

## MECHANIZMY EWOLUCJI, ICH KONSEKWENCJE I METODY BADANIA

Opublikowana 150 lat temu teoria doboru naturalnego pozostaje w swej kwintesencji aktualna do dziś. Nie oznacza to jednak bynajmniej, że badania nad ewolucją i doбором naturalnym dotyczą jedynie drobnych szczegółów, których Darwin nie potrafił do końca wyjaśnić. Wręcz przeciwnie, zdobywając coraz to nowe narzędzia do badania przebiegu ewolucji i testowania przewidywań teorii doboru naturalnego, dokonujemy wciąż nowych i pasjonujących odkryć, których znakomite przykłady czytelnik napotka czytając artykuły zebrane w tej części zeszytu. O sile współczesnej biologii ewolucyjnej stanowi jednak to, że fascynujące bogactwo jej dociekań porządkuje jeden prosty mechanizm zaproponowany przez Darwina, którego współczesny, oparty na teorii genetyki zwięzły wykład czytelnik znajdzie w otwierającym tę część artykule Adama Łomnickiego. Jak wynika z tego rozdziału, u podstaw zmian ewolucyjnych na drodze doboru naturalnego leży zmienność genetyczna, której najważniejsze źródła omawia rozdział drugi. Andrzej Jerzmanowski pisze w nim także o tym, w jaki sposób odkrycia genetyki molekularnej wpłynęły na kształt współczesnej teorii ewolucji (np. zegar modularny, teoria neutralna). Podsumowuje również najważniejsze ewolucyjne implikacje przrastających w ostatnich latach lawinowo informacji na temat organizacji genomów, oraz okryć dotyczących epigenetycznych mechanizmów dziedziczenia.

Kolejny artykuł Adama Łomnickiego rozważa poziomy działania doboru naturalnego: poziom genu, osobnika i grupy. Zrozumienie ograniczonej roli doboru grupowego i istotnej roli doboru na poziomie genów, stojącego często w sprzeczności z doбором na poziomie osobników, ma kapitalne znaczenie dla badania przystosowań (adaptacji), których definicję i sposób analizy autor streszcza w końcowej części rozdziału. Jak pisze Adam Łomnicki, kluczowe znaczenie doboru na poziomie genów docenione zostało w dużej mierze dzięki pracom W.D. Hamiltona, który w 1964 r. sformułował teorię doboru krewniaczego. Hamilton zastosował swoją teorię do wyjaśnienia ewolucji reprodukcyjnego podziału pracy u owadów społecznych. Zagadnienia te są tematem artykułu Michała Woyciechowskiego, w którym autor, podając wiele przykładów najnowszych badań zgodnych z przewidywaniami teorii Hamiltona, zgodnie z kanonem rzetelnego piśmiennictwa naukowego referuje również poglądy (raczej odosobnione) niektórych znanych współczesnych uczonych, którzy w ewolucji społeczeństw owadów dostrzegają znaczącą rolę doboru grupowego.

Dobór naturalny działający na osobniki wynika z ich zróżnicowanej przeżywalności i rozrodczości. Przyczyny tego zróżnicowania poruszone są w tekstach Jana Kozłowskiego i Joanny i Macieja Gliwiczów. Artykuł Kozłowskiego koncentruje się na teorii ewolucji strategii życiowych i problemach z definicją dostosowania, gdy różny jest przeciętny czas trwania pokolenia, natomiast tekst Gliwiczów na podstawowych czynnikach decydujących o przeżywalności i rozrodczości: drapieżnictwie i konkurencji o zasoby pokarmowe. Artykuł Jacka Radwana omawia natomiast dobór płciowy, który jest wynikiem konkurencji o partnera do rozrodu. Badania tej odmiany konkurencji potwierdziły argumenty Darwina, że wiele cech, takich jak poroża czy ozdobne upierzenie, które z dużym prawdopodobieństwem obniżają szanse przeżycia swych nosicieli, równocześnie przyczyniają się do zwiększenia ich sukcesu rozrodczego. Mogą one pomóc wygrać bezpośrednią konkurencję o partnera, albo też zdobyć względy płci przeciwnej. Jednak badania nad doбором płciowym wciąż są w centrum zainteresowania biologów ewolucyjnych głównie dlatego, że pomimo sformułowania szeregu ciekawych hipotez, nie są jasne przyczyny ewolucji preferencji płciowych sprawiających, że na przykład samicom gupików podobają się samce o dużej liczbie jaskrawych plamek na ciele pomimo, iż plamki te przyciągają uwagę drapieżników.

