Inteligencja w biologii

Biologia to nauka o skomplikowanych rzeczach, które sprawiają wrażenie, jakby zostały zaprojektowane w określonym celu. — Richard Dawkins

Inteligencja opiera się na tym, jak skutecznie dany gatunek radzi sobie z czynnościami niezbędnymi do przetrwania. — Charles Darwin

Ziemia pozostaje jedynym znanym miejscem we wszechświecie, w którym istnieje życie. Najwcześniejszy moment pojawienia się form życia na Ziemi to co najmniej 3,77 miliarda lat temu, a prawdopodobnie już 4,41 miliarda lat temu — niedługo po powstaniu oceanów 4,5 miliarda lat temu i po powstaniu Ziemi 4,54 miliarda lat temu. W rezultacie chemia dała początek biologii. Biologia to nauka badająca strukturę, funkcje, występowanie i rozwój organizmów żywych (w tym mikroorganizmów, roślin i zwierząt). Szacuje się, że na naszej planecie żyje od 2 do 4,5 miliona gatunków organizmów żywych. Istnieje wiele innych gatunków, które wymarły, a ich liczba szacuje się na co najmniej 15 milionów. Od głębin morskich po góry, od Arktyki po Antarktydę, od gorących tropików po zimną tundrę, istnieją stworzenia. Ich tryb życia jest zróżnicowany, a także charakteryzują się różnorodnością struktur morfologicznych. Niniejszy rozdział pokrótce omawia proces zgłębiania podstawowego pytania: „czym jest życie", a następnie przedstawia badania nad pytaniem: „dlaczego życie istnieje". Następnie omawiane jest zjawisko inteligencji u mikroorganizmów, inteligencji u roślin i inteligencji u zwierząt. Widzimy, że w procesie promowania stabilności wszechświata na poziomie biologicznym powstała inteligencja biologiczna.

Czym jest życie

W świecie rządzonym drugą zasadą termodynamiki oczekuje się, że wszystkie izolowane systemy osiągną stan maksymalnego nieuporządkowania, jak omówiono w poprzednim rozdziale. Jednak życie na Ziemi utrzymuje wysoce uporządkowany stan, ewoluując od najbardziej prymitywnego stanu bezkomórkowego do prokariontów o strukturze komórkowej oraz od prokariontów do eukariotycznych organizmów jednokomórkowych. Następnie, zgodnie z różnymi kierunkami, pojawiły się królestwa grzybów, królestwa roślin i królestwa zwierząt. Królestwo roślin od glonów do nagich paproci, paproci, nagonasiennych i w końcu okrytonasiennych. Królestwo zwierząt ewoluowało od prymitywnych wiciowców do zwierząt wielokomórkowych, od prymitywnych zwierząt wielokomórkowych do strunowców, a następnie do wyższych strunowców kręgowców. Ryby wśród kręgowców ewoluowały do płazów, a następnie do gadów, od których wyodrębniły się ssaki i ptaki, a jedna gałąź ssaków dalej rozwinęła się w wyższe inteligentne stworzenia, którą jest człowiek. W świecie rządzonym drugą zasadą termodynamiki oczekuje się, że wszystkie izolowane systemy osiągną stan maksymalnego nieuporządkowania, jak omówiono w poprzednim rozdziale. Ponieważ życie zbliża się i utrzymuje wysoce uporządkowany stan, niektórzy twierdzą, że wydaje się to naruszać wspomniane wcześniej drugie prawo, co sugeruje, że istnieje paradoks. (Widzimy, że organizmy rozwijają się i ewoluują w sposób ciągły od jednokomórkowych do wielokomórkowych, od niskocząsteczkowych do wysokocząsteczkowych, od prostych do złożonych i od wodnych do lądowych. Niektórzy twierdzą, że wydaje się to naruszać drugą zasadę termodynamiki, sugerując paradoks). To nie jest paradoks. Chociaż entropia musi rosnąć z czasem w układzie zamkniętym, układ otwarty może utrzymać swoją entropię na niskim poziomie, zwiększając entropię swojego otoczenia. Biosfera jest układem otwartym. W 1944 roku fizyk Erwin Schrödinger argumentował w swojej monografii „Czym jest życie?", że właśnie to musi robić istota żywa, od wirusa do człowieka. Wzrost porządku wewnątrz organizmu jest z nawiązką rekompensowany wzrostem nieporządku na zewnątrz tego organizmu, poprzez utratę ciepła do środowiska. Dzięki temu mechanizmowi przestrzegane jest drugie prawo, a życie utrzymuje wysoce uporządkowany stan. Istnieje koncepcja życia „żyjącego na ujemnej entropii" i

wydobywającego „porządek” ze środowiska, aby utrzymać organizację systemu. To jest również termodynamiczna podstawa życia. Wzrost porządku wewnątrz organizmu znacznie przewyższa nieporządek na zewnątrz organizmu spowodowany utratą ciepła do środowiska. Dzięki temu mechanizmowi, zgodnie z drugą zasadą termodynamiki, życie utrzymuje wysoce uporządkowany stan. Na przykład roślina pochłania światło słoneczne, wykorzystuje je do budowy cukrów i emituje światło podczerwone, które jest znacznie mniej skoncentrowaną formą energii. Całkowita entropia wszechświata wzrasta podczas tego procesu. W miarę jak energia słoneczna rozprasza się w roślinie, system jest bardziej stabilny niż bez rośliny. Po raz kolejny wysoce uporządkowana struktura rośliny jest utrzymywana przed rozkładem, a inteligencja rośliny pojawia się naturalnie w tym procesie stabilizującym.

Dlaczego życie istnieje?

Głębokim i starym pytaniem jest: „Czy pojawienie się życia we wszechświecie było wydarzeniem nieprawdopodobnym, czy nieuniknionym?”. Innymi słowy, czy życie powstało w wyniku przypadku, czy też było przewidywalną i nieuniknioną konsekwencją zjawisk naturalnych? Kwestia ta jest od dawna przedmiotem debaty i jak dotąd nie ma jednoznacznych wniosków. Ludzie mają jednak co najmniej jeden potwierdzony fakt, że w substancjach chemicznych tworzących życie nie ma żadnych szczególnych pierwiastków. Niezależnie od tego, czy chodzi o kwiaty, czy żeń-szeń, mrówki, czy słonie, czy zwykłych ludzi, czy Einsteina, podstawowymi pierwiastkami chemicznymi tworzącymi życie są te cztery: węgiel, wodór, tlen i azot. Potrzebne są również pewne inne pierwiastki, głównie fosfor, siarka, wapń i żelazo. Niektórzy naukowcy uważają, że jeśli Ziemia powróci do swojego pierwotnego źródła i na nowo rozwinie historię życia na Ziemi, wytworzy ona zupełnie nowe gatunki; przeciwnicy uważają jednak, że ewolucja życia jest w dużej mierze wynikiem rozwoju warunków ziemskich do pewnego etapu. Chociaż istnieją różnice, nie są one zbyt duże.

