

**WSZYSTKO,
CO TRZEBA WIEDZIEĆ!**

- co jest mechanizmem napędowym ewolucji?
- jakie jest miejsce człowieka w tym systemie?
- skąd wzięła się różnorodność życia?

Jerzy Bańbura

EWOLUCJA

> KRÓTKIE
WPROWADZENIE

EWOLUCJA

> KRÓTKIE
WPROWADZENIE



WYDAWNICTWO
UNIWERSYTETU
ŁÓDZKIEGO

Jerzy Bańbura

EWOLUCJA

> KRÓTKIE
WPROWADZENIE

Łódź 2024

Jerzy Bańbura (ORCID: 0000-0002-7479-3117) – Uniwersytet Łódzki
Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Instytut Ekologii i Ochrony Środowiska
Katedra Zoologii Doświadczalnej i Biologii Ewolucyjnej
90-237 Łódź, ul. Banacha 12/16

Rada Naukowa serii *Krótkie Wprowadzenie*

*Jerzy Gajdka, Ewa Gajewska, Krystyna Kujawińska Courtney
Aneta Pawłowska, Piotr Stalmaszczyk*

Recenzent

Tomasz Osiejuk

Redaktorzy inicjujący serii *Krótkie Wprowadzenie*

Urszula Dzieciatkowska, Agnieszka Kałowska, Monika Borowczyk

Opracowanie redakcyjne

Beata Otocka

Skład i łamanie

Agent PR

Korekta techniczna

Elżbieta Pich

Projekt okładki

Monika Rawska

© Copyright by Jerzy Bańbura, Łódź 2024

© Copyright for this edition by Uniwersytet Łódzki, Łódź 2024

<https://doi.org/10.18778/8331-503-4>

Publikacja sfinansowana ze środków Wydawnictwa Uniwersytetu Łódzkiego

Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

Wydanie I. W.11389.24.0.M

Ark. wyd. 8,0; ark. druk. 10,5

ISBN 978-83-8331-503-4

e-ISBN 978-83-8331-504-1

Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

90-237 Łódź, ul. J. Matejki 34A

www.wydawnictwo.uni.lodz.pl

e-mail: ksiegarnia@uni.lodz.pl

tel. 42 635 55 77

Spis treści

Przedmowa	7
1. Ewolucja jako proces	11
2. Dobór naturalny jako mechanizm ewolucji przystosowawczej	41
3. Ewolucja poprzez przełomy	87
4. Nieprzystosowawcze aspekty ewolucji	109
5. Powstawanie gatunków	117
6. Linia gatunkowa człowieka w obrębie drzewa życia	137
Literatura	145
Słowniczek	157
Indeks nazw taksonomicznych	163

Przedmowa

Książka ta nie jest podręcznikiem, ale raczej minimalistycznym wprowadzeniem do ewolucji, wyrastającym z poglądu, że dobór naturalny jest jedynym prawdziwym mechanizmem napędowym ewolucji. Inne czynniki, takie jak losowy dryf genetyczny, migracje czy jednostkowe wydarzenia historyczne, mogą jego działanie maskować lub ograniczać, a jeszcze inne – jak zmienność mutacyjna – stanowią warunek zachodzenia ewolucji. Ewolucja stanowi obiekt intensywnych, wielokierunkowych badań naukowych, w ramach których wyjaśnienia ciągle są poddawane krytycznemu testowaniu. Jest oczywiste, że aby rozumieć postęp w dynamicznie rozwijającej się wiedzy, trzeba rozumieć kluczowe idee. Paradoksalnie, nawet ukończenie studiów biologicznych na ogół nie zapewnia dostatecznej wiedzy w tym zakresie, a ta jest niezbędna, aby z poziomu ewolucyjnego krytycznie analizować ogromnie zróżnicowane wyniki badań biologicznych, w tym również różne nowe mody w biologii i błędy w popularnych mediach („modne bzdury” są wszędzie). Przedstawienie kluczowych idei w odniesieniu do podstaw działania ewolucji jest zadaniem tej książki.