Gupiki ilustrują obserwowaną często sprzeczność pomiędzy cechami zwiększającymi rozrodczość a cechami zwiększającymi przeżywalność. Analiza optymalnego rozwiązania takich sprzeczności jest jednym z zadań teorii ewolucji strategii życiowych, którą omawia Jan Koźłowski we wspomnianym już wcześniej artykule.

Jak już wspominaliśmy (a właściwie, jak wspominali we wcześniejszych rozdziałach ich autorzy), zmiany ewolucyjne można sprowadzić do zmian w informacji genetycznej, zawartej w organizmach żywych. Zmiany częstości genów w populacjach niekoniecznie muszą jednak wynikać z doboru naturalnego. Część tych zmian może mieć charakter losowy, o czym wspominał w swym artykule Andrzej Jerzmanowski, a co szczegółowo i przystępnie wyjaśnia Adam Łomnicki w artykule o dryfie genetycznym. Zmiany częstości genów przez dryf, w przeciwieństwie do zmian pod wpływem doboru, nie przyczyniają się na ogół do wzrostu dostosowania, a więc także nie powodują powstawania lub doskonalenia adaptacji. Wręcz przeciwnie, jak wyjaśnia Łomnicki, dryf bywa często związany z negatywnymi zjawiskami, takimi jak gromadzenie szkodliwych mutacji, utrata zmienności genetycznej i depresja inbredowa. Dryf genetyczny może przeważać nad doбором w populacjach o stosunkowo niewielkiej liczebności, szczególnie w odniesieniu do genów o umiarkowanie szkodliwym wpływie na dostosowanie.

Jednym z najbardziej zdumiewających odkryć biologii ewolucyjnej ery genomiki jest stwierdzenie, że dryf genetyczny mógł odegrać zasadniczą rolę w kształtowaniu architektury genomów eukariotycznych. Odkrycie to omawia szczegółowo Wiesław Babik w artykule o ewolucji genów i genomów. Analizy przeprowadzone przez Michaela Lyncha wykazały, że wielkość populacji, która determinuje możliwości działania dryfu, koreluje negatywnie z wielkością genomu. Wygląda na to, że balast w postaci nadmiarowego DNA w genomach eukariota nie jest wynikiem działania doboru, a raczej jego słabości w porównaniu do dryfu. Paradoksalnie jednak, jak pisze Ryszard Korona, te nieadaptatywne procesy sprzyjają ewolucji złożonych adaptacji, umożliwiając na przykład wykorzystanie nadmiarowych genów do pełnienia nowych funkcji. Ten i inne procesy, które opisuje w swym artykule Wiesław Babik, mogą prowadzić do ewolucji nowych i złożonych cech, których powstawanie analizuje Andrzej Elżanowski, koncentrując się na jego zdaniem niedocenianym funkcjonalnym aspekcie tego zagadnienia. Istniejąca cecha w interakcji z otoczeniem może nabyć nową funkcję (kooptacja), która następnie będzie udoskonalana przez dobór naturalny. Przekonuje też, że zróżnicowanie struktur (w tym molekularnych) często następuje po ich uprzednim powieleniu. Okazuje się, że ewolucja złożoności nie jest wcale tak niewyobrażalna, jak argumentowali przeciwnicy darwinowskiej teorii doboru naturalnego. Do zrozumienia mechanizmów powstawania złożoności przyczyniła się w dużym stopniu nowa dziedzina, zwana ewolucyjną teorią rozwoju (określaną często mianem *evo-devo*). Dziedzina ta bazuje na odkryciach biologii rozwoju, które opisuje w swym rozdziale Andrzej Kaczanowski.

Rozważając mechanizmy ewolucji uczeni mają tendencję do przypisywania doborowi naturalnemu powstanie wszystkich właściwości, obserwowanych u organizmów żywych. Skrajny adaptacjonizm był jednak często krytykowany przez prominentnych biologów ewolucyjnych, takich jak S.J. Gould i R.C. Lewontin. Ich poglądy, a także rozważania związane z najnowszymi odkryciami biologii molekularnej, omawia w artykule *Granice adaptacjonizmu* Ryszard Korona. Artykuł ten poświęca sporo uwagi szeroko ostatnio dyskutowanym zagadnieniom związanym z buforującą rolą białek opiekuńczych czy sieci oddziaływań między białkami, które to właściwości miałyby być przystosowaniem zapewniającym utrzymanie zmienności i tym samym potencjału ewolucyjnego. Jak przekonuje Ryszard Korona, taka skrajnie adaptacjonistyczna interpretacja napotyka jednak na zasadnicze trudności. Wydaje się, że właściwości te są raczej produktem ubocznym innych procesów, podobnie jak wspomniane wcześniej gromadzenie nadmiarowego DNA – dostarczającego materiału do wzrostu złożoności – wydaje się produktem procesów losowych, a nie doboru. Okrycia te mają oczywiste implikacje dla zwolenników koncepcji tzw. Inteligentnego Projektu (zobacz artykuł Jerzego Bańbury w następnym rozdziale), o których Ryszard Korona pisze w końcowej części swego artykułu.

