ich wolno żyjących krewnych
B w genomie eukariotów jest więcej genów niż w genomie jednokomórkowych
C ilość genów w genomie zmniejsza się przez ich kopiowanie
D w genomie ryżu genów jest tyle samo, ile w genomie człowieka
E w genomie człowieka genów jest więcej niż w genomie rozwielitki
- 5 Niebezpieczeństwo ruchliwego DNA polega na tym, że on
A może rozerwać DNA
B niszczy RNA
C blokuje transkrypcję
D rozrywa geny białek
E wykorzystuje energię komórki

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Dlaczego kurs pobierania antybiotyków należy doprowadzać do końca, nawet gdy objawy znikają?
- 7 Dlaczego pstre rośliny są dość często rozpowszechnione w szklarniach i prawie nie ma ich w przyrodzie dzikiej?
- 8 Wymień właściwości organizmu, od których zależy ilość genów w genomie.

- 9** Jakie części genomu człowieka są najbardziej stabilne i najbardziej konserwatywne? Dlaczego?
- 10** W jakich formach istnieje DNA w komórkach eukariotycznych i prokariotycznych organizmów? Co spowodowało różnicę?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Mitochondrialna miopatia spowodowana jest zakłóceniami w DNA mitochondriów człowieka. Dlaczego choroba przekazuje się od chorej matki do dziecka i nie przekazuje się od chorego ojca?
- 12** Jak ruchomym genetycznym elementem udaje się „podróżować” genomem? Czy są one korzystne dla organizmu?
- 13** Jakie geny są w DNA chloroplastów? Dlaczego komórce wygodniej przechowywać je tam, a nie w chromosomach jądra?

Dowiedź się samodzielnie i opowiedz innym

- 14** Międzygenowe odcinki w genomie człowieka mogą być wykorzystane do identyfikacji osoby. Jakie części genomu wykorzystuje się do tego i jak?
- 15** Wielkość genomu, jak okazało się, nie jest związana z jego złożonością i znacznie różni się nawet u organizmów spokrewnionych. Uczni nazywają to paradoksem wielkości S. Jak współczesna nauka tłumaczy ten paradoks?

Dodatek VIII

Jakie genomy są odszyfrowane?

Odszyfrować genom organizmu – oznacza dowiedzieć się o kolejności nukleotydów w jego kwasie nukleinowym. Właśnie ta kolejność decyduje, jak będzie zbudowany określony organizm.

Pierwszym rozszyfrowanym (uczni mówią „zsekwencjonowanym”¹) genomem był genom bakteriofaga MS2. Bakteriofagi – to wirusy bakterii. One zostały rozszyfrowane nie dlatego, że są niezwykle ważne. Po prostu w 1976 roku, kiedy rozszyfrowano genom bakteriofaga MS2, był bardzo dostępny jego kwas nukleinowy – RNA. I ten RNA okazał się niezwykle krótki: tylko 3569 nukleotydów i 4 geny do syntezy czterech białek.

Większość organizmów zachowuje swoją informację dziedziczną w postaci cząsteczek DNA, która jest bardziej stabilna. Następnym krokiem miałyby być rozszyfrowanie jej sekwencji. I tu znów bakteriofag wszedł do historii: grupa naukowa Frederika Sengera rozszyfrowała kolejność nukleotydów w DNA bakteriofaga φX174. W nim okazało się 5386 par nukleotydów i 11 genów.

Wymiary rozszyfrowanych genomów rosły, jak i „apetyt” badaczy. Do 1995 roku udało się rozszyfrować genom pierwszego komórkowego organizmu. Nim okazała się bakteria pałeczka grypy (*Hemophilus influenzae*), której genom posiadał około 1,8 mln par nukleotydów i 1789 genów.

¹ Od angielskiego sequence – kolejność.

Mykyta Koliberda

Ukończył w roku 2003 I Ogólnokształcącą Szkołę № 50 im. A. Makarenki we Lwowie. Studiował na Lwowskim Narodowym Uniwersytecie im. Iwana Franki. Obronił pracę magisterską w Instytucie Biologii Komórki NAN Ukrainy. Obecnie pracuje jako nauczyciel biologii i chemii we Lwowskiej Ogólnokształcącej Szkole № 50 im. A. Makarenki. Członek jury Ogólnoukraińskiego turnieju młodych chemików.



Pierwszym organizmem eukariotycznym z zsekwencjonowanym genomem stały się drożdże piekarskie. Na radość świata naukowemu przejście od prokariotów z jednym chromosomem do eukariotów z wielką ilością chromosomów (a znaczy i cząsteczek DNA) odbyło się łatwo i bez problemów. Dla eukariotów genom – to materiał dziedziczny haploidalnego zestawu chromosomów. Już w 1996 roku kolejność wszystkich 12 mln par nukleotydów 16 chromosomów genomu drożdży była opublikowana w naukowym czasopiśmie *Science*. Okazało się, że do życia jednego z najprostszyczą jądrowyczą organizmów potrzeba tylko 6692 geny!

A jak sprawa ma się z bardziej złożonymi – wielokomórkowymi organizmami? Pierwszym zwierzęciem z rozszyfrowanym genomem okazał się robak obły *Caenorhabditis* o długości 1 mm. W każdej z jego tysięcy komórek jest aż 103 mln par nukleotydów i 20,4 tysięcy genów. Pierwszą „rozszyfrowaną” rośliną stał się rzodkiewnik *Thala* (uczeni nazywają go *Arabidopsis*). Ta roślina (rosnąca również na Ukrainie) ma w genomie 5 chromosomów z 136mln par nukleotydów, które kodują 27,7 tysięcy genów.

Takie sukcesy natchnęły na zsekwencjonowanie genomu najważniejszego, zdaniem człowieka, organizmu – Człowieka rozumnego! Projekt „Genom człowieka” rozpoczęto w roku 1990, a pełny genom opublikowano w 2003 roku. Jednak nieduże odcinki DNA (około 1%) i do dziś nie udało się odszyfrować z powodu osobliwosci ich organizacji i metod zsekwencjonowania. Genom człowieka zawiera 3,1mlrd par nukleotydów i około 23 tysięcy genów. U kobiet, co prawda, jest o 57mln par nukleotydów mniej (około 2%) i o 71 gen z powodu nieobecności Y-chromosomu. Dla wielu naukowców dziwne było to, że człowiek ma prawie tyle genów, ile ma jednomilimetrowy robak *Caenorhabditis*, chociaż par nukleotydów – 30 razy więcej!

Na dzisiaj rekordzistą wśród rozszyfrowanych genomów jest genom jęczmienia, który zawiera 5,3mlrd par nukleotydów. Istnieją też większe genomy, lecz one jeszcze nie są zsekwencjonowane.

Na koniec 2016 roku rozszyfrowano kolejności nukleotydowe genomów około 140 wielokomórkowych zwierząt i 150 pierwotniaków, 45 roślin, 200 grzybów i kilku dziesiątek tysięcy gatunków bakterii i archeonów (archebakterii).

Żeby genom był rozszyfrowany, organizm powinien być ważny dla nauki, życia codziennego lub przemysłu. Na przykład pałeczka okrężnicy, muszka owocowa, mysz lub szympanś są organizmami modelowymi, czyli klasycznymi biologicznymi obiektami, które wykorzystuje się do poznania różnorodnych procesów i prawidłowości. Aby lepiej rozumieć, co z nimi odbywa się podczas eksperymentów, trzeba wiedzieć, jakie geny one mają i jak te geny pracują. Oprócz tego rozszyfrowanie genomów wirusa grypy, bakterii gruźlicy i błonicy, zarodźca malarii jest ważne, żeby stwarzać leki przeciwko chorobom, które one powodują. Genomy pszenicy, ziemniaków i krowy są ważne dla rolnictwa i hodowli bydła: znając te genomy, można polepszyć wydajność tych gatunków lub lepiej ochronić je przed chorobami. Oto dlatego genomy wszystkich wymienionych organizmów są już zsekwencjonowane.

Im mniejszy jest genom organizmu, tym łatwiejsze i tańsze jest jego rozszyfrowanie. Niewielkie genomy bakterii prędko i tanio poddają się zsekwencjonowaniu. Właśnie dlatego genomy wielu gatunków bakterii obecnie są już rozszyfrowane.

Wraz z wprowadzeniem nowych, automatyzowanych i bardziej oszczędnych metod cena zsekwencjonowania stale się obniżała. Jeżeli na początku lat dwutysięcznych cena rozszyfrowania 1000 nukleotydów wynosiła około 5000 dolarów USA, to teraz ona wynosi około jednego centa. To znaczy, że w ciągu 15 lat cena spadła pół miliona razy! Dzisiaj zsekwencjonowanie ludzkiego genomu wyniesie tylko 1000 dolarów USA, chociaż cały projekt „Genom człowieka” kosztował 18mln dolarów! Być może wkrótce za cenę nowego smartfonu można będzie otrzymać całą kolejność nukleotydową swego genomu!



Ryc. VIII.1 Logotyp projektu „Genom człowieka”

§ 28. Cykl komórkowy. Mitoza

Cykl komórkowy – to okres istnienia komórki od momentu jej powstania do następnego podziału

Rozmnażanie – to nieodłączna część składowa życia. Wszystkie żywe organizmy – to układy samoodnawiające się, czyli takie, które są zdolne do rozmnażania¹. Rozmnażanie charakterystyczne jest również dla najmniejszej jednostki przyrody żywej – komórki. Rozmnażanie komórki wymaga replikacji DNA: komórki rozmnażają się drogą podziału z powstaniem dwóch identycznych komórek. Najprostszy jest podział komórki prokariotycznej – bakteryjnej. Przeważnie bakteria posiada tylko jeden DNA (nukleoid), którego podwojenie zachodzi jednocześnie z podziałem komórki. Plazmidy bakterii zwykle reprezentuje duża ilość kopii (od 10 do 1000 kopii na komórkę). One przypadkowo rozdzielają się pomiędzy dwiema potomnymi komórkami, jednak dzięki dużej ilości kopii do każdej komórki trafia co najmniej kilka z nich, co zapewnia ich przekazywanie i zachowanie. W przybliżeniu w taki sam sposób zachodzi rozdzielanie mitochondriów i chloroplastów u większości eukariotów. One rozmnażają się niezależnie od genomu jądra, a potem podczas podziału rozdzielają się między potomkami².

Z genomem jądra natomiast jest o wiele trudniej. Chodzi o to, że duże genomy eukariotów organizowane są w postaci kilku poszczególnych chromosomów obecnych w jądrze w stałej ilości kopii (jednej lub kilku). Dla takich komórek powstaje problem rozdzielania chromosomów między komórkami potomnymi. Ten problem spowodował powstanie u eukariotów złożonego zorganizowanego procesu podziału jądra z zachowaniem ilości chromosomów – **mitozy**. W toku mitozy zachodzi rozdzielanie chromosomów komórki macierzyńskiej między dwiema potomnymi, a potem – podział cytoplazmy między komórkami potomnymi. Ważną osobliwością eukariotów jest to, że procesy replikacji DNA i podział komórkowy są obowiązkowo rozdzielone w czasie³. Komórka eukariotów, samodzielny organizm lub komórka zarodka zwierząt stopniowo przechodzi stadium replikacji genomu i podziału. Przemiana stadiów w cyklu życiowym komórki, które powtarzają się, nazywa się **cyklem komórkowym**.

Interfaza – to okres między podziałami komórki

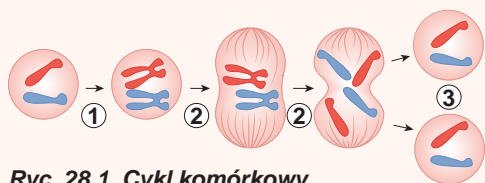
Jak już ustaliliśmy, podział komórkowy u eukariotów jest rozdzielony w czasie z replikacją DNA. Dlatego w odcinku czasu między dwiema mitozami (podziałami komórkowymi) ma zajść replikacja całego genomu jądra. Ten odcinek czasu między dwiema mitozami nazywa się **interfazą**. Przy tym ilość DNA w jądrze podwaja się. Jeżeli w komórkach organizmu jest po jednej kopii każdej cząsteczki DNA, to w procesie replikacji ich ilość podwaja się. W komórkach drożdży piekarskich od razu po podziale komórkowym jądro zawiera 16 różnych cząsteczek DNA (16 chromosomów). Przed następnym podziałem ilość cząsteczek DNA podwaja się – jest ich już 32. A u człowieka w jądrze są 2 kopie⁴ każdej z 23 cząsteczek DNA (jedną kopię odziedziczyliśmy od ojca, drugą – od

1 Tę zdolność zatraciły niektóre osobniki u owadów społecznych i ssaków.

2 Wyjątek stanowią niektóre jednokomórkowe glony zawierające tylko jeden chloroplast. W takim przypadku podział chloroplastu zbiega się z podziałem komórki.

3 U bakterii zwykle nie ma ograniczenia czasu replikacji. Przy warunkach sprzyjających ona zachodzi praktycznie bezustannie, tworząc coraz to nowe nukleoidy, które rozdzielają się między potomkami. W podobny sposób zachodzi replikacja DNA mitochondriów i chloroplastów.

4 Co prawda, to nie są identyczne kopie : one są podobne pod względem składu genów i ich rozmieszczenia, lecz same geny mogą się różnić.



Ryc. 28.1. Cykl komórkowy

1. Replikacja DNA.
2. Mitoza.
3. Dwie komórki diploidalne.

matki), czyli 46 cząsteczek DNA (chromosomów). Przed mitozą ilość ich podwaja się – w komórce pojawia się 4 kopie każdej cząsteczki DNA.

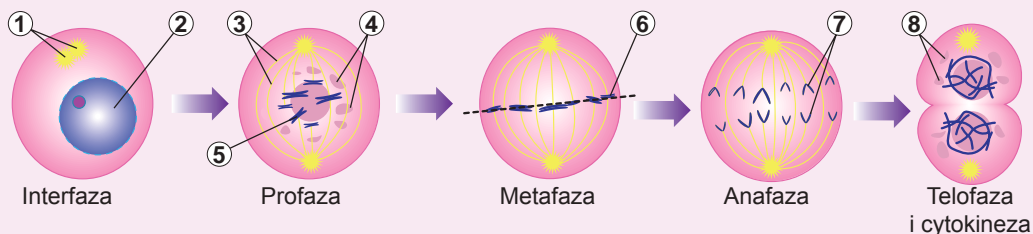
Jak pamiętamy, u eukariotów DNA tworzy stałe kompleksy z białkami – chromosomy, w których postaci on istnieje w komórce. Od razu po mitozie jądro komórki człowieka zawiera 46 cząsteczek DNA, organizowanych w postaci 46 chromosomów podobnych do pałeczek. W takiej postaci znajduje się DNA większości komórek naszego ciała. Przed kolejnym podziałem komórkowym ilość DNA, jak ustaliliśmy, ma

się podwajać. Lecz przy tym nowa i stara cząsteczka DNA zostaje fizycznie połączona jedna z drugą, one nie rozdzielają się na poszczególne chromosomy. W tym momencie pałeczkowaty chromosom nabiera X-podobnego kształtu. O takim chromosomie mówią, że on składa się z dwóch chromatyd. Każda chromatyda odpowiada całemu chromosomowi do replikacji DNA. Podział chromatyd zachodzi tylko podczas mejozy¹ (ryc. 28.1).

Jak wiemy, chromosomy eukariotyczne są znacznie dłuższe od prokariotycznych, dlatego do przyspieszenia ich podwojenia replikacja inicjuje się jednocześnie w kilku punktach chromosomu. Widelki replikacyjne poruszają się jedna ku drugiej i potem zlewają. Bardzo ważną osobliwością replikacji u eukariotów jest to, że każdy punkt początku replikacji włącza się tylko jeden raz za cały cykl komórkowy, dlatego DNA podwaja się równomiernie po całej długości i tylko jeden raz. Tym replikacja eukariotyczna różni się od prokariotycznej.

Mitoza zachodzi w kilku stadiach

Teraz na przykładzie komórki człowieka dokładniej rozpatrzmy, jak zachodzi podział. Podczas interfazy zaszła replikacja DNA i teraz w jądrze jest 92 cząsteczki DNA (po 4 kopii każdej z 23), które organizowane są w postaci 46 X-podobnych chromosomów.



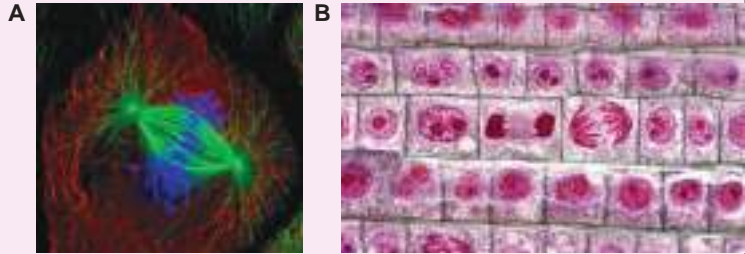
Ryc. 28.2. Interfaza i fazy mitozy

1. Centriole.
2. Jądro.
3. Wrzeciono podziałowe.
4. Fragmenty otoczki jądrowej.
5. Chromosom.
6. Płytkę metafazową.
7. Chromosomy potomne.
8. Powstanie otoczki jądrowej i cytokineza.

¹ Jasne jest, że po podwojeniu DNA chromosom człowieka nie nabywa dokładnie takiego samego kształtu: w jądrze on wygląda jako luźny, nieukształtowany. Zagęszczenie chromatyny i otrzymanie chromosomem X-podobnego kształtu zachodzi bezpośrednio podczas mitozy.

Ryc. 28.3.

A. Metafaza mitozy komórki zwierzęcej, zabarwienie fluorescencyjnymi przeciwciałami. Błękitne – chromosomy, zielone – nici wrzeciona podziałowego.
B. Różne stadia mitozy w komórkach korzenia cebuli.



Mitoza zachodzi kolejno, w kilku fazach. Długość i osobliwości tych faz różnią się u różnych typów komórek, jednak kolejność i podstawowe cechy zostają niezmiennie. Oto krótki opis faz mitozy (ryc. 28.2).

Profaza – pierwsze stadium mitozy. W profazie zachodzi zagęszczenie chromosomów: one nabierają X-podobnego kształtu. Ten proces nazywa się **spiralizacją chromosomów**. Pod koniec profazy otoczka jądrowa rozpada się i zaczyna się tworzyć specjalna struktura w postaci **wrzeciona podziałowego (kariokinetycznego)**. Ono ciągnie się od biegunów komórki do równika. Wrzeciono podziałowe odpowiada za dokładny równomierny podział chromosomów między komórkami potomnymi.

Metafaza: wszystkie chromosomy ustawiają się w płaszczyźnie równikowej komórki, tworząc płytkę metafazową (na rycinach zwykle podany jest jej przekrój poprzeczny, dlatego ona przypomina linię). Każdy chromosom łączy się z włóknami wrzeciona podziałowego swoimi centromerami, przy tym różne chromatydy współdziałają z włóknami skierowanymi do różnych biegunów komórki.

Anafaza – bardzo ważne stadium mitozy. Tu należy zwrócić uwagę na to, że: po pierwsze zespół DNA w komórkach człowieka i tak jest podwojony, do mitozy komórka wstępuje z poczwórnym kompletem DNA. On dzieli się na dwa podwójne. Po drugie, chociaż każdy chromosom u człowieka przedstawiony jest w postaci dwóch kopii, jednak **te kopie nie są identyczne względem siebie**. Macierzyński i ojcowski chromosom różni się niektórymi kolejnościami DNA. W interfazie DNA podwaja się i przy tym X-podobny chromosom składa się z **dwóch identycznych chromatyd**. W anafazie włókna, które są przyłączone do chromatyd, zaczynają się kurczyć, odciągając przy tym chromatydy do różnych biegunów komórki. Chromatydy rozchodzą się, przekształcając X-podobny chromosom na dwa chromosomy podobne do pałeczek. Wskutek tego podwójny zestaw DNA rozpada się na dwa jednakowe. Lecz teraz każdy chromosom składa się nie z dwóch chromatyd, jak na początku mitozy, a tylko z jednej.

Telofaza: każdy zestaw chromosomów zaczyna otaczać własna otoczka jądrowa, a wrzeciono podziałowe ostatecznie się rozpada. Chromosomy tracą swoją zwartą strukturę – despiralizują się.

Komórka zaczyna podział fizyczny – **cytokinezę**. U zwierząt cytokineza zachodzi dzięki powstaniu przewężenia w płaszczyźnie równikowej między dwiema potomnymi komórkami. To przewężenie kurczy się i rozrywa, zwalniając komórki jedną od drugiej. Rozpatrz rycinę 28.3, na której podano mitozy w komórce zwierzęcej i roślinnej. A obserwować, jak zachodzi mitozy u zarodka muszki owocowej, możesz, **oglądając wideo na stronie internetowej**.



Skutek mitozy – to dwie potomne komórki, które są identyczne do macierzyńskiej

W wyniku mitozy jedna komórka dzieli się na dwie identyczne, z taką samą liczbą chromosomów, lecz dwa razy mniejszą niż przed podziałem ilością DNA. Następnie te komórki podczas interfazy podwajają zestaw DNA, a potem znów wstępują w mitozę. A więc komórki, które dzielą się mitotycznie, zachowują zestaw chromosomów i pozostają genetycznie identyczne jedna do drugiej.

Absolutna większość komórek naszego ciała nie dzieli się. One zawierają w jądrze 46 podobnych do pałeczek chromosomów. W takich komórkach cykl komórkowy ustaje na pewnym etapie. A są komórki (na przykład komórki warstwy twórczej nabłonka skóry), które dzielą się ciągle. Niektóre komórki zazwyczaj nie dzielą się, lecz mogą przystąpić do procesu replikacji DNA i następnego podziału. Takie są na przykład hepatocyty – komórki wątroby. Jak wiadomo, wątroba może odnawiać się po wycianiu jej części podczas operacji chirurgicznej. Lecz nie wszystkie komórki mogą tak odnawiać cykl komórkowy. Na przykład neurony człowieka nie mogą wchodzić w mitozę po tym, jak wyspecjalizują się i znajdują swoje miejsca w układzie nerwowym. Otóż biologiczne znaczenie mitozy polega na zapewnieniu wzrostu wielokomórkowego organizmu drogą powstania nowych komórek. Procesy regeneracji i odnowienia tkanek też opierają się na ten rodzaj podziału komórkowego. I nawet więcej, mitozę – to podstawowy sposób rozmnażania jednokomórkowych eukariotów.

Kontrolne punkty cyklu komórkowego – to miejsca sprawdzenia gotowości do następných procesów

Cykl komórkowy – to proces dość złożony, wymagający ścisłej kontroli ze strony komórki. Stadia powinny następować jedno po drugim, przy tym każde następne stadium musi zaczynać się po pełnym zakończeniu poprzedniego. Gdy mitozę zacznie się przed zakończeniem replikacji DNA, nieodwrótnie doprowadzi to do rozerwań DNA i zakłócenia fizycznej całości chromosomów. Początek rozchodzenia chromosomów w anafazie, zanim włókna wrzeciona podziałowego połączą się ze wszystkimi chromosomami, może doprowadzić do nierównomiernego podziału chromosomów między potomnymi komórkami: jedna może otrzymać zbyt wiele chromosomów, a inna – otrzymać ich mniej.

W cyklu komórkowym są pewne punkty kontroli, których przechodzenie możliwe jest tylko po zakończeniu poprzedniej fazy cyklu komórkowego i gwarantuje przejście do następnej. Są trzy podstawowe punkty kontroli. Pierwszy z nich odpowiada za początek procesu replikacji DNA i przygotowanie do podziału. Drugi – za sprawdzenie jakości i pełności replikacji oraz gotowości do mitozy. Trzeci już w samej mitozie – za sprawdzenie przyłączenia włókien wrzeciona podziałowego do chromosomów. Ten punkt kontroli włącza anafazę.

Poznanie przechodzenia pierwszego punktu kontroli, który jest odpowiedzialny za wstęp do podziału komórkowego, pomoże udoskonalić metody regeneracji narządów i tkanek. Jednak istnieje też inna przyczyna znaczenia jego badania. Niekontrolowane wejście komórek do mitozy jest jedną z podstawowych przyczyn śmiertelności we współczesnym świecie. Komórka organizmu, która zaczyna bezustannie i niekontrolowanie wchodzić do procesu komórkowego podziału ostatecznie prowadzi do powstania nowotworu. Badania kontroli komórkowego cyklu mogą rzucić światło na sposób ograniczania i nawet zwalczania nowotworów złośliwych.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Komórka człowieka ma 92 chromosomy w
A interfazie B profazie C metafazie D anafazie E telofazie

- 2** Konieczność mitozy u eukariotów jest uwarunkowana
A wysoką prędkością podziału **B** długim chromosomem
C dużą ilością chromosomów
D dużą ilością mitochondriów i chloroplastów w komórce **E** dużą ilością plazmid
- 3** Dwie w przybliżeniu jednakowe pod względem objętości komórki powstają wskutek procesu
A kondensacji chromosomów **B** cytokinezy **C** tworzenia wrzeciona podziałowego
D interfazy **E** replikacji
- 4** Na mikrofotografii przedstawiono komórkę, która znajduje się w stadium
A profazy
B metafazy
C anafazy
D telofazy
E interfazy
- 5** Ilość materiału dziedzicznego podwaja się podczas
A profazy **B** metafazy **C** anafazy **D** telofazy **E** interfazy



Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Prędzej i częściej podział komórki zachodzi u eukariotów czy prokariotów? Czym to jest uwarunkowane?
- 7** Na zdjęciu stadium mitozy w komórkach korzenia cebuli (ryc. 28.3) znajdź różne fazy mitozy. Wyjaśnij, na podstawie jakich kryteriów udało ci się to zrobić.
- 8** Chromosomy wyjściowej komórki są podobne, lecz nieco różnią się, ponieważ otrzymane są od różnych rodziców. Czy zachowa się ta różnica w komórkach, które powstały wskutek podziału i dlaczego?
- 9** Dla jakich komórek jest właściwa krótka interfaza i częsty podział mitotyczny? Dlaczego niemożliwe jest kolejne odbywanie się dwóch mitoz bez interfazy?
- 10** Czy zaszłaby mitoza bez jednej z faz? Podaj prognozę skutków wycofania różnych faz z mitozy.

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Jakie komórki organizmu człowieka nigdy nie są zdolne do podziału? Od czego zależy taka osobliwość wymienionych komórek?
- 12** Wrzeciono podziałowe – to nie po prostu nici-gumki, a złożony mechanizm. Jakie części posiada wrzeciono podziałowe? Jak pracuje wrzeciono odciągające chromosomy do biegunów?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Wskutek utraty przez komórkę kontroli nad cyklem komórkowym w organizmie zaczyna rosnąć nowotwór. Jakie są różnice między nowotworami łagodnymi i złośliwymi? Jak można walczyć z nowotworami?
- 14** Do jakich skutków doprowadza niepoprawne rozchodzenie się chromosomów w anafazie? Od czego zależy częstotliwość takich zakłóceń?
- 15** Nowe komórki mogą powstać z komórek macierzystych, które stale dzielą się. Podaj charakterystykę osobliwości komórek macierzystych. Jak te komórki są wykorzystywane w medycynie?

Dodatek IX



Arsenij Zabinnyk

Ukończył w roku 2004 Liceum Fizyko-Matematyczne № 27 w Charkowie. Zwycięzca ogólnoukraińskich olimpiad i turniejów z biologii. Studiował na Charkowskim Narodowym Uniwersytecie im. W. N. Karazina. Obronił rozprawę doktorską, zdobywając tytuł doktora w dziedzinie nauk biologicznych w Instytucie Molekularnej Biologii i Genetyki w Peterburgu. Obecnie pracuje w Instytucie Fundamentalnej Medycyny Uniwersytetu w Oslo.

Komórki nowotworowe nie mogą przestać dzielić się

Rak – to jedna z postaci złośliwych nowotworów tkanki nabłonkowej. Jednak częściej termin „rak” używa się w szerszym zakresie – do oznaczenia całego szeregu schorzeń, związanych z rozwojem nowotworów złośliwych. Jest wiele teorii rozwoju raka, lecz wszystkie one odtwarzają tylko różne strony tego samego procesu: uszkodzenie genetycznego materiału komórki, co powoduje utratę kontroli nad podziałem komórki, wskutek czego rozwija się nowotwór. Według oceny uczonych, aby komórka przekształciła się na nowotworową, ona musi stopniowo nagromadzić od 3 do 10 niezależnych muta-

cji. Te mutacje zakłócają funkcjonowanie genów, które tłumią nowotwór i odwrotnie, aktywują geny, które sprzyjają rakowemu przekształceniu. Codziennie w organizmie człowieka powstają komórki, które zmutowały się i z których może rozwinąć się rak, lecz jego rozwój hamuje wiele przeszkód. Tylko ta komórka, która wszystkie je pokona, przekształci się na rakową.

Komórka nowotworowa powinna stać się samowystarczalna do otrzymywania sygnałów początku podziału, ponieważ aby rozpocząć podział, ona musi otrzymać bodziec z zewnątrz w postaci czynnika wzrostu. Komórki rakowe mogą unikać tej zależności drogą syntezy własnych czynników wzrostu. Oprócz tego w niektórych komórkach rakowych okazują się zmutowane postacie specyficznych białek, które zachowują się jak zatopiony przycisk dzwonnka: nadsyłają stałe sygnały do podziału komórki. Lecz tego za mało dla bezkontrolowanego podziału komórki, ponieważ on będzie zatrzymany sygnałami zaprzestania wzrostu, które idą od normalnych komórek znajdujących się wokół. Jednak komórki rakowe mogą nabywać odporności do takich sygnałów.

Zwykle nowotwór i jego liczne kolonie (przerzuty) powstają z tylko jednej pierwotnej komórki. Aby z mikroskopijnej komórki mógł rozwinąć się nowotwór, rakowe komórki powinny posiadać zdolność do stałego podziału i wzrostu. W normie większość komórek organizmu ma zdolność do podziału ograniczoną ilość razy (około 50). To ograniczenie spowodowane jest skróceniem przy każdym podziale osoblwych kolejności na końcach chromosomów – telomerach. Po krytycznym skróceniu telomer komórki giną. A komórki rakowe mogą syntezować enzym telomerazę, która „dobudowuje” telomery po każdym podziale.

W normie komórka z zakłóceniem podziału i specjalizacji się niszczy. Lecz komórki rakowe nabywają zdolność unikania wyjawienia i zniszczenia. Oprócz tego komórki rakowe stają się odporne na wewnętrzne mechanizmy, które włączają zniszczenie komórki. One skutecznie maskują się, żeby ich nie znalazły przeciwciała i odpornościowe komórki-killery.

Wydaje się dziwne, że komórka rakowa pokonuje wszystkie wspomniane tu i nie wspomniane przeszkody. W rzeczywistości nie ma tu nic dziwnego: ona już nie walczy samodzielnie! Komórka rakowa zaczyna dzielić się i przy tym mechanizmy zapobiegania mutacjom i przebudowom genomowym są już znacznie zakłócone. Wskutek tego powstają komórki potomne z coraz nowymi zmianami. A tymczasem układy organizmu walczą, żeby zatrzymać i zniszczyć kolonie nowotworu. I tu my widzimy, jak zachodzi swoisty dobór naturalny w środku organizmu! Wśród milionów komórek, które potencjonalnie mogą stać się komórkami rakowymi, on już odebrał komórkę, która posiada zdolność nieskończenie i bez kontroli się dzielić. A następnie przewagę otrzymują te, które najprędzej dzielą się, skutecznie pokonują układy powstrzymywania i kontroli, a także najlepiej chowają się przed wykryciem i zniszczeniem przez układ odpornościowy.

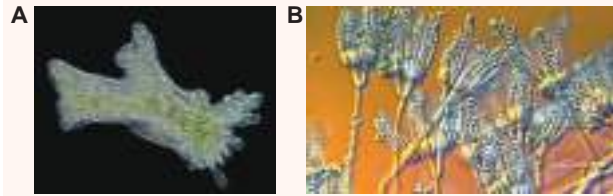
Tak więc z czasem komórki rakowe nie tylko nie mogą zaprzestać dzielenia się, lecz rosną prędzej, stając się komórkami złośliwymi i nabywając odporności do środków, które organizm człowieka lub lekarze stosują przeciwko nim.

§ 29. Mejoza

Podczas rozmnażania płciowego zachodzi połączenie materiałów genetycznych organizmów

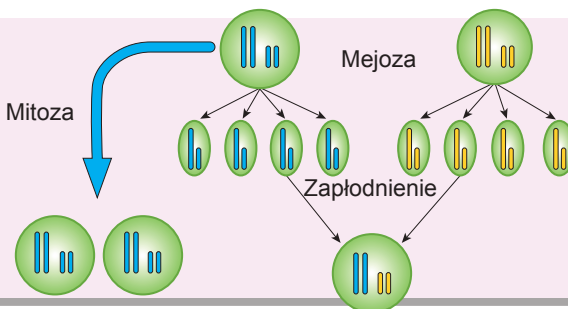
Komórki organizmu człowieka powstają z jednej jedynej komórki – **zygoty** – drogą podziałów mitotycznych. Przy tym garnitur i struktura chromosomów zostaje niezmienna: wszystkie one są genetycznie identyczne jedna z drugą¹. Ta genetyczna identyczność jest bezpośrednim skutkiem mitozy, w której wyniku dwie potomne komórki otrzymują identyczny garnitur chromosomów. Wiele żywych organizmów rozmnaża się tylko drogą mitozy. Na przykład komórki pełzaka dzielą się tylko drogą mitozy (ryc. 29.1, A). Przy tym powstają dwie potomne identyczne komórki. Gdy umieścimy jednego pełzaka do próbówki z wodą, która zawiera bakterie – naturalny pokarm pełzaka, to po pewnym czasie można będzie zauważyć, że w próbówce powstała niewielka populacja pełzaków. Wszystkie one będą genetycznie identyczne z wyjściowym pełzakiem. Takie genetycznie identyczne organizmy nazywają się **klonami**. Niektóre wielokomórkowe organizmy też rozmnażają się tylko drogą mitozy. Takim jest na przykład grzyb pleśniowy – pędzlak, znany z syntezy penicyliny (ryc. 29.1, B). Na końcach strzępek pędzłaka powstają łańcuszki komórek zarodnikowych – konidiów, które powstają wskutek mitozy. Każda z tych komórek jest genetycznie identyczna z dowolną komórką grzyba. A grzyb, który wyrósł z tego konidia, będzie genetycznie identyczny z organizmem macierzyńskim.

Jednak ewolucyjnie wygodniejszy okazał się taki sposób rozmnażania, kiedy zachodzi wymiana materiału genetycznego między organizmami, a potomstwo otrzymuje różne kombinacje tego genetycznego materiału. Przy tym potomkowie okazują się nie identyczni ze swoimi rodzicami. W ten sposób powstaje różnorodność w populacjach żywych organizmów, co daje im możliwość lepiej dostosować się do warunków



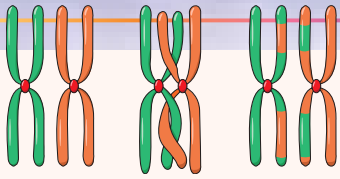
Ryc. 29.1.

Pełzak odmieniec (A) i mikroskopijny grzyb pędzlak (B) rozmnażają się tylko drogą podziałów mitotycznych.



Ryc. 29.2. Ogólny schemat mitozy, mejozy i zapłodnienia dla pewnego jednokomórkowego diploidalnego organizmu, którego garnitur chromosomowy złożony jest z dwóch par

1 Jeśli nie brać pod uwagę niektóre komórki układu odpornościowego, dla których ta reguła się narusza. Jednak to zjawisko nie jest powiązane z mitozą.



Ryc. 29.3. Schemat crossing-over

Homologiczne chromosomy wymieniają się odcinkami

środowiska zewnętrznego, które się stale zmieniają. Takie podejście wymaga od eukariotów wypracowania od razu dwóch złożonych i uzgodnionych procesów – **zapłodnienia** i **mejozy**. Wyobraźmy sobie, że mamy dwa organizmy eukariotyczne, które nie są identyczne i posiadają podwójny garnitur chromosomów (ryc. 29.2). Dla uproszczenia przyjmijmy, że organizmy są jednokomórkowe, garnitur haploidalny (pojedynczy) zawiera dwa chromosomy, a diploidalny (podwójny) – cztery. Każdy z tych organizmów może dzielić się drogą mitozy, tworząc przy tym identyczne z sobą klony. Ale

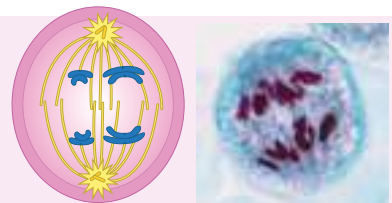
jest sposób wymiany materiałem genetycznym między podobnymi nieidentycznymi organizmami z powstaniem potomstwa, które ma swój unikalny genetyczny materiał. Dlatego nasze jednokomórkowe organizmy biorą się do szczególnego sposobu podziału komórkowego – mejozy (od gr. meiosis – zmniejszenie). Po nim, w odróżnieniu od mitozy, powstaje nie dwie komórki, a cztery. Przy tym one są różne i noszą pojedynczy garnitur chromosomów, w naszym przypadku – dwa chromosomy. Takie komórki znacznie różnią się od wyjściowych i są zdolne do zlewania się ze sobą w procesie nazywanym zapłodnieniem. Kiedy takie komórki, które powstały w różnych organizmach, zlewają się, to zachodzi odnowienie podwójnego garnitur chromosomów zawierający chromosomy obojga „rodziców”.

Mejoza składa się z szeregu faz, które kolejno się zmieniają

A teraz dokładniej rozpatrzmy, jak zachodzi mejoza. Początek mejozy przypomina mitozę. Tak samo jak i w przypadku mitozy najpierw zachodzi podwojenie DNA w interfazie. Następnie komórka wstępuje w profazę mejozy I. Ona przypomina profazę podziału mitotycznego, jednak posiada pewne różnice. Podstawowa polega na tym, że podwojone chromosomy splątują się i wymieniają odcinkami. Jest to bardzo ważne i istotne. Jak pamiętamy, w przypadku organizmu diploidalnego w jądrze jest po dwie kopie każdego chromosomu – jeden ojcowski, inny macierzyński. Te kopie nie są identyczne jedna względem drugiej, ponieważ różnią się kolejnością DNA. Ale podczas profazy I w mejozie zachodzi proces wymiany odcinkami między macierzyńskim i ojcowskim chromosomem. Przy tym chromosomy, które powstają, okazują się niby zszyte z fragmentów ojcowskich i macierzyńskich chromosomów, jak kołdra jest zszyta z kawałeczków tkaniny. Taki proces nazywa się **crossing-over** (ryc. 29.3).

Wraz z przebiegiem crossing-over zachodzi zagęszczenie (spiralizacja) chromosomów i niszczy się otoczka jądrowa. Następnie komórka wstępuje w metafazę I mejozy, podczas której chromosomy, jak i w mitozie, ustawiają się na równiku w płytkę metafazową. Następnie za metafazą I idzie anafaza I. Tu wyjawia się jeszcze jedna różnica między mejozą i mitozą: gdy w mitozie zaszło rozchodzenie chromatyd, to w mejozie rozchodzą się całe chromosomy (ryc. 29.4).

Po zakończeniu anafazy I następuje telofaza I, po której zachodzi cytokineza. Nie ciężko dojść do wniosku, że w wyniku tego powstają



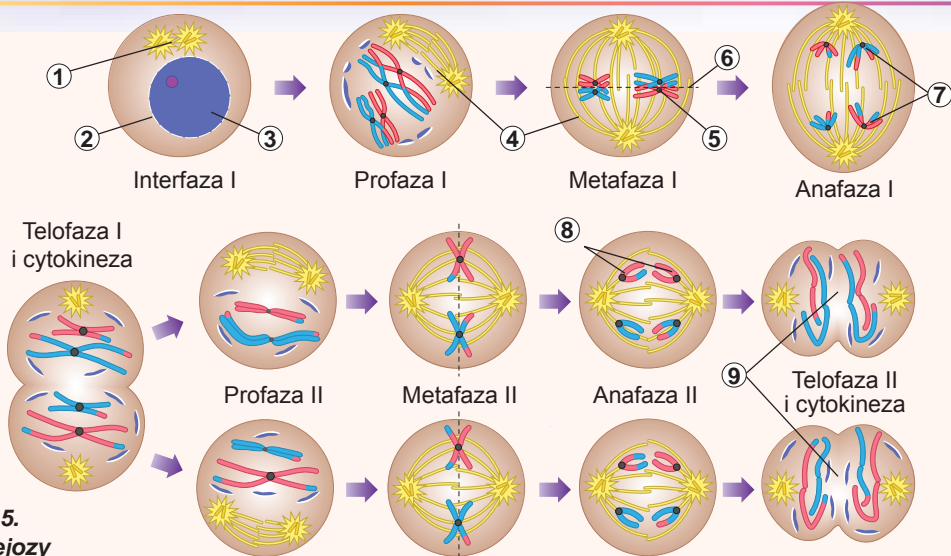
A

B

Ryc. 29.4. Rozchodzenie chromosomów w anafazie I mejozy

A. W rozchodzeniu biorą udział X-podobne chromosomy, przy tym ich zwartość się nie zakłóca.

B. Anafaza I mejozy w komórkach pęcika lilii.



Ryc. 29.5.
Fazy mejozy

1. Centriole. 2. Otoczka jądrowa. 3. Chromatyna. 4. Wrzeciono podziałowe. 5. Chromosomy homologiczne. 6. Płytki metafazowa. 7. Rozchodzenie chromosomów homologicznych.
8. Rozchodzenie chromosomów potomnych. 9. Kształtowanie się potomnych haploidalnych komórek.

dwie potomne komórki, które zawierają jednakowy garnitur X-podobnych chromosomów. Ale na tym proces się nie kończy. Powstałe komórki wstępują w drugi podział mejozy. On też posiada profazę, metafazę, anafazę i telofazę. Profaza II zwykle jest krótka i nie ma jakichś osobliwości. Metafaza II i anafaza II zachodzą analogicznie do takich faz w mitozie: chromatydy chromosomów, które są rozmieszczone na równiku, rozchodzą się i X-podobne chromosomy rozszczepiają się na poszczególne podobne do pałeczek chromosomy. Po zakończeniu telofazy II każda z dwóch komórek dzieli się jeszcze na dwie. Po anafazie II i telofazie II w każdej powstałej komórce okazuje się po jednej kopii każdego chromosomu. Przegląd faz mejozy podano na rycinie 29.5.

Wspólne i odmienne cechy mitozy i mejozy

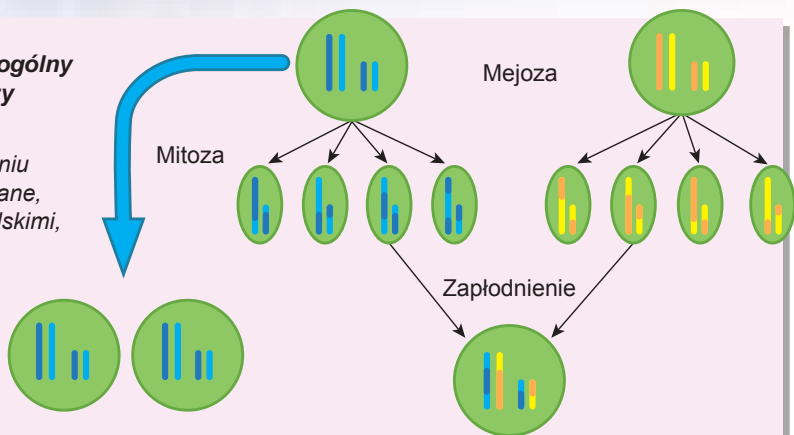
Uogólnijmy to, co było powiedziane w postaci charakterystyki porównawczej mitozy i mejozy. Tę porównawczą charakterystykę przytoczono w tabeli 29.1.

Tabela 29.1. Charakterystyka porównawcza mitozy i mejozy

	Mitoza	Mejoza – I podział	Mejoza – II podział
<i>Crossing-over</i>	Nie ma	Jest	Nie ma
<i>Rozchodzenie w anafazie</i>	Rozchodzą się chromatydy	Rozchodzą się chromosomy	Rozchodzą się chromatydy
<i>Wynik podziału</i>	Dwie komórki identyczne wyjściowej. Garnitur chromosomów zachowuje się	Dwie komórki ze zmniejszonym o połowę garniturem X-podobnych chromosomów złożonych z dwóch chromatyd	Cztery komórki o dwukrotnie zmniejszonym garniturze podobnych do pałeczek chromosomów, każdy chromosom zawiera po jednej chromatydzie

Ryc. 29.6. Odnowiony ogólny schemat mitozy, mejozy i zapłodnienia

Utworzona po zapłodnieniu komórka ma przebudowane, w porównaniu z rodzicielskimi, chromosomy.



Teraz przekształcimy proces mejozy na schemacie, który był podany wcześniej na rycinie 29.2, i dokonamy jego analizy (ryc. 29.6). Oczywiście, że różnorodność genetyczna powstaje nie tylko dzięki kształtowaniu się nowych kombinacji chromosomów, lecz i dzięki przebudowie chromosomów w profazie I mejozy podczas crossing-over.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Garnitur diploidalny chromosomów o jednej chromatydzie jest w komórce podczas
 - A telofazy I mejozy
 - B anafazy I mejozy
 - C metafazy II mejozy
 - D anafazy II mejozy
 - E telofazy II mejozy
- 2 Komórka człowieka po telofazie II mejozy zawiera następującą ilość chromosomów

A 46	B 23	C 12	D 44	E 24
------	------	------	------	------
- 3 Mejoza zachodzi w takich komórkach człowieka, jak
 - A nabłonek skóry
 - B komórki nerwowe
 - C komórki – poprzedniki gamet
 - D komórki ścian jelita
 - E komórki siatkówki oka
- 4 W wyniku crossing-over
 - A zwiększa się różnorodność potomków
 - B przyspiesza się wzrost organizmu
 - C zwiększa się wiarygodność zapłodnienia
 - D zwiększa się częstotliwość mitozy
 - E wzrasta podobieństwo chromosomów

- 5** Skutkiem rozchodzenia się chromosomów zamiast chromatyd w metafazie I mejozy jest
- A zwiększenie ilości chromosomów w powstałych komórkach
 - B zmniejszenie ilości chromosomów w powstałych komórkach
 - C możliwość zachodzenia crossing-over
 - D możliwość zachodzenia cytokinezy
 - E powstanie klonów

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Po co organizmy w procesie rozmnażania wymieniają się informacją dziedziczną?
- 7** Dlaczego w toku ewolucji powstała mejoza?
- 8** Podaj charakterystykę różnic między profazą mitozy i profazą I mejozy.
- 9** Jak by zmieniłaby się różnorodność organizmów w populacjach, gdyby mejoza zachodziła bez crossing-over?
- 10** Dlaczego podczas mejozy pro-, meta-, ana- i telofaza zachodzą dwukrotnie, a podczas mitozy – jeden raz?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Dlaczego procesy mitozy i mejozy mają wiele wspólnych cech?
- 12** Podaj charakterystykę różnic w procesach przebiegu mejozy u zwierząt i roślin.

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Jakie skutki ma nierozchodzenie się chromosomów po crossing-over podczas powstania gamet u człowieka? Od czego zależy częstotliwość takich zakłóceń?
- 14** Mejoza może zachodzić nie tylko podczas powstania gamet, ale i na innych etapach cyklu życiowego. Jakie są warianty cyklów życiowych? Jaką rolę odgrywa w nich mejoza?

Projekt do opracowania w grupie

- 15** Porównanie mitozę i mejozę.
- 1) Przygotuj tabelę porównawczą mitozy i mejozy według jak największej ilości parametrów.
 - 2) Zaprezentuj ją w klasie na lekcji i powiedz, które kryteria porównania są najważniejsze.
- 16** Model mejozy.
- 1) Wykonaj z zapalek lub wykałaczek modele chromosomów w taki sposób, żeby chromosomy jednej pary różniły się odcieniami, a chromosomy różnych par – kolorami.
 - 2) Przygotuj chromosomy „w paski” po crossing-over.
 - 3) Przygotuj błony dla czterech komórek, wycinając je z tektury lub papieru.
 - 4) Wykorzystując te modele chromosomów i błon komórkowych, zademonstruj kolegom, jak zachodzi mejoza.

§ 30. Komórki płciowe i cykl życiowy

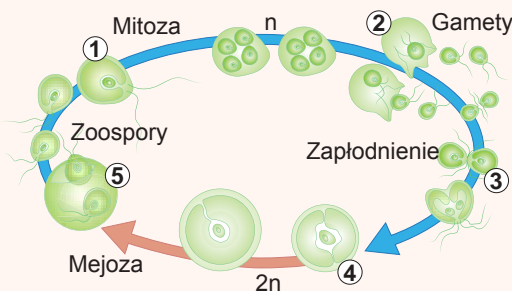
Komórki płciowe posiadają haploidalny garnitur chromosomów

Jak ustaliliśmy w poprzednim paragrafie, niezbędnym warunkiem dokonania rozmnażania płciowego u wielu organizmów eukariotycznych jest mejoza. Ona przeważnie prowadzi do powstania komórek haploidalnych. Te komórki potem mogą zlewać się jedna z drugą w procesie zapłodnienia. Wiele jednokomórkowych organizmów (na przykład zawłotnia) większą część swego cyklu życiowego istnieje w postaci takich komórek haploidalnych. Rozmnażają się one drogą mitozy, tworząc takie same komórki haploidalne (garnitur chromosomowy w procesie mitozy nie zmienia się: wskutek mitozy komórki haploidalnej powstają dwie potomne haploidalne komórki), ale jeśli zajdzie potrzeba, mogą zlewać się jedna z drugą, tworząc komórkę diploidalną, która wchodzi w mejozę i cykl komórkowy dobiega końca (ryc. 30.1).

Do rozpatrzenia cykli życiowych różnych organizmów jeszcze powrócimy w końcu paragrafu. A teraz skupmy naszą uwagę na cyklu życiowym człowieka. Człowiek, jak i większość ssaków, rozmnaża się przeważnie drogą płciową¹. Wszystkie komórki naszego ciała są di- lub poliploidalne i powstają wskutek podziałów mitotycznych. W procesie mejozy u człowieka powstają osobliwe komórki haploidalne, przeznaczone tylko do dokonania procesu zapłodnienia. One nazywają się **komórkami płciowymi** lub **gametami**.

Człowiek ma dwa rodzaje gamet: ruchliwe męskie – **plemniki** i nieruchome żeńskie – **komórki jajowe**. Budowę komórki jajowej i plemnika podano na rycinie 30.2.

Komórki płciowe człowieka są wyspecjalizowane do pełnienia swoich funkcji. Plemnik praktycznie nie zawiera cytoplazmy – cała korzystna objętość zajęta jest przez jądro, które mieści się w główce. Inna część komórki służy do ruchu: to wić – motor poruszający plemnik na spotkanie z komórką jajową i wstawka, która zawiera duże spiralne mitochondrium, produkujące ATP do zapewnienia wici energii. W przedniej części główki plemnika rozmieszczony jest akrosom. Jest to przekształcona struktura Golgiego, która zawiera enzymy niezbędne do rozszczepienia promienistej osłonki komórki jajowej przed zapłodnieniem. A komórka jajowa, odwrotnie – jest nieruchoma i zawiera dużo cytoplazmy, która będzie wykorzystana do budowy pierwszych komórek przyszłego zarodka. Dojrzała komórka jajowa otoczona jest komórkami towarzyszącymi – **komórkami pęcherzykowymi**, które ją odżywia-



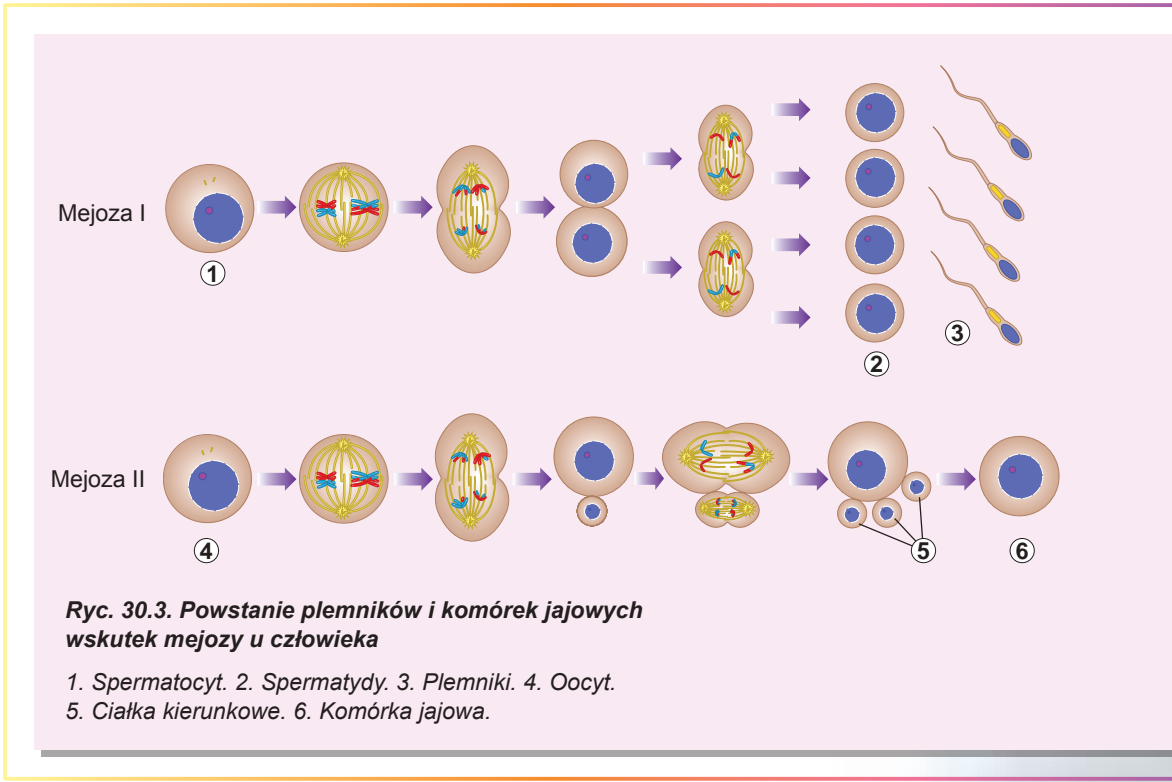
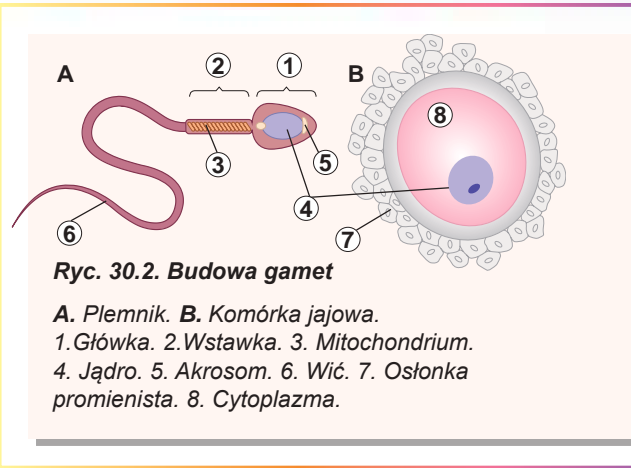
Ryc. 30.1. Mitoza, mejoza i zapłodnienie w cyklu życiowym zawłotni

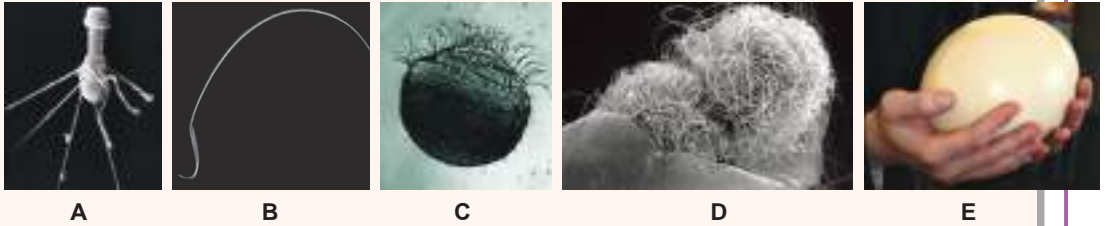
1. Komórki haploidalne żyją i rozmnażają się drogą mitozy.
2. Niesprzyjające warunki środowiska powodują powstanie gamet.
3. Gamety przeciwległej „płci” zlewają się.
4. Powstaje diploidalna zygota ze zwartą błoną.
5. Zygota dzieli się drogą mejozy, tworząc cztery haploidalne zoospory.

¹ Kształtowanie się bliźniąt jednojajowych można rozpatrywać jako rozmnażanie bezpłciowe zarodka na wczesnych stadiach rozwoju. U człowieka to zjawisko jest dość rzadkie, lecz u niektórych ssaków, na przykład u pancernika dziewięciopaskowego, zachodzi regularnie.

ją. Komórki pęcherzykowe tworzą wokół komórki jajowej warstwę zwaną **osłonką przejrzystą**.

U człowieka procesy powstawania plemników i komórek jajowych posiadają pewne różnice (ryc. 30.3). Przy powstawaniu plemników wszystkie cztery komórki haploidalne, które powstały wskutek mejozy, stają się plemnikami. Podczas powstawania komórek jajowych tylko jedna komórka staje się komórką jajową, a reszta – ciałkami kierunkowymi (polocytami), które w zapłodnieniu udziału nie biorą. U mężczyzny powstawanie plemników i mejoza zaczyna się podczas dojrzewania płciowego, a potem zachodzi stale. U kobiet wszystko jest bardziej skomplikowane. Chodzi o to, że mejoza u kobiet zaczyna się jeszcze na embrjonalnych stadiach rozwoju, ale potem „zamiera” w profazie pierwszego podziału mejotycznego. Okresowo u kobiety dojrzałej płciowo mejoza „rozmraża się” i prowadzi do powstania komórki jajowej i trzech ciałek kierunkowych.





Ryc. 30.4. Różnorodność komórek płciowych

A. Plemniki raka. U plemnika raka brak wici, jednak on jest ruchliwy i ma wianuszek z nici, dzięki którym porusza się i szuka komórki jajowej. **B.** Plemniki szczura. U wielu gryzoni główka plemnika jest wygięta w postaci haka. Takie plemniki potrafią czepiać się jeden do drugiego i płynąć razem. To zwiększa ich prędkość i szanse dostania się do komórki jajowej. **C.** Plemniki mitorzębu. Plemniki rośliny nagonasiennej mitorzębu ma kilku tysięcy wici rozmieszczonych spiralnie. W odróżnieniu od niego męskie gamety roślin kwiatowych pozbawione są wici lub innych ruchomych struktur. **D.** Muszka drozofila posiada najdłuższy plemnik w przyrodzie – przy długości ciała nieco większej niż 5mm długość wici plemnika wynosi prawie 6cm! Uważa się, że taka długa wici przeszkadza plemnikom innych samców zapłodnić komórkę jajową: po parowaniu samca z samicą plemniki swymi wiciami po prostu zakrywają dostęp nowym plemnikom do komórki jajowej. **E.** Jajo strusia senegalskiego. Żółtko ptasiego jaja – to komórka jajowa. Prawdopodobnie, to jedna z największych komórek jajowych na świecie.

Budowa płciowych komórek organizmów jest bardzo różna

Budowa komórek płciowych, szczególnie plemników, u żywych organizmów jest bardzo różnorodna. Przytoczmy tylko kilka jaskrawych przykładów demonstrujących, jaką zadziwiającą budowę mogą mieć komórki, które biorą udział w rozmnażaniu płciowym (ryc. 30.4).

Zapłodnienie niezbędne jest do odnowienia diploidalnego garnituru chromosomów

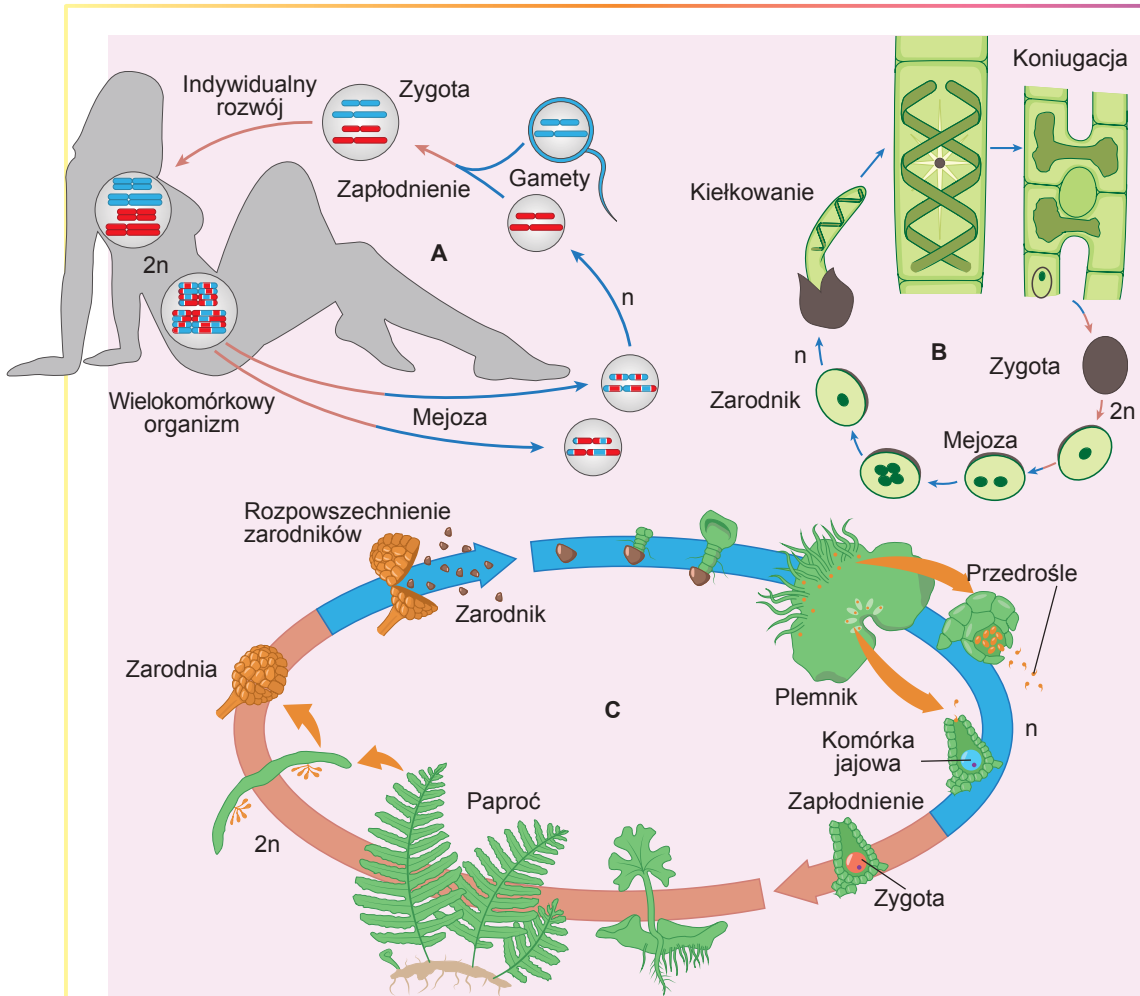
Rozpatrzmy proces zlewania się komórki jajowej z plemnikiem u człowieka, który nazywa się **zapłodnieniem**. W procesie zapłodnienia plemnik podpływa do komórki jajowej, przytwierdza się do jej powierzchni, dzięki czemu zlewają się błony komórkowe. Jądro plemnika okazuje się wewnątrz cytoplazmy komórki jajowej. Przy tym wici i mitochondrium odpadają (właśnie dlatego wszystkie nasze mitochondria otrzymujemy od matki, a nie od ojca). Potem zachodzi połączenie garniturów chromosomowych plemnika i komórki jajowej. Towarzyszy temu odnowienie diploidalnego garnituru chromosomów. Otrzymana komórka nazywa się **zygotą**. Jest to pierwsza komórka wielokomórkowego organizmu, z której drogą podziałów mitotycznych powstaje reszta komórek organizmu. Wszystkie one będą genetycznie identyczne jedna z drugą i z zygotą. Dokładniej poznać, jak zachodzi proces zapłodnienia u człowieka, możesz, **oglądając wideo na stronie internetowej**.....



Mejoza i zapłodnienie zachodzą w różnych organizmach na różnych etapach cyklu życiowego

Jak już niejednokrotnie przypominaliśmy, do odbycia się rozmnażania płciowego u większości eukariotów jest niezbędne zachodzenie dwóch procesów – mejozy i zapłodnienia. Jednak te procesy mogą zachodzić na różnych etapach cyklu życiowego organizmów. O cyklach życiowych człowieka i zawłotni wspominaliśmy już wcześniej. A teraz dokładniej rozpatrzmy te oraz inne cykle życiowe.

Komórki człowieka większą część cyklu życiowego posiadają diploidalny garnitur chromosomów (ryc. 30.5, A). Di- lub poliploidalne komórki ciała powstają wskutek mitozy. W toku mejozy powstają wyspecjalizowane komórki płciowe – plemniki i komórki jajowe.



Ryc. 30.5. Różnorodność cykli życiowych organizmów o rozmnażaniu płciowym

A. Człowiek. B. Skrętnica. C. Paproć.

Te komórki są haploidalne, one nie dzielą się i służą tylko do zapłodnienia. Wskutek zapłodnienia powstaje diploidalna zygota, z której rozwija się cały wielokomórkowy organizm. Taki cykl życiowy jest charakterystyczny dla zwierząt.

U nitkowatego glonu skrętnicy (można ją regularnie widzieć w zbiornikach słodkowodnych, ona wytwarza cienkie zielone nici przypominające włosy) większą część cyklu życiowego komórki posiadają haploidalny garnitur chromosomów (ryc. 30.5, B). Właśnie z komórek haploidalnych są zbudowane jej nici. Te komórki haploidalne dzielą się mitozą, wytwarzając sobie podobnych. Skrętnica nie posiada wyspecjalizowanych komórek płciowych, jednak komórki sąsiednich nici mogą zlewać się jedna z drugą. Taki proces nazywa się **koniugacją** i w istocie swej jest zapłodnieniem. Po koniugacji powstaje diploidalna zygota, która przechodzi podział mejotyczny, czego skutkiem jest powstanie czterech komórek haploidalnych. Te komórki haploidalne będą dzielić się mitotycznie, wytwarzając nowe nici skrętnicy.

Czy nie najbardziej złożony jest cykl życiowy u roślin wyższych. Rozpatrzmy cykl życiowy paproci (ryc. 30.5, C). Roślina zielona, którą możemy obserwować w lesie, jest diploidalna. Lecz na dolnej stronie liścia paproci zachodzi proces mejozy prowadzący do powstania haploidalnych zarodników. Te zarodniki roznoszone są przez wiatr. Jeżeli zarodnik dostaje się do wilgotnej gleby, to w nim zaczynają się podziały mitotyczne. Skutkiem tych podziałów jest powstanie wielokomórkowej blaszki – **przedrośla**. Wszystkie komórki przedrośla są haploidalne. Przedrośle zdolne jest do wytwarzania wyspecjalizowanych gamet, lecz zachodzi to drogą mitozy, a nie mejozy. Wskutek zlewania się gamet powstaje diploidalna zygota, z której rozwija się znana nam roślina. Tak więc w cyklu życiowym paproci zachodzi przemiana dwóch wielokomórkowych pokoleń: diploidalnego, wytwarzającego zarodniki drogą mejozy, i haploidalnego, tworzącego gamety drogą mitozy. Taki cykl życiowy jest właściwy dla roślin wyższych, tylko stosunek pokoleń cyklu życiowego znacznie się różni.

U wielu organizmów rozwój od momentu powstania (przy zapłodnieniu lub po oddzieleniu się od organizmu macierzyńskiego) do zakończenia istnienia składa się z dwóch etapów: **embrionalnego** (zarodkowego) i **postembrionalnego** (pozarodkowego). Podczas pierwszego z nich zachodzi rozwój od zygoty do urodzenia (wyklucia, kiełkowania), a podczas drugiego – stnienie i rozmnażanie.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Jeżeli komórka drożdży piekarskich dzieli się drogą podziału mejotycznego, oznacza to, że
 - A ona posiadała diploidalny garnitur chromosomów
 - B ona posiadała haploidalny garnitur chromosomów
 - C powstanie zygota
 - D będzie zachodzić pączkowanie
 - E ona wkrótce zginie
- 2 Mejoza przy powstaniu plemników u człowieka zachodzi, zaczynając od okresu
 - A embrionalnego rozwoju
 - B embrionalnego rozwoju, a potem okresowo ustaje
 - C dojrzewania płciowego
 - D dojrzewania płciowego, a potem okresowo ustaje
 - E rozwoju postembrionalnego

- 3** Do powstania zygoty u człowieka jest niezbędne
A wnikięcie jądra komórki jajowej do plemnika
B podział mitotyczny plemnika
C zlewanie się komórkowych błon gamet
D wnikięcie wici plemnika do komórki jajowej
E zlewanie się dwóch jąder plemników z jednym jądrem komórki jajowej
- 4** U paproci komórką haploidalną jest
A komórka łodygi rośliny zielonej
B zarodnik
C zygota
D komórka zarodni, gdzie powstają zarodniki
E komórka kłączy paproci
- 5** Komórki nerwowe mózgowia są genetycznie identyczne z
A plemnikami
B komórkami jajowymi
C zygota
D macierzyńską komórką jajową
E ojcowskim plemnikiem

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Dlaczego u człowieka wskutek mejozy powstają trzy ciała kierunkowe i tylko jedna komórka jajowa?
- 7** Jaki garnitur chromosomowy i czemu mają komórki zawłotni, które powstają wskutek mitozy?
- 8** Jakie osobliwości budowy plemnika wskazują na to, że on przeznaczony jest tylko do zapłodnienia?
- 9** Jak ma zachodzić cykl życiowy organizmu diploidalnego z diploidalnymi gametami?
- 10** Na czym polega podobieństwo i różnica cykli życiowych skrzętnicy i paproci?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Niektóre plemniki, na przykład u roślin kwiatowych, nie posiadają ruchomych struktur. A w jaki sposób one dostają się do komórki jajowej?
- 12** Dlaczego organizmy różnej płci u ssaków wytwarzają różną ilość gamet: samiec – dużo, a samica – mało?
- 13** Dlaczego do środka komórki jajowej wnika tylko jeden plemnik? W jaki sposób zapewnia się takie ograniczenie?

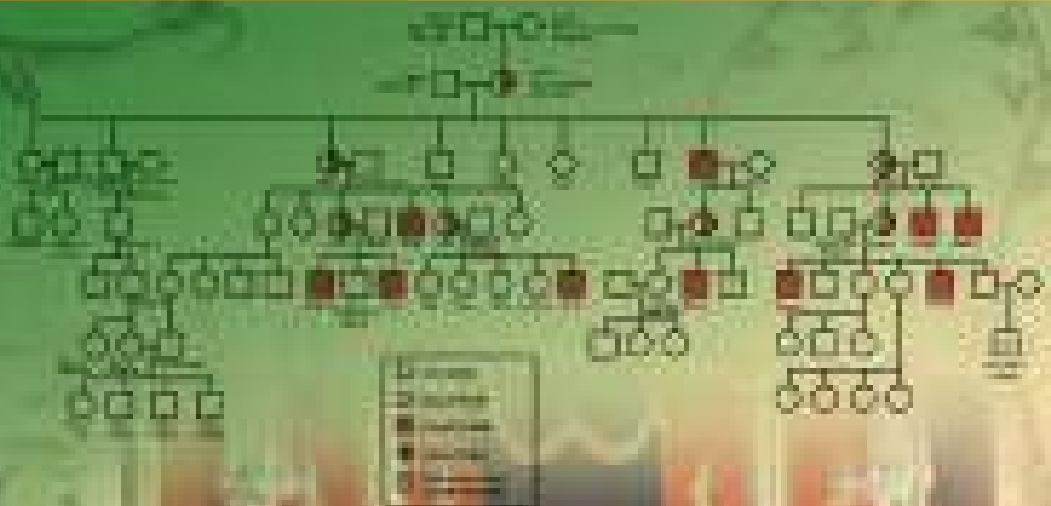
Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 14** Na czym polega różnica między bliźniętami jednojajowymi i różnojajowymi? Jaki wariant spotyka się u człowieka częściej i dlaczego?
- 15** Jak zmienia się stosunek trwania i długości haploidalnej i diploidalnej fazy u różnych grup roślin wyższych?



We are survival machines – robot vehicles blindly programmed to preserve the selfish molecules known as genes. This is a truth which still fills me with astonishment.

Richard Dawkins



ROZDZIAŁ 5

Prawidłowości dziedziczenia cech



Gregor Mendel



§ 31. Genotyp i fenotyp. Allele

Geny mają różne postacie – allele

Od tego paragrafu rozpoczynamy poznawanie genetyki klasycznej.

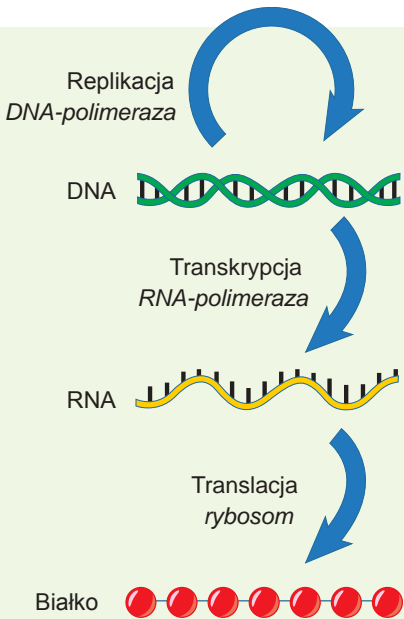
Genetyka – to nauka, która bada prawidłowości dziedziczności i zmienności.

Dziedziczność – to zdolność przekazywania swych cech potomkom, a **zmienność** – to różnicowanie cech osobników w obrębie jednej populacji lub gatunku. Na przykład taka cecha jak kolor kwiatów okazuje zmienność w populacji, jeżeli w niej są osobniki o różnym zabarwieniu kwiatów.

Zapoznaliśmy się już z podstawami genetyki molekularnej, której przedmiotem badań jest realizacja informacji dziedzicznej zakodowanej w DNA, a także jej przekazywanie na poziomie cząsteczkowym. Genetyka klasyczna, w odróżnieniu od molekularnej, nie bada istoty i delikatnych aspektów funkcjonowania nosiciela informacji genetycznej. Ona pracuje z rezultatem realizacji zakodowanej informacji – cechami, a także z zasadami dziedziczenia cech. Historycznie klasyczna genetyka zjawiała się wcześniej od molekularnej. Wtedy badacze (zwłaszcza Grzegorz Mendel w swoich doświadczeniach z grochem zwyczajnym) próbowali ustalić prawa dziedziczenia cech przez organizmy żywe. Odkryte prawa nie posiadały jednak wyjaśnień. Dopiero potem wyjaśniło się, że wszystkie prawa są skutkiem genetyki molekularnej. Posiadając wiedzę z zakresu genetyki molekularnej i biologii komórkowej, możemy głębiej zrozumieć treść tych prawidłowości, niż gdybyśmy rozpatrywali je powierzchwnie, tylko z punktu widzenia genetyki klasycznej.

Od razu zwróćmy uwagę: w tym rozdziale rozpatrzemy tylko genetykę eukariotów (przeważnie wielokomórkowych). Wirusy i bakterie nie będą przedmiotem naszych badań. Najpierw przypomnijmy sobie główny dogmat biologii molekularnej (w jego uproszczonej postaci), który opisuje połączenie DNA, RNA i białka (ryc. 31.1).

Odcinek DNA kodujący RNA, a z nim i białko (lub łańcuch polipeptydowy), nazywa się „**genem**”. Z tym pojęciem pracowałeś w poprzednich paragrafach. Każde białko (lub poszczególny łańcuch polipeptydowy) kodowane jest przez swój gen. Jest gen insuliny, mioglobiny, katalazy, geny poszczególnych łańcuchów hemoglobiny. Jednak, jak już wiesz, kolejności tego samego genu w różnych organizmach jednego gatunku mogą nieco się różnić: przyczyną tego są stałe mutacje. Dwie postacie genu, które różnią się swymi kolejnościami nukleotydowymi, nazywają się **allelami**. Jeżeli różnice w kolejnościach nukleotydowych dotyczą kodującego odcinka genu (czyli są rozmieszczone w jednym z egzonów), to produkty białkowe alleli będą różniły się swy-



Ryc. 31.1. Główny dogmat biologii molekularnej

Gregor Mendel

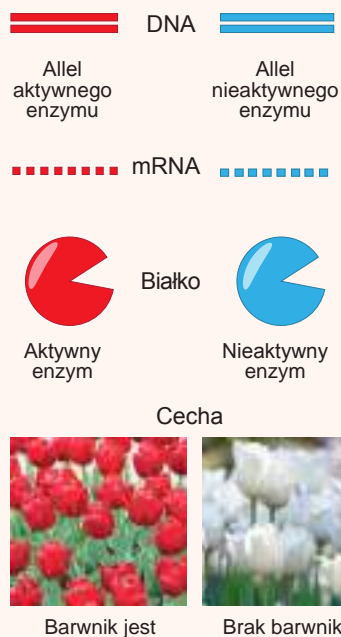
Urodził się w roku 1822 w mieście Heinzendorf (obecnie Czechy). Zakonnik, opat zakonu augustianów w Brnie na Morawach. Mendel samodzielnie opanował nauki i uczył w szkole matematyki i języka greckiego. Kilkakrotnie próbował zdać egzamin na prawo uczenia w szkole biologii i co razu otrzymywał „niedostatecznie”. Jednocześnie dociekliwy mnich zainteresował się krzyżowaniem roślin i zaczął eksperymentować z grochem. Wyniki tych badań dziś są znane całemu światu jako prawa Mendla – pierwsze w nauce uogólnienia dotyczące dziedziczności i zmienności organizmów. Jednak współcześni nie ocenili odkrycia Mendla. Prawdziwe uznanie przyszło po 35 latach od daty publikacji praw i po 16 latach od śmierci samego autora, kiedy te prawa były ponownie odkryte. A więc Gregor Mendel sprawiedliwie nazywany jest założycielem genetyki, chociaż nie zobaczył triumfalnego rozwoju tej nauki. Zmarł Mendel w roku 1884 w Brnie.



mi resztami aminokwasowymi¹. Jak pamiętasz z § 3, trójwymiarowa struktura białka uwarunkowana jest kolejnością aminokwasów w łańcuchu. Można stąd wyciągnąć wniosek, że kodująca się różnymi allelami trójwymiarowa struktura cząsteczek białkowych, kodująca się różnymi allelami, się różni. Wiadomo też, że struktura trójwymiarowa białka, czyli jego kształt, decyduje o funkcji tego białka. Otóż osobliwości funkcjonowania białek, które są kodowane różnymi allelami, się różnią. Pełniąc swoje funkcje, białka warunkują ukazanie się cech żywych organizmów. Załóżmy, że gen koduje enzym, który bierze udział w syntezie jakiejś substancji, nadającej zabarwienie kwiatom rośliny. Przy tym jest tylko dwa allele tego genu. Jeden z nich koduje normalny, aktywny enzym, a inny – nieaktywny enzym. A więc kiedy w genomie rośliny są tylko aktywne allele, to barwnik powstaje i kwiaty będą posiadać barwę. Jeżeli będą tylko nieaktywne allele, to barwnik będzie nieobecny i kwiaty będą białe. Schemat powiązania wzajemnego między allelami i cechą pokazano na rycinie 31.2.

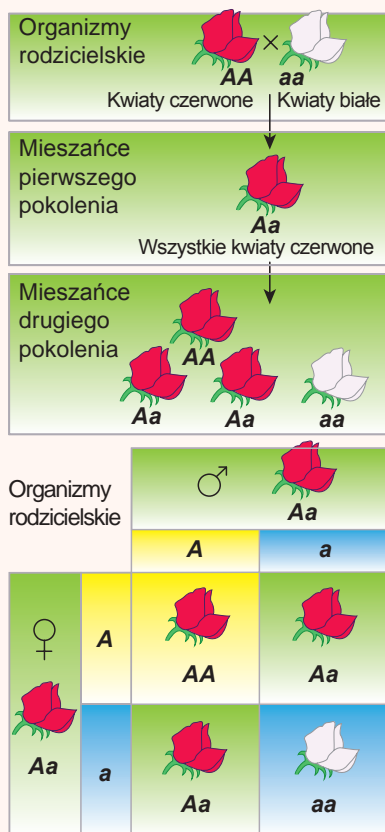
Krzyżowanie jednogenowe (monohybrydowe) przeprowadza się według jednej cechy

Właśnie obserwowaliśmy łączność między allelami i przejawianiem się cech. Lecz jak już wiesz, większość wielokomórkowych organizmów eukariotycznych jest diploidalna, czyli one mają po dwie kopie każdego genu.



Ryc. 31.2. Powiązanie wzajemne między genem i cechą na przykładzie powstawania zabarwienia u tulipanów

¹ W rzeczywistości to nie całkiem tak jest. Wiele zamian nukleotydów w kodujących odcinkach genów nie zmienia kolejności aminokwasów w białkowych produktach alleli. Przypomnij sobie tabelę kodu genetycznego i spróbuj odpowiedzieć, dlaczego.



Ryc. 31.3. Schemat krzyżowania jednogenowego (wyjaśnienie w tekście)

Całokształt alleli badanych genów organizmu nazywa się **genotypem**¹. A **fenotypem** – całokształt obserwowanych cech organizmu².

Jeżeli obydwie kopie genu są jednakowe lub, mówiąc inaczej, przedstawione identycznymi allelami, to cechy wyznaczają się jednoznacznie. Taki genotyp nazywa się genotypem **homozygotycznym**, a organizm – **homozygotą** (od gr. *gomos* – podobny). Inna sytuacja obserwuje się wtedy, kiedy w genomie obecne są dwa różne allele. Genotyp, w którym są różne allele tego samego genu, nazywa się genotypem **heterozygotycznym**, a organizm – **heterozygotą** (od gr. *geteros* – różny). Allele przyjęto oznaczać literami alfabetu łacińskiego. Zazwyczaj allele jednego genu oznacza się tą samą literą lub grupą liter. W celu rozróżnienia można wykorzystywać wielkie i małe litery (na przykład A i a)³.

Najpierw rozpatrzmy najprostszy sposób współdziałania alleli u heterozygoty – kiedy jeden z nich całkowicie maskuje efekt innego. W tym wypadku allel, który wykazuje się w fenotypie nazywamy **dominującym**, a allel maskowany nazywamy **recesywnym**. Na przykład roślina o genotypie AA ma czerwone kwiaty, o genotypie aa – białe, a o genotypie Aa – też czerwone. Takie zjawisko jest bardzo rozpowszechnione w przyrodzie i nazywa się dominowaniem pełnym⁴. (Spróbuj wyjaśnić to zjawisko za pomocą terminów genetyki molekularnej i biochemii – to wcale nie jest trudne! Przypomnij sobie podany przykład z kwiatami posiadającymi barwnik i bezbarwnymi). W tym wypadku są dwa fenotypy na trzy genotypy.

