

(Prawie) nieograniczona ekspansja

Demony Darwina



Prof. Janusz Uchmański zajmuje się matematycznym modelowaniem procesów ekologicznych

JANUSZ UCHMAŃSKI
januch@cbe-pan.pl
ANITA KALISZEWICZ
VIOLETTA HAWRO
Centrum Badań Ekologicznych
Polskiej Akademii Nauk, Dziekanów Leśny

Przedstawiciele gatunku, którzy podczas ewolucji nie podlegają ograniczeniom, powinni rozmnażać się zaraz po urodzeniu, produkować maksymalną liczbę potomstwa i żyć wiecznie. Ewolucjoniści nazywają takie hipotetyczne istoty demonami Darwina. Wydaje się, że niektóre organizmy zbliżają się do tego demonicznego ideału...



Dr Anita Kaliszewicz bada strategię życiową organizmów wodnych

Ewolucja organizmów podlega ograniczeniom, które mają niekiedy charakter barier nie do przekroczenia. Trudno sobie np. wyobrazić nagłe pojawienie się gatunku, który przełamałby utrwalone w odległej, ewolucyjnej przeszłości podstawowe plany budowy organizmów. Inne ograniczenia są skutkiem działania zasady „nie ma nic za darmo”: ulepszenie jednej cechy w wyniku doboru naturalnego jest możliwe, ale tylko kosztem innej zmiany (zwykle na gorsze). Przykład? Zwiększenie produkcji potomstwa pociąga za sobą zwykle wzrost prawdopodobieństwa śmierci osobnika.

Demon Darwina to hipotetyczny organizm, którego ewolucja nie podlega takim ograniczeniom. Można przypuszczać, że powinien on rozpocząć rozmnażanie zaraz po urodzeniu, mieć maksymalną liczbę potomstwa i żyć wiecznie. Taki demon oczywiście nie istnieje, jednak biolodzy znają gatunki, które go dość wiernie przypominają.

Z seksem i bez

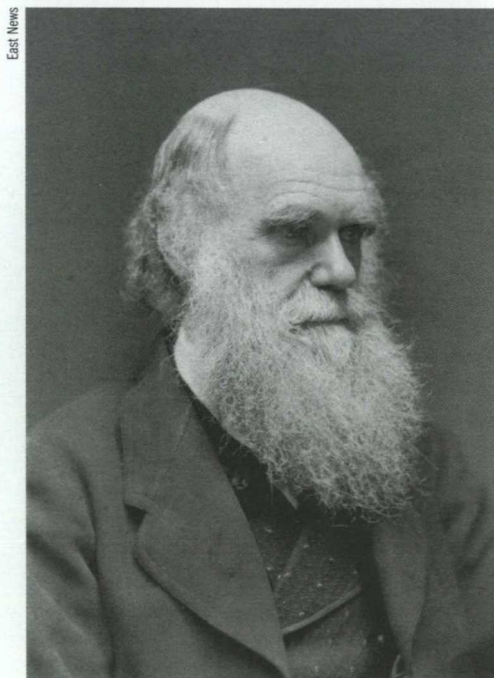
Przyjrzyjmy się organizmom rozmnażającym się przy pomocy gamet (np. płciowo). Przy takim sposobie rozmnażania organizm potomny budowany jest na podstawie uni-

katowego zestawu genów pochodzących od rodziców. Na początku rozwoju zarodka niezbędne są tylko geny i trochę substancji zapasowych. Oznacza to, że rosnący organizm rozmnażający się przy pomocy gamet inwestuje dużą część dostępnej mu w ciągu życia energii we własny wzrost i rozwój. Energia ta nie jest bezpośrednio kierowana na produkcję potomstwa. Nie znaczy to jednak, że organizm, który potrzebuje długiego okresu wzrostu przed osiągnięciem dojrzałości, jest „ewolucyjnie nieoptymalny”. Po prostu ewolucja jego strategii życiowych podlega ograniczeniom wynikającym ze sposobu rozmnażania, a ten został „wybrany” w tak odległej przeszłości ewolucyjnej gatunku, że jego zmiany na ogół są niemożliwe. Warto zwrócić uwagę także na długi okres upływający pomiędzy zapłodnieniem a osiągnięciem dojrzałości, co oznacza długi czas trwania pokolenia. Liczba potomstwa pochodzącego od danego osobnika w kolejnych pokoleniach przyrasta więc powoli.

