

# METODY CHEMICZNEJ OBRONY U PTAKÓW

Łukasz Dylewski (Poznań)

Zwierzęta stosują najróżniejsze strategie i taktyki, by nie stać się pokarmem drapieżników. Przykładami takich zachowań antydrapieżniczych są: odwodzenie drapieżnika poprzez udawanie, pokazywanie swojej siły, nękanie czyli mobbing, freezing czyli zastygnięcie, tanatoza – udawanie śmierci, kontrcieniowanie, obrona zespołowa czy też wzajemne ostrzeganie się. Jednakże najbardziej zdumiewającą formą obrony zwierząt przed drapieżnikami jest wykorzystywanie przez nie substancji trujących oraz wyewoluowanie specjalnych struktur tj. pazurów, harpunów, żądeł, koleców, zębów jadowych, a także gruczołów wydzielających substancje toksyczne. Taka strategia wiąże się jednak z wyższymi kosztami energetycznymi, jakie te zwierzęta muszą ponieść na ich produkcję. Chemiczną obronę zaobserwowano u wielu gatunków zwierząt bezkręgowych, jak i u kręgowców. Zwierzęce związki toksyczne, zwane zootoksynami dzieli się na dwie grupy: jady zwierzęce i trucizny zwierzęce. Jady zwierząt zazwyczaj służą do zdobywania pokarmu lub czynnej obrony, dochodzi wtedy do ich aktywnej iniekcji. Trucizny zwierząt również działają obronnie, jednakże w sposób bierny, odstraszały. Wiele różnych związków toksycznych sklasyfikowano pod kątem miejsca działania w organizmie. Wyróżnić można neurotoksyny działające na układ nerwowy, hemotoksyny zaburzające proces krzepnięcia krwi, miotoksyny uszkodzające błonę włókien mięśniowych, hemorraginy wywołujące uszkodzenia ścian naczyń krwionośnych, hemolizyny uszkodzające błonę erytrocytów, kardiotoxyny zaburzające pracę serca, nefrotoksyny działające niekorzystnie na funkcjonowanie nerek i nekrotoksyny wywołujące obumieranie tkanek.

Wśród kręgowców toksyczność występuje u ryb, [np. rozdymka tygrysa (*Takifugu rubripes*)], płazów, gadów, ptaków i ssaków [np. rzęsorek rzeczek (*Neomys fodiens*), almik haitański (*Solenodon paradoxus*), dziobak (*Ornithorhynchus anatinus*)]. Bardzo spektakularnymi gatunkami są żaby *Phyllobates* sp., rodzaj płazów z rodziny drzewołazów (*Dendrobatidae*); u tych południowo amerykańskich płazów odkryto silnie działającą toksynę – batrachotoksynę, przyswajaną poprzez zjedanie trujących chrząszczy, mrówek i dwuparców. Batrachotoksyna jest organicznym związkiem o budowie steroidowej zaliczanym do

neurotoksyn. Jej działanie powoduje porażenie mięśni, zaburzenia oddychania i zatrzymanie akcji serca. Związki toksyczne zawarte w organizmach roślinnych jak i zwierzęcych, są wykorzystywane przez różne plemiona w Ameryce Południowej. Wydzielana przez liściołaza żółtego (*Phyllobates terribilis*) batrachotoksyna wykorzystywana była do zatruwania strzał przez niektóre plemiona południowoamerykańskie. Wyrobem „zatrutych strzał” zajmowali się również Indianie Waika, jednakże stosowali oni związki toksyczne zawarte w roślinie *Virola theiodora* należącej do rodziny muszkatolowcowatych. Bycie toksycznym nie chroni jednak w stu procentach przed drapieżnikami, u niektórych gatunków ptaków i ssaków wytworzył się mechanizm radzenia sobie z potencjalnie toksyczną ofiarą. Płazy, a zwłaszcza ropuchy, zawierają w swoich gruczołach przysuszonej toksynę – bufoninę, co potencjalnie sprawia, że gatunki ropuch są niejadalne. Niektóre osobniki dzierzby srokosza (*Lanius excubitor*) wypracowały zdumiewający mechanizm radzenia sobie z toksycznymi związkami ropuch. Ptaki te oskórowują swoją ofiarę i dzięki tej czynności pozbywają się toksycznych związków zawartych w skórze.