Różnorodność życia, przejawiająca się bogactwem gatunków, sposobów funkcjonowania i zdumiewającą złożonością organizmów, dostarcza wspaniałych doznań nawet przygodnym obserwatorom. Równie fascynującym doznaniem jest zrozumienie procesów ewolucyjnych, które doprowadziły do powstania tej różnorodności. Złożoność istot żywych jest jednocześnie fascynująca i przytłaczająca. Dopiero poznanie naukowe tego, jak złożone

adaptacje powstają na bazie prostszych wersji, czyli jak złożoność ewoluuje z prostoty drogą doboru naturalnego, dostarcza przekonującego wyjaśnienia zarówno różnorodności, jak i jedności tkwiącej w systemach ożywionych.

Genealogiczne trwanie linii gatunkowych, ich rozwidlanie i różnicowanie form w olbrzymiej skali czasu, składa się na historyczny przebieg procesu ewolucyjnego. Podstawą przemian ewolucyjnych jest dziedziczność oparta na przenoszeniu z pokolenia na pokolenie informacji zapisanej na fizycznym nośniku (DNA) i zmienność dziedziczna oparta na różnego rodzaju błędach powstających przy kopiowaniu tego nośnika. Uderzającą cechą istot żywych jest to, że są one dopasowane do warunków i sposobu życia, co jest rezultatem doboru naturalnego, który jest mechanizmem ewolucji przystosowawczej. Historyczny wymiar ciągłości genealogicznej oraz przystosowawczy aspekt przemian ewolucyjnych są kluczowe dla zrozumienia różnorodności form organizmów.

Dobór naturalny jest jedynym mechanizmem ewolucji, który skutecznie nadaje uporządkowaną strukturę organizacji systemów ożywionych. Ewolucja, której główny mechanizm napędowy stanowi dobór naturalny, jest właśnie dzięki temu nie tylko wielokierunkowo badanym faktem przyrodniczym, ale także zasadą organizacyjną przyrody ożywionej. Konsekwentnie, wprowadzenie do nauki o ewolucji musi przede wszystkim uświadamiać czytelnikom, że ewolucja drogą doboru naturalnego występuje nieustannie i nieustannie działa na zmienność dziedziczną poprzez podstawianie skutecznych wariantów dziedzicznych w miejsce mniej skutecznych. Efekty akumulacyjne oddziaływania doboru można obserwować w każdej skali czasu, od najkrótszej, liczonej w dniach, do najdłuższej, liczonej w miliardach lat. Akumulacja efektów działania doboru realizuje się w liniach zbiorowości rozrodczych organizmów, które poprzez sieci genealogicznych powiązań rodzinnych tworzą genetyczną ciągłość między liniami filogenetycznymi składającymi się na całe drzewo życia.

Ponieważ podstawy wiedzy o ewolucji w proponowanym tu ujęciu obejmują raczej mechanizm napędowy działający w ge-

nealogenicznych liniach populacyjno-gatunkowych, to omawiam ten aspekt dokładnie, natomiast niewiele miejsca poświęcam filogenezie. Ponieważ jednak ewolucja przystosowawcza, rozgałęzianie się linii gatunkowych oraz czynniki losowe i historyczne są łącznym naukowym wyjaśnieniem rozwoju drzewa życia jako systemu spokrewnionych filogenetycznie linii, to w ostatnim rozdziale przedstawiłem krótko miejsce linii gatunkowej człowieka na drzewie życia poprzez ukazanie węzłowych wspólnych przodków z innymi współczesnymi liniami, aż do ostatnich wspólnych przodków wszystkich istot żywych, u zarania życia na Ziemi. W gruncie rzeczy taką formę prezentacji można byłoby zacząć od jakiegokolwiek gatunku zamiast od człowieka, bo wszystkie gatunki są powiązane przez bliższych lub odleglejszych wspólnych przodków.

