



BEARFOTOS/SHUTTERSTOCK.COM

Udomowione kanarki.
Widoczne karotenoidowe
(żółte i czerwone)
zabarwienie kolorowych piór

KOLOROWA PTASIA UKŁADANKA

Naukowcy cały czas szukają odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób i dlaczego u ptaków pojawiły się kolorowe pióra często zdobione ornamentami.

Małgorzata Anna Gazda

Wydział Nauk Biologicznych
Uniwersytet Montrealski

Podobnie jak wygląd u ludzi tak ubarwienie u ptaków odgrywa kluczową rolę przy ich dobieganiu się w pary. Naukowo mówi się o tzw. doborze płciowym. U ptaków najczęściej samce mogą się poszczycić pięknymi, kolorowymi piórami, samice zazwyczaj mają brązowo-szare, niepozorne ubarwienie.

Ważny jest nie tylko sam kolor upierzenia, lecz także forma piór. Niektóre z nich tworzą okazałe ornamenty. Są to np. wyjątkowo długie ogony u rajszych ptaków. Na pierwszy rzut oka wydają się nierozsądnym dodatkiem, ponieważ mogą utrudniać ucieczkę przed drapieżnikiem, co w konsekwencji może spowodować śmierć. Jednak takie ogony robią duże wrażenie na samicach, co zwiększa szanse rozrodu i przekazania swoich genów kolejnym pokoleniom.

Pochodzenie ubarwienia

Pióra ptaków przyjmują wiele żywych kolorów. Ewolucja wypracowała dwa główne mechanizmy, które

tym rządzą: ubarwienie strukturalne i ubarwienie pigmentowe. Pierwsze z nich wynika z fizycznego oddziaływania światła ze strukturami w skali nano, które są obecne na powierzchni. Te niewidoczne gołym okiem chropowatości powodują rozpraszanie światła, a w rezultacie tworzą opalizująco-metaliczne kolory, np. różne odcienie niebieskiego. Takie widzimy m.in. u sikory modrej. Z kolei ubarwienie pigmentowe powstaje na skutek obecności barwników, czyli kolorowych związków chemicznych. Te w różny sposób pochłaniają i odbijają różne fale, które składają się na światło białe – te składowe można zaobserwować, podziwiając tęczę. Odbite fale światła wywołują w nas wrażenie barwy. Bardziej nasycone kolory mogą świadczyć o połączeniu mechanizmów strukturalnych i pigmentowych.

Ubarwienie ptaków jest wywoływane przez różnorodne barwniki. Zalicza się do nich turacyny (czerwony, zielony, niebieskozielony, czerwono-fioletowy), psittakofulwiny (czerwony, różowy, pomarańczowy, żółty), pterydyny (żółty, pomarańczowy). Jednak najbardziej rozpowszechnionymi barwnikami wśród wielu gatunków ptaków są melaniny i karotenoidy. Pierwsze z nich dają kolor czarny, szary i brązowy. Karotenoidy zaś – żółty, czerwony i pomarańczowy. Tych ostatnich w naturze opisano ponad 750 rodzajów. Jednak tylko niewielka ich część jest wykorzystywana przez ptaki, które nie potrafią ich samodzielnie syntetyzować w organizmie. Pozyskują je z pokarmu, którym są nasiona i owoce.

Ubarwienie piór oparte na karotenoidach jest powszechne u ptaków i występuje u prawie połowy (około 40 proc.) gatunków ptaków śpiewających (*Passeriformes*) i nielicznych (13 proc.) gatunków nieśpiewających. Wydaje się, że ewolucja upierzenia bazującego na tych barwnych związkach zachodziła wielokrotnie w sposób niezależny u współczesnych ptaków. Najwcześniejsze, obecnie znane pochodzenie tego rodzaju pigmentacji karotenoidowej piór sięga 56 mln lat wstecz, do przodka współczesnych ptaków śpiewających. Oprócz możliwości ubarwienia piór i tkanek (np. skóry i tłuszczu) karotenoidy biorą udział w wielu procesach biologicznych. Jednym z nich jest antyoksydacja, czyli oczyszczanie organizmu z niebezpiecznych cząsteczek zwanych wolnymi rodnikami, które mogą uszkodzić komórki. Biorą udział także w odpowiedzi immunologicznej i produkcji witaminy A. Ponadto – mimo że pigmentacja karotenoidowa jest zaangażowana w selekcję płciową i może sygnalizować, że dany osobnik nadaje się na partnera do rozrodu – z ich ilością organizm ptaka nie powinien przesadzać. Wysokie stężenia karotenoidów działają negatywnie. Potwierdzają to badania pokazujące wpływ barwników na stres wynikający z nadmiaru produkowanych wol-

