



II MIEJSCE W KATEGORII ZESPOŁOWEJ

Zuzanna Sobańska, Zuzanna Wojewódzka

61

Włochata mysz czy park jurajski?

Podróż w przeszłość na falach
inżynierii genetycznej

W obecnych czasach wiele haseł pozwala wywołać w odbiorcach szereg reakcji, zaczynając od bardzo pozytywnych poprzez całą gamę ambiwalentnych, na odczuciach zgorszenia kończąc. Podobnie wygląda temat wskrzeszania zwierząt. Jednak mowa tutaj nie o nekromancji, ale o przywracaniu wymarłych gatunków (ang. *de-extinction*). Nie biorą w nim udziału wróżki ani jasnowidze, ale interdyscyplinarne zespoły naukowców i pasjonatów nieustannie dążących do przywrócenia do życia

gatunków zwierząt do tej pory uważanych za trwale utracone dla świata. Czy pomysł zakiełkował w myślach naukowców wraz z wypuszczeniem na wielkie ekrany *Parku jurajskiego* w reżyserii Stevena Spielberga, czy może jeszcze wcześniej? Liczne zespoły złożone z biotechnologów, inżynierów, ekologów, a nawet etyków oraz historyków od wielu lat stawiają sobie jeden jedyny cel: opracować bezpieczny i wydajny, a przede wszystkim skuteczny sposób przywracania do życia rozmaitych wymarłych zwierząt.

Mechanizmy pozwalające na wskrzeszenie wymarłych gatunków można – upraszczając – podzielić na „prostsze, ale mniej dokładne” i „trudniejsze, ale doskonalsze”. Jak nietrudno się domyślić, te pierwsze mają większy odsetek sukcesów, przy czym określenie „prostsze” nie znaczy, że są proste. Do tej kategorii można zaliczyć technikę znaną od setek lat, czyli dobór sztuczny (hodowlany). W opozycji do doboru naturalnego, gdzie większą szansę na przetrwanie i rozmnożenie się mają organizmy lepiej przystosowane do warunków środowiska, w hodowli preferowane są jednostki posiadające określone cechy, pożądane z perspektywy człowieka. W rolnictwie mogą to być duże jajka znoszone przez kury albo jabłka słodsze niż inne. W walce o przywracanie wymarłych gatunków stosowana jest tzw. hodowla wsteczna, w której krzyżuje się (czyli rozmnaża) zwierzęta mające cechy wymarłego gatunku, takie, które mogą być jego odległymi potomkami. Kolejne pokolenia mogą być coraz bardziej zbliżone do „oryginału”, czyli przejawiać więcej cech odtwarzanych zwierząt. Sukcesem tej metody jest odtworzenie rasy psa gończego *Rastreador Brasileiro*, która została uznana przez Międzynarodową Federację Kynologiczną za utraconą w 1973 i przywróconą w 2013 roku, choć pamiętajmy, że rasy psów z zasady są wyhodowane sztucznie i nigdy nie występowały w warunkach naturalnych. Trwają również prace nad przywróceniem podgatunku żółwia

słoniowego (*Chelonoidis niger*), który zamieszkiwał Floreanę, jedną z wysp w archipelagu Galapagos. Podgatunek uznano za wymarły w 1850 roku, ale w roku 2012 znaleziono osobniki będące krzyżówkami żółwi z Floreany, czyli mające przynajmniej część cech wymarłych przodków. Pozwoliło to na stworzenie programu wskrzeszenia podgatunku. W 2025 roku wykluły się małe żółwiątka, które są ponoć niemal w 100% genetycznym odpowiednikiem wymarłych żółwi. Szlachetną akcją można wesprzeć (dysponując pięcioma tysiącami dolarów), adoptując żółwika z Floreany. Hodowla wsteczna jest jednak pewną loterią genową, w której ma się nadzieję na jak największą kumulację cech odtwarzanego gatunku. Trudno o uzyskanie organizmów identycznych z wymarłymi. Zdecydowanie większą precyzję oferują tutaj techniki inżynierii genetycznej, czyli zaawansowane techniki pozwalające na budowanie z odcinków DNA niemal jak z klocków.