Nauka o ewolucji jest dynamicznie funkcjonującą dziedziną wiedzy, o szerokim zakresie badań teoretycznych i doświadczalnych. Co roku wychodzą drukiem nowe książki i tysiące artykułów naukowych. Z powodu założonego charakteru tej książki nieuzasadnione wydawało się typowe dla książki naukowej bieżące cytowanie literatury w tekście. Zawsze jednak uważałem, że czytelnikowi należy się wskazanie źródeł naukowych, zwłaszcza w obecnych czasach, gdy łatwo opublikować błędne lub fałszywe informacje w szeroko dostępnej formie. Dlatego przedstawiam główne książki o ewolucji, które wyszły w języku polskim. Drugą grupę źródeł, w istocie ważniejszą niż pierwsza, stanowią książki w języku angielskim. Trzecia grupa to niewielka próba spośród tysięcy artykułów naukowych, próba wybrana w związku z korzystaniem z nich w trakcie pisania. Chociaż te źródła nie były w tekście formalnie cytowane, a co najwyżej przytaczane ogólnikowo, to ślady ich wszystkich można jednak w książce odnaleźć.

Bardzo dziękuję dr. hab. Michałowi Gładalskiemu i dr. hab. Adamowi Kalińskiemu za uważne przeczytanie tej książki w różnych fazach jej pisania i pomocne komentarze. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego zapewniło mi przyjazną opiekę

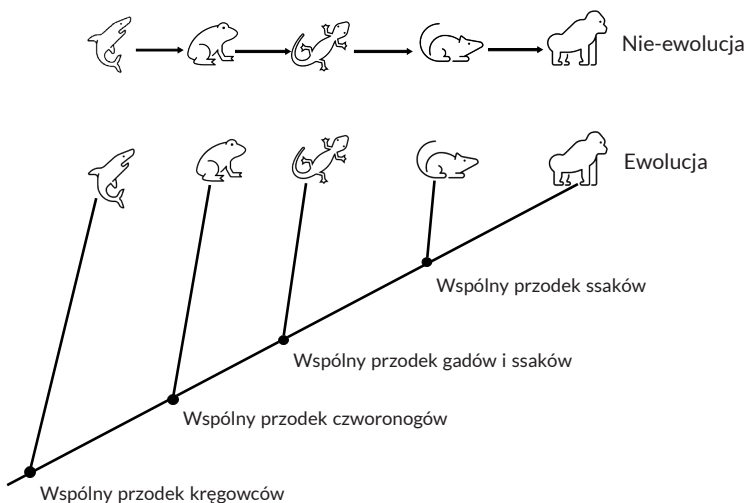
edytorską pań Urszuli Dzieciatkowskiej, Joanny Skopińskiej i Beaty Otockiej, za co jestem bardzo wdzięczny. Znakomite uwagi krytyczne przedstawił recenzent wydawniczy, prof. dr hab. Tomasz Osiejuk. Zawsze szczególne znaczenie miała dla mnie wymiana poglądów, współpraca i dyskusja z prof. dr hab. Piotrem Zielińskim, co trwa od czasu, kiedy obaj byliśmy licealistami. Ta książka nie powstałaby bez słów zachęty, wsparcia i dyskusji płynących od dr Mirosławy Bańbury i dr Anny Bańbury.

