

MECHANISMS OF COLOR CHANGE IN *FURCIFER PARDALIS*

Iulia-Melisa CIORA*

West University of Timisoara, Faculty of Chemistry, Biology, Geography, Department of Biology, Pestalozzi 16, Timișoara

*Corresponding author e-mail: iulia.ciora04@e-uvv.ro

Received 7 december 2025; accepted 28 December 2025

ABSTRACT

Furcifer pardalis, a species native to Madagascar, possesses a unique ability in the animal kingdom: color change. This process is essential for camouflage, communication, and thermoregulation, with rapid color changes that play a significant role in social interactions. Color changes are achieved through the mobilization of guanine nanocrystals within the iridophores of the superficial skin layer, producing a wide range of hues by altering the distance between the crystals. This study provides general information about the panther chameleon, explains how this animal achieves its remarkable color transformation and explores the importance of this mechanism.

KEYWORDS: *Furcifer pardalis*, dynamic coloration, guanine nanocrystals, iridophores, color change

1. Schimbarea coloritului în lumea vie
2. Generalități despre cameleonul panteră
3. Cum își schimbă *Furcifer pardalis* culoarea?
4. Importanța mecanismului de schimbare a coloritului

1. Schimbarea coloritului în lumea vie

Animalele nu au o colorație atât de fixă pe cât se crede. Multe animale își schimbă culoarea de-a lungul vieții, în funcție de dezvoltarea pe care o au sau ca și răspuns la diverse variații ale mediului, disponibilitatea hranei, ritmurile circadiene sau sezonul de împerechere (Keren-Rotem și colab., 2016). Acest tip de schimbare al coloritului poartă numele de schimbare morfologică a culorii, realizându-se pe perioade mai îndelungate de timp (Dollion și colab., 2020). Schimbarea morfologică a culorii se poate realiza prin anabolismul sau catabolismul unor pigmenti, prin modificarea numărului de cromatofori existenți în țesuturi sau prin regenerarea țesuturilor moarte (părul, penele, solzii sau cuticula) care conțin diverși pigmenti (Detto și colab., 2008). Cu toate acestea, în lumea animalelor există indivizi ce își pot schimba culoarea în câteva ore sau chiar într-o fracțiune de secundă (Bagnara și Hadley, 1973; Ligon și McCartney, 2016). Acest tip de schimbare al coloritului a fost observat la insecte, arahnide, crustacee, cefalopode, pești, amfibieni, reptile, precum și la anumite păsări. Fenomenul poartă numele de schimbare

fiziologică a culorii și se realizează, de obicei, prin mobilizarea pigmentilor sau a nanostructurilor din cadrul unor celule specializate numite cromatofori, precum și prin contracția sau extinderea acestor celule. Schimbarea fiziologică a culorii este mediată de hormoni sau neurotransmițători (Ligon și McCartney, 2016; Dollion și colab., 2020).

Cromatoforii sunt celule colorate, clasificați în mod general după culoarea lor principală, dar, mai precis, sunt desemnați prin mecanismele lor de producere a culorii sau prin intermediul tipurilor de pigmenti sau structuri pe care le conțin (Aspengren și colab., 2009). Există două mari categorii de cromatofori: cei pigmentari, care generează culoare prin absorbția selectivă a anumitor lungimi de undă ale luminii și cei structurali, ce produc culoare prin reflectarea și împrăștierea anumitor lungimi de undă, cu ajutorul unor nanostructuri celulare (Ligon și McCartney, 2016). În categoria cromatoforilor pigmentari există trei tipuri predominante regăsite la vertebratele care își schimbă culoarea: melanoforii negri-maronii (care conțin melanină), eritroforii roșii și xantoforii galbeni (ambii conținând fie carotenoide sau pteridine, fie o combinație a celor două) (Aspengren și colab., 2009). Mai mult, există două tipuri de cromatofori structurali: iridoforii incolori și leucoforii, care reflectă lumina albă (ambele tipuri de cromatofori conținând purine) (Bagnara și Hadley, 1973). Sub epidermă, cromatoforii maturi se asociază la nivel funcțional unii cu alții și formează „unități de cromatofori dermici”. Această unitate încorporează melanofori, eritrofori, xantofori și iridofori într-un sistem celular izolat și este considerată a fi unitatea fundamentală a schimbării fiziologice a culorii la vertebrate (Bagnara și Hadley, 1973; Aspengren și colab., 2009). Cu toate că unitatea de cromatofori dermici poate fi privită ca un singur element în procesul de generare al culorii, culoarea reflectată efectiv este rezultatul celor patru tipuri de cromatofori care îndeplinesc roluri distincte prin reorganizarea dinamică și coordonată a pigmentului. În general, eritroforii sau xantoforii absorb lungimile de undă mai scurte ale luminii incidente ce ajunge la nivelul unității de cromatofori dermici, iar lungimile de undă rămase sunt fie reflectate înapoi de iridofori, fie sunt absorbite de melanofori (Bagnara și Hadley, 1973). Gradul de contribuție al fiecărui tip de cromatofor, la culoarea observată a pielii, este determinat de starea de dispersie și aglomerare a pigmentului, precum și de densitatea relativă a fiecărui tip de cromatofor (Ligon și McCartney, 2016).