nych rodników u pustulek i zmniejszenie wydajności lotu u amerykańskich szczygłów.

Genetyczno-biochemiczne puzzle

Od strony biochemicznej można spojrzeć na ubarwienie ptaków w różny sposób: pod kątem przetwarzania barwnych cząsteczek i odkładania ich w tkankach we własnym organizmie, regulacji ilości pigmentu i możliwości jego rozkładania oraz biochemicznych przemian prowadzących do przetwarzania jednego rodzaju pigmentu w drugi. Za każdy z przedstawionych procesów biochemicznych odpowiadają konkretne cząsteczki, których struktury są zakodowane w genach ukrytych w DNA komórki. Naukowcy starają się ułożyć te elementy w jedną układankę. Obecnie dla każdej z wyżej wymienionych przemian udało się dopasować odpowiedni „genetyczny puzzle”. Jeśli chodzi o możliwość odkładania pigmentu, gen odpowiedzialny za tę przemianę został zbadany u kanarków. Porównywano białe, nieposiadające takiej zdolności ptaki tego gatunku oraz barwne, które miały karotenoidowe ubarwienie. Naukowcy znaleźli gen odpowiedzialny za to zjawisko znany pod nazwą SCARB1. Innym genem, tym razem kontrolującym ilość odkładanych karotenoidów w tkankach, przez rozbijanie ich na drobniejsze cząsteczki, jest BCO2. Koduje on enzym, który rozkłada znany m.in. z marchewki β -karoten. Rola tego genu wiąże się także z dichromatyzmem płciowym ptaków, czyli wcześniej opisywaną różnicą ubarwienia oby płci. Przykładami takich widocznych różnic jest seryna europejska.



dr Małgorzata Anna Gazda

Pracuje na stanowisku adiunkty na Wydziale Nauk Biologicznych Uniwersytetu Montrealskiego. Jej badania łączą w sobie biologię ewolucyjną, genetykę, genomikę i ekspresję genów ptaków. Uzyskała doktorat w dziedzinie bioróżnorodności, genetyki i ewolucji na Uniwersytecie w Porto. Pasjonatka metabadań, dbałości o jakość naukowej dokumentacji fotograficznej i metadanych. malgorzata.anna.gazda@umontreal.ca

Czyż czerwony – gatunek ptaka wykorzystany do stworzenia czerwonych kanarków



LUKE MCKENNA UK/SHUTTERSTOCK.COM



1

Fot. 1
Sikora modra z widocznym strukturalnym ubarwieniem piór (kolor niebieski)

Fot. 2
Wielobarwny rajski ptak z charakterystycznym długim ogonem

Chcesz wiedzieć więcej?

Praca doktorska autorki:
www.proquest.com/openview/ea29f1d8073f123f71dba54032e0ba63/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y

Price-Waldman R., Caswell Stoddard M., *Avian Coloration Genetics: Recent Advances and Emerging Questions*, „Journal of Heredity” 2021, vol. 112(5), doi: 10.1093/jhered/esab015.

Campagna L., Toews D.P.L., *The genomics of adaptation in birds*, „Current Biology” 2022, vol. 32(20), doi: 10.1016/j.cub.2022.07.076. PMID: 36283387.

Courtier-Orgogozo V., Arnoult L., Prigent S.R., Wiltgen S., Martin A., *Gephebase, a database of genotype–phenotype relationships for natural and domesticated variation in Eukaryotes*, „Nucleic Acids Research” 2020, vol. 48(D1), doi: 10.1093/nar/gkz796.