Rozdział 1

Ewolucja jako proces

Ewolucja

Często spotykane w literaturze uproszczone określenie ewolucji biologicznej jako pochodzenia jednych organizmów od drugich, zachodzące z modyfikacją właściwości i różnicowaniem linii, wywodzi się od samego Darwina, ale ze względu na swoją lapidarność może prowadzić do nieporozumień. Modyfikacja właściwości bywa często rozumiana bardzo dosłownie, jako gwałtownie pojawiająca się zmiana strukturalna u potomstwa w stosunku do rodziców, taka że potomstwo należałoby wręcz zaliczyć do innego gatunku niż rodziców. W takim ujęciu przemiany w dłuższej perspektywie czasowej przyjmowałyby postać drabiny czy łańcucha życia, która to wizja stała się popularną ikoną ewolucji (rys. 1). Jest to obraz błędny, gdyż zupełnie pomija fakt, że ewoluują linie populacyjne, w skład których wchodzi nieprzerwane serie przodków i potomków, tworzące genealogie bliższych i dalszych krewnych, oraz że nieodłącznym elementem ewolucji linii populacyjnych jest także ich rozdzielanie (dywergencja), odzwierciedlające różnicowanie się form (rys. 1).

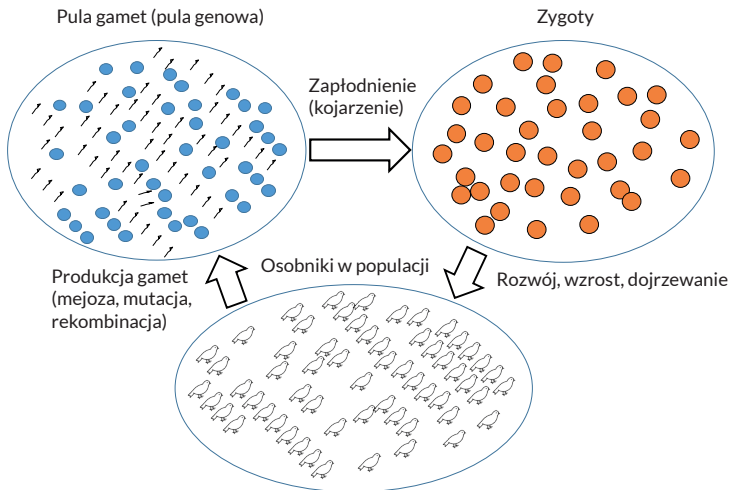


Rys. 1. W obiegowym ujęciu często przedstawia się ewolucję jako łańcuch czy drabinę form. To nie jest ewolucja! Ewolucję można prawidłowo przedstawić jako rozgałęzianie się linii gatunkowych, gdzie w węzle rozgałęzienia znajduje się populacja wspólnego przodka

Jak to szeroko uzasadnił Ernst Mayr, dopiero uzmysłowienie sobie, że ewolucja jest procesem populacyjnym, a nie osobniczym, pozwala na jej właściwy opis i badanie jej przebiegu oraz mechanizmów. A zatem ewolucji podlegają linie populacyjne, a nie osobniki. Populacje to zbiorowości rozrodcze złożone z osobników, ich przodków i potomków. Populacje organizmów płciowych składają się z osobników mogących się kojarzyć rozrodczo i wydawać na świat potomstwo. Określenie „linie populacyjne” podkreśla genealogiczną ciągłość trwania takich populacji. Osobniki rodzą się w takiej czy innej formie, przechodzą rozwój prowadzący do osiągnięcia dojrzałości, kiedy mogą (ale nie muszą) wydać na świat własne potomstwo i ostatecznie same giną. Linie populacyjne natomiast ewoluują, czyli ulegają przemianom międzypokoleniowym i wielopokoleniowym opartym na różnicowaniu między osobnikami i genealogiami osobników, które odznaczają się kompletną ciągłością. Ewolucja jest więc populacyjnym procesem o charakterze statystycznym i historycznym, w którym dziedziczność zapewnia ciągłość.