2. Generalități despre cameleonul panteră

Furcifer pardalis (Cuvier, 1829), cunoscută popular sub denumirea de cameleon panteră, face parte din regnul Animalia, încrengătura Chordata,

subîncręgătura Vertebrata, supraclasa Tetrapoda, clasa Reptilia, ordinul Squamata, familia Chamaeleonidae, genul *Furcifer*.

Această specie de cameleon este originară din insula Madagascar (FIG. 1), fiind răspândită pe întreaga insulă, dar având o abundență mai ridicată pe coastele estice, în zona central-nordică, precum și pe cele nord-vestice ale insulei (Andreone și colab., 2005).

Cameleonul panteră are un colorit aparte, care prezintă variații în funcție de zona de proveniență. Astfel, se remarcă faptul că speciile de *Furcifer pardalis* din insula Nosy Be (NV Madagascar) sunt de culoare verde-albastru, verde smarald sau turcoaz. Totodată, masculii de pe coasta nord-vestică sunt de obicei roz intens, având o dungă alb-gălbuie pe lateralele corpului, de unde au primit denumirea de "panterele roz". De asemenea, masculii pot fi portocalii, roșii sau verde închis, cu o mare varietate de pete, dungi și benzi la nivelul capului, precum și în jurul ochiilor.



FIG. 1. Distribuția geografică a speciei *Furcifer pardalis*
(https://species.m.wikipedia.org/wiki/File:Furcifer_pardalis_distribution.png).

În cadrul speciei se remarcă dimorfismul sexual, astfel încât masculul (FIG. 2) este semnificativ mai mare, ajungând la lungimea totală de 40 cm, are o varietate mai mare de culori și modele, iar baza cozii acestuia este mai groasă și umflată, datorită prezenței hemipenisului. Totodată, masculul dispune de creste rostrale umflate, ce se află poziționate deasupra botului

pentru a forma o protuberanță rostrală concavă – un "corn fals". Femela (FIG. 3), pe de altă parte, este mult mai mică, de aproximativ 20 cm, având o culoare mai uniformă, de obicei verde pal sau roz, iar baza cozii este semnificativ mai subțire. Protuberanța rostrală este slab reprezentată la femele, fiind mai apropiată de o ridicătură ușoară decât de un corn. Impedimente majore apar în determinarea sexuală a juvenilor sub 6 luni datorită dimensiunilor mici și a coloritului mai puțin viu (https://animaldiversity.org/accounts/Furcifer_pardalis/#45441c35f49cc367205277875d92e3e0; <https://www.chameleons.info/en/furcifer-pardalis/>).



FIG. 2. *Furcifer pardalis* – mascul (insula Nosy Be) (Andreone și colab., 2005).



FIG. 3. *Furcifer pardalis* – femelă (insula Nosy Be) (Andreone și colab., 2005).