Teoria ewolucji chemicznej

W głównym nurcie nauki przyjmuje się, że życie na Ziemi było nieprawdopodobnym wydarzeniem, które wynikło z nieprawdopodobnego zderzenia molekularnego w pierwotnej zupie, błyskawicy i kolosalnego zbiegu okoliczności. Życie powstało w wyniku szeregu procesów ewolucji chemicznej od nieorganicznej do organicznej, od prostej do złożonej w prymitywnych warunkach ziemskich. Biocząsteczki, takie jak białka i kwasy nukleinowe, stanowią materialną podstawę życia. Pochodzenie tych żywych substancji ma kluczowe znaczenie dla powstania życia. Hipoteza ta głosi, że na pierwotnej Ziemi, pozbawionej życia, z przyczyn naturalnych, materia nieożywiona wytwarza materię organiczną i biocząsteczki w wyniku reakcji chemicznych. Dlatego pytanie o pochodzenie życia jest przede wszystkim pytaniem o pochodzenie organizmów prymitywnych i wczesną ewolucję tych organizmów. W procesie ewolucji chemicznej najpierw powstaje klasa materiałów chemicznych, które następnie tworzą ogólne „jednostki strukturalne”, takie jak aminokwasy i cukry. Substancje żywe, takie jak białka i kwasy nukleinowe, pochodzą z różnych kombinacji tych „cegiełek”. Hipoteza ta opiera się na założeniu, że ewolucja darwinowska jest wyłącznym sposobem adaptacji w przyrodzie, gdzie złożoność i różnorodność można wyjaśnić losowymi mutacjami genetycznymi i doborem naturalnym. Ponieważ zmiana adaptacyjna wymaga genów, pojawienie się życia musiało być wynikiem przypadku, a nie procesu ewolucyjnego. W 1922 roku biochemik Aleksander Iwanowicz Oparin jako pierwszy zaproponował hipotezę ewolucji chemicznej. Uważał, że niektóre substancje nieorganiczne na pierwotnej Ziemi, pod wpływem energii promieniowania słonecznego i piorunów, stały się pierwszymi cząsteczkami organicznymi. Zaproponował, że w pierwotnej zupie odżywczej makrocząsteczki, takie jak polipeptydy, polinukleotydy i białka, będą kondensować się w agregaty, a te agregaty zanurzone w solach i substancjach organicznych mogą stale wymieniać energię i materię ze środowiskiem zewnętrznym. Dzięki „doborowi naturalnemu” katalityczny aparat metabolizmu był udoskonalany z

dnia na dzień, kryptograficzne powiązania między nukleotydami a polipeptydami były stopniowo ustalane, a akumulacja ilościowa doprowadziła w końcu do skoku jakościowego, a życie w końcu się narodziło. W 1953 roku amerykański uczony Stanley Lloyd Miller przeprowadził eksperyment symulacyjny, aby po raz pierwszy zweryfikować hipotezę Obalina za pomocą eksperymentów. Miller symulował skład atmosfery pierwotnej Ziemi w tamtym czasie i syntetyzował organiczne aminokwasy cząsteczkowe poprzez wyładowanie iskrowe i ogrzewanie wodorem, metanem, amoniakiem i parą wodną. Po eksperymencie Millera, wiele innych ważnych biocząsteczek tworzących życie zostało zsyntetyzowanych poprzez symulację warunków atmosferycznych pierwotnej Ziemi, takich jak sacharyna, sacharyna, deoksyryboza, ryboza, nukleozyd, nukleotyd, kwas tłuszczowy, Yelin i lipidy itp. W 1965 i 1981 roku naukowcy w Chinach po raz pierwszy na świecie sztucznie zsyntetyzowali insulinę i kwas rybonukleinowy przenoszący alaninę drożdży. Powstawanie białek i kwasów nukleinowych jest punktem zwrotnym od nieożywionego do ożywionego. Ogólnie rzecz biorąc, proces ewolucji chemicznej życia obejmuje cztery etapy: od nieorganicznych małych cząsteczek do organicznych małych cząsteczek; od organicznych małych cząsteczek do organicznych makrocząsteczek; od organicznych makrocząsteczek do tworzenia wielocząsteczkowych układów, które mogą samowystarczać i rozwijać się; Systemy molekularne ewoluowały w prymitywne życie. Trudnym problemem, którego nie da się dobrze wyjaśnić za pomocą teorii ewolucji chemicznej, jest prymitywne środowisko ziemskie sprzed powstania życia – w jaki sposób natura przekształciła się z małych cząsteczek biologicznych (aminokwasów, nukleotydów) w makrocząsteczki biologiczne (białka, kwasy nukleinowe). Jak zauważa książka „The Mystery of Life's Origin: Reassessing Current Theories": „Nasze osiągnięcia w syntezie aminokwasów były oczywiste dla wszystkich, ale konsekwentnie ponosiliśmy porażki w syntezie białek i DNA; te dwa zjawiska stanowiły silny kontrast". Chociaż wraz z rozwojem nauki możemy syntetyzować niezbędne makrocząsteczki biologiczne w laboratorium z dużą wydajnością, używając maszyn, to jednak eksperymenty syntezy w środowisku przedżyciowym są trudne do przeprowadzenia.

Nieuchronność życia

Przeciwny pogląd, zwany „nieuchronnym życiem", zakładał, że istnieją czynniki, które ograniczają losowy ruch atomów i cząsteczek w sposób, który nieuchronnie gwarantuje pojawienie się życia, gdy tylko warunki na to pozwolą. Systemy biologiczne mogą powstawać, ponieważ efektywniej rozprzestrzeniają lub rozpraszają energię, zwiększając w ten sposób entropię wszechświata. Proces ten był podobny do zjawiska „porządek powstaje z chaosu" w chemii, opisanego w poprzednim rozdziale. W 1995 roku biolog Christian René de Duve, laureat Nagrody Nobla, przedstawił ten pogląd w swojej książce „Vital Dust". Po opublikowaniu jego książki naukowcy z Instytutu Santa Fe i MIT, badający pochodzenie życia, argumentują, że stanowisko de Duve'a powinno być dominujące. W majestatycznym rozmachu i śmiałej spekulacji przedstawia on inspirującą panoramę życia na Ziemi, od pierwszych biocząsteczek, przez pojawienie się ludzkiego umysłu, po przyszłość naszego gatunku. W swojej książce odrzuca on ideę, że życie powstało z serii przypadków, ani nie powołuje się na Boga, przyczyny ukierunkowane na cel ani witalizm, który postrzega istoty żywe jako substancje inspirowane przez ducha życia. Zamiast tego, w niezwykłej syntezie biochemii, paleontologii, biologii ewolucyjnej, genetyki i ekologii, argumentuje na rzecz znaczącego wszechświata, w którym życie i myśl pojawiają się nieuchronnie i deterministycznie ze względu na warunki czasu [5]. Zaczynając od jednokomórkowego organizmu, podobnego do współczesnych bakterii, który pojawił się 380 milionów lat temu, a wszystkie formy życia pojawiają się na Ziemi dzisiaj, przedstawia siedem kolejnych epok odpowiadających rosnącym poziomom złożoności. Przewidział, że nasz gatunek może ewoluować w „ludzki ul" lub planetarny superorganizm, w którym jednostki zrezygnują z części wolności dla dobra wszystkich; lub, jeśli Homo sapiens zniknie, wyobrażał sobie, że zostaniemy zastąpieni przez inny Zastąpiony przez inteligentny gatunek. Po opublikowaniu książki naukowcy z Instytutu Santa Fe i MIT,