Ale zanim zagłębimy się w zawłości inżynierii genetycznej, krótki skok w tył. O co chodzi z DNA? Kwas deoksyrybonukleinowy to chemiczny związek w formie długiej nici, który stanowi zapis informacji genetycznej organizmu. Zbudowany jest z małych ogniw – nukleotydów, których kolejność to zakodowana informacja o budowie białek budujących organizm, tak jak kolejność liter stanowi zakodowaną informację o treści słowa. Kiedy uczymy się czytać, uczymy się odczytywać ten kod i wtedy ciągi liter zyskują sens. Tak samo kolejność nukleotydów w nici DNA niesie informacje o tym, do jakiego gatunku należy organizm, jak wygląda i jak się zachowuje. Inżynieria genetyczna pozwala na precyzyjne wycinanie z jednej komórki fragmentów DNA niosących konkretną informację, czyli kodujących określoną cechę, i wklejanie ich do innej komórki. Nowa informacja, włączona w DNA komórki biorcy, zostaje odkodowana, na jej bazie powstaje białko i finalnie – jeśli wszystko poszło dobrze – komórka zyskuje cechę

przeniesioną z komórki dawcy. Takie genetyczne kopiuj-wklej. W 2012 roku ukazała się przełomowa praca zespołu profesorek Jennifer Doudny oraz Emmanuelle Charpentier, dodająca do możliwości inżynierii genetycznej precyzyjne wycinanie odcinków DNA metodą CRISPR-Cas9, zwaną genowymi nożycami. Opracowanie tej metody zostało w 2020 roku docenione Nagrodą Nobla z chemii, a w całej historii znajdziemy także akcent patriotyczny, bo w pracach uczestniczył łódzianin, biolog molekularny Krzysztof Chyliński.

Wróćmy teraz z porywającego nurtu inżynierii genetycznej na spokojniejsze wody wskrzeszania wymarłych gatunków. Opisane wyżej metody, jakkolwiek dość precyzyjne, wymagają bardzo istotnej podstawy – oryginalnego materiału genetycznego, na bazie którego można by odtworzyć sekwencje DNA. W przypadku gatunków, które zniknęły w XX wieku, dostępne są nierzadko fragmenty ich tkanek lub komórki przechowane przez zapobiegliwych naukowców. Dobrze zachowany, kompletny materiał genetyczny pozwala na próby klonowania, czyli na kopiuj-wklej na skalę totalną. W technice tej z żywej komórki jajowej zbliżonego gatunku usuwa się jej materiał genetyczny, zgromadzony w jądrze komórkowym, a następnie zastępuje DNA klonowanego organizmu. Komórkę z podmienionym DNA wszczepia się do macicy matki zastępczej i trzyma kciuki za rozwój zarodka, a potem płodu. Takich prób dokonano z komórkami wymarłego podgatunku koziorożca pirenejskiego (*Capra pyrenaica pyrenaica*), którego ostatnia przedstawicielka zmarła w 2000 roku. Dzięki pozyskaniu i zamrożeniu próbek jej skóry naukowcy mieli dostęp do dobrze zachowanego materiału genetycznego, który umieszczono w pozbawionych jądra komórkowego komórkach jajowych kozy. Matkami zastępczymi były samice koziorożca (tu, uważa – odtwarzany podgatunek należy do gatunku o tej samej polskiej nazwie, koziorożec pirenejski; *Capra pyrenaica* jako

gatunek wciąż hasa po hiszpańskich górach, *Capra pyrenaica pyrenaica* jest podgatunkiem wymarłym) lub krzyżówki koziorożca z kozą. Jakkolwiek procedurę opisujemy tu jako prostą, przedstawiona w liczbach odsłania swoją problematyczność: w jednym z eksperymentów utworzono 497 embrionów, z których 154 umieszczono w macicach 44 zastępczych matek, a tylko jedna ciąża zakończyła się w terminie. Kozłę, urodzone poprzez cesarskie cięcie, przeżyło niestety tylko kilka minut i zmarło na skutek nieprawidłowej pracy płuc. Narodziny żywego kozłęcia, genetycznie identycznego jak odtwarzany osobnik, są jednak jak na razie największym sukcesem klonowania w dziedzinie odtwarzania wymarłych gatunków.