Teraz rozpatrzmy, jak zachodzi dziedziczenie takich cech, czyli przekazywanie ich z pokolenia na pokolenie. Okazuje się, że prawidłowości dziedziczenia są bezpośrednim skutkiem mechanizmów mejozy i zapłodnienia. Najprostszym rodzajem dziedziczenia jest

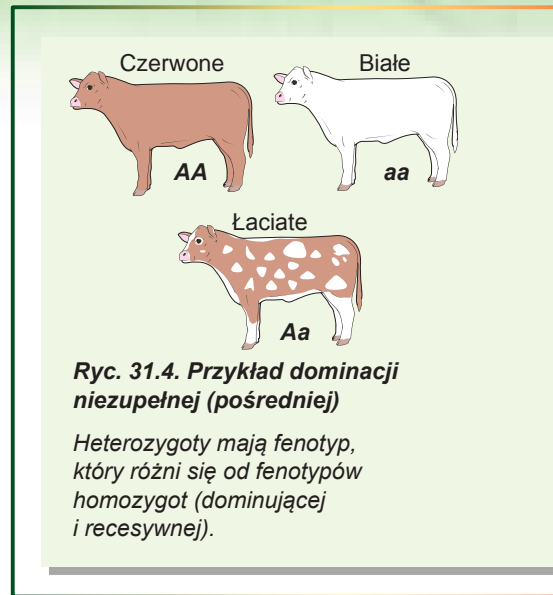
dziedziczenie przy krzyżowaniu jednogenowym (zapyleniu roślin lub zespłaniu zwierząt). **Krzyżowanie jednogenowe** – to krzyżowanie organizmów różniących się jedną cechą, za którą odpowiadają allele jednego genu.

Rozpatrzmy przykład na rycinie 31.3. Weźmy roślinę, której osobniki posiadają różne zabarwienie kwiatów – czerwone i białe. Ta cecha wyznacza się jednym genem, który ma różne allele. Homozygoty AA mają kwiaty czerwone, homozygoty aa – białe. Skrzyżujmy te homozygoty jedna z drugą. Krzyżowanie oznacza się znakiem „×”. Przez krzyżowanie rozumiemy, że każdy z organizmów wytwarza gamety w toku mejozy, a potem gamety różnych organizmów zlewają się ze sobą w procesie zapłodnienia. Gamety

1 W szerszym rozumieniu mówi się, że genotyp – to całokształt wszystkich kolejności DNA zygoty.
 2 I znów w szerszym znaczeniu fenotyp – to całokształt wszystkich dziedzicznych cech organizmu.
 3 To historycznie pierwszy system oznaczania alleli. On jest wygodny, kiedy obecne są dwa allele jednego genu. Jednak w przyrodzie żywej bardzo często rozpowszechniony jest wielokrotny allelizm. Wtedy do ich oznaczania wykorzystuje się liczbowe wskaźniki: A₁, A₂, A₃ itd.
 4 Rozumie się, że allel A całkowicie dominuje nad allelem a.

w odróżnieniu od organizmów są haploidalne, czyli zawierają tylko jeden chromosom z pary, więc dlatego tylko jeden allel. Jasne jest, że osobnik z genotypem AA produkuje tylko gamety, zawierające allel A, a organizmy z genotypem aa – gamety, zawierające allel a. Zlewanie się gamet dwóch różnych organizmów prowadzi do powstania organizmów diploidalnych z genotypem Aa – heterozygot. Wszystkie osobniki otrzymane po krzyżowaniu (mieszkańce) w pierwszym pokoleniu mają jednakowy genotyp i jednakowy fenotyp. To prawo nazywa się **prawem jednolitości mieszańców pierwszego pokolenia**, a także **pierwszym prawem Mendla**.

Rozpatrzmy, co zajdzie, jeżeli skrzyżujemy między sobą mieszańców. Bądź uważny: heterozygoty wytwarzają nie jeden, a dwa typy gamet w jednakowej ilości. A przy zlewaniu się tych gamet powstają jak homo-, tak i heterozygoty. Przy tym stosunek genotypów będzie następujący: 1AA : 2Aa : 1aa. Otrzymany stosunek tłumaczy prawo rozszczepienia cech mieszańców drugiego pokolenia, czyli drugie prawo Mendla: przy krzyżowaniu organizmów heterozygotycznych (otrzymanych po krzyżówce homozygot) u potomków zachodzi rozszczepienie cech według fenotypu w stosunku 3 : 1. Rzeczywiście, osobniki o genotypach AA i Aa mają czerwone kwiaty (jest ich $\frac{3}{4}$ lub 75%), a osobniki o genotypie aa – białe (jest ich $\frac{1}{4}$, lub 25%).



W przypadku dominacji niezupełnej (pośredniej) powstaje trzy fenotypy

Rozpatrzyliśmy wypadek współdziałania alleli, kiedy jeden allel (dominujący) całkowicie maskuje obecność drugiego allela (recesywnego). Są i inne typy współdziałania alleli. Jeden z nich – to **dominacja niezupełna**. W przypadku dominacji niezupełnej fenotyp heterozygot jest pośredni między fenotypami homozygot. Przykładem dominacji niezupełnej jest dziedziczenie zabarwienia sierści u krów (ryc. 31.4). W wyniku krzyżowania czerwonej krowy z białym buhajem rodzą się cielęta heterozygotyczne tylko o zabarwieniu łaciątym. Oznacza to, że pierwsze prawo Mendla jest ważne i w przypadku dominacji niezupełnej.

Jak widzimy, w przypadku dominacji niezupełnej w fenotypie mieszańców wykazują się i dominujące, i recesywne allele, lecz każdy przejawia się częściowo. A w drugim pokoleniu mieszańców rozszczepienie cech według genotypu (AA – do Aa – do aa) i fenotypu (czerwonych – do łaciątych – do białych) zgadza się ze sobą.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Jeden gen warunkuje krew Rh+, a inny koduje jeden z łańcuchów hemoglobiny.
 Te geny są
- | | | |
|------------------------|------------------------|----------------------|
| A alleliczne | B jednakowe | C diploidalne |
| D rozszczepione | E niealleliczne | |

- 2** Obiektem badań genetyki klasycznej jest
A mechanizm replikacji DNA
B struktura cząsteczek RNA
C dziedziczenie koloru oczu
D realizacja informacji dziedzicznej
E przekazywanie informacji dziedzicznej przy podziale komórki
- 3** Przy krzyżowaniu dwóch organizmów heterozygotycznych przy pełnej dominacji u potomków obserwuje się rozszczepienie cech według fenotypu
A 1 : 1 **B** 1 : 2 : 1 **C** 3 : 1 **D** 1 : 1 : 1 **E** 2 : 2
- 4** Przy krzyżowaniu organizmu heterozygotycznego z organizmem homozygotycznym według allele recesywnego rozszczepienie cech według genotypu będzie
A 1 : 1 **B** 1 : 2 : 1 **C** 3 : 1 **D** 1 : 1 : 1 **E** 2 : 6
- 5** Przy krzyżowaniu roślin lwiej paszczy o kwiatach białych i czerwonych u potomków pierwszego pokolenia brak jest jak czerwonych, tak i białych kwiatów. To tłumaczy się
A pełną dominacją
B pełną dominacją i prawem jednolitości mieszańców pierwszego pokolenia
C pełną dominacją i pierwszym prawem Mendla
D pełną dominacją i prawem rozszczepienia cech u mieszańców drugiego pokolenia
E pełną dominacją i drugim prawem Mendla

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Wyjaśnij z punktu widzenia genetyki molekularnej, opierając się na rycinę 31.2, dlaczego heterozygota ma kwiaty kolorowe, a nie białe.
- 7** Czy są alleliczne dwa geny, które różnią się intronami? Dlaczego?
- 8** Podaj definicję pierwszego prawa Mendla i wyjaśnij przyczyny powstania tej prawidłowości.
- 9** Organizmy homozygotyczne według określonej cechy jeszcze nazywają się „czystymi liniami”. Wyjaśnij taką nazwę, podając analizę krzyżowania homozygot między sobą.
- 10** Dlaczego w drugim pokoleniu przy krzyżowaniu jednogennym i pełnej dominacji obserwuje się różne rozszczepienie cech według genotypu i fenotypu?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Niektóre geny w stanie homozygotycznym mogą powodować śmierć organizmów. Jak w takim wypadku zmieniają się prawa Mendla?
- 12** Ile alleli teoretycznie może mieć jeden gen? Dlaczego alleli w przyrodzie jest wielokrotnie mniej?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 14** Jaka dominacja obserwuje się przy dziedziczeniu grup krwi?
- 15** Jakie cechy człowieka dziedziczą się z dominacją pełną, a jakie – z niepełną? Porównaj siebie i swoich rodziców według niektórych z tych cech i wyciągnij wnioski.

§ 32. Prawo niezależnego dziedziczenia

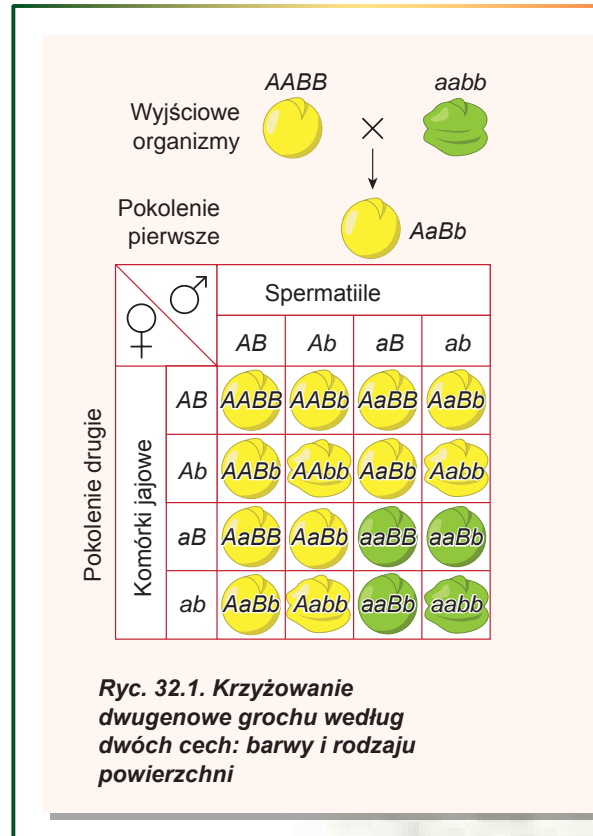
Krzyżowanie dwugenowe przeprowadza się według dwóch różnych cech

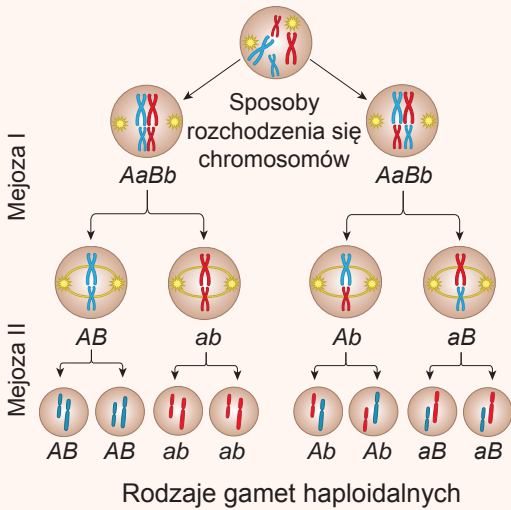
W poprzednim paragrafie rozpatrzyliśmy sytuację, kiedy zachodzi krzyżowanie organizmów różniących się jedną badaną cechą, za którą odpowiadają allele jednego genu. W tym paragrafie omówimy nieco ciekawszą sytuację – krzyżowanie organizmów, które różnią się dwiema cechami, z których każda jest kodowana przez swój gen. Taki wariant krzyżowania nazywa się **krzyżowaniem dwugenowym**. Weźmy klasyczny obiekt wykorzystany przez założyciela genetyki Mendla w swoich badaniach – groch zwyczajny. W tym przypadku rozpatrujemy dwie cechy nasion – barwę i rodzaj powierzchni. Cecha barwa nasion ma dwie alternatywne postaci – żółtą i zieloną. Różnice między tymi postaciami są związane z allelami jednego genu. Allel *A* – to dominujący allel, który odpowiada za żółtą barwę nasion, allel *a* – to recesywny allel, który odpowiada za barwę zieloną. Dla tej cechy charakterystyczna jest pełna dominacja. Odpowiednio osobniki o genotypach *AA* i *Aa* posiadają żółtą barwę nasion, a osobniki o genotypie *aa* – zieloną. Analogicznie dziedziczy się rodzaj powierzchni nasion, która może być gładka lub pomarszczona. Osobniki o genotypie *BB* i *Bb* mają nasiona gładkie, a osobniki o genotypie *bb* – pomarszczone.

Dowiedz się, jaki będzie wynik krzyżówki dwóch osobników o genotypach *AABB* (żółte, gładkie nasiona) i *aabb* (zielone, pomarszczone nasiona). Jeżeli będziemy rozpatrywać dziedziczenie każdej cechy (barwa i rodzaj powierzchni) osobno, to zobaczymy klasyczne jednogenowe dziedziczenie z pełną dominacją: jednolitość mieszańców pierwszego pokolenia i rozszczepienie cech według fenotypu 3 : 1 – w drugim pokoleniu.

Rozpatrzmy dziedziczenie obydwu cech jednocześnie (ryc. 32.1). Osobniki o genotypie *AABB* będą produkować gamety tylko jednego typu – *AB*, osobniki o genotypie *aabb* – gamety *ab*. Przy zapłodnieniu powstaną zygoty o genotypie *AaBb*. Osobników o takim genotypie nazywa się **diheterozygotami**. Ponieważ genotypy zawierają dominujące allele obydwu genów, to wszystkie mieszańce pierwszego pokolenia będą posiadać jednakowy fenotyp, powtarzający genotyp jednego z rodziców: wszystkie nasiona będą żółte i gładkie. A jaki będzie rozkład fenotypów potomków w drugim pokoleniu, jeżeli będziemy rozpatrywać obydwie cechy jednocześnie?

Zanim przejdziemy do omówienia tego ciekawego zagadnienia, zaznaczymy: geny, odpowiadające za wykazanie dziedziczonych cech rozmieszczone są w różnych chromosomach, czyli podczas mejozy te geny segregują się między gametami niezależnie jeden od drugiego





Ryc. 32.2. Niezależne rozchodzenie się chromosomów w mejozie

wraz ze swymi chromosomami. Otóż wiarygodność dostania się allelu *B* do gamety nie zależy od tego, czy dostał się do niej allel *A* czy *a*. Rozpatrzmy, jakie rodzaje gamet będą produkować osobniki o genotypie *AaBb* (ryc. 32.2). Połowa gamet będzie zawierać allel *A*, połowa – *a*. Taki sam stosunek będzie i dla alleli *B* i *b*. Ponieważ allele obydwu genów rozdzielają się między gametami niezależnie jeden od drugiego, to razem powstanie **4 kombinacje alleli** (cztery różne rodzaje gamet) o **jednakowych stosunkach**: *AB*, *Ab*, *aB*, *ab*.

Otóż każdy osobnik o genotypie *AaBb* produkuje cztery różne rodzaje gamet. Jakie więc kombinacje alleli będą powstawać podczas zlewania się gamet ze sobą? Wyobrazić to sobie naocznie pomoże specjalna tabela, która nazywa się **szachownicą Punnetta** (ryc. 32.1). Spotykałeś się już z szachownicą Punnetta w poprzednim paragrafie – wtedy wykorzystywaliśmy ją do podania opisu rozszczepienia genotypów w przypadku krzyżowania jednogennego. Górny rząd tabeli odpowiada genotypom

gamet produkowanych przez jeden organizm, lewa kolumna – genotypom gamet produkowanych przez inny organizm. W przypadku krzyżowania dwóch podwójnych heterozygot pierwszy rząd i pierwsza kolumna szachownicy Punnetta zbiegają się. W komórkach zapisuje się otrzymane genotypy zygot. Na rycinie 32.1. podano szachownicę Punnetta dla tego przypadku.

Jak widzisz, szachownica zawiera $4 \times 4 = 16$ komórek, jednak otrzymane w niektórych komórkach genotypy i fenotypy zgadzają się ze sobą. Stosunki ilościowe między genotypami wynoszą $1AABB : 2AaBB : 2AABb : 4AaBb : 2aaBb : 1aaBB : 2Aabb : 1AAbb : 1aabb$. Stosunek fenotypów w przypadku pełnej dominacji będzie wyglądał następująco: $9A_B_ : 3A_bb : 3aaB_ : 1aabb$. Podobny stosunek fenotypów można otrzymać i w inny sposób, po prostu mnożąc rozkład fenotypów dla każdej cechy osobno: $(3A_ + 1aa) \cdot (3B_ + 1bb) = 9A_B_ : 3A_bb : 3aaB_ : 1aabb$. Budowanie szachownicy Punnetta i przemnożenie wiarygodności jest równoznaczne jedno z drugim. A więc w przypadku dziedziczenia niezależnego i pełnej dominacji przy krzyżowaniu dwóch podwójnych heterozygot w potomstwie będzie cztery fenotypy w stosunkach ilościowych $9 : 3 : 3 : 1$. Takie rozdzielanie po raz pierwszy otrzymał Grzegorz Mendel w swoich doświadczeniach z grochem zwyczajnym. Wtedy jeszcze nie było wiadomo o DNA, chromosomach i mejozie, lecz dokonawszy rzetelnej analizy wyników doświadczenia, naukowiec doszedł do wniosku o niezależnym dziedziczeniu cech. Podobna prawidłowość, która jest bezpośrednim skutkiem rozchodzenia się chromosomów w mejozie, była ustalona w XIX stuleciu i znana jako **trzecie prawo Mendla**.

Prawa Mendla sprawdzają się nie zawsze

Rozpatrzyliśmy prawidłowości, z których odkrycia rozpoczęła się genetyka. Te prawa były odkryte w 60. latach XIX stulecia i ku czci ich odkrywców nazwane prawami Mendla. Wymieńmy je jeszcze raz.

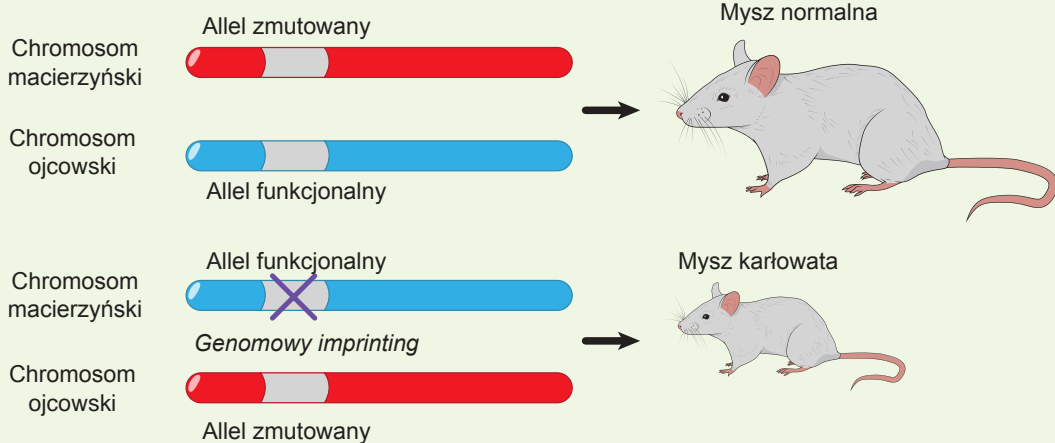
Prawo jednolitości mieszańców pierwszego pokolenia (pierwsze prawo Mendla). Przy krzyżowaniu dwóch homozygotycznych organizmów, różniących się według jednej pary alternatywnych form cechy, wszystkie mieszańce pierwszego pokolenia będą jednolite o dominującym fenotypie.

Prawo rozchodzenia się cech u mieszańców drugiego pokolenia (drugie prawo Mendla). Przy krzyżowaniu dwóch heterozygot pierwszego pokolenia, w drugim pokoleniu obserwuje się rozszczepienie cech według fenotypu 3 : 1 w przypadku pełnej dominacji.

Prawo niezależnego dziedziczenia (trzecie prawo Mendla). Przy krzyżowaniu dwóch osobników, różniących się między sobą według dwóch (i więcej) cech, cechy (i odpowiadające im geny) dziedziczą się niezależnie jedna od drugiej i łączą się dowolnie we wszystkich możliwych kombinacjach.

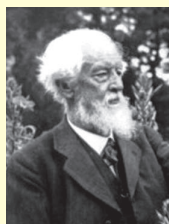
Prawa Mendla były sformułowane w drugiej połowie XIX wieku, kiedy nie wiedzano jeszcze nic o DNA, genach, chromosomach i mejozie. Na początku XX wieku ustalono zasady, które tłumaczyły każde prawo Mendla. Jednak wiedza ludzkości z zakresu genetyki powiększyła się i były zbadane sytuacje, kiedy prawa Mendla się nie potwierdzają się. Nie warto odbierać tego jako klęskę mendelizmu i genetyki, po prostu te prawa dotyczą tylko pewnego kręgu zjawisk, za którego granicami w podanym brzmieniu one już nie oddziałują. Z tymi sytuacjami zapoznasz się w następnych paragrafach, lecz najpierw wyznaczmy warunki, przy których prawa Mendla się potwierdzają.

1. **Dziedziczenie jednogenowe.** Alternatywne przejawy jednej cechy u krzyżujących się osobników uwarunkowane są różnicą alleli tylko jednego genu.



Ryc. 32.3. Genomowy imprinting

Allel funkcjonalny genu czynnika wzrostu powoduje normalny rozmiar ciała myszy, allel zmutowany powoduje karłowatość. Kiedy allel zmutowany rozmieszczony jest w chromosomie macierzyńskim, to on „przemilcza się” i mysz będzie miała normalny rozmiar ciała. Jeśli allel zmutowany znajduje się w chromosomie ojcowskim, to on przejawia się w fenotypie i urodzi się mysz karłowata.



Hugo de Vries

Urodził się w roku 1848 na zachodzie Niderlandów, w Haarlemie. Studiował botanikę na uniwersytecie w Lejdzie. Był profesorem Uniwersytetu Amsterdamskiego i dyrektorem Amsterdamskiego Ogrodu Botanicznego. Hugo de Vries znany jest jako badacz ciśnienia osmotycznego w organizmach roślinnych, zjawisk plazmolizy i deplazmolizy. W 1900 roku potwierdził wyniki badań Grzegorza Mendla, co stało się bodźcem do szybkiego rozwoju genetyki. Jednak głównym osiągnięciem Hugo de Vriesa jest stworzenie teorii mutacyjnej. Uczony uważał, że nowe gatunki powstają wskutek zmian materiału dziedzicznego – mutacji. Zmarł Hugo de Vries w 1935 roku w swojej siedzibie Lunteren pod Amsterdamem.

2. *Dwa alternatywne allele.* W krzyżowaniu rozpatruje się tylko dwa alternatywne allele. Wypływa to z warunku o krzyżowaniu na początku z dwóch czystych linii, czyli organizmów homozygotycznych.
3. *Organizmy diploidalne.* Rozpatrują się organizmy diploidalne. Rzeczywiście, jeżeli organizmy są triploidalne, to w pierwszym pokoleniu otrzymamy jednolitość, lecz rozszczepienie się cech w drugim pokoleniu będzie różniło się od 3 : 1.
4. *Geny dziedziczą się niezależnie.* Wiarygodność dostania się do gamety allelu jednego genu nie zależy od dostania się do gamety allelu innego genu. W tym celu geny muszą być rozmieszczone w różnych chromosomach.
5. *Dziedziczność jądrowa.* Geny, odpowiedzialne za przejaw cech rozmieszczone są w chromosomach jądra. Rzeczywiście, oprócz jądrowej istnieje jeszcze dziedziczność cytoplazmatyczna. Przykładem mogą być geny mitochondriów. Mitochondria człowieka dziedziczą się według macierzyńskiej linii (przez komórkę jajową). Otóż w zygocie są geny mitochondrialne tylko jednego z rodziców (u człowieka – macierzyńskie).
6. *Brak genomowego zapamiętywania.* Niektóre geny są aktywne w zależności od tego, w którym chromosomie się mieszczą – macierzyńskim czy ojcowskim. Dla takich alleli nie istnieje pojęcia dominacji – przejaw efektu zależy tylko od chromosomów. Takie zjawisko nazywa się **genomowym imprintingiem** i jest szczególnie rozpowszechnione wśród ssaków (rys. 32.3).
7. *Brak efektu macierzyńskiego.* Efekt macierzyński – to zjawisko, przy którym fenotyp potomków uwarunkowany jest genotypem matki i nie zależy od genów oddziedziczonych od ojca. Efekt macierzyński może być związany z tym, że na wczesnych stadiach rozwoju zarodkowego w organizmie prawie nie pracują własne geny – cały DNA zaangażowany jest w replikacji. A więc większość genów pracujących w zarodku – to geny macierzyńskie, których mRNA zostaje w cytoplazmie komórki jajowej. Z tego wynika, że szereg cech powiązanych z początkowymi etapami rozwoju zarodkowego całkowicie uwarunkowany jest genomem matki.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1) Poprawny wzór stosunków ilościowych przy krzyżowaniu dwóch heterozygot
A 3 : 1 B 9 : 9 : 3 : 1 C (3 : 1)³ D 9 : 3 : 1 E 9 : 3 : 1 : 1

- 2** Biologiczną podstawą do trzeciego prawa Mendla jest to, że
A geny rozmieszczone są w jednym chromosomie
B podczas mejozy do jednej gamety dostają się obydwa chromosomy z pary
C obserwuje się pełna dominacja
D różne geny rozmieszczone są w różnych chromosomach
E każda gameta jest unikalna, niepodobna do innej
- 3** Przy przeniesieniu pyłku z rośliny o zielonych liściach na roślinę o mozaikowatych biało-zielonych liściach wszyscy potomkowie mają liście mozaikowate. Przy przeniesieniu pyłku z roślin mozaikowatych na zielone – wszyscy potomkowie będą mieć zielone liście. Takie dziedziczenie
A odpowiada prawom Mendla
B nie odpowiada prawom Mendla
C odpowiada rozszczepieniu w stosunku 3 : 1
D odpowiada tylko pierwszemu prawu Mendla
E odpowiada rozszczepieniu w stosunku 1 : 1
- 4** Zapamiętywanie genomowe nie prowadzi do
A ujawnienia się cech recesywnych w obecności dominujących
B dziedziczenia według linii macierzyńskiej
C zakłócenia dominacji
D inaktywacji genów jednego z rodziców
E zniknięcia genów

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 5** Jak współczesna wiedza pomaga nam wytłumaczyć prawa Mendla?
- 6** Ile rodzajów gamet może produkować wskutek mejozy heterozygota według 10 genów, pod warunkiem, że wszystkie one znajdują się w różnych chromosomach?
- 7** Dlaczego ogólne rozszczepienie cech po krzyżowaniu dwóch podwójnych heterozygot dorównuje iloczynowi rozszczepień od jednogennego krzyżowania heterozygot?
- 8** Dlaczego stosunki ilościowe między genotypami i fenotypami różnią się przy krzyżowaniu dwóch podwójnych heterozygot?
- 9** Jakie warunki są niezbędne do pojawienia się „efektu macierzyńskiego”, kiedy cechy dziedziczą się według macierzyńskiej linii?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 10** Jakie rozszczepienie będzie w drugim pokoleniu przy dwugennym krzyżowaniu dwóch czystych linii, jeżeli organizmy są tetraploidalne (zawierają cztery kopie każdego chromosomu), a ich gamety – diploidalne?
- 11** Dlaczego genetyka bakterii nie podporządkowuje się prawom Mendla?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

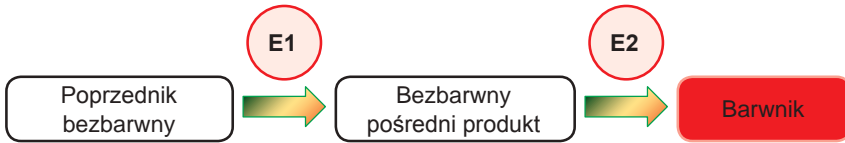
- 12** Uważa się, że prawa Mendla mają charakter statystyczny. Czym to tłumaczy się i dlaczego Mendel dla wyjaśnienia prawidłowości musiał odliczać po kilka tysięcy nasion grochu?
- 13** Dlaczego krzyżówkę z homozygotą recesywną nazywa się analizującą? Jakie wyniki można oczekiwać od krzyżówki analizującej z uzyskanymi przez Mendla odmianami grochu?

§ 33. Wzajemne oddziaływanie genów

Cechy mogą powstawać wskutek oddziaływania kilku genów

W poprzednich paragrafach rozpatrzyliśmy wpływ jednego genu na powstanie cechy. Jednak, z reguły, cecha fenotypowa jest skutkiem wzajemnego oddziaływania jednocześnie kilku genów. Dlatego warto rozpatrzyć sytuację, kiedy na powstanie cechy wpływa jednocześnie kilka genów.

Dokonajmy analizy drogi biochemicznej odpowiadającej za syntezę pewnej substancji kolorowej – barwnika (pigmentu), który nadaje kwiatom zabarwienie.



Powstanie barwnika według przytoczonego schematu zachodzi dwoma etapami, które katalizują się enzymami E1 i E2. Załóżmy, że enzym E1 jest kodowany genem *A*, a enzym E2 – genem *B*. Przy tym każdy gen posiada dwa allele: dominujący (*A* i *B*) i recesywny (*a* i *b*). Allel dominujący każdego genu koduje czynny enzym zdolny do dokonania swojej reakcji, a recesywny – nieczynny, nie zdolny do katalizy. Rozpatrzmy, jakie fenotypy będą posiadać rośliny o różnych genotypach (tabela 33.1).

Tabela 33.1. Genotypy i fenotypy roślin (wariant 1)

Genotyp	Czynny enzym E1	Czynny enzym E2	Barwnik	Kolor kwiatów
<i>AABB</i>	+	+	+	Red
<i>AaBB</i>	+	+	+	Red
<i>AABb</i>	+	+	+	Red
<i>AaBb</i>	+	+	+	Red
<i>aaBB</i>	-	+	-	White
<i>aaBb</i>	-	+	-	White
<i>AAbb</i>	+	-	-	White
<i>Aabb</i>	+	-	-	White
<i>aabb</i>	-	-	-	White

Jak widzimy, do powstania pigmentu i rozwoju czerwonego koloru kwiatów jest niezbędna obecność jednocześnie dwóch czynnych enzymów E1 i E2, które są kodowane różnymi genami.

A teraz rozpatrzmy, jakie będzie rozszczepienie cech linii: *AABB* i *aabb*. Przedtem jednak zaznaczmy, że rozpatrujemy niezależne dziedziczenie obydwu genów. Tak więc rozkład genotypów będzie zbieżny z takim rozkładem dla krzyżowania dwugenowego i we wszystkich przypadkach będziemy obserwować jednolitość mieszańców pierwszego pokolenia i rozszczepienie w drugim. Rozszczepienie genotypów w drugim pokoleniu będzie jednakowe we wszystkich przypadkach i będzie przedstawione na szachownicy

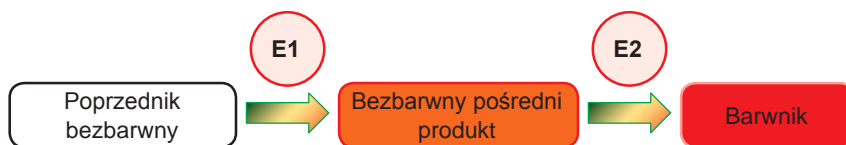
Punnetta dla krzyżowania dwugenowego. Twoje zadanie polega na pokolorowaniu szachownicy Punnetta w odpowiednie kolory odpowiadające fenotypom.

Dla drugiego pokolenia zapiszemy szachownicę Punnetta, używając danych z tabeli 33.1.

W taki sposób otrzymamy rozszczepienie w drugim pokoleniu według fenotypu **9 : 7**.

Spróbujmy nieco zmodyfikować zaproponowany schemat powstania koloru. Niech produkt pośredni też jest zabarwiony i posiada kolor, który różni się od końcowego barwnika.

Gamety	AB	aB	Ab	ab
AB	AABB	AaBB	AABb	AaBb
aB	AaBB	aaBB	AaBb	aaBb
Ab	AABb	AaBb	AAbb	Aabb
ab	AaBb	aaBb	Aabb	aabb



Teraz cecha „kolor kwiatów” ma trzy alternatywne przejawy: białe, pomarańczowe i czerwone. Wypełnijmy analogiczną tabelę dla tego schematu biosyntezy barwnika (tab. 33.2).

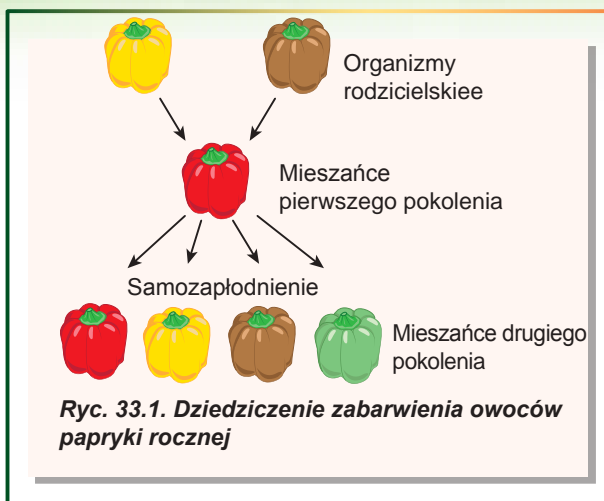
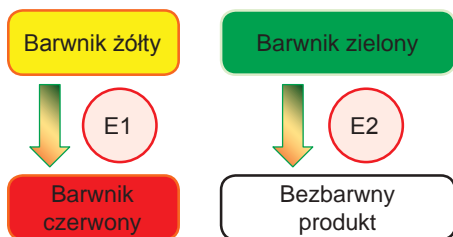
Tabela 33.2. Genotypy i fenotypy roślin (wariant 2)

Genotyp	Czynny enzym E1	Czynny enzym E2	Pomarańczowy produkt pośredni	Barwnik czerwony	Kolor kwiatów
AABB	+	+	+	+	
AaBB	+	+	+	+	
AABb	+	+	+	+	
AaBb	+	+	+	+	
aaBB	-	+	-	-	
aaBb	-	+	-	-	
AAbb	+	-	+	-	
Aabb	+	-	+	-	
aabb	-	-	-	-	

Jak widzimy, w obecności enzymu E1, lecz braku E2, synteza ustaje na barwniku pomarańczowym, dlatego powstaje pomarańczowe zabarwienie kwiatów. Przy krzyżowaniu w pierwszym pokoleniu wszystkie osobniki posiadają genotyp *AaBb* i kwiaty zabarwione są w kolor czerwony. Dla drugiego pokolenia zapiszemy szachownicę Punnetta, używając dane tabeli 33.2. Otóż w drugim pokoleniu mamy rozszczepienie według fenotypu **9 : 3 : 4**.

Gamety	AB	aB	Ab	ab
AB	AABB	AaBB	AABb	AaBb
aB	AaBB	aaBB	AaBb	aaBb
Ab	AABb	AaBb	AAbb	Aabb
ab	AaBb	aaBb	Aabb	aabb

Na koniec rozpatrzmy bardziej złożony schemat dziedziczenia zabarwienia owoców papryki rocznej (ryc. 33.1). W powstaniu koloru biorą udział od razu dwie różne drogi biochemiczne.



Otóż enzym E1 odpowiada za syntezę czerwonego barwnika z żółtego, a enzym E2 – za rozszczepienie barwnika zielonego. W obecności jednocześnie zielonego i żółtego barwnika – zielony maskuje żółty. W obecności czerwonego i zielonego barwnika owoce mają kolor brązowy. Wypełnijmy analogiczną tabelę dla tego przypadku (tab. 33.3).

Tabela 33.3. Genotypy i fenotypy roślin (wariant 3)

Genotyp	Czynny enzym E1	Czynny enzym E2	Barwnik żółty	Barwnik czerwony	Barwnik zielony	Kolor owoców
AABB	+	+	-	+	-	Red
AaBB	+	+	-	+	-	Red
AABb	+	+	-	+	-	Red
AaBb	+	+	-	+	-	Red
aaBB	-	+	+	-	-	Yellow
aaBb	-	+	+	-	-	Yellow
AAbb	+	-	-	+	+	Brown
Aabb	+	-	-	+	+	Brown
aabb	-	-	+	-	+	Green

Jeżeli zastosujemy dane tabeli 33.3, to szachownica Punnetta będzie wyglądać tak samo, jak na stronie 185.

W tym przypadku będzie rozszczepienie według fenotypu **9 : 3 : 3 : 1**. Bardzo to przypomina rozszczepienie przy krzyżowaniu dwugenowym, tylko z tą różnicą, że analizuje się nie dwie cechy (na przykład kolor i kształt nasion), a jedna (kolor owoców).







Wszystkie rozszczepienia, rozpatrzone wyżej, są modyfikacją schematu 9 : 3 : 3 : 1. Rzeczywiście, $9 : 7 = 9 : (3 + 3 + 1)$, a $9 : 3 : 4 = 9 : 3 : (3 + 1)$. To odzwierciedla charakter dziedziczenia dwugenowego. Wariant dziedziczenia dwugenowego, kiedy wyjawienie cechy w organizmie jest uwarunkowane obowiązkową obecnością dwóch genów w określonej postaci (zwykle dominującej) nazywa się wariantem **komplementarnym**.

Gamety	AB	aB	Ab	ab
AB	AABB	AaBB	AABb	AaBb
aB	AaBB	aaBB	AaBb	aaBb
Ab	AABb	AaBb	AAbb	Aabb
ab	AaBb	aaBb	Aabb	aabb

Cechy ilościowe dziedziczą się poligenowo

Dla niektórych cech charakterystyczny jest różny stopień przejawiania się w zależności od genotypu. Tak kolor skóry człowieka jest uwarunkowany czterema podstawowymi genami (tab. 33.4). Każdy gen w postaci allelu dominującego powoduje syntezę ciemnego barwnika (pigmentu) melaniny. Im więcej jest dominujących alleli w genotypie, tym więcej pigmentu w komórkach skóry i skóra jest ciemniejsza: ciemnoskórzy ludzie mają 7–8 alleli dominujących, mulaci – 4–6, a ludzie o jasnej skórze – 1–3. Między allelami jednego genu jest dominacja niepełna. Inaczej niemożliwa byłaby stopniowa zmiana cechy. Taki wariant dziedziczenia, przy którym stopień przejawiania się cechy zależy od ilości genów w określonej postaci, nazywa się **polimerią**.

Tabela 33.4. Dziedziczenie koloru skóry u ludzi

Ilość dominujących alleli syntezy melaniny					
1	3	4	6	7	8
					

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- Dla rozszczepienia 9 : 3 : 4 niezbędna jest obecność

 - A więcej niż dwóch alleli jednego genu
 - B trzy alternatywne przejawy cechy
 - C więcej niż dwóch genów z dwoma allelami każdy
 - D niepełna dominacja chociażby w jednej parze alleli
 - E niezależne dziedziczenie trzech genów
- U człowieka jeden gen odpowiada za kształtowanie ucha wewnętrznego (gen *R*), a drugi – za kształtowanie nerwu słuchowego (gen *T*), a ich allele recesywne powodują głuchotę. Człowiek o genotypie *rrTt* będzie mieć następujący fenotyp:

 - A głuchy, bez wykształconego nerwu słuchowego
 - B słyszy, lecz bez wykształconego ucha wewnętrznego
 - C głuchy, bez wykształconego ucha wewnętrznego
 - D głuchy, bez wykształconego ucha wewnętrznego i bez wykształconego nerwu słuchowego
 - E słyszy, z normalnym uchem

- 3** U królików synteza ciemnego barwnika wyznacza się obecnością dominującego allelu C, przy jego nieobecności kolor sierści jest biały. Inny gen niealleliczny decyduje o rozpowszechnieniu barwnika włosem: dominujący allel A warunkuje kolor szary, a recesywny a – czarny. Przy krzyżowaniu dwóch heterozygotycznych według zabarwienia sierści królików można oczekiwać na takie rozszczepienie, jak
A 9 : 3 : 3 : 1 **B** 9 : 7 **C** 9 : 3 : 4 **D** 1 : 1 **E** 3 : 1
- 4** Różnorodność zabarwienia owoców papryki jednorocznej uwarunkowana jest
A dominacją niezupełną alleli jednego genu
B polimerowym dziedziczeniem zabarwienia
C sprzężonym dziedziczeniem zabarwienia
D imprintingiem genomowym alleli jednego genu
E dziedziczeniem komplementarnym zabarwienia
- 5** Przy krzyżowaniu czerwonej podwójnie homozygotycznej papryki z zieloną podwójnie homozygotyczną potomkowie będą
A wszystkie czerwone **B** wszystkie zielone
C czerwone i zielone w stosunku 1 : 1
D czerwone i żółte w stosunku 3 : 1
E czerwone, żółte i zielone w stosunku 9 : 3 : 4

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Dlaczego w pierwszym przypadku krzyżowania, który był opisany w paragrafie, roślin zabarwionych jest więcej niż bezbarwnych, chociaż w tabeli różnorodności genotypów dla tego przypadku (*tab. 33.1*) jest ich mniej?
- 7** Dlaczego u papryki jednorocznej niemożliwe jest pojawienie się pomarańczowego koloru owoców, mieszając żółty i czerwony kolor?
- 8** Jaka jest przyczyna tego, że rozszczepienie przy komplementarnym wzajemnym oddziaływaniu genów jest pochodne od klasycznego rozszczepienia 9 : 3 : 3 : 1?
- 9** Słowo „komplement” ma rdzeń łaciński, co oznacza „dodatek”. Wyjaśnij, dlaczego współdziałanie genów nazywa się komplementarnym.
- 10** Czy ważne jest przy polimerii to, dominujące geny jakich alleli są w genotypie? Podaj charakterystykę biochemicznego mechanizmu polimerii.

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Dlaczego nie zawsze wyznaczyć, jaki typ współdziałania jest obecny między genami?
- 12** Dlaczego jest możliwa sytuacja, kiedy jeden gen określa od razu kilka cech fenotypowych? Przytocz przykłady takich genów.
- 13** Jakiego rozszczepienia warto oczekiwać od krzyżowania dwóch podwójnych heterozygot, jeżeli dominujące allele genów określają kolejną syntezę pigmentów, jak w pierwszym schemacie dziedziczenia w paragrafie, lecz wszystkie rodzaje pigmentu zabarwione są w różne kolory?

Dowiedz się samodzielnie i powiedz innym

- 14** Oprócz komplementarności i polimerii możliwe jest wzajemne oddziaływanie genów w postaci epistazji. Na czym polega podobieństwo i różnica wszystkich trzech typów współdziałania?
- 15** Jaki jest sens biologiczny współdziałania genów nieallelicznych?

§ 34. Sprzężenie genów i *crossing-over*

Geny rozmieszczone w jednym chromosomie dziedziczą się w sposób sprzężony

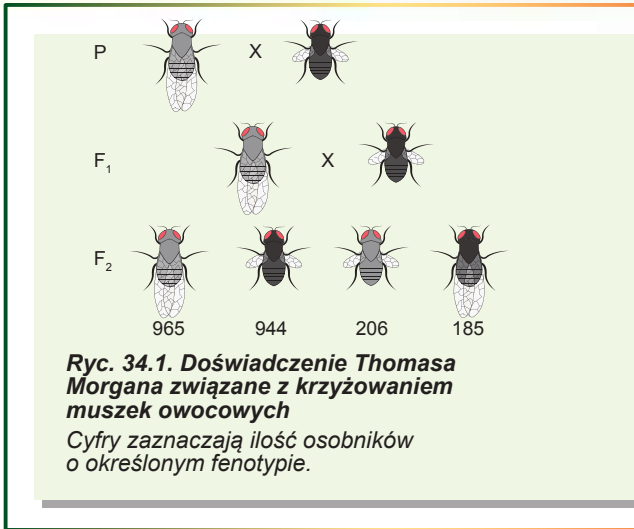
W poprzednich paragrafach rozpatrywaliśmy geny jako podstawowe jednostki nosiciele informacji genetycznej. Kombinacja alleli wyznacza wyjawienie określonej cechy fenotypowej. Jednak nie warto zapominać, że geny są odcinkami DNA, a nosicielem fizycznym DNA są chromosomy. Prawo niezależnego dziedziczenia cech Mendla może być wytłumaczone niezależnym rozdzieleniem się chromosomów podczas mejozy. Tak więc rozdzielenie alleli w czasie powstania gamet dokładnie powtarza zachowanie się chromosomów podczas mejozy.

Liczba genów znacznie przekracza liczbę chromosomów. Oczywiście, że w jednym chromosomie są setki i nawet tysiące genów. Można przypuścić, że geny rozmieszczone

w jednym chromosomie mają tendencję do dziedziczenia się razem. Takie geny otrzymały nazwę **genów sprzężonych**. Żeby dowiedzieć się, jaki wpływ wywiera sprzężenie genów na genotyp potomków, rozpatrzmy dziedziczenie dwóch genów muszki owocowej, które są rozmieszczone w jednym chromosomie. Jeden z tych genów odpowiada za barwę ciała, drugi – za kształt skrzydeł. Allel *A* odpowiada za normalne szare zabarwienie ciała, allel *a* – za czarne zabarwienie, allel *B* – za normalny kształt skrzydeł, allel *b* – za skrzydła uwstecznione. Krzyżowanie muszki o szarym ciele i normalnych

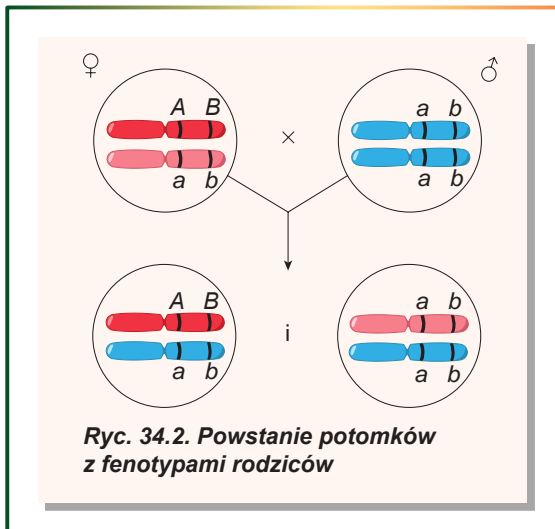
skrzydłach (genotyp *AABB*) z muszką o ciele czarnym i uwsteczniczonych skrzydłach (genotyp *aabb*) daje w pierwszym pokoleniu potomstwo o fenotypie dzikiego typu: szare ciało, normalne skrzydła¹ (ryc. 34.1). Taki przebieg krzyżowania odpowiada prawu jednolitości mieszańców pierwszego pokolenia. Potem mieszańców pierwszego pokolenia skrzyżowano z czarnymi muszkami o uwsteczniczonych skrzydłach. Otrzymane potomstwo posiadało osobników ze wszystkimi możliwymi kombinacjami zabarwienia i kształtów skrzydeł, ale wyraźnie miały przewagę osobniki z fenotypami rodziców, czyli o szarym zabarwieniu i normalnych skrzydłach i z ciałem czarnym o skrzydłach uwsteczniczonych.

Otóż obserwujemy oczywiste odchylenie od rozszczepienia 1 : 1 : 1 : 1, odpowiadającego trzeciemu prawu Mendla.



Ryc. 34.1. Doświadczenie Thomasa Morgana związane z krzyżowaniem muszek owocowych

Cyfry zaznaczają ilość osobników o określonym fenotypie.



Ryc. 34.2. Powstanie potomków z fenotypami rodziców

¹ Taki fenotyp najczęściej spotykany jest w przyrodzie dzikiej, dlatego nazywa się „dzikim typem”.



Thomas Morgan

Urodził się w roku 1866 w Lexington (stan Kentucky, USA). Wykształcenie zdobył w Państwowym Kolegium w Kentucky. Studiował na morskich stacjach biologicznych, na których prowadził badania zoologiczne. Po odwiedzinach ogrodu Hugo de Vriesesa w Amsterdamie Morgan zainteresował się mutacjami, a z czasem i ogólnie badaniami genetycznymi. To właśnie on wprowadził do genetyki nowy obiekt badań – muszkę owocową drozofilę. Wszystkie dalsze badania Thomas Morgan dokonywał właśnie z nią. Uczonemu udało się zebrać utalentowaną grupę badaczy, z którymi razem sformułował podstawowe zasady chromosomowej teorii dziedziczności. W roku 1933 Morgan został laureatem Nagrody Nobla „za odkrycia związane z rolą chromosomów w dziedziczeniu”. Zmarł Thomas Morgan w 1945 roku w Pasadenie (stan Kalifornia, USA).

Przeważanie w potomstwie osobników z cechami fenotypów rodziców (tak zwanymi **fenotypami nierekombinacyjnymi**) można wytłumaczyć rozmieszczeniem genów w jednym chromosomie. Rzeczywiście, gdy osobnik o genotypie $AaBb$ zawiera allele dominujące w jednym chromosomie, a recesywne – w innym, to on produkuje dwa rodzaje gamet: AB i ab . Tłumaczy się to tym, że allele dominujące podczas mejozy razem dostają się do jednej gamety. To samo zachodzi i z dwoma allelami recesywnymi.

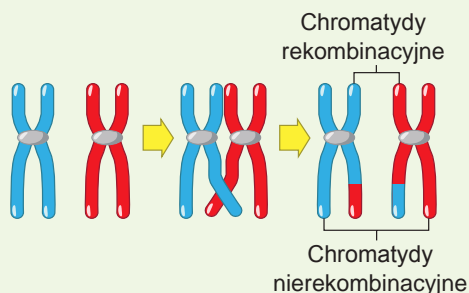
Gdyby między genami sprzężenie było całkowite, to heterozygota podwójna produkowałaby tylko dwa rodzaje gamet. A w pokoleniu potomnym od krzyżowania z recesywną podwójną homozygotą byłyby tylko dwie klasy fenotypowe. Jednak my obserwujemy obecność osobników z odmiennymi od rodziców fenotypami (tak zwanymi **fenotypami rekombinacyjnymi**), chociaż ich część jest mniejsza niż w niezależnym dziedziczeniu cech. Oznacza to obecność mechanizmu, dzięki któremu allele jednego genu mogą zamieniać się miejscami w chromosomach homologicznych.

Crossing-over zakłóca sprzężenie

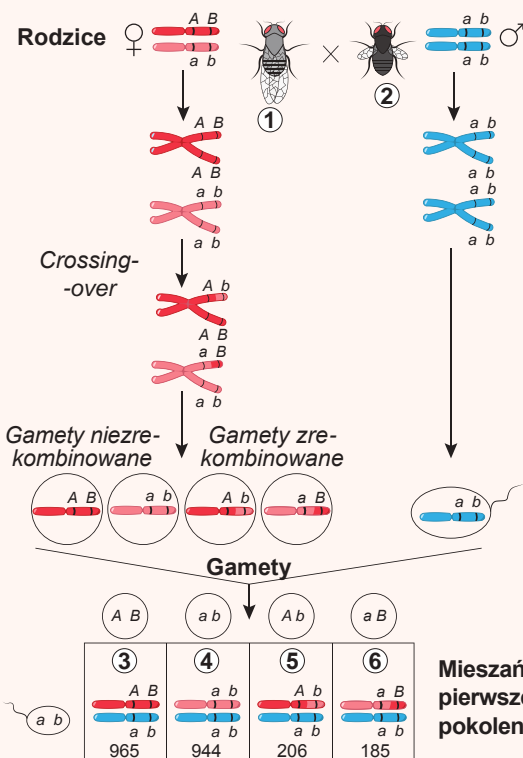
W krzyżowaniu muszek wyjaśniło się, że obok pokolenia nierekombinowanego obecna też jest niewielka ilość potomków rekombinowanych. Wyjaśnienie ich pojawienia się w warunkach sprzężenia genów jest problematyczne. W rzeczywistości w czasie mejozy zachodzi przebudowa chromosomów, która nazywa się **crossing-over** (o nim już była mowa w § 29). Przy tym między chromosomami zachodzi wymiana identycznych odcinków (ryc. 34.3). W ten sposób allele, które są rozmieszczone w różnych chromosomach, wymieniają się miejscami.

Crossing-over może wytłumaczyć pojawienie się w potomnym pokoleniu rekombinatów w krzyżowaniu, o którym mówiło się wyżej (ryc. 34.4). O ile crossing-over między genami A i B zachodzi tylko w niektórych, ale nie we wszystkich parach chromosomów, większa część pokolenia potomnego pozostaje nierekombinacyjna.

U podwójnych heterozygot $AaBb$, kiedy allele dominujące rozmieszczone są w jednym chromosomie, a recesywne – w innym, większość gamet zawiera albo chromosom AB , albo ab . Jednak w 17% wypadków mię-



Ryc. 34.3. Schemat crossing-over



Ryc. 34.4. Tłumaczenie pojawienia się muszek rekombinacyjnych w pokoleniu potomnym przy krzyżowaniu podwójnej heterozygoty samki z samcem zmutowanym

1. Szare ciało i normalne skrzydła.
2. Czarne ciało i skrzydła uwstecznione.
3. Szare ciało i normalne skrzydła.
4. Czarne ciało i skrzydła uwstecznione.
5. Szare ciało i skrzydła uwstecznione.
6. Czarne ciało i skrzydła normalne.

Częstość rekombinacji

$$\frac{206 + 185}{965 + 944 + 206 + 185} \cdot 100\% = 17\%$$

dzy tymi genami zachodzi crossing-over, przy którym allele dominujące i recesywne wymieniają się chromosomami. W wyniku tego powstają gamety zrekombinowane *Ab* i *aB*. Homozygota produkuje tylko jeden typ gamet – *ab*. W przypadku zapłodnienia gamet niezrekombinowanych powstają osobniki z cechami rodzicielskiego fenotypu. A w 17% wypadków powstają osobniki z fenotypami rekombinacyjnymi.

Im dalej geny są oddalone od siebie, tym większa częstość crossing-over. Jeżeli częstość crossing-over wynosi 50%, to takie geny, nawet jeżeli one są rozmieszczone w jednym chromosomie, dziedziczą się niezależnie.

Zastanów się

Znajdź jedną poprawną odpowiedź

- 1) Podczas crossing-over swoje położenie zmieniają
 - A jedna para chromosomów
 - B allele tylko jednego genu
 - C allele różnych genów
 - D tylko geny jednej pary chromosomów
 - E różne gamety
- 2) Jeżeli geny są rozmieszczone na przeciwległych końcach długiego chromosomu, to
 - A wiarygodność crossing-over 1%
 - B wiarygodność crossing-over 50%
 - C wiarygodność crossing-over 0,1%
 - D wiarygodność crossing-over 17%
 - E crossing-over zachodzi zawsze

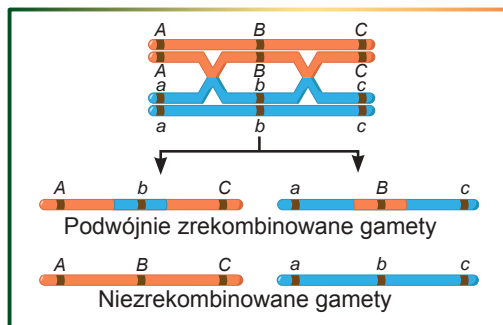
- 3** Dzikie typ muszki owocowej ma
A szare ciało, uwstecznione skrzydła i genotyp $AaBb$
B szare ciało, uwstecznione skrzydła i genotyp $AAbb$
C szare ciało, normalne skrzydła i genotyp $aabb$
D szare ciało, normalne skrzydła i genotyp $AABB$
E szare ciało, normalne skrzydła i genotyp $AABb$
- 4** Przy krzyżowaniu podwójnej heterozygoty z podwójną homozygotą recesywną według genów A i B muszki owocowej wiarygodność pojawienia się w drugim pokoleniu muszek z fenotypem jednego z rodziców wynosi
A 8,5% **B** 17% **C** 41,5% **D** 50% **E** 83%
- 5** Częstość crossing-over między genami C i D – 5%. Od krzyżowania podwójnej heterozygoty $CcDd$ z podwójną homozygotą recesywną $ccdd$ warto oczekiwać rozszczępienia
A 1 : 1 : 1 : 1 **B** 95 : 95 : 1 : 1 **C** 19 : 19 : 1 : 1 **D** 40 : 40 : 10 : 10 **E** 95 : 5

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** W jakich warunkach zachodzi niezależne dziedziczenie genów sprzężonych?
- 7** Co jest przyczyną zwiększenia częstości crossing-over przy zwiększeniu odległości między genami?
- 8** Dlaczego dominujące i recesywne allele w doświadczeniu Morgana z muszkami owocowymi okazały się w różnych chromosomach u mieszańców pierwszego pokolenia?
- 9** Dlaczego organizmów z fenotypami rekombinacyjnymi nie bywa więcej niż organizmów z fenotypami nierekombinacyjnymi?
- 10** Jakie fenotypy i w jakim stosunku mieliby potomkowie w doświadczeniu z muszkami owocowymi, gdyby crossing-over nie zachodził?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Między trzema genami możliwe są dwa skrzyżowania podczas crossing-over (jak na rycinie). Wyjaśnij przyczyny tego, że odsetek podwójnych gamet zrekombinowanych jest mniejszy od oczekiwanego.
- 12** Czy u wszystkich organizmów geny w chromosomie są rozmieszczone liniowo i nie zachodzą na siebie?



Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Jak dane o wiarygodności crossing-over pomogły zbudować mapy genetyczne chromosomów?
- 14** Od jakich czynników zależy częstość crossing-over dla pary genów?
- 15** Wyjaśnij chromosomową teorię dziedziczości. Jakie jest jej znaczenie dla rozwoju biologii?

§ 35. Genetyka płci

W przyrodzie istnieją obojnaki i organizmy różnopłciowe

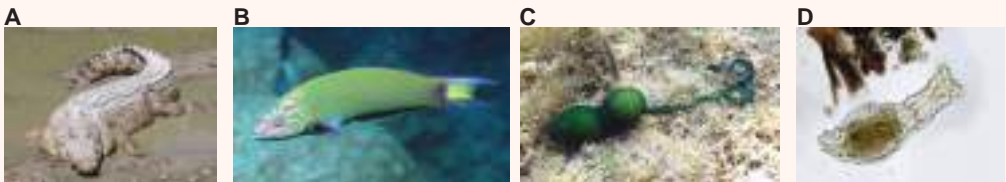
Większość wielokomórkowych organizmów eukariotycznych rozmnaża się drogą płciową. Rozmnażanie płciowe wielokomórkowców włącza powstanie męskich i żeńskich gamet, które zlewają się ze sobą podczas zapłodnienia. Gamety u zwierząt powstają zazwyczaj w wyspecjalizowanych wielokomórkowych narządach nazywanych **gonadami**, lub **gruczołami płciowymi**.

Niektóre gatunki posiadają jak męskie, tak i żeńskie gonady w jednym osobniku. Takie organizmy nazywają się **obojnakami (hermafrodytami)**. Obojnaki są rozpowszechnione w zwierzęcym królestwie: populacje wielu małży i robaków reprezentowane są wyłącznie przez osobniki obojnacze. Jednak dla większości obojnaków charakterystyczne jest zapłodnienie krzyżowe. W tym przypadku podczas zapłodnienia organizm obojnaczy wykonuje męską lub żeńską rolę, czyli jest źródłem plemników lub komórek płciowych. Jego partner-obojnak pełni rolę płci odmiennej. Tylko nieliczna część obojnaków dokonuje samozapłodnienia.

A kiedy gruczoły płciowe żeńskie i męskie są rozmieszczone w różnych osobnikach, to organizmy są **rozdzielnopłciowe**. Przy tym każdy osobnik produkuje komórki płciowe tylko jednego rodzaju – komórki jajowe lub plemniki¹.

Płeć przyszłego organizmu zostaje zdeterminowana podczas zapłodnienia

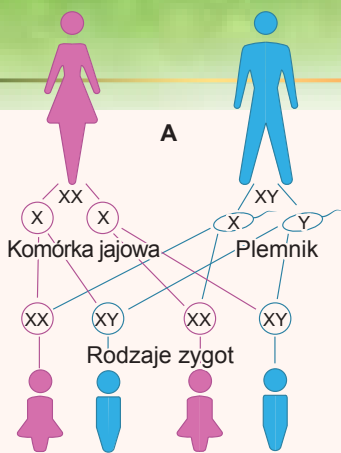
Po zapłodnieniu powstaje pytanie, jakiej płci będzie nowy organizm. W przyrodzie są różne sposoby wykształcania płci. Przykłady niektórych z nich przytoczono na rycinie 35.1.



Ryc. 35.1. Organizmy o różnych sposobach wykształcania płci

A. Płeć krokodyla zależy od temperatury, przy której rozwijają się jaja. Gdy zarodek w jajku rozwija się przy temperaturze 31–32°C, to z jaja wykluwają się samce, a przy wyższej lub niższej – samki. **B.** U większości gatunków wargaczowatych cały narybek rozwija się jako samice, jeśli natomiast w populacji brak samców, niektóre z nich zmieniają swoją płeć. **C.** Jeśli larwa bezkręgowca zielonka opada na dno, ona przekształca się w samice, a jeśli na rynek samicy – to rozwija się mikroskopowy samiec, który pasożytuje w samicy. **D.** Wiele wrotek – mikroskopijnych wodnych bezkręgowców – większą część roku jest samicami rozwijającymi się z jaj niezapłodnionych. Lecz w warunkach niesprzyjających, kiedy na przykład jest ochłodzenie lub susza, samice składają drobne jaja, z których rozwijają się samce.

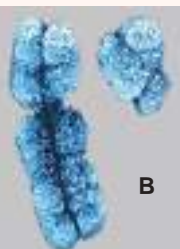
¹ Populacje niektórych organizmów wielokomórkowych są reprezentowane wyłącznie przez samice. Na przykład u ormiańskiej jaszczurki skalistej samców nie wyjawiono, potomkowie powstają z niezapłodnionych komórek jajowych. U mszyc i rozwieltek większą część roku są obecne tylko samice, a samce zjawiają się tylko jesienią i zapładniają komórki jajowe. Jednak rozwój samic z niezapłodnionych komórek jajowych – **partenogenezę** – traktuje się jako rozmnażanie płciowe, ponieważ on łączy w sobie mejozę i powstanie gamet, choć jednego rodzaju.



Ryc. 35.2.

A. Wyznaczenie płci u człowieka.

B. Mikrofotografia X-chromosomu (z lewa) i Y-chromosomu (z prawa).



Nie patrząc na różnorodność mechanizmów powstania płci, w większości wypadków ona wyznacza się genetycznie. Oznacza to, że rozwój męskiego lub żeńskiego organizmu zależy od obecności określonych genów. Wiele organizmów posiada wyspecjalizowane chromosomy płciowe, których obecność lub brak decyduje o rozwoju cechy określonej płci. U człowieka obecna jest para chromosomów płciowych, które oznaczają się literami X i Y. Przy tym u kobiet są dwa X-chromosomy, a u mężczyzn – jeden X-chromosom i drugi Y-chromosom (ryc. 35.2). Choć X- i Y-chromosomy odróżniają się od siebie, jednak one są chromosomami homologicznymi i zachowują się w mitozie i mejozie podobnie jak i inne chromosomy homologiczne¹. Nietrudno domyślić się, że wszystkie komórki jajowe człowieka zawierają jeden X-chromosom, czyli są podobne według kariotypu. Dlatego płć żeńską nazywa się **homogametyczną (homozygotyczną)**. A plemniki zawierają albo X-, albo Y-chromosom, dlatego płć męska u człowieka nazywa się **heterogametyczną (heterozygotyczną)** – mężczyźni produkują plemniki dwóch rodzajów. Oczywiście, że płć przyszłego

dziecka wykształca się w zależności od tego, jaki chromosom płciowy zawiera plemnik, który zlewa się z komórką jajową.

Tak samo wyznacza się płć ulubionego obiektu badań genetycznych – muszki owocowej. Jej samice mają dwa X-chromosomy, a samce – X- i Y-chromosomy². Lecz nie zawsze płć męska jest heterozygotyczna. U ptaków, na przykład, heterozygotyczna jest płć żeńska, a męska – homozygotyczna.

Geny sprzężone z płcią rozmieszczone są w chromosomach płciowych

Jak widać na rycinie 35.2, B, X-chromosom u człowieka ma znacznie większe rozmiary od Y-chromosomu. Jest to związane z tym, że on zawiera więcej genów: w X-chromosomie ich jest około 1400, a w Y-chromosomie – tylko 71. Oprócz tego X-chromosom jest czynny u wszystkich ludzi niezależnie od płci, dlatego większość genów, które on zawiera, wyznacza cechy nie związane bezpośrednio z rozwojem żeńskiego lub męskiego organizmu. Tak więc u człowieka w X-chromosomie rozmieszczone są geny kodujące składniki układu krzepnięcia krwi, łańcucha oddechowego mitochondriów, układu syntezy pigmentów wzrokowych. Można powiedzieć, że żeńskim on jest nazywany tylko umownie. Jednak dziedziczenie cech, których geny rozmieszczone są w X-chromosomie, są różne u mężczyzn i kobiet.

Rozpatrzmy na przykład dziedziczenie **hemofilii** – schorzenia związanego z zakłóceniem krzepnięcia krwi. Hemofilicy posiadają mutację w genie kodującym jeden ze składników układu krzepnięcia krwi. Ten gen rozmieszczony jest właśnie w X-chromosomie. Normalny allel *H* dominuje nad zmutowanym *h*, dlatego u kobiet o genotypie *Hh* hemofilia nie rozwija się. Jednak mężczyźni mają tylko jeden X-chromosom i

¹ Lecz crossing-over między nimi nie zachodzi.

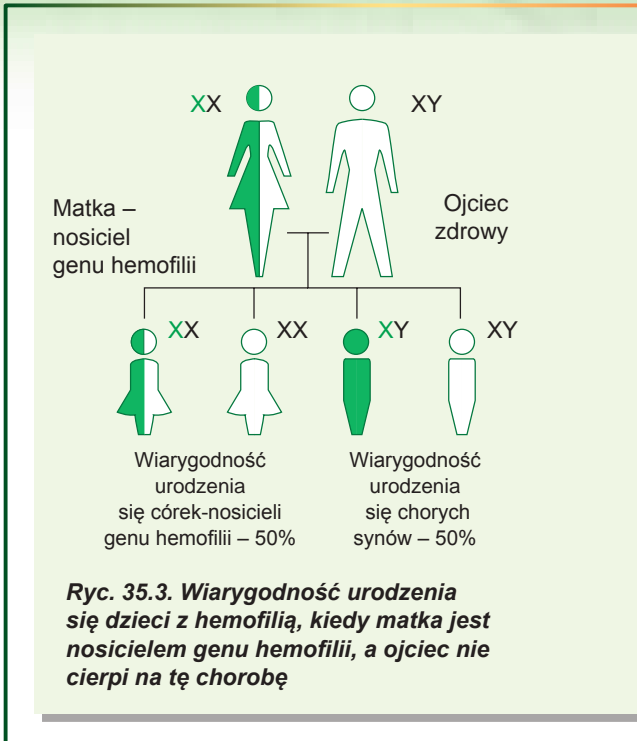
² Tu, co prawda, jest zasadnicza różnica. U człowieka płć określa się obecnością Y-chromosomu, dlatego osobnik posiadający zestaw chromosomów XXY (takie połączenie czasem powstaje wskutek zakłócenia mejozy), będzie męczyzną. U muszki owocowej rola Z-chromosomu jest znacznie skromniejsza: do określenia płci ważna jest ilość X-chromosomów. Dlatego organizm z zestawem chromosomowym XXY będzie samicą.

jeden allel tego genu. Jeżeli jest to allel H , to mężczyzna jest zdrowy, a jeżeli h – to chory na hemofilię. Jest to tłumaczeniem faktu, że hemofilia o wiele częściej występuje u mężczyzn niż u kobiet (ryc. 35.3).

Jeszcze jednym schorzeniem sprzężonym z X-chromosomem jest **daltonizm** – zakłócenie syntezy pigmentów wzrokowych, co prowadzi do zakłócenia odbierania kolorów. Analogicznie do poprzedniego przypadku gen recesywny powoduje objaw daltonizmu. Jak i przy hemofilii mężczyźni-daltonicy zdarzają się o wiele częściej niż kobiety, które cierpią na tę chorobę.

Cechy ograniczone płcią rozwijają się tylko w organizmach jednej płci

Nie jest tajemnicą, że przejaw wielu cech jest związany z płcią organizmu. Przykładami takich cech jest rozwój ogona (trenu utworzonego przez wydłużone pióra pokryw nadogonowych) u samca pawia, wymienia u krowy lub brody i wąsów u mężczyzn. Te cechy rozwijają się wyłącznie u osobników jednej płci, chociaż ich geny mogą być rozmieszczone nie w chromosomach płciowych. Takie cechy nazywają się cechami **ograniczonymi płcią**. Czasem cecha może ujawniać się u przedstawicieli obu płci, lecz z różną częstotliwością. Tak więc rogi u baranów (samców) występują o wiele częściej niż u owiec (samic). Chodzi o to, że allel odpowiadający za rozwój rogów u baranów ujawnia się jako dominujący, a u owiec – jako recesywny. Dlatego barany heterozygotyczne według tej cechy posiadają rogi, a owce – nie. Mniej więcej tak samo dziedziczy się łysienie u ludzi: u mężczyzn ta cecha jest dominująca, a u kobiet, na ich szczęście (i na szczęście mężczyzn!) – recesywna.



Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1) Przy kopulacji większość hermafrodytów występuje jako
 - A samica dla siebie
 - B samiec dla innego partnera
 - C samica dla innego partnera
 - D samica lub jako samiec dla innego partnera
 - E samica i samiec jednocześnie dla samego siebie
- 2) Mężczyźni są płcią heterozygotyczną i ich gamety są różne, dlatego że
 - A do nich dostaje się po jednym chromosomie homologicznym z pary
 - B połowa z nich ma X-chromosom, a połowa – Y-chromosom
 - C większość z nich zawiera Y-chromosom
 - D większość z nich zawiera X-chromosom
 - E ich gamety powstają wskutek mejozy

- 3** Samiczką będzie muszka owocowa z zestawem chromosomów płciowych
A XX **B** YY **C** XY **D** XYY **E** XO
- 4** Wiarygodność urodzenia się chorego na hemofilię dziecka w rodzinie, gdzie ojciec cierpi na hemofilię, a matka jest nosicielem genu hemofilii, lecz nie cierpi na tę chorobę, wynosi
A 0% **B** 25% **C** 33% **D** 50% **E** 100%
- 5** Jeżeli w zapłodnionej komórce jajowej ssaka jest Y-chromosom, lecz brak X-chromosomu, to
A urodzi się samiec **B** urodzi się samica
C urodzi się organizm bezpłciowy **D** urodzi się obojnak
E zarodek zginie

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Dlaczego przy chromosomowym wyznaczaniu płci statystyczny stosunek samic i samców wśród potomków wynosi 1 : 1?
- 7** Jak różni się wiarygodność urodzenia się dzieci z daltonizmem w rodzinie, gdzie daltonikiem jest tylko ojciec, od wiarygodności dla rodziny, gdzie na daltonizm choruje tylko matka?
- 8** Jak zmieni się dziedziczenie cech sprzężonych z płcią jeżeli one, w odróżnieniu od hemofilii i daltonizmu, będą uwarunkowane allelami dominującymi?
- 9** Jaka jest różnica między cechami sprzężonymi z płcią a cechami ograniczonymi płcią? Czy bywają cechy, które są sprzężone z płcią, ograniczone płcią?
- 10** Jakie osobliwości czynności życiowych i zestawu chromosomowego powinny posiadać organizmy, u których płeć wyznacza się temperaturą zewnętrzną, przy której rozwijają się jaja?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Dlaczego większość jednopłciowych populacji, których osobniki rozmnażają się drogą płciową, wykorzystuje partenogenezę?
- 12** Czy organizmy jednokomórkowe posiadają płeć? Jak ona wyznacza się?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Jakie zalety i wady ma obojnactwo w porównaniu z różnopłciowością?
- 14** Dlaczego Y-chromosom u ludzi jest znacznie mniejszy od X-chromosomu, chociaż one są homologiczne?

Projekt do opracowania w grupie

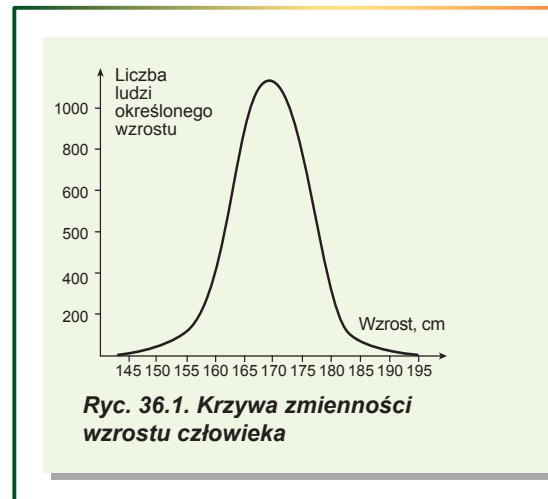
- 15** Drzewo pochodzenia różnych sposobów kształtowania płci.
- 1) Zbierz informację o różnych sposobach kształtowania płci w przyrodzie i o organizmach, dla których one są właściwe.
 - 2) Na podstawie zebranych danych ułóż drzewo pochodzenia różnych sposobów kształtowania płci, wykorzystując cechy podobieństwa między sposobami i cechy pokrewieństwa między żywymi organizmami. Drzewo ma być zbudowane tak, żeby spokrewnione organizmy o podobnym kształtowaniu się płci były rozmieszczone obok siebie, a niespokrewnione – na odległości.
 - 3) Zaprezentuj swoje drzewo w klasie i omów z kolegami, jaki jest związek między sposobami określania płci a spokrewnieniem organizmów.

§ 36. Zmienność

Zmienność bywa dziedziczna i niedziedziczna

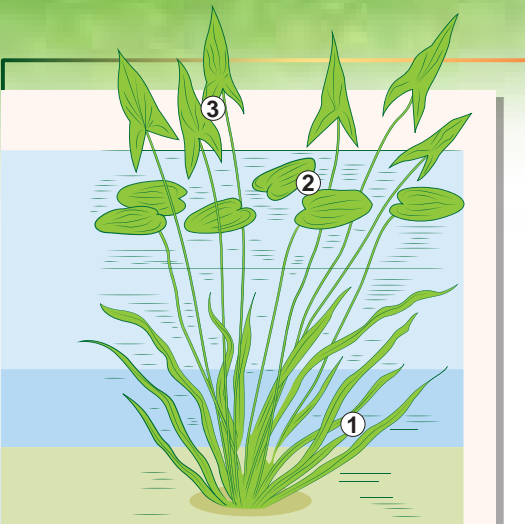
W przyrodzie nie spotyka się dwóch absolutnie jednakowych organizmów. Przyczyną tego jest zmienność, czyli zdolność organizmu do nabywania nowych cech. Zmienność – to obowiązkowa charakterystyka indywidualnego rozwoju organizmu. Odmienności, które powstają między organizmami, zależą od unikalnej kombinacji zewnętrznych i wewnętrznych czynników, które działają na organizmy. Takie czynniki otaczającego środowiska jak temperatura, dieta, ilość światła słonecznego mogą znacznie wpływać na budowę organizmu. One określają **niedziedziczną**, albo **modyfikacyjną**, **zmienność**. Nawet genetycznie identyczne organizmy, na przykład bliźnięta jednojajowe, mają określone różnice w masie, rozwoju mięśni, wzroście. Z dwóch bliźnięt, które wykonują ćwiczenia fizyczne, wyższego wzrostu będzie ten, kto codziennie podciąga się na drążku, a nie ten, który codziennie podnosi sztangę. Zabarwienie piór u flamingów zależy od ich racji żywieniowej. W przyrodzie flamingi odżywiają się planktonowymi skorupiakami, które zawierają czerwony pigment luteinę, dlatego ich pióra zabarwione są na czerwono lub różowo. W zoo te ptaki mogą być karmione pokarmem bez luteiny, z powodu czego ich pióra jaśnieją. Jednak to wcale nie jest chorobą.

Należy zaznaczyć, że wiele ilościowych cech (czyli takich, które można wymierzyć) jak na przykład wzrost, wielkość części ciała lub masa, mogą się różnić. Jeśli zbudujemy wykres rozkładu znaczeń cechy u osobników jednej populacji, to zobaczymy, że taki rozkład ma kształt dzwonu (ryc. 36.1). Otrzymany wykres nazywa się krzywą zmienności. Możesz samodzielnie otrzymać podobny rozkład, zmierzysz na przykład wzrost wszystkich uczniów jednego wieku w szkole i zbudowawszy wykres. Przy tym cechy nabywają znaczeń w granicach określonego odstępu, który nazywa się **normą reakcji**. Norma reakcji dla różnych cech ma różną szerokość. Zobaczymy również, że u większości osobników cecha nabywa znaczeń wokół jakiejś średniej wartości.



Zmienność modyfikacyjna ma adaptacyjny, masowy i ukierunkowany charakter

Zmienność modyfikacyjna zapewnia przystosowanie organizmów do zmiennych warunków otaczającego środowiska. Takie zmiany niedziedziczne nazywają się zmianami **adaptacyjnymi**. Tak więc rośliny jednego gatunku w warunkach wysokogórskich są często niższe niż rośliny przedwzgórza. Pozwala to tym pierwszym opierać się nocnym mrozom w górach. Jeszcze jednym dobitnym przykładem zmian adaptacyjnych jest strzałka wodna. Ta roślina rośnie przeważnie w wodach stojących. W zależności od stopnia zanurzenia w wodzie rośliny tworzą liście różnego kształtu: podwodne, nawodne i nadwodne. Każdy rodzaj liścia jest najbardziej przystosowany do funkcjonowania w określonym środowisku:



Ryc. 36.2. Strzałka wodna

1. Liście podwodne.
2. Liście nawodne.
3. Liście nadwodne.

cienkie podwodne liście są lekko obciekane wodą, jajo-
wate pływające liści nie toną, a nadwodne (duże i pod
względemsi kształtu podobne do strzały) – efektywnie
fotosyntetyzują (ryc. 36.2).

Dobitym przykładem adaptacyjnej zmienności u
człowieka jest pojawienie się opalenizny dla przysto-
sowania do intensywnego działania promieni na skórę.
Innym przykładem jest wzrost liczby erytrocytów
we krwi w warunkach górskiej miejscowości. Ono po-
wstaje w celu ulepszenia efektywności przeniesienia
tlenu, którego w górskim powietrzu jest za mało.

Zmienność modyfikacyjna ma masowy i ukierunko-
wany charakter, czyli wszystkie organizmy tego gatunku w
jednakowych warunkach ulegają jednakowym modyfika-
cjom. Tak więc u wszystkich roślin strzałki wodnej będzie
zmieniał się kształt liści pod wodą i nad wodą, a u wszyst-
kich ludzi, którzy trafili do miejscowości wysokogórskich,
będzie zwiększała się zawartość erytrocytów we krwi.

Masowość niedziedzicznej zmienności jest uwa-
runkowana mechanizmem jej powstania. Pod wpły-
wem środowiska informacja genetyczna, zapisana w
DNA, realizuje się różnymi sposobami, warunkując

zmienność. Czyli geny są te same, a fenotyp będzie się różnił. Na przykład obydwaj
jasnoskórzy bracia mają geny enzymów syntezy ciemnego barwnika skóry – melaniny.
Lecz jeśli tylko jeden z nich pojedzie nad morze opalać się, to tylko u niego enzymy
syntezy aktywizują się pod wpływem promieniowania słonecznego i melanina będzie się
intensywnie tworzyła. W wyniku tego, wróciwszy do domu, jeden brat będzie opalony,
a drugi pozostanie taki jasnoskóry, jaki był. Ponieważ geny enzymów syntezy melaniny
są u wszystkich ludzi (oprócz albinosów), to intensywne opalenie się będzie działało na
wszystkich jasnoskórych ludzi tak samo, jak i na tego brata, który odpoczywał nad mor-
zem: skóra pociemnieje wskutek aktywizacji w niej syntezy melaniny.

Wiele zmian modyfikacyjnych jest wstecznych. Jeśli człowiek będzie wracał z wyso-
kogórskiej miejscowości do doliny, to ilość erytrocytów w jego krwi znów się zmniejszy.
Lecz niektóre zmiany, zwłaszcza nabyte we wczesnym wieku, są nieodwracalne. Takim
przykładem jest wykrzywienie kręgosłupa nabyte w szkolnym wieku wskutek noszenia
plecaka na jednym ramieniu. Ta nabyta cecha pozostaje u człowieka na zawsze (jeśli nie
podda się skomplikowanej operacji chirurgicznej), nawet jeśli ten człowiek już do końca
życia będzie nosił plecak na obu ramionach.

Często stopień nabytej zmiany zależy od in-
tensywności i trwałości działania czynnika: im dłu-
żej będziemy nosić plecak i im cięższy on będzie,
tym większy będzie stopień wykrzywienia kręgo-
słupa. To samo jest z opalenizną: jasnoskórzy
mieszkańcy południa do końca lata są bardziej
opaleni niż jasnoskórzy mieszkańcy północy.

Na zakończenie zauważmy, że modyfikacyj-
na zmienność jest niedziedziczna i nabyte cechy
nie mogą być przekazane następnym pokole-
niom. August Weismann, który to udowodnił, w
kilku pokoleniach z rzędu odcinał myszom ogo-
ny i pozwalał tym myszom krzyżować się między

Ryc. 36.3. Zmienność kombinacyjna zabarwienia sierści kotów



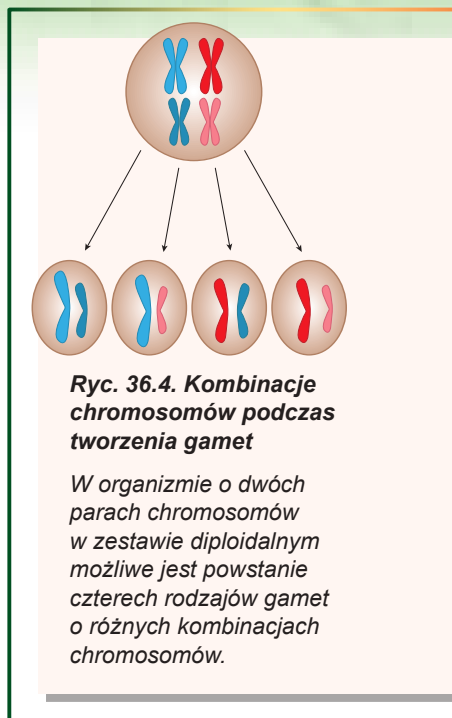
sobą. Lecz wszystkie nowonarodzone myszy miały ogony, nie zważając na nabytą bezogonowość. Tak więc przy dziedziczeniu zmienności modyfikacyjnej potomkom przekazuje się nie konkretny stan cechy (jasna skóra), lecz norma reakcji (w jakim stopniu ciemna lub jasna może być skóra jasnoskórego człowieka).

Zmienność kombinacyjna uwarunkowana jest „mieszaniem się” genów rodzicielskich

Inne rodzaje zmienności wyznaczane są genami organizmu i przekazywane potomkom dziedzicznie. Taka zmienność nazywa się zmiennością **dziedziczną**. Są dwa rodzaje zmienności dziedzicznej – **kombinacyjna** i **mutacyjna**.