badający pochodzenie życia, argumentowali, że jego stanowisko powinno zostać zaakceptowane. W 2016 roku E. Smith i H. Morowitz w swojej książce wysunęli teorię, że życie na Ziemi powstało dzięki materii nieożywionej napędzanej prądami energetycznymi wytwarzanymi przez aktywność geotermalną planety, podobnymi do tych występujących w wulkanach i wewnątrz jądra Ziemi. Życie było nieuniknioną konsekwencją gromadzenia się wolnej energii, prawdopodobnie w obszarach takich jak kominy hydrotermalne w oceanie. Poprzez zniesienie nierównowagi energetycznej poprzez bardziej efektywną dyssypację, życie ukształtowało się jako rodzaj kanału, tak naturalnego jak woda spływająca w dół. Tak jak kanał wyżłobiony w zboczu przez spływającą wodę z czasem staje się coraz głębszy, tak szlak metaboliczny wyżłobiony przez przepływy energii ulega wzmocnieniu i utrwaleniu. Istoty żywe są po prostu bardziej efektywnym sposobem natury na rozpraszanie energii, łagodząc nierównowagę energetyczną, zwiększając entropię wszechświata i w konsekwencji stabilizując wszechświat. Proces samoorganizacji, który doprowadził do powstania życia, obejmował serię „przejścia fazowe", a nie pojedynczy krok. Przejście fazowe to holistyczna zmiana w ogólnym układzie struktury systemu, a w konsekwencji jego funkcji. Możemy postrzegać pojawienie się rewolucji poznawczej człowieka jako przejście fazowe, w którym Homo sapiens (nasi przodkowie) odróżniali się od innych zwierząt. Wraz z serią przejść fazowych organizmy żywe mają bardziej złożone struktury, w szczególności te, które lepiej uwalniają wolną energię i stabilizują wszechświat. Kierując się tą samą szkołą myślenia o „nieuniknionym życiu", profesor z MIT, Jeremy England, i jego zespół przedstawiają podstawowy proces ewolucyjny zwany „adaptacją dyssypatywną", inspirowany fundamentalną pracą Prigogine'a. W swoich pracach pokazali dokładnie, jak prosty system nieożywionych cząsteczek, podobnych do tych, które istniały na Ziemi przed pojawieniem się życia, może zreorganizować się w zunifikowaną strukturę, która zachowuje się jak żywy organizm, pod wpływem ciągłych przepływów energii. Dzieje się tak, ponieważ system musi rozproszyć całą tę energię, aby zniwelować nierównowagę energetyczną. System biologiczny, który metabolizuje energię, aby funkcjonować poprzez reakcje chemiczne, zapewnia skuteczny sposób, aby to zrobić. Wyniki symulacji, które ich studenci wizualnie przedstawiają, jak tak złożony system może wyłonić się z prostych cząsteczek, gdy energia przepływa przez tę materię. Jest to bardzo podobne do wiru, który nieuchronnie powstaje w odpływie. Podczas gdy w badaniu w Anglii wykorzystano symulacje, eksperymenty, w których faktycznie wykorzystano materiały fizyczne, wykazały to samo zjawisko. W 2013 roku grupa naukowców z Japonii wykazała, że samo oświetlenie grupy srebrnych nanocząsteczek światłem (przepływ energii) umożliwiło im złożenie się w bardziej uporządkowaną strukturę, która może skutecznie rozproszyć więcej energii ze światła [9]. W 2015 roku inny eksperyment wykazał podobne zjawisko w świecie makroskopowym. Gdy koraliki przewodzące umieszczono w oleju i uderzono napięciem z elektrody, koraliki utworzyły skomplikowane struktury zbiorowe o „ruchu przypominającym robaka", które utrzymywały się tak długo, jak długo energia przepływała przez system. Autorzy zauważyli, że system „wykazuje właściwości analogiczne do tych, które obserwujemy w organizmach żywych". Innymi słowy, w odpowiednich warunkach, oddziaływanie energią na nieuporządkowany system spowoduje jego samoorganizację i nabycie właściwości, które kojarzymy z życiem. Ta tendencja może tłumaczyć wewnętrzny porządek nie tylko organizmów żywych, ale także wielu struktur nieożywionych. Płatki śniegu, wydmy i turbulentne wiry mają wspólną cechę: są strukturami o uderzająco charakterystycznych wzorach, które powstają w układach wielocząsteczkowych pod wpływem pewnego procesu dyssypatywnego.

Samoreplikacja

Samoreplikacja (lub samoreprodukcja) to kolejna charakterystyczna cecha życia, która napędza jego ewolucję na Ziemi. Cechę tę można również wyjaśnić hipotezą „nieuniknionego życia". Doskonałym sposobem na rozpraszanie większej ilości energii w czasie jest tworzenie kolejnych kopii samego siebie. Naukowcy zaobserwowali już samoreplikację w organizmach nieożywionych. Philip Marcus i jego

zespół z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley opublikowali w „Physical Review Letters" informację, że wiry w turbulentnych płynach spontanicznie się replikują, czerpiąc energię ze ścinania w otaczającym płynie. Michael Brenner z Harvardu i jego współpracownicy przedstawili modele teoretyczne i symulacje mikrostruktur, które samoreplikują się. Te skupiska specjalnie powlekanych mikrosfer rozpraszają energię, łącząc pobliskie sfery w identyczne skupiska. Biorąc pod uwagę fakt, że zarówno organizmy żywe, jak i nieożywione mogą mieć wewnętrzny porządek i mogą się samoreplikować, możemy zauważyć, że rozróżnienie między materią ożywioną a nieożywioną nie jest wyraźne, a wszystkie one jedynie przyczyniają się do stabilizacji wszechświata.