Chemiczna obrona występuje wtedy, kiedy indywidualne zachowania muszą prowadzić do użycia toksyn, by powstrzymać drapieżniki i pasożyty. Brower wymienia dwie kategorie obrony chemicznej u ptaków: 1. wydzielanie bądź gromadzenie toksyn, które mogą przyczyniać się do śmierci drapieżnika 2. występowanie w ich ciele związków powodujących wyłącznie przykry smak bądź nieszkodliwe działanie na organizm, np. antranilan metylu wywołuje u drapieżnika awersję działając poprzez specyficzne receptory. Ptaki mogą uzyskać toksyczność na trzy możliwe sposoby: 1. z diety, 2. z symbiotycznych lub pasożytniczych mikroorganizmów zawartych w swoim organizmie oraz 3. bezpośrednio ze środowiska zewnętrznego np. pozostawianie przez mrówki kwasu mrówkowego na piórach ptaka. Jedynym dotychczas gatunkiem, u którego stwierdzono symbiotyczne bakterie w wolu, jest kośnik czubaty (*Opisthocomus hoazin*) zamieszkujący rejony Ameryki Południowej. Z powodu swojego piżmowego odoru produkowanego dzięki mikroorganizmom jest praktycznie nieruszany przez drapieżniki.

## Toksyczne ptaki z nowej gwinei

Literatura podaje 15 gatunków ptaków, u których naukowcy dowiedli lub też wyizolowali specyficzne związki chemiczne. Z początkiem lat 90-tych dwudziestego wieku Dumbacher (1992) po raz pierwszy wykazał występowanie toksyczności u małego ptaka z rodzaju fletowców (*Pitohui*) dzięki zawartości w jego skórze silnie działającego alkaloidu o nazwie homobatrachotoksyna. Odkrycie to było znaczące nie tylko poprzez wykazanie rzadko uwzględnianych mechanizmów obronnych ptaków, ale także przez samo wyizolowanie odpowiedzialnego za to związku chemicznego. Ostatecznie Dumbacher wykazał toksyczność u 5 gatunków z rodzaju *Pitohui*, a mianowicie u fletowca rdzawego (*P. ferrugineus*), fletowca czarnego (*P. nigrescens*), fletowca kapturowego (*P. dichrous*), fletowca zmiennego (*P. kirhocephalus*), fletowca czubatego (*P. cristatus*), jak również u modroglówki (*Ifrita kowaldi*).



Ryc. 1. Fletowiec kapturowy (*Pitohui dichrous*). Źródło: <http://myths-made-real.blogspot.com/2013/03/killer-cute-hooded-pitohui.html>.

Homobatrachotoksyna zawarta w skórze tych ptaków w kontakcie z innym organizmem zakłóca gospodarkę jonów sodu poprzez depolaryzację włókien nerwowych i komórek mięśniowych. Kanały sodowe są otwarte podczas fazy spoczynkowej przez godzinę. Samo wdychanie puchu tych ptaków może wywołać gwałtowne podrażnienie błon śluzowych i układu oddechowego, kaszel i kichanie, a dotknięcie piór wargami ust powoduje podrażnienie, pieczenie, a potem chwilowe znieczulenie tej okolicy ciała. Wśród

rdzennych mieszkańców Nowej Gwinei wiadome było, że konsumpcja tych ptaków wywołuje negatywne skutki, dlatego zaprzestali na nie polować.

Ptaki z rodzaju *Pitohui* są jaskrawo zabarwione, ich przeważające barwy to spalona pomarańcza, żółć i czerń występujące w formie demonstracyjnych wzorów. Podobne ubarwienie ciała u fletowców, może być przykładem mimikry Mullera, w której gatunki zwierząt niebezpiecznych, zarówno zdolnych do chemicznej obrony, jak i wykorzystujących toksyny do zdobywania pokarmu, upodabniają się do siebie. Rezultaty tego procesu obserwować można w cechach morfologicznych, anatomicznych czy behawioralnych.

Jaskrawa barwa i wzory na ciele mogą pomóc drapieżnikowi przypomnieć sobie doświadczenia z przeszłości po skonsumowaniu podobnej ofiary, która okazała się toksyczna. Niektóre drapieżniki z natury unikają ofiary z rzucającym się w oczy kolorem i wzorem. W stadach mieszanych *Pitohui* stają się stadnymi liderami, a pozostałe ptaki podążają za nimi.

Naukowcy dowiedli, że zawarte w skórze toksyny nie tylko chronią te ptaki przed potencjalnymi drapieżnikami, ale również przed ektopasożytami. Ponadto toksyny obecne w wysokim stężeniu na piórach, szczególnie dolnej strony ciała, dostają się na powierzchnię wysiadywanych jaj i chronią je przed drapieżnikami, szczególnie różnymi gatunkami węży. Najwyższa koncentracja homobatrachotoksyny poza skórą notowana była w piórach, sercu i wątrobie oraz odnóżach. Na pytanie jaki mechanizm fizjologiczny chroni te ptaki przed działaniem wysokiej koncentracji homobatrachotoksyny w ich ciele nie ma jednoznacznej odpowiedzi. Prawdopodobnie jest to skutek braku wrażliwości kanałów sodowych na działanie homobatrachotoksyny u tych gatunków, co mogłoby się wiązać z mutacją punktową w genach kodujących białka tego kanału.