Samce tego ptaka inaczej zwanego kulczykiem mają kuper, piersi i czoło w kolorze żółtocytrynowym, a brzuch biały. Samice są bledsze i sprawiają wrażenie zielonoszarych. Wreszcie nie tak dawno dwie grupy naukowców zbadały niezależnie dwa znane ze sklepów zoologicznych gatunki ptaków. Mowa o kanarkach i zeberkach. Opisali w ich DNA gen o nazwie CYP2J19. Jest on niezbędny do przekształceń biochemicznych karotenoidów, które m.in. sprawiają, że żółty barwnik zmienia się w czerwony. Jednak jak okazało się później – sam CYP2J19 jest niewystarczający do przeprowadzenia tego procesu. Lukę w coraz bardziej skomplikowanej układance została wypełniona dzięki komputerowym analizom danych o ekspresji genów w elementach światłoczułych oka zlokalizowanych w siatkówce. Brakującym elementem zmieniającym kolory okazał się gen o nazwie BDHIL. Odkrycie tego puzzla pokazało, że proces ten jest dwuetapowy.

Wraz z odkryciem kluczowej roli BDHIL naukowcy przeszledzili genetyczne źródło jeszcze jednej kolorowej odmiany ptaka. Tym razem analizowali pomarańczową odmianę gatunku, który zazwyczaj jest czerwony. Chodzi o papuzika czerwonicę. Odkryto, że zmutowana wersja genu (TTC39B) jest ściśle związana z jego pomarańczową odmianą. Co ciekawe, osobniki z takim ubarwieniem mają także inne „czerwone” braki. W komórkach światłoczułych oka brakuje im czerwonych barwników odpowiedzialnych za widzenie części kolorów. Oznacza to, że te ptaki postrzegają świat inaczej niż pozostałe. Ponadto stwierdzono, że ten element układanki (TTC39B) znacznie zwiększa produkcję czerwonych ketokarotenoidów w hodowli komórkowej, gdy może współpracować z dwoma kolejnymi genami – CYP2J19 i BDHIL. Układanka więc nadal się powiększa, ale wraz z jej wzrostem kolejne luki są bardziej widoczne.

Czerwony kanarek

Jednak mimo ograniczonej wiedzy na temat molekularnych mechanizmów rządzących ubarwieniem w sklepach zoologicznych można dostać wiele różnych ciekawych ptaków, ryb i innych gatunków. Wielką różnorodność kolorów, form, śpiewu, wielkości hodowcy uzyskują w procesie sztucznej selekcji. Nie wymaga on szczegółowej wiedzy molekularnej, tylko znajomości podstawowych praw dziedziczenia. Polega na tworzeniu par do rozrodu z osobników, które mają pożądane cechy. Ponieważ amatorom zwierząt domowych marzył się czerwony kanarek, profesjonalni hodowcy ptaków podjęli się takiego wyzwania. W naturze są one zazwyczaj szaro-brązowo-żółte. Z kolei uzyskane metodami hodowli mogą mieć różnorodne barwy – od białego, przez żółte, po szare bądź brązowe. Czerwona odmiana powstała na skutek sparowania żółtego kanarka i czyżka czerwonego. Ten drugi jest również niewielkim, 10–11-cm ptakiem, u którego samce mają jaskrawoczerwone zabarwienie. Ich potomstwo skrzyżowano następnie z żółtymi kanarkami. Finalnie cały proces zakończył się sukcesem, a więc uzyskaniem czerwonej odmiany kanarków. Co ciekawe, w tym procesie powstała też inna, nowa rasa kanarków – kanarki mozaikowe. Charakteryzują się one sporym dymorfizmem płciowym. Ubarwienie samców na głowie, skrzydłach i ogonie jest dużo intensywniejsze niż u samic.

Naukowcy, badając zagadnienia kolorów upierzenia ptaków, tworzą coraz większą bazę wiedzy. Ta komplikuje się ze względu nie tylko na widoczne coraz wyraźniej luki, lecz także ujawniające się powiązania, ponieważ geny odpowiadające za kolor upierzenia są również odpowiedzialne za różnorodne procesy w każdym organizmie. ■

Artykuł powstał w ramach realizacji grantu z Uniwersytetu Montrealskiego, nr FN406095.



2