POPULACJE JAKO ZBIOROWOŚCI ROZRODCZE

Populacje jako zbiorowości rozrodcze tworzą medium, w którym rozgrywają się i uwidaczniają elementarne procesy ewolucyjne. Procesy te w linii populacyjnej zachodzą z pokolenia na pokolenie dzięki realizacji cyklu rozrodczego, zapewniającego ciągłość dziedziczną. Dla potrzeb prezentacji zjawisk ewolucyjnych wygodnie jest rozpatrywać cykle rozrodcze według poniższego schematu. Pula gamet jest tu abstrakcyjnym tworem, zbiorem gamet wyprodukowanych przez osobniki populacji, które uczestniczą w rozrodzie. Zespolenie gamet tworzy zygoty, a tym samym inicjuje pokolenie potomne, które po uzyskaniu dojrzałości rozrodczej produkuje własne potomstwo. Wszystkie osobniki w populacji mają przodków i mogą, ale nie wszystkim się udaje, mieć potomstwo. Jednak cykl rozrodczy, taki jak na schemacie, zapewnia indywidualną ciągłość dziedziczną między kolejnymi pokoleniami.



Od kiedy poznaliśmy naukowo dziedziczność i jej mechanizmy, wiemy, że ewolucji podlega właśnie zmienność dziedziczna, czego konsekwencją są zachodzące z pokolenia na pokolenie zmiany składu genetycznego linii populacyjnych, jak i towarzyszące

im zmiany statystycznego obrazu (średnich i wariancji, kształtu rozkładu) cech zewnętrznych. Ze wspomnianych dotąd powodów bezpieczniej jest użyć szerszej definicji ewolucji, która jest wprawdzie bardziej skomplikowana, ale i jednoznaczna. **Ewolucja to proces wielopokoleniowych przemian cech i składu genetycznego populacji organizmów (linii populacyjnych, gatunków, linii populacyjno-gatunkowych), które to populacje pochodzą od populacji wspólnych przodków, ostatecznie od pojedynczej populacji pierwotnego pra-organizmu, a produkują populacyjne linie potomne wykazujące formy będące rezultatem różnicowania linii rodzicielskich.**

Najlepszym modelem graficznym ewolucji pozostaje rozgałęziająca się struktura drzewiasta, o której należy jednak pamiętać, że poszczególne rozgałęziające się linie symbolizują zmieniające się z pokolenia na pokolenie zbiorowości populacyjne. Mechanizm dziedziczenia, charakter zmienności dziedzicznej i jej rozkład w populacjach odróżnia ewolucję biologiczną od przemian historycznych, jakim podlegają materialne i niematerialne wytwory człowieka (modele zegarków czy samochodów, ubrania, architektura i sztuka itd.). Chociaż w skład populacji wchodzi osobniki, to jednak z pokolenia na pokolenie przechodzi informacja dziedziczna zapisana w genach (i innych elementach genomu). Fakt, że informacja genetyczna jest kopiowana ze znaczną, ale nie stuprocentową wiernością podczas rozrodu osobników, w trakcie podziału komórki lub tworzenia gamet, stanowi podstawę zróżnicowania genetycznego, dzięki któremu ewolucja może działać. Z tego też względu ewolucja przebiega poprzez akumulację informacji genetycznej w genomach osobników wchodzących w skład linii populacyjnych. Każdy osobnik jest potomkiem nieprzerwanego łańcucha przodków, którzy sami przeżyli co najmniej do momentu wydania na świat potomstwa. Przebieg przemian ewolucyjnych linii populacyjnych, w tym rozdzielanie się tych linii (dywergencje) zależy zarówno od struktury i wielkości samych populacji, jak i od szeroko pojętego środowiska ich życia. Na tej podstawie można wyróżnić mechanizmy i czynniki ewolucji, które stanowią napęd tego procesu omówiony w dalszej części książki.