Spójrzmy więc na gatunki, których osobniki rozmnażają się bezpłciowo, na przykład przez podział. Organizm dzielący się ma jed-



Mgr Violetta Hawro interesuje się ekologią roślin wodnych



Ewolucja organizmów, której teoretyczne podstawy opisał Karol Darwin, podlega wielu ograniczeniom. Biolodzy znają jednak rośliny i zwierzęta, które wydają się tych barier nie dostrzegać



Janusz Uchmański

nego potomka. Jeśli dzieli się w połowie, to masa ciała potomka jest połową masy ciała osobnika dorosłego. Nie ma dużych inwestycji energetycznych we wzrost, a pokolenia trwają krótko. Może więc organizmy rozmnażające się bez udziału gamet – np. przez podział lub pączkowanie – są dobrymi kandydatami na to, aby być demonami Darwina?

Jako przykłady wybierzmy dwa gatunki analizowane w Centrum Badań Ekologicznych PAN. Jednym jest słodkowodny skąposzczet *Stylaria lacustris* żyjący w brzegowej strefie jezior i odżywiający się glonami porastającymi zanurzone części roślin wodnych. Drugim gatunkiem jest pospolita rzęsa – *Lemna minor* – małeńka roślina pływająca po powierzchni niewielkich zbiorników wodnych.

Od kwietnia do listopada *S. lacustris* tworzy wiele pokoleń. Osobniki z tych pokoleń rozmnażają się przez podział. Dopiero ostatnie, późnojesienne pokolenie rozmnaża się płciowo, a wyprodukowane wtedy jaja zimują, dając początek bezpłciowemu pokoleniu na wiosnę. Badania terenowe wykazały, że *S. lacustris* dzieli się, gdy osiągnie długość ok.

15 mm i ciężar ok. 1 mg. Podział następuje niemal w połowie długości – osobnik macierzysty po podziale mierzy 0,55 swojej długości przed podziałem. Rozmnażanie przez podział powoduje, że liczebność *S. lacustris* wzrasta wykładniczo, prowadząc do wysokiego zagęszczenia populacji. Nie stanowi to dla tego gatunku problemu, gdyż ilość zasobów pokarmowych dostępnych w środowisku jest prawdopodobnie wystarczająca, a ponadto pada on ofiarą licznych drapieżników grasujących w brzegowej strefie jeziora, wśród których najgroźniejsze są larwy ważek.

Model sobie, życie sobie...

Można się zastanawiać, czy podział niemal w połowie długości ciała i przy ciężarze ok. 1 mg jest optymalnym rozwiązaniem. Nie udaje się sprawdzić tego doświadczalnie – w praktyce *S. lacustris* po prostu „nie chce” dzielić się w innych proporcjach. Można jednak zbudować matematyczny model opisujący podziały osobników przy różnych ciężarach i w różnych proporcjach oraz przewidujący liczebności populacji złożonych

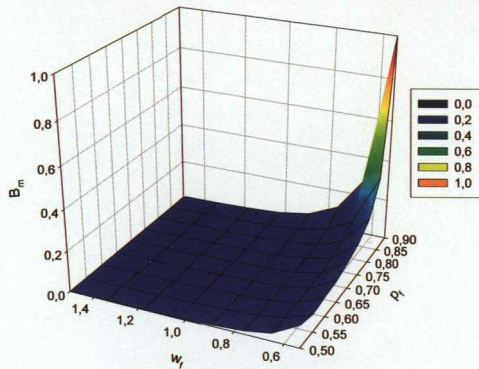
Rzęsa wodna, *Lemna minor*, jest dobrym kandydatem do miana „demon Darwina”. Miliony tych drobnych roślin potrafią szczerlnie pokryć powierzchnię małych, żyznych zbiorników wodnych i rzek o wolnym przepływie

Antia Kaliszewicz

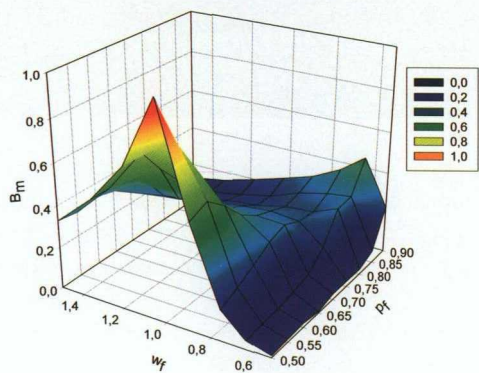


Niepozorne, kilkunastumilimetrowe bezkręgowce *Stylaria lacustris* to mistrzowie regeneracji. Dzięki tej cesze oplota im się być większymi, zanim zaczną się dzielić. W ten sposób osobnik rodzicielski i potomny nie zostaną pożarte w całości przez drapieżnika

Liczba osobników *S. lacustris* należących do jednego klonu i zdolnych do podziału pod koniec sezonu (B_m) zależy od ciężaru ciała (w_f) osobnika dzielącego i od proporcji (p_f), w jakiej się dzieli. Górny wykres: wyniki modelu matematycznego bez drapieżnika.