Choć jak przekonywał w artykule o poziomach doboru Adam Łomnicki, dobór naturalny kształtuje adaptacje w obrębie gatunków, istotą procesu powstawania bioróżnorodności jest powstawanie nowych gatunków. Darwin nie przykładął wielkiej wagi do pojęcia gatunku, jak się dziś wydaje niesłusznie. Proces specjacji sprawia, że ewolucja w izolowanych rozrodczo

pulach genowych może następować niezależnie. Małgorzata Pilot pisze o niezbędnej wstępnej fazie tego procesu, polegającej na różnicowaniu genetycznym populacji w obrębie gatunku. Autorka opisuje między innymi fascynujące odkrycia, które stały się możliwe dzięki połączeniu nowoczesnych narzędzi biologii molekularnej i genetyki populacji, a świadczące o tym, że różnicujące się populacje nie muszą być oddzielone barierami geograficznymi. Mogą to być bariery ekologiczne, a zróżnicowanie genetyczne populacji może przebiegać pod wpływem doboru. Szersze omówienie specjacji miało się znaleźć w artykule Jacka Szymury, który, mamy nadzieję, ukaze się w następnym zeszycie „Kosmosu”.

Z wielu zebranych w tym rozdziale artykułów jasno wynika, że zdobycze biologii molekularnej, a ostatnio genomiki i proteomiki mają ogromne, często przełomowe znaczenia dla naszego postrzegania mechanizmów ewolucji. Krzysztof Spalik i Marcin Piwczyński piszą z kolei o tym, w jaki sposób dane molekularne można wykorzystać do precyzyjnego odtwarzania przebiegu filogenezy. Artykuł ten przybliży zaawansowane metody filogenetyczne w jasny, zrozumiały dla niespecjalistów sposób. Narzędzia biologii molekularnej nie są oczywiście jedynymi, jakimi posługuje się współczesna biologia ewolucyjna. Genetyka populacji, która jak pisał w poprzedniej części Adam Łomnicki była podstawą tzw. syntetycznej teorii ewolucji, zdobyła do tego czasu wiele nowych narzędzi, takich jak teoria koalescencji i inne, o których wspomina w swym artykule Małgorzata Pilot. Wiele istotnych zagadnień, takich jak ewolucja mutalizmów, konfliktów czy proporcji płci w populacji udało się rozwiązać teoretycznie i sformułować testowalne przewidywania dzięki teorii gier, której narzędzia i przykłady zastosowań omawia w swym artykule Krzysztof Argasiński.

Krytycy darwinowskiej teorii ewolucji używają niekiedy argumentu, że mechanizm opisany przez Darwina jest zbyt prosty, by mógł wytworzyć tak skomplikowane adaptacje, jakie widzimy w budowie żywych organizmów. W swoim artykule Andrzej Gecow przedstawia potęgę algorytmów ewolucyjnych, wzorowanych na ewolucji drogą mutacji i doboru, przy rozwiązywaniu skomplikowanych zadań optymalizacyjnych. Popularność szeroko rozumianych algorytmów ewolucyjnych (w tym algorytmu genetycznego, stosującego coś w rodzaju rekombinacji) jest dowodem, że proste mechanizmy mogą prowadzić do bardzo skomplikowanych rezultatów. Andrzej Gecow prezentuje też próby zastosowania analizy sieci, takich jak sieci Kauffmana, do badania ewolucji złożoności, w tym tworzenia modeli regulacji genowej. Nie ma jasności, czy próby te będą uwieńczone powodzeniem – na razie rzecz jest w rękach matematyków i informatyków.

Ewolucję można śledzić nie tylko w zapisie kopalnym i sekwencjach DNA, ale, jak przekonuje w swym artykule Paweł Koteja, także w laboratorium. Jak stwierdza autor, dzięki ewolucji eksperymentalnej hipotezy ewolucyjne testować można również rygorystycznie, co hipotezy innych nauk empirycznych, takich jak fizyka.

Tak jak podkreślaliśmy w ogólnym wstępie, artykuły zebrane w tej części zeszytu nie wyczerpują całej różnorodności zagadnień, z którymi mierzy się biologia ewolucyjna. Brak w nim choćby szerszego omówienia konfliktów genetycznych czy ewolucyjnych przyczyn powszechności rozrodu płciowego. Tym niemniej sądzimy, że dzięki zebranych poniżej esejom czytelnicy będą mieli okazję przekonać się, jak bardzo różnorodna i fascynująca jest współczesna biologia ewolucyjna.