Zmienność kombinacyjna uwarunkowana jest kształtowaniem się nowych kombinacji genów w procesie rozmnażania płciowego. Przy tym nowe allele nie powstają, a u potomków kształtują się nowe kombinacje alleli rodzicielskich. Właśnie ze zmiennością kombinacyjną związane jest rozszczepienie przy dziedziczeniu mendelowskim, odmienności w wyglądzie zewnętrznym sióstr i braci, różnorodne zabarwienie kociąt białej kotki i ciemnego kota (ryc. 36.3). Kształtowanie się nowych kombinacji alleli zachodzi na różnych etapach rozmnażania płciowego.

1. Crossing-over warunkuje przebudowywanie chromosomów z przemieszczeniem się alleli. W wyniku tego na każdym chromosomie kształtuje się nowy, nie istniejący jeszcze w przyrodzie zespół alleli genów.
2. Niezależne rozchodzenie się chromosomów w mejozie prowadzi do kształtowania różnych kombinacji chromosomów w gametach (ryc. 36.4, 32.2). Do gamety może trafić jeden chromosom z pary. Dlatego organizm z dwoma chromosomami w zestawie haploidalnym może produkować cztery typy gamet tylko dlatego, że odbyło się niezależne rozchodzenie się chromosomów. Człowiek ma 23 chromosomy w zestawie haploidalnym, więc ilość możliwych kombinacji stanowi 2^{23} (a to jest 8 388 608). Przy tym każdy chromosom niesie swoje allele, które mogą różnić się od alleli chromosomu homologicznego!
3. Przypadkowe jest spotkanie się gamet podczas zapłodnienia. Jeśli każdy z rodziców produkuje 2^{23} gamet w wyniku niezależnego rozchodzenia się chromosomów, to uwzględniając spotkanie się gamet otrzymamy $2^{23} \times 2^{23} = 2^{46}$ możliwych kombinacji chromosomów u potomków. A jeśli uwzględnimy crossing-over, to ilość kombinacji będzie prawie bezgraniczna.



Ryc. 36.4. Kombinacje chromosomów podczas tworzenia gamet

W organizmie o dwóch parach chromosomów w zestawie diploidalnym możliwe jest powstanie czterech rodzajów gamet o różnych kombinacjach chromosomów.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Liście strzałki wodnej, które wyrosły pod wodą, zmieniają swój kształt, aby
- A nie łamał je prąd wody
 - B zmniejszyć powierzchnię liścia dla ulepszenia efektywności fotosyntezy
 - C nie tonąć
 - D być mniej zauważalnymi dla roślinożernych ryb
 - E zajmować mniej miejsca w zbiorniku wodnym

- 2** Przykładem zmienności modyfikacyjnej jest
A urodzenie się dziecka o błękitnych oczach w rodzinie, której rodzice mają piwne oczy
B jednakowa długość skrzydeł u muszki owocowej, kiedy larwy rozwijają się w różnych temperaturach
C różny kolor włosów u dzieci jednej pary rodziców
D zmiana zabarwienia futra zająca bielaka na zimę
E żółty kolor nasion grochu u potomków od krzyżowania grochu o żółtych nasionach z grochem, który ma zielone nasiona
- 3** Norma reakcji na rycinie 36.1 stanowi
A od 0 do 1000 cm **B** 140 cm **C** około 170 cm
D od 140 – 195 cm **E** 195 cm
- 4** Jeżeli u strzałki wodnej w kilku pokoleniach z rzędu będziemy ścinali liście znajdujące się nad powierzchnią wody i pozwalali roślinom krzyżować się bez nich, to u potomków
A znikną liście znajdujące się nad powierzchnią wody **B** znikną liście podwodne
C znikną liście nawodne
D wszystkie rodzaje liści będą rozwijały się jak dotychczas **E** potomków nie będzie
- 5** W zapłodnionej komórce jajowej muszki owocowej, która ma 8 chromosomów w zespole diploidalnym, możliwych kombinacji chromosomów jest (bez uwzględnienia crossing-overu)
A 8 **B** 16 **C** 64 **D** 256 **E** 65 536

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Czy można zastosować pojęcie normy reakcji i średniej wartości dla niektórych nie ilościowych cech, które ulegają zmienności modyfikacyjnej: kształtu liści strzałki wodnej, zabarwienia futra u zająca bielaka? Jaki kształt dla takich cech będzie miała krzywa zmienności?
- 7** Dlaczego człowiek o jasnej skórze, nawet mieszkając przez cały rok na południu, nigdy nie będzie taki ciemny, żeby go nie można było odróżnić od człowieka o ciemnej skórze?
- 8** Dlaczego zmienność kombinacyjna, w odróżnieniu od modyfikacyjnej, nie ma masowego i ukierunkowanego charakteru?
- 9** Co jest przyczyną odmienności w wyglądzie zewnętrznym między bratem a siostrą, nie patrząc na ten sam zespół genetyczny u rodziców?
- 10** Dlaczego bezogonowe myszy w doświadczeniu Weismanna rodziły myszy z ogonami, a nie bez ogonów?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Dla jakich cech charakterystyczna jest szeroka norma reakcji, a dla jakich – wąska i dlaczego?
- 12** Dlaczego norma reakcji zawsze ma granice i żaden organizm nie posiada tak szerokiej normy reakcji, aby wytrzymać wszystkie możliwe wpływy środowiska?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Niektóre nabyte modyfikacje mogą przejawiać się nawet w kilku następnych pokoleniach. Przy tym informacja dziedziczna nie zmienia się. Jak osiąga się takie „dziedziczenie” w różnych grupach organizmów?
- 14** Przy jakich warunkach bardziej rozpowszechnione będą organizmy z szeroką normą reakcji, a przy jakich – z wąską? Dlaczego żadna grupa nie stała się na Ziemi grupą panującą?

§ 37. Mutacje i choroby

Mutacje uwarunkowane są zmianami w samym nośniku informacji dziedzicznej

W odróżnieniu od zmienności kombinacyjnej, w przypadku zmienności mutacyjnej zachodzi zmiana samego nosiciela informacji genetycznej, co prowadzi do powstania nowych alleli, zmiany ilości genów w genomie lub zmiany kolejności genów w chromosomach.

Obecnie termin **mutacja** rozumiany jest jako dowolne zmiany materiału genetycznego, które mogą być przekazane dziedzicznie. Mutacje nieuchronnie powstają w wyniku błędów replikacji. Takie mutacje nazywają się mutacjami **spontanicznymi**, o ich powstaniu i naprawieniu mówiliśmy w § 21. Inna grupa mutacji powstaje pod wpływem substancji chemicznych lub promieniowania. Te mutacje otrzymały nazwę mutacji **indukowanych**, a czynniki, które je warunkują, nazywają się czynnikami **mutagennymi**, albo po prostu **mutagenami**.

Chemiczne mutageny, takie jak fenol, formaldehyd, substancje narkotyczne i składniki dymu tytoniowego, zaburzają proces replikacji lub bezpośrednio zmieniają nukleotydy w DNA. Intensywne promieniowanie również prowadzi do zmiany kolejności nukleotydów, rozerwania bądź zlania się całych chromosomów.

Mutacje wygodnie jest klasyfikować według tych poziomów organizacji materiału genetycznego, na których one się odbywają. Otóż mutacje według skali zmian można podzielić na **punktowe (genowe)**, **chromosomowe** i **genomowe**.

Genowe (punktowe) mutacje mogą prowadzić do widocznych skutków

Genowe, albo punktowe mutacje przewidują zmiany DNA na poziomie poszczególnych genów. To może być zamiana, a także utrata czy wbudowywanie nukleotydów. Niektóre punktowe mutacje nazywane są **milczącymi**. Milczące mutacje powstają w niekodowanych odcinkach DNA (na przykład w intronach albo w międzygenowych odcinkach). Wiele milczących mutacji zdarza się też w odcinkach DNA, które kodują białko. Jeśli skutek punktowej mutacji triplet TGT będzie zastąpiony na TGC, to aminokwasowa kolejność białka nie zmieni się, ponieważ obydwie triplety kodują cysteinę. Taka mutacja będzie mutacją milczącą. A jeśli triplet TGT będzie zastąpiony na TGG, to w miejscu cysteiny w aminokwasowym łańcuchu białka będzie tryptofan. Jeśli TGT będzie zamieniony na TGA, to powstanie kodon stop. W tym miejscu synteza aminokwasowego łańcuszka będzie przerwana i utworzy się skrócone białko.

Przykładem choroby człowieka, spowodowanej przez mutację punktową, jest **anemia sierpowata** (ryc. 37.1). W wyniku pojedynczej nukleotydowej zamiany adeniny na tyminę w genie hemoglobiny odbywa się zamiana kwasu glutaminowego na walinę w aminokwasowym łańcuchu. Taka hemoglobina, która mutowała, nazywa się **hemoglobiną S** (od ang. *sickle* – sierp). Eryocyty z hemoglobiną S przybierają kształt sierpa, gorzej przenoszą tlen, szybciej i częściej rujną się, zwłaszcza podczas przechodzenia przez naczynia włosowate, co prowadzi do powstania licznych skrzepów. Homozygoty przy tej mutacji często giną z powodu braku hemoglo-



Ryc. 37.1. Erycyty sierpowaty i erycyty normalne



Ryc. 37.2. Erythrocyty z zarodźcem malarii wśród zwykłych erythrocytów

biny we krwi – anemii. Heterozygoty nie wykazują patologicznych oznak, chociaż w ich erythrocytach również mieści się określona ilość hemoglobiny S. Ciekawa rzecz, że najczęściej zmutowany allel zdarza się w strefie międzyzwrotnikowej i największe jego rozpowszechnienie zbiega się z rozpowszechnieniem zarodźca malarii, który wywołuje najcięższą postać malarii – malarię tropikalną. Zarodziec malarii – to pasożyt krwi, część swojego cyklu życiowego spędza w erythrocycie, żywiąc się jego zawartością (ryc. 37.2). Za kilka dni dojrzały zarodziec rujnuje erythrocyt i trafia do osocza krwi. U heterozygot, które niosą allel hemoglobiny S,

rozwijają się odporność na malarię. Związane jest to z tym, że ich erythrocyty giną, zanim pasożyt dojrzeje. Dlatego obecność alleli hemoglobiny S pozwala pozostać przy życiu w warunkach burzliwej malarii tropikalnej. A w umiarkowanym klimacie, gdzie malaria nie jest rozpowszechniona, ten allel nie daje heterozygotom żadnych przewag i nie jest rozpowszechniony (ryc. 37.3).

Wbudowywanie i utraty nukleotydów mogą doprowadzić do bardziej poważnych skutków dla genów. Wbudowanie jednego nukleotydu w kodowanej sekwencji genu przyczyni się do tak zwanego zsuwu ramki odczytu. Oto przykład takiej mutacji. Załóżmy, że mamy kolejność guaniny, tyminy i adeniny, która powtarza się i koduje kilka kolenie połączonych reszt aminokwasu histydyny.

GTA GTA GTA GTA GTA
His His His His His

Przypuśćmy, że w jednym miejscu tego odcinka odbyło się wbudowanie dodatkowego nukleotydu (tyminy). To doprowadzi do zmiany kodowanej kolejności aminokwasów: przez zsuniecie się tripletów w miejscu histydyny okazuje się treonina, a potem seryna.

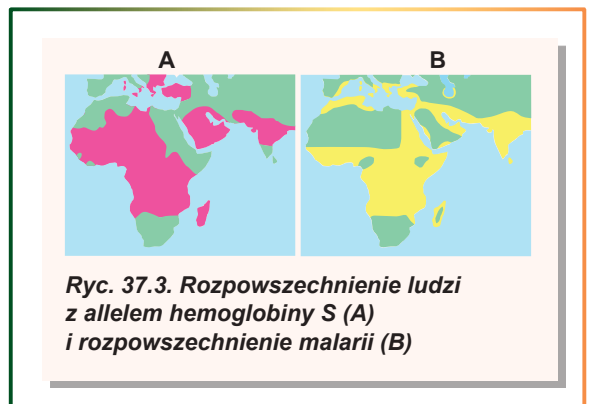
GTA IGT AGT AGT AGT
His Thr Ser Ser Ser

Tak samo jest z utratą nukleotydu: zmienia się ramka odczytu, co prowadzi do syntezy całkiem innego białka.

Mutacje chromosomowe powodują znaczące zmiany w budowie chromosomów

Mutacje chromosomowe – to przebudowy chromosomów, związane ze zmianą kolejności lub liczby genów w chromosomach. Do najbardziej typowych mutacji chromosomowych należą: duplikacja, delecja, inwersja i translokacja. W wyniku duplikacji podwaja się jakiś fragment chromosomu. Podczas delekcji odbywa się utrata fragmentu chromosomu. Podczas inwersji zachodzi odwrócenie się fragmentu chromosomu. Podczas translokacji fragment chromosomu przemieszcza się (ryc.37.4).

Większość delekcji jest letalnych, ponieważ powodują nieodwracalną utratę od razu kilku genów. U ludzi delekcje zazwyczaj prowadzą do śmierci organizmu już we wczesnych etapach rozwoju embrionalnego, lecz czasami



Ryc. 37.3. Rozpowszechnienie ludzi z allelem hemoglobiny S (A) i rozpowszechnienie malarii (B)

embrionowi udaje się przeżyć do urodzenia. Delecja końcowego odcinka piątego chromosomu powoduje rozwój zespołu kociego krzyku. Zespół ma taką dziwną nazwę, ponieważ z powodu nieprawidłowej budowy krtań płacz niemowlęcia przypomina miauczenie kota. Niektóre delecje mogą pozytywnie wpływać na zdolność życiową organizmu. Tak więc delecja genu białka-receptora CCR5 warunkuje niepodatność na HIV. Chodzi o to, że HIV wykorzystuje to białko na powierzchni komórki jako podstawę dla przenikania do komórki. Być może utrata CCR5 ma też negatywne skutki, lecz w przypadku obecności patogenu zalety są oczywiste (można zauważyć paralele z anemią sierpowatą, czyż nie tak?).

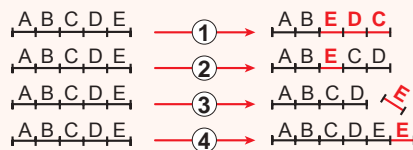
Duplikacja, przeciwnie, może być podstawą dalszego rozwoju różnorodności genetycznej: w razie „nieudanej” mutacji w genie w genomie jest jeszcze jedna, „rezerwowa”, kopia. Innymi słowy – obecność kilku kopii genu pozwala „eksperymentować” z jedną z nich bez istotnej szkody dla organizmu. I w jakimś momencie, być może, „rezerwowa” kopia stanie się dla organizmu bardziej pożyteczna, niż główna.

Translokacje i inwersje zazwyczaj nie prowadzą do przemian fenotypu, lecz odgrywają ważną rolę w trakcie powstawania nowych gatunków. Czasami podczas translokacji zachodzi połączenie całych chromosomów. Tak więc szympansy i inne człekokształtne małpy mają 24 pary chromosomów. Udowodniono, że w trakcie ewolucji człowieka dwa chromosomy różnych par połączyły się i utworzyła się jedna duża (w uporządkowanym karyotypie człowieka ona jest w drugiej parze). Dlatego też karyotyp człowieka zawiera 23 pary chromosomów.

Mutacje genomowe zmieniają liczbę chromosomów w genomie

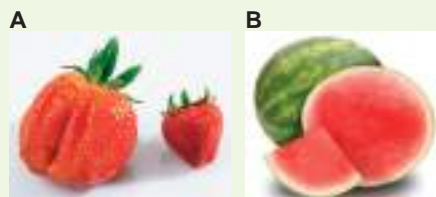
Mutacje genomowe związane są ze zmianą ilości chromosomów w genomie. Najbardziej rozpowszechnionym przykładem mutacji genomowych jest wielokrotne zwiększenie haploidalnych zestawów chromosomów – **poliploidalność**. W wyniku poliploidalności powstają organizmy z triploidalnymi, tetraploidalnymi (4), pentaploidalnymi (5), heksaploidalnymi (6) i jeszcze większymi kompletami zestawów chromosomów. To zjawisko najbardziej rozpowszechnione jest u roślin (ryc. 37.5). Zazwyczaj rośliny poliploidalne są większe niż diploidalne pod względem wielkości, dlatego też rolnictwo jest zainteresowane w hodowli roślin poliploidalnych (dokładniej o tym w § 59). Na szczęście można to osiągnąć za pomocą zwykłej obróbki chemicznej, która prowadzi do niszczenia wrzeciona podziałowego. W wyniku tego mitozą nie kończy się i powiększony dwukrotnie (na przykład tetraploidalny) zestaw chromosomów zachowuje się w jednym jądrze. Osobniki, które zawierają nieparzystą ilość zestawów chromosomów, są sterylne, bo nie mogą zrealizować mejozy. Tak więc przy krzyżowaniu tetraploidalnych roślin arbuza z diploidalnymi otrzymamy triploidalne arbuzy bez nasienia. Jednak to nie przeszkadza wegetatywnemu rozmnażaniu tych roślin.

Do genomowych mutacji należą też zmiany liczby poszczególnych chromosomów. Jedną z takich najbardziej rozpowszechnionych mutacji genomowych u człowieka jest trisomia według 21. chromosomu, co prowadzi do rozwoju **zespołu Downa**.



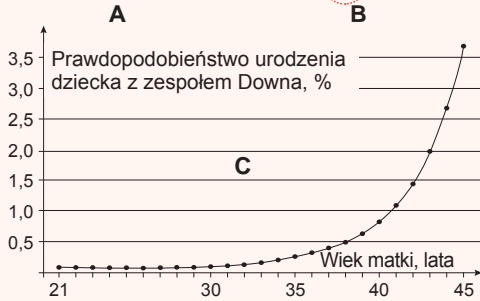
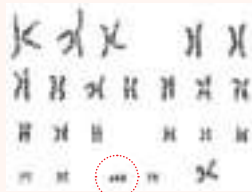
Ryc. 37.4. Różne rodzaje mutacji chromosomowych

1. Inwersja. 2. Translokacja.
3. Delecja. 4. Duplikacja.



Ryc. 37.5. Organizmy poliploidalne

- A. Porównanie wielkości poliploidalnej i diploidalnej poziomki.
- B. Triploidalny arbuzy bez pestek.



Ryc. 37.6. Zespół downa

- A. Twarz dziecka chorego na zespół Downa.
- B. Zestaw chromosomów przy zespole Downa.
- C. Zależność prawdopodobieństwa urodzenia dziecka z zespołem Downa od wieku matki.

Trisomia oznacza, że zamiast dwóch kopii 21. chromosomu, które są u zdrowego człowieka, u pacjenta – trzy kopie (ryc. 37.6, B). Taka anomalia warunkuje rozwój patologicznego stanu: u dzieci obserwuje się poważne opóźnienia rozwoju umysłowego i psychicznego. Jednak jest sporo przypadków, kiedy ludzie z zespołem Downa kończą studia uniwersyteckie, zostają zdolnymi aktorami i muzykami. Zespół Downa – to nierzadkie zjawisko, średnio ono zdarza się raz na 1000 ciąż (ryc. 37.6, C). Bardzo ważna jest zależność prawdopodobieństwa urodzenia dziecka z zespołem Downa od wieku matki. U kobiety w wieku 25 lat prawdopodobieństwo urodzenia takiego dziecka stanowi około 1 : 1500, w wieku 40 lat – 1 : 100, w wieku 45 – 1 : 25.

Zasługują na uwagę mutacje genomowe, które prowadzą do zmiany ilości chromosomów płciowych. Jak pamiętasz z § 35, kobiety mają chromosomy płciowe XX, a mężczyźni – XY.

Przy monosomii chromosomu X rozwija się zespół Szereszewskiego-Turnera (ryc. 37.7).

Przy tym organizm rozwija się według żeńskiego typu – rodzi się dziewczynka. U pacjentki obecne są liczne anomalie rozwojowe, niski wzrost, bezpłodność. Co prawda prawidłowa terapia hormonalna może znacznie zmniejszyć przejaw symptomów.

Połączenie płciowych chromosomów XXY prowadzi do rozwoju zespołu Klinefeltera. Organizm rozwija się według męskiego typu – rodzi się chłopczyk. Patologia zazwyczaj nie przejawia się do okresu dojrzewania płciowego. Wraz z dojrzewaniem przejawia się zaburzenie funkcji gruczołów płciowych, niewspółmierny rozwój gruczołów mlecznych, wysokie prawdopodobieństwo otyłości i rozwoju cukrzycy, niepłodności.

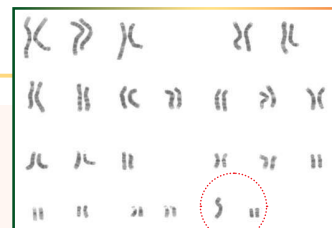
Ciekawymi przypadkami są połączenia chromosomów XYY, XYYY i XYYYY, które nazywają się polisomią według chromosomu Y. U mężczyzny o takim zestawie chromosomów nie ma żadnych istotnych odchyłeń w rozwoju, lecz oni są bardziej niezrównoważeni i skłonni do agresji. Udowodniono, że wśród więźniów część mężczyzn z polisomią według chromosomu Y jest większa, niż ogólnie u populacji ludzi.



Zespół Szereszewskiego-Turnera



Zespół Klinefeltera



Polisomia według chromosomu Y

Ryc. 37.7. Zespoły chromosomowe przy różnych mutacjach genowych

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Do zwiększenia się liczby mutacji indukowanych prowadzi
A zwiększenie liczby błędów podczas replikacji
B zmniejszenie liczby chemicznych mutagenów, które są pochłaniane przez organizm
C zwiększenie liczby chromosomów w komórkach
D zwiększenie dawki promieniowania
E zwiększenie częstotliwości podziału komórki
- 2 Przy nieprzyswajaniu przez organizm aminokwasu fenyloalaniny (schorzenie nazywa się fenyloketonurią) w genie enzymu fenyloalanina-4-hydroksylazy powstają mutacje. Są to mutacje
A milczące B punktowe C chromosomowe D genomowe E poliploidalne
- 3 Wśród mutacji chromosomowych negatywne skutki najczęściej ma
A delecja B translokacja C inwersja
D duplikacja E włączenie kopii odcinka chromosomu
- 4 Pszenica jednoziarnowa ma 14 chromosomów, pszenica twarda – 28 chromosomów, a pszenica miękka – 42 chromosomy. Mechanizmy tworzenia różnych gatunków pszenicy – to
A translokacja B delecja C polisomia D poliploidalność E polimeria

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 5 Przy jakich warunkach mutacja, która powstała, będzie mutacją milczącą?
- 6 Dlaczego wiele ważnych genów w naszym genomie mieści się w kilku kopiach?
- 7 Wykorzystując wiedzę o właściwościach roślin poliploidalnych, спрогнозуй właściwości haploidów, czyli odmian roślin, w których zamiast normalnego zestawu diploidalnego jest zestaw haploidalny.
- 8 Dlaczego rośliny o nieparzystym zestawie chromosomów zazwyczaj nie mogą urzeczywistnić mejozy podczas tworzenia komórek płciowych?
- 9 Dlaczego organizm człowieka przy braku jednego chromosomu z pary, jak przy zespole Szereszewskiego-Turnera, pozostaje zdolny do życia?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 10 Dlaczego wraz ze wzrostem wieku matki wzrasta prawdopodobieństwo urodzenia dziecka z zespołem Downa? Czy istnieje taka sama zależność dla wieku ojca?
- 11 Dlaczego zbędny chromosom w jednej parze prowadzi do negatywnych skutków, przecież organizm ma wszystkie niezbędne geny, a niektóre nawet „na zapas”?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 12 Jakie jeszcze są sposoby klasyfikacji mutacji, oprócz opisanych w paragrafie? W każdym sposobie klasyfikacji mutacji zaznacz ten typ mutacji, który zachodzi najczęściej.
- 13 Dlaczego u spokrewnionych gatunków (które należą do jednej rodziny) są podobne zestawy skutków mutacji?

§ 38. Klasyczne metody genetyki



Ryc. 38.1. Obraz „Rodzina królewska w 1846 roku” przedstawia rodzinę królowej Wiktorii i księcia Alberta



Ryc. 38.2. Rosyjska rodzina cesarska

W małżeństwie cesarza Mikołaja II i cesarzowej Aleksandry (wnuczki królowej Wiktorii) urodziło się cztery zdrowe córki i syn – książę Aleksy, który był chory na hemofilię.

Metoda krzyżowania jest najstarszą metodą badań genetycznych

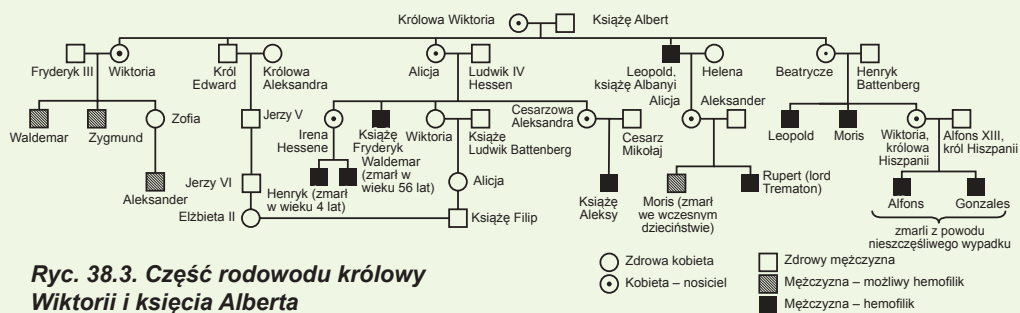
Pierwszą metodą badań genetycznych, którą wprowadził Mendel, jest metoda krzyżowania. Istota tej metody, z którą już zapoznaliście się w poprzednich paragrafach, polega na krzyżowaniu osobników o pewnym fenotypie w celu otrzymania potomstwa. Następnie przeprowadza się analizę rozdzielenia fenotypów potomstwa, a na jej podstawie – wniosek o charakterze dziedziczenia cechy. Właśnie w taki sposób ustanowiono podstawowe prawa genetyki – prawa Mendla i prawa sprzężonego dziedziczenia. Jednak metoda krzyżowania nie utraciła swojej aktualności, do dziś jest wykorzystywana przez uczonych do ustalenia charakteru dziedziczenia określonej cechy.

Metoda genealogiczna pozwala badać genetykę człowieka

Metoda krzyżowania jest bardzo dogodną formą badania dziedziczenia cech u zwierząt i roślin, lecz nieprzydatną – do badania człowieka. Jednak nie wywołuje wątpliwości, że przeprowadzenie takich badań ma ważne znaczenie. Dlatego do nich zastosowuje się inne metody. Jedną z nich – to metoda genealogiczna, która polega na analizie rodowodów. Rozpatrzmy, jak, analizując rodowód, można wyciągnąć wniosek o charakterze dziedziczenia cechy. Najbardziej znany przykład dziedziczenia chorób genetycznych – to dziedziczenie hemofilii u potomków królowej Wiktorii (ryc. 38.1). Przypomnijmy, że hemofilia - to dziedziczna choroba, której istotą jest zaburzenie krzepnięcia krwi. Śluby dziewięciorga dzieci Wiktorii z przedstawicielami europejskich rodzin królewskich dały podstawę nazywać ją „babcią Europy”. Królowa Wiktoria

miała 42 wnuków i 85 prawnuków¹. Z biegiem czasu okazało się, że wielu potomków królowej cierpi na hemofilię. Przy tym obserwuje się dziwna prawidłowość: chorowali tylko mężczyźni, nawet jeśli oboje rodziców było zdrowych. Wśród dzieci rosyjskiego

¹ Wielu monarchów Europy, którzy żyją obecnie, jest potomkami królowej Wiktorii. Wśród nich królowa Wielkiej Brytanii Elżbieta II, król Norwegii Harald V, król Szwecji Karol XVI Gustaw, królowa Danii Małgorzata II, król Hiszpanii Filip VI.



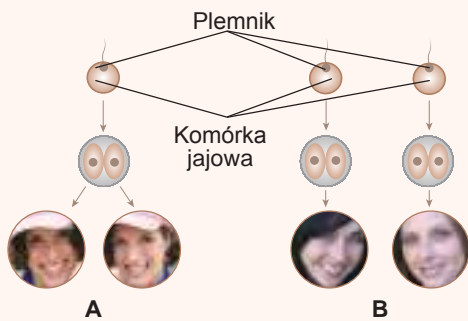
cesarza Mikołaja II na hemofilię chorował jedyny syn, natomiast cztery córki nie miały oznak choroby (ryc. 38.2). Taki rodzaj dziedziczenia charakterystyczny jest dla chorób sprzężonych z X-chromosomem. Rzeczywiście, jak wyjaśniliśmy już w § 35, mutacja, która jest odpowiedzialna za hemofilię, mieści się w X-chromosomie. Uważa się, że ta mutacja zaszła u królowy Wiktorii lub u jednego z jej rodziców (ryc. 38.3). Są różne sposoby dziedziczenia cech, prócz sprzężenia z X-chromosomem. Dla nich drzewa genealogiczne (to inna nazwa rodowodów) mają różną postać, opisaną w tabeli 38.1.

Tabela 38.1. Różne sposoby dziedziczenia i ich ujawnianie się w drzewach genealogicznych

Charakterystyka genetyczna	Przejaw w pokoleniach	Przejaw u różnej płci	Osobliwość	Przykład
Allel dominujący znajdujący się w autosomie	W każdym pokoleniu	Jednakowo u mężczyzn i kobiet	U rodziców, którzy nie mają fenotypowego przejawu cechy, nie może urodzić się dziecko z przejawem cechy	Ciemny kolor włosów
Allel recesywny znajdujący się w autosomie	Nie w każdym pokoleniu	Jednakowo u mężczyzn i kobiet	U rodziców, którzy nie mają fenotypowego przejawu cechy, może urodzić się dziecko z przejawem cechy	Błękitny kolor oczu
Allel dominujący znajdujący się w X-chromosomie	W każdym pokoleniu	W większej mierze u kobiet niż u mężczyzn	Mężczyzna nie może odziedziczyć cechę po ojcu	Krzywica witamino-D-oporna
Allel recesywny znajdujący się w X-chromosomie	Nie w każdym pokoleniu	W większej mierze u mężczyzn niż u kobiet	U kobiety cecha może przejawiać się tylko w tym przypadku, jeśli ona była u jej ojca	Hemofilia
Allel znajdujący się w Y-chromosomie	W każdym pokoleniu	Tylko u mężczyzn	Cecha przekazuje się od ojca do syna; zdarza się bardzo rzadko	Nadmierne owłosienie w okolicy uszu (hipertrychoza)

Metoda bliźniąt pozwala ocenić wpływ dziedziczenia i środowiska na kształtowanie się cechy

Jeszcze jedną ważną metodą genetyki człowieka jest metoda bliźniąt. Ona opiera się na porównywaniu przejawu określonej cechy u bliźniąt. Należy zaznaczyć, że są dwa rodzaje bliźniąt: **jednojąowe (monozygotyczne)**, czyli takie, które rozwinęły się



Ryc. 38.4. Jednojąowe (A) oraz dwujowe bliźnięta (B)

z jednej komórki jajowej, zapłodnionej przez jeden plemnik, oraz różnojąowe (dizygotyczne), czyli takie, które rozwinęły się z różnych komórek jajowych, zapłodnionych przez różne plemniki (ryc. 38.4). Bliźnięta jednojąowe rodzą się wtedy, kiedy embrión człowieka we wczesnych etapach rozwoju dzieli się i z jego części kształtują się pełnowartościowe embriony (często zdarza się u ssaków). Takie embriony są genetycznie identyczne; wszelkie odmienności między nimi mogą być uwarunkowane wyłącznie działaniem czynników środowiska, a nie odmiennością genotypów. Jeśli cecha jest mocno utrwalona genetycznie, to jej przejaw będzie jednakowy u bliźniąt jednojąowych, lecz może różnić się u różnojąowych. Tak więc grupy krwi są

zbieżne u 100% jednojąowych bliźniąt, natomiast schizofrenia ujawnia się u obydwu jednojąowych bliźniąt w 67% przypadków, a u różnojąowych – tylko u 12%, co świadczy o istnieniu genetycznej predyspozycji do schizofrenii. Lecz nawet w przypadku takiej predyspozycji to psychiczne zaburzenie rozwija się nie zawsze. Badanie bliźniąt pozwala ocenić wpływ dziedziczności i czynników środowiska na rozwój określonej cechy. Wiele cech jest uwarunkowanych genotypem, są przypadki, kiedy genotyp określa tylko predyspozycję do przejawu cechy, a są cechy, na których kształtowanie najbardziej wpływa środowisko.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

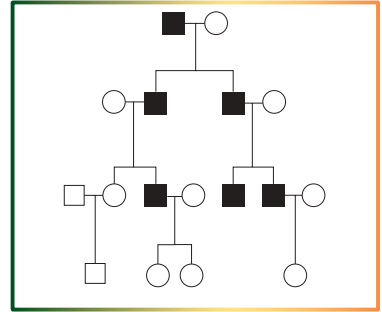
- 1 W rodowodzie królowy Wiktorii tylko mężczyźni chorowali na hemofilię, bo
 - A kobiety nie cierpią na hemofilię z powodu braku Y-chromosomu
 - B allel hemofilii znajduje się w X-chromosomie i jest dominujący
 - C allel hemofilii znajduje się w Y-chromosomie i jest recesywny
 - D kobiety posiadają dwa X-chromosomy, a allel hemofilii nie ujawnia się w heterozygotcie
 - E u kobiet allel hemofilii ujawnia się tylko w heterozygotcie
- 2 Albinizm (wrodzony brak ciemnego pigmentu w skórze) u człowieka wywołany jest przez recesywny allel, który znajduje się w 11. lub 15. chromosomie. Prawidłowe charakterystyki drzewa genealogicznego dla tego schorzenia są następujące:
 - A ujawnia się w każdym pokoleniu, jednakowo u mężczyzn i kobiet
 - B ujawnia się nie w każdym pokoleniu, jednakowo u mężczyzn i kobiet
 - C ujawnia się w każdym pokoleniu, częściej u mężczyzn
 - D ujawnia się nie w każdym pokoleniu, częściej u kobiet
 - E ujawnia się w każdym pokoleniu, częściej u kobiet
- 3 Przy poliembrionii u pancernika z jednej zapłodnionej komórki jajowej rozwija się od 2 do 12 młodych. One będą

A genetycznie różne	B hermafrodytami
C tej samej płci	D różnojąowymi bliźniętami
E o różnym fenotypie	

- 4 Astma oskrzelowa rozwija się u obydwu jednojajowych bliźnięt z prawdopodobieństwem około 90%. Świadczy to o tym, że
- A powstanie choroby zależy od genotypu rodziców
 - B do tej choroby nie ma predyspozycji genetycznej
 - C u różnojajowych bliźnięt prawdopodobieństwo rozwoju choroby będzie większe niż u jednojajowych
 - D ich mieszańce giną na wczesnych stadiach rozwoju
 - E ich gamety nie są zdolne do połączenia się

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 5 Jaka jest genetyczna natura allelu warunkującego powstanie cechy, której dziedziczenie ukazano na schemacie rodowodu?
- 6 Od kogo z rodzeństwa odziedziczył hemofilię książę Aleksy, syn Mikołaja II?
- 7 Na czym polega różnica w pochodzeniu i genetycznym komplecie komórek u jednojajowych, różnojajowych bliźnięt oraz braci, którzy urodzili się z różnicą jeden rok?
- 8 Dlaczego cecha, uwarunkowana allelem dominującym, który znajduje się w X-chromosomie, częściej ujawnia się u kobiet niż u mężczyzn?
- 9 Która z klasycznych metod badań genetycznych daje najszybsze wyniki?



Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 10 Jeżeli każdy z dwóch bliźnięt-szympanów ma wysokie zdolności intelektualne, czy można stwierdzać, że „mądrość” szympanów uwarunkowana jest genami? Jaki eksperyment należy przeprowadzić z bliźniętami, aby udowodnić lub obalić taki wniosek?
- 11 Dlaczego genealogiczna metoda badań zastosowuje się przede wszystkim do badań człowieka i nie zastosowuje się do badań roślin?

Dowiedz się samodzielnie i powiedz innym

- 12 Często mass media publikują artykuły o tym, że odkryto gen czegoś ważnego – alkoholizmu, mądrości czy talentu muzycznego. Czy mogą istnieć takie geny u człowieka i jakie metody genetycznych badań należy wykorzystać, aby wyznaczyć funkcję określonego genu?
- 13 Metoda krzyżowania uważana jest za podstawową uniwersalną metodę genetyki. Czy można za jej pomocą sformułować prawidłowości dziedziczenia dla wszystkich żywych organizmów? Z kim wynikną problemy i dlaczego?

Projekt do opracowania w grupie

- 14 Praca samodzielna dotycząca wyznaczania typów dziedziczenia cech według drzew genealogicznych.
- 1) Znajdź w Internecie przykłady drzew genealogicznych dla różnych typów dziedziczenia.
 - 2) Opracuj po dwa drzewa na arkuszu A4.
 - 3) Zaproponujcie nauczycielowi przeprowadzić samodzielną pracę dla jednoklasistów dotyczącą wyznaczenia cech genetycznych metodą genealogiczną, wykorzystując wasze drzewa.

Praca praktyczna № 3

Układanie schematów krzyżowania

Cel: nauczyć się układać i opracowywać za pomocą specjalnych symboli schematy krzyżowania organizmów.

Tok pracy

Opracowanie schematów krzyżowania

1. Wprowadzenie umownych oznaczeń: allel dominujący oznaczamy wielkimi literami (A , B , C), recesywny allel – małymi literami (a , b , c). Po oznaczeniu allelu wskazujemy, jaki fenotyp warunkuje jego obecność.
2. Układanie schematu krzyżowania:
 - pod genotypem wszędzie w schemacie krzyżowania zapisujemy fenotyp;
 - w pierwszym rzędzie zapisujemy genotypy i fenotypy organizmów rodzicielskich. Pierwszy rząd oznaczamy „P”, samicę – „♀”, a samca – „♂”. Między genotypami samicy i samca stawiamy znak „x”, który wskazuje na krzyżowanie;
 - w drugim rzędzie zapisujemy gamety. Drugi rząd oznaczamy „G”. Gamety oddzielamy przecinkami, między gametami różnych organizmów stawiamy średnik. Jednotypowe gamety jednego organizmu zapisujemy jeden raz;
 - w trzecim rzędzie zapisujemy genotypy i fenotypy potomków, otrzymane przy kolejnym łączeniu gamet. Trzeci rząd oznaczamy „F₁”. Genotypy potomków oddzielamy przecinkami.

Przykład

Ułożyć schemat krzyżowania homozygotycznego grochu, który ma żółty kolor nasion, z grochem, który ma zielony kolor nasion.

1. Z § 1 wiesz, że żółta barwa grochu dominuje nad zieloną barwą. Wiadomo też, że dominowanie jest pełne. Wprowadzamy umowne oznaczenia.

A – żółty kolor, a – zielony kolor grochu.

2. Pierwszy rząd schematu krzyżowania opracować jest lekko, bo znamy fenotypy organizmów rodzicielskich: rośliny o żółtych ziarnach grochu są homozygotyczne według allelu dominującego, o zielonych – homozygotyczne według allelu recesywnego.

P: ♀ AA × ♂ aa
 żółt ziel

3. Homozygotyczne organizmy tworzą jeden typ gamet według jednej pary genów. Dlatego rząd gamet jest prosty.

G: A ; a

4. Trzeci rząd otrzymujemy, łącząc gamety drugiego rzędu.

F₁: Aa
 żółt

Ćwiczenia na układanie schematów krzyżowania

- 1 U królików czarny kolor sierści dominuje nad białym. Heterozygotyczną czarną królicę skrzyżowano z takim samym królikiem. Ułóż schemat tego krzyżowania.
- 2 U rasy psa seter irlandzki zdarza się recesywny gen, który warunkuje ślepotę. Para psów o normalnym wzroku urodziła szczenięta, wśród których niektóre były ślepe. Zaproponuj schemat krzyżowania, który wytłumaczyłby pojawienie się ślepych szczeniąt.

- 3** U świnek morskich zdarza się gładka i kędzierzawa sierść. Ułóż schemat krzyżowania, w którym u pary świnek morskich będzie 75% potomków o kędzierzawej sierści, a u 25% – o gładkiej.
- 4** Platynowa barwa futra norki jest recesywną cechą, takie futro jest ładniejsze i kosztuje drożej niż rude. Zaproponuj schematy krzyżowań, w których rezultacie można otrzymać maksymalną ilość platynowych norek, jeżeli na fermie przebywają tylko rude norki-samice i jeden platynowy samiec.
- 5** U krów czarny kolor sierści nie w pełni dominuje nad białym: heterozygoty mają pośredni fenotyp – szary kolor sierści. Zaproponuj schemat krzyżowania, a:
- a) u krowy o czarnym kolorze sierści rodziły się cielęta tylko o szarym kolorze sierści;
 b) od byka o szarym kolorze sierści rodziły się cielęta o białym kolorze sierści;
 c) u krowy o białym kolorze sierści rodziły się cielęta o szarym kolorze sierści.
- 6** Czerwony kogut, który nie ma grzebienia (obydwie cechy są recesywne), krzyżuje się z diheterozygotyczną kurą mającą grzebień. Zapisz schemat takiego krzyżowania.
- 7** U foremnej dyni biała barwa owoców dominuje nad żółtą, a dyskopodobny kształt nad kulopodobnym. Ułóż schemat krzyżowania, aby wśród potomków było trzykrotnie więcej roślin o białych dyskopodobnych owocach niż roślin o żółtych kulopodobnych owocach.

Projekt I

Układanie własnego rodowodu i przedstawienie dziedziczenia cech

- Wybierz cechę, według której będziesz badać swój rodowód.
Najdogodniej jest badać następujące cechy: kolor włosów (nie rude / rude lub ciemne / jasne); długość rzęs (krótkie / długie); przyrośnięcie małżowiny usznej (przyrośnięta/ nieprzyrośnięta); układ Rh (dodatni / ujemny); posługiwanie się ręką (praworęczny / leworęczny); piegi (są / nie ma). Możesz również zbadać dziedziczenie innych cech.
- Aby ułożyć rodowód, należy zebrać dane o krewnych: kto i jak spokrewniony jest z tobą, jaki jest stan jego badanej cechy.
- Za pomocą Internetu lub dodatkowej literatury zapoznaj się z umownymi oznaczeniami i zasadami, które są wykorzystywane przy układaniu rodowodów.



- Ułóż i zapisz na arkuszu rodowód według pewnej cechy. Do układania rodowodu możesz również wykorzystać programy komputerowe, na przykład „GenoPro” sau „SmartDraw”
- Korzystając z materiałów § 32, określ, jaki typ dziedziczenia ma badana przez ciebie cecha.



§ 39. Współczesne metody genetyki

Do diagnostyki schorzeń genetycznych niezbędna jest analiza kariotypu

Klasyczne metody badań genetycznych, opisane w poprzednim paragrafie, nie rozpatrują molekularnych mechanizmów funkcjonowania dziedzicznego materiału. Dlatego te metody mogą przewidzieć tylko prawdopodobieństwo wystąpienia niektórych zaburzeń genetycznych. A czy wystąpiła nowa mutacja i gdzie – za ich pomocą wykryć nie można. Do tego są potrzebne inne metody – **molekularno-biologiczne** i **cytogenetyczne**. Właśnie one bezpośrednio badają strukturę i pracę genów na molekularnym i komórkowym poziomie.

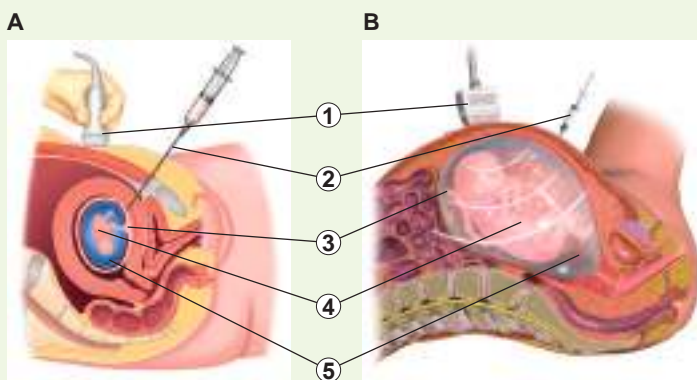
Z § 37 dowiedziałeś się, że wiele genetycznych chorób człowieka jest związanych z chromosomowymi anomaliami. W przypadku takich chorób do wyjaśnienia diagnozy jest potrzebna analiza kariotypu – **kariotypowanie**. W tym celu dokonuje się wyodrębnienie chromosomów z oddzielnych komórek człowieka, ich barwienie i identyfikację. Stosując odpowiednie barwienie, można w chromosomie wyróżnić ciemniejsze i jaśniejsze prążki, przy czym każdy chromosom ma swój unikalny układ prążków. Takie barwienie chromosomów pozwala uporządkować je w pary, ujawnić nieprawidłowości w budowie i stwierdzić, czy obecna jest ich prawidłowa liczba (ryc. 37.6, B; 37.7).

Bardzo często kariotypowanie jest stosowane w **diagnostyce prenatalnej**. Przeprowadza się ją w celu ujawnienia genetycznych zaburzeń u zarodka w stadium rozwoju embrionalnego. W tym celu lekarze pobierają komórki z embrionu, a potem kariotypują je. Embrionu podczas procedury dotykać nie wolno, żeby nie naszkodzić jego rozwojowi. Tak więc do analizy pobierane są albo komórki embrionalnej części łożyska, albo płyn owodniowy (ryc. 39.1). Komórki łożyska mają kariotyp embrionu, a do owodniowego płynu trafia niewielka ilość komórek, które „odpadły” od zarodka. Pierwsza metoda jest bardziej skomplikowana, lecz dostępna we wcześniejszym okresie ciąży w porównaniu z drugą. Natomiast druga metoda jest prostsza w realizacji, jednak wymaga dodatkowego czasu na założenie hodowli komórek potrzebnych do kariotypowania.

Ryc. 39.1. Metody pobierania komórek zarodka

A. Pobieranie komórek łożyska. **B.** Pobieranie płynu owodniowego.

1. Aparat do diagnostyki ultrasonograficznej.
2. Strzykawka.
3. Łożysko.
4. Płód.
5. Płyn owodniowy.



Kariotypowanie wykorzystuje się nie tylko w genetyce człowieka. Często jest stosowane do identyfikacji tak zwanych gatunków-sobowtórów. Na przykład wiele gatunków komarów z rodzaju *Anopheles* praktycznie nie różni się zewnątrznie od siebie, lecz znacznie różni się pod względem budowy chromosomów. Wykrycie takich gatunków ma praktyczne znaczenie, ponieważ nie wszystkie gatunki są przenosicielami zarodźca malarii¹.

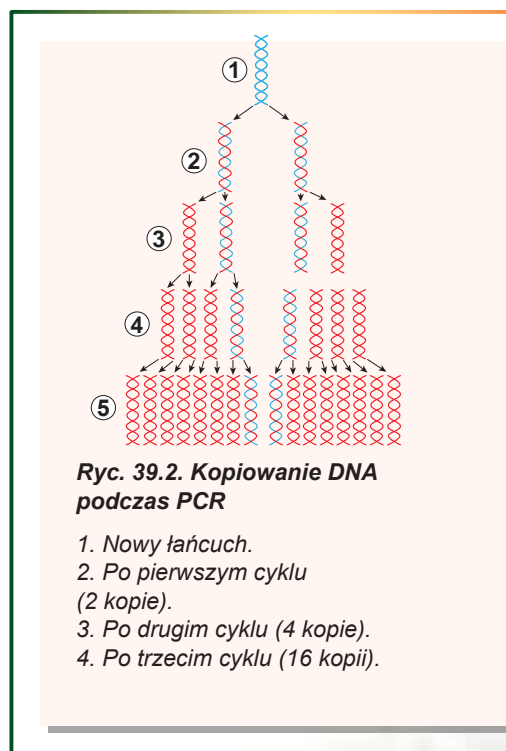
Polimerazowa reakcja łańcuchowa – to sposób na „rozmnażanie” DNA

W 1983 roku amerykański biochemik **Kary Mullis** zaproponował metodę dokonania replikacji specyficznego odcinka DNA w próbce – **polimerazową reakcję łańcuchową** (PCR). Przed replikacją dwułańcuchowe cząsteczki DNA podczas ogrzewania „rozplatają” się na jednołańcuchowe, następnie na nich za pomocą termostabilnej DNA-polimerazy syntetyzują się nowe komplementarne łańcuchy DNA. W wyniku 20–30 takich cykli rozplatania-syntezy można przez krótki czas (około godziny) zsyntetyzować miliony kopii z jednego fragmentu DNA prosto w próbce (ryc. 39.2).

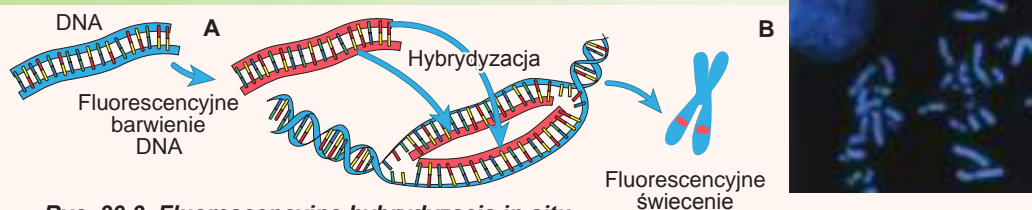
PCR odkrywa mnóstwo możliwości. Z jednej strony badacz może otrzymać dużo kopii odcinka DNA, który go ciekawi, co ułatwi mu pracę z tym fragmentem, na przykład jego **sekwencjonowanie** (patrz dalej). Z drugiej strony można wyznaczyć, czy jest poszukiwany odcinek DNA w próbce, która nas ciekawi. Tak, na przykład, można dokonać PCR w taki sposób, że będzie odbywała się synteza tylko tego odcinka DNA, który jest specyficzny dla czynnika chorobotwórczego cholery. Wtedy synteza nowych kopii DNA będzie odbywała się pod warunkiem, że w badanej próbce jest DNA chorobotwórczej bakterii. Można więc łatwo i szybko wykryć obecność infekcji w wodzie, krwi lub komórkach.

Do wykrycia mutacji punktowych niezbędne jest sekwencjonowanie kwasów nukleinowych

Ustalenie genowych mutacji, które wywołują choroby dziedziczne, jest trudniejsze. Nie budzącą wątpliwości metodą poszukiwania mutacji punktowej jest „odczytanie” kolejności nukleotydów w określonym fragmencie, który być może zawiera mutację. Takie ustalenie kolejności nukleotydów nazywa się sekwencjonowaniem kwasów nukleinowych. Pierwszą metodę sekwencjonowania zaproponował angielski biochemik **Frederick Sanger** w 1977 roku. Początkowo zadanie sekwencjonowania polegało na ustaleniu kolejności genów, lecz dosyć szybko ten proces został zautomatyzowany i wykorzystany do ustalenia kolejności pełnych genomów. W 2003 roku opublikowano pełną sekwencję ludzkiego genomu. Obecnie rozszyfro-



¹ Chodzi o to, że komarów z rodzaju *Anopheles* nalicza się ponad 400 gatunków, lecz tylko niektóre z nich są przenosicielami malarii. Jednak wszystkich komarów tego rodzaju nazywa się malarycznymi. A dla epidemiologów ważne jest wykrycie właśnie niebezpiecznych gatunków komarów.



Ryc. 39.3. Fluorescencyjna hybrydyzacja in situ

A. Metodyka. **B.** Chromosomy z fragmentami, które się świecą, w interfazie (po lewej stronie) i metafazie (po prawej stronie) cyklu komórkowego.

wano genomy kilku dziesiątków tysięcy organizmów(dokładniej o tym w dodatku VIII). Znajomość pełnej kolejności genów i genomów pozwala na poznawanie cech ich budowy i funkcjonowania. Oprócz tego, porównując genomy różnych organizmów między sobą, można lepiej zrozumieć historyczne związki między nimi i mechanizmy ewolucyjnych przekształceń w żywej przyrodzie (o tym będzie mowa w § 44).

Do wykrycia zaburzeń chromosomów wykorzystuje się fluorescencyjną hybryzację in situ

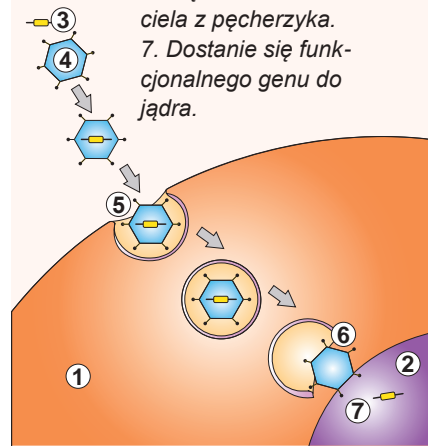
Bardziej współczesną i dokładniejszą metodą wykrywania chromosomowych zaburzeń jest fluorescencyjna hybrydyzacja in situ. Ta metoda wykorzystuje jednołańcuchowe fragmenty DNA, znakowane fluorescencyjnym barwnikiem¹. Znakowane DNA ma kolejność, która odpowiada zaburzeniom w strukturze chromosomu (delecje, inwersje lub translokacje). Jeśli kolejność znakowanego DNA odpowiada określonemu fragmentowi DNA komórki, to one się wiążą – hybrydują. Następnie pod fluorescencyjnym mikroskopem na podstawie obecności świecenia się fragmentu w określonym oświetleniu można ustalić, czy odbyła się hybrydyzacja i czy jest poszukiwany fragment w genomie komórki (ryc. 39.3).

Terapia genowa – to próba rywalizacji z przyrodą

Jedną z gałęzi genetycznych technologii jest genetyczna modyfikacja człowieka w celu leczenia chorób genetycznych – terapia genowa. Znaczna część chorób genetycznych związana jest z tym, że człowiek nie posiada funkcjonalnego allelu określonego genu. Taki problem można rozwiązać, sztucznie wprowadzając do ludzkich komórek czynny gen (ryc. 39.4). Zazwyczaj genową terapię przeprowadza się przez infekowanie człowieka gatunkowo zmienionym wirusem: zamiast swego kwasu nukleinowego on posiada gen człowieka. Ten gen trafia do jądra

Ryc. 39.4. Wykorzystanie modyfikowanych wirusów do genetycznej terapii chorób dziedzicznych

1. Cytoplazma. 2. Jądro. 3. Gen funkcjonalny. 4. Wirus-nosiciel.
5. Endocytoza wirusa-nosiciela.
6. Uwolnienie się wirusa-nosiciela z pęcherzyka.
7. Dostanie się funkcjonalnego genu do jądra.



¹ Fluorescencja – to zdolność substancji wypromieniowywać własne światło przy oświetleniu. Tak więc, fluorescencyjne farby lub toniki świecą się przy oświetlaniu ich ultrafioletem,

komórki, wbudowuje się do genomu i zaczyna tam pracować zamiast wadliwego genu. W ten sposób udało się wykorzystać broń, skierowaną przeciwko mam – mechanizmy wirusowego ataku – do leczenia nas samych. Obecnie terapię genową wykorzystuje się do leczenia niektórych schorzeń genetycznych i rakowych. Dokładniej o genowej terapii dowiesz się z § 62.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Do wykrycia zespołu Downa najwygodniej jest wykorzystywać
A kariotypowanie B hybrydizację fluorescencyjną
C sekwencjonowanie D PCR E krzyżowanie
- 2 Do prenatalnego kariotypowania pobiera się komórki
A embrionu B łożyska C macicy
D błonę pęcherza okołopłodowego E pępowiny
- 3 Wirus, który znajduje się w genie ludzkim, zamiast swego kwasu nukleinowego
A przenosi gen człowieka do komórki
B przenika do komórki w postaci białka
C jest wykorzystywany do kariotypowania
D całkowicie zostaje zniszczony w cytoplazmie od razu po dostaniu się do komórki
E stale tworzy się w komórkach rakowych
- 4 W wyniku terapii genowej w genomie znajdują się co najmniej dwa różne allele jednego genu. Z nich prawidłowo funkcjonuje
A wyjściowy B wprowadzony C każdy D żaden E zmutowany

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 5 W jakim celu do fluorescencyjnej hybrydizacji wykorzystuje się mikroskop? Na czym polega osobliwość pracy tego mikroskopu w porównaniu ze świetlnym?
- 6 Dlaczego do PCR wykorzystuje się termostabilną polimerazę?
- 7 Jednym ze sposobów wykrycia wirusa braku odporności człowieka – PCR z próbką krwi. Jak za pomocą tej metody wykrywa się we krwi HIV?
- 8 Dlaczego właśnie wirus wybrano jako środek dostarczania celowych genów do komórki?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 9 Jak urzeczywistnić PCR z RNA?
- 10 Czy obowiązkowe jest wykorzystanie w terapii genowej wirusa jako nosiciela genu? Czy można wprowadzić potrzebny gen innymi sposobami?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 11 Jak metoda PCR jest zastosowywana w medycynie, kryminalistyce i praktyce sądowej?
- 12 Jak, porównując kolejności nukleotydowe jednego genu, można dowiedzieć się o ewolucyjnym pokrewieństwie organizmów?



Biology is the science. Evolution is the concept that makes biology unique.

Jared Diamond





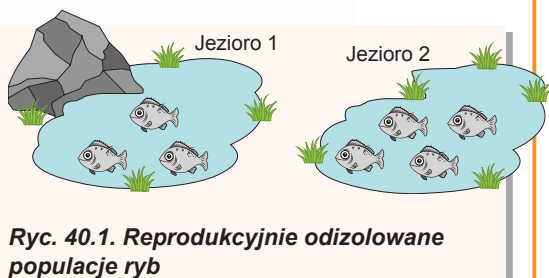
ROZDZIAŁ 6

Ewolucja świata organicznego

§ 40. Populacja

Liczebność, zagęszczenie i rozmieszczenie osobników – to statystyczne charakterystyki populacji

Populacja – to zespół osobników danego gatunku biologicznego w pewnej mierze odizolowany od innych podobnych zespołów. „W pewnej mierze” znaczy, że krzyżowanie się między osobnikami należącymi do tej samej populacji jest bardziej prawdopodobne niż krzyżowanie się między osobnikami należącymi do różnych populacji.



Ryc. 40.1. Reprodukcyjnie odizolowane populacje ryb

Wyjaśnijmy to, co było powiedziane na podstawie przykładu. Przypuśćmy, że są dwa jeziora, w których zamieszkują dwa gatunki ryb (ryc. 40.1). Te jeziora nie są połączone ze sobą, dlatego ryby zamieszkujące je nie mogą się krzyżować. Możemy więc stwierdzić, że w każdym jeziorze istnieje своя populacja. Takie populacje, których osobniki nie mogą krzyżować się między sobą, nazywają się populacjami **reprodukcyjnie odizolowanymi**.

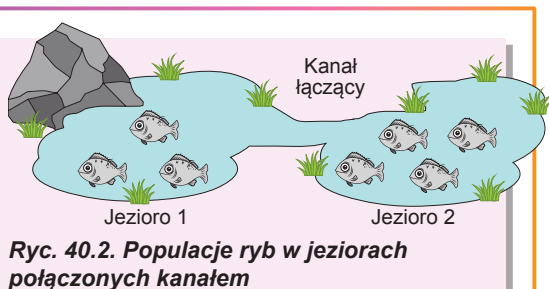
W przyrodzie sytuacja jest bardziej skomplikowana. Między populacjami istnieje pewna wymiana osobników, ale jej poziom nie przekracza krytycznego wskaźnika. Przy tym prawdopodobieństwo krzyżowania się między osobnikami należącymi do różnych populacji jest mniejsze niż prawdopodobieństwo krzyżowania się między osobnikami w obrębie populacji.

Przypuśćmy, że między naszymi jeziorami jest niewielki kanał, którym ryby mogą pływać (ryc. 40.2). Wtedy będzie się odbywać krzyżowanie osobników urodzonych w różnych jeziorach. Ale jeśli prawdopodobieństwo tego, że ryba znajdzie sobie partnera ze swego jeziora jest wyższe niż prawdopodobieństwo znalezienia partnera z innego jeziora, to możemy mówić o istnieniu dwóch populacji. Jeśli jednak te prawdopodobieństwa są jednakowe, to obydwa jeziora są zasiedlone przez jedną populację ryb.

Rozpatrzmy, jak można scharakteryzować każdą istniejącą populację. Pierwsza myśl, jaka przychodzi do głowy – to liczebność

populacji. Populacje różnią się od siebie ilością osobników wchodzących w ich skład. Populacja amurskich tygrysów mieszkających wzdłuż brzegów rzeki Amur i Ussuri, liczy co najmniej 500 osobników, a liczebność jednej zgrai szarańczy wędrownej może przewyższać 50 mld osobników. Wiele czynników wpływa na liczebność osobników w populacji. Przeważnie populacje drapieżników są mniejsze niż populacje zwierząt roślinożernych, a populacje dużych zwierząt – mniejsze niż małych.

Jeszcze jedną charakterystyką populacji jest jej zagęszczenie. Ono zależy od tego, ile organizmów danego gatunku zamieszkuje terytorium, które zajmuje populacja. Zagęszczenie zawsze ma maksymalne i minimalne znaczenie. Jeśli organizmów w po-



Ryc. 40.2. Populacje ryb w jeziorach połączonych kanałem

populacji jest za dużo, to resursów (pokarmu, wody, miejsca itd.) dla wszystkich nie wystarcza i one wymierają z głodu. Jeśli natomiast zagęszczenie jest zbyt niskie, to prawdopodobieństwo spotkania i owocnego krzyżowania się jest tak niskie, że w w populacji śmiertelność przewyższa rozrodczość i populacja wymiera. Dlatego też w większości populacji liczebność i zagęszczenie są podtrzymywane na określonym optymalnym poziomie.

W obrębie populacji osobniki mogą być rozmieszczone po różnemu. To rozmieszczenie tłumaczy się osobliwościami fizjologii i zachowania organizmów. Najbardziej rozpowszechnione są trzy typy rozmieszczenia osobników w przestrzeni: przypadkowy, równomierny i grupowy (ryc. 40.3).

Podobne rozmieszczenia osobników wygodnie jest interpretować w postaci terminów „przyciąganie” i „odtrącanie”¹. Jeżeli przyciąganie i odtrącanie równoważą jeden drugiego, to wynikiem jest przypadkowe rozmieszczenie osobników w przestrzeni. Charakterystyczny przykład – rozmieszczenie mleczaju na łące. Jeżeli odtrącanie się między osobnikami przewyższa przyciąganie, to osobniki w przestrzeni są rozmieszczone równomiernie. Jest to charakterystyczne na przykład dla tygrysów, kiedy to każde zwierzę ma swoje terytorium, które ono ochrania przed innymi osobnikami. Jeśli przyciąganie przewyższa odtrącanie, to jest to rozmieszczenie grupowe, które możemy obserwować w ławicach śledzi i zgrajach szarańczy. Dla tych organizmów grupowe rozmieszczenie zapewnia lepszą ochronę przed drapieżnikami, ochronę młodych, efektywniejsze wykorzystywanie zasobów.

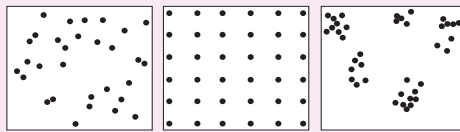
Jeszcze jedną ważną cechą jest płciowa struktura populacji, która przejawia się wzajemnym stosunkiem w populacji osobników różnej płci (samców, samic i hermafrodytów) różnego wieku. W populacjach większości różnopłciowych zwierząt współzależność samców i samic stanowi w przybliżeniu 1:1. U niektórych obelców populacja jest przedstawiona hermafrodytami i samcami. W poszczególnych przypadkach w populacjach wyraźnie przeważają samice (ryby raf koralowych, większość ssaków), w innych – samce (ptaki, żmije)².

Przy tym współzależność płci może z biegiem czasu zmieniać się: u wielu oposów i myszy workowatych samce giną po burzliwym okresie ślubnym i cała populacja składa się z ciężarnych samic. U skorupiaków planktonowych większą część roku populację stanowią samice, które rozmnażają się drogą partenogenezy, a w krytycznym okresie (jesień, posucha) w populacji pojawiają się samce.

Dynamiczne charakterystyki populacji opisują jej zmiany

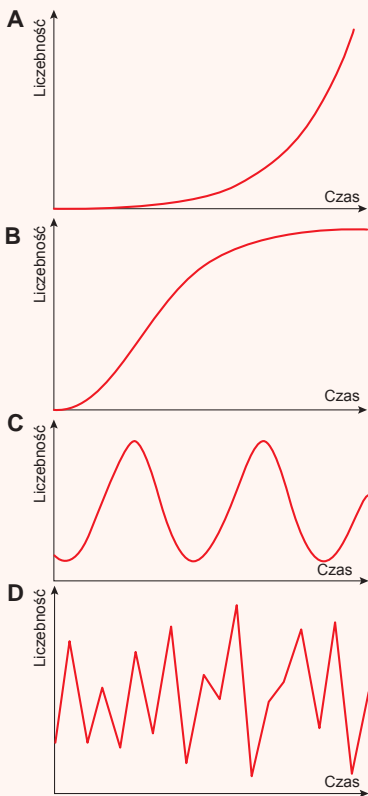
Parametry populacji, takie jak liczebność, zagęszczenie, struktura płciowa, z biegiem czasu mogą ulec zmianom w wyniku działania różnych czynników. Po pierwsze

- 1 Chodzi nie o fizyczne siły współdziałania między osobnikami. Są to po prostu dogodne terminy, które wykorzystaliśmy do opisu stosunków wzajemnych.
- 2 Dla osobników o chromosomowym określeniu płci działa zasada: homogametyczna płeć przeważnie pod względem ilościowym przeważa heterogametyczną. U ssaków homogametyczna jest żeńska płeć, a u ptaków – męska. Być może wiąże się to z podwyższoną śmiertelnością osobników heterogametycznej płci: mężczyźni o wiele częściej skłonni są do takich schorzeń jak hemofilia i daltonizm. U ludzi jednak ilościowa przewaga kobiet nad mężczyznami jest niewielka.



Ryc. 40.3. Typy rozmieszczenia osobników w przestrzeni

- A.** Przypadkowe. **B.** Równomierne.
C. Grupowe.



Ryc. 40.4. Typy dynamiki populacyjnej

- A. Wzrost wykładniczy
- B. Wzrost logistyczny
- C. Okresowe wahania się liczebności
- D. Chaotyczne wahania się liczebności.

jest to współzależność rozrodczości i śmiertelności. Przyczyny śmiertelności mogą być zarówno wewnętrzne (starzenie się) jak i zewnętrzne (drapieżniki, choroby, brak zasobów). Przeważnie nadmierne zwiększenie zagęszczenia populacji prowadzi do zmniejszenia się narodzin (na przykład przytłacza się ślubne zachowanie) i wzrost śmiertelności z powodu chorób i aktywizacji drapieżników. Innym ważnym czynnikiem regulującym liczebność osobników w populacji jest **migracja**. Przy tym należy odróżniać **emigrację** (odejście osobników poza populację) od imigracji (napływ nowych osobników do populacji). Wiele organizmów, gdy ich liczebność znacznie wzrasta, migruje w poszukiwaniu nowych zasobów. Tak czynią na przykład lemingi (drobne gryzoni) i wiele owadów.

Współzależność rozrodczości, śmiertelności, emigracji oraz imigracji określa trwałe zmiany liczebności populacji. One są nazywane **dynamiką populacyjną**.

Ważną charakterystyką dynamiki populacyjnej jest naturalny przyrost populacji, który wyznaczamy za pomocą wzoru: naturalny przyrost (za jednostkę czasu) = liczba narodzonych – liczba zmarłych + liczba imigrantów – liczba emigrantów.

Jeżeli przyrost naturalny populacji dorównuje zerowi, to liczebność populacji nie zmienia się, jeżeli jest większy od zera – wzrasta, a mniejszy – zmniejsza się.

Istnieje kilka rodzajów dynamiki populacyjnej, które spotykamy w przyrodzie (ryc. 40.4).

Wzrost wykładniczy (eksponencyjny). Spostrzega się, gdy przyrost naturalny nie zależy od zagęszczenia populacji. On jest charakterystyczny przeważnie dla młodych populacji zajmujących nowe terytoria zamieszkania, kiedy zasoby bądź drapieżniki nie ograniczają zwiększenia populacji. Krzywa zależności liczebności populacji od czasu jest wykresem funkcji wykładniczej.

Wzrost logistyczny. Spostrzega się, gdy przyrost naturalny populacji zmniejsza się odwrotnie proporcjonalnie do liczebności: im większa populacja, tym wolniej ona wzrasta. Taki wzrost jest charakterystyczny dla

większości zwierząt kręgowych. Zaczynając od określonej liczebności, przyrost populacji zaczyna zmniejszać się i dochodzi do zera. Zagęszczenie populacji osiąga stałego znaczenia, gdy liczebność rozrodczości za jednostkę czasu równoważy liczebność zgonów.

Okresowe wahania się liczebności populacji. Czasami populacja tego czy innego gatunku doznaje okresowych wahań liczebności. Przeważnie jest to uwarunkowane działaniem sił zewnętrznych: sezonowych zmian klimatu, drapieżnictwa. Alfred Lotka i Vito Volterra udowodnili, że w układzie „drapieżnik-ofiara” zawsze wynikają okresowe wahania liczebności drapieżnika i ofiary.

Chaotyczne zachowanie liczebności populacji. Czasem liczebność populacji ulega przypadkowym, nieokresowym wahaniom. Taką dynamikę wykazują populacje wie-

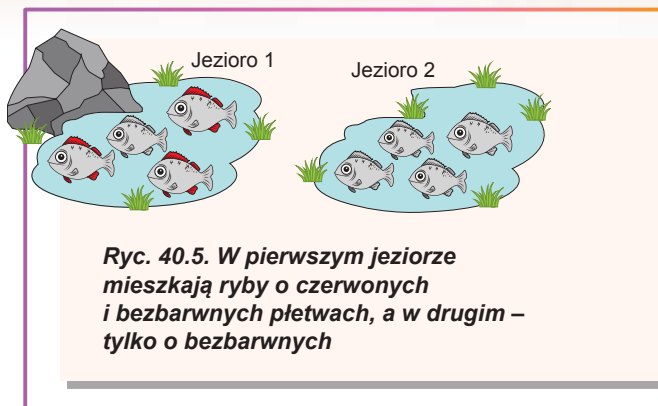
lu owadów, szczególnie szarańczy. W ciągu wielu lat liczebność może pozostawać bardzo niska, a potem zachodzą raptowe populacyjne wzrosty. Możliwość przewidywania takich wzrostów pomogłaby w walce ze szkodnikami, jednak jest to skomplikowane zadanie praktyczne i teoretyczne.

Pula genowa populacji

Powróćmy do naszych jezior, ale teraz zwróćmy się do genetyki. Przypuśćmy, że ryby posiadają gen odpowiedzialny na przykład za zabarwienie płetw. Allel *A* odpowiedzialny jest za czerwony kolor płetw, a allel *a* – za bezbarwne płetwy. Załóżmy, że ryby z pierwszego jeziora posiadają obydwa allele, a ryby z drugiego – tylko allel *a*. Nietrudno dojść do wniosku, jak będą wyglądały ryby w tych jeziorach: w pierwszym będą ryby i z czerwonymi, i z bezbarwnymi płetwami, a w drugim – tylko z bezbarwnymi (ryc.40.5).

Biorąc pod uwagę ten fakt, że jeziora nie są połączone między sobą i ryby nie potrafią przekroczyć granicy suchodołu między jeziorami, nosiciele allele *A* nie mogą trafić z pierwszego jeziora do drugiego. To znaczy, że w drugim jeziorze nie będzie ryb z czerwonymi płetwami. A więc możemy wyciągnąć ważny wniosek: zestaw i stosunek alleli w różnych populacjach jest różny. Unikalny zestaw alleli każdej populacji nazywamy **pulą genową**.

Przypuśćmy, że obydwa jeziora połączone są niewielkim kanałem wodnym. Teraz ryby mogą przepłynąć tym kanałem i trafić do drugiego jeziora, ale załóżmy, że ten potok osobników jest nieznaczny. Wtedy allele *A* mogą „przepływać” do drugiego jeziora razem z rybami, które migrują. Takie zjawisko nazywa się **przepływem genów**. Przepływ genów jest podstawą do połączenia populacji w jedną całość – **gatunek biologiczny**. Populacje, które w ciągu trwałego czasu są reprodukcyjnie odizolowane, będą nagromadzały odmienności, co w rezultacie może doprowadzić do powstania nowych gatunków.



Ryc. 40.5. W pierwszym jeziorze mieszkają ryby o czerwonych i bezbarwnych płetwach, a w drugim – tylko o bezbarwnych

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Wśród podanych układów biologicznych górskiego jeziora Synewyr populacją jest

A samo jezioro	B fauna jeziora	C wszystkie ryby jeziora
D pstrąg potokowy jeziora	E przybrzeżna roślinność jeziora	
- 2 Struktura grupowa populacji jest charakterystyczna dla takich organizmów jak

A szarańcza, tygrys, antylopa	B antylopa, jaskółka, sosna
C śledź, szprotka, szarańcza	D delfin, rumianek, grzyb pleśniowy
E paproć, słoń, pingwin	
- 3 Ograniczenie maksymalnego zagęszczenia populacji związane jest z

A małą wiarygodnością krzyżowania się	B ograniczoną objętością puli genowej populacji	C brakiem samców	D nadmiarem samic	E brakiem zasobów
--	--	-------------------------	--------------------------	--------------------------

- 4** Jeśli na początku roku w populacji było 100 osobników, w ciągu roku urodziło się 15, zmarło 20, imigrowało 3, a emigrowało 2 osobników, to przyrost naturalny populacji stanowi
A – 96% **B** – 4% **C** 4% **D** 96% **E** 104%
- 5** W 1859 r. w Australii na wolność wypuszczono 24 króliki. W ciągu 10 lat królików zrobiło się tak dużo, że wyłapywanie nawet 2 milionów królików na rok nie wpływało znacząco na populację. Czyli w ciągu 10 lat dla królików był charakterystyczny taki typ populacyjnej dynamiki jak
A wzrost wykładniczy **B** wzrost logistyczny
C okresowe wahania **D** chaotyczne wahania
E przewaga imigracji nad emigracją

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Pod jakim warunkiem populacje będą reprodukcyjnie odizolowane?
- 7** Dlaczego kryterium odizolowania populacji jest prawdopodobieństwo krzyżowania się ze „swoimi” lub „cudzymi” osobnikami?
- 8** Podaj charakterystykę czynników, dzięki którym zajdzie zrównanie się rozrodczości i śmiertelności w przypadku logistycznego wzrostu populacji.
- 9** Czy może jedna populacja mieć różne typy dynamiki populacyjnej na różnych etapach swego istnienia?
- 10** Dlaczego liczebność populacji ofiary zależy od liczebności populacji drapieżnika i na odwrót?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Zastanów się, w jaki sposób można określić liczebność ryb w wielkim jeziorze, ilość kwiatków na łące czy ilość bakterii w grudce gleby?
- 12** Jak wytłumaczyć fakt, że populacje drapieżników są mniejsze pod względem liczebności od populacji organizmów roślinożernych?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Czy w celu reprodukcyjnej izolacji populacja musi być rozdzielona pod względem terytorialnym? Jakie jeszcze mechanizmy izolacji są możliwe?
- 14** Jak zależy częstotliwość spotkania alleli jednego genu od czasu w pulach genowych odizolowanych populacji?

Projekt do opracowania w grupie

- 15** Badanie dynamiki populacyjnej ludzi swego regionu (miasta, rejonu, obwodu, państwa):
- 1) Oblicz przyrost naturalny ludności twego regionu, uwzględniając rozrodczość, śmiertelność, imigrację i emigrację.
 - 2) Zbierz dane dotyczące zmian liczebności ludności swojego regionu w poprzednich latach.
 - 3) Sporządź wykres zmian i wyznacz, jakiemu rodzajowi populacyjnej dynamiki on najbardziej odpowiada. Spróbuj wytłumaczyć otrzymaną zależność liczebności od czasu, zważając na przyczyny społeczno-ekonomiczne.

§ 41. Rozwój poglądów ewolucyjnych

Pierwsza teoria ewolucyjna była sformułowana na początku XIX wieku

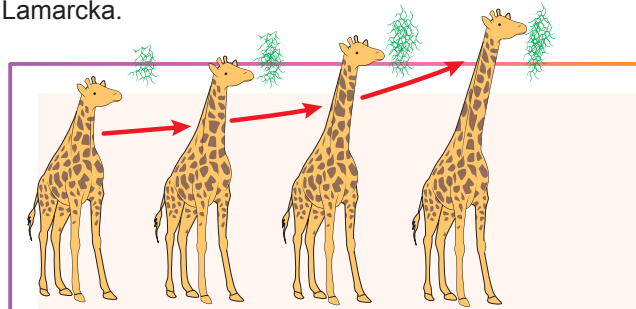
Od dawna ludzie próbowali wytłumaczyć obserwowaną różnorodność życia. W XVIII wieku praktycznie wszyscy uczeni wyznawali poglądy **kreacjonistyczne**, czyli byli pewni tego, że życie na Ziemi było stworzone przez siły wyższe. Jednak i ci naukowcy podzielili się na dwa obozy. Jedni sądzili, że wszystkie organizmy żywe zostały stworzone takimi, jak one są obecnie i z momentu stworzenia nie zmieniały się. Inna, bardziej progresywna grupa sądziła, że gatunki zmieniają się wraz z upływem czasu i współczesne gatunki są potomkami bardziej dawnych. Wśród nich **należy wymienić Erasmusa Darwina (dziadka Karola Darwina), Johanna Wolfganga von Goethe'go oraz Denisa Diderota**. Ale w owych czasach nie było jeszcze opracowanej teorii, która tłumaczyłaby przyczyny i mechanizmy podobnych zmian. Pierwszą teorią, która próbowała tłumaczyć pochodzenie gatunków istot żywych, była **teoria ewolucyjna Jeana Baptista de Lamarcka**.

Lamarck przypuszczał, że dla wszystkich organizmów żywych charakterystyczne jest „dążenie do doskonałości” – bycia lepszymi i bardziej złożonymi. Człowiek, zdaniem Lamarcka, był najbardziej pomyślny w tej nielekkiej sprawie. Zgodnie z jego teorią, żywy organizm może wyćwiczyć jakiś narząd, a potem przekazać tę cechę swoim potomkom w lepszej postaci. Jeżeli na przykład codziennie będziesz ćwiczyć na sali, to twoje dzieci będą silniejsze – tak w przybliżeniu sądził Lamarck. Przodek żyrafy przez wiele pokoleń ciągnął szyję, aby zdobyć liście wysokich drzew. W wyniku tego szyja ćwiczyła i wydłużała się z każdym pokoleniem, co doprowadziło do pojawienia się współczesnej żyrafy (ryc. 41.1). Należy zaznaczyć, że do teorii Lamarcka było szereg pytań. Na przykład jak z jej pomocą wytłumaczyć pojawienie się pancerza u żółwia? Lamarck dał śmiałą odpowiedź: żółw wyhodował sobie pancerz poprzez siłę woli. Dlaczego, jeśli wszystkie organizmy starają się być bardziej złożone, istnieją jeszcze bakterie? Lamarck odpowiadał: życie nieustannie zaradza się z nieżywej materii, współczesne bakterie pojawiły się całkiem niedawno i jeszcze nie zdążyły rozwinąć się w coś bardziej skomplikowanego.

Niżej podano podstawowe postulaty teorii Lamarcka.

1. Dla wszystkich żywych organizmów charakterystyczne jest „dążenie do doskonałości”.
2. Jeśli narząd trenuje się, on się rozwija, leśli nie – z biegiem czasu zanika.
3. Cechy nabyte mogą być przekazywane potomkom.
4. Organizmy żywe nieustannie powstają z materii nieożywionej.

Teoria Lamarcka miała wyłącznie teoretyczny charakter i wykorzystywała wiele pojęć nadprzyrodzonych, m.in. „dążenie do doskonałości” u drożdży czy „siłę woli” u żółwi. Później ta teoria została odrzucona¹, jednak ona ma ważne znaczenie historyczne jako pierwsza teoria ewolucyjna.



Ryc. 41.1. Kształtowanie się długiej szyi żyrafy wg Lamarcka

Przodek żyrafy ciągnął się po liście z powodu wewnętrznego „dążenia do doskonałości” i szyja stopniowo się wydłużała.

¹ Należy zauważyć, że według współczesnych badań niektóre cechy nabyte, takie jak odporność przeciwwirusowa u bakterii, jednak jest dziedziczna. Jest to raczej wyjątek niż zasada.



Jean Baptiste de Lamarck

Urodził się w 1744 roku we francuskim mieście Bazentin. Studiował w Wyższej Szkole Medycznej w Paryżu. Jednak zainteresowanie przyrodą wzięło górę i Lamarck nie został lekarzem. Już w 1778 roku ukazuje się jego praca „Flora Francji”, dzięki której uczony stał się znanym na świecie botanikiem. Później Lamarck zmienił kierunek swoich badań – zaciekał się zoologią. Tu też osiągnął sukcesy: właśnie Lamarck wprowadził do naukowego języka termin „bezkęgowce”, podzielił je na 10 gromad, opisał wiele nowych gatunków. Na początku XIX wieku Lamarck zaproponował termin napisany na okładce naszego podręcznika – „biologia” – do oznaczenia nauki o życiu. Główną pracą Lamarcka stała się książka wydana w 1809 roku „Filozofia zoologii”, w której on sformułował swoje poglądy na rozwój żywej przyrody, na to jak zmieniały się z biegiem czasu zwierzęta i rośliny, jak one osiągały współczesny wygląd. To znaczy, że Lamarck został twórcą pierwszej teorii ewolucji. Jednak nikt ze współczesnych nie przyjął jego idei. Wszyscy odwrócili się od niego i on został sam. Tylko córka Kornelia do końca była oddana ojcu. Lamarck stracił wzrok i zmarł w ubóstwie w 1829 roku. Kornelia nie miała nawet pieniędzy, aby kupić trumnę. Pochowano go razem z bezdomnymi, którzy zmarli w tym dniu w Paryżu. Otóż dzisiaj nie wiemy dokładnie, gdzie jest pochowany jeden z najbardziej znanych uczonych świata. Dopiero w 1909 roku z okazji setnej rocznicy ukazania się „Filozofii zoologii” Lamarckowi wzniesiono pomnik. Na płaskorzeźbie ukazano starego ślepego uczonego, obok stoi jego córka. Pod płaskorzeźbą widnieją słowa Kornelii: „Potomkowie będą z Ciebie dumni, ojczu. Oni pomszczą się za Ciebie”. Tak też się stało.

Teoria doboru naturalnego stwierdza, że wyższa najbardziej przystosowany

Trudno wyobrazić sobie teorię, która by wpłynęła na rozwój nauki i cywilizacji światowej bardziej niż **teoria doboru naturalnego Karola Darwina**¹. Genialność Darwina polega na tym, że zamiast abstrakcyjnych wniosków (jak na przykład stosujących się siły woli u żółwi) on zdecydował się na niesłychaną jak na owe czasy zuchwałość – opisać obserwowane zjawiska, opierając się na faktach i myślowych doświadczeniach! Należy podkreślić, że Darwin nic nie wiedział o genetyce i mechanizmach dziedziczności, ale wykorzystał sam fakt dziedzicznego przekazywania cech. Sposób rozważań Darwina jest następujący:

Hipoteza № 1. Jeśli pozwolić organizmom rozmnażać się bez ograniczeń, to ich liczebność będzie się zwiększała w postępie geometrycznym, demonstrując wykładniczy typ wzrastania (o czym dokładniej była mowa w § 40). Wystarczy przypomnieć sobie zadanie Fibonacciego o królikach². Właśnie nieograniczonym wzrastaniem Darwin tłumaczył w swojej księdze „**Pochodzenie gatunków drogą doboru naturalnego**” postępowość Fibonacciego.