Analiza DNA dowodzi, że rodzaje *Pitohui* i *Ifrita* nie są ze sobą blisko spokrewnione, natomiast dwa najbardziej toksyczne gatunki - fletowiec kapturowy (*P. dichrous*) i fletowiec zmienny (*P. kirhocephalus*) tworzą monofiletyczną grupę. Fletowce ewoluowały zbieżnie pod wieloma względami. Wszystkie gatunki z rodzaju *Pitohui* oprócz *P. incertus* posiadają toksyny w skórze. Po drugie są aktywnymi przywódcami stad mieszanych. Po trzecie są podobnej wielkości i zbliżonej morfologii.

### Toksyny absorbowane z pokarmem

Toksyny mogą być tworzone w organizmie *de novo*, być produkowane przez symbiotyczne mikroorganizmy lub pobierane z diety.

Różne gatunki zwierząt, które uodporniły się na działanie toksyn pochodzących od roślin i zwierząt, są w stanie gromadzić je w swoich tkankach. Na przykład przepiórka (*Coturnix coturix*) jest w stanie akumulować toksyny zawarte w szczwole plamistym (*Conium maculatum*). Dzieciół duży (*Dendrocopos major*) i dzieciół zielony (*Picus viridis*), żywiące się owadami, głównie mrówkami, mogą nabywać od nich substancji odstraszających.



Ryc. 2. Modroglówka (*Ifrita kowaldi*) Źródło: <http://www.aviceda.org/abid/birdimages.php?p=2&action=birdimage&bid=1109&fid=69&page-size=1>.

Najważniejszą jednak kwestią było dowiedzenie jak owe ptaki uzyskują toksyczną homobatrachotoksynę dla swojego organizmu. Jak wykazały badania, ptaki z różnych obszarów Nowej Gwiney mają różną koncentrację tego związku, u niektórych obserwowano nawet znikomą zawartość toksyn. Wskazuje to więc, że owe ptaki nie dziedziczą genów produkujących białka pozwalające dalej tworzyć truciznę *de novo*, tylko najprawdopodobniej pozyskują toksynę z pożywieniem. Głównym źródłem toksyn okazały się gatunki chrząszczy z rodziny *Melyridae*. Z 391 zebranych chrząszczy z rodziny *Melyridae*, niewielkie ilości homobatrachotoksyny wykryto u gatunków *Chorseine pulchra* i *Chorseine semiopaca*. Z badań wynika, że gatunki powyższych chrząszczy uzyskują toksynę z pokarmu roślinnego, z którego wykorzystują fitosterole. Fitosterole ulegają w ich organizmie modyfikacji we właściwy związek działający toksycznie na inne organizmy.

Gatunki tych chrząszczy posiadają na bocznych segmentach 1–6 wystających pęcherzyków oraz dodatkowe duże pęcherzyki przedtułowiowe, w których gromadzi się wydzielina. Analiza zawartości 49 żołądków u czterech gatunków nowogwinejskich

ptaków z rodzajów *Pitohui* i *Ifrita* potwierdziła obecność chrząszczy z rodzaju *Chorseine*, jednakże stwierdzono w nich również występowanie fragmentów innych owadów, wijów, pajęczaków oraz nasion.

Wyniki tychże badań wskazują, że chrząszcze z rodzaju *Chorseine* mogą być prawdopodobnym źródłem toksyn u fletowców.

### Obrona chemiczna – aspekt ewolucyjny

Chemiczna obrona ptaków prawdopodobnie ewoluowała tymi samymi mechanizmami tj. naturalnej selekcji i dostosowania. Ukierunkowana selekcja doprowadziła do ewolucji toksyczności dwoma alternatywnymi drogami: 1) kooptacji, czyli przysposabianiem się pewnych istniejących już, złożonych struktur do nowych funkcji oraz 2) doboru krewniaczego. Oleje produkowane w żołądkach u rurkonosów (*Procellariiformes*) jako źródło pokarmu dla młodych, służyć mogą również jako potencjalny mechanizm obronny do odstraszenia drapieżnika zbliżającego się do gniazda. Natomiast wydzielina gruczołu kuprowego u ptactwa wodnego, bogata w alifatyczne monestry utworzone z kwasów tłuszczowych i alkoholi monohydroksylowych, służy nie tylko do ochrony piór przed zawilgoceniem i produkcji witaminy D, ale również przyczynia się do hamowania wzrostu bakterii. Obrona chemiczna u ptaków mogła rozwijać się także poprzez dobór krewniaczy, wzmacniający adaptacje na toksyny. Ponadto rozprzestrzenianiu się cechy toksyczności mogło sprzyjać pozostawianie toksycznych osobników przez drapieżniki. Drapieżnik uczył się, która ofiara może być potencjalnie toksyczna i unikał jej.

### Podziękowania

*Prof. dr hab. Piotrowi Tryjanowskiemu dziękuję za uwagi do wcześniejszych wersji maszynopisu. Praca powstała w ramach zajęć seminaryjnych na kierunku „Biologia stosowana” realizowanych w Instytucie Zoologii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.*