Strategią dającą największą liczebność pod koniec sezonu jest być małym i dzielić się niesymetrycznie. Dolny wykres: wyniki modelu z drapieżnikiem, który zjada małe ofiary w całości, a duże tylko uszkadza. Wtedy optymalną strategią jest być większym i dzielić się symetrycznie



z osobników hołdujących różnym strategiom. Załóżmy, że na wiosnę pojawia się pierwszy osobnik, który konsekwentnie dzieli się przy pewnym ciężarze ciała i w pewnej proporcji. Skuteczność jego strategii można oceniać, licząc jego potomków na końcu sezonu.

Opracowany przez nas model wykazał, że najlepszą strategią w optymalnych dla *S. lacustris* warunkach, czyli przy nadmiarze pokarmu i braku drapieżnika, jest dzielenie się przy najmniejszej możliwej masie ciała (ok. 0,54 mg), i to bardzo niesymetrycznie. Idealna proporcja to 0,9, gdy organizm potomny stanowiłby tylko 10% masy organizmu macierzystego przed podziałem. Jednak w naturze *S. lacustris* dzieli się przy dwukrotnie większym ciężarze i prawie w połowie. Dlaczego?

Przyczyną są drapieżniki, które zjadają osobniki *S. lacustris* w całości, gdy ich masa jest mniejsza niż ok. 0,54 mg. Jeśli są większe, drapieżniki mogą je tylko uszkodzić.

Jeśli presja takiego drapieżnika jest stała w ciągu całego życia ofiary, to najlepszym wyjściem jest skrócić czas, w którym jest się narażonym na zjedzenie. Należy wtedy wcześniej dojrzewać, co zwykle oznacza zmniejszenie masy ciała dorosłego osobnika.

S. lacustris nie oplota się jednak wybrać „ucieczki w małe rozmiary” jako sposobu na drapieżniki, ma ona bowiem cudowną zdolność do regeneracji utraconych części ciała. Zamiast tego *Stylaria* powinna więc „uciekać w duże rozmiary”, by drapieżnik nie mógł jej pożyć w całości, a tylko uszkodzić. Ten sposób ma jedno ograniczenie: nie wystarczy być dużym jako organizm dorosły, trzeba jeszcze być wystarczająco dużym w momencie urodzenia, aby nie dać się zjeść w dzieciństwie. *S. lacustris* radzi sobie z tym bez trudu. Wystarczy, aby tuż przed podziałem była na tyle duża, by jej połowa była tylko uszkadzana, a nie zjadana w całości.

Modyfikacja modelu matematycznego polegająca na wprowadzeniu wirtualnego drapieżnika o takich właściwościach, jak te napadające na *S. lacustris* w naturze, pokazała, że podział na dwie zbliżone części, przy masie ciała 1,1 mg, jest strategią dającą największą liczebność klonu w końcu sezonu. Trzeba jednak zaznaczyć, że liczebność ta jest niższa niż w sytuacji bez drapieżnika, gdy modelowa *S. lacustris* może być mała i dzielić się niesymetrycznie.

Demoniczna rzęsa

Przejdźmy teraz do rzęsy *Lemna minor*. U tego gatunku (również pretendującego do miana demona Darwina), można dostrzec więcej „demonicznych” aspektów życia niż

u *Stylaria*. Rzęsa wodna nie podlega bowiem silnej presji konsumentów. Rozmiary jej ciała (wielkość pojedynczego liścia) powinny więc wynikać z przyczyn innych niż niechęć do zostania pokarmem.

Jakie mogą być inne przyczyny wyznaczające wielkość liścia? Pływające po powierzchni wody liście należące do jednego klonu powinny maksymalizować wydajność absorbowania światła słonecznego padającego na tę powierzchnię. Geometria podpowiada, że daną powierzchnię najszczelniej można wypełnić płaskimi obiektami o małej powierzchni. Należy więc przypuszczać, że u gatunków z liśćmi swobodnie pływającymi po powierzchni wody będziemy obserwować silny dobór w stronę małych rozmiarów liści. I rzeczywiście – do rodziny Lemnaceae należą gatunki o niewielkich rozmiarach.