Fakt oczywisty № 1. W przyrodzie nieograniczony, wykładniczy wzrost nie może być obserwowany w ciągu trwałego czasu. Zwykle to populacje powinny mieć fiksoną liczebność, która może nieznacznie się wahać (z wyjątkiem, oczywiście, populacji,

1 Tak na prawdę po raz pierwszy teorię doboru naturalnego opracował Alfred Wallace, który odesłał ją w postaci niewielkiego artykułu Karolowi Darwinowi do recenzji. Okazało się, że zaproponowana teoria zgadza się z tą, którą już ponad 20 lat opracowywał Darwin. Jednak gruntowne opracowanie teorii, poszukiwanie i wyjaśnianie dowodów, bronienie jej w dyskusjach naukowych dokonywał Darwin, co daje podstawy sądzić, że ta teoria jest jego dziełem.

2 Fibonaccini pisał: „Człowiek posadził parę królików w zagonie obnieszonym ze wszystkich stron ścianą. Ile par królików w ciągu roku może spłodzić na świat ta para, jeśli wiadomo, że każdego miesiąca, zaczynając od drugiego, każda para królików rodzi nową parę?” Możesz przekonać się, że ilość par w każdym z dwunastu następnych miesięcy będzie 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144... To nie jest postęp geometryczny, lecz pobobna kolejność liczb wskazuje na wybuchowy wzrost liczebności populacji.

których liczebność waha się chaotycznie, ale tam po okresach wzrostu nastają okresy przyspieszonej redukcji liczebności populacji).

Wniosek № 1. W realnych populacjach nie może się osiągać przeżycia wszystkich potomków (skutek faktu № 1). Wiele z nich z powodu różnych przyczyn ginie przed nastaniem wieku reproduktywnego i nie pozostawia potomków. Powstają pytania: kto ginie, a kto przeżywa i od czego to zależy?

Fakt oczywisty № 2. W populacjach organizmów żywych obserwujemy zmienność. Organizmy żywe różnią się pod względem wielkości, koloru, kształtu określonych części ciała, cech zachowania i in.

Fakt oczywisty № 3. Określone cechy, dla których charakterystyczna jest zmienność, są dziedziczone. U jasnowłosych rodziców może się urodzić tylko jasnowłose dziecko, a u ciemnowłosych rodziców – najprawdopodobniej, ciemnowłose. Czyli zmienność ma dziedziczny charakter.

Nie taki oczywisty fakt № 4. U osobników, które mają różne cechy, szanse na pozostawienie po sobie potomstwa są różne, a mianowicie: szanse osobników o cesze A pozostawić po sobie potomstwo i przekazać mu cechę A są wyższe niż szanse osobników o cesze B.

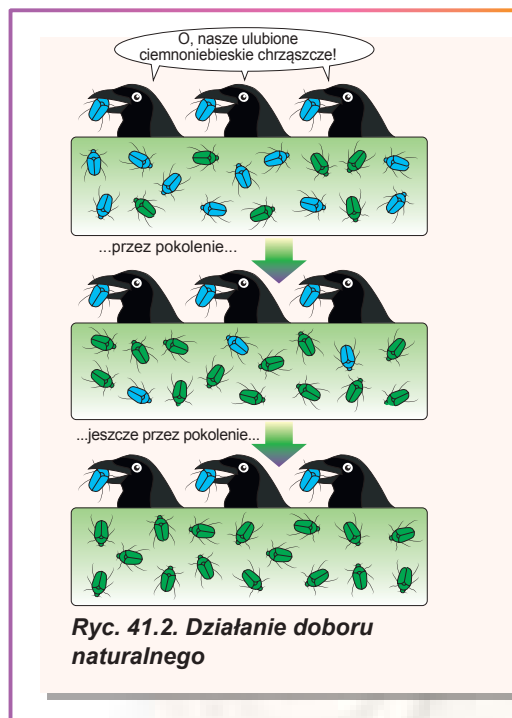
Całokształt wszystkich stosunków wzajemnych między organizmami i otoczeniem Darwin nazywał **walką o byt**. W niej organizmy walczą z organizmami swojego gatunku (jak wilki za kęs mięsa), z organizmami innych gatunków (jak zające uciekające od wilków) i z otoczeniem (jak niedźwiedzie przeżywające chłodną zimę). „Zwycięży” w walce o byt ten organizm, który w istniejących warunkach jest najlepiej przystosowany i pozostawia więcej potomków.

Wniosek № 2. Jeśli cecha ma kilka alternatywnych przejawów w populacji (fakt № 2), one są dziedziczone (fakt № 3), a obecność jednego z nich daje większe szanse na pozostawienie po sobie potomstwa (fakt № 4) – to częśćka osobników z takim przejawem cechy będzie wzrastała, a częśćka osobników z alternatywnym przejawem cechy – zmniejszała się. Ten proces nazywa się **doborem naturalnym**.

Rozpatrzmy, jak działa dobór naturalny (ryc. 41.2). Przypuśćmy, że istnieje populacja chrząszczy jednego gatunku u których jedna cecha – kolor twardych pokryw – posiada alternatywne przejawy: zielone i ciemnoniebieskie. Przy tym kolor pokryw jest dziedziczny. Weźmy jeszcze jakąś siłę zewnętrzną: np. ptaków, które jedzą chrząszczy. Ciemnoniebieskich chrząszczy w zielonej trawie łatwiej jest znaleźć, dlatego ciemnoniebieski chrząszcz ma więcej szans być zjedzonym i mniej szans na pozostawienie po sobie potomstwa i przekazania im swoich genów. Odpowiednio w ciągu wielu pokoleń ciemnoniebieskie chrząszcze będą bardziej „wyjadane” przez ptaków niż ich zieleni bracia. Przy tym częśćka ciemnoniebieskich chrząszczy będzie się zmniejszała w każdym pokoleniu. Z biegiem czasu, ponieważ populacja chrząszczy jest nieograniczona w liczebności, cecha „pokrywy ciemnoniebieskiego koloru” może być całkowicie utracona i wszystkie chrząszcze populacji okażą się zielone.

A więc dobór naturalny opiera się na trzech słupach.

1. Zmienność: niezbędne są alternatywne przejawy cechy.
2. Dziedziczność: przekazanie alternatywnych przejawów cechy od rodziców potomkom.





Charles Darwin

Urodził się w 1809 roku w angielskim miasteczku Shrewsbury. Studiował na Uniwersytecie Edynburskim medycynę i na Uniwersytecie w Cambridge teologię. W 1831 roku wyruszył w pięcioletnią podróż dookoła świata na statku „Beagle” jako badacz przyrody. Charles sumiennie pracował i zebrał bogatą kolekcję minerałów, skamieniałości, okazy roślin i zwierząt. To, co zaobserwował podczas podróży, opisał i zanalizował. Te materiały i artykuły stały się punktem wyjściowym dla powstania znanej teorii ewolucji drogą doboru naturalnego. Po wyprawie Darwin opracowuje materiały, znajduje nowe i w roku 1859 ukazuje się jego praca „O powstawaniu gatunków drogą doboru naturalnego, czyli o utrzymywaniu się doskonalszych ras w walce o byt”. Ukazanie się tej książki podzieliło historię rozwoju biologii na „przed ukazaniem się” i „po ukazaniu się”. Powstanie teorii ewolucji Charlesa Darwina stało się znaczącym wydarzeniem XIX wieku. Była to druga, po teorii Larmarcka, teoria ewolucji i ona również nie była przychylnie przyjęta przez wszystkich biologów. Burza napaści na uczonego posypała się po ukazaniu się jeszcze jednej jego genialnej pracy „O pochodzeniu człowieka i doborze płciowym”. Uczony zmarł w 1882 roku w Londynie. Został pochowany w opactwie Westminsterskim obok mogiły Newtona, Dickensa i innych znanych Brytyjczyków.

3. Różne szanse na pozostawienie po sobie płodnego (czyli zdolnego do rozmnażania się) potomstwa u osobników o alternatywnych przejawach cechy. Im większa jest szansa, tym większa ilość kopii określonej cechy będzie przekazana płodnemu potomstwu, czyli będzie większy tzw. sukces reprodukcyjny.

Warto zaznaczyć, że dobór naturalny niby „żywi się” zmiennością i sam ją niszczy w trakcie walki o byt!

A teraz o najważniejszym: jeżeli dobór naturalny będzie się odbywał w ciągu trwałego czasu, to on zmieni populację „nie do poznania”, co doprowadzi do powstania nowego gatunku.

Trzeba uznać zasługi Darwina: przytoczona kolejność logicznych przemyśleń nie po-trzebowała „sił wyższych” – to była całkowicie naukowa teoria. Była to pierwsza teoria, która opisywała asymetryczny w czasie proces. W fizyce podobne teorie opisujące nierównoważne procesy, które wymagają załączenia „strzały czasu”, pojawiają się o wiele później¹.

W początkowej postaci uzasadnienie teorii Darwina napotkało określone trudności. Po pierwsze za czasów Darwina nie znano dokładnego wieku Ziemi: uważano, że on dorównuje kilku dziesiątkom, najwyżej setkom tysiącom lat, a więc wydawało się, że ten okres jest niewystarczający dla powstania nowych gatunków drogą doboru naturalnego. Po drugie nie znano mechanizmów dziedziczenia. Praca Mendla (1865 rok) ukazała się dopiero kilka lat po opublikowaniu badań Darwina (1859 rok) i do 1900 roku była mało znana w środowisku naukowym. Po trzecie Darwin nie wiedział, skąd bierze się zmienność. To było bardzo słabym miejscem jego teorii! On po prostu stwierdzał, że zmienność istnieje i skądś ciągle powstaje (bo w przeciwnym razie dobór naturalny zniszczyłby ją!). Po czwarte Darwin nie wiedział, czy może jego teoria wyjaśnić powstanie tak ważnych narządów jak oko czy mózg. Z kolorem chrząszczy jest o wiele łatwiej! Mimo tych niedociągnięć teoria Darwina jest jednym z największych odkryć w historii nauki!

1 Zrobi to dopiero chemik belgijski, Laureat Nagrody Nobla Ilya Prigogine (Ilya Prigożin) prawie 90 lat później!

Syntetyczna teoria ewolucji połączyła darwinizm z genetyką

Od czasów Charlesa Darwina teoria doboru naturalnego znacznie się zmieniła. Nasze rozumienie dziedziczności oraz samego życia rozszerzyło się, co umożliwiło pokonanie tych trudności, z którymi w środku XIX wieku zetknął się Charles Darwin. Połączenie genetyki, ekologii oraz teorii doboru naturalnego zrodziło nową teorię – **syntetyczną teorię ewolucji**, która potrafi wiele wytłumaczyć i przewidzieć. Rozpatrzmy związane podstawowe założenia tej teorii, którą w połowie XX wieku opracował Theodosius Dobzhanski, Julian Huxley oraz Ernst Mayr i inni wybitni biologowie.

1. Siłą napędową ewolucji jest zmienność dziedziczna – przypadkowe mutacje i rekombinacje informacji dziedzicznej.
2. Najmniejsza jednostka ewolucji – to populacja, a elementarne wydarzenie ewolucyjne – zmiana częstości spotkań alleli w populacji.
3. Dobór naturalny ma charakter adaptacyjny: on prowadzi do doboru korzystnych dla przeżycia i rozmnażania się mutacji i odrzuca szkodliwe.
4. Oprócz doboru naturalnego ważną rolę pełnią też inne procesy, takie jak **fale populacyjne** i **dryf genów**, o czym będzie mowa dalej.
5. Nowe gatunki powstają dzięki barierze rozrodczej (barierze reprodukcyjnej) pomiędzy wyjściowymi populacjami.
6. Wszystkie komórkowe formy życia pochodzą od ostatniego uniwersalnego wspólnego przodka – LUCA¹. Można przedstawić drzewo życia, którego listki będą odzwierciedlać organizmy istniejące obecnie, a gałęzie – ich historię ewolucyjną. Gałęzie będą się łączyły ze sobą, łącząc się w rezultacie w jeden organizm. U podstawy drzewa – LUCA.
7. Mutacje dzielimy nie tylko na korzystne i szkodliwe, większość z nich jest neutralna.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Z faktu № 1 rozważań Darwina przytoczonych w paragrafie wypływa wniosek № 1, ponieważ
A gdyby wszyscy przeżywali, to wielkość populacji nieustannie by rosła
B w realnych populacjach zawsze istnieje jakaś śmiertelność
C fiksowana liczebność uwarunkowana jest zaprzestaniem rozmnażania się
D w przyrodzie często spotyka się trwały wzrost wykładniczy
E im większa jest liczebność populacji, tym mniejsze są w niej szanse na przeżycie
- 2 Uwzględniając założenia Lamarcka dotyczące bakterii i organizmów jednokomórkowych, możemy stwierdzać, że nie wszystkie organizmy stały się tak doskonałe jak ludzie, ponieważ
A nie mieli ku temu wewnętrznego dążenia
B nie wystarczało im czasu
C źle ćwiczyli swoje narządy
D nie wszystkie nabyte cechy są dziedziczne
E obserwuje się znaczna zmienność
- 3 Sukces reprodukcyjny jest tym większy, im
A mniejsza jest ilość potomków organizmu
B większa jest ilość potomków organizmu

1 LUCA – *last universal common ancestor* (ostatni uniwersalny wspólny przodek), najbliższy wspólny przodek wszystkich organizmów żywych żyjących obecnie na Ziemi. Żył prawdopodobnie 3,5–3,8 mld lat temu.

- C organizm rzadziej łączy się w pary
- D organizm częściej łączy się w pary
- E mniej płodni są potomkowie tego organizmu

- 4 Najprostszym wydarzeniem ewolucyjnym w syntetycznej teorii ewolucji jest
- A wzrost liczebności ludzi w Afryce, którzy cierpią na anemię sierpowatą
 - B pojawienie się nowego gatunku komarów roznoszących malarię
 - C pojawienie się mutacji w komórce skóry i powstanie pieprzyków
 - D narodzenie się nowego organizmu
 - E wymieranie grup bakterii w wyniku aktywnego wykorzystywania antybiotyków
- 5 Zaprzestanie przenoszenia genów z jednej populacji do innej powoduje
- A wymieranie gatunku
 - B włączenie się doboru naturalnego
 - C wzmożenie się walki o byt
 - D powstanie nowego gatunku
 - E wzrost zmienności

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Dlaczego im intensywniej odbywa się dobór naturalny, tym mniej wariantów zmienności pozostaje w populacji?
- 7 Jaki rodzaj walki o byt opisano na podstawie przykładu z chrząszczami? Dlaczego zwyciężają „zielone chrząszcze”?
- 8 Jakie są przyczyny tego, że w fakcie № 4 rozważań Darwina (przytoczonych w paragrafie) osobnicy o cechach A i B mają nierówne szanse na pozostawienie po sobie potomków i przekazanie im swojej cechy?
- 9 Co wspólnego mają teorie ewolucyjne Darwina i Lamarcka?
- 10 Zaproponuj eksperymenty i własne obserwacje, które pozwolą sprostować teorię ewolucji Lamarcka.
- 11 Jakie są przyczyny powstania syntetycznej teorii ewolucji?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 12 Charles Darwin w swoim czasie nie mógł obalić „koszmaru Jenkina”, dlatego zmuszony był wnosić zmiany do swojej teorii. Obal stwierdzenia nazywane „koszmarem Jenkina”.
- 13 Dla wielu organizmów charakterystyczny jest dobór płciowy: samiec, który zwyciężył w sparyngu z innymi, jest sprawniejszy w śpiewie czy budowaniu mieszkania, osiąga reproduktywnego sukcesu i rozmnaża się, a ten, co przegrał – nie. Jaki sens ewolucyjny ma dobór płciowy?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 14 Wyjaśnij powstanie długiej szyi u żyrafy z punktu widzenia doboru naturalnego.
- 15 Jakie obserwacje biologiczne Charlesa Darwina doprowadziły go do powstania teorii ewolucji?
- 16 Jakie dowody ma współczesny neolamarkizm? Czy nie przeczy on syntetycznej teorii ewolucji?

§ 42. Czynniki ewolucyjne

Dobór naturalny – przyczyną rozwoju adaptacji

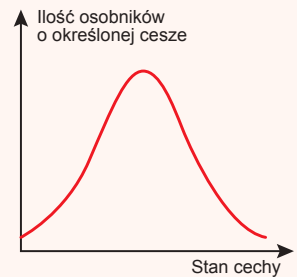
W poprzednim paragrafie zapoznałeś się z takim pojęciem jak dobór naturalny – proces, który zapewnia przeżycie najbardziej przystosowanych osobników i przekazywanie przez nich swoich cech potomkom. W syntetycznej teorii ewolucji dobór naturalny rozpatrywany jest jako jedyna przyczyna rozwoju adaptacji oraz jedna z podstawowych sił napędowych ewolucji. Pod **adaptacją** podrozumiewa się ukształtowana w procesie ewolucji zdolność organizmu do przeżycia w środowisku naturalnym.

Dobór naturalny warunkuje zmiany ewolucyjne tylko pod warunkiem istnienia zmienności dziedzicznej

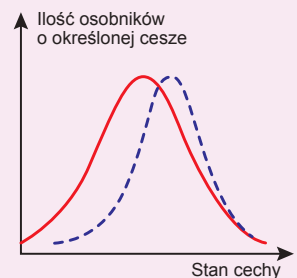
Dobór naturalny może po różnemu przejawiać się w różnych sytuacjach. Biolodzy ewolucyjni wyodrębniają różne rodzaje doboru naturalnego. Rozpatrzmy, jak dobór naturalny może wpływać na rozpowszechnienie w populacji takiej cechy ilościowej jak masa ciała. Jak już dowiedziałeś się z § 36, rozdzielenie cechy wśród osobników w populacji zwykle wygląda jak na rycinie 42.1.

Przede wszystkim zatrzymajmy się na najważniejszym komponencie – zmienności dziedzicznej, która jest niezbędna dla ewolucji. Załóżmy, że mamy jednorodną populację, wszystkie osobniki są homozygotą pod względem genu, który odpowiada za określenie masy ciała, czyli posiadają genotyp aa. Jednak podział fenotypów w populacji będzie podobny do tego, który jest ukazany na rycinie 42.1. Odmienności w masie ciała u tych osobników są uwarunkowane nie dziedziczną, lecz modyfikacyjną zmiennością: ktoś waży więcej, ktoś – mniej. Przypuśćmy, że potem w pewnym momencie przychodzi drapieżnik i zjada wszystkich osobników o masie niższej niż średnia (np. oni nie potrafią się obronić). W taki sposób odbywa się proces doboru. Rozdzielenie fenotypów w tej grupie się zmienia, przesuwał się w kierunku „cięższych” osobników (ryc. 42.2).

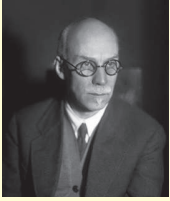
Taka zmiana podziału fenotypów w populacji jest analogiczna do tzw. napędowego doboru. Popatrzmy teraz, jak zmieni się stosunek fenotypów w następnym pokoleniu, jeśli pozwolimy „cięższym” osobnikom, które pozostały, krzyżować się między sobą. Okaze się, że stosunek nie zmieni się i będzie taki sam, jaki był w populacji wyjściowej przed doбором! Przecież wszystkie osobniki są homozygotami, więc rodzaj podziału określa się zmiennością niedziedziczną. Jak długo nie trwałby dobór, każde nowe pokolenie w wyjściowym stanie będzie miało dzwono kształtny stosunek fenotypów o tej samej średniej masie: ktoś zawsze będzie „cięższy”, a ktoś – „lżejszy”. Dlatego bez istnienia zmienności dziedzicznej nie sposób rozpocząć procesu ewolucyjnego.



Ryc. 42.1.
Stosunek spotykania różnych wariantów cechy



Ryc. 42.2. **Zmiana stosunku fenotypów po zżarciu przez drapieżnika „lżejszych” osobników**



Iwan Schmalhausen

Urodził się w 1884 roku w Kijowie. Studiował na Uniwersytecie Kijowskim. Pracował na Uniwersytecie Kijowskim i uniwersytecie Moskiewskim, Instytucie Zoologii Ukraińskiej Akademii Nauk, Instytucie Morfologii Ewolucyjnej i Zoologicznym Instytucie Akademii Nauk Związku Radzieckiego. Schmalhausen jest jednym z twórców syntetycznej teorii ewolucji, autorem nauki o rodzajach doboru naturalnego.

Uczony badał procesy wzrastania organizmów, wyjście kręgowców na ląd, wiele uwagi poświęcał zastosowaniu cybernetyki w biologii. W sierpniu 1948 roku w Moskwie odbyła się tragiczna sesja Akademii Nauk Rolniczych Związku Radzieckiego, podczas której genetyków oskarżono o popieranie państw kapitalistycznych. Iwan Schmalhausen został zwolniony z pracy. W 1955 roku on podpisał „List trzystu” – list od grupy uczonych ZSRR o stanie biologii i o ucisku wybitnych uczonych. Ten list sprzyjał uwolnieniu się naukowej myśli biologicznej od ideologii komunistycznej. Iwan Schmalhausen zmarł w 1963 roku. Obecnie jego imię nosi Instytut Zoologii Narodowej Akademii Nauk Ukrainy.

Dobór stabilizujący „zwęża” rozkład cechy

Załóżmy, że nasza cecha jest genetycznie utrwalona. Rozpatrzmy najprostszy schemat dziedziczenia – jednogenowe dziedziczenie o niepełnej dominacji. Pamiętajmy, że w tym przypadku mamy trzy warianty genotypu i trzy warianty fenotypu:

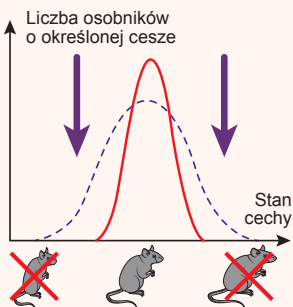
- osobniki o genotypie AA mają większą masę,
- osobniki o genotypie aa – mniejszą,
- osobniki o genotypie Aa – średnie znaczenie masy ciała.

Założmy, że zmienność modyfikacyjna rozmywa granice między grupami fenotypowymi, dlatego w populacji obserwujemy dzwono kształtny rozkład.

Teraz na przykładzie takiej populacji rozpatrzmy działanie różnorodnych form doboru.

Przypuśćmy, że osobniki o skrajnych wartościach cechy mają mniejsze szanse po-

zostawienia po sobie potomstwa niż osobniki o umiarkowanych wartościach. Czyli w populacji trwa eliminowanie osobników o skrajnych wartościach cechy. Taki dobór nazywany jest **doborem stabilizującym**. A więc w granicach jednego pokolenia forma rozkładu cechy będzie węższa (ryc. 42.3). Ale czy będzie taka zmiana formy rozkładu fenotypów przekazywana z pokolenia na pokolenie? Przypuśćmy, że osobniki o genotypie AA (przeważnie większa masa) i o genotypie aa (przeważnie mniejsza masa) mają mniejsze szanse dożycia do wieku reprodukcyjnego i pozostawienia po sobie potomstwa. Osobniki o genotypie Aa przeżywają i pozostawiają po sobie potomstwo. Nawet w przypadku śmierci wszystkich homozygot, w następnym pokoleniu one wg prawa Mendla¹, znów się urodzą, ale nie dożyją do wieku reprodukcyjnego. W ten sposób przejawia się dobór stabilizujący: mimo że forma rozkładu cechy w granicach jednego pokolenia staje się węższa, z pokolenia na pokolenie ona się nie zmienia².



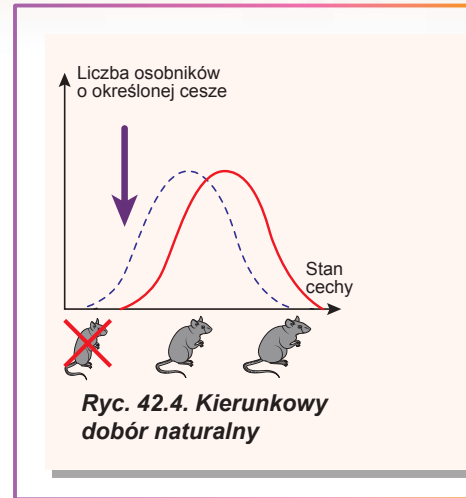
Ryc. 42.3.
Stabilizujący
dobór naturalny

1 Krzyżowanie się heterozygot Aa spowoduje rozszczepienie wg genotypu 1AA : 2Aa : 1aa.

2 Możliwe są jednak przypadki, kiedy rozkład cechy w populacji będzie się stawać węższy. Charakterystyczny przykład – wielokrotny allelizm o niepełnej dominacji. W tym przypadku stabilizujący dobór może „oczyszczyć” populację od niektórych alleli.

Dobór kierunkowy „przesuwa” rozkład cechy

Wyobraźmy sobie inną sytuację: niech poziom przeżycia osobników mających jedną ze skrajnych wartości cechy jest wyższy niż u innych. W tym przypadku rozkład będzie przesunięty w jedną stronę. Taki dobór nazywamy **doborem kierunkowym** (ryc. 42.4). Rozpatrzyliśmy już analog działania doboru kierunkowego na przykładzie populacji homozygotycznej. Wtedy rozkład fenotypów nie był przekazywany z pokolenia na pokolenie. Popatrzmy teraz, jak będzie się zachowywała populacja o genotypach AA, Aa i aa. Rozpatrzmy tę samą sytuację: drapieżca przeważnie zjada osobniki o niewielkiej masie. Oczywiście jest, że najbardziej przy tym cierpią osobniki o genotypie aa i one mają mniejsze szanse na pozostawienie po sobie potomstwa. Otóż w następnym pokoleniu częstość allele a zmniejszy się, a rozkład fenotypów zmieni swoją formę.

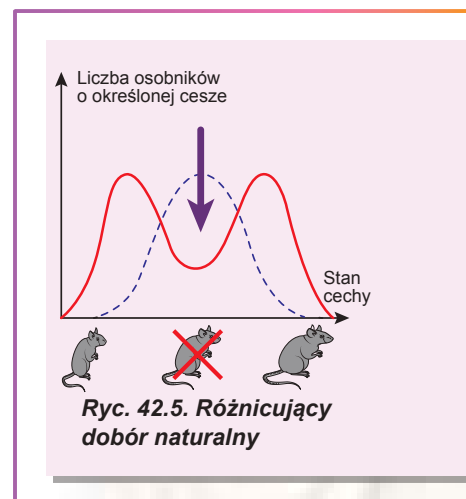


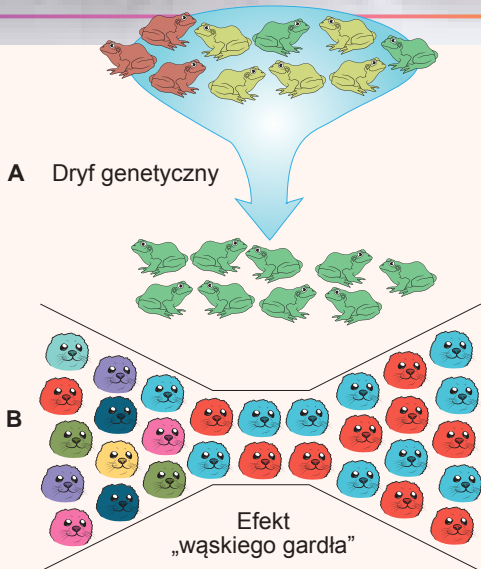
Dobór różnicujący „rozbija” rozkład na dwie części

Ostatni typ doboru naturalnego – **dobór różnicujący (rozbijający)** (ryc. 42.5). W tym przypadku mniej szans na pozostawienie po sobie potomstwa mają osobniki o umiarkowanych wartościach. Natomiast osobniki o skrajnych wartościach otrzymują przewagę. Przy tym po działaniu doboru w populacji będzie się spozstrzegać „dwugarbny” rozkład fenotypów. Popatrzmy, co będzie się odbywało z dziedziczeniem. Oczywiście jest, że „pod ostrzał” przede wszystkim trafią heterozygoty, a homozygoty otrzymają większe szanse na pozostawienie po sobie potomstwa. Jednak krzyżowanie homozygot AA oraz aa ze sobą doprowadzi do urodzenia się heterozygot Aa. Dlatego też dobór ich się nie pozbędzie. Rozkład fenotypów w następnym pokoleniu znów będzie miał dzwono podobny kształt. Co prawda jest tu niewielka różnica w porównaniu z doborem stabilizującym: jeśli heterozygoty (które w tym przypadku są potomkami krzyżowania się homozygot) nie będą dożywały do wieku reprodukcyjnego w wyniku działania doboru różnicującego, to okaże się, że wymiana genów między osobnikami o genotypie AA i osobnikami o genotypie aa będzie dorównywać zerowi! Możemy przypuszczać, że każda grupa homozygot będzie miała własną pulę genową. Po pewnym czasie podobny dobór w połączeniu z mutagenezą może doprowadzić do powstania dwóch rozdzielonych populacji!

Dryf genów przypadkowo zmniejsza różnorodność fenotypów

Darwin sądził, że dobór naturalny jest jedynym mechanizmem zmian ewolucyjnych. Obecnie zmiany ewolucyjne, zgodnie z syntetyczną teorią ewolucji, przede wszystkim są rozumiane jako zmiany częstości alleli w populacji. Dobór naturalny wyznacza ukierunkowane zmiany adaptacyjne, które prowadzą do zwiększenia ogólnego przystosowania się organizmów do warunków środowiska. Ale obok doboru naturalnego obserwujemy też przypadkowe, nieukierunkowane zmiany (wahania się) częstości alleli w populacji, które nazywają się **dryfem genetycznym**.





Ryc. 42.6. Dryf genetyczny(A) i efekt „wąskiego gardła” (B)

Przypuśćmy, że w jeziorze była wielka populacja żab, które miały różnorodne zabarwienie ciała. Potem zaczął się okres suszy, w wyniku czego część żab zginęła, a przeżyły tylko jednostki, które przechowywały się w małych kałużach. Po sezonie deszczy jezioro napełniło się wodą i populacja żab wznowiła swoją liczebność. Jak okazało się, różnorodne zabarwienie skóry w populacji znacznie się zmniejszyło! To wcale nie było związane z tym, że żaby o jakimś pewnym kolorze lepiej znoszą posuchę, lecz z przypadkiem: wszystkie żaby, które przeżyły, okazały się zielone (ryc. 42.6, A). W sąsiednim jeziorze to mogły być brązowe żaby, a jeszcze w innym – żółte. Żaby, które przeżyły, przekazały swoim potomkom te allele, jakie miały. Taki model jest nazywany **efektem „wąskiego gardła”** (ryc. 42.6, B). Jak widzimy, dryf genetyczny prowadzi do zniżenia jak genetycznej, tak i fenotypowej różnorodności populacji. Zmienność „zjada się” dryfem genetycznym oraz doбором naturalnym.

Istnieje wiele przykładów populacji, które przeżyły efekt wąskiego gardła. Najbardziej dobitny przykład – północne słonie morskie (ryc. 42.7, A). W wyniku bardzo intensywnych polowań w XVIII wieku ich populacja skróciła się w przybliżeniu do 20 osobników. Wprowadzono więc działania mające na celu ochronę słoni morskich. Obecnie ich populacja liczy ponad 200 tysięcy osobników. Jednak zróżnicowanie genetyczne pod wpływem dryfu genetycznego jest niewielkie. Wywołuje to poważne obawy dotyczące zachowania gatunku w przyszłości, ponieważ zróżnicowanie genetyczne jest podstawą przetrwania w zmieniających się warunkach.

Niektóre żywe organizmy stale podlegają dryfowi genów. Przykładem służy morski plankton, który stale jest wyjadany przez wielkie organizmy morskie (ryc. 42.7, B). Przy tym biomasa planktonu jest niewielka: mimo że on szybko się rozmnaża, tak samo szybko jest zjadany przez filtratory.



Ryc. 42.7. Walczące ze sobą samce północnych słoni morskich (A), plankton (B)

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 W genetycznie jednorodnej populacji homozygotycznej dobór naturalny
A prowadzi do powstania nowych populacji
B zmienia częstotliwość spotykania się alleli
C wyniszcza genetycznie zróżnicowane organizmy
D zwiększa ilość wariacji E nie działa
- 2 W populacjach krępaka nabrzozaka w połowie XIX wieku z powodu ściemnienia kory brzozy zwiększyła się część osobników o rzadko spotykanym ciemnym zabarwieniu. Jest to wynik takiego doboru naturalnego jak
A modyfikacyjny B różnicujący C kierunkowy
D stabilizujący E darwinowski
- 3 Do powstania dwóch różnych gatunków jednocześnie może doprowadzić taki typ doboru naturalnego jak
A dziedziczny B stabilizujący C kierunkowy
D różnicujący E dryfowy
- 4 Każdego roku efekt „wąskiego gardła” przeżywa
A muszka owocowa B człowiek C słoń D dąb E pałeczka okrężnicy
- 5 Dryf genetyczny najbardziej przejawia się w populacjach
A o niewielkiej liczebności B o wielkiej liczebności
C które się stale zwiększają D reproduktywnie nieodizolowanych
E roślin

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Uzasadnij niezbędność zmienności dziedzicznej dla procesu ewolucyjnego.
- 7 Czy wszystkie rodzaje doboru naturalnego mogą doprowadzić do powstania nowych gatunków?
- 8 Czy niemożliwość całkowitego pozbycia się heterozygot powoduje w modelowej populacji przy doborze różnicującym przerwanie doboru na pewnym etapie?
- 9 Dlaczego dryf genetyczny zmniejsza zróżnicowanie fenotypowe populacji?
- 10 Motyle na wyspach oceanicznych mają dużą i małą wielkość skrzydeł, ale nie ma motyli o średniej wielkości skrzydeł. Działanie jakiego doboru naturalnego jest przyczyną tego zjawiska?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11 Na czym polega zasada (efekt) założyciela i w ewolucji jakich organizmów on pełnił ważną rolę?
- 12 Jakie mechanizmy dryfu genetycznego, oprócz efektu „wąskiego gardła”, są możliwe?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13 Dlaczego zmniejszenie się genetycznego zróżnicowania gatunku przyczynia się do jego wymierania?
- 14 Czy człowiek poddaje się działaniu jakiegoś rodzaju doboru naturalnego?
- 15 Jak działa dobór naturalny na poziomach cząsteczek i komórek?

§ 43. Mechanizmy powstawania gatunków

Koncepcja gatunku biologicznego – jeden z najbardziej skomplikowanych problemów biologii

Codziennie stykamy się z pojęciem gatunku. Usiłujemy rozróżnić gatunki ptaków na podwórku szkolnym, kwiatów na łące, ryb w akwarium. Każdy gatunek ma swoje charakterystyczne cechy biologiczne, na różne sposoby może pomagać człowiekowi. Bardzo ważna jest umiejętność rozróżniania grzybów trujących od jadalnych. Jednak nie zawsze wiemy, jak wyznaczyć granice między gatunkami. Przedtem dla wyznaczania gatunku wykorzystywano różne kryteria: wspólne terytorium zamieszkania (geograficzne), jednakowe przystosowania się do warunków otaczającego środowiska (ekologiczne), podobieństwo składu chemicznego i przemiany substancji (biochemiczne), osobliwości anatomii i wyglądu zewnętrznego (morfologiczne). Ale pojęcie gatunku oparte na tych kryteriach nie zawsze jest zadowalające. Na przykład ludzie mimo różnego koloru skóry, przekroju oczu, kształtu czaszki należą do jednego gatunku – Człowiek rozumny (*Homo sapiens*)¹. Natomiast niektóre gatunki świstunek są tak podobne do siebie, że odróżnić je na podstawie wyglądu zewnętrznego potrafi tylko fachowiec (ryc. 43.1). Jednak możemy stwierdzać, że te ptaki należą do różnych gatunków. Więc jakie ma być kryterium, które pozwoliłoby wyodrębniać gatunki? W tym paragrafie przytoczymy najbardziej pełną i dogodną do wykorzystania w biologii definicję **gatunku biologicznego**.

Gatunek biologiczny – to populacja lub grupa populacji, których członkowie mogą krzyżować się między sobą i wydawać płodne potomstwo, ale nie potrafią krzyżować się i wydawać płodnego potomstwa z członkami innych podobnych grup.

Zastosowawszy tę definicję do człowieka, wykryjemy, że wszyscy ludzie są przedstawicielami jednego gatunku, ponieważ międzyrasowe śluby są możliwe i w tych związkach rodzą się zdrowe dzieci. Natomiast pierwiosnek nie krzyżuje się z piecuszkiem, więc te ptaki należą do różnych gatunków biologicznych.

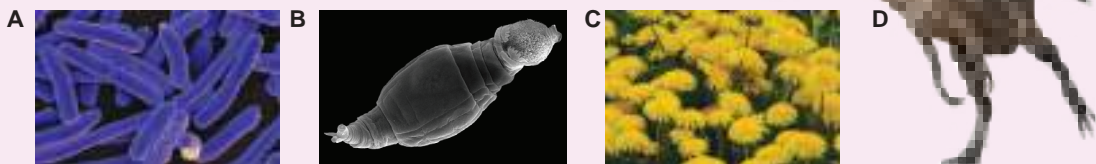
Określeniem gatunku biologicznego dogodnie jest posługiwać się w biologii ewolucyjnej, ale można go zastosowywać nie zawsze. Na przykład nie można go stosować do organizmów, które nie rozmnażają się drogą płciową (czyli do wszystkich bakterii (ryc. 43.2, A),



Ryc. 43.1.

A. Wszyscy ludzie żyjący we współczesnym świecie należą do jednego gatunku – Człowiek rozumny (*Homo sapiens*). Mimo podobieństwa zewnętrznego piecuszek (B) i pierwiosnek (C) – to dwa różne gatunki biologiczne.

1 Nawet do jednego podgatunku – *Homo sapiens*



Ryc. 43.2. Przykłady organizmów, dla których pojęcie „gatunek biologiczny” jest ograniczone

A. Bakterie nie rozmnażają się drogą płciową, dlatego pojęcie gatunku biologicznego do nich nie można zastosowywać. **B.** Większość wrotek – rozpowszechnionych wszędzie mikroskopowych organizmów wodnych – nie posiada samców, a samice rozwijają się z niezaplodnionych jaj. One się nie krzyżują. **C.** Brzegowe kwiaty mniszka nie posiadają pręcików są płonne. **D.** Allozaur – duży drapieżnik żyjący w jurze. Paleontolodzy wyodrębniają trzy-cztery gatunki allozaurów na podstawie budowy ich szczątków. Nie możemy jednak sprawdzić, czy one były różnymi gatunkami biologicznymi, czy rasami jednego gatunku.

większości pierwotniaków i wielu organizmów wielokomórkowych) czy rozwijają się wyłącznie z niezaplodnionych komórek jajowych¹. Są to na przykład mikroskopowe wrotki lub mniszek (ryc. 43.2, B, C). W tych przypadkach krzyżowanie nie zachodzi, dlatego zaproponowana wcześniej definicja gatunku biologicznego jest tu nie do przyjęcia.

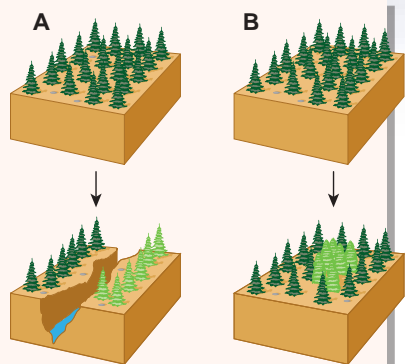
Nie można również wykorzystać tej definicji do opisu wymarłych zwierząt: nie możemy określić, czy krzyżowały się podobne gatunki dinozaurów w przyrodzie. Problem polega na tym, że te gatunki opisano wyłącznie na podstawie budowy szkieletu, a one mogły być po prostu różnymi osobnikami jednego różnorodnego gatunku (ryc. 43.2, D).

Nowe gatunki pojawiają się na skutek różnych procesów biologicznych

Charles Darwin swoją pracą epokową, w której wyjaśnił koncepcję doboru naturalnego, nazwał „O powstawaniu gatunków drogą doboru naturalnego”. Uczony stwierdził, że głównym zadaniem teorii ewolucji jest wyjaśnienie powstawania nowych gatunków. Mimo że w owych czasach pojęcie gatunku jeszcze nie było opracowane, Darwin i jego zwolennicy dość precyzyjnie sformułowali podstawowe procesy gatunkotwórcze. Najbardziej rozpowszechnionym wśród nich jest geograficzny i ekologiczny proces gatunkotwórczy (ryc. 43.3).

Geograficzny proces gatunkotwórczy odbywa się pod warunkiem rozdzielania terytorium zamieszkania populacji przynajmniej na dwie części, które są odizolowane za pomocą pewnej przeszkody geograficznej. Odpowiednio między dwiema nowymi populacjami powstaje izolacja reprodukcyjna. Jeśli na przykład kanał łączący jeziora ukazane na ryc. 40.2 będzie wysychał, odbędzie się powstawanie nowych gatunków ryb wskutek geograficznego procesu gatunkotwórczego. Dobitym przykładem takiego procesu jest rozdzielenie Wielkim Kanionem terytorium istnienia (arealu) gatunku wyjściowego piaszczyków. W rezultacie po różne strony kanionu powstały dwa różne gatunki gryzoni.

1 Przypomnijmy, że partenogeneza – rozwój dorosłego organizmu z niezaplodnionej komórki jajowej – też zaliczana jest do rozmnażania płciowego, ponieważ zachodzi mejoza i powstanie gamet.



Ryc. 43.3. Typy procesów gatunkotwórczych

- A. Geograficzny.
- B. Ekologiczny.

Do ekologicznego procesu gatunkotwórczego niezbędne jest pojawienie się reprodukcyjnej izolacji bez pojawienia się przeszkody fizycznej. To jest możliwe wtedy, kiedy z pewnych przyczyn różne osobniki krzyżują się w różnym czasie lub zamieszkują i żywią się w różnych częściach jedyne go areалу. Jeszcze jedną możliwością takiego procesu gatunkotwórczego jest poliploidyzacja. Tak powstały różne gatunki ziemniaków i chryzantem, które różnią się ilością chromosomów w kariotypie. Od czasu do czasu nowe gatunki powstają wskutek pomyślnego krzyżowania gatunków wyjściowych. Śliwa domowa powstała jako wynik zapylenia krzyżowego tarniny i ałyczy.

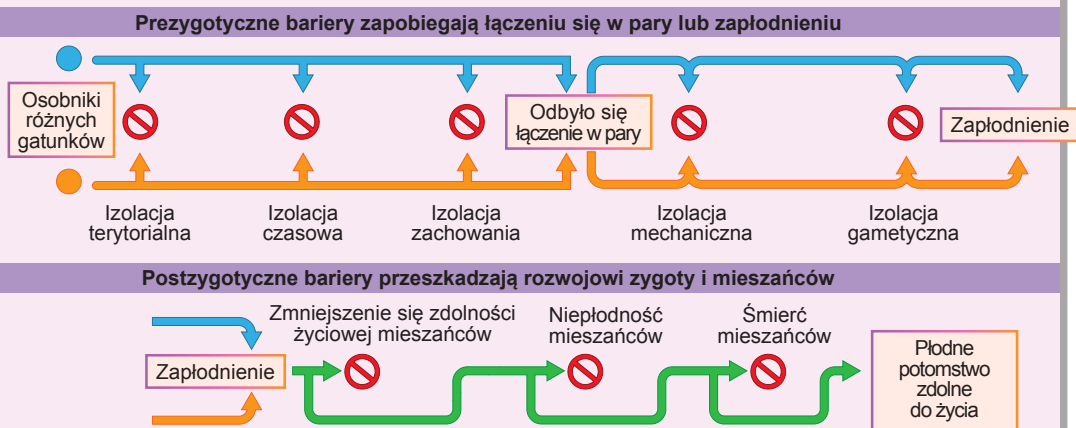
Powstanie reprodukcyjnych barier – to ważny czynnik procesu gatunkotwórczego

Nie rozpatrzyliśmy jeszcze mechanizmów procesu gatunkotwórczego. Syntetyczna teoria ewolucji zapewnia, że jeżeli wyjściową populację podzielić na dwie, poddać wpływowi różnych warunków doboru naturalnego i dryfu genów,

to z biegiem czasu one nagromadzą dostateczną ilość różnic, aby ich przedstawiciele nie mogli krzyżować się ze sobą. W ten sposób między populacjami powstanie **bariera reprodukcyjna**. Powstanie barier reprodukcyjnych – podstawowy mechanizm procesu gatunkotwórczego. Bariera reprodukcyjna - to dowolna przeszkoda stojąca na drodze powstania płodnego potomstwa. Rozpatrzmy podstawowe typy takich barier (ryc. 43.4).

Z początku rozpatrzmy **izolację prezygotyczną** – przyczyny zapobiegające zapłodnieniu i powstawaniu zygoty.

Pierwszą barierą jest **izolację przestrzenna**: osobniki nie mogą krzyżować się, ponieważ ich miejsce zamieszkania jest różne. Znany nam już przykład – ryby zamieszkujące różne jeziora, które nie są połączone między sobą.



Rys 43.4. Działanie barier reprodukcyjnych

Następna bariera – **izolacja sezonowa**, kiedy okresy rozmnażania organizmów nie zbiegają się. Na przykład rośliny mogą kwitnąć w różnym czasie, co uniemożliwi zapylanie krzyżowe między nimi.

Bardzo ważna jest **izolacja etologiczna** – dotyczy gatunków zwierząt różniących się zachowaniem godowym, w wyniku czego nie może odbyć się łączenie w pary i krzyżowanie. Różnice morfologiczne piecuszków nie są znaczące, ale ich śpiewy są rażąco różne. Samice odczytują tylko sygnały godowe wysyłane przez samce swojego gatunku. Samice cykad zachodzą swoich samców w ten sam sposób. Samce robaczków świętojańskich przywabiają samek błyskami światła, charakterystycznymi dla danego gatunku i które przypominają kod alfabetu Morse'a. Nawet jeśli osobniki urzeczywistniły rytuał godowy, skuteczne krzyżowanie może się nie odbyć.

Przyczyną będzie **izolacja mechaniczna** – struktura anatomiczna narządów rozrodczych uniemożliwia krzyżowanie się partnerów. Na przykład u owadów narządy płciowe są okryte kutykulą, są dość twarde i nieplastyczne. Aby doszło do krzyżowania, ich wielkość i kształt ma pasować tak, jak klucz do zamka. Z tego powodu większość gatunków chrząszczy i pluskwiaków różni się wyłącznie pod względem kształtu zewnętrznych narządów płciowych, co przeszkadza krzyżowaniu się między gatunkowemu.

Ostatnia bariera na drodze powstawania zygoty – zapewnienie zlania się gamet. **Izolacja gametyczna** polega na tym, że gamety różnych gatunków nie są zdolne do połączenia się ze sobą. Ten mechanizm izolacji ważny jest dla zwierząt o zapłodnieniu zewnętrznym (na przykład dla ryb). Wiadomo, że niektóre gatunki ryb wyrzucają ikrę i mleczko razem, ale międzygatunkowe krzyżowanie nie zachodzi, ponieważ plemniki i komórki jajowe różnych gatunków nie są zgodne: one posiadają różne komplety cząsteczek powierzchniowych, które są odpowiedzialne za rozpoznanie i zlanie się gamet.

Jednak nawet po utworzeniu się zygoty wynikają przeszkody na drodze międzygatunkowego krzyżowania – **postzygotyczne bariery**.

Po pierwsze mieszańce mogą być niezdolne do życia. Często międzygatunkowe mieszańce giną na wczesnych stadiach rozwoju embrionalnego, jak to ma miejsce przy krzyżowaniu się północnej i południowej rasy lamparciej żaby Ameryki Północnej.

Po drugie nawet zdolne do życia **mieszańce mogą być sterylne**. Zwykle sterylność mieszańców związana jest z tym, że one posiadają nietypowy zestaw chromosomów, co jest mieszkanką z kariotypów obojga rodziców, dlatego normalna mejoza nie może zachodzić. Takie zjawisko obserwujemy na przykład przy krzyżowaniu kłaczy i osła. Kłacz ma w diploidalnym zestawie 64 chromosomy, osioł – 62 chromosomy. Mieszaniec osła i kłaczy – muła – posiada nieparzystą liczbę chromosomów – 63, która nie może podzielić się na pary podczas mejozy. Inny przykład, który już był rozpatrywany – to diploidalne i tetraploidalne odmiany arbuza. Przy krzyżowaniu one dają sterylne triploidalne rośliny.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Kryterium reprodukcyjnego gatunku biologicznego NIE można zastosować do gatunku
A Mysz domowa B Człowiek rozumny C Stulbia pospolita
D Jabłoń domowa E Tyranozaur
- 2 Geograficznemu procesowi gatunkotwórczemu odpowiada taki przykład jak:
A powstanie nowego gatunku pszenicy z dwukrotnie większą ilością chromosomów
B powstanie na wyspach różnych gatunków jer od wspólnego przodka macierzystego
C zmiana zabarwienia sierści zająca umożliwiającą maskowanie się w zimie
D pojawienie się muła w wyniku krzyżowania kłaczy i osła
E odrastanie ogona u jaszczurki po jego utracie

- 3** Jedna rasa muszki owocowej rozmnaża się zwykle na głogu, a inna – na jabłoni. Powstał typ (1) i podtyp (2) bariery reprodukcyjnej
- A** 1 – prezygotyczny, 2 – izolacja przestrzenna
B 1 – postzygotyczny, 2 – izolacja czasowa
C 1 – prezygotyczny, 2 – izolacja etologiczna
D 1 – postzygotyczny, 2 – izolacja mechaniczna
E 1 – prezygotyczny, 2 – izolacja gametyczna
- 4** Koń i osioł – to różne gatunki biologiczne, ponieważ
- A** one się nie krzyżują
B przy krzyżowaniu nie są płodne
C ich potomstwo nie jest płodne
D ich mieszańce giną we wczesnych stadiach rozwoju
E ich gamety nie są zdolne do połączenia się
- 5** W obecności bariery reprodukcyjnej odbywa się
- A** powstawanie nowych gatunków
B zwiększenie się częstości krzyżowania między osobnikami
C zmniejszenie się liczebności osobników tego gatunku
D zmniejszenie się ilości gatunków
E rozmnażanie bezpłciowe w populacjach

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Porównaj geograficzny i ekologiczny proces gatunkotwórczy wg szeregu kryteriów.
- 7** Jak będzie się odbywać geograficzny proces gatunkotwórczy wraz z powstaniem nie dwóch, lecz trzech lub czterech gatunków od wyjściowych?
- 8** W celu przeprowadzenia sztucznego krzyżowania zwierząt uczeni mogą przynieść gamety jednego organizmu do dróg płciowych innego. Pod jakim warunkiem w wyniku takich eksperymentów mogą powstać nowe gatunki?
- 9** Jakie cechy działalności życiowej powinien posiadać organizm, aby względem niego można było zastosować definicję gatunku biologicznego?
- 10** Dlaczego dla roślin nie jest charakterystyczna izolacja etologiczna?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Jakie jeszcze typy procesów gatunkotwórczych wyodrębniają biolodzy.
- 12** Podaj charakterystykę możliwych przyczyn sterility hybrydów międzygatunkowych.
- 13** Biologowi Ch. Szaposznykowowi udało się w ciągu kilku miesięcy otrzymać nowe gatunki mszyc. Jak on przeprowadzał eksperyment i dlaczego otrzymane formy można zaliczyć do oddzielnych gatunków biologicznych?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 14** Opisz inne kryteria, które mogą być wykorzystane w celu odróżnienia organizmu jednego gatunku od organizmu innego gatunku.
- 15** Jakie są podejścia do definicji pojęcia „gatunek”? Dlaczego sformułowano tak wiele definicji gatunku?

§ 44. Dowody ewolucji

Paleontologia – nauka o historii życia

Paleontologia – to nauka o kopalnych organizmach, które w przeszłości zamieszkiwały naszą Ziemię. Głównym zadaniem paleontologii jest rekonstrukcja wyglądu zewnętrzznego oraz osobliwości zachowania, fizjologii i ekologii organizmów wymarłych.

Historia Ziemi liczy około 4,54 mld lat. Właśnie wtedy w wyniku zagęszczania się pyłu kosmicznego otaczającego Słońce uformowała się planeta Ziemia. Sądzi się, że pierwsze żywe organizmy pojawiły się na młodej Ziemi około 3,8 mld lat temu w epoce, która nosi nazwę **eonu archaicznego**. W ciągu miliardów lat życie reprezentowały jednokomórkowe organizmy bezjądrowe. A pierwsze wiarygodne szczątki kopalne organizmów wielokomórkowych datowane są na około 1,2 mld lat temu i należą już do okresu następnego neonu – proterozoiku¹.

Okolo 540 mln lat temu zaczęła się nowa epoka rozwoju życia na Ziemi – **fanerozoik** albo epoka „jawnego” życia. Fanerozoik dzieli się na trzy ery: paleozoik, mezozoik, kenozoik. W paleozoiku powstają i rozwijają się zwierzęta kręgowy, pojawiają się pierwsze rośliny lądowe, po nich na ląd „wychodzą” owady i płazy. Koniec paleozoiku cechuje pojawienie się roślin nagonasiennych i gadów oraz najobszerniejsze wymieranie organizmów żywych za całą historię Ziemi. W mezozoiku obserwujemy rozkwit gadów, pojawienie się ogromnej różnorodności dinozaurów, pterozaurów, ichtiozaurów, plezjozaurów i in². Pojawiają się rośliny kwiatowe, ptaki i ssaki. Następną erą – kenozoik – zaznaczyła się rozkwitem ssaków i ptaków. Należy pamiętać, że era kenozoiczna trwa i my w niej żyjemy. Zmiany epok i okresów można przedstawić w postaci skali geochronologicznej (tab. 44.1).

Tabela 44.1. Skala geochronologiczna i podstawowe etapy rozwoju życia na Ziemi

Eon	Era	Granice czasowe (lat temu)	Najważniejsze wydarzenia
Fanerozoik	Kenozoik	66 mln – nasze czasy	Rozwój ssaków i ptaków, pojawienie się człowieka
	Mezozoik	252–66 mln	Pojawienie się ptaków, ssaków i roślin kwiatowych
	Paleozoik	540–252 mln	Pojawienie się i rozwój współczesnych grup zwierząt i roślin, wyjście życia na ląd
Proterozoik		2,5 mld–540 mln	Pojawienie się pierwszych glonów wielokomórkowych i zwierząt
Archaik		4–2,5 mld	Pojawienie się pierwszych organizmów żywych, fotosyntezy tlenowej i eukariotów

1 Tu chodzi o szczątki krasnorostów, szczątki zwierząt wielokomórkowych pojawiają się później.

2 Przypomnijmy, że wbrew rozpowszechnionemu mniemaniu wszystkie te grupy mają różne pochodzenie i nie należą do nadrzędu dinozaurów.

A



B



Ryc. 44.1.

A. Ślad archeopteryksa

B. Rekonstrukcja wyglądu zewnętrznego archeopteryksa.

Paleontologiczne dowody ewolucji w postaci szczątków kopalnych

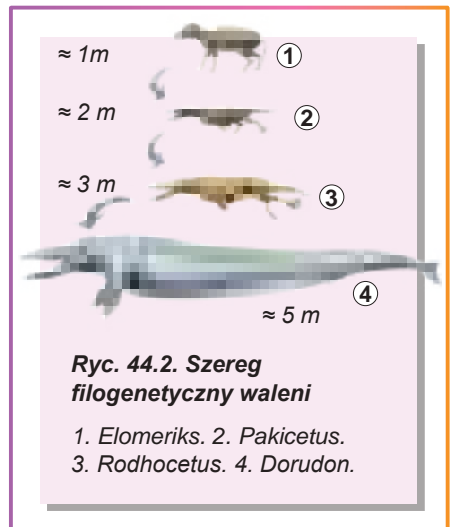
Jednym z najlepszych dowodów ewolucji służy obecność tzw. form przejściowych – organizmów, które łączą w sobie cechy budowy charakterystyczne dla kilku grup systematycznych. Takie połączenie cech obowiązkowo wynika w procesie postępowego przejścia od jednego planu budowy do innego. Zwykle formy przejściowe posiadają bardziej prymitywne cechy budowy niż ich potomkowie, ale i bardziej progresywne cechy niż ich przodkowie. Charles Darwin przypuszczał obecność podobnych organizmów,

jednak w chwili powstania teorii doboru naturalnego formy przejściowe jeszcze nie były znane. W 1863 roku w Bawarii znaleziono szkielet archeopteryksa – małego gada żyjącego w jurze (ryc. 44.1). Archeopteryks łączył w sobie cechy, które były charakterystyczne dla płazów (zęby, typowa dla gadów budowa żeber i miednicy), ale miał też szereg cech charakterystycznych dla ptaków (pióra, skrzydła). Powstało przypuszczenie, że archeopteryks jest przejściowym ogniwem od gadów do ptaków i stało się oczywiste, że ptaki pochodzą od jakichś progresywnych gadów spokrewnionych z archeopteryksem¹.

Obecnie znamy wiele form przejściowych. Przy tym czasami formy przejściowe udaje się uporządkować w drzewa filogenetyczne – kolejność gatunków, które zmieniły się w trakcie ewolucji tej czy innej grupy istot żywych. W postaci takiego drzewa może być ukazana ewolucja koni, słoni, wielorybów czy innych grup. Uważa się, że walenie pochodzą od drobnych lądowych parzystokopytnych, które z początku przeszły do półwodnego, a potem do całkowicie wodnego stylu życia. W trakcie tego przejścia przednie końcówki przekształciły się w płetwy, tylne – zmniejszyły się, zęby stały się jednakowe, kopyta i sierść zniknęły (ryc. 44.2).

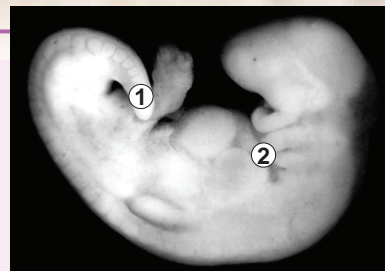
Między embrionami różnych grup zwierząt istnieje podobieństwo

Badając rozwój zarodków różnych zwierząt, wyjaśniono, że między embrionami i osobnikami dorosłymi różnych grup organizmów istnieje podobieństwo. Na przykład w trakcie rozwoju zarodka człowieka w 4.–6. miesiącu ciąży u embriona w obrębie głowy formuje się 5 par łuków skrzelowych z miękkiej tkanki zarodkowej (ryc. 44.3). W ciągu dalszego rozwoju zarodka te łuki formują elementy dolnej części głowy i szyi. Jak już wiesz, łuki skrzelowe są charakterystyczne dla ryb, u których one są podstawą skrzel. Prócz tego mają je kijanki płazów. Dziwnym odkryciem stała się obecność skrzel u embrionów gadów i ptaków, jak i wszystkich ssaków. Jeszcze jednym podobnym



¹ Obecnie większość uczonych jest zdania, że archeopteryks był nie przodkiem współczesnych ptaków, lecz najprawdopodobniej przedstawicielem „siostrzanej grupy” jaszczuroogonowych, która wymarła, ale rozwijała się równoległe ze współczesnymi ptakami neognatycznymi. Jednak przyjęto sądzić, że wszystkie współczesne ptaki są bezpośrednimi potomkami dinozaurów.

przykładem jest obecność ogona: zarodek człowieka i naczelnych bezogonowych na określonych etapach rozwoju ma ogon, który potem zanika. Wiele innych przykładów daje podstawę stwierdzać, że to nie jest przypadkowość, lecz zasada. Podobne odkrycia potwierdzają kolejność ewolucji istot żywych: wraz z komplikowaniem się budowy dorosłego organizmu cechy podobieństwa z formami przodków „chowają się” coraz głębiej i głębiej w rozwoju embrionalnym. Jednak możemy stwierdzać, że wszystkie lądowe zwierzęta kręgowce powstały od przodków wodnych ze skrzelami, naczelnne bezogonowe – od przodków ogonowych, a embrionalne walenie mają wszystkie cztery kończyny przodków parzystokopytnych.



Ryc. 44.3. Embrion człowieka w piątym miesiącu ciąży

1. Ogon. 2. Łuki skrzelowe.

Różne grupy organizmów mają jednakowe cechy budowy ciała

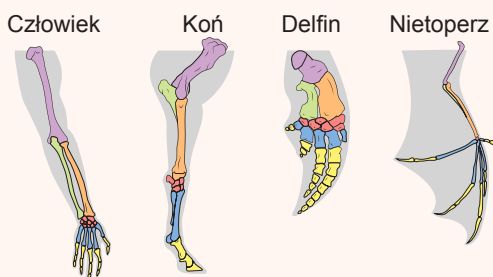
Georges Cuvier w XVIII- na pocz. XIX wieku zaczął porównywać budowę organizmów różnych grup. Obraz okazał się pod wieloma względami podobny do embriologicznego: różne grupy organizmów posiadały podobne cechy budowy ciała. Szkielety pięciopalcowych kończyn różnych czworonożnych kręgowców są podobne do siebie pod względem zestawu kostek i ich odnośnego rozmieszczenia (ryc. 44.4). Podobieństwo, oczywiście, nie jest całkowite: na przykład u konia w kończynach pozostał jeden długi palec, a pozostałe cztery zmniejszyły się lub zniknęły; u wielorybów na przednich kończynach pojawiły się dodatkowe paiczki, a od tylnych kończyn pozostało kilka kostek. Te zmiany są związane ze stylem życia: konie muszą szybko biegać po twardej, równej powierzchni, a wieloryby – szybko pływać. Taką rozbieżność cech odziedziczonych od wspólnego przodka nazywamy **dywergencją**. Jednak ogólny plan budowy narządów i części ciała pozostał taki sam, co świadczy o wspólnym pochodzeniu tych grup organizmów.

Prócz tego u wielu organizmów pozostały uproszczone elementy narządów charakterystycznych dla ich ewolucyjnych przodków. Palce konia, szkielet miednicy i kończyn tylnych wieloryba – dobitne przykłady takich **narządów rudymentarnych**. U człowieka pomiędzy cienkim i grubym jelitem jest jelito ślepe i wyrostek robaczkowy, które u innych ssaków są dobrze rozwinięte i zasiedlone bakteriami biorącymi udział w trawieniu pokarmu roślinnego.

Georges Cuvier

Urodził się w 1769 roku we francuskim miasteczku Montbéliard. Wykształcenie zdobył w Stuttgarcie na Uniwersytecie. Georges Cuvier założył podstawy i został twórcą dwóch nauk biologicznych – anatomii porównawczej i paleontologii. Za pomocą swoich badań porównawczo – anatomicznych ustalał wielkość i wygląd zewnętrzny wielu zwierząt na podstawie szczątków kopalnych. W ciągu życia opisał około 150 gatunków kopalnych płazów i ssaków. Wprowadził termin „pterozaktyl” na oznaczenie grupy wymarłych płazów skrzydlatych. Był przeciwnikiem idei ewolucji, twierdził, że gatunki są niezmiennie i powstają kilka razy po wielkich katastrofach. Te błędne poglądy uczonego nie przeszkadzały mu w wyciąganiu progresywnych wniosków i odkryć. Badacz nazywał siebie zwykłym naturalistą, chociaż tak na prawdę był członkiem Francuskiej Akademii Nauk, kawalerem Legionu Honorowego, obejmował wysokie stanowiska państwowe. Georges Cuvier zmarł na 65. roku życia w Paryżu. Jego imię wniesiono na listę najwybitniejszych uczonych Francji, która znajduje się na pierwszym piętrze Wieży Eiffla.





Ryc. 44.4. Podobieństwo budowy szkieletu kończyny pięciopalcowej zwierząt kręgowych

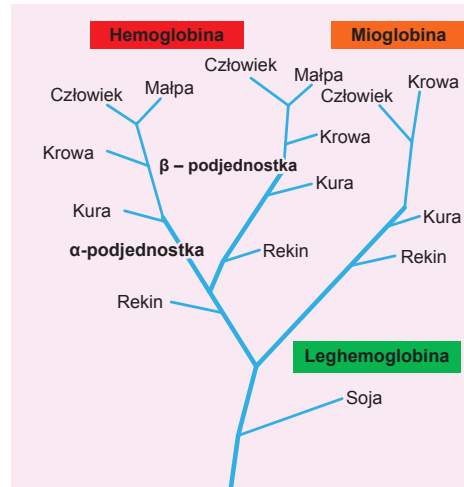
Wraz z przejściem przodków człowieka na pokarm zwierzęcy zapotrzebowanie na bakterie prawie odpadło. Dlatego wielkość wyrostka robaczkowego znacznie się zmniejszyła, chociaż ten narząd bierze udział w pracy układu odpornościowego w pierwszych latach życia dziecka¹. Podobnie ma się sytuacja z błoną migawkową oka człowieka – rudymeniem trzeciej powieki – i z kręgami ogonowymi – rudymeniem ogonowego odcinka kręgosłupa.

Ewolucja organizmów powiązana jest z ewolucją ich genomów

Proces ewolucji organizmów żywych bezpośrednio powiązany jest z ewolucją ich genomów. DNA poddawany jest różnorodnym mutacjom, w wyniku czego nieustannie się zmienia. Bez wątplenia, 50 mln lat temu wspólny przodek waleni i parzystokopytnych miał gen **mioglobiny** – białka mięśni, który przypomina hemoglobinę i bierze udział w wiązaniu tlenu w mięśniach. Z upływem czasu ten zwierz dał początek dwom liniom, które niezależnie się rozwijały w ciągu 50 milionów lat. Cały ten czas geny mioglobiny u parzystokopytnych i waleni gromadziły mutacje niezależnie. W wyniku tego kaszalot i krowa obecnie mają różne kolejności genu mioglobiny. Jednak te kolejności mają jeszcze wiele wspólnego, aby można było przypuszczać, że obydwa te geny powstały od wspólnego przodka.

Możemy wyjawić, że struktura genu mioglobiny jest podobna do struktury genu innego białka wiążącego tlen – hemoglobiny. I rzeczywiście, te geny mają wspólne pochodzenie i biorą swój początek od genu **globiny**, która była u naszych dalekich przodków na zaraniu ewolucji zwierząt wielokomórkowych. W wyniku duplikacji ten gen podwoi się, a jego kopie rozpoczęły niezależną ewolucję: jedna z nich doprowadziła do powstania mioglobiny, druga – hemoglobiny (ryc. 44.5).

Jeśli spojrzymy za granice królestwa zwierząt, to tam są dowody bardziej dawnego wydarzenia ewolucyjnego w historii globin. Okazało się, że u roślin motylkowatych obecna jest leghemoglobina – wiążące tlen białko, które znajduje się w brodawkach korzeniowych i zabarwia je na czerwono. Leghemoglobina potrzebna jest do ochrony bakterii korzeniowych przed tlenem, ponieważ on przeszkadza procesowi przyswajania azotu (dokładniej ten proces został opisany w § 52). A więc leghemoglobina też ma wspólne pochodzenie z mioglobina i hemoglobina.



Ryc. 44.5. Ewolucja globiny

1 Właśnie dlatego zaliczanie wyrostka robaczkowego do narządów rudymenarnych nie jest całkowicie poprawne.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Pierwsze organizmy, które pojawiły się na Ziemi, były podobne do
A ludzi B gadów C mięczaków D pelzaków E bakterii
- 2 Obecność łuków skrzelowych w rozwoju embrionalnym jest charakterystyczne dla takich organizmów jak:
A człowiek i krab B gołąb i okoń C żółw i ośmiornica
D dżdżownica i krokodyl E szczur i chrząszcz
- 3 Odmienna budowa dłoni u ssaków jest wynikiem
A powstania form przejściowych B powstania narządu rudymentalnego
C dywergencji D podobieństwa rozwoju embrionalnego
E duplikacji genu dłoni
- 4 Zgodnie z analizą genów podjednostek hemoglobiny najnowocześniejszego wspólnego przodka mają:
A rekin i soja B rekin i kura C kura i krowa
D krowa i człowiek E człowiek i małpa

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 5 Podaj charakterystykę tego, jak zmieniała się komplikacja budowy organizmów w trakcie historycznego rozwoju życia na Ziemi.
- 6 Jakie są paleontologiczne, embrionalne i morfologiczne dowody tego, że walenie pochodzą od parzystokopytnych?
- 7 Dlaczego przy embrionalnym rozwoju człowieka u zarodka nie pojawiają się skrzydła (jak u owadów) czy pancerz (jak u mięczaków)?
- 8 U człowieka ostatnie zęby w rzędzie nazywane są zębami mądrości. One są narządem rudymentalnym. Wyjaśnij, co w procesie ewolucji człowieka doprowadziło do zaniku potrzeby tych zębów?
- 9 Jak na podstawie budowy genów można określić ewolucyjne pokrewieństwo gatunków?

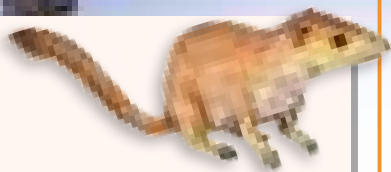
Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 10 Często twierdzi się, że większość wymarłych gatunków pozostaje nieznana paleontologii. Dlaczego paleontologia jest taką „nieefektywną” nauką? Jakie warunki powinny być dotrzymane, aby szczątki istoty zachowały się w ciągu tysiącleci?
- 11 Niektóre organizmy w postembrionalnym rozwoju powtarzają rysy embrionalnego czy poczwarkowego rozwoju gatunków – przodków. Jakie cechy budowy organizmu człowieka powstały, być może, tą drogą? Jakie znaczenie dla ewolucji ma takie „powtórzenie”?
- 12 Udowodnij, że obecność unikalnej fauny w Australii i na sąsiednich wyspach jest dowodem ewolucji.

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13 Ptaki i owady mają skrzydła o absolutnie różnej budowie. W jaki sposób obecność takich różnych pod względem budowy narządów i części ciała służy dowodem ewolucji?
- 14 Czy można obserwować ewolucję w eksperymentalnych warunkach? Podaj przykłady takich eksperymentów.

§ 45. Ewolucja człowieka



Ryc. 45.1. *Purgatorius*

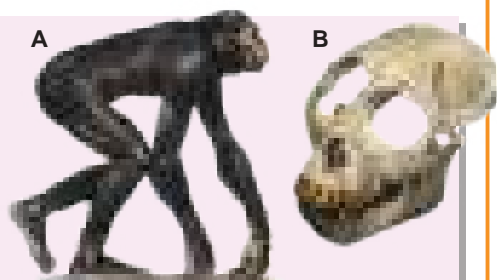
Pierwsze naczelne były podobne do myszy

Ewolucja naczelných, która doprowadziła do powstania współczesnych ludzi, zaczęła się w końcu kredy, około 70 mln lat temu. Najwcześniejsze naczelne, jak na przykład **purgatorius**, były niewielkimi zwierzętami, które z wyglądu przypominały myszy (ryc. 45.1). Jednak już wtedy w nich były założone cechy i budowy i zachowania, które wyznaczały dalszą ewolucję naczelných. W odróżnieniu od innych ówczesnych ssaków, one prowadziły przeważnie nadrzewny tryb życia połączony ze skokami z gałęzi na gałąź. Prócz tego pierwsze naczelne były bardziej aktywne w dzień i w poszukiwaniu pokarmu kierowały się bardziej wzrokiem niż węchem. Właśnie dlatego obecnie naczelne mają dobre kolorowe widzenie barwne (w odróżnieniu od większości ssaków), dobrze określają odległość między obiektami (jest to bardzo ważne podczas skoków z gałęzi na gałąź), a także mają dłoń chwytającą – można się nią zaczepić za gałąź podczas lądowania. Należy też zaznaczyć, że w jądłospisie najwcześniejszych naczelných były przeważnie owoce – dość kaloryjny pokarm, trzeba ich niedużo zjeść, aby nasycić się. Otóż na wyżywienie one wytracały niedużo czasu, w odróżnieniu na przykład od krowy, która zmuszona jest jeść trawę przez cały dzień. Wolny czas sprzyjał rozwojowi zachowania społecznego.

Pochodzenie małp człekokształtných związane jest z życiem na otwartej przestrzeni

Około 25 mln lat temu powstały pierwsze małpy człekokształtne – prokonsule, które zamieszkiwały deszczowe tropikalne lasy Afryki (ryc. 45.2). Ale około 12 mln lat temu zaszła globalna zmiana klimatu: on stał się bardziej suchy, a bezkrajne lasy tropikalne zmieniły się na trawiaste sawanny. Część małp człekokształtných pozostała zamieszkiwać ostatki lasów równikowych – wśród ich potomków są współczesne szympansy i goryle. A inna grupa człekokształtných małp przystosowała się do życia w sawannach.

Przy tym one przeszły do poruszania się na dwóch nogach – taki sposób okazał się dla naczelných wygodniejszy, ponieważ one teraz zamieszkiwały na otwartej przestrzeni.



Ryc. 45.2.

A. *Prokonsul* – przodek współczesnego człowieka i człekopodobnych małp.

B. Kopalna czaszka *prokonsula*.

Australopiteki łączyły w sobie cechy małp i ludzi

Australopiteki pojawiły się w Afryce około 7 mln lat temu. One były formą przejściową, ponieważ łączyły w sobie cechy budowy małp człekowiatých i człowieka (ryc. 45.3). Budowa ich czaszki była bardziej „małpia”, natomiast reszta szkieletu – bardziej postępowa i przystosowana do dwunożnego poruszania się. Tak naprawdę pierwsze australopiteki nie poruszały się w pełnej mierze pionowo: one mogły chodzić i na dwóch nogach, i

na czterech kończynach oraz łązić po drzewach. Około 4 mln lat temu powstały **australopiteki gracylne** (wysmukłe). One już chodziły w pozycji pionowej, ale pod względem budowy czaszki i objętości mózgu były bardziej zbliżone do małp niż do współczesnego człowieka. Około 2,6 mln lat temu australopiteki gracylne zapoczątkowały dwie linie ewolucyjne – **masywnych australopiteków** (parantropów) i **ludzi** (*Homo*). Masywne australopiteki przedstawiały alternatywną drogę rozwoju małp człekopodobnych – specjalizację żywienia się twardym pokarmem roślinnym. W tym celu u nich rozwinęły się masywne szczęki i potężne mięśnie żucia. Ale ich ewolucja została przerwana i około 1 mln lat temu masywne australopiteki wymarły.

Ryc. 45.3.
Australopitek



Pierwsi przedstawiciele rodzaju *Homo* są potomkami australopiteków

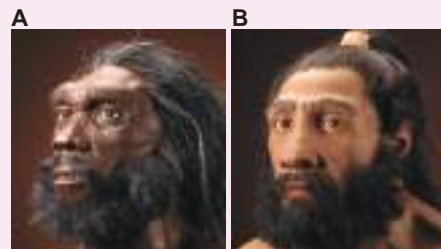
Pierwsze *Homo* pojawiły się w Afryce 2,6 mln lat temu i były potomkami australopiteków gracylnych. Pierwszym przedstawicielem rodzaju był **człowiek zręczny** (ryc. 45.4, A). On posiadał większą objętość mózgu i aktywnie wytwarzał pierwsze narzędzia pracy. Następnie u człowieka obserwujemy zwiększenie się objętości mózgu oraz zmianę kształtu dłoni uwarunkowaną działalnością manualną. Około 1,7 lat temu powstaje **człowiek afrykański** (*Homo ergaster*). Narzędzia pracy stają się coraz bardziej skomplikowane, człowiek zaczyna posługiwać się ogniem, pojawiają się zbudowane własnoręcznie mieszkania. Te umiejętności pozwoliły człowiekowi porzucić granice Afryki i rozpocząć zasiedlenie kontynentu eurazyjskiego. Obszar tropikalny natomiast zasiedlił **człowiek wyprostowany** (ryc. 45.4, B).



Ryc. 45.4.
A. Człowiek zręczny.
B. Człowiek wyprostowany.

Późniejsi przedstawiciele rodziny *Homo* żyją po dzień dzisiejszy

Około 400 tysięcy lat temu człowiek przemieścił się w strefę klimatu umiarkowanego. Pierwszy był **człowiek heidelberski** (ryc. 45.5, A). To był progresywny gatunek dawnego człowieka, który znowu przeniknął do Afryki i wyparł człowieka chodzącego pionowo ze strefy tropikalnej. Tam on dał początek współczesnemu **człowiekowi rozumnemu** – *Homo sapiens*. Jednocześnie na terytorium Europy od człowieka heidelberskiego powstał **neandertalczyk** (ryc. 45.5, B),



Ryc. 45.5.
A. Człowiek heidelberski.
B. Neandertalczyk.



Ryc. 45.6. Rasa europejska cechuje się ogromną fenotypową różnorodnością

a w Azji – **denisowianin**¹ (człowiek z Denisowej Jaskini). Neandertalczyków możemy uważać za rdzenną ludność Europy, ponieważ właśnie w niej oni się pojawili. Objętość mózgu neandertalczyka jest taka sama jak objętość mózgu współczesnego człowieka. Neandertalczyki mają silnie rozwinięte łuki nadczołowe i mocną staturę. Jednak człowiek rozumny rozprzestrzenił się z Afryki i wyparł wszystkich innych ludzi, zasiedlając całą planetę. Jak okazało się dzięki rozszyfrowaniu genomów, człowiek rozumny wypierał nie tylko neandertalczyków² i denisowian, ale też krzyżował się z nimi.

Dane analizy genetycznej współczesnego człowieka wskazują, że Europejczycy i Azjaci posiadają około 2,5% genów neandertalskich, a ludność wysp Oceanu Spokojnego – domieszkę genów denisowian. Dlatego też współcześni ludzie niosą w sobie część genów innych wymarłych przedstawicieli rodzaju *Homo*.

Także wśród dawnych ludzi znajdują niektóre gałęzi ślepe: gatunki, na których ewolucja się skończyła. Najciekawszym spośród takich gałęzi jest **człowiek z Flores**. Ci ludzie mieszkali na indonezyjskiej wyspie Flores około 18 tysięcy lat temu, czyli jednocześnie ze współczesnym Człowiekiem rozumnym. Ich wzrost stanowił 1 m, a wielkość mózgu 400 g – mniej niż u szympanów. Jednak oni potrafili wytwarzać kamienne narzędzia pracy. Uważa się, że przodkowie człowieka z Flores (najprawdopodobniej człowiek chodzący pionowo) trafili na wyspę około 1 mln lat temu. Odtąd historia człowieka z Flores – to historia regresu i degradacji. Godne podziwu jest, że nie patrząc na zmniejszenie się wielkości mózgu i regres zdolności intelektualnych, oni potrafili zachować część kultury oraz technikę wytwarzania narzędzi pracy.

Rasy współczesnego człowieka należą do jednego gatunku – Człowieka rozumnego

Współczesny człowiek jest nie tylko najliczniejszym gatunkiem ludzi, który kiedyś istniał, ale i najróżnorodniejszym. Historycznie złożyło się tak, że grupy ludzi, które mieszkaly w określonych regionach geograficznych i doznawały izolacji w ciągu dziesiątków tysięcy lat, sformowały **rasy** – grupy populacji, których osobniki cechują się podobieństwem cech dziedzicznych, które przejawiają się na zewnątrz w fenotypie. Narazie uczeni wyodrębniają od trzech do siedmiu podstawowych ras.

- 1 Wielu współczesnych badaczy rozpatruje heidelberskiego człowieka, neandertalczyka, denisowianina i współczesnego człowieka jako podgatunki *Homo sapiens*.
- 2 Sądzi się, że w wymieraniu neandertalczyków znaczącą rolę odegrały wulkaniczne erupcje: praktycznie jednoczesne erupcje w Apeninach i na Kaukazie spowodowały w Europie zimę wulkaniczną. Do tego momentu jak współcześni ludzie przyszli do Europy, neandertalczyków już prawie nie było

Rasa europeoidalna. Cechuje się wyciągniętym obliczem z wystającym nosem. Kolor skóry od białego do czarnego. Biała skóra pozwala lepiej pochłaniać promieniowanie ultrafioletowe, które jest niezbędne do syntezy witaminy D w warunkach złego oświetlenia. Włosy są przeważnie jasne, dość szeroka szpara oczna, cienkie wargi. Kolor włosów i oczu bardzo się różni (ryc. 45.6). Areał wyjściowy: Europa, Azja Przednia i Azja Mała, Afryka Północna, Indie Północne.

Rasa amerykańoidalna. Reprezentowana jest przez rdzenną ludność Ameryki, która dostała się tam z Eurazji przez Cieśninę Beringa. Charakterystyczne rysy: wysokie, wielkie oblicze z szeroką dolną szczęką; dość szeroka szpara oczna; spłaszczenie twarzy mniejsze niż u rasy mongoloidalnej, ale większe niż u innych ras; słabe owłosienie twarzy (ryc. 45.7, A). Często łączona jest z rasą mongoloidalną w odmianę azjatycko – amerykańską.

Rasa mongoloidalna. Dla przedstawicieli rasy mongoloidalnej charakterystyczna jest szeroka płaska twarz o wystających kościach policzkowych, wąska szpara oczna (ryc. 45.7, B). Włosy ciemne, proste, grube; u mężczyzn słabe owłosienie ciała. Pochodzenie – Azja.

Rasa negroidalna. Jedyna wśród ras, która nie zaznała genetycznego wpływu neandertalczyków. Posiada największą genetyczną różnorodność – stanowi około 90% genetycznej różnorodności współczesnej ludzkości. Cechuje ją ciemna skóra, silnie skręcone włosy, bardzo szeroki nos, grube wargi (ryc. 45.8, A). Pochodzenie – Afryka.

Rasa australoidalna. Reprezentowana jest przez ludność rdzenną Australii. Cechuje ją masywna czaszka o wydatnych łukach brwiowych, dużych szczękach i wielkich zębach; ciemna skóra, szeroki nos oraz silny zarost (ryc. 45.8, B).