Față de alți cameleoni, precum cei din genul *Calumma* (Gray, 1865) care preferă pădurile tropicale și umede sau cei din genul *Brookesia* (Gray, 1865) ce populează atât pădurile tropicale umede, cât și pe cele de foioase, *Furcifer pardalis* este mai puțin abundent în păduri virgine sau păduri dense, preferând habitatele antropice și zonele deschise precum marginile pădurilor, malurile râurilor sau vegetația existentă de-a lungul drumurilor. În insula Nosy Be condițiile ecologice și vegetația dispusă la marginea drumurilor se aseamănă în mare măsură cu habitatele existente de-a lungul râurilor, specia fiind foarte abundentă în acest loc. Această preferință pentru vegetația riverană sau „de drum” poate fi asociată cu necesitatea speciei de a coloniza spații deschise, unde să se poată încălzi la soare și să comunice vizual, cu ajutorul coloritului, cu femelele (în timpul sezonului de împerechere) sau cu alți masculi pentru a-și stabili teritorii (Andreone și colab., 2005).

Cameleonul panteră este o specie carnivoră (insectivoră) a cărei dietă se bazează pe nevertebrate terestre, insecte și păsări mici. Eficiența pe care o are în obținerea hranei se datorează unor abilități speciale, printre care se numără: posibilitatea de a-și roti și focaliza ochii separat, limba cu particularități unice, precum și capacitatea de a se camufla pe baza schimbării coloritului. Limba îi oferă un avantaj enorm cameleonului datorită lungimii sale impresionante (uneori poate depăși lungimea lor corporală), precum și structurii musculare de forma unui clopot, acoperită cu mucus, ce apare pe vârful acesteia și care acționează ca o ventuză (<https://animalia.bio/index.php/panther-chameleon>).

Specia este ovipară și poligină, astfel încât un mascul se poate împerechea cu mai multe femele. În perioada de împerechere, masculii curtează femela, proces ce include expunerea unor culori vii și o serie de mișcări bruște ale capului. Femelele care nu sunt interesate sau care sunt gravide pot fugi sau pot înfrunța masculul suierând, ridicându-se pe picioarele din spate și balansându-se pentru a-l descuraja. Însă, dacă femela este interesată masculul se va urca pe ea, cuprinzând-o de lateralele corpului și poziționându-se fie în dreapta acesteia, fie în stânga. Copulația în sine se produce prin inserția unuia dintre cele două hemipenisuri, pe care le are masculul, în cloaca femelei. Sezonul de împerechere are loc din ianuarie și până în mai. Perioada de gestație este de 3-6 săptămâni, interval în care femelele își schimbă coloritul obișnuit într-unul maro sau negru cu dungi portocalii, pentru a semnaliza că nu au intenția de a se împerechea. Femelele depun între 10 și 40 de ouă, pe care le îngroapă pentru a ascunde locația cuibului. Perioada de incubație ține aproximativ 240 de zile. Femela și masculul nu oferă nicio investiție parentală după depunerea ouălelor. Femela va încerca să protejeze ouăle îngropate de prădători, ascunzând locația

cuibului cu ramuri și frunze, dar aceasta este ultima ei implicare, iar puii vor fi independenți imediat după eclozare. Juvenilii ating maturitatea sexuală după 6 luni de la eclozare. Speranța de viață a acestei specii este între 3 și 5 ani în sălbăticie, putând atinge până la 8 ani în captivitate în funcție de modul în care este îngrijită

(https://animaldiversity.org/accounts/Furcifer_pardalis/#45441c35f49cc367205277875d92e3e0; <https://animalia.bio/index.php/panther-chameleon>).