Geometria fraktalna

Aby skutecznie ustabilizować wszechświat, inteligencja naturalnie się pojawi. Jedną z najbardziej zadziwiających struktur w systemach biologicznych jest geometria fraktalna. Wiele systemów naturalnych i biologicznych w naturze obiektywnej ma samopodobną strukturę „hierarchiczną", a w niektórych idealnych przypadkach hierarchia ta ma nawet nieskończoną liczbę poziomów. Gdy odpowiednio powiększamy lub zmniejszamy geometryczne rozmiary obiektów, struktura całej hierarchii się nie zmienia. Wiele złożonych zjawisk fizycznych, chemicznych i biologicznych leży u podstaw geometrii fraktalnej, która odzwierciedla takie struktury hierarchiczne. Geometria fraktalna występuje w systemach naturalnych i biologicznych, w których wymagana jest wydajność, takich jak sieci naczyń włosowatych, struktura pęcherzykowa, powierzchnia mózgu, kolce czy wzory rozgałęzień liści na drzewach. Obiekty fraktalne to złożone struktury budowane za pomocą prostych programów, które wymagają bardzo małej ilości informacji. Ma to wyraźne korzyści dla organizmów, ponieważ muszą one osiągnąć najbardziej wydajne struktury w najbardziej ekonomiczny sposób, aby osiągnąć wiele celów. Co zaskakujące, możliwe jest opracowanie funkcji matematycznych opartych na algorytmach geometrii fraktalnej w celu ich symulacji. Dobrym przykładem geometrii fraktalnej jest rzymski kalafior, pokazany na rysunku, który jest złożonym dziełem sztuki i matematycznym cudem.

Cała głowa składa się z mniejszych głów, które imitują kształt większej głowy, a każda mniejsza głowa składa się z mniejszych, podobnych głów. Ciągnie się, ciągnie, ciągnie... Kalafior prezentuje układ organów z wieloma spiralami zagnieżdżonymi w różnych skalach. W 1975 roku matematyk Benoit B. Mandelbrot ukuł termin „fraktal" . Najlepszym sposobem na opisanie fraktala jest myślenie o jego złożoności; fraktal to kształt, który zachowuje tę samą złożoność, niezależnie od tego, jak bardzo „powiększysz" lub rozmyjesz obraz. Geometria fraktalna to geometria, która przyjmuje nieregularne formy geometryczne za obiekt swoich badań. Mówiąc prościej, fraktal to badanie nieskończenie złożonej geometrii ze strukturami samopodobnymi. W geometrii tradycyjnej badamy wymiary całkowite, takie jak punkty zerowymiarowe, linie jednowymiarowe, powierzchnie dwuwymiarowe, bryły trójwymiarowe, a nawet czterowymiarową czasoprzestrzeń. Natomiast geometria fraktalna bada

nieujemne wymiary rzeczywiste, takie jak 0,83, 1,58, 2,72, log2/log3 (patrz zbiór Cantora). Ponieważ obiekty jej badań są wszechobecne w naturze, geometria fraktalna jest również nazywana „geometrią natury". Geometria fraktalna to nieodłączny porządek matematyczny ukryty pod złożoną powierzchnią natury. Generowanie fraktala matematycznego opiera się na równaniu iteracyjnym, systemie sprzężenia zwrotnego opartym na rekurencji. Istnieje kilka rodzajów fraktali, które można zdefiniować odpowiednio jako wykazujące dokładne samopodobieństwo, półpodobieństwo i statystyczne samopodobieństwo. Chociaż fraktale są konstrukcją matematyczną, można je również znaleźć w naturze, co czyni je klasyfikowanymi jako dzieła sztuki. Fraktale znajdują zastosowanie w medycynie, mechanice gruntów, sejsmologii i analizie technicznej.

Inteligencja mikroorganizmów

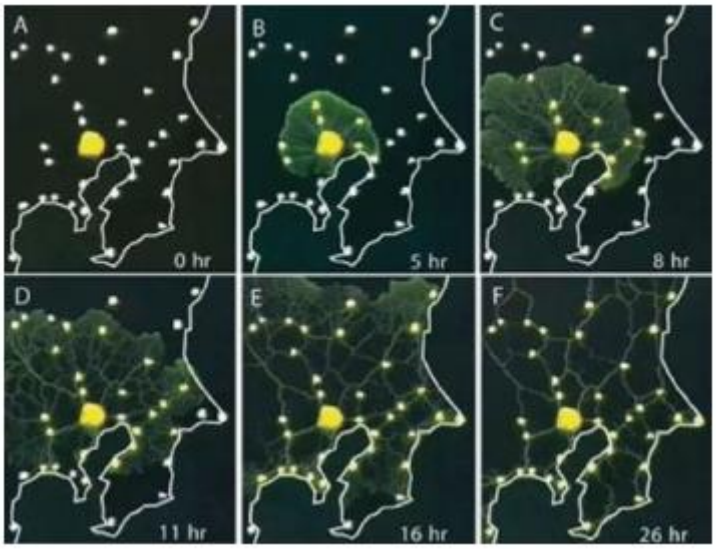
Mikroorganizm

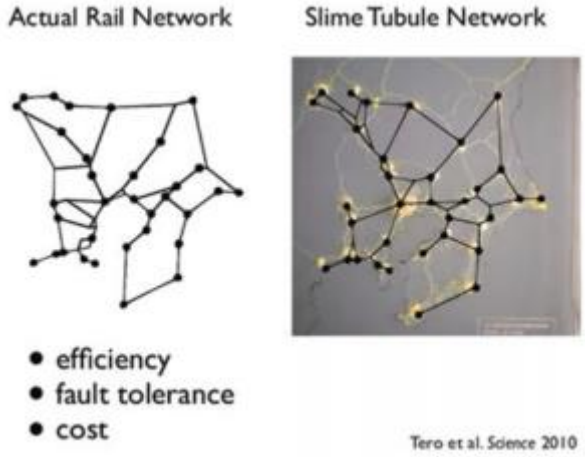
Mikroorganizmy to ogólny termin określający wszystkie drobne organizmy, które trudno dostrzec gołym okiem i można je zaobserwować jedynie za pomocą mikroskopu optycznego lub elektronowego. Do mikroorganizmów zaliczają się bakterie, wirusy, grzyby i kilka glonów. Mają one różne kształty ze względu na zróżnicowane środowisko. Wśród stworzeń we wszechświecie mikroorganizmy pojawiły się jako pierwsze. Wraz z nimi żyją rośliny, zwierzęta, a nawet współcześni ludzie. Ale nawet jeśli istnieją ludzie, nie wymarli. Mikroorganizmy ewoluowały od prokariontów na początku do eukariontów później. Nigdy nie miały jądra komórkowego i ewoluowały, aby je mieć. Mikroorganizmy mają prostą budowę i rozmnażają się niezwykle szybko przez podział. Niektóre mikroorganizmy mogą rozmnażać się nawet przez dziesiątki pokoleń w ciągu jednego dnia. Szybko metabolizują również. To właśnie ta niewiarygodna szybkość reprodukcji, w połączeniu z niskimi wymaganiami środowiskowymi, pozwala mikroorganizmom przetrwać i być wszechobecnymi na naszej planecie. Mikroorganizmy są niezwykle ważne dla ludzi, a jednym z ich skutków jest wywoływanie epidemii chorób zakaźnych. Wiele chorób ludzkich jest wywoływanych przez wirusy. Historia mikroorganizmów wywołujących choroby u ludzi to również historia walki człowieka z nimi. Chociaż poczyniono ogromne postępy w zapobieganiu i leczeniu chorób wywoływanych przez mikroorganizmy, wciąż pojawiają się nowe i nawracające zakażenia bakteryjne. Do tej pory wiele chorób wirusowych nie doczekało się skutecznych leków. Mechanizm patogenetyczny niektórych chorób nie jest jasny. Nadużywanie dużej liczby antybiotyków o szerokim spektrum działania stworzyło silną presję selekcyjną, powodującą mutacje wielu szczepów, co prowadzi do pojawienia się lekooporności i nowych zagrożeń dla zdrowia ludzi. Niektóre segmentowane wirusy mogą mutować poprzez rekombinację lub reasortację. Najbardziej typowym przykładem jest nowy koronawirus, który zaczął krążyć po całym świecie na początku 2020 roku. Wirusy, które ludzie uważają za „nieinteligentne", pochłonęły życie ponad 6 milionów „inteligentnych ludzi" (stan na maj 2022 r.).