Ryc. 45.7. Przedstawiciele rasy amerykańoidalnej (A) i mongoloidalnej (B)



Ryc. 45.8. Przedstawicielka rasy negroidalnej (A) i przedstawiciel rasy australoidalnej (B)

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Powstanie rozwiniętego widzenia barwnego u naczelnych związane jest z

A A życiem na drzewie	B potrzebą skakania z gałęzi na gałęź
C nocnym trybem życia	D poszukiwaniem jedzenia za pomocą wzroku
E aktywnym zachowaniem społecznym	
- 2 Takie cechy jak ciemna skóra, szerokie oczy, wąski nos i proste włosy cechują rasę

A europoidalną	B mongoloidalną	C negroidalną	D australoidalną	E indiańską
----------------	-----------------	---------------	------------------	-------------

- 3** Prawidłowa kolejność przodków człowieka, zaczynając od najdawniejszego:
A purgatorius, neandertalczyk, człowiek heidelbergi
B człowiek zręczny, człowiek chodzący pionowo, prokonsul
C australopitek gracylny, prokonsul, człowiek chodzący pionowo
D prokonsul, człowiek zręczny, australopitek
E człowiek afrykański, denisowianin, człowiek rozumny
- 4** Przejście od małp człekopodobnych do rodzaju Człowiek stało się w wyniku
A przejścia do chodzenia w pozycji pionowej
B zmniejszenie się powierzchni lasów tropikalnych
C kształtowanie się umiejętności wytwarzania narzędzi pracy
D przesiedlenia się australopiteków do Eurazji
E krzyżowania się między gatunkami
- 5** Głównym przodkiem rasy eropoidalnej wśród przedstawicieli rodzaju Człowiek jest
A australopitek
B człowiek chodzący pionowo
C człowiek rozumny
D denisowianin
E neandertalczyk

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Jakie cechy swojej anatomii i fizjologii człowiek zawdzięcza pierwszym naczelnym?
- 7** Jacy przodkowie współczesnego człowieka zamieszkiwali terytorium Europy? Ile razy ludzie „zasiedlali” Europę?
- 8** Jak w trakcie ewolucji człowieka zmieniała się budowa ciała i zachowanie społeczne?
- 9** Podaj charakterystykę podstawowych przyczyn kształtowania się ras ludzkich.
- 10** Dlaczego w warunkach klimatycznych Afryki u przedstawicieli rasy negroidalnej ukształtowały się kręcone włosy?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Dlaczego przejście do chodzenia w pozycji pionowej w warunkach zwiększenia się przestrzeni sawann sprzyjało przeżywalności australopiteków?
- 12** Porównaj różne hipotezy powstania chodzenia w pozycji pionowej u przodków człowieka. Czy możliwe jest połączenie tych hipotez?
- 13** Różni antropologowie wyodrębniają różną ilość ras ludzkich. Jaka jest przyczyna takiej niejednoznaczności? Czy ma sens pojęcie rasy we współczesnym świecie?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 14** Opisz drogi rozsielenia człowieka rozumnego po świecie. Kiedy i jakie regiony zasiedlono?
- 15** Jak zmieniła się budowa szkieletu małp człekopodobnych w wyniku przejścia do chodzenia w pozycji pionowej?
- 16** Scharakteryzuj znane dziś drzewo ewolucyjne człowieka. Dlaczego na nim jest tak dużo ślepych gałęzi?

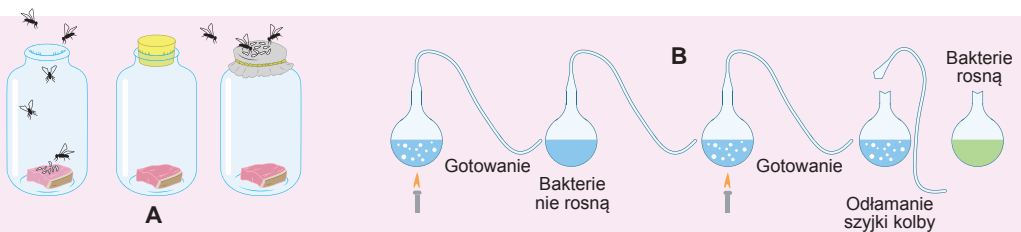
§ 46. Pochodzenie życia

Kreacjonizm – wyobrażenie o boskim stworzeniu świata

W ciągu wieków najbardziej rozpowszechnioną wersją powstania życia na Ziemi był akt tworzenia, urzeczywistniony przez wyższą siłę nadprzyrodzoną. I chociaż mechanizmy tworzenia i charakterystyki sił wyższych różnią się w religiach i mitologiach, wszystkie te teorie tłumaczą powstanie życia działaniem jakiejś siły nadprzyrodzonej. Taki pogląd nazywa się **kreacjonizmem**¹. Poglądy kreacjonistyczne są nienaukowe, ponieważ nie mogą być potwierdzone albo sprostowane faktami czy doświadczeniami. Można w nie wierzyć lub nie.

Naukowe wyobrażenia o pochodzeniu życia na Ziemi zaczęły kształtować się jeszcze w antyku

Zagadnienie pochodzenia życia było uświadomione przez uczonych dość późno. Od czasów antycznych do połowy XIX wieku w kołach naukowych przyjmowana była hipoteza samorzutnego powstania życia z materii nieożywionej. **Arystoteles** sądził, że myszy powstają z brudnych szmat, a muchy – z gnijącego mięsa. Mechanizm takiego zjawiska nie był znany, ale nikt nie próbował zaprzeczać, że samorzutne powstanie życia odbywa się nieustannie. Jednym z podstawowych zadań średniowiecznej alchemii (obok poszukiwań kamienia filozoficznego) było stworzenie homunkulusa – istoty podobnej do człowieka, którą można otrzymać drogą mieszania jakichś składników chemicznych. Jednak teoria o samoródtwie miała wielu przeciwników. Jednym z nich był znany włoski lekarz **Francesco Redi**, który jeszcze w połowie XVII stulecia zaprezentował, że larwy much nie rozwijają się ze zgniłego mięsa, lecz z jaj składanych przez inne muchy. On umieścił kawałek mięsa w naczyniu przykrytym cienką tkaniną (aby muchy nie miały dostępu do mięsa) i w nim samorzutnie nie zarodziły się larwy much (ryc. 46.1, A). Jednak teoria samoródtwa wytrwała – było odkryto drobnoustroje, które



Ryc. 46.1. Dowody przeciwników teorii samoródtwa

A. Doświadczenie Francesco Rediego. **B.** Doświadczenie Louisa Pasteura. Jeśli zagotujemy bulion w kolbie o „fabędziej szyi”, to on nie skwaśnieje. Kolba pozostaje otwarta – szyjka nie przeszkadza „sile życiowej” przeniknąć do środka, jednak wszystkie bakterie osiadają w kolanie S- podobnej rurki. Jeśli odłamać szyjkę, nic więcej nie będzie przeszkadzało bakteriom przenikać do środka i bulion kiśnie.

1 Z łacińskiego *creatio* – tworzenie.



Ryc. 46.2. Pejzaż wczesnej Ziemi w okresie bombardowania meteorytami

jak sądzono, są wystarczająco proste, aby powstać z materii nieożywionej. Na początku XIX wieku dzięki pracom wielkiego niemieckiego chemika **Karla Reichenbacha** idea samoródtwa przetrwała się w **witalizm** – teorię o „sile życiowej”, która szybuje we Wszechświecie i w procesie współdziałania z materią nieożywioną przekształca ją na ożywioną¹. Jak pamiętasz, Jean Baptiste Lamarck w swej teorii ewolucji przestrzegał idee witalizmu i wykorzystywał postulat o nieustannym zaradzaniu się najprostszymi organizmów. Ostatecznie teorię witalizmu obalił w 1862 roku francuski mikrobiolog **Louis Pasteur**. Dzięki doświadczeniom z bulionem w kolbach o „łabędziej szyi” udowodniono naocznie, że i mikroorganizmy rozwijają się z innych mikroorganizmów (ryc. 46.1, B). W ten sposób ostatecznie udowodniono twierdzenie „Wszystko, co żywe, pochodzi z żywego”.

Właśnie z powodu wyżej opisanych wydarzeń zagadnienie dotyczące powstania życia na Ziemi znów stało się aktualne. Należy przyznać, że ono było dla nauki bardzo problematyczne, ponieważ teraz pochodzenie życia było rozpatrywane jako pojedyncze wydarzenie, a nauka pracowała nad wydarzeniami, które się powtarzały i odtwarzały². Dopiero w XX wieku nauka zaczęła pracować nad pojedynczymi wydarzeniami. Odtąd również biologia zaczęła wysuwać hipotezy o możliwych mechanizmach powstania życia. Pionierami tego kierunku byli: biochemik **Aleksander Oparin** i genetyk **John Haldane**. Jednak zanim przejdziemy do rozpatrywania możliwych mechanizmów powstania życia, zapoznajmy się z warunkami istnienia Ziemi w czasach przedhistorycznych.

Warunki klimatyczne dawnej Ziemi nie były podobne do obecnych

Zgodnie ze współczesnymi wyobrażeniami Ziemia uformowała się 4,54 mld lat temu z obłoku gazu i pyłu, które otaczało Słońce. W procesie kształtowania się Ziemi bardziej ciężkie pierwiastki (żelazo i nikiel) zanurzały się w głąb płynnego płaszcza, formując jądro, a lekkie (węgiel i krzem) wypływały, tworząc korę. Z powodu aktywnej działalności wulkanicznej zachodziła degazacja skał: do atmosfery wydzielala się woda, metan, amoniak, siarkowodor i dwutlenek węgla. Ogromna ilość twardych cząsteczek w atmosferze i znaczne różnice temperatur między działkami warunkowały potężne sztor-

1 Karl Reichenbach nazywał tę hipotetyczną siłę siłą Odyna na cześć naczelnego bóstwa mitologii nordyckiej.

2 Wybitny genetyk Nikołaj Timofiejew-Riesowski niebezpiecznie wynosił pytanie o pochodzeniu życia poza granice nauki. Kiedy pytano go o to, on zwykle odpowiadał: „Byłem wtedy bardzo mały i dlatego nic nie pamiętam. Zapytajcie o to akademika Oparina”.

my i burze, podczas których na powierzchnię młodej Ziemi padały kwaśne deszcze. W ciągu wielu milionów lat Ziemia doznawała również intensywnego bombardowania meteorytami (ryc. 46.2). Jej powierzchnia była podziurawiona kraterami i bardziej przypominała powierzchnię Księżyca. Właśnie w takich surowych warunkach zachodziły procesy chemiczne, które doprowadziły do powstania życia.

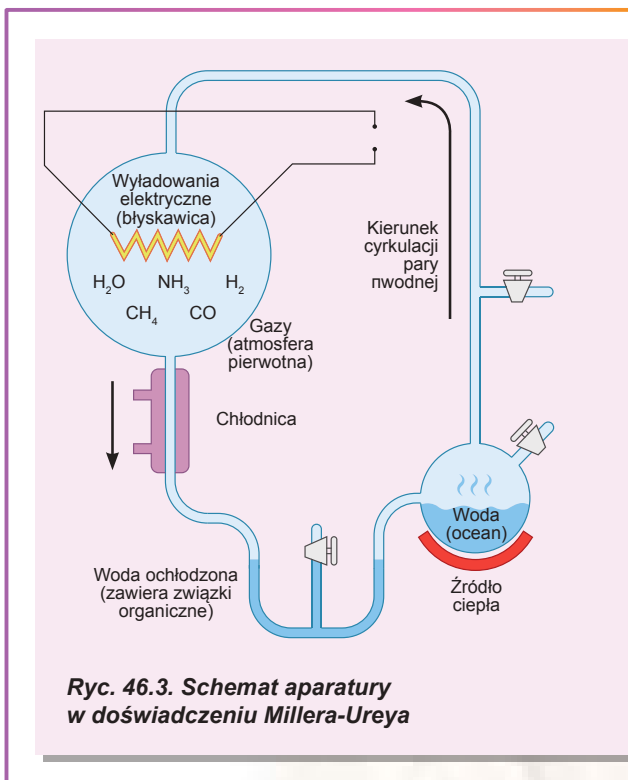
Abiogeneza – to współczesna próba wyjaśnienia pochodzenia życia

Pierwsze teorie, które próbowały naukowo wytłumaczyć proces powstania życia na Ziemi, sprowadzały się do udowodnienia możliwości syntezy najprostszych cząsteczek biologicznych (aminokwasów, węglowodanów i nukleotydów) z substancji nieorganicznych w warunkach młodej Ziemi. Takie teorie otrzymały nazwę teorii **abiogenezy**. Pierwszą wśród nich była **teoria Oparina – Haldane’a**. W 1924 roku Aleksander Oparin przypuścił istnienie na dawnej Ziemi **pierwotnego bulionu** – koktajlu najprostszych związków organicznych, uformowanych z nieorganicznych pod wpływem wyładowań atmosferycznych i promieniowania ultrafioletowego. Zgodnie z tą teorią takie związki z biegiem czasu nagromadzały się w pierwotnej hydrosferze, wchodziły w chemiczne współdziałanie ze sobą, co spowodowało kształtowanie się najpierw bardziej złożonych cząsteczek – polimerów, a potem żywych organizmów. Ten proces jest jeszcze nazywany **syntezą prebiotyczną**, czyli tworzeniem się cząsteczek biologicznych przed powstaniem organizmów żywych. W 1953 roku student Uniwersytetu Chicagowskiego **Stanley Miller** pod kierunkiem profesora **Harolda Ureya** skonstruował aparaturę (ryc. 46.3) imitującą warunki wczesnej Ziemi i pokazał, że w niej możliwe jest powstanie aminokwasów i cukrów z najprostszych związków nieorganicznych.

Z czasów Oparina teoria abiogenezy zaznała zmian. Obecnie uważa się, że synteza prebiotyczna na wczesnej Ziemi była związana najprawdopodobniej nie z powierzchniowymi zbiornikami wodnymi¹, lecz z głębinami oceanicznymi, gdzie ona odbywała się w warunkach bliższych do warunków współczesnych źródeł podwodnych – „czarnych palaczy” (o czym była mowa w § 19).

Niemiecki uczyony Günter Wächtershäuser, autor teorii metabolizmu żelazowo – siarkowego, przypuszczał, że w podobnych źródłach hydrotermalnych, które istniały miliardy lat temu na dnie oceanu, mogło zachodzić nie tylko tworzenie się pierwszych białek i kwasów nukleinowych, ale i ich łączenie się w bardziej skomplikowane struktury, które były poprzednikami pierwszych komórek.

Obecnie uczeni nadal badają zagadnienie pochodzenia życia, proponują nowe modele i mechanizmy. Jednak ośrodek zainteresowania przemieścił się z zagadnienia syntezy pierwszych biocząsteczek ku zagadnieniu ich uporządkowania w „protokomórki” i powstania metabolizmu.



Ryc. 46.3. Schemat aparatury w doświadczeniu Millera-Ureya

1 Oparin nazywał je kałużami darwinowskimi.



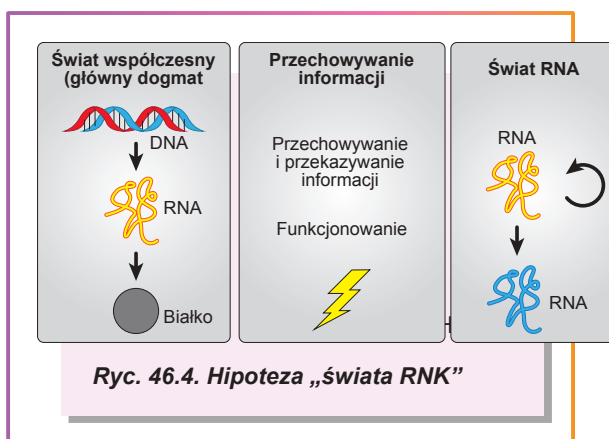
Walter Gilbert

Urodził się w 1932 roku w Bostonie (USA). Studiował na Uniwersytecie Harvarda i Uniwersytecie Cambridge. Opracował metodę sekwencjonowania zasad w DNA, za co w 1980 roku zdobył nagrodę Nobla w dziedzinie chemii. Sformułował hipotezę „świata RNA” o możliwym scenariuszu pochodzenia życia, gdy jako pierwsza wynika dziedziczność w postaci cząsteczek RNA, które są zdolne do samoreplikacji. W 2016 roku podpisał list laureatów Nagrody Nobla do rządów wszystkich państw i ONZ wzywający do zaprzestania sprzeciwu wobec genetycznie zmodyfikowanych organizmów. Po ukończeniu pracy na Uniwersytecie Harvarda w 2001 roku zajął się fotografią artystyczną.

Świat RNA – to hipoteza, która uznaje RNA za odpowiedź na pytanie o powstaniu życia

Zagadnienie dotyczące pochodzenia życia było bezpośrednio powiązane z zagadnieniem o pochodzeniu pierwszych komórek.

Jak już wiesz, główny dogmat biologii molekularnej ustanawia wzajemne powiązania między DNA, RNA i białkiem. Ten układ jest dość złożony: DNA replikuje się za pomocą białek, również za pomocą białek tworzy RNA. RNA za pomocą białek i innych RNA zapewnia biosyntezę białka. Teraz już wiemy, że czasami RNA może służyć jako matryca syntezy innych cząsteczek RNA czy nawet DNA, ale wszystkie te procesy też odbywają się z bezpośrednim udziałem białek. Dlatego trudno przypuszczać, co w tym schemacie powstało wcześniej: DNA i RNA mogą samoodtworzać się i funkcjonować wyłącznie w obecności białek, a białka nie mogą tworzyć się bez kwasów nukleinowych. Wydawało by się, że taki schemat miałby powstać od razu, całkowicie, ze wszystkimi komponentami: DNA, RNA i białkami. Takie układy są nazywane **układami skomplikowanymi nie ulegającymi uproszczeniu** – w układzie nie może być prostszego zdolnego do pracy poprzednika. Ta sytuacja znacznie się zmieniła po odkryciu przez amerykańskich uczonych **Thomasa Cech** i **Sidney Altmana** cząsteczek katalitycznych RNA – **rybozymów**. Okazało się, że RNA może być nie tylko nosicielem informacji genetycznej, lecz i – dzięki katalizie chemicznej – jej realizatorem. Przypuszcza się, że rybozomy, które istniały na dawnej Ziemi, mogły zapewniać własną replikację bez pomocy białek. Takie rybozomy mogły konkurować ze sobą o nukleotydy, czyli one brały udział w doborze naturalnym. Z biegiem czasu doszło do podziału funkcji: zachowanie informacji genetycznej przypadło DNA, a kataliza – białku. Ta hipoteza nosi nazwę „świata RNA” (ryc. 46.4) i jako pierwszy zaproponował ją amerykański mikrobiolog **Carl Woese** w 1968 roku, a ostatecznie sformułował amerykański fizyk **Walter Gilbert** w 1986 roku¹.



¹ Obecnie powstało pytanie o pochodzeniu świata RNA. Sądzi się, że poprzedzał go świat specyficznych węglowodanów, które mogły służyć szkieletem dla syntezy pierwszych cząsteczek RNK.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Ostatecznie udowodnić, że istoty żywe powstają tylko z istot żywych, potrafił
A Arystoteles B Francesco Redi C Jean Baptiste de Lamarck
D Louis Pasteur E Stanley Miller
- 2 Powstanie życia na Ziemi zgodnie z teorią Oparina – Haldane’a zaczęło się od
A pierwszych organizmów B powstania promieniowania UV i wyładowań atmosferycznych
C syntezy polimerów D tworzenia się substancji organicznych z nieorganicznych
E formowania się Ziemi
- 3 Miller i Urey wykorzystywali następującą metodę badań biologicznych
A eksperymentalną B modelowania C obserwacji
D porównywania E monitoringu
- 4 RNA stał się łączącym ogniwem między DNA i białkami, ponieważ on potrafi
A nieść informację dziedziczną B katalizować reakcje biochemiczne
C nieść informację dziedziczną i katalizować reakcje biochemiczne
D przekształcać się na DNA E replikować się
- 5 W teorii Oparina-Haldane’a „siłą życiową” Reichenbacha można nazwać
A promieniowanie UV i błyskawice B białka C RNA
D substancje nieorganiczne E bulion pierwotny

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Dlaczego odkrycie organizmów jednokomórkowych zaprzeczyło sprostowanie samoródtwa, otrzymane przez Francesco Rediego?
- 7 Podaj charakterystykę składu, wyglądu i zapachu pierwotnej atmosfery Ziemi.
- 8 Na czym polega istota syntezy prebiotycznej? Czy można jej dokonać obecnie w laboratorium?
- 9 Jak przejawia się dobór naturalny na poziomie rybozymów, które się samoreplikują?
- 10 Co powstało wcześniej – DNA, RNA czy białko i dlaczego?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11 Jakie funkcje w przemianie substancji współczesnych organizmów pełnią rybozomy? Dlaczego w procesie ewolucji nie wszystkie one były zastąpione białkami?
- 12 Czym uwarunkowane jest to, że życie zarodziło się w środowisku wodnym, a nie na lądzie czy w atmosferze?

Dowiedz się samodzielnie i powiedz innym

- 13 Co takiego posiadają „czarni palacze”, że stały się cudownym miejscem dla powstania życia?
- 14 Dlaczego życie nie pozostało w świecie RNA, a przeszło do formy DNA – białkowej?
- 15 Teoria panspermii jest alternatywną wersją powstania życia na Ziemi. Jakie są argumenty tej teorii i czego ona nie potrafi wytłumaczyć? Czy można uważać ją za teorię naukową?



*By „life”, we mean a thing that can
nourish itself and grow and decay.*

Aristotle





ROZDIAŁ 7

Bioróżnorodność

§ 47. Systematyka biologiczna

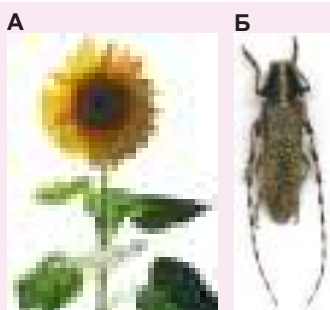
Gatunki biologiczne łączone są w jednostki taksonomiczne

Procesy ewolucyjne, które rozpatrywaliśmy w poprzednich paragrafach, stworzyły ogromną różnorodność organizmów żywych zasiedlających Ziemię. Uczni niejednokrotnie podejmowali się prób usystematyzowania organizmów żywych, wyodrębniając gatunki, a potem łącząc je w większe taksony – jednostki systematyczne. Dla ułatwienia opisu opracowano hierarchię jednostek taksonomicznych. Historycznie powstały dwa systemy hierarchiczne – biologiczny i zoologiczny, które rozwijały się równolegle. Opracowanie tych systemów rozpoczęło się, kiedy botanika i zoologia były oddzielnymi niezależnymi dyscyplinami, zanim biologia stała się jednolitą nauką. W tabeli 47.1 ukazano porównanie hierarchii taksonów w botanice i zoologii na przykładzie słonecznika jednorocznego i zgrzytnicy (kózkowate) (ryc. 47.1).

Tabela 47.1. Porównanie hierarchii jednostek taksonomicznych roślin i zwierząt

Królestwo	Rośliny	Królestwo	Zwierzęta
Gromada	Okrytonasienne (kwiatowe)	Typ	Stawonogi
Klasa	Dwuliścienne	Gromada	Owady
Rząd	Astrowce	Rząd	Tęgopokrywe (Chrząszcze)
Rodzina	Astrowate (Złożone)	Rodzina	Kózkowate
Rodzaj	Słonecznik	Rodzaj	Zgrzypikowe
Gatunek	Słonecznik jednoroczny	Gatunek	Zgrzytnica

Z początku całą różnorodność organizmów biologicznych dzielono na dwa królestwa: Rośliny i Zwierzęta, później do nich dodano królestwo Grzyby. Odkrycie przez Leeuwenhoek'a mikroorganizmów znacznie rozszerzyło już znaną uczonym różnorodność organizmów, jednak pierwsi badacze starali się nie zakłócać ustalonej klasyfikacji i zaliczali nowoodkryte organizmy do któregoś z istniejących już królestw na podstawie ich ruchliwości i zdolności do fotosyntezy. Dalszy rozwój mikroskopii pozwolił wyjawic znaczne różnice w budowie komórkowej mikroorganizmów, a co najważniejsze – podzielić całą bioróżnorodność na dwie grupy – prokariotów i eukariotów – na podstawie ważnej cechy: obecności lub braku jądra komórkowego. Zanim jednak przejdziemy do opisu współczesnego poglądu na bioróżnorodność, zwróćmy uwagę na jedno bardzo ważne zagadnienie.



Ryc. 47.1.

A. Słonecznik jednoroczny.
B. Zgrzytnica.

Sztuczna klasyfikacja systematyzuje organizmy według dowolnie wybranych cech

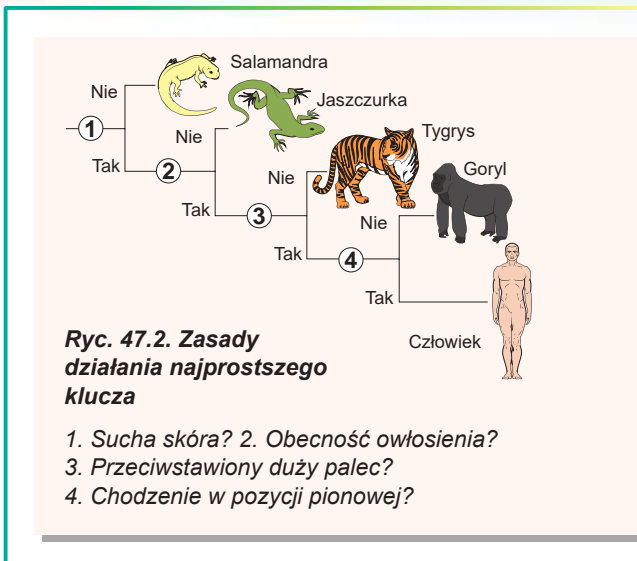
Jaki jest cel systematyki? Systematyzować organizmy można w różnym celu, a więc wykorzystując różne kryteria. Możemy dzielić organizmy na jadalne i niejadal-

ne, takie, które zjeść można, ale nie całkowicie lub takie, które można zjeść, ale do tego potrzebna jest specjalna obróbka. Kryteriów dla systematyki jest wiele, więc klasyfikacji również jest bezlicz. Klasyfikacje oparte na dowolnie wybranych cechach są **sztuczne**. Jaki więc jest cel klasyfikacji, którą tworzą dla swojej pracy biologicy – systematycy?

Wyobraźmy sobie biologa ukraińskiego, który po raz pierwszy trafił do Brazylii i nie zna bardzo dobrze jej świata żywego. Znalazłszy jakiegoś owada, chce dowiedzieć się o sposobie jego życia. On może po prostu znaleźć opis tego owada dokonany przez poprzednich badaczy, ale w tym celu on powinien **określić**, do jakiego gatunku biologicznego on należy. Szukanie owada „według obrazków” nie będzie skuteczne, bo przedstawiciele tej klasy są bardzo różnorodni. Musi więc skorzystać ze specjalnego poradnika – klucza (klasyfikatora), który zawiera efektywny algorytm określenia gatunków na podstawie podwójnych twierdzeń – **zasady dychotomicznej**².

Ta zasada jest bardzo prosta: z początku podaje się jakieś twierdzenie o cechach gatunku – **teza**. To twierdzenie może dotyczyć wyglądu zewnętrznego organizmu (ilość szczecinek na drugim segmencie odnóży u owada czy kształt pylników u roślin), jak i jego właściwości biochemicznych i fizjologicznych (zabarwienie owocnika jakimś barwnikiem, zdolność bakterii do rośnięcia w środowisku o określonym składzie chemicznym). Jeżeli cechy organizmu odpowiadają danemu twierdzeniu, to badacz zgadza się z nim i przechodzi do następnego twierdzenia. Jeżeli opis nie odpowiada twierdzeniu, badacz powinien przejść do przeciwstawnej mu **antytezy**. Antyteza zwykle nie jest przeciwstawna tezie. To jest po prostu inny opis, który uruchamia nowy łańcuchek tez i antytez³. Na ryc. 47. 2 podano zasadę działania takiego klucza.

Taki algorytm tworzy schemat dychotomiczny, co też jest klasyfikacją. Celem takiej klasyfikacji było zbudowanie algorytmu do wyznaczania określonego gatunku organizmów żywych. Ona jest bardzo dogodna, można ją zastosowywać na różnych poziomach organizacji żywej materii. Bez trudu znajdziesz dychotomiczny schemat w kluczu zwierząt Kazachstanu, kluczu tęgopokrywych Ameryki Południowej, kluczu grzybów glebowych oraz w kanonicznym, niejednokrotnie wydawanym ponownie kluczu bakterii Bergey'a.



Ryc. 47.2. Zasady działania najprostszego klucza

1. Sucha skóra? 2. Obecność owłosienia?
3. Przeciwstawiony duży palec?
4. Chodzenie w pozycji pionowej?

1 Nic dziwnego! Według obliczeń uczonych mieszka tam 25% bioróżnorodności całej planety.

2 Od gr. *dichotomos* – przecięty na dwie części, czyli na każdym etapie są dwa warianty.

3 Zdarza się, że na jednym z etapów określania okazuje się, że opis organizmu nie odpowiada twierdzeniu ani w tezie, ani w antytezie. Mamy na to trzy przyczyny. Najbardziej rozpowszechniona – w trakcie określania popełniono błąd, a więc należy powrócić do poprzednich etapów i rozpocząć od nowa. Druga – klucz, który masz, jest niedokładny i opisywanego gatunku w nim nie ma. I w końcu najrzadsza i najbardziej nieprawdopodobna przyczyna – odkryłeś nowy gatunek!



Karol Linneusz

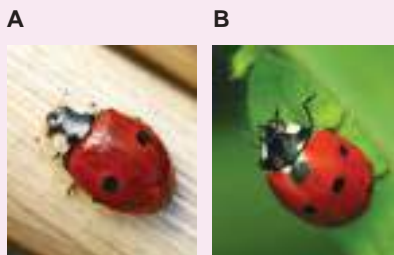
Urodził się w 1707 roku na południu Szwecji. Nauki pobierał na Uniwersytecie w Uppsali. Przede wszystkim znany jest na świecie jako „ojciec systematyki”. Linneusz zaproponował sztuczną klasyfikację przyrody, która według niego składała się z trzech królestw: minerałów, roślin i zwierząt. Przełomowe dzieło naukowe Linneusza – „System przyrody” – stało się podwaliną współczesnej systematyki biologicznej. Zaproponowany przez niego sposób nazewnictwa gatunków za pomocą dwóch wyrazów – nazwy rodzajowej i nazwy gatunkowej – wykorzystywany jest do dnia dzisiejszego. Badacz wprowadził do języka naukowego około tysiąca terminów do opisu budowy organizmów. Jeszcze jednym osiągnięciem Linneusza było to, że człowieka on zaliczył do królestwa Zwierząt, czego przedtem nikt nie robił. Karol Linneusz za życia zdobył światową sławę i uznanie. Za to król Szwecji zaszczylił go tytułem szlacheckim, co było niezwykle wyjątkowym wydarzeniem. Do końca życia badacz pracował w Uniwersytecie w Uppsali. Zmarł w 1778 roku i został pochowany w katedrze w Uppsali jako honorowy obywatel miasta.

Ten sposób klasyfikacji ma dwie ważne cechy: po pierwsze taki algorytm tworzy schemat dychotomiczny, rozgałęzione **drzewo**; po drugie dwa organizmy, które znajdują się na sąsiednich gałęziach tego drzewa, mają więcej wspólnych cech niż organizmy oddalone od siebie na schemacie. Można przypuścić, że organizmy cechujące się większą ilością wspólnych cech są bardziej spokrewnione ze sobą. W ten sposób można śmiało przypuścić, że taki schemat ukazuje zależności ewolucyjne między organizmami. Jednak takie przypuszczenie często jest błędne.

Jakie są tego przyczyny? Po pierwsze podczas układania klucza wykorzystuje się tylko niektóre, najwygodniejsze cechy organizmu. Żaden badacz nie będzie wykorzystywał analizy węglowodanowej kolejności jakiegoś fermentu czy analizy struktury kryształu po to, by odróżnić biedronkę dwukropkę od biedronki siedmiokropki (ryc. 47.3). Po drugie klucze nie uwzględniają ewolucyjnej stałości cech. Niektóre cechy w procesie ewolucji mało się zmieniają, dlatego obecność takiej cechy u określonej grupy organizmów może świadczyć o ich wspólnym pochodzeniu. Inne cechy są mniej stałe i mogą pojawiać się i znikać w procesie ewolucji wiele razy. Na przykład bardzo dogodna do określania cecha – kolor skrzydeł owada czy kolor płatków kwiatu – niejednokrotnie zmienia się w procesie ewolucji określonej grupy. Natomiast zestaw kości czaszki jest bardziej stały i mniej zmienny, dlatego nie bardzo dogodny do analizy. Najbardziej konserwatywnymi cechami zwykle są kolejności białek i RNA, których nie uwzględnia się przy opracowywaniu takich kluczy. I w końcu, do określonej klasyfikacji trafiają wyłącznie współczesne gatunki, które są tylko krótkim przekrojem nieogarniętej różnorodności form życia.

Drzewa filogenetyczne ukazują zależności ewolucyjne między gatunkami

Jednak idea stworzenia takiej naturalnej klasyfikacji, która by odzwierciedlała zależności ewolucyjne między organizmami, wydaje się bardzo kusząca, ponieważ taki schemat byłby bardzo korzystny dla badacza. Analizując podobne drzewa,



Ryc. 47.3. Różne gatunki biedronek

A. Biedronka dwukropka.

B. Biedronka siedmiokropka.

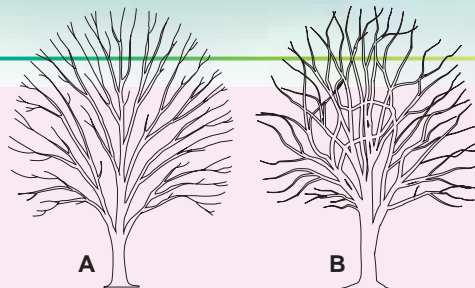
można wyjawiać mechanizmy przekształceń ewolucyjnych, które kierują rozwojem życia na Ziemi. Drzewo, które przedstawia zależności ewolucyjne między organizmami, nazywa się drzewem filogenetycznym. Podstawowe zadanie współczesnej systematyki biologicznej i taksonomii – to budowanie drzew filogenetycznych. Czy można zbudować drzewo filogenetyczne? Praktycznie – nie.

Przyczyna jest taka sama: nie posiadamy pełnej informacji o różnorodności życia na Ziemi. To, co nam daje kronika paleontologiczna, to mała kropla w oceanie różnorodności, który wywołuje ewolucja. Wyobrażenia o zwierzętach prehistorycznych, które mamy, są bardzo fragmentaryczne.

Większość ssaków ery mezozoicznej (których różnorodność była nie mniejsza niż różnorodność dinozaurów) znamy ze szczątków: zębów i fragmentów szczęk. Ustalić jednoznaczne zależności ewolucyjne między nimi i współczesnymi zwierzętami jest absolutnie niemożliwe, ponieważ znaczną część informacji o nich utracono oraz nie są znane praktycznie wszystkie formy przejściowe.

Jeszcze jedna przyczyna, bardziej fundamentalna, polega na tym, że ukazanie ewolucji w postaci drzewa dla wielu grup organizmów (prokariotów, i być może, pierwotniaków) w zasadzie nie jest możliwe.

U większości organizmów informacja dziedziczna jest przekazywana pionowo, czyli od rodziców do dzieci, od dzieci do wnuków i tak dalej. U prokariotów i pierwotniaków możliwe jest poziome przekazywanie informacji dziedzicznej, kiedy organizmy, które nie są potomkami, otrzymują informację dziedziczną od tego organizmu. W rezultacie nowe cechy będą nabywane nie tylko w wyniku mutacji i ich dziedziczenia, ale też w wyniku kombinowania cech różnych niespokrewnionych organizmów. W takim razie drzewo ewolucyjne przekształci się na sieć ewolucyjną (ryc. 47.4). Jednak biolodzy próbują zbudować drzewo maksymalnie podobne do filogenetycznego. Jak im się to udaje, dowiesz się z następnego paragrafu.



Ryc. 47.4. Schematyczne drzewa filogenetyczne

A. Drzewo o pionowym przekazie genów.

B. Drzewo o pionowym i poziomym przekazie genów.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1 Nazwy taksonów jednego poziomu, według których rośliny i zwierzęta różnią się między sobą – to

- A** królestwo – klasa **B** klasa – rząd **C** rząd – typ
D rząd – rząd **E** rodzina – gatunek

2 Do podziału organizmów na jądrowe i bezjądrowe doprowadziło

- A** odkrycie mikroorganizmów **B** nagromadzenie wiedzy z genetyki
C udoskonalenie mikroskopu **D** powstanie teorii komórkowej
E eksperymenty Pasteura dotyczące samoródtwa

- 3** W jednym z kluczy żuków jest wyraz „odnóża kroczone ze skórzastymi płytkami”. Jest to przykład
A tezy **B** antytezy **C** zasady dychotomicznej
D cechy fizjologicznej organizmu **E** podwójnego sądu
- 4** Wszystkie organizmy, które latają, mogą być połączone w jeden takson, dlatego można stwierdzić, że
A one są spokrewnione między sobą **B** one mają wiele wspólnych cech
C one pochodzą jeden od drugiego
D one tworzą jedną gałąź drzewa filogenetycznego
E wszystkie one są różnymi populacjami jednego gatunku
- 5** Drzewo filogenetyczne ukazuje
A podobieństwo gatunków pod względem wyglądu zewnętrznego
B podobieństwo gatunków pod względem składu chemicznego
C od jakich gatunków wzięły początek inne gatunki
D kolejność gatunków przodków tego gatunku
E sztuczną klasyfikację organizmów żywych

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Czym się różni klasyfikacja dychotomiczna od drzewa filogenetycznego?
- 7** W jakim celu biolodzy klasyfikują różne organizmy?
- 8** Jaką cechę – zabarwienie skrzydeł owadów czy budowę czaszki – stosowniej będzie wykorzystać w celu stworzenia drzewa filogenetycznego?
- 9** Dlaczego większości wymarłych organizmów nie udaje się umieścić na drzewach filogenetycznych?
- 10** Jak obecność poziomego przekazywania genów komplikuje budowanie drzewa filogenetycznego?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Jakie jednostki taksonomiczne są największe, a jakie – najmniejsze? Dlaczego ich powiększenie czy pomniejszenie jest niemożliwe?
- 12** Na czym polega różnica między kladogramem a drzewem filogenetycznym?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** W jaki sposób może odbywać się poziome przekazywanie genów? Czy ono jest możliwe między eukariotami wielokomórkowymi?
- 14** Jakie trudności powstają przed współczesną systematyką wirusów?

Projekt do opracowania w grupie

- 15** Układanie dychotomicznych schematów klasyfikacji.
- 1) Spróbuj ułożyć schemat dychotomiczny klasyfikacji dla różnych obiektów: organizmów kręgowych, krewnych, organizmów mieszkających w szkole, marek samochodów, gier komputerowych itd.
 - 2) Przedstaw otrzymany schemat kolegom z klasy i zaproponuj im sklasyfikować według niego jakiś obiekt.
 - 3) Na czym polegały wady twego schematu? Co trzeba zrobić, aby go ulepszyć?

§ 48. Podstawowe grupy organizmów żywych

Wszystkie organizmy należą do trzech domen żywego

Pod względem budowy organizmy żywe można podzielić na prokariotów (które nie mają jądra komórkowego) i eukariotów (organizmy jądrowe). Komórka eukariotyczna jest bardziej skomplikowana niż prokariotyczna, dlatego uważa się, że eukarioty pochodzą od jakichś dawnych prokariotów. Jednak ustalić pokrewieństwo między nimi okazało się nie tak łatwo. W tym celu wykorzystano analizę kolejności RNA rybosomów. Te cząsteczki RNA mają wszystkie organizmy żywe, od pałeczki okrężnicy do człowieka. One bardzo powoli zmieniają się w procesie ewolucji i dlatego cudownie nadają się do odtwarzania dawnych wydarzeń ewolucyjnych. Analiza rybosomowych RNA umożliwiła podział całej bioróżnorodności na trzy grupy, które nazywają się domenami: Bakterie, Archeony, Eukarioty (ryc. 48.1).

Patrząc na drzewo ewolucyjne na rycinie, od razu możesz zauważyć dwie ciekawe osobliwości. Po pierwsze różnorodność prokariotów stanowi dwie wyraźnie oddzielone gałęzie, które były nie bardzo trafnie nazwane Bakteriami i Archeonami. Po drugie gałąź Archeonów jest siostrzana do Eukariotów. A więc eukarioty i archeony miały wspólnego przodka, który nie należał do bakterii. To również potwierdza fakt, że genom archeonów miał o wiele więcej wspólnego z genomem jądrowym eukariotów niż z genomem bakterii. Otóż przodek eukariotów był bardziej podobny do współczesnych archeonów niż do współczesnych bakterii.

Bakterie i archeony nie posiadają jądra

Analiza DNA świadczy, że różnorodność prokariotów zaprezentuje dwie grupy – bakterie i archeony. Te gałęzie ewolucji rozeszły się na samym początku kształtowania się życia na Ziemi. Obecnie bakterie są najpopularniejszymi organizmami na planecie: one zasiedlają oceany, glebę, otwory wiertnicze w korze ziemskiej, organizmy żywe; ich zarodniki są roznoszone przez atmosferę i pokrywają całą powierzchnię ziemi.



Wspólny przodek

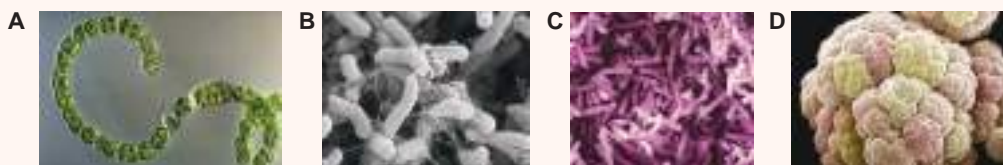
Ryc. 48.1. Drzewo ewolucyjne, które ukazuje trzy domeny żywego

1. Domena Bakterie (Bacteria).
2. Domena Archeony (Archaea).
3. Domena Eukarioty (Eukarya).

Carl Woese

Urodził się w 1928 roku w Nowym Jorku (USA). Studiował na Yale University. Odkrył nową grupę organizmów – archeony. Zaproponował nową systematykę przyrody żywej podzieliwszy ją na trzy domeny: Bakterie, Archeony i Eukarioty. Sformułował hipotezę o pochodzeniu życia, którą potem Walter Gilbert rozwinął w hipotezę „Świata RNA”. Idee Woesa mają znaczące eksperymentalne i teoretyczne wsparcie, dlatego dziś tylko niewielka grupa konserwatywnych uczonych dotrzymuje się starych poglądów dotyczących systematyki przyrody. Woese pracował jako profesor na University of Illinois. Zmarł w końcu 2012 roku.





Ryc. 48.2. Bakterie i archeony

A. *Sinica anabaena*. Wchodzi do składu fitoplanktonu, przeprowadza fotosyntezę z wydzielaniem tlenu. Niektóre gatunki wchodzi w symbiozę z roślinami. **B.** Przecinkowiec cholery. Ma postać wygiętej pałeczki mającej wici. Zwykle zamieszkuje zanieczyszczone zbiorniki wodne, może też pasożytować w jelicie cienkim człowieka, wywołując cholereę. **C.** Bakterie mlekowe.

Są wykorzystywane przez człowieka do wytwarzania mlecznych produktów fermentowanych.

D. Archeobakteria *methanosarcina*, która przeprowadza metanogenezę – szczególnie rodzaj oddychania anerobowego z powstaniem metanu. Zasiedla beztlenowe miejsca zamieszkania: głębokie wody stokowe, glebę błotnistą, jelito ssaków.

Bakterie są życiowo niezbędne do normalnego funkcjonowania biosfery: tylko one urzeczywistniają **wiązanie azotu (asymilację N_2)** – proces, który przetwarza azot atmosferyczny w związki, które są dostępne innym organizmom. Sinice wnoszą znaczący wkład w produkcję tlenu (ryc. 48.2, A). Bakterie symbiotyczne, które zasiedlają nasze jelito, produkują witaminy i zapewniają normalne trawienie. Jednak niektóre bakterie powodują schorzenia (ryc. 48.2, B). Pierwsza **pandemia** (epidemia, która ogarnęła całą planetę) dżumy wybuchła w VI stuleciu¹ i zabrała około 100 mln ludzi. Wiele bakterii człowiek nauczył się wykorzystywać w swoim celu: do wytwarzania mlecznych produktów fermentowanych (ryc. 48.2, C), serów, niektórych napojów alkoholowych, kiszonych warzyw, o czym będzie mowa w § 60. Archeony są też dość rozpowszechnione w biosferze². Wśród nich jest wiele organizmów, które preferują ekstremalne warunki bycia – wysoką temperaturę i znaczne zasolenie. Można je znaleźć w wodach gejzerów i źródeł wulkanicznych, słonych jeziorach, które przesycają. Wiele archeowców unika kontaktu z tlenem i jest zmuszonych do życia w beztlenowych „kieszeniach” biosfery, takich jak wody gruntowe i przewód pokarmowy zwierząt (ryc. 48.2., D).

Pochodzenie eukariotów tłumaczy teoria endosymbiotyczna

Jak już wspominaliśmy na początku paragrafu, pierwsze eukarioty pochodzą od dawnych archeonów. Jednak oprócz jądrowego DNA większość eukariotów ma jeszcze cytoplazmatyczny DNA, który znajduje się w mitochondriach i plastydach. Kolejności tego DNA bardziej przypominają DNA bakterii: w przypadku mitochondriów – alfa –proteobakterie³, a w przypadku zielonych chloroplastów – sinice.

Rozpatrzmy hipotetyczny scenariusz pochodzenia mitochondriów w granicach teorii endosymbiozy. Jakiś przodek prokariotyczny eukariotów (jakiś dawny archeon) wstąpił w ciasny kontakt z jakąś dawną bakterią, w wyniku czego ostatnia była pochłonięta przez

1 W Europie nazwano ją dżumą Justynianą.

2 Przedtem sądzono, że archeonów w biosferze jest mało, jednak ostatnie badania wskazują, że one stanowią znaczną część planktonu oceanicznego oraz szczególnie zasiedlają dno morskie, glebę, jelita zwierząt.

3 Do nich należy endosymbiont roślin asymilant N_2 *Rhizobium* oraz wewnątrzkomórkowy pasożyt zwierząt riketsja wywołująca tyfus plamisty.

naszego dalekiego przodka¹. Obecność w środku archeonów bakterii symbiotycznych dała nieoczekiwane ewolucyjne przewagi. Bakterie odpowiadały za szereg procesów biochemicznych, wśród których najważniejszy – to oddychanie komórkowe. Błona bakterii symbiotycznej z wbudowanymi w niej komponentami łańcucha przenoszenia elektronów i ATP – syntetazami przekształciła się na wewnętrzną błonę mitochondrialną, a błona wakuoli, w której ta bakteria mieszkała – na zewnętrzną. Na wspomnienie swego bakteryjnego pochodzenia mitochondrie większości organizmów niosą kółeczko zamknięty DNA i rybosomy, które przypominają bakteryjne. Obecność mitochondriów pozwoliła gospodarzowi przełożyć obciążenie kontroli nad oddychaniem na symbionta, a samemu przystąpić do budowania złożonej architektury komórkowej charakterystycznej dla eukariotów. Niektóre eukarioty później wstąpiły w podobne stosunki symbiotyczne z sinicami, otrzymawszy chloroplasty i zdolność do fotosyntezy.

Wirusy – to niekomórkowe nie organizmy

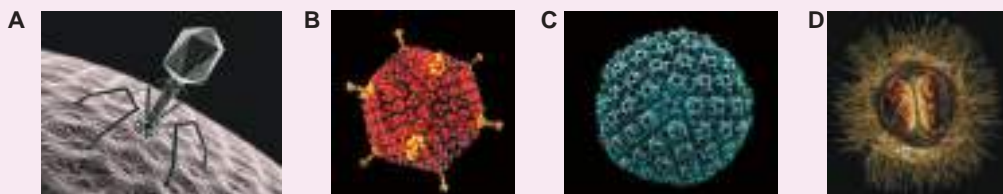
Wspomnijmy teraz o wirusach. One nie posiadają budowy komórkowej i nie są żywymi organizmami. Wirusy są wewnątrzkomórkowymi pasożytami organizmów żywych bakterii, archebakterii i eukariotów. Wirus – to kwas nukleinowy (DNA lub RNA) otoczony osłonką białkową, a czasami – jeszcze błoną tłuszczową z białkami. Różnorodność wirusów składających się z RNA przedstawiono w § 23.

Na rycinie 48.3 podano kilka przykładów wirusów składających się z DNA.

Bakteriofag T4. Ten wirus (ryc. 48.3, A) pasożytuje w bakteriach. On ma bardzo skomplikowaną budowę: główkę, ogonek i „czułki”. Po przytwierdzeniu się do powierzchni bakterii bakteriofag T4 funkcjonuje jak strzykawka: przebija błonę komórkową i wstrzykuje do środka komórki swój DNA. Następnie ten DNA kopiuje się w komórce, za nim syntezują się białka wirusowe i tworzą się nowe wirusowe cząsteczki, które wychodzą z komórki.

Adenowirus – to DNA wirus człowieka (ryc. 48.3, B), który wywołuje ostre zapalenie górnych dróg oddechowych, czyli choroby układu oddechowego, którym towarzyszy kaszel, katar, ból głowy i gorączka.

Herpeswirus. Różnorodne herpeswirusy (ryc. 48.3, C) atakują najróżnorodniejszych kręgowców – od ryb do człowieka. Większość ludności planety zarażona jest



Ryc. 48.3. Wirusy DNA

A. Bakteriofag T4. Wirus, który atakuje bakterie. **B.** Adenowirus. Wywołuje ostre zapalenie górnych dróg oddechowych. **C.** Herpeswirus. W przypadku zmniejszenia odporności miejscowej (np. przy przechłodzeniu) wirus uaktywnia się i rozwija się zakażenie herpeswirusowe. **D.** Mimivirus. Gigant wśród wirusów. Jego średnica sięga 500 nm (dla porównania: średnica adenowirusa wynosi 70 nm).

1 Charakter tych kontaktów trudno jest zrekonstruować jednoznacznie. Przedtem sądzono, że przodek eukariotów był drapieżcą i na wzór współczesnego pełzaka pochłaniał drobne bakterie, które były obok. Jednak możliwe jest, że bakteria nie była tak bezbronna, lecz na odwrót – pasożytowała na przodku eukariotów.

herpeswirusem. Zwykle on przebywa w jądrze komórkowym i w żaden sposób siebie nie ujawnia. Ale zakażenie herpeswirusowe rozwija się, jeżeli odporność miejscowa jest obniżona, czego przyczyną często jest przechłodzenie.

Mimivirus jest największym pod względem rozmiarów wirusem, który infekuje pełzaków (ryc. 48.3, D). On posiada największy i najbardziej skomplikowany genom. Niektórzy badacze sadzą, że mimivirus mógł powstać od jakichś przodkowych organizmów komórkowych¹.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Poprawna kolejność powstawania trzech domenów organizmów żywych jest następująca:
A bakterie – eukarioty – archebakterie B archebakterie – bakterie – eukarioty
C eukarioty – bakterie – archebakterie D bakterie – archebakterie – eukarioty
E archebakterie – eukarioty – bakterie
- 2 Błona wewnętrzna mitochondrium pochodzi od
A zewnętrznej błony komórki archebakterii B błony wakuoli archebakterii
C zewnętrznej błony komórki bakterii
D błony wakuoli bakterii E błony wakuoli eukariota
- 3 Przodkiem chloroplastów był najbliższy krewny
A eugleny zielonej B pałeczki okrężnicy C sinica
D bakterii gnilnej E bakterii metanowych
- 4 Pasożyt bakterii – to
A herpeswirus B pałeczka okrężnicy C prątek cholery
D *methanosarcina* E bakteriofag T4

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 5 Nazwa „archeony” pochodzi od wyrazu greckiego αρχαῖος, co znaczy „dawny”. Dlaczego taka nazwa nie bardzo pasuje tej grupie prokariotów z punktu widzenia ich pochodzenia?
- 6 Jakie zmiany miały zajść w przemianie materii i informacji genetycznej komórki – gospodarza, aby pochłonięta bakteria stała się organellą endosymbiotyczną?
- 7 W jakiej kolejności w procesie ewolucji powstawały pierwsi przedstawiciele królestwa *Rośliny, Zwierzęta i Grzyby*?
- 8 Opisz cykl życiowy wirusa.
- 9 Podaj charakterystykę podstawowych różnic wirusów i bakterii.

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 10 Wiadomo, że dwubłonowe plastydy i mitochondria pochodzą od bakterii-endosymbiontów. A jakie jest pochodzenie dwubłonowego jądra komórek eukariotów? Dlaczego wirusy nie są zaliczane do organizmów żywych?
- 11 Archeony zachowały się przede wszystkim w miejscach o ekstremalnych warunkach. Co jest tego przyczyną?
- 12

¹ Okazało się, że ten wirus ma nawet swego wirusa-pasożyta, który nazywa się wirofag-sputnik. Wirofag żyje, wykorzystując białka mimivirusa do własnego rozmnażania. Jest to przykład nadpasożytnictwa wśród wirusów.

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Jakie osobliwości organizacji genomu archeonów spokrewniają je z eukariotami i odróżniają od bakterii?
- 14** Podaj charakterystykę podstawowych hipotez pochodzenia wirusów. Do której z nich jest przychylna większość uczonych?

Praca praktyczna № 4

Porównanie budowy i procesu rozmnażania komórkowych form życia i wirusów

Cel: zbadać podobieństwa i odmienności w budowie i rozmnażaniu się wirusów, prokariotów i eukariotów.

Tok pracy:

Porównanie budowy

1. Narysuj schematyczną budowę cząstki wirusowej, komórki bakterii i komórki eukariota. Podpisz ich komponenty.
2. Wypełnij tabelę porównawczą cech budowy form życia i wirusów.

Kryterium porównania	Wirusy	Prokarioty	Eukarioty
Wielkość organizmu			
Budowa komórkowa			
Wielokomórkowość			
Obecność narządów			
Budowa otoczki			
Organelle błonowe			
Organelle nieobłonione			
Jądro			
Nosiciel informacji dziedzicznej			
Różnorodność kwasów nukleinowych			
Ilość chromosomów			
Wielkość genomu			

Porównanie procesu rozmnażania

3. Podziel charakterystyki procesu rozmnażania według trzech kategorii – wirusy, prokarioty i eukarioty (niektóre charakterystyki mogą dotyczyć kilku kategorii):

- rozmnażanie tylko w środku komórki;
- komórki dzielą się raz na 20–30 min;
- podział na połowę;
- zarodniki;
- gamety;
- rozmnażanie częściami ciała;
- odbywa się wymiana informacją dziedziczną;
- niezbędne jest kopiowanie kwasów nukleinowych;
- wystarcza jednego osobnika;
- jednocześnie powstaje wiele potomków;
- ciągle rozmnażanie się przy sprzyjających warunkach;
- rozmnażanie się przy sprzyjających warunkach tylko w pewnym okresie czasu;
- przemiana pokoleń, które rozmnażają się drogą bezpłciową i płciową.

§ 49. Bioróżnorodność eukariotów

Drzewo filogenetyczne eukariotów zawiera pięć supergrup

Pamiętasz, że klasyczny system klasyfikacji eukariotów stworzony z uwzględnieniem budowy komórkowej, zawierał trzy królestwa: *Rośliny*, *Zwierzęta* i *Grzyby*. Później najprymitywniejsi przedstawiciele tych królestw zostali wyodrębnieni i połączeni w królestwo Pierwotniaki. Jednak dane, które były otrzymane w wyniku analizy kolejności DNA oraz głębszego poznania budowy komórkowej pierwotniaków, zmusiły uczonych przeglądać zależności ewolucyjne między organizmami eukariotycznymi. Współczesne drzewo ewolucyjne eukariotów przedstawiono na rycinie 49.1. Wszystkie współczesne eukarioty podzielono na pięć wielkich grup, które są nazywane **supergrupami**.

Supergrupa Archaeplastida – organizmy, których daleki przodek wstąpił w symbiozę z sinicą, otrzymawszy chloroplasty o dwóch błonach. Tu należą krasnorosty i zielenice oraz rośliny wyższe.

Supergrupa Excavata – dość różnorodna grupa. Do niej należą różne organizmy jednokomórkowe z wiciowców: pasożyty człowieka (lamblie i trypanosoma) oraz organizmy nieparazytujące (np. klejnotka).

Supergrupa SAR – różnorodna supergrupa eukariotów. Wchodzi do niej wielokomórkowe brunatnice tworzące gęste podwodne lasy, planktonowe okrzemki mieszkające w pancerzykach z krzemionki, pasożyt człowieka – zarodek malarii oraz różnorodne jednokomórkowe organizmy o najbardziej skomplikowanej budowie – pantofelki. Do tej supergrupy należą również promienice i otwornice – jednokomórkowe organizmy, które formują twarde pancerzyki. One zamieszkują plankton lub dno morskie.

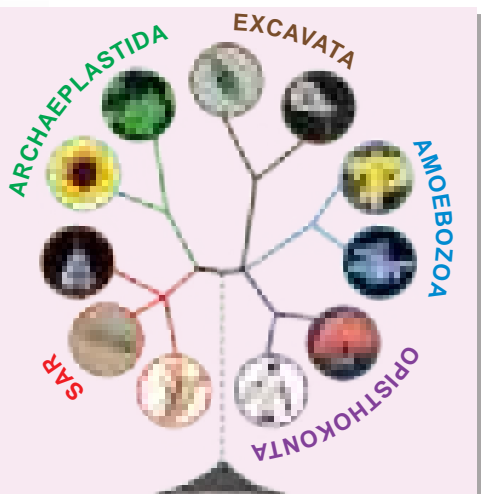
Supergrupa Amoebozoa – supergrupa, do której wchodzi różne pełzaki (również zwykły pełzak odmieniec) i bardziej skomplikowane śluzowce.

Supergrupa Opisthokonta – supergrupa, do której należy człowiek. Jej przedstawiciele pierwotnie mają tylko jedną wicę na swoich wiciowych stadiach. Do niej zalicza się królestwo *Zwierzęta* i *Grzyby*.

Następnie rozpatrzmy przedstawicieli trzech klasycznych królestw – Roślin, Grzybów i Zwierząt.

Królestwo Rośliny – to zielone królestwo eukariotów

Przedstawiciele królestwa Rośliny pełnią najważniejszą rolę w funkcjonowaniu biosfery. One są dominującymi autotrofami – organizmami, które syntezują substancje organiczne z nieorganicznych. To właśnie rośliny dziś produkują większą część tlenu w biosferze¹. Rośliny pokrywają powierzchnię gleby, zapobiegając erozji

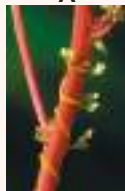


Ryc. 49.1. Współczesne drzewo ewolucyjne eukariotów

1 Rola sinic jest tu mniej znacząca.

Ryc 49.2. Przedstawiciele królestwa Rośliny

A. Kianiaka – roślina – pasożyt. W procesie ewolucji utraciła zdolność nie tylko do fotosyntezy, lecz nawet liście i korzenie. Jednak w okresie kwitnienia ona formuje kulopodobne kwiatostany.



B. Welwiczia przedziwna – roślina pustynna, która ma pęd w postaci krótkiego żdźbła i dwóch długich listków, którymi ona pochłania wilgoć z porannej rosy. Wbrew swemu nietypowemu wyglądowi welwiczia jest krewną jodły i sosny. **C.** Torfowiec (*Sphagnum*) – mech, który w wielkich ilościach rośnie na błotach. Z obumarłych części torfowca formuje się torf.

gruntów i sprzyjając ich formowaniu. Nasz świat, bez wątplenia, jest taki, jak my go znamy, dzięki roślinom (ryc. 49.2). Nie patrząc na ogromną różnorodność roślin, one mają szereg cech wspólnych.

1. Wszystkie rośliny posiadają chloroplasty, które ich przodkowie nabyli w procesie symbiozy z sinicami. Niektóre rośliny – pasożyty utraciły zdolność do fotosyntezy, jednak i u nich zachowały się przekształcone chloroplasty (leukoplasty).
2. Wszystkie rośliny posiadają twardą ścianę komórkową, której podstawę tworzy polisacharyd błonnik.
3. W cyklu życiowym roślin obserwujemy przemianę haploidalnego pokolenia płciowego (gametofitu), który produkuje gamety oraz diploidalnego bezpłciowego pokolenia (sporofitu), które produkuje zarodniki. Stosunek płciowego i bezpłciowego pokolenia waha się u różnych roślin: u mchów dominuje gametofit haploidalny, a u kwiatowych – diploidalny sporofit.

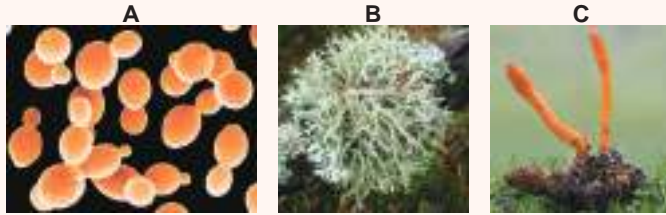
Królestwo Grzyby – czyli te, które odżywiają się saprotroficznie

Grzyby – to najbardziej rozpowszechnione organizmy eukariotyczne. One zasiedlają glebę, zbiorniki wodne, pasożytują w innych organizmach. Wiele grzybów jest symbiontami roślin. U większości roślin naziemnych istnieje szczególny rodzaj symbiozy z grzybem – mikoryza. A storczyki w ogóle nie potrafią wykiełkować z nasienia bez udziału grzybów. Obecnie dokładnie ustalono, że wyjście roślin na ląd stało się możliwe wyłącznie dzięki symbiozie z grzybami. Wiele grzybów jest pasożytami i szkodnikami rolnictwa: głownia pyłkowa, buławinka czerwona, mączniak. Niektóre grzyby w procesie ewolucji powtórnie uprościły się i stały się organizmami jednokomórkowymi – na przykład drożdże (ryc. 49.3, A). Inne grzyby posiadają zdolność współżycia z mikroskopowymi glonami, tworząc unikalne wspólnoty – **porosty** (ryc. 49.3, B). Chociaż grzyby są bardzo różnorodne, wszystkie one mają wspólne cechy.

1. Komórki posiadają twardą ścianę komórkową, której podstawę tworzy polisacharyd **chityna**. U niektórych grzybów (drożdże i pleśń chlebowa – pleśniak biały) zawartość chityny w ścianie komórkowej jest niewielka, ale jednak jest.

Ryc. 49.3. Przedstawiciele królestwa Grzyby

A. Drożdże. Wiadomo, że przodkami drożdży były wielokomórkowe grzyby, ale one uprościły się w procesie ewolucji. **B.** Porosty – to symbioza



grzyba i glona. Organizmy w tej wspólnocie bardzo ściśle są ze sobą powiązane nie tylko anatomicznie, ale też biochemicznie. Sądzi się, że porosty były pierwszymi organizmami lądowymi, które pokrywały Ziemię miliard lat temu, na długo przed roślinami. **C.** Kordyceps – grzyb pasożytniczy. Zwykle pasożytuje na larwach owadów. Grzyb zabija larwę i odżywia się jej tkankami. Później bezpośrednio z ciała owada wyrastają owocniki grzyba, które rozsiewają zarodniki.

2. Dla grzybów charakterystyczne jest odżywianie się saprotroficzne: z powodu obecności twardej ściany komórkowej one nie potrafią pochłaniać twardych cząstek pokarmu i są zmuszone do wsysania powierzchnią ciała rozpuszczonych substancji odżywczych.
3. Owocnia większości grzybów jest sieć z nici (strzępeków) – grzybnia. Grzybnia może być podzielona na oddzielne komórki lub stanowić jedną wielką wielojądrową komórkę.

Królestwo Zwierzęta – to wielokomórkowe heterotrofy

Królestwo *Zwierzęta* – to jedna z najbardziej różnorodnych grup organizmów żywych. Uczeni już opisali około 1,3 mln gatunków zwierząt, których według ich obliczeń jest od 10 do 200 mln. Zwierzęta zasiedliły najróżniejsze zakątki planety. Znajduje się je w Rowie Mariańskim w Oceanie Spokojnym, w złotodajnych kopalniach w Afryce Południowej na głębokości 2,5 km, w górnych warstwach troposfery. Najbardziej wytrzymałe przedstawiciele zwierząt wytrzymują zamrażanie prawie do absolutnego zera oraz działanie promieniowania kosmicznego. Najmniejsze organizmy wielokomórkowe

Ryc. 49.4. Przedstawiciele królestwa Zwierzęta

A. Chrzęszcz pióroskrzydły – jeden z najmniejszych owadów na świecie: tylko 250 μm długości, co można porównać z wielkością pantofelka. Sądzi się, że istnieje niezwykle dużo najdrobniejszych owadów, które do dziś są prawie nie zbadane. **B.** Niesporczak – to mikroskopijne stworzenie, które zamieszkuje wodę i glebę. Niesporczaki są najbardziej wytrzymałymi zwierzętami na Ziemi: one mogą przetrwać całkowite wysychanie, zamrażanie i nawet promieniowanie kosmiczne. **C.** Płetwal błękitny – to największe zwierzę na planecie. Być może największe spośród wszystkich, które kiedyś istniały. Jego długość sięga 33 metrów, a masa może przekraczać 130 ton, co odpowiada masie 25 słońi.



pod względem wielkości ustępują pantofelkowi, największe zwierzę ma wielkość łodzi podwodnej (ryc. 49.4). Jeden z gatunków zwierząt potrafił tak się rozwinąć, że nabył doskonały intelekt, stał się zdolny do poznania Wszechświata, stworzył nauki i sztukę, wznosił ogromne budowle, poleciał do kosmosu i wylądował na Księżycu!

Zwierzęta mają wiele wspólnych cech, które wyraźnie je odróżniają spośród innych królestw eukariotów. Spróbujmy wyliczyć te cechy.

1. Wszystkie te zwierzęta są pierwotnie heterotroficzne. Wraz z tym u niektórych płazińców i mięczaków ukształtował się bardzo specyficzny sposób odżywiania. Ich larwa normalnie odżywia się i może połączyć glon – symbiont. Ten glon osiedla się w tkankach gospodarza, żyje i rozmnaża się tam, dostarczając mu substancje organiczne, które były otrzymane w procesie fotosyntezy. Taka współzależność podobna jest do współzależności glonu i grzyba w poroście. Robak otrzymuje całą niezbędną mu organikę od glonu i więcej nie potrzebuje dodatkowego odżywiania.
2. Zwierzęta otrzymują substancje odżywcze z otaczającego środowiska, pochłaniając twarde cząsteczki, a nie wchłaniając rozpuszczonych, jak grzyby. Co prawda ta zasada ma wiele wyjątków. Tasiemce, które zamieszkują jelito cienkie kręgowców, pochłaniają substancje odżywcze powierzchnią ciała, a przewodu pokarmowego one nie posiadają. Dorosły osobnik worecznicy, który pasożytuje w tkankach kraba, ma kształt grzybni i również pochłania pożywne soki powierzchnią ciała, czyli odżywia się saprotroficznie.
3. Komórki zwierzęce zawierają na swej powierzchni różnorodne białka i polisacharydy, które pełnią funkcję strukturalną i biorą udział w połączeniu komórek w tkanki i przekazywaniu sygnałów w środku komórki. Ale twardej ściany komórkowej, jak u roślin i grzybów, one nie mają.
4. Komórki, z których zbudowany jest organizm zwierząt, są zróżnicowane, czyli różnią się swoją budową i funkcjami. U większości zwierząt można wyodrębnić 4 typy tkanek: nabłonkową, łączną, nerwową i mięśniową. Te komórki z kolei mogą dzielić się na inne rodzaje (na przykład u człowieka tkanka mięśniowa dzieli się na tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną szkieletową, tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną sercową, tkankę mięśniową gładką).
5. Ważną cechą zwierząt jest obecność rozwoju embrionalnego – osobliwego stadium cyklu życiowego, w którym procesie zakładają się i formują narządy i tkanki.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Torfowiec należy do supergrupy
A Archaeplastida B Excavata C SAR D Amoebozoa E Opisthokonta
- 2 Rośliny NIE wykonują funkcji
A tworzenia tlenu B syntezy substancji organicznych z nieorganicznych
C rozpadu substancji organicznych do nieorganicznych
D utleniania substancji organicznych do nieorganicznych
E osłabienia erozji i niszczenia gleby
- 3 NIE wszystkie rośliny posiadają taką cechę jak
A fotosynteza B obecność chloroplastów w komórce
C twarda ściana komórkowa z błonnika
D obecność płciowego i bezpłciowego pokolenia E obecność jądra w komórce

- 4 Saprofotycznie odżywia się taki organizm jak
A pełzak **B** mech **C** tasiemiec **D** wieloryb **E** chrząszcz
- 5 Wśród podanych organizmem jednokomórkowym jest
A pletwal błękitny **B** drożdże **C** torfowiec **D** porosty **E** chrząszcz pióroskrzydły

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Dlaczego wszystkie eukarioty zostały podzielone na 5 supergrup, a nie na 3–4 królestwa?
- 7 Bez roślin niemożliwe jest życie zwierząt i grzybów. Uzasadnij lub obal to stwierdzenie.
- 8 Jak sposób odżywiania się organizmu zależy od budowy jego komórek?
- 9 Czy wystarczające jest takie kryterium jak autotroficzne czy heterotroficzne odżywanie do określenia, czym jest konkretny organizm – rośliną czy zwierzęciem?
- 10 Podaj przykłady organizmów, które są zdolne do istnienia tylko w symbiozie z innymi organizmami. Wytlumacz, czego brakuje gospodarzowi i w czym pomaga symbiont.

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11 Jakie zwierzęta mają przemianę płciowego i bezpłciowego pokolenia? Co daje tym zwierzętom taka przemiana?
- 12 Jakie cechy budowy i funkcjonowania klejnotki dają podstawę zaliczać ją do roślin, a jakie – do zwierząt?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13 Czy mają rośliny i grzyby rozwój embrionalny? Na czym polega różnica między tymi etapami cyklu życiowego u zwierząt i roślin?
- 14 Jakie jest znaczenie biologiczne dyferencjacji (różnicowania się) komórek? Czy możliwe jest istnienie wielkich organizmów wielokomórkowych, które są zbudowane z komórek niezróżnicowanych?

Projekt do opracowania w grupie

- 15 Porównanie roślin, grzybów i zwierząt.
- 1) Ułóż tabelę porównawczą trzech podstawowych królestw eukariotów.
 - 2) Zaproponuj kolegom z klasy za pomocą tej tabeli określić, do jakiego królestwa należy organizm eukariotyczny (na wybór), uwzględniając jego budowę i osobliwości czynności życiowych.
 - 3) Z czyją klasyfikacją wśród twoich kolegów wyniknęły największe problemy?



**Kateryna
Głazunowa**

Ukończyła Lwowskie Liceum Fyzyko – Matematyczne w 1998 roku. Studiowała na Lwowskim Narodowym Uniwersytecie im. I. Franki. Obroniła stopień doktora nauk biologicznych. Obecnie pracuje jako docent na Katedrze Pedagogiki Korykcyjnej Lwowskiego Obwodowego Instytutu Oświaty Podyplomowej.

Dodatek X

Różnorodność pierwotniaków

Wrzaz z rozwojem mikroskopii elektronowej oraz na podstawie badań biochemicznych, cytologicznych i genetycznych ustalono, że wśród pierwotniaków obserwujemy ogromną różnorodność, która przejawia się w różnych schematach budowy komórki. Pierwotniaki są bardzo różnorodną grupą organizmów żywych, których oddzielni przedstawiciele mogą mieć cechy królestwa Zwierząt, Roślin lub Grzybów. Dlatego zagadnienie dotyczące systematyki pierwotniaków po dzień dzisiejszy jest zagadnieniem dyskusyjnym.

Pierwotniaki są zazwyczaj organizmami jednokomórkowymi. Jednak istnieją też formy kolonialne i wielokomórkowe, które nie mają wyspecjalizowanej budowy tkankowej. Pierwotniaki są rozpowszechnione przeważnie w środowisku wodnym lub wilgotnym (wody słodkie i słone, gleba). Oddzielne miejsce wyznaczono formom pasożytniczym, które mogą być przyczyną schorzeń u ludzi, zwierząt czy roślin. Podstawowe sposoby odtwarzania pierwotniaków – rozmnażanie bezpłciowe. Niektóre posiadają skomplikowany cykl życiowy z przemianą pokoleń i zmianą gospodarzy.

Pierwotniaki, które pod względem budowy podobne są do przedstawicieli świata roślinnego, mają w porównaniu z innymi roślinami uproszczoną budowę komórki. Przykładami takich pierwotniaków są glony, między innymi jednokomórkowe (zawłotnia, chlorella), kolonialne (toczek) i wielokomórkowe nitkowate (taśma) czy plechowce (laminaria, porfira itd.). Plastydy glonów różnią się pod względem budowy od plastyd innych roślin. Między innymi one różnią się ilością błon u przedstawicieli różnych oddziałów: dwubłonowe u zielenic i krasnorostów, trybłonowe u euglenid. Ilość tylakoidów – elementów strukturalnych chloroplastów – u różnych przedstawicieli też nie jest jednakowa.

Jednokomórkowe pierwotniaki, które pod względem cech są podobne do komórek zwierzęcych, należą do jednej grupy. Wśród pierwotniaków wyodrębnia się takson Zarodziowe, który łączy wolnożyjących (np. pełzak odmieniec) i pasożytniczych (np. pełzak czerwoni, lamblie) przedstawicieli, którzy poruszają się za pomocą wici lub wypustek plazmatycznych – nibynóżek (pseudopodiów). W niesprzyjających warunkach przedstawiciele typu mogą tworzyć przetrwalniki. Typ Sporowce łączy tylko pasożytniczych przedstawicieli, których cykl życiowy odbywa się z przemianą bezpłciowego rozmnażania i procesu płciowego, często z udziałem kilku organizmów – żywicieli (np. zarodziec malarii) (ryc. X.1, A). U człowieka przedstawiciele zarodziowców mogą wywoływać następujące schorzenia: malarię, kokcydiozę, toksoplazmozę. Grupa systematyczna Cnidosporidia (zarodnikowce pełzakowate) reprezentowana jest przez pierwotniaków pasożytniczych, które są przyczyną chorób zwierząt (np. ryb, skąposzczetów, błonkówek) (ryc. X.1, B). Dla typu orzęsków cechą charakterystyczną jest obecność rzęsek jako organelli ruchu. Jednak są takie, które mają rzęski tylko na określonych etapach cyklu życiowego, a w innych okresach – są nieruchome (ryc. X.1, C). Dla pantofelka cechą charakterystyczną jest obecność minimum dwóch jąder – dużego (makronukleos) wegetatywnego i małego (mikronukleos) generatywnego. Duże jądro zapewnia regulację wszystkich życiowo ważnych procesów komórki, małe jądro – przekazuje informację dziedziczną podczas rozmnażania. Pantofelki rozmnażają się drogą podziału na pół lub koniugacją.

Najprostsze grzyby są reprezentowane przez lęgniowce. Przedstawiciele najprostszycy grzybów tworzą wielojądrową grzybnię. Między jej komórkami nie ma przegródek. Taki sposób połączenia komórek ma nazwę syncytie. Przy tym komórka może nie mieć błony, a niektóre części cytoplazmy z jądrami powiązane są między sobą mostkami cytoplazmatycznymi. W skład ściany komórkowej oprócz chityny wchodzi błonnik (co jest charakterystyczne dla komórek roślinnych). Sposoby rozmnażania – proces bezpłciowy i płciowy. Są to przeważnie organizmy pasożytnicze, które wywołują schorzenia wyższych roślin i zwierząt. Na przykład fitofora wywołuje fitoforozę („ziemiaczaną zgniliznę”), która pustoszy pola, zmniejszając urodzaj ziemniaków.

Otóż do pierwotniaków należy niezwykle różnorodna grupa organizmów będących obiektem dociekań naukowców, którzy badają procesy ewolucji. Oni sądzą, że pierwotniaki są ogniwem łączącym między prokariotycznymi i współczesnymi eukariotycznymi organizmami, takimi jak rośliny i zwierzęta.

Ryc. X.1. Eukarioty jednokomórkowe

- A. Zarodziec malarii wśród erytrocytów.
- B. Zarodnikowiec pełzakowaty .
- C. Sysydliczek.



A



B



C



The more clearly we can focus our attention on the wonders and realities of the universe about us, the less taste we shall have for destruction.

Rachel Carson





ROZDZIAŁ 8

Nadorganizmowe układy biologiczne

§ 50. Różnorodność ekosystemów

Ekologia – to nauka o wzajemnych zależnościach między istotami żywymi i środowiskiem nieożywionym

W tym rozdziale zapoznasz się z podstawami ekologii – nauki o współdziałaniu organizmów żywych między sobą i środowiskiem ich istnienia. Termin „ekologia” zaproponował Ernst Hekkel ponad 150 lat temu, w 1866 roku. Wyraz „ekologia” w tłumaczeniu z języka greckiego znaczy „opowieść o domu”. W mowie codziennej ten wyraz jest używany w znaczeniu „środowisko otaczające”, „środowisko naturalne” lub nawet „czyistość otaczającego środowiska”, mimo że to nie jest poprawnie. Ekologia – to nauka, a otaczające środowisko – to jeden z obiektów jej poznania.

Ekologia rozpatruje sam organizm jako część bardziej skomplikowanego układu stosunków wzajemnych. Chodzi o to, że żadna istota żywa nie żyje w próżni. Organizmy żywe konkurują ze sobą o zasoby i przestrzeń życiową, współpracują, służą jeden drugiemu miejscem zamieszkania; jedno żywi się drugim i stara się, aby nie być zjedzonym, czyli związane są ze sobą i otoczeniem tysiącem niewidocznych „nici”. Właśnie te stosunki stanowią przedmiot badań ekologii.

Ekologia jako nauka ma ważne znaczenie praktyczne dla całej ludzkości. Na przykład brak wiedzy o podstawowych prawidłowościach ekologicznych doprowadził w Chinach do śmierci 15 mln ludzi w latach 1959–1961. Główną przyczyną było wytępienie pospolitych wróbli. Rząd Chin wyznał wróbli szkodnikami, ponieważ one jedzą ziarno. Skutkiem takiej nieprzemysłanej okrutnej akcji było wytępienie miliardów ptaków, niekontrolowane rozmnażanie się szkodników i – straszny głód. A więc zaistniała potrzeba odnowienia wyniszczonej populacji wróbli drogą zakupu żywych ptaków w Związku Radzieckim i Kanadzie. Podobne katastrofy, chociaż nie na tak wielką skalę, odbywały się i nadal stale się odbywają, kiedy człowiek próbuje bezmyślnie wtrącać się w procesy naturalne, nie doceniając ich złożoności i różnorodności.

Ekosystem jest ważnym pojęciem ekologii

Kluczowym pojęciem ekologii jest pojęcie ekosystemu, wprowadzone przez ekologa brytyjskiego **Artura Tenslego** w 1935 roku. **Ekosystem** – to całokształt organizmów żywych i środowiska ich zamieszkania, które są połączone układem fizycznych, chemicznych i biologicznych zależności. Ekosystem składa się z dwóch komponentów: biotycznego – czyli całokształtu organizmów żywych (ugrupowań) i abiotycznego – czyli środowiska ich zamieszkania. Przykładem ekosystemów jest las tropikalny i gaj brzozowy, jezioro leśne i rafa koralowa, pole pszeniczne i oaza w pustyni. Biotycznym komponentem tych ekosystemów są wszystkie zwierzęta, rośliny, grzyby i mikroorganizmy, które zamieszkują odpowiednie terytoria, a do abiotycznych komponentów możemy zaliczyć glebę, wodę, kamienie, piasek, powietrze i nawet światło słoneczne.

Lądowe ekosystemy są różnorodne i niepodobne do siebie

Wszystkie ekosystemy dzielimy na dwie grupy – wodne i lądowe. Przykładem typowych lądowych ekosystemów są ekosystemy lasów tropikalnych, lasów strefy umiarkowanej, tajgi i tundry oraz pustyń i grupowań roślin zielnych.



Ryc. 50.1. Ekosystemy lądowe

A. Las tropikalny. **B.** Szerokoliścienny las strefy umiarkowanej. **C.** Sawanna. **D.** Pustynia.

Lasy tropikalne (ryc. 50.1, A) znajdują się przeważnie w szerokościach ekwatorialnych i charakteryzują się wysoką średnią temperaturą i wilgotnością. Z powodu sprzyjających warunków klimatycznych roślinny i zwierzęcy świat lasów tropikalnych jest niezwykle różnorodny: zamieszkuje tu ponad połowę wszystkich gatunków istot żywych naszej planety. Ekosystemy lasów tropikalnych charakteryzują się wielką szczelnością gatunków. Lasy tropikalne mają bardzo ważne znaczenie dla biosfery, ale ich powierzchnia szybko maleje z powodu drapieżnickiego wyrębywania przez człowieka.

Lasy strefy umiarkowanej – to jeden z najbardziej typowych rodzajów ekosystemów na Ukrainie. Podstawę roślinności stanowią tu drzewa liściaste i iglaste (ryc. 50.1, B). W lasach klimatu umiarkowanego zwykle dobrze widoczna jest tak zwana piętrowość: obok wysokich dorosłych drzew są tu również młode drzewa, krzewy (podszyt) i warstwa runa leśnego. Świat zwierzęcy i roślinny lasów klimatu umiarkowanego nie jest tak różnorodny jak lasów tropikalnych, ale jest bogatszy niż w tajdze. Kłusownicze wyrębywanie lasu bez jego odnowienia prowadzi do erozji gleby i zniesienia jego warstwy urodzajnej, do zakłócenia bilansu wodnego, a znaczący powodzi. Wyrąb lasów w górskich miejscowościach, takich jak Karpaty, zwiększa ryzyko powstania powodzi błotnych.

Zespoły roślin zielnych. Obok lasów klimatu umiarkowanego dla Ukrainy typowe są również zespoły roślin zielnych (ryc. 50.1, C). Są to ekosystemy, których roślinność reprezentują przeważnie zboża i inne rośliny zielne. Na Ukrainie typowymi zespołami zielnymi są łąki i stepy. Zespoły roślin zielnych są miejscem zamieszkania wielkiej ilości ssaków, ptaków, gadów, owadów i innych zwierząt. Naturalne zespoły roślin zielnych mają ważne znaczenie gospodarcze, ponieważ są źródłem paszy dla domowych zwierząt roślinożernych.

W **pustyniach** roślinność jest rozrzedzona i część roku może przebywać w nieaktywnym stanie, ale jednak istnieje (ryc. 50.1, D). Są to przeważnie krzaki i na pół krzaki (saksaul, akacja, piołun), czasami trawy i sukulentów¹ (kaktusy, aloesy). Świat zwierzęcy pustyń jest bardzo swoisty i dobrze przystosowany do życia w warunkach braku wody, gwałtownych zmian temperatur i silnego promieniowania słonecznego. Z ssaków przeważnie trafiają się gryzonie i kopytne, z gadów – żmije i jaszczurki, a także różnorodne owady i pajęczaki.

Agrocenozy. Oprócz naturalnych ekosystemów są różnorodne ekosystemy sztuczne, stworzone i podtrzymywane przez człowieka: pola, grządki, kłomby, sady. Agrocenozy różnią się od ekosystemów naturalnych pod względem wielu czynników.

¹ Sukulentami nazywamy rośliny, które w swoich tkankach magazynują wodę w znacznych ilościach.



Ryc. 50.2. Ekosystemy wodne

A. Morze otwarte. B. Rafa koralowa. C. Jezioro. D. Górską rzeczką.

Różnorodność gatunkowa w agrocenozach jest o wiele mniejsza niż w ekosystemach naturalnych, wszystkie „postronne” gatunki są zaliczane do chwastów lub szkodników i są niszczone. Dlatego agrocenozy są niestabilne: bez wtrącania się człowieka one nie są zdolne do podtrzymywania swojej stałości i składu gatunkowego. Podtrzymywanie agrocenozy wymaga stałego dostarczania z zewnątrz substancji odżywczych i energii: ponieważ człowiek stale wycofuje biomasę organizmów żywych z ekosystemu, ubytek substancji należy kompensować, na przykład za pomocą nawozów. Agrocenozy obecnie zajmują około 10% powierzchni lądu i dostarczają ludzkości 90% pokarmu, produkując około 2,5 mld ton produktów rolniczych rocznie.