Cameleonii din Madagascar sunt foarte căutați pe piața internațională pentru animale de companie, motiv pentru care au fost introduși pe listele CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora), ce reglementează traficul cu animale și plante pe cale de dispariție. Cu excepția: *Furcifer lateralis* (Gray, 1831), *Furcifer pardalis* (Cuvier, 1829), *Furcifer oustaleti* (Mocquard, 1894) și *Furcifer verrucosus* (Cuvier, 1829), a căror exportare este permisă, căci nu sunt considerate a fi specii pe cale de dispariție, cameleonii din Madagascar nu pot fi comercializați (Andreone și colab., 2005). *Furcifer pardalis* este comercializată cu precădere la nivel internațional ca animal de companie datorită coloritului aparte și ușurinței cu care se reproduce în captivitate. Cu toate acestea, cameleonul panteră nu este o specie protejată și este clasificat ca și specie cu risc mic de extincție pe Lista Roșie a IUCN (International Union for Conservation of Nature) (<https://www.iucnredlist.org/species/172955/6947909#use-trade>).

3. Cum își schimbă *Furcifer pardalis* culoarea?

Cameleonii reprezintă un subiect aparte pentru studiul colorării dinamice, deoarece spre deosebire de organismele care suferă schimbări localizate de culoare, aceștia prezintă schimbări mult mai complexe (Ligon și McGraw, 2013; Ligon, 2014). Dacă la majoritatea vertebratelor schimbarea fiziologică a culorii se realizează prin dispersia sau aglomerarea organitelor care conțin pigmenți, din interiorul cromatoforilor, în cazul peștilor, amfibienilor și reptilelor, reglarea rapidă și activă a nuanței pielii implică mai degrabă componente structurale decât pigmentare, adică mai multe straturi nano-reflectoare cu indici de refracție alternanți, mari și mici, care generează o interferență a undelor luminoase (Aspengren și colab., 2009; Teyssier și colab., 2015). Pentru reptile, amfibieni și pești, un rol esențial în schimbarea coloritului îl au iridoforii care conțin nanocristale transparente de guanină, responsabile de generarea unei mari varietăți de culori (Teyssier și colab., 2015).

Iridoforii fac parte dintr-o categorie generală de „cromatofori ce reflectă lumina”. Aceste structuri se deosebesc de altele încadrate în aceeași categorie, precum leucoforii, prin faptul că pot reflecta spectre specifice de

lumină (Ligon și McCartney, 2016). Totodată, modul în care acești cromatofori generează culoarea este unul aparte în lumea vie. Iridoforii, ce au în componența lor straturi de cristale incolore de guanină, generează schimbarea fiziologică a culorii prin modificarea, fie a luminozității, fie a reflectanței relative a culorilor ce sunt percepute (Bagnara și Hadley, 1973). Modul de aranjare modificabil, atât al straturilor, precum și al cristalelor de guanină, combinat cu indicii lor de refracție (n) ridicat, generează o formă dinamică de colorație structurală. Pe lângă guanina ce se regăsește abundant în iridofori, aceștia conțin și alte substanțe precum: adenina, hipoxantina și acidul uric. Cristalele de guanină conferă straturilor reflectorizante ale iridoforului un indice de refracție ridicat, de $n=1,83$ (aproximativ 75% din indicii de refracție al diamantului, considerat materialul care refractă cel mai bine lumina) (Fujii și colab., 1991). Capacitatea de reflexie totală a iridoforului este amplificată de indicii de refracție pe care îl are citoplasma ($n=1,33$) în care se regăsesc straturile de cristale de guanină. În cazul iridoforilor ce sunt implicați în schimbarea fiziologică a culorii, această reflectivitate este rezultatul interferenței dintre straturile nano-reflectorizante de materiale cu indici de refracție alternativi mari (guanina) și mici (citoplasma) (Denton și Land, 1971). O mare influență asupra culorilor ce vor fi observate o au și dimensiunea, forma și orientarea cristalelor de guanină, pe lângă diferențele dintre indicii de refracție ai straturilor de citoplasmă și guanină (Ligon și McCartney, 2016).

Combinând tehnici de histologie, microscopie electronică și videografie fotometrică cu modelarea numerică (numerical band-gap modelling), se demonstrează faptul că, în cazul cameleonilor, iridoforii au evoluat în două populații suprapuse, ce prezintă atât morfologii cât și funcții diferite: stratul superior generează schimbarea rapidă a culorii structurale, reglând activ distanța dintre nanocristalele de guanină, în timp ce populația de iridofori situată mai în profunzime reflectă lumina, în special în domeniul de infraroșu apropiat. Apariția a două straturi funcțional diferite de iridofori reprezintă o noutate evolutivă, ce permite unor specii de cameleoni să combine camuflajul cu o expunere dramatică a coloritului, ajutând, în același timp, și la moderarea consecințelor termice date de radiațiile solare intense (Teyssier și colab., 2015).