Najnowsze doniesienia na polu prac nad przywracaniem wymarłych gatunków dotyczą najbardziej chyba legendarnych przedstawicieli – mamutów włochatych (*Mammuthus primigenius*). Tu problem zaczyna się od braku wzorca – mamucie szczątki nie są źródłem DNA dobrej jakości, ale udaje się pozyskać materiał genetyczny z głęboko zamrożonych tkanek znajdujących w okolicach Syberii czy północnej Kanady. W 2025 roku opublikowano wyniki badań, w których za pomocą techniki CRISPR/Cas9 uzyskano włochate myszy (*woolly mice*), których futerko – kolor, długość, faktura – oraz przemiana materii, a dokładniej tłuszczu, odpowiadają cechom odkrytym u mamutów. Firma Colossal Biosciences, prowadząca badania, planuje do 2028 roku odtworzyć pierwsze mamuciątko, a docelowo przywrócić gatunek do naturalnego dla niego środowiska arktycznej tundry.

W ostatnich tygodniach świat obiegła informacja o odtworzeniu idealnych kopii wilka straszego (*Aenocyon dirus*), który wyginął blisko 13 tysięcy lat temu i jest jednym z najbardziej znanych drapieżników plejstocenu. Chociaż szczenięta Remus, Romulus i Khaleesi mają się dobrze, to firma Colossal Biosciences nie może się pochwalić skutecznym sklonowaniem

tego gatunku, a jedynie skuteczną strategią marketingową. Owszem, dokonali pewnej modyfikacji genów, ale polegała ona na zmianie genów wilka szarego (wciąż żyjącego gatunku) w taki sposób, aby doprowadzić do powstania szeregu różnic w wyglądzie. Oznacza to, że osobniki przypominają swojego przodka, jednak nie są jego genetyczną kopią. Edytowane metodą CRISP/Cas9 geny odpowiadają m.in. za umaszczenie sierści, wielkość oraz muskulaturę zwierząt.

Zarówno mysz, mająca być krokiem ku przywróceniu mamutów, jak i wilki straszne – ochrzczone już chwytnie przez media wilkorami, mianem fantastycznego gatunku z *Gry o tron* – są jak na razie osiągnięciami rzekomymi, niepopartymi rzetelnymi publikacjami naukowymi, a równocześnie otoczonymi niezwykle szumem medialnym. Ten zestaw cech każe chwilowo przyhamować entuzjazm w kwestii sukcesu przywrócenia tych dwóch gatunków.

Zanim zaczniemy się rozpylić nad wizją powrotu mamutów lub obawiać powrotu wilków strasznych, przyjrzyjmy się zaletom i wadom przywracania do zmienionych środowisk uprzednio wymarłych gatunków. Etycy zwracają uwagę, że jako ludzie odpowiadamy w ogromnym stopniu za proces wymierania, więc naszym moralnym obowiązkiem jako gatunku ludzkiego jest zadośćuczynić za krzywdy wyrządzone planecie i jej ekosystemom. Dodatkowo gatunki odtworzone technologiami inżynierii genetycznej mogą w ogromnym stopniu przyczynić się do odzyskania już i tak mocno zaburzonej bioróżnorodności. Krytycy jednak, jak sami to określają, obawiają się „zabawy w Boga”, tragicznego w skutkach pomniejszania zasobów naturalnych dla wciąż istniejących gatunków zwierząt. Współczesne tereny naturalne nie są przecież przystosowane do wykarmienia stad ogromnych mamutów włochatych. Dodatkowo naukowcy nie są w stanie przewidzieć, jakie choroby mogą być przenoszone przez zwierzęta oraz jak mogą

one wpływać na ekosystem. W ogólnym rozrachunku trzeba również uwzględnić cierpienie zadawane zwierzętom urodzonym w wyniku eksperymentów oraz możliwość wystąpienia u nich chorób oraz deformacji.