Ekosystemy wodne są nie mniej różnorodne niż lądowe

Woda zajmuje ponad 70% powierzchni naszej planety. Wodne ekosystemy są tak samo różnorodne jak i naziemne. Można je podzielić na morskie i słodkowodne. Z kolei słodkowodne ekosystemy dzielą się na ekosystemy zbiorników wodnych ze stojącą wodą i bieżącą.

Ekosystemy morskie. Morza i oceany zajmują większą część powierzchni Ziemi i zawierają 97% całej wody na naszej planecie. Dla porównania: na słodkowodne systemy przypada tylko 0, 009% całej powierzchni wody, a reszta wody znajduje się w lodowcach w nieprzydatnej do wykorzystania przez żywe organizmy formie.

Ekosystemy morskie (ryc. 50.2, A) mają szczególne znaczenie dla całej naszej planety jako podstawowe źródło tlenu. W takich ekosystemach jak lasy tropikalne rośliny wydzielają ogromną ilość tlenu i pochłaniają dużo dwutlenku węgla. Ale w procesie gnicia obumarłych roślin odbywa się proces zwrotny: bakterie gnilne i grzyby spożywają tlen, a wydzielają z powrotem do atmosfery dwutlenek węgla. W rezultacie sumaryczny bilans zostaje niezachwiany. W odróżnieniu od większości ekosystemów lądowych, ekosystemy morskie pochłaniają o wiele mniej tlenu niż wydzielają. Związane jest to z tym, że obumarłe organizmy morskie opuszczają się na dno, gdzie z powodu niskich temperatur procesy gnilne odbywają się bardzo powoli. A więc w szczątkach organizmów w postaci substancji organicznych związany jest dwutlenek węgla, co zapobiega rozwojowi cieplarnianego efektu i sprzyja tworzeniu się wolnego tlenu na naszej planecie. Rify koralowe są jednym z rodzajów ekosystemów morskich (ryc. 50.2, B). **Rify koralowe** pod względem różnorodności gatunków można porównać z lasami tropikalnymi. Podobnie do ekosystemów lasów tropikalnych na lądzie, ekosystemy raf koralowych cechuje wysoka produktywność. Przyczyną tego jest to, że woda w pobliżu raf koralowych dobrze ogrzewa się, zapewniając sprzyjające warunki dla rozwoju organizmów, a same rify tworzą liczne schroniska dla zwierząt morskich.

Stojące zbiorniki wód słodkich. Ekosystemy stojących zbiorników wodnych, takich jak stawy i jeziora (ryc. 50.2, C), mogą znacznie różnić się zależnie od głębokości, wielkości, obecności okresów wysychania czy całkowitego zamarzania.

Wielkim zagrożeniem dla ekosystemów jeziornych jest ich zanieczyszczenie związkami fosforu i azotu, na przykład w wyniku ściekania z pól wody z nawozami.

Prowadzi to do zwiększenia się koncentracji substancji mineralnych w ekosystemie jeziorowym, które nazywa się **eutrofizacją**.

Ekosystemy rzek i strumieni. Podstawowa cecha tych ekosystemów polega na obecności bieżącej wody, która zapewnia lepsze nadchodzenie tlenu, co sprzyja większej różnorodności (ryc. 50.2, D).

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1

Ekosystemem NIE jest

A błoto leśne

B akwarium domowe

C Ziemia

D miasto

E zajmujące szaraki z jednego lasu

2

Do biotycznych komponentów ekosystemów należą

A gleba

B woda

C powietrze

D ukształtowanie terenu

E drapieżnik

3

Największą różnorodnością gatunkową charakteryzuje się taki typ ekosystemu jak

A rafa koralowa

B błota i stojące jeziora

C rzeki i strumienie

D łąki

E agrocenozy

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

4

Być może słyszałeś powiedzenie „Lasy – to płuca planety”. Czy ono odpowiada rzeczywistości?

5

Podaj przykład jednego naziemnego i jednego wodnego ekosystemu. Ściśle podaj charakterystykę ich biotycznych i abiotycznych komponentów.

6

Dlaczego rafy koralowe czasami są nazywane morskimi lasami tropikalnymi?

7

Porównaj agrocenozy i naturalne biogeocenozy według następujących wskaźników: różnorodność gatunkowa, dobór naturalny, stabilność, obieg substancji i in.

Znajdź odpowiedź i zbliż się do rozumienia przyrody

8

Niektóre zwierzęta pustynne nigdy nie piją wody. Jakie przystosowania się pozwalają im przeżyć w takich upalnych i suchych warunkach?

9

Oprócz morskich ekosystemów istnieją jeszcze tak zwane litoralne ekosystemy znajdujące się w strefie przyływowo – odpływowej. Jakie cechy mają organizmy, które zamieszkują w takich warunkach?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

10

Przytocz sytuacje, kiedy zakłócenie równowagi ekologicznej poprzez ukierunkowane wyłęganie zwierząt przez człowieka prowadziło do negatywnych skutków.

11

Bardzo ciekawe są ekosystemy gorących źródeł geotermalnych. Jakie organizmy zasiedlają te ekosystemy i jak człowiek może wykorzystać ich właściwości w nauce i przemyśle?

§ 51. Zależności pokarmowe

Zależność „drapieżca – ofiara” przypomina „wyścig zbrojeń”

W poprzednim paragrafie zaczęliśmy zapoznawać się z podstawami ekologii – nauki o współdziałaniu organizmów ze sobą i otaczającym środowiskiem. Istoty żywe mogą współdziałać ze sobą na różnorodne sposoby, ale najbardziej typowy – to zjadanie jednych organizmów przez inne: zwierzęta roślinożerne zjadają rośliny, drapieżcy zjadają zwierzęta roślinożerne lub innych drapieżników.

Rozpatrzmy prosty układ, w którym jeden gatunek żywi się innym. Przeżycie drapieżcy bezpośrednio zależy od tego, jak efektywnie on poluje na ofiarę. Jednocześnie ofiara w celu zachowania siebie i swego gatunku powinna mieć możliwość uniknięcia pożarcia. Taki „konflikt interesów” prowadzi do swego rodzaju „wyścigu zbrojeń”: drapieżniki udoskonalają metody polowania, a ofiary – sposoby ochrony. Jeżeli jeden z gatunków w tym wyścigu pozostanie z tyłu, grozi mu wymieranie.

Przypomina to bardzo sytuację, którą opisał Louis Carrol w książce pt. „Alicja w krainie czarów”: „– U nas – tłumaczyła Alicja ledwo odsapnąwszy – jeśli tak długo biegнешь jak poparzony, to zwykle okazujesz się w innym miejscu. – Jaka powolna kraina! – zauważyła Królowa. – A u nas, jak widzisz, biegнешь jak poparzony, aby tylko utrzymać się w miejscu.” Otóż aby przeżyć, i drapieżcy, i ofiary powinny stale ewoluować, odpowiadając na ewolucyjne przystosowania oponentów. To zjawisko jest czasami nazywane zasadą **Czarnej Królowy**, a współzależny równoległy rozwój gatunków należących do jednego ekosystemu – **koewolucją**.

I rzeczywiście, ta zasada dotyczy nie tylko zwierząt drapieżnych, lecz wszystkich organizmów, które żywią się innymi organizmami, w tym też gatunków roślinożernych. Dobitnie tę zasadę ukazał Antuan de Sent – Exupery w bajce „Mały Książę”: „*Od milionów lat kwiaty mają kolce. Mimo to od milionów lat baranki jedzą kwiaty. A czy nie wydaje ci się godne wyjaśnienia, dlaczego kwiaty zadają sobie tyle trudu dla wytworzenia kolców, które nie służą do niczego?*” Na podstawie otrzymanej wiedzy możemy odpowiedzieć Małemu Księżciu, że odpowiednio do zasady Czarnej Królowy rośliny i zwierzęta roślinożerne (fitofagi) w ekosystemie koewolucjonują – rośliny wytwarzają przystosowania do ochrony przed fitofagami (na przykład kolce), a fitofagi – sposoby ominięcia mechanizmów ochronnych roślin.

Substancje w ekosystemie są przekazywane łańcuchami troficznymi

Wyjaśniliśmy, że w dowolnym ekosystemie istnieją skomplikowane zależności: organizmy jednych gatunków wykorzystują organizmy innych gatunków jako źródło pokarmu. Zające jedzą trawę, a wilki zjadają zające; gąsienica zjada liście, sikorka zjada gąsienicę, a jastrzębie – sikorek; okoń odżywia się narybkiem, szczupak zjada okonia, a człowiek zjada szczupaka. Podobne kolejności „kto kogo zjada” w ekosystemach tworzą tak zwane **pokarmowe (troficzne) łańcuchy**.

Każdy uczestnik łańcucha pokarmowego posiada swój **poziom troficzny**. Na samym początku łańcucha troficznego znajdują się organizmy, które same nikogo nie zjadają. Odwrotnie, one stanowią podstawę odżywiania dla całego ekosystemu. To są organizmy autotroficzne, które zwykle są zdolne do fotosyntezy, czyli rośliny zielone i glony. One należą do troficznego poziomu **producentów**. Nimi odżywiają się orga-

nizmy roślinożerne, które są nazywane **konsumentami** pierwszego rzędu. Konsumentami I rzędu odżywiają się konsumenci II rzędu itd., aż do tych drapieżców (konsumentów wyższych rzędów), którymi się już nikt nie odżywia. Co prawda nawet konsumenci wyższego rzędu po śmierci mogą służyć pokarmem dla tak zwanych **detrytofagów** – organizmów, które odżywiają się rozkładającym się materiałem organicznym. Detrytofagi z kolei mogą być pokarmem dla innych organizmów, tym samym zaczynając nowy łańcuch zależności pokarmowych. Aby odróżnić łańcuchy pokarmowe zaczynające się od żywych organizmów autotroficznych od łańcuchów pokarmowych, które zaczynają się od ich resztek, pierwsze są nazywane **łańcuchami pokarmowymi spasniami**, a drugie – **detrytusowymi** (ryc. 51.1). Detrytofagów nie należy mylić z **reducentami** – saprotroficznymi grzybami i bakteriami, które rozkładają organiczną martwą do najprostszych związków nieorganicznych, wyprowadzając ją w ten sposób z łańcuchów odżywiania w ekosystemie.

Spróbuj teraz samodzielnie wymyślić kilka przykładów łańcuchów troficznych. Przekonasz się, że nawet mając najbogatszą wyobraźnię, praktycznie niemożliwie jest ułożyć łańcuch pokarmowy, który miałby więcej niż 5 ogniw. To nie przypadek, lecz jedna z najważniejszych prawidłowości ekologicznych, która jest naukowo uzasadniona z punktu widzenia prawa zachowania energii. Chodzi o to, że w procesie przejścia z jednego poziomu łańcucha troficznego na inny, zawsze ztraca się znaczna część energii – około 90%. Po pierwsze to jest związane z tym, że większość pochłoniętej energii ztraca się konsumentami na własne potrzeby oraz na poszukiwanie, pochłanianie i trawienie pokarmu i w rezultacie rozsiewa się w postaci ciepła. Po drugie takie ztraty są spowodowane tym, że przekształcenie się energii w procesach biochemicznych jest efektywne na 100%. Po trzecie nie wszystkie organizmy jednego poziomu troficznego są zjadane: niektóre umierają własną śmiercią, rozkładają się do najprostszych związków nieorganicznych i wyprowadzają z łańcucha troficznego. Od pierwotnych producentów biomasy w ekosystemie – zielonych roślin – do zwierząt roślinożernych dochodzi tylko 10% energii; do następnego poziomu – drapieżców – 10% od 10%, czyli tylko 1% od wyjściowej ilości energii. Dlatego taki łańcuch nie można przedłużyć w nieskończoność: wcześniej czy później energii w ekosystemie po prostu nie wystarczy do formowania następnego poziomu troficznego.

Sieci pokarmowe powstają wtedy, kiedy łańcuchy troficzne się przecinają

W przyrodzie prawie nigdy nie ma przypadków, kiedy organizm wchodzi w skład tylko jednego łańcucha pokarmowego: każda istota żywa powiązana jest zależnościami pokarmowymi z mnóstwem innych gatunków. Zajądają zjadają nie tylko wilki, lecz i lisy oraz jastrzębie; sikorki odżywiają się nie tylko owadami, lecz również nasionami i owocami roślin. W rezultacie całokształt łańcuchów pokarmowych formuje skomplikowaną strukturę stosunków –





Ryc. 51.2. Morska sieć zależności pokarmowych

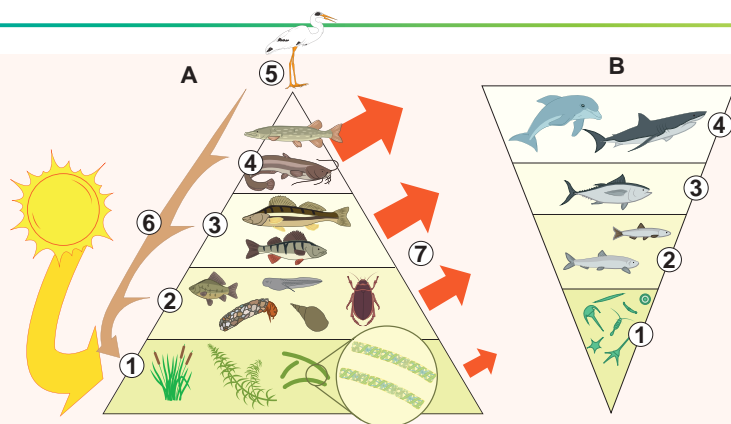
troficzną (pokarmową) sieć. Uproszczona morska sieć pokarmowa przedstawiona jest na rycinie 51.2.

Nawet w najprostszym ekosystemie sieci pokarmowe mogą być bardzo skomplikowane i zawikłane. Wszystkie organizmy mają różnorodne upodobania pokarmowe, prócz tego wiele organizmów może należeć do kilku poziomów troficznych jednocześnie. Dotyczy to na przykład organizmów wszystkożernych, między innymi niedźwiedzia czy człowieka. Ponadto organizmy potrafią wchodzić jednocześnie do łańcuchów spasanania i detrytusowych, jeszcze bardziej komplikując ogólny obraz.

Piramidy ekologiczne wskazują stosunek ilościowy między poziomami troficznymi

Stosunek między charakterystykami ilościowymi poziomów troficznych w ekosystemach wygodnie jest przedstawić w sposób graficzny w postaci piramid podobnych do tych, które są ukazane na rycinie 51.3, A. Podstawę piramidy ekologicznej tworzą producenci, nad nimi rozmieszczają się konsumenci pierwszego rzędu, jeszcze wyżej – drugiego itd. Wielkość schodka piramidy odpowiada wielkości wskaźnika, który ciekawemu ekologowi, na przykład ilości osobników lub ich wspólnej biomasie.

Przypomnij sobie, że w procesie przejścia z jednego poziomu troficznego na inny znaczna część energii zostaje zużyta i rozprasza się w postaci ciepła. Uważa się, że na następny poziom troficzny przenosi się około 10% energii, chociaż jest to liczba przybliżona. To znaczy, że jeśli przedstawimy w postaci piramidy sumarną energię każdego poziomu troficznego, to każdy następny schodek będzie miał około 10 razy mniejszą powierzchnię niż poprzedni. Dokładnie wyznaczyć potencjalną energię wszystkich organizmów żywych na praktyce nie jest możliwe, natomiast można obliczyć ilość organizmów lub wyznaczyć ich sumarną masę. Piramidy ekologiczne, które ilustrują tę wielkość, nazywamy **piramidami liczb** i **piramidami biomas**.



Ryc. 51.3. Piramidy pokarmowe

- A.** Piramida pokarmowa stawu.
B. Odwrócona piramida biomas.
1. Producenci.
 2. Konsumenci I rzędu.
 3. Konsumenci II rzędu.
 4. Konsumenci III rzędu.
 5. Konsument IV rzędu.
 6. Reducenci
 7. Strata energii.

Piramida liczb i piramida biomas, mimo stosunkowo prostej budowy, nie zawsze są dogodne do odzwierciedlenia realnej sytuacji w ekosystemie. Po pierwsze liczebność organizmów na różnych poziomach troficznych może się różnić: spróbuj samodzielnie przedstawić piramidę liczb dla ekosystemu, w którym wieloryb odżywia się mikroskopijnym planktonem! Przy tym piramida liczb jest odwrócona, na przykład w przypadkach łańcuchów pokarmowych, które zawierają pasożytów lub kiedy liście dużych drzew służą pokarmem dla drobnych owadów roślinożernych. Piramida biomas nie posiada tych wad, ale w niektórych przypadkach też bywa odwrócona. Jest to charakterystyczne na przykład dla wielu ekosystemów wodnych, gdzie duże organizmy długowieczne odżywiają się drobnym fitoplanktonem, który się szybko rozmnaża (ryc. 51.3,B). W każdym oddzielnym momencie czasu biomasa planktonu znajdującego się w ekosystemie może okazać się mniejsza niż biomasa górnych poziomów troficznych, ale wysoka produktywność fitoplanktonu wpływa na stabilność tego systemu.

Piramida energii, jeśli ona rzeczywiście uwzględni wszystkie komponenty ekosystemu, zawsze ma kształt piramidalny, ponieważ energia na każdym następnym poziomie nie może wyniknąć znikąd, ale może bezpowrotnie rozpraszać się w postaci ciepła.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 W większości łańcuchów pokarmowych człowiek posiada miejsce
A producenta B reducenta C detrytofaga
D konsumenta wyższego rzędu E detrytusu
- 2 Przykładem przystosowania, które powstało w wyniku koewolucji, może być
A jednakowy kształt ciała u delfinów i ryb
B jednakowe przystosowania do lotu u nietoperzy i ptaków
C zdolność niektórych gatunków motyli stwarzać swoje sygnały ultradźwiękowe, aby zmylić nietoperzy
D długa szyja u żyrafy
E długie futro i puszysty ogon u polarnego lisa
- 3 Piramida biomas może być odwrócona, jeżeli
A na wielkim drapieżcy żyją drobne pasożyty
B na drzewie odżywia się wielka populacja mszyc
C wielcy konsumenci długowieczni odżywiają się producentami, które szybko giną
D w ekosystemie są obecne detrytofagi
E to jest łańcuch spasanania
- 4 Przypuśćmy, że w jakimś leśnym ekosystemie ogólna biomasa producentów wynosi 1000 ton. Opierając się na zasadzie piramidy ekologicznej, wspólna biomasa konsumentów drugiego rzędu w tym ekosystemie wynosi około
A 100 000 ton, ponieważ konsumentów zawsze jest więcej niż producentów
B 1000 ton, ponieważ biomasa wszystkich poziomów troficznych w ekosystemie jest w przybliżeniu jednakowa
C 10 ton, ponieważ konsumentów II rzędu jest około 100 razy mniej niż producentów
D 100 kg, ponieważ na każdy następny poziom troficzny przechodzi zwykle 1% energii
E 810 ton, ponieważ na każdy następny poziom troficzny przechodzi zwykle 90% energii

- 5 Łańcuchy pokarmowe, które zaczynają się od martwych resztek organicznych, nazywają się łańcuchami
- A spasania B detrytusowymi C troficznymi
D odwróconymi E organicznymi

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Podaj przykłady łańcuchów troficznych jednego lądowego i jednego morskiego ekosystemu.
- 7 Dlaczego w typowym łańcuchu pokarmowym nie może być 6 czy 7 ogniw?
- 8 Podaj charakterystykę dwóch przykładów ekosystemów, które mają odwrócone piramidy liczb.
- 9 W satyrycznej bajce Fazila Iskandera „Króliki i dusieciele” opisano system zależności pokarmowych, w którym dusieciele zjadają królików, uprzednio je hipnotyzując. Pewnego razu króliki wynajdują sposób, jak uratować się przed hipnozą. Odtąd dusieciele tracą możliwość polowania. Zaproponuj dwa różne scenariusze dalszego przebiegu wydarzeń w tym ekosystemie.
- 10 Na czym polega zasadnicza różnica pod względem typu odżywiania się między producentami, konsumentami i reducentami? Do jakiego poziomu troficznego należy odnieść detrytofagów, uwzględniając ich typ odżywiania?

Znajdź odpowiedź i zbliż się do rozumienia przyrody

- 11 Piramidy energii posiadają szereg zalet w porównaniu z piramidami liczb i biomas, jednak ich tworzenie wiąże się z dodatkowym wysiłkiem. Jakie dodatkowe dane są potrzebne do tworzenia piramid energii?
- 12 Jak zbadano, że między poziomami łańcucha pokarmowego przenosi się tylko 10% energii? Czy można to potwierdzić drogą eksperymentu?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13 Jakie praktyczne zastosowanie mają piramidy ekologiczne? Jakie problemy i trudności wiążą się z ich tworzeniem i zastosowaniem?
- 14 Dlaczego zasada Czarnej Królowy w walce między gospodarzem i pasożytem lepiej realizuje się u organizmów rozdzielnoptciowych niż u tych, co rozmnażają się bezpłciowo czy są hermafrodytami?



Kostiantyn Nadein

Ukończył Charkowską Ogólnokształcącą Szkołę № 28 w 1998 roku. Zwycięzca ogólnoukraińskich olimpiad z biologii.

Studiował na Charkowskim Narodowym Uniwersytecie im. W. Karazina. Obronił pracę naukową o tytuł kandydata nauk biologicznych w Instytucie zoologicznym w Petersburgu. Obecnie – współpracownik naukowy wydziału systematyki i biogeografii w niemieckim Instytucie Entomologicznym w Münchenbergu.

Dodatek XI

Jak rośliny przeciwstawiają się zwierzętom roślinożernym

Około 450 mln lat temu, kiedy pierwsze rośliny opanowały ląd, zaczęła się jedna z najciekawszych i najbardziej pociągających historii w życiu biosfery planety Ziemia. Mowa tu jest o współdziałaniu roślin i zwierząt, które z biegiem czasu stawało się coraz bardziej naprężone, ostre i wytworne. Trwa to do dnia dzisiejszego i my na każdym kroku widzimy tego przejawy.

Na pewno od momentu swego pojawienia się rośliny stały się pokarmem dla zwierząt. Nie mogły pozwolić zjadać siebie i próbowały za wszelką cenę

przeszkodzić temu. W procesie ewolucji one wynalazły mnóstwo różnorodnych sposobów przeciwdziałania się zwierzętom roślinożernym, które nazywają się inaczej fitofagami.

Wiele z tych sposobów jest ogólnie znana. Do nich należy zewnętrzna ochrona mechaniczna, która w dosłownym znaczeniu tego słowa nie pozwala zwierzęciu jeść rośliny. To są różnorodne kolce na łodygach i liściach (jak u kaktusów), parzące włoski (jak u pokrzywy), nasienie pokryte twardą, prawie kamienną łupiną (jak u orzecha kokosowego). A takie ciekawe zjawisko jak skręcanie się liścia u znanej wszystkim mimozy umożliwia roślinie zmniejszenie pola powierzchni dostępnej dla zwierzęcia czy nawet zrzucenie drobnego owada!

Wiele roślin na pierwszy rzut oka nie ma żadnych widocznych sposobów walki ze zwierzętami, które im zagrażają. Jednak wcale tak nie jest. Na przykład zwykła sosna dobrze chroni się przed zagrożeniami zewnętrznymi. Za próbę uszkodzenia jej pnia owad będzie zalany trującą lepką smolą prawie bez szans na ratunek. A w komórkach wielu roślin znajdują się drobne i bardzo ostre kryształki soli wapnia, które mogą spowodować uczucie bólu u zwierzęcia, które je roślinę a nawet uszkodzić jego otwór gębowy, ułatwiając przenikanie substancji trujących i drobnoustrojów. Ściany komórkowe roślin drzewnych są specjalnie pogrubione i zawierają dużo niejadalnego błonnika i ligniny, a w komórkach paproci i skrzyków jest także dwutlenek krzemu, co znacznie utrudnia trawienie takiego pokarmu. Nawet zwykły liść często ma niezawodną ochronę. Oprócz kolców i igieł powierzchnię listka mogą pokrywać różnorodne drobne włoski i gruba warstwa wosku, w którym grzęzną szczęki drobnych owadów roślinożernych.

Rośliny potrafią produkować ogromną ilość różnorodnych związków chemicznych, które zapobiegają zjadaniu tych roślin przez różne zwierzęta. Taka chemiczna ochrona działa efektywnie i wielostronnie. Jedne substancje robią rośliny lub jej części niesmaczne, inne – zmniejszają wartość odżywczą, a trzecie – są po prostu trujące i mogą doprowadzić do śmierci zwierzęcia lub osłabić rozwój jego larw w roślinie. Poza tym rośliny nauczyły się odstraszać zwierząt jeszcze na odległości za pomocą specjalnych substancji – repelentów. Zwierzęta wyczuwają takie substancje na podstawie nieprzyjemnego zapachu i nie decydują się napadać na roślinę.

Chyba najbardziej wyszukany sposób ochrony – to walka ze zwierzętami roślinożernymi za pomocą innych zwierząt. Kiedy roślina ulega napadowi ze strony zwierząt roślinożernych, na przykład owada, ona produkuje substancje lotne zwabiające drapieżców, które z kolei atakują fitofaga. Czyli rośliny również znają zasadę „wróg mojego wroga – to mój przyjaciel”. Najwięcej z tego skorzystały niektóre gatunki akacji. Aby za każdym razem nie czekać na drapieżcę, one wynalazły własną stałą ochronę w postaci mrówek. Te owady stale mieszkają na roślinie (przy czym w specjalnych komorach) i za udostępnienie im „mieszkania” bronią rośliny. Niektóre posunęły się jeszcze dalej i oprócz mieszkania karmią swoich obrońców, zapewniając sobie w ten sposób pewną ochronę.

Grzyby i drobnoustroje też mogą pełnić rolę obrońców i wiele roślin z tego korzysta. Temu, kto spróbuje naruszyć całość rośliny, ona może zrobić nieprzyjemną niespodziankę w postaci substancji trujących, które produkują grzyby, lub chorób, które są wywoływane przez bakterie chorobotwórcze.

Warto zaznaczyć, że powstanie i rozwój nowych sposobów zapobiegania zjadaniu roślin przez zwierzęta często odbywa się w wyniku tak zwanej wspólnej ewolucji – koewolucji. Roślina i zwierzę wspólnie niby wynajdują sposoby obrony i ataku, osiągając pewien bilans i kompromis. Niektóre rośliny poszły drogą mniejszego oporu i pozwalają roślinożernym zwierzętom spożywać siebie, co prawda tylko niektóre części, które specjalnie w tym celu są rozwinięte i w ten sposób odwołają od innych, życiowo ważnych części. Chytrą taktykę obrało wiele zielnych roślin stepów, sawann i łąk. Nie mogąc dobrze przeciwstawić się zjadaniu przez ssaki roślinożerne, one obrały prosty sposób kompensowania zbytków: w sline roślinożernych znajdują się substancje, które stymulują wzrost roślin zielnych. Okazuje się, że im więcej ich się zjada, tym bardziej one rosną! Chyba najprościej unikają zjadania przez zwierzęta tak zwane epifity – rośliny, które żyją na innych roślinach. One osiedlają się wysoko w koronach drzew lasów tropikalnych, gdzie dosięgnąć do nich potrafią tylko jednostki. Podobnie zachowują się przylaszczki, które pojawiają się na wiosnę: dzięki takiemu cyklowi rozwoju one unikają spotkania z wieloma zwierzętami roślinożernymi.

§ 52. Krążenie substancji i pierwiastków

W ekosystemach obecny jest przepływ energii i krążenie substancji

W poprzednim paragrafie wyjaśniliśmy, że energia przepływa przez ekosystem jednokierunkowym strumieniem: energia słoneczna jest pochłaniana przez producentów i przekazywana od jednego poziomu troficznego do innego, podtrzymując istnienie ekosystemu, a następnie rozprasza się w postaci ciepła.

Zmiana energii w ekosystemie (zresztą jak i na Ziemi) podporządkowuje się prawom termodynamiki. Pierwsze prawo termodynamiki (prawo zachowania energii) twierdzi, że energia nie powstaje z niczego i nie znika bez śladu, przechodzi tylko z jednej postaci w inną. Odnośnie ekosystemu oznacza to, że cała energia, która znajduje się na wszystkich poziomach troficznych w postaci zależności chemicznych w żywych i martwych organizmach, kiedyś była energią, którą złapały organizmy autotroficzne.

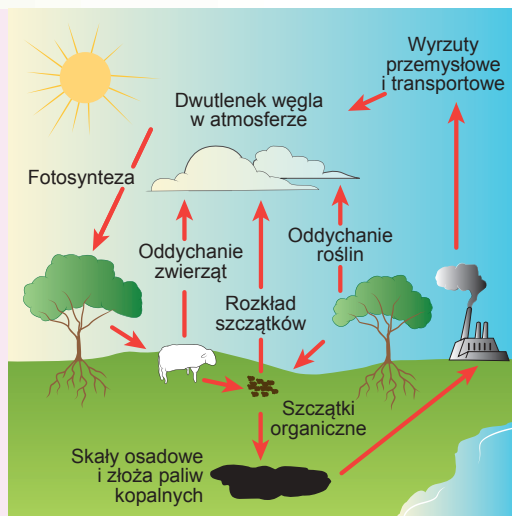
Odpowiednio do drugiego prawa termodynamiki energia cieplna nie może być wykorzystana przez organizmy żywe do wykonania pracy, dlatego w ekosystemach nie ma „krążenia” energii. W odróżnieniu od energii, pierwiastki chemiczne w ekosystemach biorą udział w złożonych krążeniach, organizmy żywe włączają je do swego składu, a następnie one wracają z powrotem do otaczającego środowiska. Rozpatrzmy obieg dwóch najważniejszych pierwiastków chemicznych – węgla i azotu.

W krążeniu węgla biorą udział wszystkie żywe organizmy na planecie

Węgiel jest podstawą wszystkich związków organicznych i wchodzi w skład wszystkich bez wyjątku organizmów żywych, dlatego rolę tego pierwiastka dla życia nie sposób przecenić. Węgiel znajduje się w przyrodzie w różnych postaciach: ko-

palnych węglowodorów (ropa naftowa, gaz ziemny), prostych związków nieorganicznych (dwutlenek węgla, węglany) i oczywiście w złożonych związkach organicznych w organizmach żywych. W atmosferze węgiel przeważnie znajduje się w składzie dwutlenku węgla i metanu, w litosferze – w postaci węgla, ropy naftowej, węglanów, grafitu i innych związków.

Krążenie węgla (ryc. 52.1) w ekosystemach związany jest z dwoma podstawowymi procesami – **przyswajaniem dwutlenku węgla w procesie fotosyntezy** i jego powrotem do atmosfery **podczas oddychania**. Organizmy autotroficzne, na przykład rośliny i glony, są zdolne do włączania nieorganicznego dwutlenku węgla w skład cukrów i innych substancji organicznych. Wydzielanie się dwutlenku węgla z powrotem do atmosfery odbywa się w procesie oddychania organizmów żywych i rozkładu organiki martwej.



Ryc. 52.1. Obieg węgla w przyrodzie

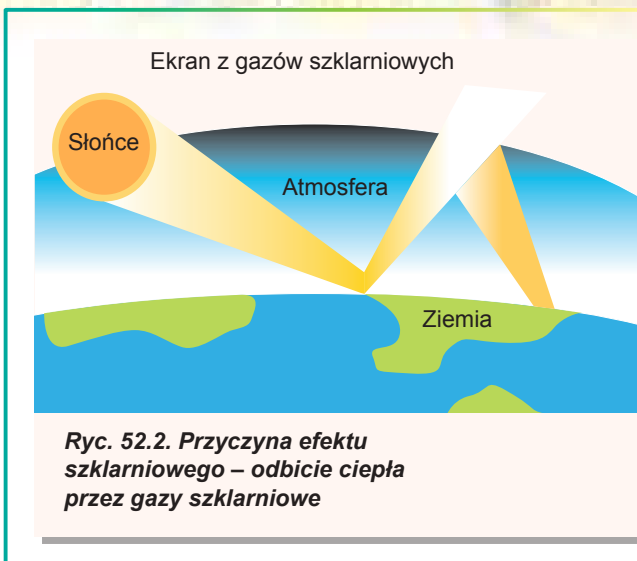
W większości stabilnych ekosystemów procesy przyswajania dwutlenku węgla i oddychania są zrównoważone. Rośliny pochłaniają CO₂, ale one są zjadane przez zwierzęta lub obumierają i rozkładają się z udziałem reducentów, czemu towarzyszy wydzielanie się takiej samej ilości CO₂ z powrotem do atmosfery. Wyjątkiem są te ekosystemy, w których biomasa w określony sposób jest wyłączana z obiegu. Przede wszystkim dotyczy to ekosystemów morskich, w których martwe organizmy opuszczają się na dno, gdzie procesy gnilne są spowolnione z powodu niskich temperatur i wysokiego ciśnienia. Wśród ekosystemów lądowych podobny proces jest charakterystyczny na przykład dla bagien. Natomiast lasy tropikalne, mimo że pochłaniają dziesiątki gigaton dwutlenku węgla rocznie, tyle samo wydzielają z powrotem do atmosfery. To wcale nie znaczy, że lasy są niekorzystne dla planety i że ich wycinanie nie ma negatywnego wpływu: w składzie ich biomasy znajduje się ogromna ilość węgla i w wyniku wykorzystania drewna cały ten węgiel wraca z powrotem do krążenia!

Obieg węgla ostatnio zwraca na siebie szczególną uwagę. Chodzi o to, że dwutlenek węgla i metan wraz z niektórymi innymi gazami i parą wodną powodują tak zwany **efekt szklarniowy** (ryc. 52.2), który prowadzi do globalnego ocieplenia i zmiany klimatu. W ciągu milionów lat węgiel organizmów żywych był wyprowadzany z ekosystemów w postaci kopaliny – węgla, ropy naftowej i gazu. Intensywne spalanie tych kopaliny użytecznych i wycinanie lasów w ostatnich dziesięcioleciach doprowadziło do zakłócenia równowagi węglowej i zwiększenia się zawartości dwutlenku węgla w atmosferze. Dwutlenek węgla jest swoistym ciepłozolatorem atmosferycznym dla planety, ponieważ nie przepuszcza promieniowania ciepłego od jej powierzchni. Może to doprowadzić do wzrostu średniej temperatury, poważnych zmian klimatu i klęsk żywiołowych.

Krążenie azotu nie jest możliwe bez udziału bakterii

Azot – to jeden z najważniejszych pierwiastków, który wchodzi w skład organizmów żywych. Powietrze, którym oddychamy, w 78% składa się z azotu, ale w nim azot znajduje się w postaci praktycznie nieprzyswajalnej dla organizmów (nazwa „azot” tłumaczy się z języka greckiego jak „bez życia”). To dlatego, że związek między dwoma atomami azotu w cząsteczce N₂ jest bardzo silny i żeby go rozerwać, potrzebna jest znaczna ilość energii.

W przemyśle, aby rozerwać związki w tej cząsteczce na przykład do produkcji amoniaku, potrzebne są: wysoka temperatura, ciśnienie i katalizator. W przyrodzie z tym zadaniem mogą sobie poradzić tylko niektóre drobnoustroje glebowe – **bakterie azotowe**.



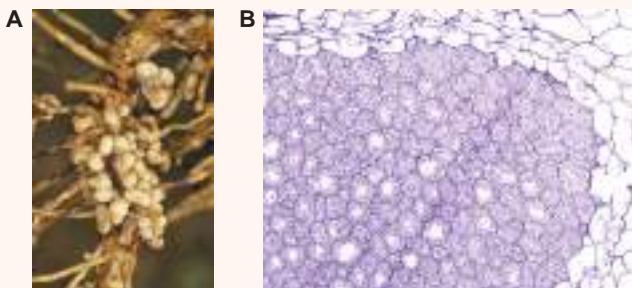
Ryc. 52.2. Przyczyna efektu szklarniowego – odbicie ciepła przez gazy szklarniowe

Ryc. 52.3. Brodawki bakterii korzeniowych na korzeniu soi

A. Wygląd zewnętrzny.

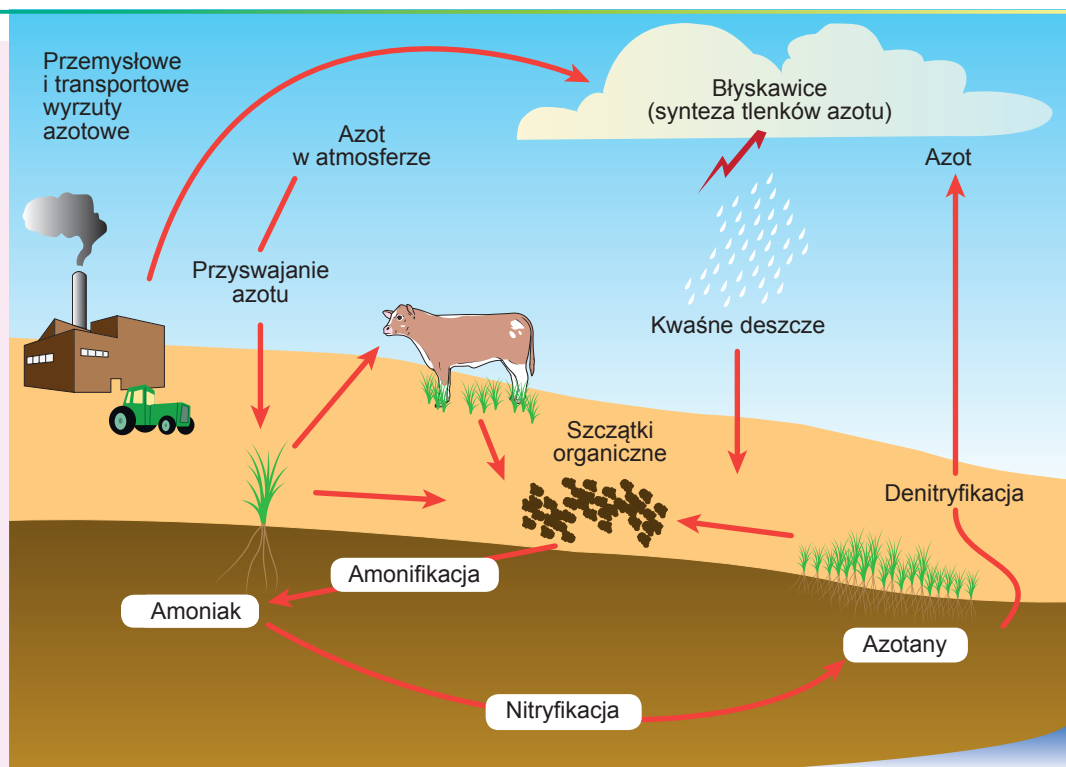
B. Przekrój poprzeczny brodawki korzeniowej.

Widoczne są komórki roślinne wypełnione bakteriami-symbiontami (fioletowe).



One wiążą azot atmosferyczny i przekształcają go w postać dostępną dla przyswajania przez rośliny. Wiele bakterii azotowych żyje w symbiozie z roślinami. Niektóre na przykład formują brodawki na korzeniu przedstawicieli rodziny motylkowych (grochu, fasoli i innych roślin), ale istnieją również wolnożyjące glebowe nityfikatory (ryc. 52.3).

Większość podstawowych etapów krążenia azotu (ryc. 52.4) w przyrodzie w ten czy inny sposób związana jest z działalnością bakterii. Tak zwane **bakterie nityfikacyjne**



Ryc. 52.4. Krążenie azotu w przyrodzie

przekształcają amoniak, produkowany przez bakterie nityfikacyjne, na azotyny i azotany, które rośliny mogą wykorzystywać do syntezy azotowych związków organicznych – aminokwasów, nukleotydów, chlorofilu i in. Zwierzęta otrzymują związki azotu, zjadając rośliny lub inne zwierzęta.

Azot z martwych organizmów lub produktów działalności zwierząt wraca do otaczającego środowiska. Złożone związki organiczne w procesie **amonifikacji** rozpadają się, wydzielając amoniak. Wiesz już, że amoniak może ulegać **nityfikacji**, tworząc azotyny i azotany i w takiej postaci znów pochłaniany jest przez rośliny. Z innej strony, część azotynów i azotanów ulega **denityfikacji** z wydzielaniem się cząsteczek azotu i tlenków azotu w stanie gazowym, które wracają do atmosfery.

A więc podstawowe etapy krążenia azotu można podać w następującej kolejności: wiązanie atmosferycznego azotu bakteriami nityfikacyjnymi z wydzielaniem się amoniaku → nityfikacja amoniaku z tworzeniem się azotynów i azotanów → pochłanianie ostatnich przez rośliny i włączenie do złożonych związków organicznych → rozpowszechnienie się związków azotu na troficzne poziomy ekosystemu → tworzenie się amoniaku z produktów czynności życiowych organizmów i organiki martwej w wyniku amonifikacji → nityfikacja z tworzeniem się azotynów i azotanów → powrót do łańcucha pokarmowego lub denityfikacja z tworzeniem się N_2O i N_2 .

Człowiek stał się nieodłączną częścią w krążeniu azotu

Ilość azotu, który jest wiązany przez mikroorganizmy glebowe, od dawna już nie zapewnia potrzeb przemysłu rolniczego. Obecnie wniesienie do gleby nawozów azotowych jest niezbędnym warunkiem istnienia rolnictwa, a ich produkcja wiąże ponad 80 mln ton azotu atmosferycznego w ciągu roku. Dla porównania: bakterie glebowe wiążą w ciągu roku około 100 mln ton azotu.

Do początku XX wieku nie było technologii przemysłowego wiązania azotu, ale człowiek w ciągu stu lat nauczył się produkować nawozy azotowe w ilościach, które są zbliżone do skali przyswajania azotu w całej biosferze. Jednak spowodowało to nowe problemy dotyczące zanieczyszczenia otaczającego środowiska. Jeden z nich wynika podczas zmywania nawozów azotowych do jezior i innych zbiorników wodnych. Skutkiem tego jest **eutrofizacja** – znaczne zwiększenie się zawartości w zbiornikach wodnych substancji mineralnych. Wskutek eutrofizacji na początku odbywa się aktywne rozmnażanie glonów mikroskopijnych i sinic (fitoplanktonu), które jest nazywane zakwitaniem wody. Zmniejsza to przejrzystość wody i rośliny podwodne giną od niedostatku światła. Po obumarciu fitoplanktonu i roślin gnicie ich szczątków obniża koncentrację tlenu w wodzie, co powoduje ginięcie zwierząt wodnych z powodu zaduchy. W ten sposób różnorodność gatunków w ekosystemie znacznie się zmniejsza, a takie zbiorniki wodne postępowo przekształcają się na bagna.

Inny problem związany jest z zanieczyszczeniem powietrza tlenkami azotu, na przykład tymi, które tworzą się w silnikach wewnętrznego spalania pod działaniem wysokiej temperatury i ciśnienia. Wskutek reakcji tych tlenków z wodą tworzy się kwas azotowy i azotawy, co prowadzi do wypadania kwaśnych deszczów, które są poważnym zagrożeniem dla otaczającego środowiska. Skutkiem wypadania **kwaśnych deszczów** jest znaczne zwiększenie się kwasowości gleby i wody. Takie zakwaszenie przyczynia się do zmniejszenia liczebności roślin w ekosystemach. Sieci zależności pokarmowych zaczynają się właśnie od roślin, dlatego ich ginięcie zmienia cały ekosystem, powodując wymieranie znacznej części zwierząt i drobnoustrojów. W ten sposób działalność człowieka wpływa nawet na oddalone zespoły naturalne.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Odpowiedzialne za efekt szklarniowy przeważnie są takie dwa gazy jak
A wodór i propan B metan i dwutlenek węgla
C tlen i azot D argon i radon E azot i dwutlenek węgla
- 2 Do przyswajania atmosferycznego dwutlenku węgla są zdolne
A zwierzęta B bakterie kwasu mlekowego
C bakterie azozótowe D sinice E pleśnie
- 3 Pochłaniają więcej dwutlenku węgla niż wydzielają do atmosfery
A lasy tropikalne i rafy koralowe B bagna i ekosystemy morskie
C ekosystemy rzek i potoków D zespoły roślin zielnych E pustynie
- 4 Bakterie brodawkowe biorą udział w procesie przyswajania atmosferycznego
A azotu B dwutlenku węgla C amoniaku D wodoru E metanu
- 5 Zanieczyszczenie powietrza tlenkami azotu jest niebezpieczne z powodu
A zmniejszenia się koncentracji azotu w atmosferze
B zwiększenia się koncentracji azotu w atmosferze
C zwiększenia się koncentracji amoniaku w atmosferze
D zmniejszenia się koncentracji tlenu w atmosferze
E zwiększenia się ryzyko wypadania kwaśnych deszczów

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Dlaczego w ekosystemach obecny jest przepływ, a nie krążenie energii? Dlaczego dla substancji charakterystyczny jest i przepływ, i krążenie?
- 7 Podaj charakterystykę krążenia węgla w przyrodzie. Jakie istoty decydują o podtrzymaniu jego równowagi?
- 8 Jakie przedsięwzięcia mogą być najefektywniejsze dla zmniejszenia się koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze?
- 9 Dlaczego ekosystemy cierpią z powodu eutrofizacji?
- 10 Tradycyjny sposób zwiększenia urodzajności gleby związany jest z hodowlą na nim grochu i zaoraniem jego zielonej masy jako nawozu. Wyjaśnij mechanizm tego sposobu zwiększenia urodzajności.

Znajdź odpowiedź i zbliż się do rozumienia przyrody

- 11 Jaka jest rola metanu w powstawaniu efektu szklarniowego? Jakie przedsięwzięcia są podejmowane w celu zmniejszenia jego koncentracji?
- 12 Czym zagrażają deszcze kwasowe ekosystemowi?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13 Nie wszyscy uczeni zgadzają się z tym, że globalne ocieplenie związane jest z działalnością człowieka i jest zagrożeniem dla biosfery. Przytocz argumenty obydwu stron w dyskusji o roli człowieka w zwiększeniu się efektu szklarniowego.
- 14 W ciągu całej historii Ziemi koncentracja dwutlenku węgla w atmosferze znacznie się zmieniała. Wytlumacz, na podstawie jakich danych to było ustalone i z czym są związane te zmiany.

§ 53. Czynniki ekologiczne

Czynniki ekologiczne różnią się pod względem pochodzenia

Wiesz już, że dowolny organizm w ekosystemie znajduje się w stałym współdziałaniu z innymi organizmami i otaczającym środowiskiem. Wszystkie składniki otaczającego środowiska, które wpływają na organizm, nazywamy **czynnikami ekologicznymi**. Rozróżniamy biotyczne, abiotyczne i antropogeniczne czynniki. Mówiąc o czynnikach **biotycznych**, mamy na myśli wpływ innych organizmów żywych, natomiast o **abiotycznych** – wpływ przyrody nieożywionej. Pojęcie czynników **antropogenicznych** obejmuje dowolne wpływy związane z działalnością człowieka.

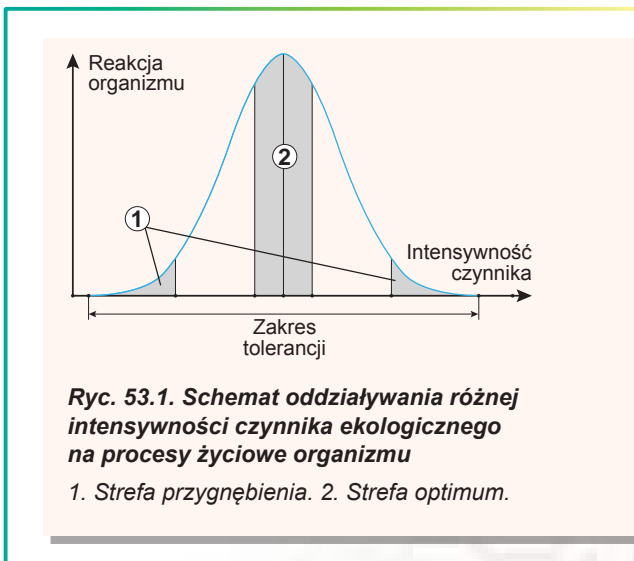
Przykładami czynników abiotycznych są wszystkie czynniki przyrody nieożywionej: klimatyczne (temperatura, wilgotność, ciśnienie powietrza, wiatr), chemiczne (zasolenie i kwasowość wody, skład chemiczny gleby), fizyczne (światło, szum, promieniowanie jonizujące). Czynniki biotyczne – to wszystkie formy współdziałania z innymi organizmami żywymi (zależności pokarmowe, konkurencja, wpływ drobnoustrojów chorobotwórczych i pasożytów). Antropogeniczne czynniki mogą dotyczyć zarówno bezpośredniego wpływu człowieka (polowanie na zwierza, wycinanie lasu, zbieranie grzybów), jak i pośredniego – poprzez zmianę warunków otaczającego środowiska (skażenie promieniotwórcze i chemiczne, zmiana klimatu i miejsc zamieszkania).

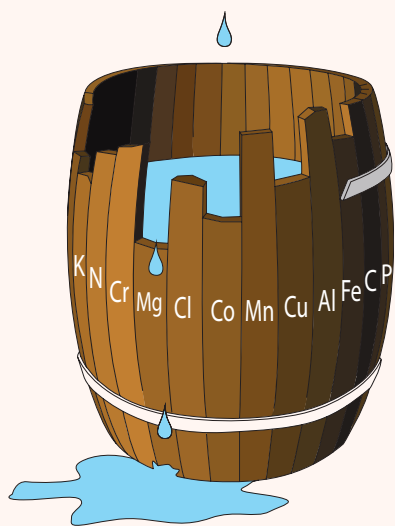
Każdy czynnik ekologiczny ma granice tolerancji, w których organizm może istnieć. Górna wartość czynnika, przy której życie jest niemożliwe, nazywa się **maksimum czynnika**, a dolna – **minimum**. Rozpiętość między maksimum i minimum – to **zakres tolerancji** (lub **granice wytrzymałości**) gatunku. Takie natężenie czynnika, przy którym organizm funkcjonuje najlepiej, nazywa się jego **optimum**, a strefa najbliższych do niego znaczeń – **strefą optimum** (ryc. 53.1).

Są różne prawidłowości działania czynników ekologicznych

W połowie XIX wieku niemiecki uczoney Justus Liebig zainteresował się czynnikami, które wpływają na wzrost roślin. On odkrył, że jeśli roślinom nie wystarczało w glebie jakiegoś jednego pierwiastka, to ich wzrost hamował się mimo obecności lub nawet nadmiaru innych substancji. Liebig sformułował to **prawo minimum** następująco: „Urodzaj określa ten składnik, który przebywa w minimum”. Na przykład brak azotu w glebie nie można uzupełnić nawozami potasowych, a niedobór potasu – nadmiarem fosforu. Jeżeli roślinom brakuje i potasu, i azotu, to ograniczający będzie ten pierwiastek, którego niedobór jest większy. Prawo Liebiga można rozwinąć, jeśli uwzględnimy w nim temperaturę, światło, skład chemiczny powietrza, wody i gleby – czyli dowolne czynniki ekologiczne, które ograniczają wzrost i rozwój organizmów żywych. Takie czynniki nazywają się czynnikami **ograniczającymi**.

Rodzajem wizualizacji tego prawa jest tzw. beczka Liebiga (ryc. 53.2), która ma





Ryc. 53.2. Beczka Liebiga

różną długość klepek. Jeżeli nalejemy do takiej beczki wodę, to jej poziom będzie określany tylko tą deską, która będzie najkrótsza. Ta deska będzie czynnikiem ograniczającym.

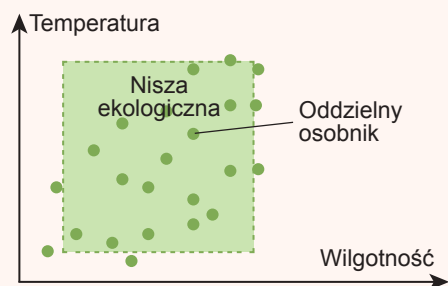
Przypomnij sobie, że dla każdego czynnika ekologicznego istnieje zarówno minimum, jak i maksimum wartości intensywności, przy których organizm może istnieć. Po ponad pół wieku po odkryciu Liebiga, w 1913 roku amerykański ekolog **Victor Shelford** rozszerzył prawo minimum Liebiga, zaznaczając, że limitujący może być również czynnik, który jest w nadmiarze (w maksimum). Ta prawidłowość jest nazywana **prawem tolerancji**. Zarówno nadmiar wody, jak i jej brak, może ograniczać rozwój roślin, a wysoka temperatura jest tak samo szkodliwa dla organizmów, jak i zbyt niska. Na organizm jednocześnie działa kilka czynników, ale decydujący dla jego istnienia będzie ten, który najbardziej będzie odchyłony od optymalnej wartości.

Prawo Liebiga i prawo Shelforda nie są nienaruszalnymi prawami przyrody i w niektórych przypadkach wymagają sprecyzowania. Na przykład one nie uwzględniają współdziałania czynników, czyli takich sytuacji, kiedy jeden

czynnik rozszerza granice wytrzymałości do innego: zwiększenie podlewania może zwiększyć odporność roślin do wysokich temperatur, a niedobór aminokwasu fenyloalaniny w pokarmie można uzupełnić nadmiarem aminokwasu tyrozyny. Z innej strony, jeżeli jakiegoś czynnika jest za mało, może to negatywnie wpłynąć na działalność życiową organizmu ogólnie i zwiększyć wrażliwość na niedobór innych czynników. Tak więc głodowanie zmniejsza odporność i zwiększa podatność na choroby zakaźne. Prócz tego prawo Liebiga i prawo Shelforda jest zastosowywane tylko do stabilnych układów, które przebywają w trwałym stanie: jeżeli układ nie jest trwały i stale się zmienia, to ograniczające mogą kolejno być różne czynniki.

Pojęcia „nisza ekologiczna” i „miejsce zamieszkania” różnią się od siebie

Zanim przejdziemy do kolejnej zasady ekologicznej, zapoznajmy się z jednym z najważniejszych pojęć ekologii – niszą ekologiczną. Nisza ekologiczna – to całościowy kształt potrzeb życiowych danego gatunku biologicznego, w których granicach on może przebywać i odtwarzać się w nieskończoność. Innymi słowami, nisza ekologiczna – to umowne miejsce, które w ekosystemie zajmuje gatunek, wliczając jego położenie w łańcuchach troficznych, wymogi do czynników środowiska, powiązania z innymi organizmami i in. Graficznie niszę ekologiczną można określić jako obszar wielowymiarowego wykresu, w którym każda oś koordynacyjna – to na-



Ryc. 53.3. Dwuwymiarowy model niszy ekologicznej

Justus Liebig

Urodził się w 1803 roku w niemieckim mieście Darmstadt. Studiował na Uniwersytecie w Bonn i Uniwersytecie Erlangskim. Był prezydentem Bawarskiej Akademii Nauk. Liebig przede wszystkim znany jest jako chemik, który opracował radykalną teorię chemii organicznej, badał wiele substancji organicznych i nieorganicznych, procesy katalizy i in. Biolodzy doceniają Liebiga jako autora teorii mineralnego odżywiania roślin i twórcę agrobiochemii. Uczony stworzył naukowe podstawy zwiększenia urodzajności gleby i opracował pierwsze w historii ludzkości nawozy. Zmarł w Monachium w 1873 roku.



żenie czynnika ekologicznego i na każdej zaznaczono wartości, w których granicach możliwe jest istnienie gatunku, czyli zakres tolerancji. Na rycinie 53.3 przedstawiono dwuwymiarowy model niszy ekologicznej, który określamy jest optymalnymi znaczeniami temperatury i wilgotności.

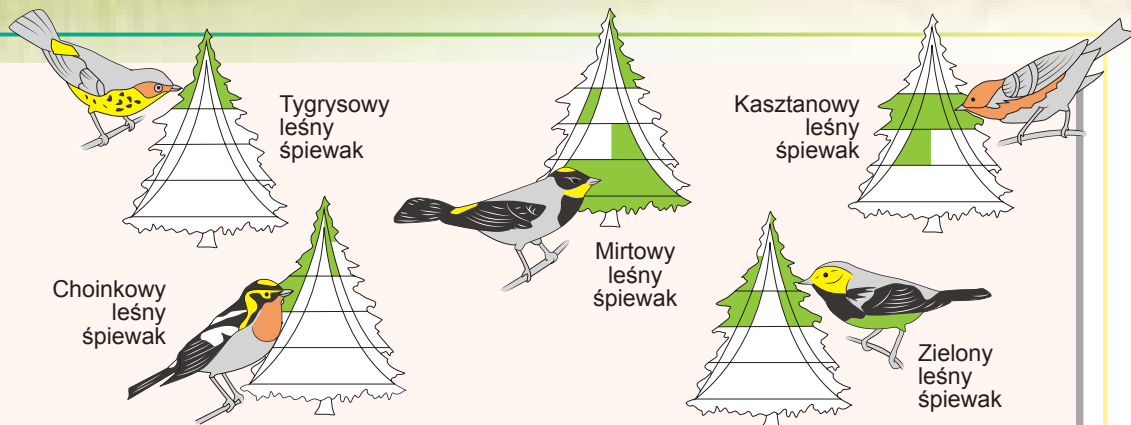
Niszę ekologiczną nie należy mylić z miejscem zamieszkania gatunku. **Miejsce zamieszkania** – to całokształt wszystkich czynników ekologicznych, które działają na określonym terytorium. Według jednego z założycieli ekologii, amerykańskiego uczonego **Eugene Oduma**, miejsce zamieszkania – to „zameldowanie” gatunku, a nisza ekologiczna – to jego „zawód”. To samo miejsce zamieszkania może służyć domem dla wielu różnych gatunków, ale w granicach jednego ekosystemu jedną niszę ekologiczną może zajmować tylko jeden gatunek.

Dla przykładu scharakteryzujemy niszę ekologiczną człowieka. Człowiek – to istota lądowa, rozpowszechniona we wszystkich strefach klimatycznych i pasach, przeważnie na wysokości od 0 do 3500 metrów nad poziomem morza. On jest wszystkożerny, charakteryzuje się niskim poziomem specjalizacji biologicznej i tendencją do tworzenia i wykorzystania w swoim celu sztucznych ekosystemów. Budując efektywne schrony i stosując ciepłozolację (odzież), człowiek znacznie rozszerzył granice swojej wytrzymałości. W przyrodzie człowiek praktycznie nie ma naturalnych wrogów, a sam w większości łańcuchów troficznych jest konsumentem najwyższego rzędu. Kontynuować ten opis można by było dalej, wliczając wszystkie możliwe czynniki ekologiczne, które wpływają na istnienie człowieka.

Zasada konkurencyjności przyczynia się do unikalności nisz

Wyobraź sobie, że istnieje jakiś gatunek biologiczny, który przebywa tam, gdzie człowiek, żywi się tym samym pokarmem, buduje takie same domy i wykorzystuje takie same narzędzia, co człowiek. Jak sądzisz, czy długo potrwa pokojowe współistnienie tego gatunku i człowieka? Najprawdopodobniej jeden z nich nieodzwrotnie będzie wyparty przez inny w wyniku najsurowszej konkurencji.

Jeżeli dwa gatunki współistnieją w ekosystemie – to znaczy, że ich nisze ekologiczne czymś się różnią. Dwa gatunki nie mogą zajmować w ciągu trwałego czasu tej samej niszy ekologicznej. Tę zasadę sformułował radziecki uczonej **Georgij Gauze**. Ona nazywa się **zasadą konkurencyjnego wypierania** albo **zasadą Gauzego**. Aby uniknąć konkurencji, gatunki o podobnych niszach ekologicznych często rozdzielają zasoby, na przykład wykazują aktywność o różnej porze doby czy zajmują różne poziomy w leśnych ekosystemach. Takie rozdzielanie istnieje u różnych gatunków leśnych śpiewaków Ameryki Północnej (rys. 53.4).



Ryc. 53.4. Różnorodność miejsc zamieszkania amerykańskich leśnych śpiewaków

Chociaż pokarm i warunki istnienia różnych gatunków amerykańskich leśnych śpiewaków są podobne, jednak one mieszkają i odżywiają się w różnych miejscach kрон drzew w lesie, aby uniknąć konkurencji.

Zasada Gauzeego jest surowo przestrzegana w większości ekosystemach, ale i z niej, być może, są nieliczne wyjątki. Tak zwany paradoks planktonowy polega na tym, że plankton składa się z organizmów wielu gatunków o bardzo podobnej biologii, które współistnieją na tym samym terytorium, czyli zajmują być może jedną niszę ekologiczną. Do dziś ten fenomen do końca nie jest zbadany: niektórzy uczeni rozpatrują paradoks planktonowy jako wyjątek z zasady Gauzeego, natomiast inni są przekonani, że środowisko istnienia planktonu jest bardzo zmienne i stwarza warunki dla kolejnej dominacji różnych gatunków biologicznych.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Do biotycznych należy taki czynnik jak

A zasolenie wody	B szum z autososy	C światło słoneczne
D obecność drapieżców w ekosystemie		E skażenie promieniowaniem
- 2 Podstawowa różnica między zasadą tolerancyjności Shelforda i zasadą minimum Liebiga polega na tym, że

A zasada minimum Liebiga rozwija zasadę tolerancyjności Shelforda, włączając w siebie czynniki abiotyczne	B zasada tolerancyjności Shelforda rozwija zasadę Liebiga, włączając w siebie czynniki biotyczne	C zasada Shelforda rozwija zasadę minimum Liebiga, włączając czynniki, które są w maksimum
D zasada minimum Liebiga w odróżnieniu od zasady Shelforda rozprzestrzenia się tylko na sztuczne ekosystemy	E te dwie zasady są równoważne i różnią się tylko sformułowaniami	

- 3** Czy może jeden gatunek zajmować różne nisze ekologiczne w różnych ekosystemach?
A nie, bo to przeczy zasadzie konkurencyjnego wypierania
B nie, bo to przeczy prawu Liebiga i prawu Shelforda
C nie, bo miejsce zamieszkania jest unikalne dla każdego gatunku
D nie, bo czynniki ekologiczne we wszystkich ekosystemach są jednakowe
E tak, bo czynniki ekologiczne działające w różnych ekosystemach, mogą się znacznie różnić
- 4** Pojęcie niszy ekologicznej i miejsce zamieszkania znajdują się w takim stosunku wzajemnym:
A pojęcie niszy ekologicznej jest szersze, do niego wchodzi miejsce zamieszkania gatunku, jego zależności troficzne, styl życia i inne czynniki
B pojęcie miejsca zamieszkania jest szersze, ono wlicza niszę ekologiczną gatunku i szereg innych charakterystyk
C pojęcie miejsca zamieszkania jest zastosowywane tylko do określonych organizmów, a pojęcie niszy ekologicznej – do gatunków biologicznych
D pojęcie niszy ekologicznej dotyczy tylko określonego terytorium, a pojęcie miejsca zamieszkania wlicza terytorium i czynniki ekologiczne, które działają na tym terytorium
E miejsce zamieszkania i nisza ekologiczna – to pojęcia równoznaczne
- 5** Zakres między dopuszczalnym minimum i maksimum czynnika ekologicznego nazywa się
A optimum czynnika **B** wytrzymałością czynnika
C limitem czynnika **D** zakresem tolerancji **E** strefą optimum

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Podaj po dwa przykłady biotycznych, abiotycznych i antropogenicznych czynników otaczającego środowiska, które wpływają na ziemniaki na grządce.
- 7** Podaj charakterystykę niszy ekologicznej wilka, uwzględniając jego miejsce zamieszkania, styl życia i odżywiania się.
- 8** Podaj dwa przykłady działania prawa Liebiga.
- 9** Jakie ograniczenia cechują prawo Liebiga i Shelforda?
- 10** I ptaki, i nietoperze są zdolne do lotu i odżywiają się owadami, ale przy tym mogą współistnieć na jednym terytorium, nie wypierając jeden drugiego. Czy nie przeczy to zasadzie konkurencyjnego wypierania Gauzego?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Dlaczego jeden czynnik ekologiczny nie może całkowicie kompensować braku innego?
- 12** Czy dla wszystkich czynników ekologicznych można zbudować krzywą ze strefą optimum? Jakie czynniki mogą działać inaczej?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Oprócz ekologicznych prawidłowości, które były rozpatrzone w tym paragrafie, jest wiele innych. Sformułuj i wyjaśnij je.
- 14** Zbadaj działalność naukową jednego ze wspomnianych uczonych – ekologów: Eugene Oduma, Georgija Gauzego, Justusa Liebiga lub Viktora Shelforda.

§ 54. Stabilność ekosystemów

Trwałość - to nieodłączna cecha ekosystemów

Ekosystemy – to złożone struktury, które funkcjonują jako jedyne całe, w którym wszystkie komponenty są współzależne. Z jednej strony zapewnia to trwałość ekosystemów i ich zdolność do samoregulacji, z innej – sprawia, że one są bardzo wrażliwe na zmiany jakiegokolwiek komponentu. Wyłączenie jednego ogniwa sieci troficznej nieuchronnie odzwierciedla się na wszystkich innych jej uczestnikach; zniknięcie jednego gatunku prowadzi do zakłócenia równowagi całego układu.

Trwałość (wytrzymałość) – to ich zdolność przeciwstawiania się wpływom zewnętrznym. Trwałość można rozpatrywać pod dwoma względami: jako zdolność do opierania się zmianom lub jako zdolność do szybkiego odnawiania się po nich. Pierwszy rodzaj trwałości nazywa się **trwałością rezystancyjną**, a drugi – **prężną**. Na przykład lasy liściaste średnio mają bardziej wysoką trwałość rezystancyjną do płomienia niż stępy: pożar w suchym stepie wybucha z jednej iskry i rozprzestrzenia się o wiele szybciej niż w wilgotnym lesie liściastym. Jednocześnie stępy mają większą odporność sprężystą tegoż czynnika: odnowienie ugrupowań ekosystemów stepowych po pożarze odbywa się w ciągu kilku sezonów, natomiast całkowite odnowienie leśnego ekosystemu może trwać wiele dziesiątek lat (ryc. 54.1).

Ekosystemy zmieniają się dzięki sukcesjom

Czasami zamiast określenia „trwałość ekosystemów” używa się wyraz „stabilność”. Chociaż niektórzy uczeni sądzą, że są to różne terminy, dla nas ta różnica nie jest zasadnicza. Ważne jest, aby wyraz „stabilność” nie wprowadzał w błąd: w żadnym razie nie chodzi o niezmienność i stałość! Zmiany w ekosystemach – to proces naturalny, który nieobowiązkowo wiąże się z wpływami zewnętrznymi. Jedne zespoły organizmów żywych zmieniają się na inne, tworząc z kolei warunki do dalszych zmian. Na przykład jezioro leśne przez odkładanie się organicznych resztek na dnie wypłyca się i zabagnia.



Ryc. 54.1. Niska trwałość sprężysta lasu sosnowego

Dwa lata po pożarze odnowiło się tylko runo leśne.

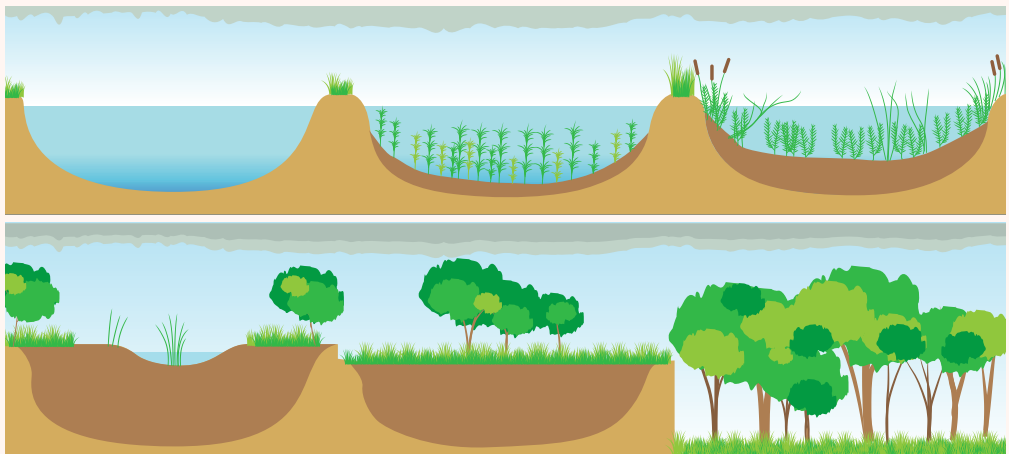
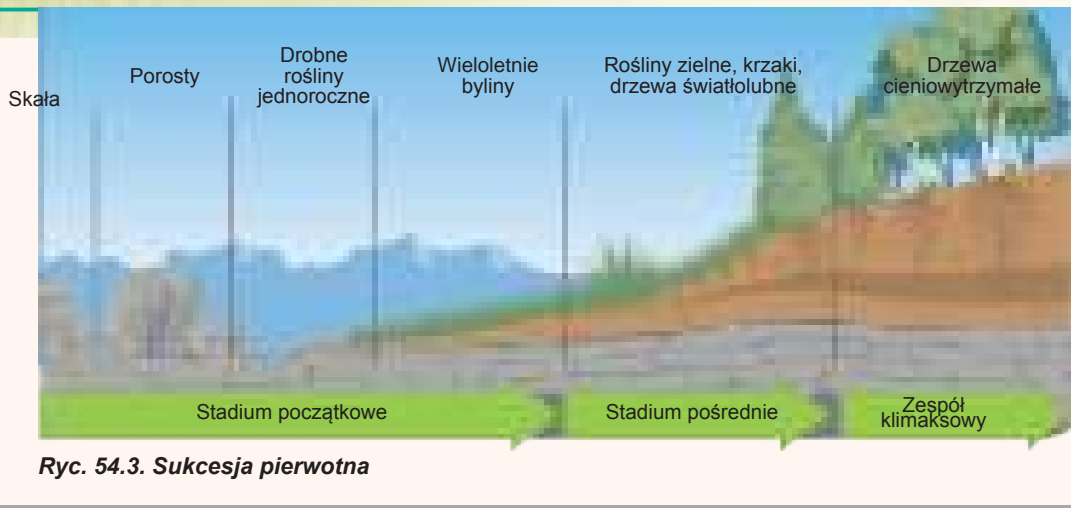


Рис. 54.2. Stopniowe przekształcenie się jeziora w bagno, bagna w łąkę, a łąki w las

Następnie w ekosystemie bagnistym obumarłe mchy bagnienne i inne rośliny stopniowo tworzą warstwę gleby, na której mogą rosnąć trawy łąkowe i bagno stopniowo przekształca się w łąkę. Łąka w trakcie tworzenia się mocnej warstwy gleby zarasta krzakami, potem – drzewami. W końcu na miejscu jeziora powstaje ekosystem leśny (rys. 54.2). Inny przykład: poręba w sosnowym lesie w pierwszym roku po wycięciu drzew zarasta trawami i jednoletnimi ostami, potem krzakami i szybko rosnącymi drzewami, które z czasem są wypierane przez iglaste.

Taką kierunkową zmianę zespołów na określonym terytorium nazywa się **sukcesją**. Każdy zespół żywych organizmów, który istnieje w tej chwili, formuje warunki do istnienia następnych zespołów. Sukcesja kończy się kształtowaniem trwałego ekosystemu, w którym nie ma wewnętrznych przesłanek do dalszych zmian (w rozpatrzonych przez nas przykładach takim ekosystemem jest las). Taki dojrzały trwały ekosystem nosi nazwę **klimaxowego**. Klimaxowy ekosystem teoretycznie może istnieć nieograniczenie długo, jeżeli nie zajdą gwałtowne zmiany warunków środowiskowych lub nie odbędzie się przyrodniczego kataklizmu, które zburzą ten system i uwarunkują początek nowej sukcesji.

Rozróżnia się pierwotną i wtórną sukcesję. Sukcesja może rozpoczynać się na terytoriach, gdzie przedtem nie mieszkaly żywe organizmy (skały, potoki wulkanicznej lawy, stoki gór po zejściu lawiny, kurzawka); taką sukcesję nazywa się **sukcesją pierwotną**. Kluczowym czynnikiem pierwotnej sukcesji zazwyczaj jest tworzenie się gleby, bez którego niemożliwe jest pojawienie się skomplikowanych zespołów żywych organizmów. Jako pierwsze na bezżyciowych substratach osiedlają się porosty, które sprzyjają wietrzeniu skał i wzbogacają je w azot, stwarzając warunki do pojawienia się mchów i najmniej wymagających roślin zielnych. Następnie, w zależności od miejscowych czynników, mogą pojawiać się krzaki, drzewa lub bardziej skomplikowane roślinne zespoły, w których osiedlają się odpowiednie gatunki zwierząt (rys. 54.3).



Ryc. 54.3. Sukcesja pierwotna

Sukcesja wtórna rozwija się na przykład po pożarze lub innej katastrofie, która zburzyła ekosystem istniejący przedtem na tym terytorium. Wtórna sukcesja odbywa się szybciej, ponieważ nie potrzebuje tworzenia gleby. Przy tym organizmy lub ich zarodniki czy nasiona, które przetrwały katastrofę, od razu stają się podstawą dla początku sukcesji. Jednak całkowite odnowienie się dojrzałego ekosystemu klimaksowego może trwać 100–300 lat.

Różnorodność gatunkowa jest warunkiem trwałości ekosystemów

Jak myślisz, jakie państwo będzie odporniejsze na zewnętrzne i wewnętrzne rap-towne przeobrażenia – „bananowa” republika, której gospodarka jest zbudowana tylko na jednym źródle dochodu, czy kraj z wieloma rozwiniętymi branżami przemysłu? Odpowiedź na to pytanie jest oczywista: im różnorodniejsza jest ekonomiczna działalność państwa, tym mniejszy wpływ na jego dobrobyt będą wywierały czynniki zewnętrzne. Ta sama zasada dotyczy ekosystemów: im bardziej złożony jest ekosystem, czyli im więcej różnych żywych organizmów i zależności między nimi w nim istnieje, tym on jest odporniejszy. Zniknięcie jednego gatunku czy dowolne inne odchylenie od równowagi w takim systemie może być szybko wyrównane dzięki innym uczestnikom. Ubogie w gatunki zespoły (na przykład agrocenozy, czyli stworzone przez człowieka rolniczo użytkowe ekosystemy) są bardzo niestabilne. Dlatego też agrocenozy potrzebują dla swego wsparcia stałej ingerencji człowieka. Wszyscy wiedzą, co odbywa się po pewnym czasie z porzuconą grządką czy sadem: niestabilna, gatunkowo biedna agrocenoza szybko przekształca się w bardziej stabilny i gatunkowo bogatszy, lecz nieefektywny z punktu widzenia człowieka ekosystem, który zarasta chwastami.

Ten przykład ilustruje ważne znaczenie jednej z kluczowych charakterystyk dowolnych ekosystemów i całej biosfery – **biologicznej różnorodności (bioróżnorodności)**

Zgodnie z definicją, która była zaproponowana na konferencji ONZ w 1992 roku, biologiczna różnorodność – to zróżnicowanie wszystkich żywych organizmów rozmaitych środowisk. Zwykle, kiedy mówi się o różnorodności biologicznej, przede wszystkim ma się na myśli różnorodność gatunkową, co jest niezupełnie poprawne. Termin „różnorodność biologiczna” dotyczy jak różnorodności organizmów w granicach gatunku, tak i różnorodności samych gatunków i nawet różnorodności ekosystemów. Gatunkowa róż-

norodność w ekosystemie charakteryzuje się nie tylko ilością gatunków, które w nim mieszkają (choć jest to kluczowa charakterystyka), ale i równomiernością ich podziału. Wyobraź sobie dwa ekosystemy, w których mieszka po 100 zwierząt należących do 10 gatunków. W jednym ekosystemie liczebność zwierząt wszystkich gatunków jest w przybliżeniu jednakowa, czyli każdy gatunek jest reprezentowany średnio przez dziesięć osobników. W drugiej – 90 ze 100 osobników należy do jednego gatunku, a innych gatunków jest tylko po jednym przedstawicielu.

Jak myślisz, w którym ekosystemie bioróżnorodność jest większa? Oczywiście, że w pierwszym, bo przy innych jednakowych warunkach względna liczebność zwierząt każdego gatunku jest w nim większa.

Do ilościowej oceny różnorodności biologicznej zaproponowano wiele różnych wskaźników, ale wszystkie one są oparte na dwóch głównych charakterystykach – ilości gatunków w ekosystemie i równości ich podziału.

Zachowanie różnorodności biologicznej – to jedno z głównych zadań współczesnej ochrony przyrody, określone w Konwencji ONZ o różnorodności (ryc. 54.4). Ta Konwencja została przyjęta w 1992 roku. Podpisała ją większość państw świata, m.in. Ukraina. ONZ ustanowiła również Międzynarodowy Dzień Biologicznej Różnorodności, który obchodzony jest co roku 22 maja. O wpływie człowieka na różnorodność biologiczną i o sposobach jej ochrony będzie mowa w następujących paragrafach.



Convention on
Biological Diversity

Ryc. 54.4. Emblemat
Konwencji ONZ o

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1 Jaki ekosystem (przy innych jednakowych warunkach) jest trwalszy bez ingerencji człowieka – łąka czy pszeniczne pole?

A bez ingerencji człowieka ekosystem łąki jest trwalszy, ponieważ jego bioróżnorodność jest większa

B ekosystem polny jest trwalszy, ponieważ jego bioróżnorodność jest mniejsza

C łąka jest bardziej trwała do niesprzyjających czynników abiotycznych, a pole – do biotycznych

D łąka ma większą trwałość rezystancyjną, a pole – trwałość prężną

E obydwie ekosystemy są jednakowo trwałe, jeżeli człowiek nie ingeruje w ich istnienie

2 Sukcesja – to

A trwałość zespołu biologicznego na wpływ niesprzyjających czynników abiotycznych i biotycznych

B zdolność ekosystemu powracać do pierwotnego stanu po zmianach, które w nim zaszły

C zdolność organizmów z biegiem czasu przechodzić na wyższy poziom troficzny w piramidzie ekologicznej

D sezonowe wahania liczebności organizmów żywych w ekosystemie pod wpływem czynników abiotycznych

E kierunkowe zmiany zespołów na określonym terytorium

- 3** Kluczową rolę w tworzeniu gleby na początkowych etapach sukcesji pierwotnej odgrywają takie organizmy żywe jak
A porosty i mchy **B** rośliny zielne i inne jednoliścienne
C drzewa i krzewy **D** robaki i owady **E** ssaki i ptaki
- 4** Ekosystem klimaksowy – to ekosystem
A który kończy sukcesję i w którym brak jest wewnętrznych przesłanek do dalszych zmian zespołów organizmów żywych
B który zawiera pierwszy zespół organizmów w sukcesji pierwotnej reprezentowany przeważnie przez porosty i mchy
C w którym przewyższona jest granica trwałości prężnej do określonego czynnika ekologicznego
D który już nie jest zdolny do podtrzymywania swego istnienia i wymiera
E który cechuje się najmniejszą bioróżnorodnością i najmniejszą trwałością
- 5** Bioróżnorodność
A określa się tylko ilością gatunków biologicznych, które mieszkają na określonym terytorium
B nie zależy od ilości gatunków biologicznych w ekosystemie
C jako termin oznacza różnorodność organizmów żywych w granicach gatunku, między gatunkami i ekosystemami
D im wyżej w ekosystemie, tym niższa jest jego trwałość rezystancyjna
E im niżej w ekosystemie, tym wyższa jest jego trwałość prężna

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Na czym polega różnica między prężną i rezystancyjną trwałością ekosystemów?
- 7** Podaj charakterystykę sukcesji wtórnej, która zaczyna się od porzuconej grządki na leśnym chutorze, zaznaczając zespoły, które zmieniają jeden drugiego.
- 8** Dlaczego w przyrodzie odbywają się sukcesje?
- 9** Dlaczego bioróżnorodność jest jednym z kluczowych czynników stabilności ekosystemów i dlaczego agrocenozy – to bardzo niestabilne ekosystemy?
- 10** Jakie dwa wskaźniki są kluczowe do określenia bioróżnorodności w ekosystemie? Jakie charakterystyki one powinny mieć dla maksymalnej bioróżnorodności?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** W zespołach drobnoustrojów, zarówno jak i w innych ekosystemach, może odbywać się sukcesja. Opowiedz o tym, jak jedne drobnoustroje zmieniają się na inne w różnych środowiskach istnienia.
- 12** Czy zmieniają się zespoły organizmów żywych w agrocenozach? Jakie są podobieństwa i różnice w odbywaniu się sukcesji w agrocenozach i ekosystemach naturalnych?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Dokładnie nie zbadano, na czym polega przyczyna bioróżnorodności, czyli dlaczego na Ziemi istnieje tyle różnych gatunków biologicznych. Spróbuj zorientować się w różnych teoriach, które tłumaczą ten fenomen.
- 14** W jakim celu przyjęto Konwencję ONZ dotyczącą zagadnienia bioróżnorodności? O czym ona mówi?

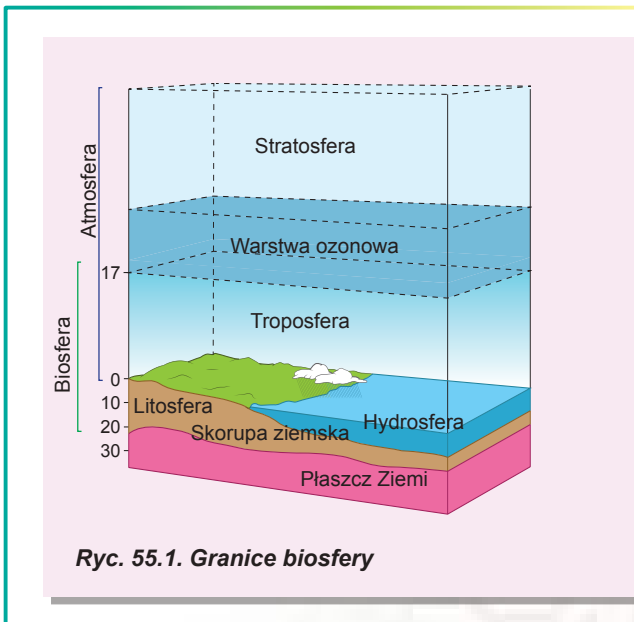
§ 55. Biosfera jako jedyny system

Biosfera łączy wszystkie ekosystemy Ziemi

Wspominaliśmy już, że ekosystemy nie są ograniczone rozmiarem: i niewielkie leśne jezioro, i gigantyczny tropikalny las można rozpatrywać jako ekosystem. Ważne jest, aby przeprowadzić dokładną granicę między różnymi ekosystemami, ponieważ ich granice zazwyczaj są umowne i żywe organizmy mogą łatwo je przekraczać i współdziałać z organizmami z innych ekosystemów. Zresztą wszystkie ekosystemy Ziemi są powiązane między sobą wspólną atmosferą, migracją organizmów, potokami substancji, energii i innymi globalnymi procesami. Cały całokształt ekosystemów Ziemi tworzy globalny światowy ekosystem, który ma nazwę **biosfera**. Biosfera, jak i dowolny ekosystem, zawiera biotyczne i abiotyczne komponenty – wszystkie żywe istoty planety i odpowiednio środowiska ich zamieszkania. Granice biosfery są określone zasięgiem występowania żywych organizmów w wodzie, powietrzu i w ziemi. Biosfera rozpościera się od kilku kilometrów w głąb powierzchni ziemi, do 10–11 km w głąb wody i do 15–20 km wysokości w atmosferze (ryc. 55.1). Te granice są przybliżone, zwłaszcza w atmosferze, ponieważ teoretycznie żywe organizmy mogą zdarzać się na wysokości warstwy ozonowej (20–30 km). Wyżej ultrafioletowe promieniowanie niszczy wszystko, co jest żywe. Prawdopodobieństwo dostania się nawet bardzo drobnych przetrwalników bakterii na taką wysokość jest całkiem niewielkie. Większość żywych organizmów mieszka w o wiele węższej warstwie – od głębokości kilku metrów pod ziemią do kilka dziesiątków metrów nad powierzchnią Ziemi. Na skalę planetarną biosfera jest niewielka: masa całej biosfery (włączając składnik biotyczny i abiotyczny) stanowi tylko 0,1% masy Ziemi, a sumaryczna masa żywych organizmów – tylko jedną milionową masy biosfery, czyli tylko jedną miliardową masy naszej planety. Jednak żywe organizmy (a także człowiek) są dziś jednymi z najważniejszych geologicznych czynników, co gatunkowo modyfikuje oblicze naszej planety.