Pe baza analizelor de spectroscopie Raman se demonstrează prezența, la nivelul pielii cameleonului, a două tipuri de cromatofori închiși la culoare, care conțin melanină, respectiv un pigment albastru, nedefinit. Deși indivizii din specia *Furcifer pardalis*, de ambele sexe și toate vârstele își pot modula luminozitatea pielii dispersând acești pigmenti, masculii adulți se caracterizează suplimentar printr-o variație extraordinar de mare a coloritului (cu diverse combinații: alb, roșu, verde și albastru) și abilitatea lor de a-și

schimba rapid tonalitatea pielii. La întâlnirea unui competitor sau a unei femele receptive, masculul își folosește din plin această abilitate, iar coloritul său se modifică de la verde înspre galben sau portocaliu, petele, inițial albastre, devin albicioase, pe când zonele cu colorit roșu se modifică foarte puțin. Pentru a analiza *in vivo* răspunsul optic generat de pielea indivizilor masculi în timpul confruntărilor cu alți competitori, se utilizează fotometria (RGB) roșu-verde-albastru aplicată pe videoclipuri de rezoluție înaltă. În diagrama de cromaticitate CIE (International Commission on Illumination – Comisia Internațională pentru Iluminare) se observă o trecere treptată de la porțiunile albastre înspre cele verzi și apoi spre cele roșii ale spectrului electromagnetic vizibil (FIG. 4.a). Această schimbare a coloritului nu poate fi explicată doar prin dispersia sau aglomerarea pigmentilor ce se găsesc în cadrul cromatoforilor, analizele de microscopie electronică cu transmisie (TEM) dovedind că în spatele acestui proces de modificare al culorii se găsesc două straturi suprapuse de iridofoari (FIG. 4.b) care conțin cristale de guanină cu dimensiuni, forme și organizări diferite (FIG 4.c și 4.d).