Chociaż sam pomysł przywracania wymarłych gatunków zasługuje na powszechną uwagę, to należy rozważyć czy szkody dla środowiska i samych zwierząt nie przeważają nad korzyściami. Oczywiście trzeba podkreślić ogromne zasługi bioinżynierii oraz innych dziedzin nauki, które umożliwiły prowadzenie wyżej opisanych eksperymentów. Do pełni szczęścia (a więc realnego odtworzenia wymarłych gatunków) jest jeszcze daleko, ale kto wie? Może już niedługo pewien nowy gatunek uroczej myszy będzie biegał po mieszkaniach zwykłych ludzi, którzy w tym czasie będą szukali dogodnych terminów na wakacyjny wyjazd do specyficznej wersji parku jurajskiego, gdzie spędzą czas w towarzystwie wskrzeszonych mamutów, żółwi i wilków.

Bibliografia

- Chen R., Srirattana K., Coquelin M. L., Sampaio R. V., Wilson R., Ganji R., Weston J., Ledesma A., Beebe J., Sullivan J., Qin Y., Chao J. C., Papizan J., Mastracci IV A., Bhide K., Mathews J., Oglesby R., Menon M., van der Valk T., Bow A., Cantarel B. L., James M., Kehler J., Dalén L., Lamm B., Church G. M., Shapiro B., Abrams M. E. (2025). Multiplex-edited mice recapitulate woolly mammoth hair phenotypes, *bioRxiv*, 1–68, <https://doi.org/10.1101/2025.03.03.641227>
- Folch J., Cocero M. J., Chesné P., Alabart J. L., Domínguez V., Cognié Y., Roche A., Fernández-Árias A., Martí J. I., Sánchez P., Echegoyen E., Beckers J. F., Bonastre A. S., Vignon X. (2009). First birth of an animal from an extinct subspecies (*Capra*

- pyrenaica pyrenaica*) by cloning. *Theriogenology*, 71 (6), 1026–1034, <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.11.005>
- Jinek M., Chylinski K., Fonfara I., Hauer M., Doudna J. A., Charpentier E. (2012). A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337 (6096), 816–821, <https://doi.org/10.1126/science.1225829>
- Jørgensen D. (2013). Reintroduction and De-extinction. *BioScience*, 63 (9), 719–720, <https://doi.org/10.1525/bio.2013.63.9.6>
- Miller J. M., Quinzin M. C., Poulakakis N., Gibbs J. P., Beheregaray L. B., Garrick R. C., Russello M. A., Ciofi C., Edwards D. L., Hunter E. A., Tapia W., Rueda D., Carrión J., Valdivieso A. A., Caccone A. (2017). Identification of genetically important individuals of the rediscovered Floreana Galápagos giant tortoise (*Chelonoidis elephantopus*) provides founders for species restoration program. *Scientific Reports*, 7 (1), 11471, <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11516-2>
- Odenbaugh J. (2023). Philosophy and ethics of de-extinction. *Cambridge Prisms: Extinction*, 1, e7, <https://doi.org/10.1017/ext.2023.4>
- Tremayne-Pengelly A., *Colossal biosciences CEO dissects the \$10B startup's effort to bring back extinct animals: Interview*, <https://observer.com/2025/03/colossal-biosciences-ceo-sxsw-interview/> (dostęp: 10.04.2025).
- Zimmer C., *Scientists revive the dire wolf, or something close*, <https://www.nytimes.com/2025/04/07/science/colossal-dire-wolf-deextinction.html> (dostęp: 10.04.2025).