Inteligentny śluzowiec

Mikroby są bardzo inteligentne. Na przykład śluzowiec (śluzowiec), ponieważ jako organizm jednokomórkowy, wykazuje niewyobrażalną inteligencję. John Tyler Bonner z Uniwersytetu Princeton powiedział o śluzowcach: „Są niczym więcej niż workiem ameby owiniętym cienką otoczką śluzu, ale mają te same cechy, co mięśnie, nerwy i zwoje nerwowe. Zwierzęta – czyli proste mózgi – mają tę samą różnorodność zachowań". Potrafią nie tylko poruszać się po labiryntach, ale także się uczyć, a nawet symulować układ sztucznych sieci transportowych. Wszystko to opiera się na założeniu, że śluzowce nie mają ani układu nerwowego, ani mózgu. Inteligencja śluzowców po raz pierwszy zwróciła uwagę ludzi, począwszy od słynnego eksperymentu z labiryntem śluzowców. W 2000 roku japońscy naukowcy, tacy jak Nakagaki, przeprowadzili tak interesujący eksperyment. Hodowali śluzowce w normalnym labiryncie, a na początku i na końcu labiryntu umieścili ich ulubione pożywienie, płatki

owsiane. W labiryncie znajdują się łącznie 4 ścieżki o różnej długości, które można połączyć z dwoma źródłami pożywienia – płatkami owsianymi. Na początku eksperymentu naukowcy odkryli, że śluzowce rozciągają swoją cytoplazmę, pokrywając prawie całą płaszczyznę labiryntu. W złożonym labiryncie nie mogły w ogóle ograniczyć swojej inteligencji. Gdy tylko śluzowce znajdą pożywienie, zaczynają powoli wycofywać jego nadmiar, pozostawiając jedynie najkrótszą drogę. W eksperymencie śluzowce zdawały się negocjować i bez wahania wybierały ścieżkę, która zużywała najmniej energii i umożliwiała zdobycie pożywienia. Jeśli uważasz, że śluzowce nie radzą sobie najlepiej z poruszaniem się po labiryntach, to są jeszcze bardziej inteligentne. Warunki na drodze są niezliczoną ilość razy bardziej skomplikowane niż poruszanie się po labiryncie, a znalezienie „optymalnego rozwiązania" nie stanowi dla nich problemu. W oparciu o powyższy eksperyment, w 2004 roku naukowcy zaprojektowali nowy eksperyment, aby przetestować śluzowce. W nowym eksperymencie naukowcy losowo umieścili wiele źródeł pożywienia na płaskiej powierzchni, aby sprawdzić, czy śluzowce również znajdą optymalną ścieżkę do pozyskiwania wielu źródeł pożywienia. W tym pytaniu kluczem jest to, jaki rodzaj obwodu należy stworzyć, aby zapewnić jak najmniejsze zużycie energii i móc zjeść wszystkie te zboża? Ostatecznie śluzowiec spełnił oczekiwania. Sieć, którą utworzył, łącząc punkty, jest niemal optymalną ścieżką w projekcie. Nie myśl, że znalezienie optymalnej ścieżki jest łatwe – ten problem może zawierać niezwykle złożone problemy optymalizacji kombinatorycznej. Złożoność problemu rośnie wykładniczo wraz z liczbą węzłów. Łatwo więc sobie wyobrazić, jak trudne byłoby zaprojektowanie sieci transportowej w realnym świecie. Jednak prawdziwą siłą śluzowców jest to, że potrafią uwzględnić wszystkie aspekty sytuacji, a znaleziona ścieżka nie jest najkrótsza, lecz najlepsza. W dwóch powyższych laboratoriach naukowcy zastanawiali się, czy śluzowiec mógłby zaprojektować bardziej złożoną sieć, sieć kolejową całego obszaru Tokio w Japonii! Wiemy, że system kolejowy w regionie Tokio jest jednym z najwydajniejszych i najlepiej rozplanowanych na świecie. Inżynierowie i personel techniczny poświęcają dużo siły roboczej i zasobów materiałowych na projektowanie. Jednak śluzowiec, jednokomórkowy organizm bez układu nerwowego i głowy, potrzebuje zaledwie kilkudziesięciu godzin, aby gwałtownie się rozrosnąć i może powtarzać wysiłki inżynierów i techników przez dziesięciolecia. W tym laboratorium naukowcy stworzyli duży, płaski pojemnik, który odzwierciedlał kontury obszaru Tokio. Ponadto, zgodnie z właściwościami śluzowców chroniącymi przed światłem, wykorzystano oświetlenie do symulacji otaczającego terenu i linii brzegowej, aby ograniczyć zasięg aktywności śluzowców. Ponieważ rzeczywista sieć kolejowa jest utrudniona przez teren, wzgórza, jeziora i inne przeszkody, naukowcy umieścili następnie największy kawałek płatków owsianych w centrum pojemnika, reprezentujący lokalizację stacji kolejowej w Tokio. Pozostałe 35 małych kawałków płatków owsianych jest rozrzuconych w pojemniku. Te małe płatki owsiane odpowiadają 35 stacjom w tokijskim systemie kolejowym, jak pokazano na rysunkach 2 i 3.