Chociaż powstanie życia jest fascynującym zagadnieniem, które jest wciąż intensywnie badane, jak to znakomicie opisali Weiner i Weiner w 2023 roku, to nie będę się nim zajmować w tej książce, z wyjątkiem oszacowań czasu, kiedy do niego doszło. Niemniej jednak chciałbym uzgodnić pewną elementarną terminologię dotyczącą tego, co uznajemy za systemy ożywione, i tego, co nie jest ożywione. Kluczowa jest wspomniana już tutaj integracja rozmnażania i dziedziczności, która prowadzi do powstania zmienności dziedzicznej, jaką charakteryzują się systemy żywe, które wykazują ponadto pewną aktywność metaboliczną. Naturalne przedmioty nieożywione powstają w wyniku procesów fizycznych i są albo proste, albo są mieszkanką elementów prostych. Pewną kategorią przedmiotów nieożywionych, które mogą być bardzo nawet skomplikowane i zbudowane z bardzo różnych substancji, są produkty zaprojektowane i skonstruowane przez człowieka. Chociaż te ostatnie można wytwarzać nawet na masową skalę, to nie posiadają one zdolności do rozmnażania i dziedziczności. Właściwością odróżniającą organizmy żywe od nieożywionych twórców natury jest to, że mają one przodków, a mogą też mieć własnych potomków, co razem z dziedzicznością sprawia, że populacje organizmów ewoluują. Wszystkie elementy budowy i funkcjonowania organizmów są rezultatem ewolucji i tylko poprzez ewolucję można zrozumieć ich pochodzenie i specyfikę działania.

Z ewolucyjnego pochodzenia i mniej lub bardziej odległego pokrewieństwa rodowego wszystkich znanych form życia wynika jedność organizacyjna, jaką te formy reprezentują mimo ogromnego zróżnicowania. Tę jednorodność organizacyjną organizmów można za G. Bellem (2015) skrótowo przedstawić w pięciu punktach:

1. Materiał konstrukcyjny to kilka podstawowych rodzajów substancji, których chemiczna budowa opiera się na węglu.
2. Ograniczony zakres rozwiązań mechanicznych odpowiedzialnych za sztywność, elastyczność czy zdolność do poruszania się.
3. Energia pozyskiwana przez złożone procesy metaboliczne, takie jak chemosynteza, fotosynteza czy spalanie spożywanych

- złożonych cząsteczek chemicznych, z metabolizmem realizującym się w rezultacie reakcji utleniania i redukcji.
4. Fizyczny zakres zdolności do działania jest ogólnie zawężony do przedziału temperatur od zamarzania do wrzenia wody.
 5. Realizacja programu rozwojowego zapisanego według uniwersalnego kodu w sekwencji nukleotydów kwasów nukleinowych w genomie.

Środowisko – scena ekologiczna

Najogólniejsze uwarunkowania środowiskowe życia na Ziemi wynikają z pochodzenia i położenia naszej planety w układzie słonecznym, w określonej fazie rozwoju tego układu i z odpowiadającymi tej fazie stosunkami fizyczno-chemicznymi. Ziemia, z jej położeniem i zachowaniem względem Słońca, niewątpliwie dostarcza warunków pozwalających na ewolucję i utrzymanie życia. Ziemia stanowi system otwarty pod względem energetycznym, ze stałym dopływem energii z zewnątrz, przede wszystkim ze Słońca. Chociaż pewne najbardziej trwałe elementy struktury i procesów fizycznych stanowią scenę dla procesów życiowych, to te procesy życiowe wpływają zwrotnie na fizyko-chemię planety. Dla przykładu, cały tlen atmosfery ziemskiej jest produktem fotosyntezy, najpierw prowadzonej przez cyjanobakterie, a później także przez inne organizmy zielone.

Z perspektywy organizmów funkcjonujących we własnych populacjach, w konkretnym lokalnym otoczeniu, środowisko można podzielić na fizyczne, czyli nieożywione, i ożywione. Na środowisko ożywione składają się inne organizmy, których populacje ewoluują i poprzez różne interakcje ekologiczne oddziałują na siebie, generując wzajemne presje selekcyjne. W efekcie, środowisko ożywione podlega ciągłym zmianom, które nakładają się na zmiany środowiska abiotycznego. W konsekwencji, środowisko konkretnych populacji organizmów zmienia się w różnych skalach przestrzennych i czasowych, od krótkoterminowych do zachodzących w wielkiej skali geologicznej.