Pojęcie „biosfera” zaproponował austriacki uczyony **Eduard Suess** w 1875 roku, a najpełniej rozwinął koncepcję biosfery w swoich pracach **Wołodimir Wernadski** – wybitny ukraiński uczyony, pierwszy prezydent Ukraińskiej Akademii Nauk.

Wołodimir Wernadski interesował się zagadnieniami krytalografii, mineralogiii, gleboznawstwa, geochemii i nawet historii. To pozwoliło mu opracować międzydiscyplinarną koncepcję biosfery, która obejmuje wiedzę z różnych dziedzin nauki. Być może jakieś poglądy Wołodimyra Wernadskiego w dniu dzisiejszym mogą wydawać się trochę abstrakcyjne czy niewspółczesne, lecz należy pamiętać, że on pracował nad zagadnieniami biosfery w 20. latach XX wieku, czyli prawie sto lat temu i założył podstawy dla następných badań w tej dziedzinie.



Ryc. 55.1. Granice biosfery

Biosfera posiada unikalne właściwości

Biosfera – to nie tylko bardzo duży ekosystem: oprócz właściwości wspólnych dla wszystkich ekosystemów on ma własne unikalne właściwości.

Jednolitość. Biosfera jako system składa się z wielu komponentów, lecz funkcjonuje jako jedyne całe, ponieważ wszystkie organizmy i środowiska ich istnienia w ten czy inny sposób są powiązane między sobą.

Różnorodność. Jednocześnie jedność komponentów biosfery charakteryzuje się ogromną różnorodnością żywych organizmów i środowisk ich istnienia. Biosfera – to najbogatszy ekosystem na Ziemi. Obecnie na naszej planecie mieszka 9–15 mln gatunków żywych organizmów, a ogólnie za całą historię biosfery w niej zamieszkiwało ponad 100 mln gatunków.

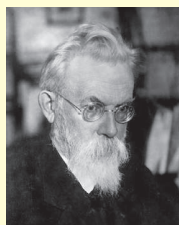
Stołość i zdolność do samoregulacji. Ta cecha jest kluczowa dla istnienia życia na Ziemi i zapewniana jest tymi samymi mechanizmami, co i w oddzielnych ekosystemach, tylko na skalę globalną. Jednym z najważniejszych parametrów stołości zarówno oddzielnych ekosystemów, jak i biosfery ogólnie jest bioróżnorodność.

Scentralizowanie. Wołodimir Wernadski podkreślał, że żywe organizmy formują podstawę biosfery i są jej centralnym komponentem.

Obecność obiegu substancji i potoku energii. Biosfera – to otwarty system, czyli on wymienia substancje i energię z innymi systemami. Przede wszystkim dotyczy to oczywiście energii słonecznej. Bez jej nadchodzenia istnienie biosfery nie jest możliwe. Jednocześnie nadchodzenie substancji do biosfery z zewnątrz jest ograniczone, więc jeszcze jedna jej właściwość – to obecność mechanizmów, które zapewniają obieg substancji. Właśnie obiegi zapewniają trwałe istnienie biosfery bez wyczerpania własnych zasobów.

Ewolucja biosfery odbywa się stale

Biosfera – to dynamiczna struktura, która się stale zmienia. Wołodimir Wernadski wiele uwagi poświęcał zagadnieniom ewolucji biosfery i wyróżnił trzy podstawowe etapy w jej rozwoju. Pierwszy etap jest powiązany z powstaniem życia na Ziemi i początkiem kształtowania biosfery. Drugiemu etapowi towarzyszy komplikacja biosfery i zwiększenie różnorodności biologicznej. Trzeci, współczesny etap, związany jest z pojawieniem się człowieka i stopniowym przekształceniem biosfery pod wpływem człowieka.



Wołodimir Wernadski

Urodził się 1863 roku w Petersburgu. Dzieciństwo spędził w Połtawie, Charkowie i Kijowie. Studiował w gimnazjum charkowskim, a potem na Uniwersytecie w Petersburgu. Był pierwszym prezydentem Ukraińskiej Akademii Nauk. Jakim uczonym był Wernadski? Kilкома słowami nie da się tego określić: on był twórcą geochemii, biogeochemii, radiogeologii, nauki o biosferze; był wspaniałym przyrodnikiem, filozofem, myślicielem. Dorobek uczonego jest bardzo duży i różnorodny. Jednak najważniejszym dorobkiem Wernadskiego jest stworzony przez niego system pojęć o biosferze i noosferze.

Wołodimir Wernadski brał czynny udział w życiu politycznym państwa. Był prezesem komisji Ministerstwa Edukacji i Sztuk Ukrainy za czasów hetmana Skoropadskiego. W tym czasie on pisał: „Należy stworzyć silne centrum naukowych badań narodu ukraińskiego, jego historii, jego języka, przyrody Ukrainy. Oczywiście, że trzeba prowadzić te badania na bardzo szeroką skalę ogólnoludzką. Należy jak najszybciej stwarzać katedry oraz laboratoria, instytuty”. Zmarł Wołodimir Wernadski na początku 1945 roku w Moskwie od udaru mózgu.

Alexander von Humboldt

Urodził się 1769 roku w Berlinie. Studiował we Frankfurcie nad Odrą, Hamburgu, Freibergu, Getyndzie i Jenie. Humboldt był wszechstronnym uczonym – geologiem, geografem, botanikiem, ekologiem, klimatologiem. Znany jest na świecie jako twórca geografii roślin, nauki o formach życiowych. Ważne są poglądy uczonego na żywą przyrodę jako nieodłączną część planety Ziemia: on uważał, że chemiczny skład organizmów zależy od składu nieżywego środowiska. Humboldt wskazywał na istnienie szczególnej części geograficznej powłoki Ziemi, zamieszkałej przez żywe organizmy, która łączy litosferę, hydrosferę i atmosferę. I chociaż termin „biosfera” zaproponował nie Humboldt, jego wyobrażenia o jej budowie na długie lata wyznaczyły kierunki jej badania. Zmarł uczony w 1859 roku w Berlinie. Obecnie Berliński Uniwersytet nosi jego imię.



Końcową wyższą fazą rozwoju biosfery zdaniem Wołodymyra Wernadskiego było kształtowanie się noosfery¹. Teoria uczonego o noosferze jest dość trudna do zrozumienia, lecz można sformułować kilka podstawowych tez, które charakteryzują jego wyobrażenie o noosferze. Niektóre tezy Wernadskiego, które w pierwszej połowie XX stulecia były uważane za fantastyczne, już się spełniły. Oto główne przesłanki, które Wernadski uważał za kluczowe dla kształtowania noosfery.

1. Rozsiedlenie człowieka po całej planecie i całkowite panowanie nad innymi gatunkami biologicznymi.
2. Globalizacja, umocnienie więzi między państwami, kształtowanie globalnych systemów łączności i jedynych systemów informacyjnych.
3. Wykorzystywanie nowych źródeł energii, co daje ludziom możliwość stać się jeszcze ważniejszą siłą geologiczną.
4. Rozwój demokracji, równość wszystkich ludzi, wzrost ich dobrobytu, zaprzestanie wojen.
5. Rozwój nauki, stworzenie warunków do swobodnego rozwoju myśli naukowej, wzrost roli nauki w życiu ludzi.
6. Rozszerzenie biosfery drogą kosmicznej ekspansji człowieka i podbój innych planet.

Żyjemy w przejściowym okresie i ludzkość powinna wziąć na siebie odpowiedzialność za swoją przyszłość, aby noosfera rzeczywiście stała się sferą rozsądku, a nie katastrofą światową.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Wkład Wernadskiego w poznanie biosfery polega na tym, że
- A on wprowadził termin „biosfera” i „noosfera”
 - B on po raz pierwszy dokładnie określił granice biosfery w powietrzu, wodzie i litosferze
 - C on dokładnie opracował koncepcje biosfery i noosfery
 - D prace Wernadskiego i jego uczniów wykazały, że organizmy żywe współdziałają ze sobą i otaczającym środowiskiem
 - E on określił dokładną liczebność żywych organizmów w biosferze i obliczył ich sumaryczną biomasę

1 W tłumaczeniu z greckiego – „sfera rozumu”.

§ 56. Ochrona i zachowanie biosfery

W wyniku działalności człowieka w ekosystemach zachodzą globalne zmiany

W ciągu tylko kilkuset lat człowiek stał się jednym z bardzo wpływowych czynników ekologicznych na skalę planetarną. Rozpatrzmy globalne przemiany w przyrodzie, które odbyły się i nadal odbywają się wskutek działalności człowieka.

Wymieranie gatunków i zmniejszenie różnorodności gatunkowej. Według danych Międzynarodowej Unii Ochrony Przyrody, w ciągu ostatnich pięciu stuleci w wyniku bezpośredniego lub pośredniego wpływu człowieka wymarło ponad 800 gatunków zwierząt i roślin. Wśród nich kilkadziesiąt gatunków ssaków (tarpan, tur, syrena morska), ptaków (gołąb wędrowny, dront) i innych zwierząt, które po prostu już nie istnieją (ryc. 56.1). Według niektórych danych codziennie na Ziemi znika co najmniej dwa gatunki zwierząt (przede wszystkim tropikalnych bezkręgowców). Jeśli to tak, to dzisiejsze wymieranie zwierząt jest najszybsze w historii Ziemi w ciągu ostatnich 65 milionów lat.

Rujnowanie ekosystemów. Gospodarcza działalność człowieka destruktywnie wpływa nie tylko na poszczególne organizmy, ale i na całe ekosystemy. Już mówiliśmy o problemie zmniejszania się powierzchni lasów tropikalnych, jednak nie tylko one są zagrożone: w Ameryce prawie znikły prerie o wysokiej trawie, w których pasły się bizona, a w naszych szerokościach zagrożone są stępy i dąbrowy. Właśnie zniknięcie miejsc zamieszkania zwierząt jest główną przyczyną znikania gatunków. Mimo to kampanie mające na celu ochronę przyrody przeważnie są skierowane na propagandę zachowania poszczególnych gatunków zwierząt, ponieważ ludzie chętniej odzywają się na apele o ochronie konkretnego organizmu, a nie abstrakcyjnego ekosystemu. W celu ochrony rzadkich ekosystemów na Ukrainie po raz pierwszy w świecie była stworzona tak zwana Zielona Księga – odpowiednik Czerwonej Księgi, do której wnoszone są rzadkie i znikające zespoły roślinne. Zielona Księga Ukrainy – to oficjalny dokument państwowy, na mocy którego podejmowane są decyzje o środkach ochrony unikalnych zespołów.

Zanieczyszczenie otaczającego środowiska. Jeśli wymieranie gatunków i zniknięcie rzadkich ekosystemów ktoś może uważać za znikomy problem, ponieważ to bez-



Ryc. 56.1. Wymarłe zwierzęta

A. Tarpan – dziki przodek domowego konia.

B. Syrena morska, wyniszczona w ciągu 27 lat od chwili odkrycia gatunku. **C.** Dront – wymarły ptak, który został umieszczony na herbie państwa Mauritius, gdzie on zamieszkiwał. Z innymi przykładami wymarłych zwierząt można zapoznać się na stronie internetowej.





Рис. 56.2. Занечистження оточуючого середовища і його вплив на організми живе

A. Зливання неочищених стіків. **B.** Wieloryby, które masowo wyrzuciły się na brzeg, prawdopodobnie z powodu hydroakustycznego zanieczyszczenia wód przez hydrolokatory. **C.** Jeden z obszarów Wielkiej Pacyficznej Plamy Śmieci, której powierzchnia jest większa niż powierzchnia całej Ukrainy.

поśредnio „nas nie dotyczy”, to z powodu zanieczyszczenia otoczącego środowiska człowiek cierpi na równi z całą biosferą i ignorować tego problemu nie można. W zależności od charakteru zanieczyszczenia wyróżnia się kilka ich rodzajów.

- **Chemiczne zanieczyszczenie**, zapewne najbardziej rozpowszechnione: przemysłowe odpady zawierają sporo szkodliwych substancji zdolnych zanieczyszczać wodę, grunt i powietrze. Źródłami chemicznego zanieczyszczenia są odpady przemysłu chemicznego, trujące środki chemiczne, nawozy, produkty spalania paliwa i dowolne inne procesy, które są przyczyną wzrostu koncentracji potencjalnie toksycznych substancji w otaczającym środowisku (rys. 56.2, A).
- **Fizyczne zanieczyszczenie** włącza świetlne, dźwiękowe, cieplne i promieniotwórcze zanieczyszczenie środowiska. Skutki fizycznego zanieczyszczenia są nie mniej poważne niż chemicznego. Hałas negatywnie wpływa na zdrowie człowieka, jest czynnikiem niepokoju zwierząt w ekosystemach, narusza ich orientację w przestrzeni. Być może hałas powodowany urządzeniami hydrolokacji doprowadza do wyrzucania się wielorybów i delfinów nad brzeg (rys. 56.2, B). Nocne oświetlenie miast zaburza wzrost roślin, narusza orientację ptaków i nocnych owadów w przestrzeni. Lokalne cieplne zanieczyszczenie (na przykład spowodowane zrzutem podgrzanych wód z elektrowni) znacznie wpływa na wodne ekosystemy: przy wzroście temperatury zmniejsza się koncentracja rozpuszczonego w wodzie tlenu, może rozpocząć się kwitnienie zbiorników wodnych i ich zabagnianie.
- **Biologiczne zanieczyszczenie** powstaje w przypadku trafiania do ekosystemów niepożądanych organizmów. Zanieczyszczenie biologiczne – to przede wszystkim trąfianie do wody, gleby czy atmosfery szkodliwych albo chorobotwórczych drobnoustrojów. Źródłami biologicznego zanieczyszczenia mogą być nieodkazywane rolnicze, przemysłowe lub gospodarcze ścieki, trupy zwierząt gospodarskich, wysypiska odpadów komunalnych i przemysłowych.
- **Mechaniczne zanieczyszczenie**. Jeśli nawet zanieczyszczenia nie wywierają wyrażonego chemicznego, fizycznego czy biologicznego wpływu na środowisko przyrodnicze, znaczne ilości nawet „nieszkodliwych” odpadów negatywnie odzwierciedlają się na jakości wody, gleby i na organizmach, które w nich mieszkają (rys. 56.2, B). Przeznaczenie znacznych terytoriów pod wysypiska i poligony rujnuje ekosystemy, które przedtem istniały na ich miejscu. Nieszkodliwych odpadów praktycznie nie istnieje: mechaniczne zanieczyszczenie prawie zawsze jest połączone z biologicznym, chemicznym lub fizycznym.

W celu ochrony środowiska naturalnego podejmowane są rozmaite działania

Jakie więc działania podejmuje się w celu ochrony środowiska naturalnego? Podejścia stosowane obecnie są skierowane przeważnie na osiągnięcie dwóch celów: zapobieganie zanieczyszczeniu środowiska naturalnego i zachowanie różnorodności biologicznej. W celu zmniejszenia zanieczyszczenia proponowane są różne sposoby, lecz, niestety, ostatecznego rozwiązania tego problemu na razie się nie oczekuje. Oto niektóre proponowane podejścia do jego rozwiązania.

1. Przejście na ekologicznie czyste źródła energii: energię Słońca, wiatru, biomasę, przepływów i odpływów. Należy zaznaczyć, że dotychczas nie ma żadnego źródła energii, które całkowicie eliminowałoby negatywny wpływ na środowisko naturalne. Lecz uważa się, że alternatywne źródła energii mają przewagę nad wykorzystaniem bogactw naturalnych chociażby dlatego, że są zasobami odnawialnymi. Obecnie na świecie około 5% produkcji energii elektrycznej pochodzi z zasobów odnawialnych.
2. Przejście na bezodpadowe technologie produkcji, przy których odpady jednego procesu przemysłowego służą surowcem dla innego.
3. Wtórne wykorzystanie odpadów i ich bezpieczna przeróbka. Na przykład segregowanie odpadów komunalnych, które ludzie często lekceważą i maksymalne powtórne wykorzystanie materiałów, które się w nim mieszczą.
4. Przejście transportu samochodowego na elektryczne silniki i silniki, które pracują na odnawialnych rodzajach paliwa (na przykład na wodorze).

Zachowanie różnorodności biologicznej jest niezbędne dla przyrody i człowieka

Wspominaliśmy już, że różnorodność biologiczna, według współczesnych wyobrażeń, jest główną wartością biosfery, a jej zachowanie – jednym z najważniejszych zadań ochrony przyrody.

Możesz zapytać: a po co w ogóle należy chronić różnorodność biologiczną? Cóż z tego, że zniknie sto lub dwieście gatunków, o których istnieniu nawet nie podejrzewamy? Po pierwsze, jak już zauważaliśmy w § 54, różnorodność biologiczna podwyższa trwałość ekosystemów i zniknięcie określonych gatunków może zagrozić istnieniu całego ekosystemu. A naruszone ekosystemy mogą być bardzo niebezpieczne: możliwy jest niekontrolowany wzrost liczebności szkodników, niebezpiecznych zwierząt lub przenosicieli infekcji. Po drugie, różnorodność biologiczna – to potencjalne źródło nowych pożytecznych produktów, biologicznie aktywnych substancji i nowej wiedzy o świecie. Być może w jeszcze nie zbadanych organizmach kryją się odpowiedzi na ważne naukowe pytania lub klucz do leczenia obecnie nieuleczalnych chorób. Po trzecie, bioróżnorodność jako nieodłączna charakterystyka przyrody ma ważne estetyczne i rekreacyjne znaczenie. Rekreacja, czyli odpoczynek i uzdrowienie, w dzikiej przyrodzie ma o wiele większą wartość, niż na ożywionej miejskiej ulicy, a burakowe pole wątpliwe czy stanie się większym źródłem natchnienia dla malarza niż ranek w sosnowym lesie. Czwarty argument, który jest przytaczany na ochronę różnorodności biologicznej, ma charakter etyczny: czy mamy prawo niszczyć to, czego nie tworzyliśmy, tylko dlatego, że nie rozumiemy jego praktycznej wartości w tym momencie?

W celu zachowania różnorodności biologicznej podejmowane są różne działania.

1. Tworzenie rezerwatów, narodowych parków i innych terytoriów ochrony przyrody.
2. Tworzenie list rzadkich zwierząt i roślin (na przykład w postaci Czerwonej Księgi) i ograniczenie wykorzystania tych gatunków.
3. Rozmnażanie rzadkich zwierząt w niewoli z późniejszym ich powrotem do dzikiej przyrody.

4. Ekologiczna edukacja i informowanie ludności o problemach środowiska przyrodniczego.
5. Racjonalne wykorzystywanie zasobów przyrody w szerokim sensie: skrócenie powierzchni zasiewów drogą podwyższenia efektywności gospodarki rolnej, walka z kłusownictwem i wykorzenienie przesłanek do jego pojawienia się, odnawianie lasów w miejscach ich wyrębu.

W następnym paragrafie dokładniej rozpatrzmy i przeanalizujemy niektóre wymienione środki.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1. Zielona Księga Ukrainy powstała w celu
 - A ochrony rzadkich i znikających gatunków roślin
 - B ochrony rzadkich i znikających gatunków zwierząt
 - C ochrony rzadkich i znikających zespołów roślinnych
 - D zapobiegania hodowaniu genetycznie modyfikowanych roślin
 - E wzrostu produktywności rolnictwa
2. Do fizycznego zanieczyszczenia środowiska naturalnego prowadzi
 - A emisja przedsiębiorstwami dwutlenku węgla do atmosfery
 - B tworzenie się tlenku azotu w silnikach spalania wewnętrznego
 - C nocne oświetlenie ulic w wielkich miastach
 - D wywożenie odpadów z gospodarstw hodowli świń
 - E zakwit wody i masowe ginięcie ryb
3. Skutkiem dźwiękowego zanieczyszczenia środowiska naturalnego może być
 - A utrata przez zwierzęta orientacji w przestrzeni
 - B zaburzenia wzrostu roślin
 - C wzrost częstości mutacji u człowieka
 - D spowolnienie wzrostu roślin
 - E opady kwaśnych deszczów
4. Najmniej efektywne podejście do zachowania bioróżnorodności – to
 - A stworzenie terytoriów ochrony przyrody
 - B racjonalne wykorzystywanie zasobów przyrody
 - C zachowanie i hodowla rzadkich zwierząt w niewoli
 - D ograniczenie polowania na rzadkie zwierzęta
 - E walka ze szkodnikami upraw rolniczych
5. NIE jest odnawialna energia

A spalania węgla brunatnego	B przypiływów i odpływów	C wiatru
D fal morskich	E geotermalna	

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

6. Scharakteryzuj globalne zadania dotyczące problemów środowiska naturalnego, które stoją przed ludzkością.
7. Podaj argumenty przemawiające za koniecznością ochrony środowiska naturalnego.

- 8 Podaj charakterystykę najefektywniejszych, twoim zdaniem, działań na rzecz zachowania różnorodności w biosferze.
- 9 Jakie są rodzaje zanieczyszczeń środowiska naturalnego? Podaj po jednym przykładzie z każdego rodzaju.
- 10 Jak można zmienić swój byt, aby zmniejszyć zanieczyszczenie środowiska naturalnego?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11 Tak zwany Wielki Smog, który był obserwowany w Londynie w 1952 roku, doprowadził do śmierci ponad 12 tysięcy ludzi, po czym uchwalono szereg ustaw o ochronie czystości powietrza? Jakie są przyczyny tego tragicznego wydarzenia?
- 12 W rezerwacie Askania – Nowa znajduje się ostatni zachowany w Europie obszar dziewiczego stepu porośniętego ostnicą i kostrzewą walezyjską. Jak udało się zachować takie unikalne terytorium i jaka jest rola rezerwatu w zachowaniu rzadkich zwierząt i roślin?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13 Scharakteryzuj przyczyny i okoliczności wymierania tarpana, syreny morskiej, gołębia wędrownego lub innego znikłego gatunku zwierząt.
- 14 Jakie ekosystemy i biotopy są obecnie na granicy zniknięcia? Jakie działania są podejmowane dla ich zachowania?

Projekt II

Badanie poziomu antropogenicznego wpływu w ekosystemach swojej miejscowości

1. Badanie poziomu wpływu działalności człowieka na przyrodnicze zespoły swojej miejscowości można urzeczywistniać w różnych kierunkach:

Kierunek	Sposób określania
<i>Zanieczyszczenie pyłem</i>	zebrać próbki z powierzchni różnych obiektów (za pomocą taśmy lub pałeczek watowych) i porównać
<i>Zanieczyszczenie chemiczne</i>	wyjaśnić obecność i zawartość różnych substancji w próbkach wody lub kurzu metodami chemicznymi
<i>Zmiany terytorialne</i>	wykorzystując mapy terytorium z różnych lat albo serw „Google Earth Engine”, zbadać wzrost powierzchni zyspisk, zwiększenie terytoriów miast, zaorywanie, wyrąb lasów i in.
<i>Zmiany biologiczne</i>	przeanalizowawszy artykuły naukowe, sprawozdania organizacji i instytucji ekologicznych, wyznaczyć biologiczne zmiany w ekosystemach swojej miejscowości

2. Przeanalizowawszy obserwowane wpływy, oceń je według pięciostopniowej skali i wyciągnij wnioski.

§ 57. Ochrona przyrody


Ochrona środowiska naturalnego często pozostaje w sprzeczności z ludzkimi potrzebami

Wiesz już, że ochrona środowiska naturalnego i zachowanie różnorodności biologicznej mają ważne znaczenie dla całej ludzkości. Lecz problem polega na tym, że zanieczyszczenie środowiska i rujnowanie naturalnych ekosystemów – to odwrotna strona cywilizacji i całkowicie zapobiec szkodliwemu wpływowi człowieka na środowisko naturalne na obecnym etapie rozwoju technologii jest niemożliwe. Niemożliwe jest jednocześnie rozszerzanie terytoriów agrocenoz (pól i sadów) i zachowywanie dawnych powierzchni calizny i nie zaorywanych ziem, spalanie kopalin użytecznych i obniżanie poziomu dwutlenku węgla w atmosferze, zwiększanie produkcji i przy tym skracanie ilości odpadów.



Ryc. 57.1. Obszary chronione Ukrainy

- A.** Wysokogórskie jeziora Karpackiego Rezerwatu Biosferowego (obwód zakarpacki).
- B.** Zbocza doliny Dniepru w Kaniowskim Rezerwacie Przyrody (obwód czerkaski).
- C.** Brzeg jeziora w narodowym parku przyrody „Szackie jeziora” (obwód wołyński).
- D.** Pomnik przyrody „Tunel Miłości” (obwód rówieński).



W dowolnych zagadnieniach dotyczących ochrony przyrody zawsze istnieje sprzeczność interesów: między pragnieniem uzyskania maksymalnej korzyści przy minimalnych wydatkach a koniecznością zachowania Ziemi w stanie przydatnym do istnienia ludzi.

Tworzenie obszarów chronionych – to jedna z metod zachowania różnorodności biologicznej

Nadanie określonym terytoriom statusu ochronnych ma trwałą historię. Uważa się, że pierwszy w historii rezerwat był założony ponad dwa tysiące lat po temu, w III wieku p.n.e. w Sri Lance. W XIII wieku książę Daniel Halicki stworzył w Białowieskiej Puszczy rezerwat¹, w którym było zabronione polowanie i gospodarcza działalność. Obecnie różne obszary chronione, na których jest ograniczona gospodarcza działalność człowieka zajmują około 10% lądu. To sporo, lecz wciąż nie wystarczająco dla pełnowartościowego zachowania kompleksów przyrodniczych. Planuje się wziąć pod ochronę nie mniej niż 17% terytorium lądu i 10% powierzchni mórz i oceanów. W 2010 roku państwa członkowskie Konwencji o różnorodności biologicznej podjęły decyzję o rozszerzeniu obszarów chronionych w zaznaczonym zakresie do 2020 roku.

Zależnie od stopnia dopuszczalnej ingerencji człowieka Międzynarodowa Unia Ochrony Przyrody (ang. IUCN) definiuje kilka kategorii obszarów chronionych.

Rezerваты ścisłe. One są tworzone w celu zachowania wszystkich komponentów dzięki przyrodzie. W rezerwach zazwyczaj zabroniona jest gospodarcza działalność człowieka, a dostęp do nich osób postronnych wymaga specjalnego pozwolenia. Wśród rezerwatów największe i najbardziej znaczące są rezerваты biosfery, w których zachowuje się unikalny dla całej biosfery kompleks żywych organizmów. Na terytorium Ukrainy znajdują się cztery rezerваты biosfery: Rezerwat Biosfery „Askania-Nowa”, Czarnomorski Rezerwat Biosfery, Rezerwat Biosfery Delt Dunaju i Rezerwat Biosfery „Karpaty Wschodnie” (ryc. 57.1).

Parki narodowe. Cechują się ograniczoną gospodarczą działalnością człowieka, lecz dozwolone jest ich turystyczne i wypoczynkowe zwiedzanie. Obecnie na świecie nalicza się około 1000 parków narodowych, wśród nich 43 – na Ukrainie (ryc. 57.1, B).

Pomniki przyrody. To unikalne twory przyrody, zbiorowości lub kompleksy przyrodnicze objęte ochroną. Pomnikiem przyrody może być stary dąb czy obszar lasu z rzadkimi roślinami, a także jaskinie, groty, stare parki z unikalną fauną lub florą. Pomnik przyrody zazwyczaj zajmuje niewielkie terytorium i stworzony jest w celu ochrony jednego konkretnego tworu (ryc. 57.1).

Rezerваты. W rezerwach, w odróżnieniu od rezerwatów ścisłych, ochrania się nie cały przyrodniczy kompleks, a tylko niektóre jego obiekty (na przykład określone rodzaje zwierząt czy roślin). W rezerwach mogą być dozwolone niektóre rodzaje działalności gospodarczej (nawet polowanie), jeżeli one nie przeszkadzają zachowaniu chronionego obiektu.

1 Według współczesnej terminologii, poprawnie byłoby powiedzieć „rezerwat”.

Obszary chronionego krajobrazu. To tereny, które mają ważne znaczenie dla odpoczynku ludzi. Na terenie obszaru chronionego krajobrazu dozwolona jest gospodarcza działalność, jeśli ona nie narusza obszaru chronionego krajobrazu i nie przeszkadza odpoczynkowi ludności.

Chronione terytoria o kierowanych zasobach. Ta kategoria była wyodrębniona niedawno i zastosowana do terytoriów, na których w celu oszczędnościowego wykorzystania zasobów ekosystemów dozwolono ograniczoną działalność gospodarczą.

Czerwona Księga – to rejestr gatunków, którym zagraża wymarcie

Tworzenie obszarów chronionych – to efektywny sposób zachowania roślinnych i zwierzęcych zespołów. Lecz jak dowiedzieć się, jakie rodzaje potrzebują szczególnej ochrony?



Рис. 57.2. Zwierzęta i rośliny Czerwonej Księgi Ukrainy

A. Orzeł przedni. **B.** Salamandra plamista. **C.** Miłek wiosenny. **D.** Ropucha paskówka. **E.** Czczuga (sterlet) słodkowodna. **F.** Delfin zwyczajny. **G.** Cis pospolity.

Międzynarodowa Unia Ochrony Przyrody od 1949 roku podejmuje działania mające na celu zachowanie różnorodności biologicznej i sporządza rejestry zwierząt i roślin, które wymagają ochrony. Te rejestry zaproponowano połączyć i nazwać Czerwoną Księgą, bo czerwień często oznacza niebezpieczeństwo i zwraca uwagę. Pierwodruk Czerwonej Księgi IUCN ukazał się w 1963 roku i zawierał listę ponad 500 gatunków ssaków i ptaków. Ogólnie ukazały się cztery jej edycje. Oprócz Czerwonej Księgi informację o gatunkach, które wymagają ochrony, publikuje Światowe Centrum Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w formie „Czerwonych list gatunków zagrożonych”.

Obok Czerwonej księgi IUCN (która czasami nazywana jest również Międzynarodową Czerwoną Księgą) istnieją analogiczne edycje krajowe i regionalne. Czerwona Księga Ukrainy obejmuje około 500 gatunków zwierząt i ponad 800 gatunków roślin i grzybów. Na przykład spośród ssaków do niej wpisano: jeża uszatego, zająca bielaka, brunatnego niedźwiedzia, żbika, gronostaja, 26 gatunków nietoperzy, delfin butlonos i delfin zwyczajny oraz inne rzadkie gatunki (ryc. 57.2). Spośród roślin wyższych wpisanych do Czerwonej Księgi Roślin wymienić należy sosnę limbę, cis pospolity, sasankę otwartą krymską, wiele gatunków ostnicy, koniczynę czerwoną, niektóre pierwiosnki. Do grzybów chronionych należą: smardz jadalny, gołąbek turecki, gąska ognista, borowik królewski i inne. Z pełną listą gatunków chronionych można zapoznać się na **oficjalnej stronie internetowej Czerwonej Księgi Ukrainy**.....

Czerwona Księga Ukrainy – to oficjalny państwowy dokument określający status biologicznych gatunków, które potrzebują ochrony. Za wyrządzenie szkody gatunkom wpisanym do Czerwonej Księgi przewidziano odpowiedzialność administracyjną.



Segregowanie śmieci i ich recykliczacja staje się na Ukrainie coraz bardziej popularne

Obecnie na Ukrainie rocznie produkuje się ponad 12 mln ton śmieci, czyli średnio po 300 kg śmieci na osobę! Podstawową metodą utylizacji odpadów bytowych w naszym kraju jest ich składowanie na specjalnych poligonach (wysypiskach śmieci). Jest to jedna z najbardziej nieekologicznych i pozbawionych perspektyw metod, która doprowadza do zanieczyszczenia gleby, wód gruntowych i pogorszenia sytuacji epidemiologicznej. Oprócz tego pojemność istniejących poligonów praktycznie jest już wyczerpana.

Alternatywną metodą w stosunku do składowania jest spalanie śmieci w spalarniach odpadów i minimalizacja ich ilości poprzez segregowanie i przetwarzanie. Spalanie śmieci jest bardziej perspektywne z ekonomicznego punktu widzenia, ponieważ wydzielane przy tym ciepło można wykorzystywać jednocześnie z innymi źródłami energii (ciepło spalania śmieci prawie dorównuje ciepłu spalania węgla brunatnego). Ta metoda jest również bezpieczniejsza z epidemiologicznego punktu widzenia i umożliwia czterokrotne zmniejszenie masy odpadów, które są składowane.

Inne podejście do minimalizacji ilości odpadów – to segregowanie odpadów bytowych według poszczególnych kategorii (ryc. 57.3). W większości krajów Europy segregowanie śmieci dawno stało się normą, a na Ukrainie dopiero nabiera obrotów. Odpady można dzielić na następujące kategorie: odpady spożywcze, szkło, papier, plastik i polietylen, odpady metalowe, urządzenia elektryczne, baterie i akumulatory. Zasada selektywnego zbierania jest wszędzie jednakowa: razem zbiera się te odpady, które nadają się do tego samego typu przetwarzania czy utylizacji. Szczególną uwagę zwraca się na utylizację baterii i urządzeń elektrycznych: jedna bateria, która została wyrzuc-



Рис. 57.3. Поjemniki do selektywnego zbierania odpadów na Zakarpaciu

na razem z innymi odpadami bytowymi, potrafi skazić 400 litrów czy 20 kwadratowych metrów gleby!

Dlatego staraj się, aby przynajmniej ten rodzaj śmieci utylizować poprawnie! Selektywne zbieranie śmieci ma korzystny wpływ na środowisko przyrodnicze z trzech powodów. Po pierwsze ono minimalizuje ogólną ilość odpadów, ponieważ część ulega przeróbce. Po drugie umożliwia utylizację różnych komponentów w optymalny dla nich sposób. Po trzecie ułatwia ponowne wykorzystanie materiałów i obniża obciążenie na środowisko przyrodnicze, związane z ich wydobyciem czy produkcją, a także zmniejsza ilość odpadów, które pojawiłyby się na tych etapach. Ekonomiczna korzyść od segregowania śmieci jest niewielka, ponieważ wydatki na stworzenie infrastruktury segregacji odpadów są bardzo duże, a dochody z przetwarzania ledwie je pokrywają. Jednak segregowanie śmieci pozwala każdemu przyczynić się do zachowania przyrody.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1) Przypuśćmy, że niedaleko twego domu rośnie dąb, który był posadzony przez Tarasa Szewczenkę. Najbardziej stosowne będzie nadanie temu drzewu następującej kategorii z zakresu ochrony przyrody

A park narodowy	B rezerwat ścisły	C rezerwat
D pomnik przyrody	E rezerwat biosfery	
- 2) Do Czerwonej Księgi Ukrainy wpisano

A wilka	B lisa zwyczajnego	C dzika
D królika dzikiego	E niedźwiedzia brunatnego	
- 3) Poprawne stwierdzenie dotyczące utylizacji odpadów bytowych brzmi:
 - A** składowanie odpadów na poligonach i zsympskach śmieci – to najbardziej ekologiczna metoda utylizacji odpadów
 - B** spalanie odpadów w spalarniach śmieci jest jedną z najpraktyczniejszych metod utylizacji odpadów i wyrządza mniejszą szkodę środowisku niż wysypiska
 - C** segregacja odpadów bytowych według kategorii zastosowywana jest obecnie tylko w Japonii
 - D** najbardziej stosowne z punktu widzenia ochrony otaczającego środowiska jest wyrzucanie baterii razem z odpadami spożywczymi
 - E** selektywne zbieranie śmieci według kategorii umożliwia całkowite pokonanie problemu utylizacji odpadów bytowych w wielkich miastach

- 4 Wybierz poprawne stwierdzenie dotyczące Czerwonej Księgi.
A pierwsze wydanie Czerwonej Księgi IUCN ukazało się w 1863 roku
B Czerwona Księga IUCN nie ma mocy prawnej, ale na jej podstawie mogą być uchwalane prawa o ochronie zagrożonych gatunków
C ostatnie wydanie Czerwonej Księgi IUCN zawiera rejestr około 150 tysięcy zagrożonych gatunków
D Czerwona Księga Ukrainy zawiera ten sam rejestr gatunków, co i Międzynarodowa Czerwona Księga
E większość gatunków ssaków, które mieszkają na Ukrainie, została wpisana do Czerwonej Księgi Ukrainy
- 5 Rezerwat od rezerwatu ścisłego różni się tym, że
A w rezerwacie może być zezwolona działalność gospodarcza, jeśli ona nie szkodzi chronionym obiektom
B rezerwat ścisły stwarza się w celu ochrony niewielkiej ilości szczególnie cennych obiektów przyrody
C w rezerwacie jest bardziej surowy rygor i zakaz wszelkiej działalności człowieka
D rezerwat – to alternatywna nazwa rezerwatu ścisłego; zasadniczej różnicy między tymi nazwami nie ma

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6 Jaką korzyść przynosi segregowanie odpadów bytowych?
- 7 Na czym polega różnica między parkiem narodowym a rezerwatem ścisłym?
- 8 W jakim celu stwarzane są różnorodne obszary chronione?
- 9 Podaj po pięć przykładów zwierząt i roślin wpisanych do Czerwonej Księgi Ukrainy. Dlaczego one tam trafiły?
- 10 Czy mogą niektóre gatunki być wpisane do regionalnej Czerwonej Księgi, ale przy tym nie wpisane do Międzynarodowej Czerwonej Księgi?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11 Jakie są technologie utylizacji odpadów bytowych? Które z nich są najbardziej efektywne i perspektywne?
- 12 IUCN przyznaje wszystkim gatunkom różny status ochrony przyrody? Jakie istnieją statusy i jak one są określane?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13 Podaj kilka przykładów zwierząt i roślin wpisanych do Czerwonej Księgi Ukrainy i opowiedz o działaniach podejmowanych w celu ich ochrony.
- 14 Czy istnieją gatunki, których wpisanie do Czerwonej Księgi i zastosowanie w odniesieniu do nich innych metod ochronnych dało pozytywny wynik, a więc odpadła potrzeba ich ochrony?



The rewards for biotechnology are tremendous – to solve disease, eliminate poverty, age gracefully. It sounds so much cooler than Facebook.

George M. Church



ROZDZIAŁ 9

Biologia jako podstawa biotechnologii i medycyny

§ 58. Udomowienie roślin i zwierząt

Rośliny były uszlachetnione na różnych terytoriach

Przejście ludzi pierwotnych od polowania i zbieractwa do uprawy roli – tak zwana rewolucja neolityczna – stało się najważniejszym etapem rozwoju ludzkiego społeczeństwa, który radykalnie zmienił przebieg rozwoju całej cywilizacji. Pierwsze próby hodowli roślin uprawnych były podjęte około 10–11 tysięcy lat temu na Bliskim Wschodzie (terytorium współczesnej Turcji, Iraku, Syrii, Izraela i Libanu). To terytorium odegrało szczególną rolę w historii ludzkości: tu uszlachetniono pierwsze rośliny i oswojono większość współczesnych zwierząt domowych. Pod względem kształtu ono przypomina sierp, dlatego często jest nazywane **Żywnym Półksiężycem** (ryc. 58.1). Najstarszymi roślinami uprawnymi stały się zboża (pszenica i jęczmień), groch i winogrona. Właśnie tu udomowiono kozę, świnie, owcę i krowę.

Badania na temat pochodzenia roślin uprawnych prowadził wybitny biolog **Nikołaj Wawilow**. Dzięki naukowym pracom jego i jego zwolenników ustalono, że miejsc, skąd pochodzi większość wszystkich roślin uprawnych, na świecie jest niedużo – mniej niż dziesięć (ryc. 58.2). W tabeli 58.1 podano główne ośrodki pochodzenia wraz z przykładami roślin, które były po raz pierwszy uszlachetnione w każdym ośrodku.



Tabela 58.1. Ośrodki pochodzenia roślin uszlachetnionych

Ośrodki pochodzenia roślin	Rozmieszczenie	Przykłady roślin
Środkowoamerykański	Meksyk, Nikaragua, Honduras, Gwatemala	Kukurydza, fasola, dynia zwyczajna, kakao, słonecznik
Południowoamerykański	Kolumbia, Ekwador, Peru, Boliwia	Ziemniak, pomidor
Śródziemnomorski	Albania, Chorwacja, Grecja, Włochy, Hiszpania, Tunis, Egipt	Owies, kapusta, burak, koper, marchew, oliwka
Przednioazjatycki (włączając Żywny Półksiężyc)	Iran, Irak, Turcja, Syria, Liban, Izrael, Jordania	Pszenica, żyto, groch, winorośl
Etiopski	Etiopia, Sudan, Erytrea	Kawa, arbuz
Środkowoazjatycki	Indie, Pakistan, Afganistan, Tadżykistan, Uzbekistan	Melon, cebula, czosnek
Indyjski	Indie, Mjanma, Filipiny, Wietnam, Laos, Kambodża	Ryż, ogórek, bakłażan, trzcina cukrowa
Chiński	Wschodnia część Chin	Soja, jabłoni, wiśnia, pomarańcza, mandarynka, morwa, hurma

„Zasada Anny Kareniny” wyjaśnia, dlaczego tak niewiele zwierząt zostało udomowionych

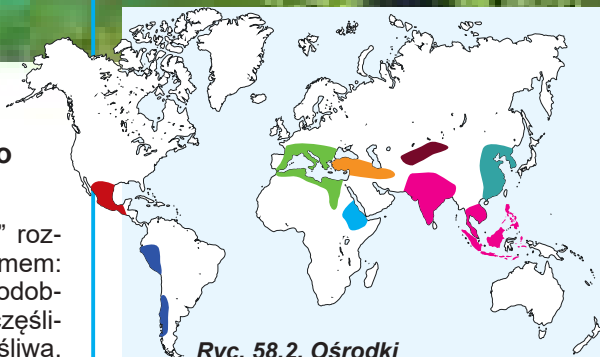
Powieść Lwa Tołstoja „Anna Karenina” rozpoczyna się zdaniem, które stało się aforyzmem: „Wszystkie szczęśliwe rodziny są do siebie podobne, każda nieszczęśliwa rodzina jest nieszczęśliwa na swój sposób”. Aby rodzina była szczęśliwa, niezbędne jest jednoczesne spełnienie wielu warunków (takich, na przykład, jak miłość, wzajemne zrozumienie, zdrowie, dobra materialne), a do nieszczęścia wystarczy, że nie będzie spełniony przynajmniej jeden z nich.

Amerykański biolog Jared Diamond w książce „Strzelby, drobnoustroje i żywność. Losy ludzkich społeczeństw: źródła nierówności między narodami” zaproponował zastosować „zasadę Anny Kareniny”, aby wyjaśnić, dlaczego domowych zwierząt jest bardzo mało. On przypuszczał, że dla udomowienia zwierząt potrzebne jest jednoczesne spełnienie wielu warunków, a niespełnienie przynajmniej jednego z nich uniemożliwia udomowienie.

Diamond wyróżnił sześć takich warunków dla dużych ssaków roślinożernych:

- niewybredność w żywieniu;
- szybki wzrost;
- zdolność do rozmnażania się w niewoli;
- przyjazny stosunek do człowieka;
- brak skłonności do paniki;
- obecność struktury społecznej z wyraźnie zaznaczoną hierarchią.

Zwierzęta, które nie odpowiadają jednemu lub kilku wymienionym cechom, nie mogą być oswojone. Otóż „zasada Anny Kareniny” w tym przypadku będzie miała taką postać: „Wszystkie udomowione zwierzęta są podobne do siebie, każde nieudomowione zwierzę jest nieudomowione na swój sposób”.

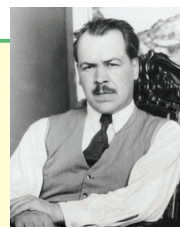


Ryc. 58.2. Ośrodki pochodzenia roślin uprawnych

1. Środkowoamerykański.
2. Południowoamerykański.
3. Śródziemnomorski.
4. Przednioazjatycki.
5. Etiopski.
6. Środkowoazjatycki.
7. Indyjski.
8. Chiński.

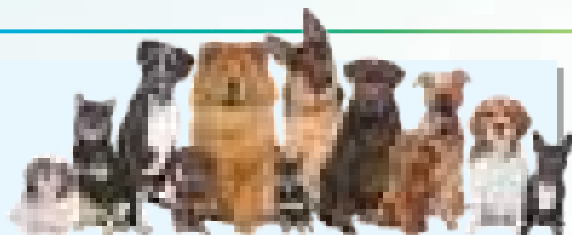
Mykoła Wawilow

Urodził się 1887 roku w Moskwie. Studiował w Moskiewskim Instytucie Rolniczym. Jest jednym z najwybitniejszych genetyków, botaników i selekcjonerów. Znany na świecie przede wszystkim jako autor nauki o ośrodkach pochodzenia roślin uprawnych, autor prawa szeregów homologicznych zmienności dziedzicznej. Odkrył i opisał odporność roślin, wniósł istotny wkład w opracowanie nauki o gatunku biologicznym. W wyniku 180 botanicznych wypraw po całym świecie Wawilow stworzył największą kolekcję nasienia oraz bank genów roślin uprawnych. W 1940 roku podczas wyprawy do Zachodniej Ukrainy uczoney został aresztowany w Czerniowcach. Śledztwo przeciwko niemu trwało 11 miesięcy, Wawilow był poddany okrutnym torturom. Został skazany na karę śmierci, którą następnie zamieniono na 20 lat łagru. Tortury i głód wyniszczyły organizm wielkiego uczonego i w 1943 roku Mykoła Wawilow zmarł. W 1955 roku został całkowicie zrehabilitowany, a w związku z setną rocznicą urodzin Wawilowa rok 1987 został ogłoszony przez UNESCO rokiem Wawilowa.

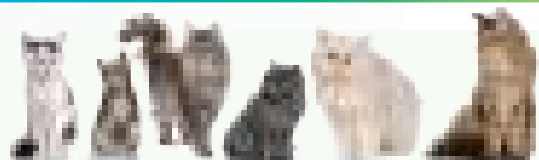


Nie wszystkie zwierzęta zostały udomowione w imię przyjaźni z nimi

Udomowienie zwierząt, obok rolnictwa, stało się kluczowym czynnikiem rozwoju cywilizacji. Jared Diamond nawet powiązuje postęp czy upadek określonej kultury z obecnością w różnych częściach świata zwierząt, które nadają się do udomowienia. Większość zwierząt udomowiono z początkiem rewolucji neolitycznej i rozwojem rolnictwa, lecz od tej reguły są wyjątki.



Ryc. 58.3. Niektóre rasy psów



Ryc. 58.4. Niektóre rasy kotów

Pies jest niewątpliwie pierwszym zwierzęciem udomowionym przez człowieka około 30 tysięcy lat p.n.e. Natomiast udomowienie większości innych gatunków zwierząt odbyło się w epoce rewolucji neolitycznej około 10 tysięcy lat temu. Wszystkie współczesne psy pochodzą od wilków, zdolne są do krzyżowania się z nimi i dają płodne potomstwo, dlatego pies uznawany jest za podgatunek wilka. Pierwotnie były wykorzystywane do ochrony i polowania; czasami również jako źródło pokarmu.

Obecnie na świecie istnieje około 525 mln psów, które należą do ponad 500 ras (ryc. 58.3).

Kot. Kot domowy pochodzi od dzikiego kota stepowego, obecnie rozpowszechnionego w Północnej Afryce i na określonych obszarach Azji.

Koty zostały udomowione około 10 tysięcy lat temu na obszarze znanego już nam Żyznego Półksiężycza. Prawdziwą plagą roślin uprawnych stały się gryzonie, więc koty były cenione i wykorzystywane do ich tępienia w celu zachowania ziarna.

W średniowiecznej Europie był zupełnie inny stosunek do kota. Uznawano go za sługę szatana i często tępieno. To stało się jedną z przyczyn rozprzestrzenienia się gryzoni w średniowiecznych miastach i doprowadziło do wybuchu epidemii dżumy.

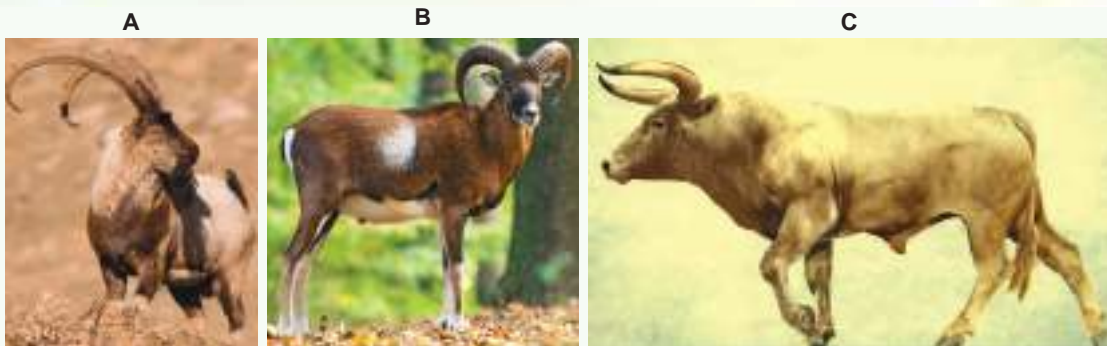
Obecnie na świecie żyje ponad 600 mln kotów, które należą do ponad 200 ras (ryc. 58.4), ale wszystkie one pod względem genetycznym są bardzo podobne do dzikiego przodka.

Owca, koza i krowa. Owce, kozy i krowy były udomowione podczas rewolucji neolitycznej w regionie Żyznego Półksiężycza na terytorium współczesnej Syrii i Turcji.

Koza – to jedno z najdawniej udomowionych zwierząt. Za przodka kozy domowej uznawana jest koza bezoarowa (ryc. 58.5, A), która również obecnie spotykana jest w dzikiej przyrodzie. Kozy były hodowane dla mięsa, mleka i skór, a także na wełnę i puch.

Przodkiem owcy jest muflon – dziki baran (ryc. 58.5, B), obecnie rozpowszechniony w górzystych regionach Azji i na niektórych śródziemnomorskich wyspach. Owce mają ważne gospodarcze znaczenie przede wszystkim jako źródło wełny. Również mięso owiec wykorzystuje się jako pokarm, zwłaszcza w tych krajach, gdzie ze względów religijnych nie spożywa się wieprzowiny.

Przodkiem domowej krowy był jeden z podgatunków dzikiego byka – tur (ryc. 58.5, C), który obecnie należy do zwierząt wymarłych. Udomowione krowy były



Ryc. 58.5. Dzicy przodkowie zwierząt domowych

A. Kozioł bezoarowy. **B.** Muflon. **C.** Tur.

i źródłem mięsa, i siłą pociągową w rolnictwie (do tego zazwyczaj wykorzystywano kastrowanych byków – wołów).

Świnia. Świnia pochodzi od dzika, swobodnie z nim krzyżuje się i należy z nim do jednego gatunku biologicznego. Świnie, podobnie jak większość innych zwierząt, były po raz pierwszy udomowione na Bliskim Wschodzie, lecz prawdopodobnie nieco wcześniej niż kozy, owce i krowy – już 11–13 tysięcy lat temu. Sprzyjała temu ich niewybredność i wszystkożerność. Ciekawe jest, że równoległe z udomowieniem na Bliskim Wschodzie odbywało się ich niezależne udomowienie również w Chinach.

Nie zważając na to, że wiele religii (islam, judaizm, niektóre nurty chrześcijaństwa) zabrania spożywania wieprzowiny, hodowla świń – to jedna z najbardziej rozwiniętych branż hodowli zwierząt. Obecnie na świecie jest około miliarda świń – prawie tyle, ile psów i kotów razem wziętych.

Koń. Konie były udomowione nieco później – w przybliżeniu w IV tysiącleciu p.n.e. Dzikie konie były dobrze znane człowiekowi i przy tym jako obiekt polowań. Pierwsze wizerunki rydwanów, zaprzężonych w konie, pojawiły się około II tysiąclecia p.n.e., lecz istnieją archeologiczne dowody tego, że konie zaczęto hodować o kilka tysięcy lat wcześniej, być może początkowo jako źródło mięsa. Prawdopodobnie stało się to w jednej z kultur stepowych.

Za przodka konia domowego uznawany jest dawno wymarły dziki koń – tarpan. Jedynym krewnym konia, który przetrwał do dziś, jest dziki koń Przewalskiego – znikający gatunek, którego osobniki żyją na Ukrainie w rezerwacie Askania-Nowa oraz w strefie czarnobylskiej.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1

Ośrodkiem pochodzenia ziemniaków i pomidorów, głównych przedstawicieli rodziny psiankowatych, które są przez nas spożywane, jest

A Etiopski

B Indyjski

C Południowoamerykański

D Śródziemnomorski

E Południowochiński

- 2** Największy wkład w określenie podstawowych geograficznych ośrodków pochodzenia roślin uprawnych wniósł
A Wołodymyr Wernadski **B** Jared Diamond **C** Mykoła Wawilow
D Trochym Łysenko **E** Lew Tołstoj
- 3** „Zasada Anny Kareniny” była zaproponowana przez Jareda Diamonda, aby wyjaśnić
A dlaczego niektóre zwierzęta były udomowione jednocześnie w różnych częściach świata i niezależnie od siebie
B dlaczego stosunkowo niedużo zwierząt mogło być udomowionych
C w jakim celu człowiek zaczął udomawiać zwierzęta
D jak należy prawidłowo udomawiać zwierzęta
E dlaczego zwierzęta domowe powinny być społeczne
- 4** Dzikim przodkiem krowy jest
A tur **B** tarpan **C** bizon **D** koń Przewalskiego **E** żubr
- 5** Udomowienie psa odbyło się
A w okresie rewolucji neolitycznej, czyli około 10 tysięcy lat temu
B na długo przed rewolucją neolityczną, około 30 tysięcy lat p.n.e.
C jednocześnie z pojawieniem się rodzaju Człowiek, czyli kilka milionów lat temu
D jednocześnie z udomowieniem kota
E jednocześnie z udomowieniem konia

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Wskaż geograficzne pochodzenie roślin uprawnych – składników tradycyjnego barszczu ukraińskiego.
- 7** Spróbuj wyjaśnić z punktu widzenia „zasady Anny Kareniny” w interpretacji Jareda Diamonda, dlaczego nigdy nie udomowiono słonia i niedźwiedzia.
- 8** Dlaczego pies został udomowiony jeszcze przez człowieka pierwotnego, a kot – tylko wraz z rozwojem rolnictwa?
- 9** Po co człowiek udomowił zwierzęta? Co jest wynikiem tego procesu?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 10** Zastanów się, czy są wyjątki od „zasady Anny Kareniny”, którą zaproponował Jared Diamond. Z czym one mogą być związane? Czy można uzupełnić listę Diamonda?
- 11** Jak Mykoła Wawilowowi udało się określić ośrodki pochodzenia roślin uprawnych?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 12** Czy można zastosować „zasadę Anny Kareniny” do roślin uprawnych? Spróbuj sformułować dla roślin uprawnych cechy, które będą niezbędne do uprawy tych roślin w gospodarstwie rolnym.
- 13** Dzięki metodom biologii molekularnej i genetyki znacznie zwiększyła się nasza wiedza o pochodzeniu i rozpowszechnieniu zwierząt domowych. Jakie odpowiednie dane naukowe otrzymano na podstawie analizy DNA kota, psa i innych zwierząt domowych?

§ 59. Selekcjae

Selekcja stwarza gatunki, rasy i szczepy

Zaczawszy hodować domowe zwierzęta i rośliny uprawne, człowiek na tym nie poprzestał: wyniknęła potrzeba ulepszenia właściwości istniejących organizmów. Tysiące lat temu dokonano fundamentalnego spostrzeżenia, że potomkowie dziedziczą cechy przodków, a więc, wybierając organizmy o pożądanym cechach, można znacznie ulepszyć jakość potomków. To spostrzeżenie początkowo stało się podstawą selekcji – nauki o metodach tworzenia i ulepszania odmian oraz ras roślin rolniczych i zwierząt.

Podstawą selekcji są dwie proste zasady: dobór sztuczny i krzyżowanie (hybrydyzacja). Wybierając dla odtworzenia gatunku przedstawicieli mających najbardziej wyrażone pożądane cechy, można je utrwalić i wzmocnić u potomków. Jednocześnie, krzyżując organizmy o różnych zestawach cech (na przykład wysoka wydajność u jednego i odporność na posuchę u drugiego), można otrzymać potomków – mieszańców (hybrydów), łączących w sobie przewagi przodków.

Wynikiem selekcji jest kształtowanie nowych gatunków roślin, ras zwierząt i szczepów drobnoustrojów. Gatunki, rasy i szczepy – to grupy organizmów jednego gatunku, które są podobne do siebie i otrzymane sztucznie drogą selekcji.

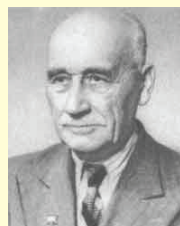
Wyniki selekcji roślin są wszędzie wykorzystywane

Oprócz klasycznych metod doboru i krzyżowania, w selekcji roślin stosuje się również swoje, szczególne metody.

Sztuczny dobór – to jedna z podstawowych metod selekcji zarówno zwierząt, jak i roślin. On pozwala wybierać do rozmnażania te rośliny, które wśród podobnych sobie są najlepsze. Selekcja bywa masowa i indywidualna. Przy indywidualnej selekcji ocenia się korzystne jakości określonych roślin i wybiera je do rozmnażania. Dobór indywidualny jest ważny zwłaszcza w selekcji roślin samopylnych. Dla roślin o zapylaniu krzyżowym stosuje się selekcję masową. Jest to taki rodzaj doboru, przy którym z populacji wybiera się od razu wielką ilość najcenniejszych przedstawicieli i wykorzystuje się ich do krzyżowania.

Wasył Juriew

Urodził się w 1879 roku w guberni penzeńskiej Imperium Rosyjskiego. Wykształcenie zdobył w Nowoaleksandryjskim Instytucie Gospodarstwa Rolnego i Leśnictwa w mieście Puławy w Polsce. Od 1909 roku i do końca życia mieszkał i pracował w Charkowie. Wasył Juriew pracował nad hodowlą nowych gatunków pszenicy, żyta, owsa, prosa, kukurydzy. Wyhodowane przez niego gatunki po dzień dzisiejszy zajmują ogromne obszary użytków rolnych Ukrainy. Uczony następująco określił osobliwość swojej pracy: „Selekcjoner powinien żyć długo, prowadzić osiadły tryb życia, być stałym w miłości do wybranej sprawy, aby nie odwlekać się od głównego celu”. Był dyrektorem Instytutu Genetyki i Selekcji Ukraińskiej Akademii Nauk oraz Dyrektorem Ukraińskiego Naukowo-Badawczego Instytutu Uprawy Roślin, który obecnie nosi jego imię. Zmarł uczony w 1962 roku w Charkowie. Po śmierci Juriewa w Charkowie ustanowiono mu popiersie i na jego cześć nazwano bulwar.





Mo17



F₁



B73



Mo17



F₁



B73

Ryc. 59.1. Zjawisko heterozji u kukurydzy

Heterozyjna odmiana kukurydzy (F₁) otrzymana drogą krzyżowania niskopiennych gatunków Mo17 i B73, cechuje się wyższymi pędami i większymi kolbami.

Żeby otrzymać więcej materiału dla doboru, czasami stosuje się **sztuczną**, albo **indukowaną mutagenезę**: pyłek lub nasienie rośliny poddaje się działaniu promieniowania albo substancji chemicznych, które warunkują zmiany w DNA. To pozwala otrzymać rośliny o nowych cechach, które nie zdarzały się w rodzicielskich formach.

Krzyżowanie roślin też ma swoje osobliwości. Dzięki obecności u roślin zjawiska samozapyłania można otrzymać genetycznie jednorodne odmiany. One są nazywane **czystymi liniami** i u nich wszystkie rośliny są genetycznie identyczne. Przy krzyżowym zapyłaniu dwóch różnych gatunków często obserwuje się zjawisko heterozji: mieszańcy pierwszego pokolenia prześcigają rodzicielskie organizmy pod wieloma względami, takimi jak urodzajność, odporność na niesprzyjające czynniki środowiska otaczającego (ryc. 59.1). Ten efekt jest szczególnie widoczny tylko w pierwszym pokoleniu mieszańców, a w następnych pokoleniach zanika.

W selekcji roślin ważną rolę odgrywa **krzyżowanie międzygatunkowe** – zjawisko dość rzadkie, lecz mające duże znaczenie praktyczne. Jednym z najbardziej pomysłowych przykładów międzygatunkowego krzyżowania jest **pszenżyto** – mieszaniec pszenicy i żyta (ryc. 59.2). Pszenżyto łączy spożywcze jakości i wysoką urodzajność pszenicy z niewybrednością i odpornością na choroby żyta.

Poliploidyzacja, czyli zwielokrotnienie liczby zestawów chromosomów – to jeszcze jedna ważna metoda selekcyjnej pracy z roślinami. W odróżnieniu od zwierząt, wiele roślin w przyrodzie jest poliploidalnych, czyli mają trzy lub więcej zestawów podobnych chromosomów. Oprócz tego zwiększenie liczby zestawów chromosomów u roślin często pozytywnie wpływa na ich rozwój, podwyższając szybkość wzrostu i zwiększając wielkość rośliny (ryc. 37.5, A).



A

B

Ryc. 59.2. Ziarna pszenżyta (A) i pszenicy (B) różnią się pod względem wielkości i odporności na szkodniki

W selekcji zwierząt rozpowszechnione jest krzyżowanie

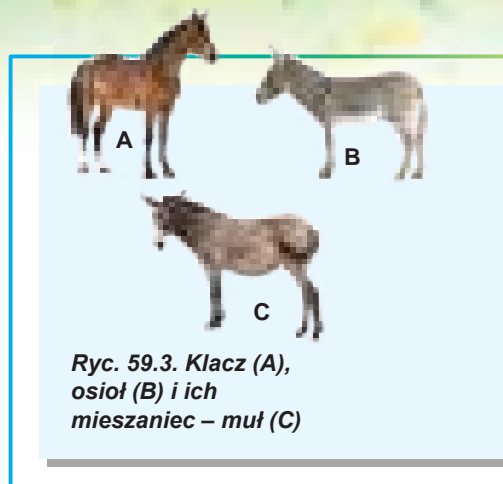
Selekcja zwierząt rozpoczęła się jednocześnie z ich udomowieniem i prawdopodobnie na początku była dokonywana nieświadomie, bez określonego celu: człowiek po prostu wybierał do rozmnażania zwierzęta, które miały najkorzystniejsze cechy.

Dla zwierząt, w odróżnieniu od roślin, nie jest charakterystyczne rozmnażanie bezpłciowe i samozapłodnienie. Selekcja komplikuje się i również tym, że ilość potomków jest zazwyczaj niewielka, a życiowy cykl – długi. Krzyżowanie międzygatunkowe zwierząt jest możliwe w rzadkich przypadkach, lecz

takie mieszańce zwierząt zwykle nie są zdolne do rozmnażania (o reprodukcyjnych barierach była mowa w § 43). Przykładem takiego zwierzęcia jest muł – bezpłodny mieszaniec osła i klaczy (ryc. 59.3).

Tak więc głównymi metodami selekcji zwierząt, jak i tysiące lat temu, są: sztuczny dobór i wewnątrzgatunkowe krzyżowanie. Zastosowuje się dwa rodzaje krzyżowania – spokrewnione i niespokrewnione. Krzyżowanie spokrewnione (chów wsobny) wykorzystuje się do utrwalenia i zachowania pożądanych cech u potomków. Przy tym spokrewnione krzyżowanie, jak i samozapylenie u roślin, prowadzi do osłabienia zwierząt.

A niespokrewnione krzyżowanie wykorzystuje się do wsparcia i ulepszenia cech rasy. Jak i w roślinnym świecie, przy krzyżowaniu dwóch różnych ras zwierząt (czystych linii) może być obserwowane zjawisko heterozji. Na przykład przy krzyżowaniu dwóch różnych mięsnych ras kur w pierwszym pokoleniu otrzymuje się szybko rosnące i wcześniej dojrzewające brojlery.



Ryc. 59.3. Klacz (A), osioł (B) i ich mieszaniec – muł (C)

Selekcja drobnoustrojów ma swoje osobliwości

Jeśli można dokonywać wyboru roślin i zwierząt o zadanych jakościach, to dlaczegoż nie spróbować zrobić to samo w stosunku do drobnoustrojów?¹ Człowiek od dawna wykorzystywał bakterie i mikroskopijne grzyby do produkcji artykułów spożywczych (takich jak chleb, wino, piwo, ser, kiszone warzywa), nie podejrzewając nawet o ich istnieniu. Wskutek tego selekcja drobnoustrojów jako nauka zaczęła rozwijać się stosunkowo późno, dopiero w XX wieku. Oto niektóre osobliwości selekcji drobnoustrojów (mikroorganizmów).

1. Selekcjoner-hodowca zwierząt pracuje tylko z kilkoma dziesiątkami zwierząt, a przy selekcji drobnoustrojów dobór dokonuje się wśród miliardów żywych istot.
2. Pokolenia drobnoustrojów zmieniają się setki razy szybciej niż pokolenia zwierząt lub roślin.
3. Większość drobnoustrojów jest haploidalna, czyli ma jeden zestaw genów. To znaczy, że wszystkie mutacje przejawiają się od razu, w pierwszym pokoleniu.
4. Bakterie nie posiadają klasycznego rozmnażania płciowego, dlatego hybrydyzacja w selekcji drobnoustrojów nie jest stosowywana.
5. W selekcji drobnoustrojów, jak i w selekcji roślin szeroko wykorzystuje się metodę sztucznej mutagenезы. Pozwala to znacznie podwyższyć częstość mutacji i odpowiednio – otrzymać różnorodny materiał do sztucznego doboru.

Metody selekcji drobnoustrojów (mikroorganizmów) pozwoliły, na przykład, setki razy podwyższyć poziom produkcji antybiotyków i innych korzystnych dla człowieka produktów.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Pszenżyto – to międzygatunkowy mieszaniec takich roślin, jak
- A żyto i pszenica B owies i jęczmień C kukurydza i proso
D sorgo i ryż E pszenica i jęczmień

1 Przypomnijmy, że do mikroorganizmów należą wszystkie bakterie, pierwotniaki oraz mikroskopijne grzyby i glony.

- 2** W celu diploidyzacji komórki obrabia się specjalną substancją – kolchicyną. W wyniku podziału takiej komórki liczba chromosomów w niej wzrasta podwójnie. Wskaż strukturę komórki, którą rujnuje kolchicina.
A jądro **B** chromosomy **C** wrzeciono podziałowe **D** centriole **E** cytoplazma
- 3** Wybierz jedno poprawne stwierdzenie
A rośliny z różnych odmian mogą należeć do jednego gatunku biologicznego
B do jednej odmiany mogą należeć rośliny z różnych gatunków biologicznych
C odmiany u roślin – to to samo co podgatunki u zwierząt
D rośliny o różnych odmianach nie mogą krzyżować się między sobą i dawać płodne potomstwo
E rośliny o różnych odmianach otrzymuje się sztucznie drogą selekcji
- 4** Przewaga mieszańców pierwszego pokolenia niespokrewnionego krzyżowania przed formami rodzicielskimi ma nazwę
A poliploidia **B** heterozja **C** mutageneza
D krzyżowanie **E** samozapylenie
- 5** W zestawie chromosomów miękkiej pszenicy jest 7 chromosomów. Czy można uważać nową odmianę o 10 chromosomach wynikiem poliploidyzacji?
A tak, ponieważ zwiększyła się liczba chromosomów
B nie, ponieważ poliploidalność charakterystyczna jest tylko dla zwierząt
C nie, ponieważ przy poliploidyzacji liczba chromosomów ma być podzielna przez 7
D nie, ponieważ przy poliploidyzacji liczba chromosomów miałaby zmniejszyć się
E nie, ponieważ poliploidy mają nieparzystą liczbę chromosomów

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Porównaj osobliwości selekcji zwierząt i roślin według następujących kryteriów: wynik selekcji, prędkość zmiany pokoleń, możliwość otrzymania międzygatunkowych mieszańców, wykorzystanie rozmnażania płciowego i bezpłciowego.
- 7** W selekcji jakich organizmów zastosowuje się sztuczną mutagenezę? W jakim celu?
- 8** Co to jest poliploidyzacja? Jaka jest jej rola w selekcji roślin?
- 9** Jakie metody są wykorzystywane w selekcji mikroorganizmów? Na czym polegają podstawowe różnice selekcji mikroorganizmów oraz selekcji roślin i zwierząt?
- 10** Rozpatrz rycinę 59.3 i opisz cechy podobieństwa mieszańca i gatunków rodzicielskich.

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Dlaczego obserwuje się taką wielką różnorodność ras psów? W jakim celu hoduje się określone rasy?
- 12** Jakie rośliny-poliploidy spożywamy? Czy są one potencjalnie niebezpieczne dla zdrowia człowieka?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Jakie międzygatunkowe mieszańce zwierząt i roślin otrzymali selekcjonerzy? Jakie są wady i zalety tych mieszańców w porównaniu z gatunkami rodzicielskimi?
- 14** Wyznacz kolejność działań, niezbędnych do wyhodowania nowego szczepu kropidlaka, który by syntezował duże ilości witaminy B₂.

§ 60. Tradycyjne biotechnologie

Człowiek od dawna wykorzystuje biotechnologię

Słowo „biotechnologia” w 1919 roku po raz pierwszy użył węgierski inżynier **Karl Ereky**, kiedy opisywał proces hodowli świń, które żywią się burakiem cukrowym. Zgodnie z jego definicją, **biotechnologia** – to wszystkie rodzaje prac, podczas których produkty są wytwarzane z surowca za pomocą żywych organizmów. Odpowiednio do tej definicji burak – to surowiec, z którego za pomocą żywych organizmów (świń) otrzymuje się końcowy produkt – wieprzowinę.

Definicja Ereky’ego jest aktualna również obecnie, lecz zyskała nieco innej treści i zastosowuje się przeważnie do opisu wykorzystywania mikroorganizmów, kultur komórkowych albo genetycznie zmodyfikowanych organizmów w produkcji przemysłowej.

Historia rozwoju biotechnologii liczy kilka tysiącleci. Nawet nie podejrzewając o istnieniu mikroorganizmów, ludzie od najdawniejszych czasów wykorzystywali je do produkcji artykułów spożywczych.

Istnienie mikroorganizmów po raz pierwszy odkrył holenderski naturalista-amator Antoni von Levenhook w 1675 roku. Dopiero w 1862 roku francuski uczoney Louis Pasteur zbadał rolę mikroorganizmów w procesach fermentacji. To odkrycie stało się bodźcem do dalszego rozwoju biotechnologii jako dyscypliny naukowej.

Obecnie biotechnologia – to jedna z nauk stosowanych, która rozwija się najdynamiczniej. Ona korzysta z osiągnięć biochemii, biologii molekularnej, genetyki, biologii komórkowej i innych nauk w kompleksie z inżynierskimi podejściami do rozwiązywania zadań technologicznych. Biotechnologia odgrywa najważniejszą rolę w produkcji artykułów spożywczych i wielu preparatów medycznych (antybiotyków, hormonów itp.). Najznacześniejszych sukcesów ona osiągnęła w końcu XX – na początku XXI stulecia wraz z rozwojem metod inżynierii genetycznej.

Mikroorganizmy są stosowane w produkcji artykułów spożywczych

Piekarnictwo. Chleb – to jeden z najdawniejszych produktów wyrabianych przez człowieka. Na początku chleb miał postać kaszy z wody i mąki, zapieczonej na ogniu, czyli przygotowywano go bez fermentacji, z ciasta bezdrożdżowego. Uważa się, że pierwszy drożdżowy chleb pojawił się w Starożytnym Egipcie około 4000 lat po temu, skąd rozprzestrzenił się praktycznie na cały starożytny świat. Z punktu widzenia mikrobiologii zakwaszenie – to proces fermentacji drożdżowej. Głównym składnikiem zakwasu są jednokomórkowe grzyby – drożdże piekarskie (ryc. 60.1), wydzielające w trakcie fermentacji dwutlenek węgla, który jest spulchniaczem dla chleba.

Browarnictwo. Piwo – to napój słaboalkoholowy, znany ludzkości z bardzo dawnych czasów. Piwo jest wynikiem fermentacji drożdży



Ryc. 60.1. Elektronowe mikrofotografie komórek drożdży piekarskich

Zdjęcie pofarbowano ręcznie. Wyraźnie widać miejsca pączkowania.



Ryc. 60.2. Proces fermentacji soku winogronowego

Cechą charakterystyczną fermentacji jest intensywne wydzielanie się dwutlenku węgla, co prowadzi do powstawania piany.

słodowej brzezki – wymoczonych i doprowadzonych do kiełkowania ziaren zbóż, najczęściej jęczmienia. W browarnictwie wykorzystuje się drożdże kilku różnych gatunków i szczepów, które są połączone nazwą drożdże piwne.

Browarnictwo było znane narodom Starożytnej Mezopotamii, Egiptu, Rzymu, Chin i innych cywilizacji. Szczególnych sukcesów browarnictwo osiągnęło w średniowiecznej Europie. Chodzi o to, że z powodu braku efektywnej kanalizacji i antyosanitarii w europejskich miastach spożywanie zwykłej wody pitnej było bardzo ryzykowne. Ze względu na to szkoda dla zdrowia, którą sprawia spożywanie piwa, była niewątpliwie mniejszym złem.

Nie zważając na popularność piwa na całym świecie, ono, jak i inne napoje alkoholowe, przy nadmiernej konsumpcji wyrządza znaczną szkodę zdrowiu, zwłaszcza jeśli spożywają je nastolatki.

Winiarstwo. Wino stało się pierwszym produktem, dla którego produkcji udowodniono konieczność mikroorganizmów. Studiując dojrzewające wino francuskich producentów win pod mikroskopem, Louis Pasteur zaobserwował dużą ilość mikroskopijnych żywych organizmów i przypuścił, że właśnie one są odpowiedzialne za fermentację soku winogronowego. Później ustalono, że te mikroorganizmy – to drożdże, które żyją w przyrodzie na owocach winogron, trafiają do wyduszonego soku i przetwarzają go na wino dzięki procesowi fermentacji alkoholowej (ryc. 60.2).

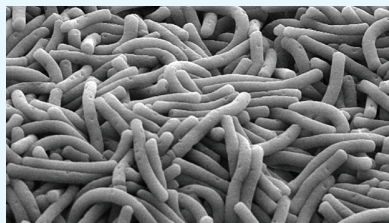
Fermentacja mlekowa. Do produkcji mlecznych przetworów fermentowanych (jogurtu, kefiru, śmietany, sera domowego, mleka ukwaszonego) wykorzystuje się bakterie kwasu mlekowego, które przekształcają węglowodan laktozę, która zawarta jest w mleku, na kwas mlekowy.

Do produkcji produktów fermentacji mlekowej wykorzystuje się różne gatunki bakterii mlekowych (ryc. 60.3). Na przykład w skład jogurtu wchodzi kultury bułgarskiej pałeczki i *Streptococcus salivarius*; w skład kwaśnego mleka – *Lactococcus lactis*.

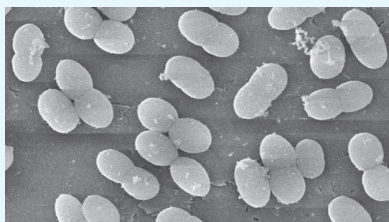
Oprócz produkcji produktów fermentacji mlekowej bakterie kwasu mlekowego wykorzystuje się również do kiszenia warzyw i kiszenia zielonki dla zwierząt. Kiszenie nie tylko nadaje warzywom nowych walorów smakowych, lecz znacznie przedłuża termin ich przechowywania dzięki zakwaszeniu środowiska, co czyni go nieprzydatnym dla rozwoju innych drobnoustrojów.

Sery. Technologia przygotowywania serów znana jest ludzkości w ciągu co najmniej 7–8 tysięcy lat, czyli ser jest nawet starszym produktem spożywczym niż chleb drożdżowy.

A



B



Ryc. 60.3. Bakterie kwasu mlekowego

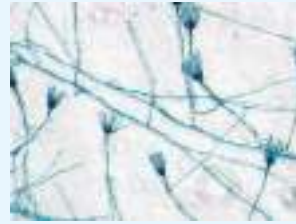
A. Bułgarska pałeczka z jogurtu.

B. *Lactococcus lactis* z ukwaszonego mleka.



Ryc. 60.4. Mleko ścięte za pomocą podpuszczki

Po obróbce mleko ma postać galaretowatego skrzepu i rzadkiej serwatki.



A



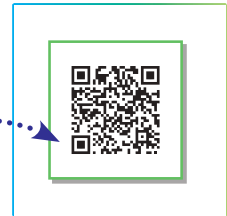
B

Ryc. 60.5. Wykorzystanie pleśni do produkcji sera

A. Strzępki i zarodnie pędzłaka.
B. Ser rokfor zawierający ten grzyb.

W odróżnieniu od innych produktów fermentacji mlekowej, podstawowym sposobem produkcji twardych serów jest ścinanie mleka (ryc. 60.4) pod działaniem enzymu trawiennego chymozyny (inaczej: podpuszczka, rennina). Przedtem chymozynę pozyskiwano z żołądków zabitych młodych cieląt, lecz dzięki rozwojowi inżynierii genetycznej w 90. latach XX wieku zaczęto produkować chymozynę za pomocą genetycznie modyfikowanych bakterii. Na razie użycie chymozyny z trawieńca cieląt szybko maleje: do 80% sera na świecie już wyrabia się za pomocą chymozyny, utworzonej za pomocą bakterii. Po ścięciu się mleka otrzymaną twarogową masę filtruje się, miesza, soli i daje się serowi czas, aby dojrzeć. Cały proces produkcji przemysłowej sera możesz zobaczyć, **oglądając wideo na stronie internetowej**.

Prócz tego do produkcji niektórych serów wykorzystuje się kilka rodzajów jadalnej pleśni penicyliny (ryc. 60.5). Do takich serów należy brie oraz camembert, także błękitne sery rokfor, dorblu, gorgonzola i inne, które mają charakterystyczny zapach.



Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1

Biotechnologicznym procesem NIE jest

- A produkcja jogurtów z wykorzystaniem bakterii kwasu mlekowego
- B produkcja wieprzowiny z wykorzystaniem buraków cukrowych jako karmy
- C produkcja kwasu z wykorzystaniem drożdży
- D produkcja makaronu z twardych gatunków pszenicy
- E produkcja ludzkiej insuliny z wykorzystaniem pałeczki okrężnicy

2

Drobnoustrojową przyrodę fermentacji po raz pierwszy zbadał

- A Antoni von Levenhook
- B Louis Pasteur
- C James Watson
- D Robert Koch
- E Karl Ereky

- 3** Grzyby NIE zastosowuje się do produkcji
A sera rokfor **B** żytniego chleba
C wina **D** domowego sera
E piwa
- 4** Chymozynę, wyprodukowaną przez bakterie, wykorzystuje się do
A produkcji serów zamiast enzymu podpuszczkowego cieląt
B otrzymania bezdrożdżowego chleba
C produkcji piwa
D przyśpieszonego kwaszenia warzyw
E spowolnienia fermentacji soku winogronowego
- 5** Schemat chemicznego przekształcenia, który zastosowuje się do produkcji artykułów spożywczych i odbywa się pod działaniem drobnoustrojów – to
A aminokwasy → tłuszcze
B węglowodany → aromatyzatory
C białka → alkohol etylowy
D witaminy → kwas cytrynowy
E węglowodany → kwas mlekowy

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Co początkowo oznaczał termin „biotechnologia” i jakie jest jego obecne znaczenie?
- 7** Podaj charakterystykę roli badań Louisa Pasteura w stworzeniu zasad naukowych biotechnologii.
- 8** W jakim celu w procesie produkcji chleba wykorzystuje się drożdże?
- 9** Do produkcji jakich artykułów spożywczych wykorzystuje się bakterie kwasu mlekowego?
- 10** Zwięźle opisz technologię produkcji sera. Nazwij drobnoustroje, które mogą być wykorzystywane w tej produkcji.

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Jakie badania pozwoliły Louisowi Pasteurowi odkryć biologiczny charakter fermentacji?¹
- 12** Na podstawie jakich kryteriów różne rodzaje prokariotów są zaliczane do grupy bakterii kwasu mlekowego? Jakie taksony bakterii należą do tej grupy?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Drobnoustroje są wykorzystywane nie tylko w przemyśle spożywczym, lecz również do rozwiązania wielu innych specyficznych zadań. W jakich jeszcze sferach działalności człowieka i w jakim celu wykorzystuje się drobnoustroje?
- 14** Jednym z najważniejszych zadań biotechnologii jest produkcja preparatów lekarskich, na przykład antybiotyków. Jakie leki i jak produkuje się, wykorzystując metody biotechnologii?

1 Jako źródło informacji o badaniach Louisa Pasteura polecamy książkę Paula de Kruiifa „Łowcy mikrobów”, w której niezwykle ciekawie opisano historię rozwoju mikrobiologii.

Dodatek XIII

Czym różni się czarna herbata od zielonej?

Zacięta walka między zwolennikami herbaty a zwolennikami kawy na świeckich przyjęciach trwa od połowy XVII stulecia, kiedy herbata po raz pierwszy trafiła do Europy. Jeszcze trwalsze są sprzeczki wśród miłośników czarnej i zielonej herbaty, którą odziedziczyliśmy z Chin – ojczyzny tego wspaniałego napoju. Ile razy zaczynałeś rano od kubka aromatycznej herbaty? Ile razy odkładałeś wszystkie sprawy i obiecywałeś sobie, że zabierzesz się do pracy dosłownie za dziesięć minut, jak tylko wypijesz herbatę? Ten napój tak mocno ukorzenił się w naszym życiu, że stał się częścią kultury, powodem dla milionów rozmów, podjętych i odłożonych decyzji, długo oczekiwanych i okazjnych spotkań, kilogramów zjedzonych „do herbaty” ciastek.

Zielona, czarna herbata, ulung, pu-erh, żółta, biała herbata i sencha – każdy wyrafinowany miłośnik znajdzie swój niepowtarzalny smak. Lecz co warunkuje wszystkie jej odmienności?