Na początku eksperymentu śluzowce będą próbowały wypełnić płaską powierzchnię pojemnika, aby eksplorować nowe obszary. Po ponad 10 godzinach ciągłej eksploracji i optymalizacji, śluzowiec zaczął optymalizować układ, jakby miał odrobinę zrozumienia. Rury między otworami łączącymi będą się nadal wzmacniać, podczas gdy niektóre rury, które nie są zbyt przydatne dla połączenia, będą stopniowo kurczyć się i zanikać. Po około 26 godzinach ciągłej eksploracji i optymalizacji, śluzowce utworzyły sieć, która bardzo przypomina sieć kolejową w rejonie Tokio. Sieć utworzona przez śluzowca jest repliką Kolei Tokijskiej, nawet bardziej elastyczną niż prawdziwa Kolej Tokijska. Na podstawie eksperymentalnej aproksymacji laboratoryjnej sieci autostrad w 14 regionach geograficznych przez Andrew Adamatzky'ego z University of the West of England i jego współpracowników z całego świata: Australii, Afryki, Belgii, Brazylii, Kanady, Chin, Niemiec, Półwyspu Iberyjskiego, Włoch, Malezji, Meksyku, Holandii, Wielkiej Brytanii i Stanów Zjednoczonych. Jeszcze bardziej niewiarygodne jest to, że sieć utworzona przez śluzowca jest również w wysokim stopniu samonaprawiająca. Na przykład, dopóki jedno ze źródeł pożywienia zostanie usunięte, cała sieć zostanie przeorganizowana zgodnie z poprzednią zasadą „optymalizacji”. Ale jak dotąd, to, w jaki sposób bezmózgi śluzowiec tworzy tę inteligentną sieć, pozostaje nierozwiązaną zagadką. To właśnie z powodu tej „bezmózgiej”, ale wykazywanej mądrości ludzie zastanawiają się, czy będzie to klucz do otwarcia drzwi dla przyszłej sztucznej inteligencji.

Wytrwałe Mikroorganizmy

Naukowcy odkryli, że te same mikroorganizmy „przypominają sobie o komunikacji" ze sobą, gdy ich przetrwanie jest zagrożone. John Woodland Hastings, jeden z twórców chronobiologii na Uniwersytecie Harvarda, zaproponował, że gdybyśmy mogli manipulować transmisją informacji między tymi mikroorganizmami, moglibyśmy spowolnić tempo infekcji bakteryjnych. To nie tylko pozwala pacjentowi szybciej wrócić do zdrowia, ale także uniemożliwia bakteriom produkcję przeciwciał. „Bakterie to bardzo inteligentne organizmy, które mogą żyć w dowolnym miejscu i bardzo szybko adaptować się do nowych środowisk" – powiedział zespół badawczy Satisha Naira, profesora biochemii na Uniwersytecie Illinois. Na przykład Yersinia colitis, jako wirus przenoszony drogą pokarmową, może komunikować się za pomocą sygnałów chemicznych i mogą reagować wspólnie, gdy zmienia się otaczające środowisko. Naukowcy starają się dowiedzieć, jak wykorzystać te sygnały chemiczne do walki z infekcjami bakteryjnymi. Innym sposobem walki z infekcjami bakteryjnymi jest pozwolenie jednemu mikrobowi zabić inny. Brytyjski bakteriolog, biochemik i mikrobiolog Alexander Fleming odkrył penicylinę w 1928 roku. Później, brytyjski patolog Howard Florey i niemiecki biochemik Ernst Boris Chain kontynuowali badania i udoskonalali ją, a także z powodzeniem stosowali w leczeniu chorób u ludzi. Trzy osoby otrzymały Nagrodę Nobla w dziedzinie fizjologii i medycyny. Odkrycie penicyliny umożliwiło ludziom znalezienie leku o silnym działaniu zabijającym bakterie, kończąc erę, w której bakteryjne choroby zakaźne były praktycznie nieuleczalne. Odkrycie penicyliny zapoczątkowało również kulminację poszukiwań nowych antybiotyków i od tego czasu ludzkość wkroczyła w nową erę syntezy nowych leków. Od tego czasu opracowano różne antybiotyki, rozpoczynając wojnę „zabijania" bakterii. Antybiotyki zakłócają zdolność bakterii do rozmnażania się i wzrostu na różne sposoby, zapobiegając wywoływaniu przez nie chorób u ludzi. We współczesnej medycynie stosujemy antybiotyki na co dzień. Niestety, inteligentną cechą bakterii jest to, że potrafią szybko przystosować się do antybiotyków. Po wielokrotnym zastosowaniu antybiotyku bakterie stają się na niego odporne. Nair powiedział, że generalnie prawie każdy rodzaj bakterii jest odporny na co najmniej jeden antybiotyk. Naukowcy odkryli pewne „superbakterie", które blokują wszystkie znane antybiotyki. Tego rodzaju bakterie mogą szybko rozwinąć lekooporność, ponieważ „informują" inne bakterie za pomocą sygnałów chemicznych o antybiotykach, na które były odporne, dzięki czemu te same bakterie rozwinęły lekooporność, dlatego stają się „superbakteriami". Niektórzy badacze uważają, że powszechne stosowanie antybiotyków i ich nadużywanie jest w rzeczywistości nienaukowe, ponieważ antybiotyki nie są dobre ani złe i zabijają dobre bakterie razem. A bakterie, które przeżyją, wytworzą przeciwciała przeciwko antybiotykom i przekażą je innym bakteriom. W ten sposób sposób zabijania bakterii doprowadzi jedynie do powstania silniejszych bakterii. Dlaczego mikroorganizmy, jako „najniższe" formy życia, uważane za nieinteligentne, posiadają tak dużą „inteligencję", że mogą pokonać ludzi i istnieć na Ziemi przez ponad 4 miliardy lat? Z perspektywy wspierania stabilności wszechświata nie jest to trudne do zrozumienia. Wszystko, co robi mikrob, maksymalizuje swoje szanse na przetrwanie i maksymalizuje liczbę potomstwa w przyszłości. Więcej potomstwa generuje większą entropię. Jeśli spojrzymy na poziom chaosu w pokoju dziecięcym, zrozumiemy wkład dziecka w produkcję entropii. Jak widzieliśmy w rozdziale 4, im większa entropia, tym większe prawdopodobieństwo jej wystąpienia, czyli bardziej stabilnego stanu. Z tego punktu widzenia inteligencja mikroorganizmów jest jedynie produktem, który pojawia się w miarę upływu czasu w procesie wspierania stabilizacji wszechświata.

Inteligencja roślin

W 1880 roku Darwin zaproponował pierwszą współczesną koncepcję inteligencji roślin. W dziele „The Power of Plant Movement" doszedł do wniosku, że korzenie roślin mają „moc kierowania ruchem

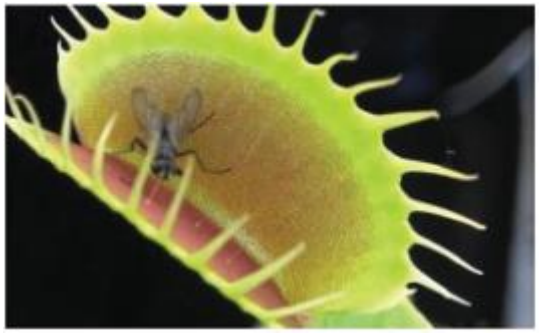
sąsiednich części”. Zatem „podobnie jak mózg niższego zwierzęcia; mózg znajduje się z przodu ciała, odbiera wrażenia z narządów zmysłów i kieruje wieloma czynnościami”.