Można również przypuszczać, choć matematyczny model tego procesu jest dopiero przygotowywany, że tempo reprodukcji rzęsy podlega optymalizacji. *L. minor* rozmnaża się przez pączkowanie, ale potomne liście długo pozostają połączone z liściem macierzystym, tworząc w ten sposób łącznie dość dużą powierzchnię asymilującą. Zwiększa to prawdopodobnie tempo wzrostu liści i zmniejsza wydatki energetyczne przypadające na jednostkę masy połączonych liści.

Demony Darwina to organizmy o krótkim okresie wzrostu, które przez to nie różnicują się. Ich populacje nie będą więc podlegać regulacji, zamiast tego charakterystyczny dla nich będzie gwałtowny, wykładniczy wzrost liczebności. Wyraźnie widać to na przykładzie *L. minor*, która nie jest ograniczana przez konsumentów. Gatunek ten osiąga ogromne liczebności, tworząc szczelne kożuchy na powierzchni zbiorników wodnych.

Zmienia to bardzo warunki fizykochemiczne w wodzie pod grubą pokrywą liści *L. minor*, co stanowi katastrofę dla całego układu i wymaga specjalnych przystosowań u gatunków tam żyjących.

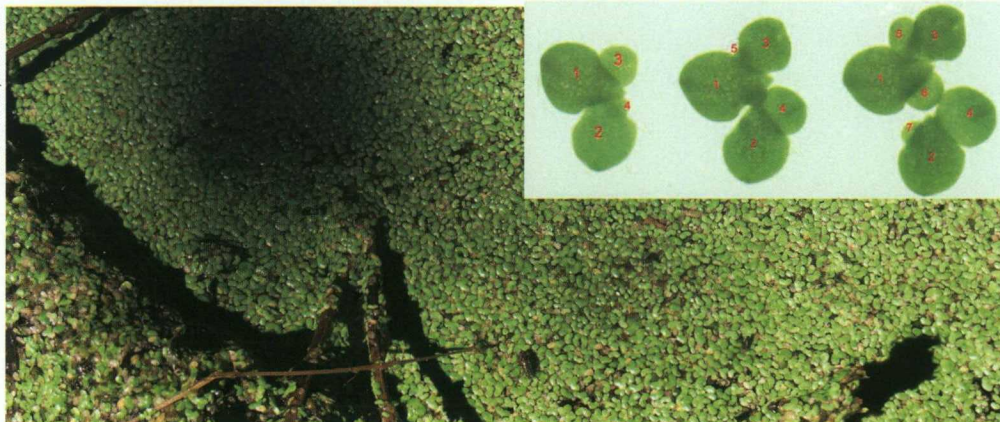
Prawdziwe demony

Zaledwie dwa powyższe przykłady pokazują, że organizmy podobne do demonów Darwina istnieją naprawdę. Nie rozmnażają się przy pomocy gamet, robią to bezpłciowo – przez podział, pączkowanie itp. Są obiektami silnego doboru naturalnego prowadzącego do ograniczenia rozmiarów ciała. Ponieważ są małe i nie potrzebują gamet, więc szybko osiągają rozmiary potrzebne do rozmnażania się i mają wysokie tempo reprodukcji. Poddane presji drapieżników stają się większe, płacąc za to obniżeniem tempa przyrostu klonu. Jeśli drapieżnik nie ogranicza ich liczebności, wtedy populacje demonów Darwina przyrastają wykładniczo, osiągają bardzo wysokie zagęszczenia, i charakteryzują się katastroficzną dynamiką – doprowadzają do wyczerpania zasobów i całkowitego wypełnienia zajmowanej przestrzeni. Dlatego bardzo ważne dla nich są przystosowania pozwalające przetrwać te katastrofy – na przykład zdolność do wytwarzania form przetrwalnikowych. Jak na prawdziwego demona przystało, potrafią to zarówno *Stylaria lacustris*, jak i *Lemna minor*. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

- Kaliszewicz A., Johst K., Grimm V., Uchmański J. (2005). Predation effect on the evolution of life-history traits in a clonal oligochaete. *American Naturalist* 166: 409-417.
- Stearns S.C., Hoekstra R.F. (2000). *Evolution: an introduction*. Oxford University Press.

Janusz Uchmański/Violetta Hawro



Początkowe fazy rozwoju klonu złożonego z osobników (liści) rzęsy *Lemna minor*. Numery ilustrują kolejność pojawiania się liści; liść z numerem 1 jest założycielem klonu. Liście nie rozwijają się synchronicznie i długo utrzymują ze sobą łączność