Tak naprawdę wszystkie te napoje pochodzą z zaparzonych lub naciągniętych suchych i uprzednio obrobionych liści krzaka herbacianego. Tak, naprawdę z jednego krzaka. Niezważając na ogromną różnorodność gatunków herbaty, wszystkie one są produkowane z rośliny jednego gatunku – kamelii chińskiej. Ona nie ma takich pięknych jaskrawych kwiatów, jak inne kamelie i jest niepozorna. Lecz prawdziwa uroda, jak zawsze, kryje się wewnątrz.

Gatunki herbaty różnią się miejscem wzrostu, wiekiem i najbardziej – sposobem obróbki herbacianych liści. Po ręcznym zbiorze liście herbaty poddaje się fermentacji – procesowi utleniania, uwarunkowanego jej fermentami. Właśnie ten etap produkcji herbaty określa, do którego typu i klasy będzie należał otrzymany napój. Najpierw herbaciane liście podsusza się i skręca, a potem pozostawia na jakiś czas „fermentować we własnym soku”. Im dłużej trwa etap fermentacji herbacianych liści, tym ciemniejszy będzie kolor i bardziej nasycony smak napoju. Kończy się ten proces suszeniem liści przy wysokiej temperaturze. Zieloną herbatę poddaje się minimalnemu utlenianiu, nie dłużej niż trzy dni, natomiast do wyrobu czarnej herbaty ten proces przedłuża się czasami do miesiąca – dopóki liście nie utleniają się prawie całkowicie.

Główny leczniczy efekt herbaty zapewniają alkaloidy. Najbardziej znany wśród nich jest, niewątpliwie, kofeina. Jak widzisz, nawet nieprzejeźdźni rywale o pierwszeństwo – herbata i kawa – naprawdę nie są tak dalecy od siebie. Ale herbata zawiera też teobrominę, nofilinę, ksantynę, hipoksyantynę i paraksantynę. Ostatnie są antagonistami kofeiny. Dzięki bardziej miękkiej fermentacji zielona herbata zachowuje większą zawartość kofeiny, co pozwala jej przejawiać mocniejszy efekt tonizujący od razu po trafieniu do środka organizmu. Jednak jej działanie jest bardzo krótkotrwałe i w grę od razu wstępują antagoniści, którzy obniżają aktywność naczyń i ciśnienie tętnicze. Czarna herbata działa łagodniej. Jej tonizujące właściwości nie są tak znaczne, natomiast dzięki dużej zawartości witamin grup B i P, które zachowują się w procesie fermentacji, ona dłużej podtrzymuje aktywność naczyń i nie powoduje gwałtownych zmian ciśnienia. Właśnie dlatego hipertonicom zaleca się picie zielonej herbaty, a hipotonicom – czarnej.

Jednak którą z wielu odmian herbaty byś nie preferował, bądź pewny: oprócz pożytecznych witamin i antyoksydantów, otrzymasz wewnętrzne ciepło, trochę spokojnych rozważań i, oczywiście, niepowtarzalny aromat. Chociaż Margaryta z powieści Aleksandra Dumasa-syna wybrała kwiaty kamelii właśnie dlatego, że one „praktycznie są pozbawione zapachu”, zaparzone suszone liście kamelii chińskiej w pełni nadrobiły tę stratę.

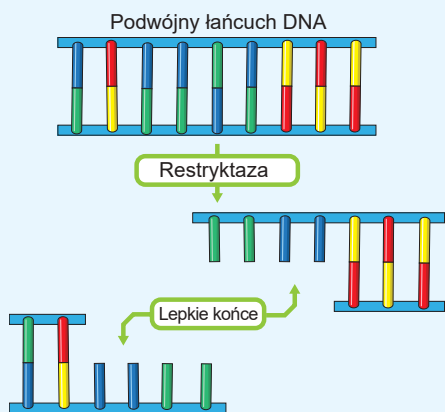
Póki zastanawiasz się nad tą historią, zaparzę sobie filiżankę aromatycznej herbaty przed początkiem dnia roboczego. Czy warto jednak oddać przewagę kawie?

Daria Wdowenko



Ukończyła Charkowską Ogólnokształcącą Szkołę № 80 w 2007 roku. Wielokrotnie laureatka ogólnoukraińskich olimpiad z biologii i turniejów z chemii. Kontynuowała naukę na Moskiewskim Państwowym Uniwersytecie. Obecnie jest na studiach doktoranckich w Szwajcarskiej Wyższej Szkole Technicznej w Zurychu; specjalność: immunologia.

§ 61. Inżynieria genetyczna i komórkowa



Ryc. 61.1. Przecięcie cząsteczki DNA restryktazą

W wyniku działania enzymu tworzy się dwa odcinki o lepkich końcach – komplementarne w stosunku do siebie jednołańcuchowymi kolejnościami nukleotydów.

Molekularne podstawy dziedziczenia – to klucz do współczesnych biotechnologii

W drugiej połowie XX wieku wraz z rozwojem genetyki i biologii molekularnej człowiek uzyskał możliwość nie tylko dobierania istniejących w przyrodzie kombinacji genów, lecz i bezpośrednio wtrącania się w dziedziczność organizmów, tworząc żywe istoty o całkowicie nowych właściwościach.

Stało się to możliwe dzięki szeregowi kluczowych odkryć w dziedzinie genetyki molekularnej i wyjaśnieniu mechanizmów przekazania i realizacji informacji dziedzicznej. Przypomnijmy podstawowe etapy tej drogi.

W 1928 roku angielski lekarz **Frederick Griffith** odkrył zjawisko transformacji bakteryjnej, czyli zdolności bakterii do pobierania z otoczenia jakiegoś „czynnika transformującego”, który zmienia dziedziczność.

W 1944 roku amerykański biochemik **Oswald Avery** zbadał chemiczne pochodzenie tego czynnika: okazał się nim DNA. Po raz pierwszy w historii nauki ta cząsteczka była powiązana z dziedzicznością!

W końcu lat 60. XX wieku odkryto endonukleazy **restrykcji** lub, w skrócie **restryktazy**, które potrafią przecinać cząsteczki DNA w miejscu wyznaczonym przez specyficzną sekwencję DNA (ryc. 61.1).

Prawie jednocześnie z odkryciem enzymów restrykcyjnych, w 1967 roku był odkryty jeszcze jeden kluczowy enzym – DNA-ligaza. **Ligaza** łączy poszczególne cząsteczki DNA ze sobą i obok enzymów restrykcyjnych jest szeroko wykorzystywana w biologii molekularnej i biotechnologii.

W 1970 roku **Howard Temin** i **David Baltimore** odkryli **odwrotną transkryptazę** – wirusowy enzym zdolny do syntezy DNA na matrycy RNA (przedtem sądzono, że to nie jest możliwe). Odkrycie Temina i Baltimore umożliwiło pracę nie tylko z genomem DNA organizmów, ale i bezpośrednio z ich RNA.

Rok 1972 jest rokiem powstania inżynierii genetycznej: w tym roku **Paul Berg** w Stanfordzie otrzymał pierwszą **rekombinacyjną** cząsteczkę DNA, czyli cząsteczkę utworzoną drogą wprowadzenia jednego fragmentu DNA do innego (ryc. 61.2). W 1980 roku Paul Berg za tę pracę otrzymał Nagrodę Nobla z chemii.

W 1978 roku technologia rekombinacyjnych DNA była po raz pierwszy zastosowana w praktyce: gen ludzkiej insuliny był przeniesiony do pałeczki okrężnicy, a już w 1982 roku firma **Genentech** wyprodukowała pierwszy komercyjny preparat rekombinacyjnego białka insuliny¹.

¹ Przypomnijmy, Insulina – to hormon o polipeptydowym pochodzeniu. On jest produkowany przez trzustkę i reguluje przemianę materii, a przede wszystkim koncentrację glukozy we krwi.

Brak insuliny prowadzi do ciężkiej choroby – cukrzycy, która uważana była za nieuleczalną do 1922 roku, w którym wynaleziono sposób oczyszczania insuliny z byczych trzustek. Do 1982 roku wydzielenie insuliny z tkanek zwierząt było jedynym sposobem jej otrzymania do leczenia chorych na cukrzycę. Dziś większość insuliny, która jest na rynku, produkuje się za pomocą inżynierii genetycznej.

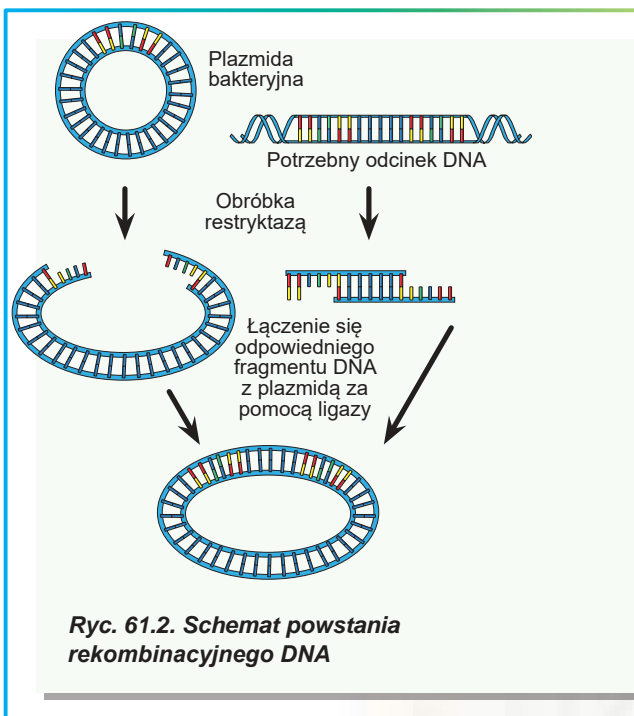
W 1987 roku Kary Mullis opracował metodę **łańcuchowej reakcji polimerazy (PCR)** – prosty sposób szybkiego otrzymywania dużej ilości kopii określonego odcinka DNA, o którym czytałeś w § 39. Kary Mullis w 1993 roku otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii za opracowanie metody PCR.

Rozwój technologii rekombinacyjnych DNA na tym się nie zatrzymał. Na razie **inżynieria genowa** (nazywana też **inżynierią genetyczną**), czyli całokształt metod ingerencji w materiał genetyczny organizmów, stała się najważniejszym instrumentem biotechnologii. Wykorzystując metody inżynierii genetycznej, produkuje się hormony rekombinacyjne, szczepionki, interferon, antybiotyki i inne produkty. Opracowano metody przenoszenia genów do komórek nie tylko bakterii, ale i wielokomórkowych organizmów – roślin i zwierząt. Z zagadnieniami dotyczącymi otrzymywania genetycznie zmodyfikowanych wielokomórkowych organizmów zapoznasz się w § 63, a teraz rozpatrzmy metody, które są wykorzystywane w pracy z bakteriami.

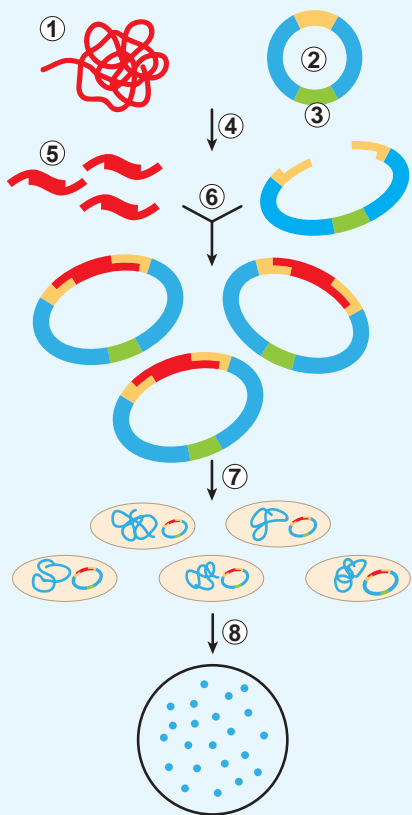
Inżynieria genetyczna pozwala wprowadzać geny z jednego organizmu do innego

Rozpatrzmy typową kolejność czynności na przykładzie stworzenia bakterii, która syntezuje jakies białko człowieka (właśnie takie podejście wykorzystuje się do produkcji insuliny rekombinacyjnej). W 70. i 80. latach XX wieku ta technologia spowodowała prawdziwą rewolucję; a obecnie ten proces jest tak wypracowany, że kwalifikowany biolog w dobrze wyposażonym laboratorium może stworzyć taką bakterię w ciągu niespełna tygodnia. Standardowa kolejność czynności dotycząca przenoszenia genu do komórki bakteryjnej ma kilka etapów (ryc. 61.3).

Pierwszym etapem jest otrzymanie odizolowanego genu docelowego. Wiesz już, że gen – to odcinek cząsteczki DNA odpowiedzialny najczęściej za syntezę jednego białka. Źródłem genu do pracy zazwyczaj służy DNA organizmu lub jego RNA. Wykorzystywanie RNA jest lepsze, bo on nie zawiera intronów – niekodowanych kolejności. Lecz praca z RNA włącza dodatkowy etap: na jego podstawie najpierw za pomocą enzymu odwrotnej transkryptazy syntetyzuje się



Ryc. 61.2. Schemat powstania rekombinacyjnego DNA



Ryc. 61.3. Schemat inżynierii genetycznej

Dzięki restryktazie wycina się potrzebny fragment z obcego DNA, a także przecina się plazmid. Otrzymane DNA łączy się za pomocą ligazy w celu otrzymania wektora do transformacji. Po transformacji nie wszystkie bakterie otrzymują plazmid z genem. Wysianie komórek bakteryjnych na podłoże z antybiotykiem pozwala wyselekcjonować komórki z wprowadzonym wektorem niosącym oporność na ten antybiotyk.

1. Obcy DNA. 2. Plazmid. 3. Gen oporności na antybiotyk. 4. Obróbka restryktazą. 5. Gen docelowy.
6. Wprowadzenie genu do plazmidu.
7. Transformacja. 8. Hodowanie transformowanych komórek.

tak zwany komplementarny DNA (cDNA). Oprócz naturalnych źródeł DNA można otrzymać sztucznie, za pomocą syntezy chemicznej. Wraz z rozwojem metod chemicznej syntezy kolejności DNA obecnie ten sposób staje się coraz bardziej popularny.

Przy użyciu DNA czy RNA z naturalnych źródeł powstaje problem: w każdej komórce jest dziesiątki tysięcy genów. Aby przenieść do bakterii tylko jeden z nich, należy najpierw otrzymać go w dogodnej do pracy formie. Do tego wykorzystuje się stosunkowo prosty i pewny sposób – łańcuchową reakcję polimerazy, która pozwala „namnożyć” potrzebny odcinek DNA, żeby otrzymać dużo jego kopii. Otrzymany fragment zawiera całą informację o sekwencji aminokwasowej białka, która nas ciekawi, lecz bezpośrednio przenieść go do bakterii nie wolno – on będzie w niej niezdolny do pracy, bo nie zawiera żadnych „instrukcji” dotyczących pracy z nim.

Aby on zadziałał w bakterii, potrzebny jest następny etap pracy – **wprowadzenie genu do bakteryjnego wektora**. Wektorem nazywa się cząsteczkę DNA, przeznaczoną do przeniesienia materiału genetycznego. Chociaż bakterie nie mają prawdziwego rozmnażania płciowego, ale istnieją specjalne mechanizmy wymiany niewielkiej części informacji dziedzicznej, zakodowanej w plazmidach – kolistych cząsteczkach DNA o długości kilku tysięcy par nukleotydów. Plazmidy, które istnieją w przyrodzie, zazwyczaj zawierają kilka pożytecznych genów, na przykład takich, które zapewniają oporność bakterii na antybiotyki. Wektory do przenoszenia materiału genetycznego zazwyczaj tworzą się właśnie na podstawie takich plazmid.

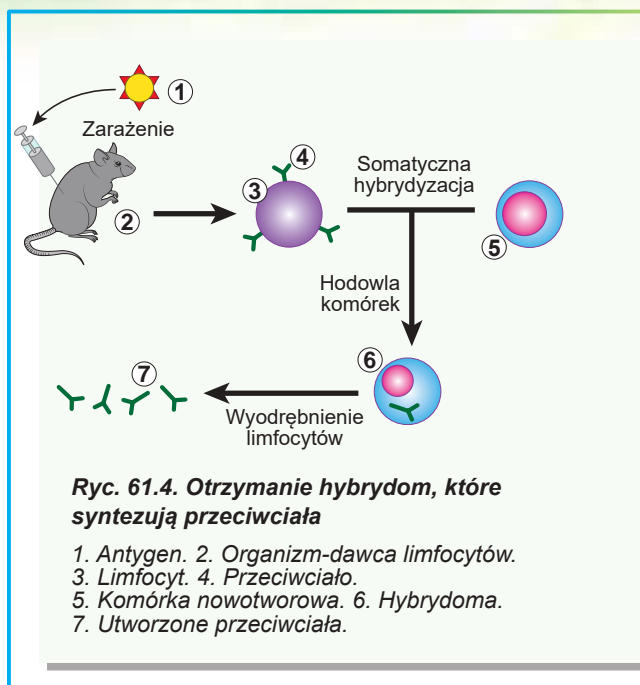
Żeby wprowadzić ludzki gen do bakteryjnego wektora, w wektorze najpierw robi się przecięcie za pomocą specjalnych enzymów – restryktaz, a następnie miesza się z DNA, który koduje białko człowieka (właśnie jego otrzymano na poprzednim etapie) i łączy się przecięcie za pomocą enzymu DNA-ligazy.

Trzeci etap – to **przeniesienie wektora do bakterii**. Ten proces opiera się na naturalnej właściwości bakterii pochłaniania niewielkich cząsteczek DNA i nazywa się **transformacją bakteryjną**. Najczęściej wykorzystuje się komórki pałeczki okrężnicy, ale do różnych celów mogą być wykorzystywane bakterie lub drożdże innych gatunków.

Następnie **oddziela się transformowane komórki**. Wektory zazwyczaj zawierają nie tylko regulujące kolejności DNA, które zmuszają bakterię do spełnienia transkrypcji wprowadzonych do wektora genów, lecz także geny-markery (na przykład geny oporności na antybiotyki), które pozwalają szybko oddzielić komórki, do których wektor został wprowadzony.

Każda taka komórka da początek dużej ilości komórek, z których każda również będzie zawierała wektor. Genetycznie identyczne potomstwo jednej komórki nazywa się **klonem**, a proces otrzymania dużej ilości identycznych cząsteczek DNA – **molekularnym klonowaniem**.

Otrzymana bakteria będzie produkowała ludzkie białko, które za pomocą nieskomplikowanych fizykochemicznych metod można łatwo oczyścić od domieszek i wykorzystać. Końcowym (i przy tym najbardziej pracochłonnym i najdroższym) etapem stworzenia dowolnego komercyjnego genetycznie modyfikowanego produktu jest sprawdzenie jego bezpieczeństwa dla zdrowia człowieka i otaczającego środowiska. Jeśli kwalifikowany biolog w sprzyjających okolicznościach może stworzyć transgeniczny mikroorganizm w ciągu kilku dni, to wypróbowania właściwości tego mikroorganizmu i sprawdzenie bezpieczeństwa w niektórych przypadkach trwają lata.



Dzięki inżynierii komórkowej można tworzyć nowe typy komórek

Prawie jednocześnie z inżynierią genetyczną zaczął rozwijać się nowy stosowany kierunek biotechnologii – inżynieria komórkowa. **Inżynieria komórkowa** – to całość metod otrzymania nowych typów komórek, ich hodowla i praktyczne zastosowanie. Metody hodowli komórek zwierząt poza organizmem były opracowane jeszcze na początku XX stulecia, lecz rozwój inżynierii komórkowej zapoczątkowały badania, przeprowadzone w 60. latach. Wtedy opracowano metody **somatycznej hybrydyzacji** – sztucznego zlania się somatycznych komórek i otrzymanie komórek zdolnych do życia, zdolnych praktycznie w nieskończoność tworzyć sobie podobnych. Metody hybrydyzacji somatycznej pozwalają otrzymywać hybrydowe komórki z komórek różnych typów albo nawet z komórek organizmów różnych gatunków biologicznych. Takie komórki nie tylko są ciekawe dla fundamentalnych badań biologicznych (na przykład za ich pomocą określono miejsce rozmieszczenia różnych genów na chromosomach człowieka), ale mają też ważne znaczenie praktyczne. Na przykład komórki hybrydowe, utworzone przez zlanie się limfocytów z komórkami guzów nowotworowych, potrafią produkować przeciwciała (jak to czynią limfocyty) i przy tym nieograniczenie długo dzielić się podczas hodowli (ryc. 61.4). Takie komórki nazywają się **hybrydomami**. One są głównym źródłem przemysłowej produkcji przeciwciał.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

1

Insulina należy do następującego rodzaju związków

A białka **B** lipidy **C** węglowodany **D** kwasy nukleinowe **E** związki nieorganiczne

- 2** Za pomocą restryktazy i ligazy można
A przecinać i łączyć cząsteczki DNA
B kopiować specyficzne kolejności DNA
C przenosić geny z jednego organizmu do innego
D dokonywać selekcji organizmów transgenicznych
E hamować działanie mutagenów
- 3** Najczęściej do eksperymentów w dziedzinie inżynierii genetycznej wykorzystuje się taki rodzaj mikroorganizmów, jak
A pałeczka okrężnicy **B** prątek gruźlicy **C** ameba
D drożdże **E** gronkowiec
- 4** Według cząsteczki RNA syntezuje się komplementarny względem niego DNA za pomocą takiego enzymu, jak
A polimeraza DNA **B** ligaza **C** restryktaza
D odwrotna transkryptaza **E** polimeraza RNA
- 5** Proces pochłaniania komórką bakteryjną cząsteczki DNA z otaczającego środowiska nazywa się
A transformacją **B** translacją **C** transkrypcją
D translokacją **E** transmutacją

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Opisz kolejność czynności klonowania genu białka zielonej fluorescencji z meduzy *Aequorea* w pałeczce okrężnicy.
- 7** Jakie naukowe odkrycia trzeba było dokonać, aby inżynieria genetyczna stała się rzeczywistością?
- 8** Jak powstanie technologii inżynierii genetycznej bakterii pomogło medycynie?
- 9** Jak na schemacie, który ukazany jest na rycinie 61.3, odbywa się oddzielenie kolonii, które zawierają gen docelowy?
- 10** Wyjaśnij metodę otrzymywania hybrydom. Jak wykorzystuje się hybrydomy?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Jakie są zalety metod inżynierii genetycznej w porównaniu z metodami klasycznej selekcji mikroorganizmów? Dlaczego, nie zważając na to, selekcja mikroorganizmów jest nadal zastosowywana?
- 12** Hybrydy jakich organizmów udało się otrzymać metodami hybrydyzacji somatycznej? Czy przydatne są te organizmy w nauce i w produkcji?
- 13** Jak za pomocą somatycznej hybrydyzacji udało się dowiedzieć, na jakich chromosomach człowieka znajduje się określony gen?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 14** Scharakteryzuj potencjalne biologiczne zagrożenia związane ze stworzeniem i wykorzystaniem genetycznie modyfikowanych bakterii.
- 15** Opowiedz o perspektywach zastosowania genetycznie modyfikowanych organizmów w różnych dziedzinach ludzkiej działalności.

§ 62. Rola biotechnologii w medycynie

Terapia genowa może ratować życie ludzi

Jeśli transgeniczne rośliny i zwierzęta pomyślnie są uzyskiwane już od kilku dziesięcioleci, to czy można zastosować metody inżynierii genetycznej w stosunku do człowieka? W rzeczywistości zasadniczych technicznych problemów na tej drodze nie istnieje. W tym paragrafie dokładniej zapoznamy się z osiągnięciami i problemami **terapii genowej** – dziedziny medycyny, która stosuje metody przenoszenia i modyfikacji genów do leczenia chorób człowieka.

Z § 39 już wiesz, że terapię genową można stosować do leczenia chorób dziedzicznych. Ta metoda może pomóc chorym na raka, w chorobach układu nerwowego¹ i chorobach zakaźnych. Obecnie metody terapii genowej są klinicznie wypróbowywane, wiele z nich zaprezentowało pozytywny wynik dla zdrowia pacjenta.

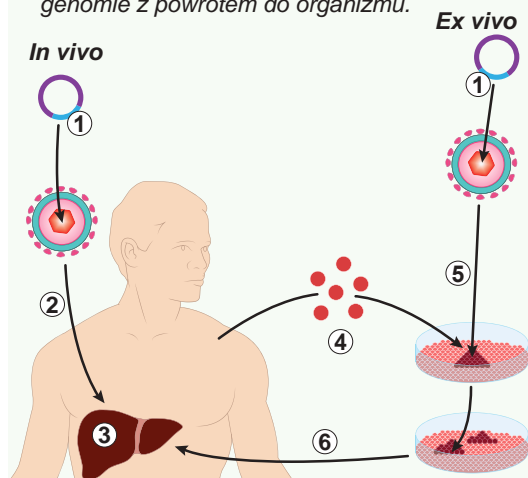
Głównym kierunkiem terapii genowej jest somatyczna terapia genowa – wprowadzenie „prawidłowej” kopii genu lub „usunięcie” jego mutacyjnej formy z komórek somatycznych. Takie modyfikacje nie są dziedziczne. Jest kilka różnych eksperymentalnych podejść do wprowadzenia DNA do komórek organizmu, lecz w praktyce największy sukces zdobyło, jak już wiesz, wprowadzanie za pomocą modyfikowanych wirusów. Wiadomo, że wirusy modyfikuje się tak, by całkowicie uniemożliwić ich rozmnażanie w komórkach pacjenta i pozbawić ich zdolności do zarażania innych komórek lub innych ludzi. Po zarażeniu komórek wirusy wprowadzają swój DNA, który niesie „lecniczy” gen, do DNA pacjenta. Wprowadzony gen jest odczytywany a następnie albo kompensuje istniejący genetyczny defekt, albo podwyższa zdolność komórek do opierania się patogennym wirusom, albo pozwala odpornościowym komórkom niszczyć komórki rakowe.

Najczęściej wpływowi terapii genowej poddawane są komórki pacjenta bezpośrednio – in vivo, czyli w żywym organizmie. A czasami komórki poddaje się terapii po ich wyizolowaniu ich z organizmu. Taką metodę nazywa się terapią ex vivo, czyli poza organizmem. Po genowej modyfikacji ex vivo „odremontowane” komórki „powracają” do pacjenta (ryc. 62.1).

Obecnie na świecie dozwolone jest zastosowanie mniej niż dziesięciu preparatów terapii genowej, lecz o wiele większa jest ilość klinicznie prowadzonych prób. Opracowywane są niewirusowe sposoby wprowadzania DNA i nowe metody modyfikacji genomu. Otrzymano budzące nadzieję wyniki leczenia poszczególnych form raka. Oczekuje się, że terapia genowa bę-

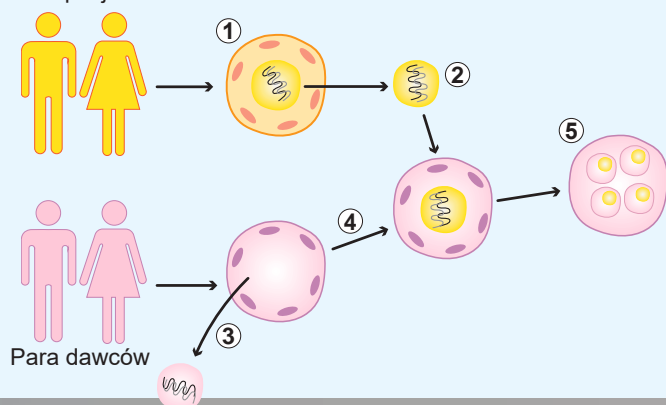
Ryc. 62.1. Dwa sposoby terapii genowej

1. „Gen leczniczy”.
2. Wprowadzenie wirusa do organizmu.
3. Chory narząd (na przykład wątroba).
4. Wyizolowanie komórek z organizmu.
5. Zarażenie wyizolowanych komórek wirusem z „lecniczym genem”.
6. Dostarczanie komórek o prawidłowym genomie z powrotem do organizmu.



1 Na przykład chorobach Alzheimera i Parkinsona, płaszczyca Huntingtona.

Para pacjentów



Ryc. 62.2. Metoda zamiany cytoplazmatycznej

1. Zygota pary pacjentów z uszkodzonymi mitochondriami.
2. Zdrowe jądro jest pobierane z uszkodzonej zygoty.
3. Jądro jest usuwane ze zdrowej zygoty.
4. Jądro pacjentów przenosi się do zygoty dawców o zdrowych mitochondriach.
5. Embryon pozbawiony chorób mitochondrialnych.

dzie mogła całkowicie zmienić podejście do leczenia niektórych schorzeń zakaźnych, spowolnić proces starzenia się organizmu, naprawić defekty genetyczne.

Jednak wraz z rozwojem terapii genowej wynikają nowe pytania natury etycznej. Jak daleko może zajść modyfikacja genomu człowieka? Czy nie doprowadzą sukcesy terapii genowej do pojawienia się „projektowanych dzieci” z lepszymi sportowymi lub intelektualnymi wskaźnikami? Czy nie pogorszy się pula genowa ludzkości i czy nie odrodzi się eugenika – nauka o jej domniemanym „ulepszaniu”? Ze względu na sukcesy współczesnej inżynierii genowej odpowiedzi na te pytania mogą przydać się już w najbliższym czasie.

Przeszczep (transplantacja) mitochondriów pomaga w chorobach mitochondrialnych

Do jednej z form terapii genowej można zaliczyć **przeszczep mitochondriów (metoda cytoplazmatycznej zamiany)** – niedawno opracowana metoda, która potrafi leczyć niektóre rodzaje niepłodności i zapobiegać rozwojowi u płodu chorób, związanych z defektem mitochondriów. Mitochondrie mają własny DNA, który koduje kilka białek, transportowych i rybosomalnych RNA. Mimo niewielkiego rozmiaru ten DNA jest niezbędny do normalnego funkcjonowania komórki i mutacje w nim prowadzą do poważnych, często letalnych zaburzeń rozwoju dziecka. Mitochondrialny DNA jest dziedziczony przez dziecko od matki (warunkując cytoplazmatyczną dziedziczność) i jeśli matka ma w nim mutacje, dziecko również urodzi się chore.

W ciężkich przypadkach jedyną skuteczną metodą rozwiązania tego problemu jest wykorzystanie zdrowych mitochondriów od dawcy do zastąpienia mitochondriów matki, które niosą mutacje w mitochondriach DNA. Już opracowano metody, które pozwalają przenosić jądro z komórki jajowej lub zygoty pacjentki do zdrowej komórki jajowej lub zygoty otrzymanej od kobiety-dawcy. Zygota, która zawiera chromosomowy materiał obu rodziców i mitochondrie od trzeciej kobiety, daje początek zdrowemu zarodkowi, który normalnie rozwija się w macicy kobiety-pacjentki. Schemat takiego procesu pokazano na rycinie 62.2.

W miejscu zygoty mogą być komórki jajowe, wtedy po przeniesieniu jądra przeprowadza się zapłodnienie sztuczne przez plemniki ojca.

Technologię przeszczepu mitochondriów w popularnej literaturze czasami nazywa się urodzeniem dziecka od trzech rodziców, lecz z takim określeniem nie zgadza

się większość fachowców pracujących w tej dziedzinie. Mitochondrialny DNA koduje tylko 13 białek człowieka z kilku dziesiątek tysięcy, które znajdują się w organizmie, czyli jego wkład w kształtowanie się fenotypu dziecka jest minimalny.

Ukraińska nauka nie stroni od zdobyczy światowych. Naszym lekarzom jako jednym z pierwszych na świecie udało się pomyślnie zrealizować przeszczep mitochondriów, dzięki czemu w styczniu 2017 roku w Kijowie urodziła się zdrowa dziewczynka.

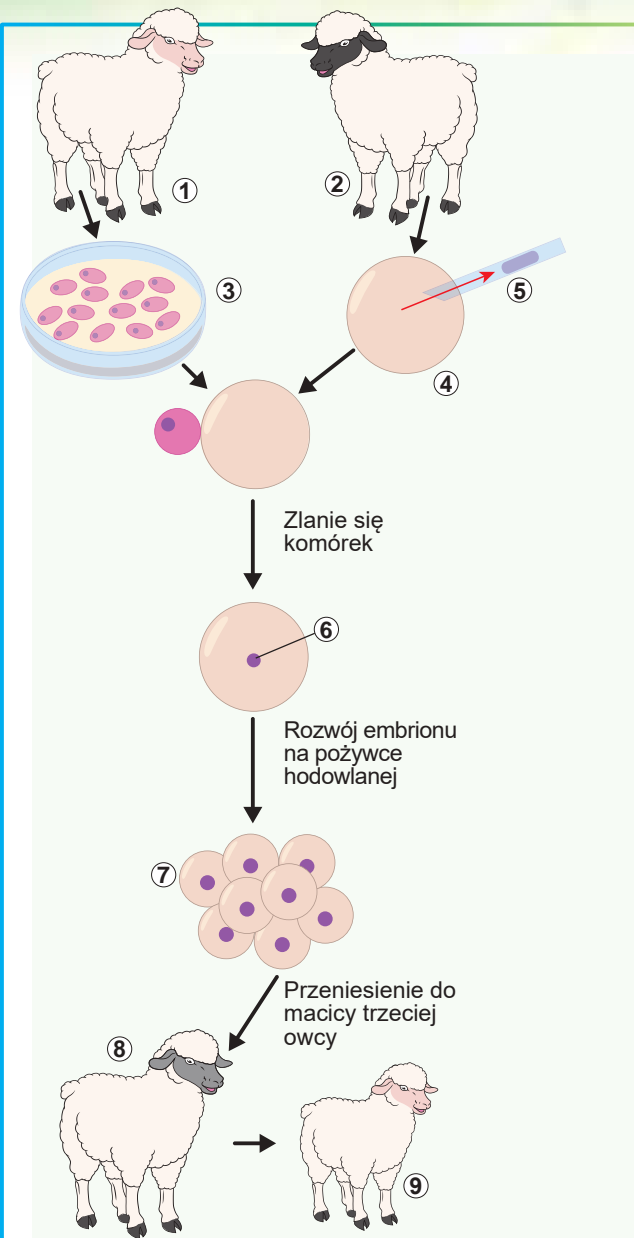
Klonowanie ssaków możliwe jest już dzisiaj

Klonowanie ssaków swego czasu stało się prawdziwą sensacją i było głośno omawiane w prasie. Słowo „klonowanie” oznacza otrzymywanie identycznych kopii – klonów – kogoś albo czegoś, w danym przypadku całego wielokomórkowego organizmu. Udana klonowanie żab zrealizowano w 60. i 70. latach XX wieku, lecz klonowanie ssaków okazało się o wiele trudniejszym zadaniem. Pierwszym sklonowanym w 1996 roku ssakiem była owca Dolly.

Zasada klonowania polega na zamianie haploidalnego jądra komórki jajowej diploidalnym jądrem komórki somatycznej (czyli prawie dowolnej komórki organizmu, oprócz płciowej). Otrzymany z takiej komórki organizm będzie genetycznie identyczny z tym organizmem, z którego wzięto komórkę somatyczną (ryc. 62.3).

Już opracowano technologie, które pozwalają klonowanie wielu zwierząt (myszy, świń, krów, kotów, psów i in.). Nie zważając na pewne sukcesy, klonowanie nie jest zwykłą rutynową procedurą: nie każdy embriion rozwija się w dorosłego osobnika, a otrzymane w taki sposób zwierzęta często posiadają patologie rozwoju. Na przykład klonowanie Dolly udało się po 277 nieudanych próbach, a ona nie przeżyła nawet 7 lat. Jednak technologie rozwijają się, dzięki czemu już rozpoczęto komercyjne klonowanie kotów i psów (ryc. 62.4).

W jakim celu w praktyce można stosować klonowanie? Przede wszystkim do odtwarzania zwierząt o unikalnych cenny



Ryc. 62.3. Schemat procedury klonowania owcy Dolly

1. Dawca somatycznej komórki. 2. Dawca komórki jajowej. 3. Hodowla komórek somatycznych. 4. Komórka jajowa z jajnika. 5. Usunięcie jądra komórki jajowej. 6. Jądro komórki somatycznej. 7. Wczesny embriion. 8. Matka zastępcza. 9. Owca Dolly genetycznie identyczna z dawcą komórki somatycznej.



Ryc. 62.4. Clone de diferite animale

właściwościach lub, w perspektywie, w celu odnowienia wymarłych gatunków zwierząt. Prócz tego eksperymenty z klonowaniem dają ważną informację naukową, na przykład o roli jądrowej i cytoplazmatycznej dziedziczności i ich współzależności.

Otóż klonowanie ssaków jest możliwe, aczkolwiek spotyka się z określonymi trudnościami technicznymi. A co z klonowaniem człowieka? Są dwa główne kierunki, w których może rozwijać się klonowanie człowieka. **Reprodukcyjne klonowanie** przewiduje pełny rozwój płodu i urodzenie sklonowanego człowieka. Przy **terapeutycznym klonowaniu** rozwój embriona zatrzymuje się we wczesnym stadium i otrzymane z niego komórki wykorzystuje się do leczenia. Reprodukcyjne klonowanie zabronione jest we wszystkich państwach świata, natomiast terapeutyczne klonowanie w niektórych państwach jest dozwolone (na przykład w Wielkiej Brytanii).

Klonowanie człowieka – to jedno z najbardziej omawianych zagadnień naukowych. Techniczne problemy w tej dziedzinie są związane przede wszystkim z niedoskonałością technologii, wysokim odsetkiem niepowodzeń i ryzykiem powstania zaburzeń rozwoju. Problemy natury etycznej powstają z powodu pojawienia się w trakcie klonowania dużej ilości nieudanych czy po prostu zbędnych zarodków, które są niszczone. Przy terapeutycznym klonowaniu niszczy się całkiem zdolnego do życia zarodka człowieka w celu otrzymania komórek. W związku z reprodukcyjnym klonowaniem powstają liczne prawne problemy dotyczące ojcostwa, dziedziczenia majątku itp. Często omawiane w prasie i literaturze popularnej zagadnienie „klonowania Hitlera” i innych postaci historycznych nie ma żadnego naukowego podłoża: przy klonowaniu nie odbywa się „przeniesienia świadomości” i klon psychologicznie nie będzie całkowicie identyczny ze swoim pierwowzorem. Jego raczej można rozpatrywać jako jednojajowego bliźniaka człowieka, czyli całkiem samodzielną osobowość posiadającą swój fenotyp i świadomość, które sformowały się w ciągu życia.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 W terapii genowej najbardziej rozpowszechniony jest sposób wprowadzenia DNA do komórek somatycznych pacjenta za pomocą
- | | | |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------|
| A modyfikowanych wirusów | B agrobakterii | C pałeczki okrężnicy |
| D mikrozastrzyku | E przeniesienia mitochondriów | |

- 2** Obecnie przeniesienie mitochondriów stosuje się w celu
A leczenia niektórych rodzajów niepłodności i do zapobiegania powstawaniu mitochondrialnych schorzeń u dziecka
B naprawy mutacji w jądrowym DNA
C zapobiegania urodzeniu dziecka z zespołem Downa
D zapobiegania przeniesieniu chorób mitochondrialnych w linii męskiej
E leczenia dorosłych pacjentów z zaburzeniami w mitochondrialnym DNA
- 3** Za dziedziczenie cytoplazmatyczne odpowiadają takie organelle komórkowe, jak
A jądro **B** retikulum endoplazmatyczne **C** zespół Golgiego
D mitochondria **E** lizosomy
- 4** Pierwszym sklonowanym ssakiem jest
A kot **B** pies **C** krowa **D** owca **E** koza
- 5** Klonowanie należy stosować, aby
A przywrócić do życia znanych ludzi
B stworzyć „zaplanowanych” dzieci
C zachować psów o unikalnym węchu
D zwiększyć udój mleka
E przeszczepiać mitochondrie

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Jak inżynieria genetyczna może pomóc w zapobieganiu chorobom dziedzicznym człowieka i leczyć je? Jakie etyczne problemy przy tym wynikają?
- 7** Jaki sposób terapii genowej należy wykorzystywać do leczenia schorzenia genetycznego związanego z pracą nie jednej, lecz kilku różnych tkanek?
- 8** Na czym polega różnica między klonowaniem reprodukcyjnym i terapeutycznym?
- 9** Jakie techniczne, etyczne i prawne problemy wynikają w związku z możliwym klonowaniem człowieka?
- 10** Czy jest sens klonowania wybitnych uczonych przeszłości w celu dokonania odkryć we współczesnej nauce?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 11** Przeważnie terapię genową *ex vivo* stosuje się do komórek macierzystych. Czym to się tłumaczy?
- 12** Podaj charakterystykę technologii klonowania owcy Dolly. Dlaczego ona tak krótko żyła?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 13** Jak metody klonowania mogą pomóc odnowić wymarłych zwierząt? Jakie sukcesy osiągnięto i jakie wynikają problemy?
- 14** W leczeniu jakich schorzeń terapia genowa osiągnęła największe sukcesy?

§ 63. GMO



Ryc. 63.1. Różne rodzaje GloFish

Co to jest GMO?

GMO są to pierwsze litery słów „genetycznie modyfikowany organizm”. To znaczy, że do jego informacji dziedzicznej sztucznie wprowadzono zmiany w celu uzyskania nowych korzystnych cech. Najczęściej jest to osiągane drogą przenoszenia genów z organizmu jednego gatunku do innego; tak otrzymany genetycznie zmodyfikowany organizm nazywa się jeszcze organizmem **transgenicznym**.

Rozpatrzmy dokładniej historię i współczesne osiągnięcia w tworzeniu genetycznie modyfikowanych organizmów.

- Pierwszy genetycznie zmodyfikowany wielokomórkowy organizm – mysz transgeniczna – pojawił się na świat w 1974 roku, czyli po dwóch latach od powstania pierwszej rekombinacyjnej cząsteczki DNA i rok po pojawieniu się pierwszej genetycznie zmodyfikowanej bakterii.
- W 1983 roku stworzono pierwszą transgeniczną roślinę – tytoń, który zawierał gen oporności na antybiotyk.
- W 1992 roku odporny na wirusy tytoń, wyhodowany w Chinach, stał się pierwszą komercyjną rośliną transgeniczną.
- W 1994 roku na rynku pojawił się pierwszy genetycznie zmodyfikowany produkt spożywczy – pomidor odmiany Flavr Savr, którego owoc dłużej zachowuje świeżość i wolniej się psuje.
- W 2003 roku stworzono rybkę akwariową GloFish (ryc. 63.1), której ciało wykazuje właściwości fluorescencyjne. Ona stała się pierwszym genetycznie zmodyfikowanym zwierzęciem domowym.
- W 2015 roku zezwolono na przemysłową hodowlę i spożywanie genetycznie zmodyfikowanego łososia o przyspieszonym tempie wzrostu – AquAdvantage. Łosoś będzie wykorzystywany tylko w hodowli i nie będzie wypuszczany do środowiska naturalnego. On osiągnie odpowiednie rozmiary dwukrotnie szybciej niż jego zwykli krewni (ryc. 63.2).

W tworzeniu transgenicznych zwierząt i roślin stosowane są te same podejścia, co i podczas pracy z mikroorganizmami. Podstawowe etapy ich modyfikacji są następujące: otrzymanie odizolowanego genu docelowego, wprowadzanie genu do wektora, przenoszenie wektora do komórek modyfikowanego organizmu i



Ryc. 63.2. Łosoś zwykły (mniejszy) i łosoś AquAdvantage (większy) w tym samym wieku

oddzielenie zmodyfikowanych organizmów, sprawdzanie ich bezpieczeństwa. Zasadniczo różni się tylko metoda przenoszenia wektora, ponieważ zwierzęta i rośliny nie posiadają naturalnego procesu, który zapewniłby pochłanianie DNK z otaczającego środowiska. Należy też uwzględniać cechy rozwoju organizmów wielokomórkowych.

Po roślinach strzela się z armatki genowej

Do przenoszenia genów do komórek roślin wykorzystuje się **agrobakterię**, która potrafi zarażać komórki roślin i przy tym przenosić do nich materiał genetyczny. Dla niektórych roślin (na przykład kukurydzy i pszenicy) ten sposób jest nieprzydatny. W tym przypadku wykorzystuje się transformację za pomocą **armatki genowej** (ryc. 63.3), która dosłownie strzela nanocząsteczkami z przymocowanym do nich DNA.

Innymi sposobami transformacji komórek roślinnych są: **mikroiniekcja** DNA za pomocą cienkiej szklanej igły i **elektroporacja**, czyli wprowadzenie DNA do komórki dzięki zastosowaniu pola elektrycznego o wysokim napięciu.

Obecnie transgenicznymi roślinami obsadzono ponad 10% pól uprawnych. Ogólnie w gospodarce rolnej dozwolone jest wykorzystywanie ponad 30 gatunków genetycznie zmodyfikowanych roślin. Większość modyfikacji jest skierowana na podwyższenie odporności roślin na szkodniki lub nadanie odporności na działanie herbicydów. Oprócz tego są modyfikacje, które przedłużają termin przechowywania produktów (pomidory), zmieniają kolor roślin dekoracyjnych (goździki, róże), nadają odporności na suszę (kukurydza, trzcina cukrowa) podwyższają zawartość pożytecznych substancji (rzepak, soja) lub obniżają zawartość szkodliwych (tytoń). Wykorzystanie GMO pozwoliło zmniejszyć stosowanie pestycydów prawie o 40% i jednocześnie zwiększyć urodzajność o 20%. Jednak hodowla zmodyfikowanych roślin dotychczas napotyka na poważny opór.

W 2000 roku opracowano tak zwany **złoty ryż** (ryc. 63.4), który zawiera, w odróżnieniu od zwyczajnego ryżu, duże ilości beta-karotenu, czyli prowitaminę A.

Znaczenie tego produktu, zwłaszcza dla biednych warstw ludności Afryki i Azji, trudno jest przecenić: na świecie co najmniej 250 mln osób cierpi z powodu braku witaminy A. Co roku z powodu hipowitaminozy ginie około 2 mln osób i co najmniej 250 tysięcy dzieci na zawsze traci wzrok. Hodowla złotego ryżu mogłaby raz na zawsze rozwiązać ten pro-

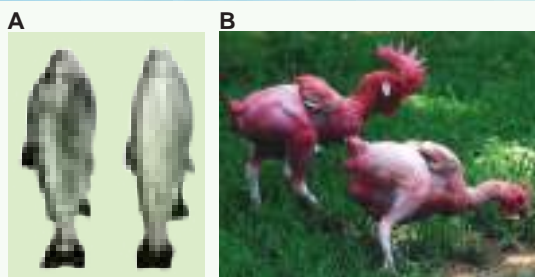


Ryc. 63.3. Transformacja komórek rośliny za pomocą armatki genowej



Ryc. 63.4. Ziarna ryżu zwykłego i złotego

Żółty kolor ziaren złotego ryżu uwarunkowany jest zawartością dużej ilości beta-karotenu.



Ryc. 63.5. Genetycznie zmodyfikowane zwierzęta

A. Genetycznie zmodyfikowany pstrąg tęczowy (z lewej strony) ma większą masę mięśniową niż zwykły (z prawej strony).

B. Hodowla kur bez piór jest bardziej ekonomiczna; po przeróbce jest mniej odchodów.

blem. Ale jeszcze nie rozpoczęto jego wykorzystania w celach komercyjnych przede wszystkim z powodu silnego (i nie całkiem zrozumiałego) sprzeciwu organizacji ochrony przyrody. W 2016 roku 107 uczonych – laureatów Nagrody Nobla – podpisało list wzywający organizację ochrony przyrody „Greenpeace” oraz Organizację Narodów Zjednoczonych i rządy wszystkich państw świata do zaprzestania walki przeciwko GMO, a w szczególności przeciwko genetycznie zmodyfikowanemu ryżowi. List kończy się pytaniem retorycznym: ilu jeszcze ludzi na świecie musi umrzeć, zanim walka z GMO będzie uznana za zbrodnię przeciwko ludzkości?

Genetycznie zmodyfikowane zwierzęta pomagają w rozwiązaniu szeregu problemów

Metody tworzenia genetycznie modyfikowanych zwierząt też są dobrze wypracowane, ich szeroko wykorzystuje się w badaniach naukowych (ryc. 63.5). W celu otrzymania takich zwierząt genetycznej modyfikacji poddaje się zygotę albo komórki embrionu we wczesnym stadium rozwoju. To czynią, na przykład, dla stworzenia eksperymentalnych laboratoryjnych zwierząt, które służą modelowymi organizmami do badań chorób człowieka.

Innym perspektywnym kierunkiem zastosowania transgenicznych zwierząt jest produkcja rozmaitych medycznych preparatów – przeciwciał, czynników krzepnięcia krwi i innych białek. Szczególnie ciekawą decyzją jest synteza obcych białek w komórkach gruczołu mlekowego. W ten sposób można produkować i wyprowadzać z organizmu znaczne ilości tych preparatów wraz z mlekiem, czyli bez szkody dla zwierzęcia. Nie zważając na obecność wypracowanych technologii, genetycznie zmodyfikowane zwierzęta w gospodarstwie rolnym nie są na razie szeroko wykorzystywane (oprócz wspomnianych już łososi AquAdvantage).

GMO: za i przeciw

Polemika dotycząca możliwości spożywania żywności genetycznie zmodyfikowanej trwa już niejedno dziesięciolecie od momentu stworzenia pierwszych transgenicznych organizmów. Nie zważając na oczywiste zalety, które daje ich wykorzystywanie i brak jakichkolwiek danych naukowych o potencjalnej szkodzie GMO, zastosowaniu ich w wiejskim gospodarstwie napotyka na duży opór.

Oto kilka argumentów, które podają przeciwnicy GMO.

- 1. Genetycznie zmodyfikowane organizmy są szkodliwe dla zdrowia.** W rzeczywistości tak nie jest: rzetelne badania prowadzone w ciągu dziesięcioleci nie wykazały żadnego realnego zagrożenia dla zdrowia, związanego z transgenicznymi organizmami. To wcale nie oznacza, że one są bezpieczne w każdym przypadku: jeśli wbudujemy do genomu ziemiaka gen toksyny cholery, to taki ziem-

niak korzyści zdrowiu nie przyniesie. Aby zapobiec podobnym ryzykom, każdy organizm transgeniczny jest dokładnie sprawdzany, podobnie jak sprawdzane są preparaty medyczne. Dzięki temu GMO są nawet bardziej bezpieczne niż organizmy, które były otrzymane drogą klasycznej selekcji, ponieważ ostatnie nie są sprawdzane na obecność substancji szkodliwych¹.

2. *Geny z GMO mogą przenosić się do komórek człowieka, warunkując mutacje i rak.* To nie jest prawda, ponieważ po przeniesieniu genu do transgenicznego organizmu ten gen już niczym nie różni się od reszty DNA i nie może samodzielnie przenieść się do genomu człowieka. Gdyby geny mogły samodzielnie przemieszczać się, to zagrożeniem byłyby wszystkie organizmy, które my spożywamy.
3. *GMO są zagrożeniem dla różnorodności biologicznej i szkodliwe dla środowiska przyrodniczego.* Zagrożają różnorodności biologicznej wszystkie rodzaje gospodarki rolnej. GMO w tym sensie nie są tak szkodliwe, ponieważ dzięki ich wyższej wydajności można zmniejszać terytoria, przeznaczone pod zasiew i tym samym zachowywać więcej przyrodniczych ekosystemów. Odporne na szkodniki GMO pozwalają zmniejszyć stosowanie pestycydów i w ten sposób zmniejszyć chemiczne obciążenie otaczającego środowiska. Teoretycznie przenoszenie genów oporności do „dzikich” gatunków jest możliwe, lecz jego prawdopodobieństwo jest bardzo małe.

Jak ustosunkowywać się do GMO i czy spożywać je, każdy powinien zdecydować samodzielnie, lecz ta decyzja powinna być argumentowana i dobrze przemyślana. Niestety, większość argumentów przeciwników inżynierii genetycznej świadczy raczej o ich niewiedzy biologicznej niż o realnej trosce o nasze zdrowie.

Zastanów się

Wybierz jedną poprawną odpowiedź

- 1 Organizm transgeniczny – to organizm
 - A który uległ mutacji w wyniku naturalnych przyczyn lub ukierunkowanej modyfikacji przez człowieka
 - B do którego za pomocą metod inżynierii genetycznej sztucznie wprowadzono gen z organizmu innego gatunku
 - C który powstał w wyniku krzyżowania się z organizmem innego gatunku
 - D który dłuższy czas przebywał w kontakcie z transgenami
 - E który powstał w wyniku operacji zmiany płci
- 2 Zaletą złotego ryżu w porównaniu z ryżem zwykłym jest to, że złoty ryż
 - A zawiera mniej substancji toksycznych
 - B jest odporny na choroby i szkodniki
 - C można go hodować w regionach o bardziej suchym i chłodnym klimacie
 - D zawiera znaczne ilości beta-karotenu
 - E zawiera większą ilość złota
- 3 Dla komórek roślinnych zazwyczaj nie zastosowuje się takiego sposobu, jak
 - A transformacja za pomocą agrobakterii
 - B transformacja za pomocą armatki genowej
 - C wprowadzenie DNA za pomocą mikroiniekcji
 - D elektroporacja
 - E moczenie rośliny w roztworze DNA

1 Na przykład selekcyonerzy przypadkowo wyhodowali odmiany ziemniaka, które zawierały substancję trującą, solaninę, w znacznych ilościach.

- 4** Dozwolona jest hodowla do celów spożywczych
- A** świriń o podwyższonej zawartości witaminy A
 - B** łososia AquaAdvantage o przyśpieszonym tempie wzrostu
 - C** rybki GloFish o zielonym białku fluoryzującym
 - D** sklonowanej owcy Dolly
 - E** gryzoni chorych na cukrzycę
- 5** Poprawne stwierdzenie dotyczące GMO brzmi:
- A** pierwszy transgeniczny organizm wielokomórkowy stworzono w 1974 roku
 - B** pierwszą genetycznie zmodyfikowaną rośliną uprawną jest pszenica
 - C** obecnie nie ma metod, które umożliwiają otrzymywanie genetycznie zmodyfikowanych ssaków
 - D** hodowla genetycznie zmodyfikowanych roślin dozwolona jest tylko w USA i Japonii
 - E** większość fachowców-biologów nie popiera zastosowania GMO w rolnictwie

Sformułuj odpowiedź w postaci kilku zdań

- 6** Jakie wady i zalety mają metody inżynierii genetycznej w porównaniu z metodami tradycyjnej selekcji?
- 7** Czy wszystkie GMO są organizmami transgenicznymi? I czy wszystkie organizmy transgeniczne – to GMO?
- 8** Przeczytaj w gazecie fragment wymyślnego artykułu i wskaż autorowi na błędy i niedokładności w tekście: „Kod genetyczny GMO różni się od kodu genetycznego normalnych organizmów tym, że GMO zawierają geny, które są poważnym zagrożeniem dla zdrowia człowieka. Liczne badania uczonych wykazały, że spożywanie GMO powoduje raka, HIV i krowią wściekliznę, jednak, nie patrząc na to, GMO są aktywnie hodowane i sprzedawane na Ukrainie. Natomiast w innych państwach cywilizowanych produkcja i rozpowszechnianie GMO jest zabronione i ścigane prawem! Na szczęście czołowi biologowie świata prowadzą nieprzejednaną walkę o świat bez GMO”.
- 9** Jakie pozytywne zmiany w rolnictwie i życiu codziennym ludzi może wnieść wykorzystanie GMO?

Znajdź odpowiedź i postaraj się zrozumieć istotę problemu

- 10** W jakich badaniach naukowych i po co wykorzystuje się zwierzęta z usuniętymi i nie zdolnymi do pracy genami – genami nokautowymi?
- 11** Rozpowszechnioną modyfikacją organizmów jest wbudowywanie do ich genu zielonego białka fluoryzującego. Jakie znaczenie ma ta modyfikacja i jak są wykorzystywane takie organizmy?

Dowiedz się samodzielnie i opowiedz innym

- 12** Jakie jednak zagrożenia niesie ze sobą wykorzystywanie GMO? Zanalizuj podstawowe argumenty przeciwników tej technologii.
- 13** Porównaj cele wykorzystania modyfikacji genetycznej roślin i zwierząt. Jakie spośród nich są unikalne dla zwierząt, a jakie – dla roślin?

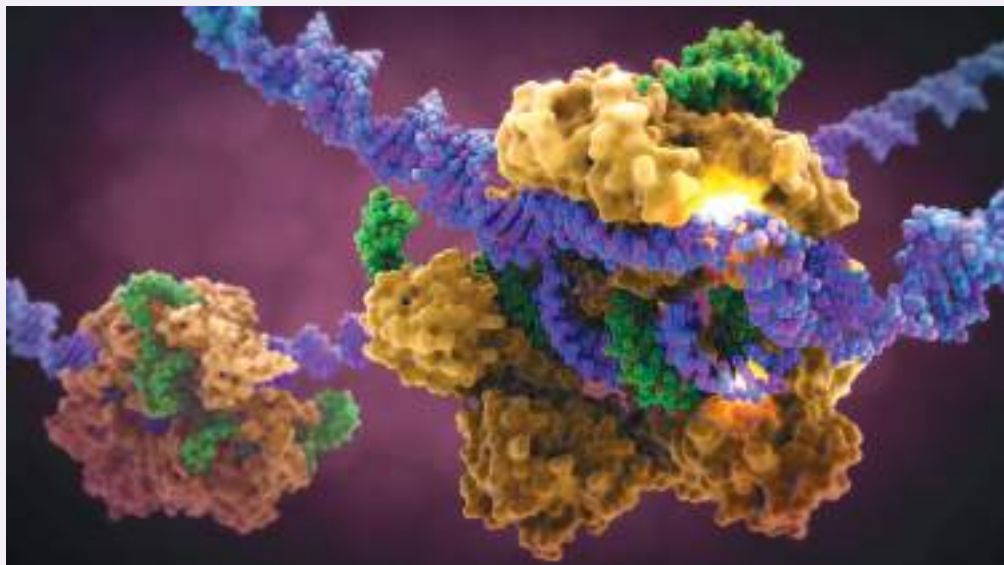
§ 64. Właściwości układów żywych

Co to jest życie?

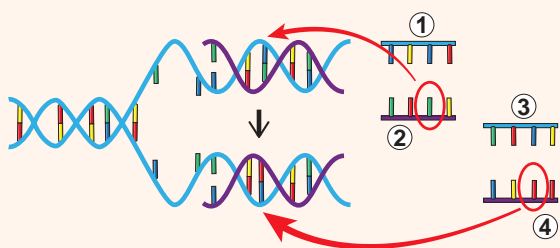
W ciągu tego roku szkolnego poznawaliśmy różne aspekty istnienia żywych organizmów: molekularne i komórkowe podstawy czynności życiowych, prawa dziedziczności i ich zastosowanie w praktyce, współdziałanie organizmów ze sobą i otaczającym środowiskiem. A więc co to jest życie? Chociaż potrafimy intuicyjnie odróżnić to, co jest żywe od nieżywego, jednak podać dokładną definicję „życia” jest bardzo trudno, praktycznie niemożliwie. Próby odpowiedzi na pytanie, co to jest życie, były niejednokrotnie podejmowane. Istnieje ponad sto definicji życia, króre swego czasu zaproponowali przedstawiciele różnych dziedzin nauki, biorąc za podstawę różne jego aspekty.

Jedną z najbardziej znanych definicji życia podał Fryderyk Engels, który twierdził, że „życie – to sposób istnienia ciał białkowych, którego istotnym momentem jest stała wymiana substancji ze środowiskiem przyrodniczym, przy czym wraz z zaprzestaniem tej wymiany substancji życie ustaje, co prowadzi do rozpadu białka”. Ta definicja, która w swoim czasie była bardzo progresywna, nie może oczywiście być uważana za wystarczająco dokładną w świetle współczesnej wiedzy. Na przykład ona nie uwzględnia fundamentalnej roli innych, oprócz białek, biocząsteczek i nie rozpatruje zjawiska dziedziczności.

Innym, bardziej współczesnym określeniem życia jest zaproponowane przez biofizyka Mychajła Wolkensztejna stwierdzenie: „Żywe ciała, które istnieją na Ziemi, są otwartymi układami, które się samoregulują, samoodtwarżają i są zbudowane z polimerów – białek i kwasów nukleinowych” (ryc. 64.1). To określenie jest bardziej doskonałe w porównaniu z określeniem Engelsa, ponieważ uwzględnia niektóre fundamentalne



Ryc. 64.1. Odtwarzanie cząsteczki RNA (zielonym kolorem) na matrycy DNA (niebieskim kolorem) za pomocą białka (żółtym kolorem) w procesie transkrypcji



Ryc. 64.2. Mutacja podczas replikacji jest przykładem „samoodtworzenia z wariacjami”

1. Łańcuch wyjściowy. 2. Prawidłowa kopia.
3. Łańcuch wyjściowy. 4. Kopia mutantów.

właściwości tego, co jest żywe (samoregulację, samoodtworzenie) i wskazuje na rolę kwasów nukleinowych. Jednak ono jest niedokładne i uogólnione, ponieważ uwzględnia nie wszystkie właściwości żywych organizmów i nie rozpatruje form życia, które nie zawierają białek.

Oto jeszcze kilka przykładów definicji, podanych przez różnych uczonych w różnych epokach.

Filozof starożytnej Grecji Arystoteles stwierdzał, że życie – to „odżywianie się, wzrastanie i starzenie się organizmu”.

Grupa francuskich myślicieli oświeceniowych, która pracowała w końcu XVIII wieku nad „Słownikiem rozumowanym nauk, sztuk

i rzemiosł”, zdefiniowała życie jako „stan, który jest przeciwstawny śmierci”. A francuski uczyony Marie François Bichat pisał, że życie – to „całością funkcji, które czynią opór śmierci”.

Francuski chemik Antoine Lavoisier nazywał życie „funkcją chemiczną”.

Znany biolog Borys Miednikow stwierdzał, że „życie – to aktywna właściwość żywej materii, której towarzyszy strata energii na podtrzymanie i odtworzenie specyficznej struktury”.

Z punktu widzenia biofizyki, życie – to proces lub układ, których rozwój skierowany jest na zmniejszenie własnej entropii kosztem podwyższenia entropii otaczającego środowiska. Entropia – to stopień nieuporządkowania układu. Czyli, podtrzymując porządek wewnątrz siebie, żywe układy czynią bezład w otaczającym środowisku. Zwróć uwagę na tę definicję – wrócimy do niej jeszcze raz, kiedy będziemy omawiać właściwości żywych organizmów.

Na podstawie analizy wszystkich istniejących definicji życia biofizyk Edward Trifonow niedawno zaproponował „minimalną” definicję: „Życie – to samoodtworzenie z wariacjami” (ryc. 64.2). Ta definicja skupia się na dwóch fundamentalnych aspektach tego, co jest żywe – dziedziczności i zmienności, lecz nie uwzględnia reszty.

Bardzo bliska do niej jest oficjalna definicja życia, którą posługuje się Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej USA (NASA) do poszukiwania pozaziemskiego życia: „Życie – to samoorganizujący się układ chemiczny zdolny do ewolucji”.

Można jeszcze podawać przykłady definicji życia, lecz czy ma to sens? Jak myślisz, dlaczego tak trudno podać definicję takiego „powszedniego” zjawiska? Być może dlatego, że zjawisko życia jest wielopoziomowe, przejawia się na szerokiej skali – od cząsteczek do biosfery: przypomnij sobie, w § 1 opowiadaliśmy o różnych poziomach organizacji życia. Pojęcie „żywe organizmy” włącza zaledwie jeden poziom organizacji żywej materii – organizmowy. Próbuąc zdefiniować życie poprzez właściwości żywych organizmów, nie uwzględniamy reszty poziomów jego organizacji; próbując zdefiniować życie jako globalne zjawisko – nie zważamy na właściwości poszczególnych organizmów żywych. Spróbujmy podejść do problemu od innej strony: określić wspólne właściwości wszystkich istot żywych, żeby poprzez opis tych właściwości zbliżyć się do rozumienia fenomenu życia.

Cechy organizmów żywych są wielostronne

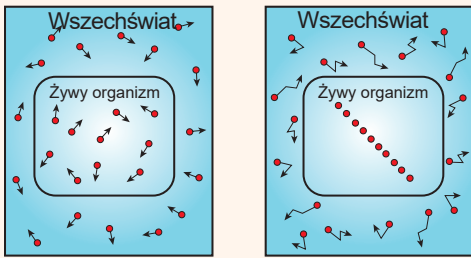
Wyjaśniliśmy, że pojęcie „życie” i „żywa materia” wskazują na różne poziomy organizacji tego samego zjawiska, dlatego podać wyczerpującą definicję życia praktycznie jest niemożliwie. Być może lepiej podać definicję „żywej materii”, która by jednoznacznie odróżniała ją od „nieżywej”? Spróbuj zrobić to samodzielnie i przekonasz się, że zamiast podejmowania prób dokładnego zdefinicjowania, stosowniej będzie wyjaśnić jakieś wspólne właściwości żywych organizmów, które odróżniają ich od obiektów nieżywej przyrody. Wiele tych właściwości możesz nazwać sam. Na przykład wszyscy wiemy, że żywe organizmy poruszają się, odżywiają, rozmnażają i rosną. To bardzo ważne cechy tego, co jest żywe, jednak nie warto zapominać, że na przykład niektóre dorosłe motyle w ogóle nie odżywiają się i nie rosną, a muły nie są zdolne do rozmnażania.

Wzbogaciwszy się tegoroczną wiedzą, możemy dodać do listy właściwości tego, co jest żywe, jeszcze takie cechy: jedność składu chemicznego, obecność przemiany materii, skomplikowana budowa mikroskopowa, struktura komórkowa, obecność mechanizmów dziedziczności i zmienności, zdolność do ewolucji. Te właściwości są bardziej uniwersalne, niż wymienione wyżej, lecz za mało konkretne: wiele sztucznych obiektów nieżywej przyrody (na przykład komputer czy samochód) zużywają energię i mają skomplikowaną strukturę, są zmienne i „ewoluują” (ryc. 64.3).

Bardziej wysokie uporządkowanie żywych organizmów w porównaniu z przyrodą nieożywioną i zdolność do podwyższania własnego uporządkowania wskutek podwyższenia stopnia nieuporządkowania (entropii) w środowisku naturalnym – to jedna z najważniejszych właściwości żywej materii z punktu widzenia fizyki. Rzeczywiście, żaden nieżywy obiekt nie jest zdolny do samodzielnego podwyższania swego uporządkowania i komplikowania się, jednak potrafią to robić wszystkie żywe organizmy. Według drugiego prawa termodynamiki entropia we Wszechświecie może się tylko zwiększać. Żywe organizmy nie są zdolne do naruszenia tego prawa, lecz mogą zniżyć entropię lokalnie – wewnątrz siebie, zużywając na to energię i przy tym zwiększając entropię globalnie – w reszcie Wszechświata. Organizmy syntetyzują skomplikowane cząsteczki i stwarzają skompli-



Ryc. 64.3. Ewolucja słoń i samochodów BMW



Ryc. 64.4. Zmiana entropii przez organizmy żywe

Zmniejszając entropię wewnątrz siebie, organizmy zwiększają ją we Wszechświecie.

kowane mikro i makrostruktury, zmniejszając nieuporządkowanie. Lecz przy tym rozszczepiają skomplikowane cząsteczki na bardziej proste, zmieniają skład chemiczny i temperaturę środowiska dookoła siebie – wszystko to prowadzi do wzrostu nieuporządkowania poza organizmami (ryc. 64.4).

Skutkiem zdolności do podtrzymywania i podwyższania swego uporządkowania jest zdolność wszystkich organizmów do samoregulacji i samoodnowienia.

Każda wymieniona cecha nie potrafi sama całkowicie scharakteryzować wszystkie żywe organizmy i wcale nie wszystkie żywe istoty posiadają pełny komplet wymienionych cech. Każda cecha żywego organizmu przejawia się ddzielnie również w przy-

rodzie nieożywionej. Jednak opis życia poprzez cechy charakterystyczne organizmów żywych – to najlepsza dziś odpowiedź na pytanie, co to jest życie.

Zamiast postłowia

Mamy nadzieję, że po opanowaniu wiedzy z biologii w 9. klasie to skomplikowane, wielostronne i niezmiernie cenne pojęcie – życie – stało się dla ciebie bardziej zrozumiałe i bliskie. Czytając paragrafy, rozpatrując ilustracje i wykonując zadania, z każdą przewertowaną kartką stawałeś się coraz mądrzejszy i lepszy. Spodziewamy się, że porównawszy siebie na początku roku i teraz, zauważysz te znaczące różnice! Dobrze, jeśli spodobało ci się podróżowanie stronicami tego podręcznika i jeszcze lepiej – jeśli polubiłeś biologię, bo jak powiedział W. Goethe, „nauczyć się można tylko tego, co lubisz!”

Projekt na lato dla wolnego od odpoczynku czasu

„Życie”

1. Zastanów się nad znaczeniem układów żywych dla istnienia naszej planety i w twoim życiu. Jaka byłaby Ziemia i jak byśmy istnieli bez nich?
2. Swoje rozmyślenia zapisz w postaci prozatorskiego utworu literackiego lub wierszy, namaluj obraz, nakręć krótki film, napisz piosenkę, wykonaj prezentację lub fotokolaż – pracuj w tym formacie, który ci się najbardziej podoba.
3. Zaprezentuj swoją pracę kolegom i rodzinie, podziel się nią w sieci i obowiązkowo zaprezentuj kolegom z klasy w następnym roku szkolnym!

Praktikum laboratoryjne

Właściwości enzymów

Cel: zbadać wpływ różnych czynników na pracę enzymów.

Przyrządy: statywy dla probówek, pięć probówek, zakraplacze miarowe, naczynie z wrzątkiem, naczynie z lodem, woda, świeżo przygotowany 0,1% roztwór krochmalu, 9% roztwór kwasu octowego (ocet stołowy), 5% alkoholowy roztwór jodu (jodyna).

Przebieg pracy

1. Wypłucz jamę ustną kilka razy czystą wodą. Do probówki zbierz około 1 ml śliny i dodaj 9 ml wody.
2. Do każdej z czterech ponumerowanych probówek dodaj po 1 ml roztworu śliny, odpowiedni reagent i po dokładnym przemieszaniu postaw w miejscu o odpowiedniej temperaturze, wskazanej w tabeli.

№ probówki	Reagent	Temperatura, °C
1	—	pokojowa
2	1 ml 9% kwasu octowego	pokojowa
3	—	0
4	—	100

3. Po 5 minutach do każdej probówki dodaj po 1 ml 0,1% roztworu krochmalu i pozostaw w tej samej temperaturze.
4. Po następnych 5 minutach wyciągnij probówki z lodu i wrzątku i czekaj, dopóki ich zawartość będzie miała temperaturę pokojową. Następnie dodaj kilka kropeł 5% roztworu jodu. W obecności krochmalu w probówce pojawi się niebiesko-fioletowe zabarwienie.
5. Zanalizuj, przy jakich warunkach enzym śliny amilaza rozszczylił krochmal i nie obserwuje się odpowiedniego zabarwienia, a przy jakich warunkach enzym nie jest aktywny. Wyjaśnij obserwowane zjawiska. Wyciągnij wnioski.

Praktikum laboratoryjne

Faza mitozy

Cel: udoskonalić nawyki pracy z mikroskopem i mikropreparatami, utrwalić wiedzę o fazie mitozy, nauczyć się rozpoznawać je na mikropreparatach.

Przyrządy i materiały: mikroskop, stały mikropreparat komórek korzeni cebuli

Przebieg pracy

1. Ustaw mikroskop i rozpatrz mikropreparat.
2. Znajdź strefę podziału koło czapeczki korzeniowej i przy dużym powiększeniu rozpatrz komórki na różnych stadiach podziału.
3. Zamaluj wygląd zewnętrzny komórek na różnych stadiach cyklu komórkowego i mitozy i podpisz poszczególne elementy. Wyciągnij wnioski.

Praktikum laboratoryjne

Zmienność u roślin i zwierząt

Cel: udoskonalić nawyki badań biologicznych, zbadać granice zmienności różnych organizmów.

Przyrządy i materiały: linijka, wzrostomierz (centymetr), obiekty badania (liście, bulwy ziemniaka, korzenie marchwi lub buraka, jabłka, cebula, ziarnka fasoli).

Przebieg pracy

Zmienność u roślin

1. Zmierz długość ogonka lub blaszki liściowej u 20 listków (długość lub liczbę oczek na bulwach ziemniaka, długość korzenia marchwi lub buraka, średnicę jabłek lub cebul, ilość ciemnych plam na ziarnkach fasoli).
2. Zapisz otrzymane wyniki w kolejności wzrastania i zaznacz ilość obiektów o określonym znaczeniu cechy. Zbuduj krzywą wariacyjną: odkładaj na osi odciętych znaczenie cechy, a na osi rzędnych – ilość obiektów o odpowiednim znaczeniu cechy.

Zmienność u zwierząt

3. Zmierz wzrost wszystkich swoich kolegów z klasy i, jeśli to możliwe, kolegów z równoległych klas.
4. Zbuduj krzywą wariacyjną, jak opisano w punkcie 2.
5. Zanalizuj otrzymane krzywe, wyjaśnij ich kształt i wyciągnij wnioski.

Praca laboratoryjna

Poznanie strukturalno-funkcjonalnej różnorodności komórek












Cel: udoskonalić nawyki pracy z mikroskopem i mikropreparatami, nauczyć się wykonywać tymczasowe mikropreparaty, zapoznać się z różnorodnością komórek przedstawicieli poszczególnych grup organizmów.

Przyrządy i materiały: mikroskop, szkiełka przedmiotowe i przykrywkowe, igła preparacyjna, zakraplacze, szklana pałeczka, wykałaczka, woda, 5% roztwór jodu, cebula, przygotowana kultura drożdży.

Przebieg pracy

1. Przygotuj tymczasowy mikropreparat roślinnych komórek skórki mięsistej łuski cebuli: zdejm z zewnętrznego boku łuski cienką przezroczystą skórkę, włóż ją do kropli wody i dodaj kroplę 5% roztworu jodu. Przykryj preparat szkiełkiem przykrywkowym.
2. Przygotuj tymczasowy mikropreparat zwierzęcych komórek nabłonka jamy ustnej: szklaną pałeczką kilka razy przeprowadź po wewnętrznej powierzchni policzka. Otrzymane komórki włóż do kropli wody naszkieleku przedmiotowym. Przykryj szkiełkiem pokrywkowym.
3. Przygotuj tymczasowy mikropreparat komórek drożdży: rozmieszaj dostateczną ilość drożdży w ciepłym wodnym roztworze cukru, pozostaw roztwór w ciepłym miejscu na kilka godzin. Krople kultury drożdży przenieś na szkiełko przedmiotowe. Przykryj szkiełkiem przykrywkowym.
4. Przygotuj tymczasowy mikropreparat komórek bakterii: za pomocą wykałaczki zdejm z zębów osad i rozpuść go w kropli wody na szkiełku przedmiotowym. Przykryj szkiełkiem przykrywkowym.
5. Rozpatrz przy dużym powiększeniu otrzymane mikropreparaty. Zamaluj to, co zobaczyłeś i porównaj komórki pod względem budowy. Wyciągnij wnioski.

Korzystne strony internetowe

Odsyłacze do stron internetowych wykorzystanych w podręczniku		Różnorodne gry edukacyjne	
helianthus.com.ua/books		biomanbio.com	sciencegamecenter.org
			
Kursy dystancyjnej nauki biologii			
ed-era.com	coursera.org	khanacademy.org	alison.com
			
Interaktywne programy edukacyjne	Filmy animowane o tematyce biologicznej, inna informacja	Ciekawe artykuły na tematy biologiczne	Międzynarodowa Olimpiada z Biologii
star.mit.edu	shmoop.com	naturalist.if.ua	ibo-info.org
			

Nie zapominaj też o istnieniu ukraińskiej wersji Wikipedii, do której tworzenia również możesz dołączyć!

Wykorzystana literatura

1. Reece J., Urry L., Cain M., Wasserman S., Minorsky P., Jackson R. Campbell Biology. – 9th ed. – Pearson, 2011.
2. Raven P., Johnson J., Mason K., Losos J., Singer S. Biology. – 10th ed. – McGraw-Hill, 2014.
3. Alberts A., Johnson J., Lewis M., Raff K., Roberts K., Walter P. Molecular biology of the cell. – 5th ed. – J. Wiley & Sons, 2008.
4. Nelson D., Cox M. Lehninger Principles of Biochemistry. – 6th ed. – W. H. Freeman, 2012.
5. Futuyama D. Evolution. – 3rd ed. – Sinauer Associates, Inc. – 2013.
6. Pierce B. Genetics. A conceptual approach. – 5th ed. – W. H. Freeman – 2013.

Spis treści

Wstęp	3
§ 1. Biologia jako nauka	4
ROZDZIAŁ 1. SKŁAD CHEMICZNY KOMÓRKI I CZĄSTECZKI BIOLOGICZNE	
§ 2. Woda	10
§ 3. Białka	15
Dodatek I. Małe cząsteczki organiczne. Monomery i polimery	20
§ 4. Węglowodany	21
Доповнення II. О niedoborze laktazy (hipolaktazja)	24
§ 5. Lipidy	26
Dodatek III. Problem transportu lipidów w organizmie	30
§ 6. Enzymy (fermenty)	32
§ 7. Kwasy nukleinowe	36
Dodatek IV. „Zwariowane” poszukiwanie podwójnej helisy	40
Praca praktyczna № 1 . Rozwiązywanie podstawowych zadań ze struktury białek i kwasów nukleinowych	42
§ 8. ATP	43
ROZDZIAŁ 2. STRUKTURA KOMÓRKI	
§ 9. Struktura komórki eukariotycznej	50
§ 10. Cytoplazma i organelle	56
§ 11. Jądro	61
§ 12. Typy komórek	66
Dodatek V. Teoria endosymbiozy: mitochondria	70
§ 13. Komórka roślinna i zwierzęca	72
Dodatek V (ciąg dalszy). Teoria endosymbiozy: chloroplasty	79
§ 14. Metody badań komórki	80
ROZDZIAŁ 3. ZASADY FUNKCJONOWANIA KOMÓRKI	
§ 15. Przemiana materii i energii	86
§ 16. Rozszczepienie substancji	90
§ 17. Biochemiczne mechanizmy oddychania	95
§ 18. Fotosynteza	100
§ 19. Chemosynteza	105
§ 20. Zasady procesów syntetycznych	109
ROZDZIAŁ 4. ZACHOWANIE I REALIZACJA INFORMACJI DZIEDZICZNEJ	
§ 21. Podwojenie DNA	114
§ 22. Transkrypcja	119
§ 23. Rodzaje RNA	124
§ 24. Kod genetyczny	129
Dodatek VI. Jak odszyfrowano kod genetyczny?	133
§ 25. Biosynteza białka	135
Praca praktyczna № 2 . Rozwiązywanie podstawowych zadań z replikacji, transkrypcji i translacji	140
§ 26. Geny	141
Dodatek VII. Hipoteza „jeden gen – jedno białko”	145
§ 27. Genomy	147
Dodatek VIII. Jakie genomy są odszyfrowane?	151
§ 28. Cykl komórkowy. Mitoza	153
Dodatek IX. Komórki nowotworowe nie mogą przestać się dzielić	158
§ 29. Mejoza	159
§ 30. Komórki płciowe i cykl życiowy	164

ROZDZIAŁ 5. PRAWIDŁOWOŚCI DZIEDZICZENIA CECH

§ 31. Genotyp i fenotyp. Allele	172
§ 32. Prawo niezależnego dziedziczenia	177
§ 33. Współdziałanie genów	182
§ 34. Sprzężenie genów i crossing-over	187
§ 35. Genetyka płci	191
§ 36. Zmienność	195
§ 37. Mutacje i choroby	199
§ 38. Klasyczne metody genetyki	204
Praca praktyczna № 3. Sporządzanie schematów krzyżowania	208
Projekt I. Tworzenie własnego rodowodu i przedstawienie dziedziczenia cech	209
§ 39. Współczesne metody genetyki	210

ROZDZIAŁ 6. EWOLUCJA ŚWIATA ORGANICZNEGO

§ 40. Populacja	216
§ 41. Rozwój poglądów ewolucyjnych	221
§ 42. Czynniki ewolucyjne	227
§ 43. Mechanizmy powstawania gatunków	232
§ 44. Dowody ewolucji	237
§ 45. Ewolucja człowieka	242
§ 46. Pochodzenie życia	247

ROZDZIAŁ 7. BIORÓŻNORODNOŚĆ

§ 47. Systematyka biologiczna	254
§ 48. Podstawowe grupy organizmów żywych	259
Praca praktyczna № 4. Porównanie budowy i procesu rozmnażania komórkowych form życia i wirusów	263
§ 49. Bioróżnorodność eukariotów	264
Dodatek X. Różnorodność pierwotniaków	268

ROZDZIAŁ 8. NADORGANIZMOWE UKŁADY BIOLOGICZNE

§ 50. Różnorodność ekosystemów	272
§ 51. Zależności pokarmowe	276
Dodatek XI. Jak rośliny przeciwstawiają się zwierzętom roślinożernym	280
§ 52. Obieg kołowy substancji i pierwiastków	282
§ 53. Czynniki ekologiczne	287
§ 54. Stabilność ekosystemów	292
§ 55. Biosfera jako jedyny system	297
§ 56. Ochrona i zachowanie biosfery	301
Projekt II. Wyjawienie poziomu antropogenicznego wpływu w ekosystemach swojej miejscowości	305
§ 57. Ochrona przyrody	306

ROZDZIAŁ 9. BIOLOGIA JAKO PODSTAWA BIOTECHNOLOGII I MEDYCYNY

§ 58. Oswajanie roślin i zwierząt	314
§ 59. Selekcja stwarza gatunki, rasy i szczepy	319
§ 60. Człowiek od dawna wykorzystuje biotechnologię	323
Dodatek XIII. Czym różni się herbata czarna od herbaty zielonej?	327
§ 61. Inżynieria genetyczna i komórkowa	328
§ 62. Rola biotechnologii w medycynie	333
§ 63. GMO	338
§ 64. Właściwości układów żywych	343
Praktikum laboratoryjne	347
Korzystne strony internetowe	349

Навчальне видання

ШАЛАМОВ Руслан Васильович
НОСОВ Георгій Андрійович
ЛИТОВЧЕНКО Олександр Анатолійович
КАЛІБЕРДА Микита Сергійович

БІОЛОГІЯ

Підручник для 9 класу
загальноосвітніх навчальних закладів
з навчанням польською мовою

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Переклад з української
Перекладач *Ірина Кресович*

Польською мовою

Редактор *Віолетта Ільчук*
Коректор *Віолетта Ільчук*
Верстка *Сергія Максимця*

Формат 70×100 ¹/₁₆. Ум. друк. арк. 28,512. Обл.-вид. арк. 22,00.
Наклад 137 прим. Зам. 1233.

Видавець і виготовлювач видавничий дім „Букрек”,
вул. Радищева, 10, м. Чернівці, 58000.

www.bukrek.net

Свідоцтво про внесення До державного реєстру
суб'єкта видавничої справи ЧЦ № 1
від 10.07.2000 р.