Zaawansowane Systemy Sensoryczne

Rośliny nie mają oczu, ale potrafią wykrywać światło. Chociaż rośliny nie mają nosa, potrafią wyczuwać zapachy. Dojrzałe owoce to technika powszechnie stosowana w naszym codziennym życiu. Połóż dojrzałe jabłko lub banana z twardym awokado lub kiwi, a dojrzeją bardzo szybko. Powodem tego jest to, że niedojrzały owoc wyczuwa zapach etylenu, który dojrzały owoc emituje do powietrza. W latach 30. XX wieku Richard Gein z Uniwersytetu Cambridge wykazał eksperymentalnie, że wokół dojrzałych jabłek powietrze zawiera etylen. Instytut Boyce'a Thompsona na Uniwersytecie Cornella sugeruje, że etylen jest uniwersalnym hormonem roślinnym, który powoduje dojrzewanie owoców. Mechanizm ten zapewnia, że owoce rośliny dojrzewają w tym samym czasie i są eksponowane razem, niczym na targu owoców dla zwierząt. Jakie są korzyści z jednoczesnego dojrzewania owoców rośliny? Zaletą jest to, że po zjedzeniu owocu przez zwierzę, pomaga ono roślinie w rozsiewaniu nasion, co umożliwia jej rozmnażanie i przetrwanie. Oprócz wzroku i węchu, rośliny mają również smak i dotyk. Zwierzęta używają języków do smakowania pokarmu, a korzenie roślin poszukują w glebie potrzebnych im mikroelementów, takich jak fosforany, azotany i potas. Rośliny mięsożerne, takie jak muchołówka amerykańska i dzbanecznik, istnieją ze względu na swoje zapotrzebowanie na azot. Rośliny mięsożerne wydzielają pachnące i słodkie substancje, aby złapać swoją ofiarę, a po jej zdobyciu produkują enzymy rozkładające składniki odżywcze, które są wchłaniane przez liście i metabolizowane przez schwytane zwierzęta. Zmysł dotyku odgrywa w tym ważną rolę. Rośliny muszą się ze sobą komunikować. Na przykład, Liu Su powiedział, że wiele osób lubi zapach trawników. W rzeczywistości substancje lotne, które tworzą te zapachy, są sygnałami alarmowymi trawy. „Sygnalizuje to, że liść został zaatakowany przez siłę zewnętrzną (często owady w naturze), dlatego konieczne jest poinformowanie sąsiednich źdźbeł trawy o konieczności szybkiej syntezy niektórych substancji obronnych. Jest to sposób komunikacji między roślinami i można go uznać za przejaw inteligencji roślin”. Podobnie jak układ nerwowy zwierząt, rośliny mogą komunikować się ze sobą, dzieląc się wodą i substancjami odżywczymi za pośrednictwem podziemnej sieci grzybów, która wysyła sygnały chemiczne do innych drzew, ostrzegając je o niebezpieczeństwie. Ponadto rośliny mogą sygnalizować za pomocą gazów i feromonów, czyli impulsów elektrycznych w powietrzu i pod ziemią. Na przykład, gdy zwierzę zaczyna żuć liście rośliny, roślina może uwolnić do gleby etylen, ostrzegając inne rośliny, a pobliskie rośliny mogą następnie wydzielać garbniki do liści. Jeśli więc również żują liście, mogą zatruć intruza.

Inteligentne decyzje

Mówiąc o inteligencji roślin, wiele osób powinno pomyśleć o muchołówce amerykańskiej, która potrafi „zjadać owady”, jak pokazano na rysunku 4.



Jest to wieloletnia roślina zielna pochodząca z Ameryki Północnej. Muchołówka amerykańska to bardzo interesująca roślina mięsożerna. Na wierzchu liści ma „skorupkowatą” pułapkę na owady, która

wydziela nektar. Gdy robak włamie się do środka, można go bardzo szybko zacisnąć, a robak zostanie zjedzony, strawiony i wchłonięty. Każde zamknięcie muchołówki amerykańskiej pochłania dużo energii. Jeśli złapana ofiara jest zbyt mała, zjedzone mięso nie zostanie zjedzone w wystarczających ilościach, a nawet jeśli zostanie złapana, strata nie będzie warta zachodu. Aby móc podejmować inteligentne decyzje, muchołówka amerykańska potrafi zapamiętywać bodźce, które otrzymała wcześniej, a nawet „liczyć sekundy". Liście muchołówki amerykańskiej mają regularne włoski na brzegach, podobnie jak ludzkie rzęsy. Inteligentna muchołówka amerykańska nie zamyka niechlujnie klipsów na liście spadające z boku. Jeśli dwa z jej włosków spustowych zostaną dotknięte przez jakiś przedmiot w ciągu około 20 sekund, ostrza zamkną się, co oznacza, że zapamięta, że jeden z nich został dotknięty wcześniej i zacznie odliczać sekundy. Muchołówka amerykańska pamięta również, ile razy włoski spustowe zostały dotknięte. Po złapaniu ofiary muchołówka amerykańska zacznie wydzielać soki trawienne po 5-krotnym dotknięciu włoska spustowego. Nie tylko szybko reagujące rośliny podejmują mądre decyzje. Wszystkie rośliny reagują na zmiany w swoim środowisku. Podejmują decyzje na poziomie fizjologicznym i molekularnym przez cały czas. W środowisku z niedoborem wody, w palącym słońcu, rośliny niemal natychmiast zamykają aparaty szparkowe, uniemożliwiając tym maleńkim porom w liściach ucieczkę wody. Ale czy ta reakcja jest naprawdę „mądra"? Kiedy gąsienice zjadają kukurydzę, tytoń i bawełnę, wytwarzają substancje chemiczne, które przyciągają pasożytnicze osy. Pasożytnicza osa składa jaja wewnątrz gąsienicy, która zjada roślinę. Gąsienica umiera, karmiąc larwy osy. Kwiat ślazowca naśladuje wygląd i zapach samic osy tonyd, aby skłonić samce do zapylenia. Po przybyciu samiec osy zostaje „uwięziony" przez krzyżówkę, a osa pokrywa się pyłkiem i przenosi na inny kwiat. Inteligencja roślin wykracza poza adaptację i reakcję, obejmując obszar aktywnej pamięci i podejmowania decyzji. Bestseller z 1973 roku „Sekretne życie roślin" autorstwa Petera Tompkinsa i Christophera Birda zawiera kilka szalonych twierdzeń. Na przykład rośliny potrafią „czytać w myślach", „odczuwać stres" i „wybierać" zabójców roślin. Monica Gagliano, profesor ekologii ewolucyjnej na Uniwersytecie Australii Zachodniej, przeprowadziła kilka interesujących eksperymentów z doniczkową Mimosa pudicas. Mimoza jest często nazywana „rośliną wstydu" lub „nie dotykaj mnie", ponieważ jej liście składają się do wewnątrz, gdy są niepokojone. Teoretycznie broni się przed każdym atakiem, bezkrytycznie traktuje każdy dotyk lub upadek jako obrazę i wyłącza się. W 2014 roku opublikowała badanie, w którym stwierdziła, że rośliny wstydu „pamiętają", że tak naprawdę nie są niebezpieczne spadając z tak niskiej wysokości i zdają sobie sprawę, że nie muszą się chronić. Wierzy, że jej eksperymenty pomagają wykazać, że „mózg i neurony są złożonym rozwiązaniem, ale nie są niezbędne do uczenia się". Uważa, że rośliny uczą się i zapamiętują. Z kolei pszczoły zapominają tego, czego się nauczyły, po kilku dniach, podczas gdy rośliny wstydu pamiętają prawie miesiąc. Jeśli rośliny mogą „uczyć się", „zapamiętywać" i „komunikować się", to ludzie mogą źle rozumieć rośliny i siebie. Musimy ponownie przeanalizować nasze powszechne rozumienie inteligencji.

Inteligencja u zwierząt

Ludzie od dawna wierzą, że jesteśmy jedynym inteligentnym gatunkiem. Nawet jeśli przyznamy, że inne gatunki zwierząt są inteligentne, izolujemy ludzi od całego królestwa zwierząt. Słynny holenderski psycholog, zoolog i ekolog, prymatolog Frans De Waal, opisał inteligencję różnych zwierząt w książce „Mądry i duch".

Posługiwanie się narzędziami

Umiejętność posługiwania się narzędziami jest uważana za unikalnie ludzki przejaw inteligencji. Niektóre zwierzęta potrafią jednak również wytwarzać narzędzia i z nich korzystać. Badania wykazały, że pewien gatunek szympansa z Republiki Konga poluje za pomocą dwóch gałęzi o różnej długości. Jedna z gałęzi to solidny drewniany kij o długości około 1 metra, a druga to bardzo giętka łodyga trawy.

Jak pokazano na rysunku 5, podczas polowania na mrówki szympansy używają długich drewnianych kijów jako łopat i kopią dziurę, która prowadzi do mrowiska.

Następnie do mrowiska wkładana jest kolejna giętka łodyga trawy, która służy jako przynęta. Mrówki gryzą źdźbło trawy, a następnie szympans wyciąga mrówkę, która gryzie źdźbło trawy jak rybę i zjada ją. Ta kombinacja narzędzi jest niezwykle powszechna. Tak więc użycie narzędzi nie jest wyłącznie ludzką inteligencją. W procesie używania narzędzi, niektóre zwierzęta nawet ćwiczą w myślach przyszłą sytuację użycia narzędzi, a następnie opracowują skuteczne plany działania zgodnie z wyćwiczoną sytuacją. W jednym eksperymencie zoolodzy umieścili orzeszki ziemne w cienkiej rurce w ustalonej pozycji. Aby zwierzęta dostały orzeszki, muszą użyć czegoś, aby wypchnąć orzeszki ziemne z rurki. W eksperymentach eksperymentatorzy przygotowali małpy kapucynki z różnymi narzędziami, od długich i krótkich patyków po elastyczną gumę. Po wielu błędnych próbach małpy w końcu wybrały długi patyczek i użyły długiego patyczka, aby wypchnąć orzeszek ziemny z rurki. Zoolodzy zwiększyli trudność w późniejszych eksperymentach, dodając otwór w środku rurki. Jeśli małpa popchnęła orzeszek w niewłaściwym kierunku narzędziem, wpadł on do słoika, a małpa nie mogła go zdobyć. Po serii nieudanych prób małpa odkryła schemat tego nowego eksperymentu, popchnęła orzeszek w odpowiednim kierunku długim kijem i w końcu udało jej się go zdobyć. Ten eksperyment nie jest łatwy. Ten sam eksperyment przeprowadza się na ludzkich dzieciach. Tylko dzieci po ukończeniu 3 lat mogą skutecznie zdobyć orzeszki ziemne. W tym eksperymencie brały udział również szympansy. Niesamowite jest to, że potrafią one zdobywać orzeszki bezpośrednio i skutecznie, po namyśle, bez prób i błędów, jak małpy kapucynki. Nie tylko ssaki, ale także gady, ptaki, a nawet bezkręgowce mają przykłady używania narzędzi. Wrony nowokaledońskie również potrafią łączyć narzędzia. W ciekawym eksperymencie krótki kij został użyty do zdobycia długiego kija, a następnie długi kij do zdobycia pożywienia. Trzy z siedmiu wron pomyślnie wykonały zadanie za pierwszym razem. W innym eksperymencie sprytne aligatory zbudowały pułapkę, która wykorzystywała pływające gałęzie do przyciągania ptaków wodnych, aby odpoczywały na gałęziach, które następnie unosiły się pod wodą. Jeśli w wodzie jest niewiele gałęzi, oddalają się i zbierają je, aby budować pułapki. Ten gatunek ośmiornicy kokosowej, żyjący w wodach Indonezji, sprytnie zabiera do domu skorupy kokosów i wykorzystuje je jako osłonę, aby bezpiecznie przemieszczać się po dnie oceanu.

Język i socjalizacja zwierząt

Niektórzy uważają, że posługiwanie się językiem to wyjątkowa umiejętność ludzi. Jednak wiele zwierząt również potrafi używać języka do wyrażania swoich myśli. Najczęstszym przykładem jest uczenie się papug, a niektóre z nich są na tyle inteligentne, że potrafią posługiwać się zróżnicowanym słownictwem, co dowodzi, że potrafią łączyć idee i język. W oceanie delfiny również są inteligentnymi stworzeniami, które potrafią posługiwać się językiem. Każdy delfin ma swój własny, charakterystyczny język, który jest dźwiękiem gwizdu o bardzo wysokiej częstotliwości. Młody delfin potrafi wydawać ten dźwięk już w wieku 1 roku i od tego czasu może wskazywać swoją tożsamość. Czasami te gwizdy są

również naśladowane przez inne delfiny, a jeśli zawołany delfin je usłyszy, reaguje. Ten przypadek pokazuje, że zwierzęta również nadają sobie imiona i budują własne sieci społeczne. W sieci społecznej zwierząt występują również pochodne zjawiska kulturowe podobne do tych w sieci społecznej człowieka. Naukowcy odkryli, że w sieci społecznej szympansów występuje wiele interaktywnych zachowań, w tym zachowania związane z transmisją kulturową, które ostatecznie sprawiają, że cała grupa zachowuje się inaczej niż inne grupy. Mogą nawet wymyślić coś, co nazywa się „modą", popularną akcją lub grą. Grupa szympansów w niewoli stale zmienia swoje „modne" zachowanie. Przez pewien czas grupa szympansów ustawiała się w kolumnie, krążąc wokół słupka w tym samym rytmie, delikatnie opuszczając jedną nogę i mocno naciskając drugą. Jednocześnie potrząsając głową, jakby tańczyła. W innym teście eksperymentator grał z szympansami w gry intelektualne. Jeśli ta sama gra była grana wielokrotnie, szympansy były rozproszone, nudziły się i próbowały zmienić grę z eksperymentatorem.