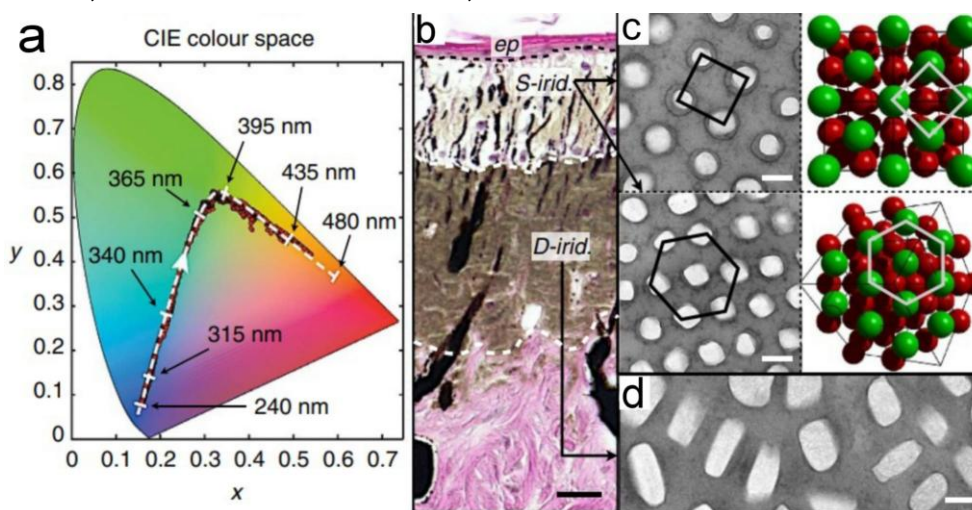


FIG. 4. Tipurile de iridofoari ai cameleonului panteră: (a) punctele roșii arată evoluția în timp în diagrama de cromaticitate CIE a unui mascul cu pielea verde; linia albă întreruptă reprezintă răspunsul optic primit în cadrul simulărilor numerice ce utilizează o rețea cubică centrată pe fețe (FCC – face-centred cubic) a cristalelor de guanină, parametrul rețelei fiind indicat prin intermediul săgeților negre. (b) secțiune transversală prin piele albă colorată cu hematoxilină și eozină, ce evidențiază epiderma (ep) și cele două straturi suprapuse de iridofoari. (c) imagini de microscopie electronică cu transmisie (TEM) ale nanocristalelor de guanină din iridofoarii S, aflați în stare excitată, precum și un model tridimensional al unei rețele FCC, afișat în două orientări spațiale diferite. (d) imagine de microscopie electronică cu transmisie (TEM) a nanocristalelor de guanină din iridofoarii D (Teyssier și colab., 2015).

Stratul superior este complet dezvoltat doar în pielea masculilor adulți (la femele și în cazul juvenililor fiind mai redus) și este alcătuit din iridofori, numiți iridofori superficiali (S), cu cristale mici de guanină ce sunt organizate într-o rețea triunghiulară (FIG. 4.c). Aranjamentul alternant de materiale cu indici de refracție mari (guanina) și mici (citoplasma) are potențialul de a se comporta asemenea unui cristal fonic. Prin compararea mai multor imagini de microscopie electronică cu transmisie (TEM) realizate pe baza probelor de piele albastră sau verde (în stare de repaus) cu cele obținute pe baza probelor de piele galbenă sau albă (în stare excitată) ale aceluiași individ, se observă că dimensiunea cristalelor din iridoforii S nu se modifică, dar distanța dintre cristalele de guanină prezintă variații, fiind, în medie, cu 30% mai mică în probele de piele din starea de repaus decât în cele de piele în stare excitată (FIG. 5.a). Ținând cont de faptul că până și cele mai mici schimbări ale geometriei într-un cristal fonic pot genera modificări ale coloritului, s-a întocmit ipoteza că *Furcifer pardalis* poate trece de la o culoare vibrantă la alta modificându-și distanța dintre cristalele de guanină din cadrul iridoforilor S (Teyssier și colab., 2015). Atunci când distanța dintre cristalele de guanină se mărește, se generează un „răspuns LR” – răspunsul de reflexie al luminii cu lungime de undă lungă (rezultând culorile oranj și galben), iar în caz contrar, la apropierea cristalelor de guanină, se generează un „răspuns SR” – răspunsul de reflexie al luminii cu lungime de undă scurtă (rezultând nuanțe de albastru și verde) (Ligon și McCartney, 2016). Totodată, în pielea cameleonilor panteră se găsesc și xantofori, ce conțin pigmenți galbeni. Așadar, creșterea distanței medii între nanocristalele de guanină din pielea cameleonilor în stare excitată, poate determina schimbarea reflectivității selective a iridoforilor S de la lungimi de undă scurte (albastru) la lungimi de undă mari (roșu sau infraroșu) și astfel se realizează schimbarea coloritului de la verde la galben sau oranj. De asemenea, se observă că în pielea roșie, stratul de iridofori S rămâne bine dezvoltat, dar mulți dintre acești iridofori sunt înlocuiți de eritroforii cu pigment roșu, motiv pentru care, în timpul excitației, nuanța pielii roșii nu se schimbă, doar luminozitatea acesteia crește (Teyssier și colab., 2015).

Pentru a demonstra că modificările ce apar în structura rețelei de nanocristale de guanină sunt responsabile pentru schimbarea coloritului la *Furcifer pardalis*, mostrele de piele în stare excitată (albă/galbenă) au fost puse în contact cu soluții hipertone, cu scopul de a se genera o presiune osmotică, ce ar putea determina contractarea rețelei de nanocristale, pielea trecând la starea sa de repaus (verde/albastră). În urma acestui experiment s-a putut observa o deplasare spre albastru a reflectivității iridoforilor S (FIG. 5.b). De asemenea, urmărirea celulelor pe parcursul creșterii osmolarității extracelulare (ce reprezintă concentrația totală de particule dizolvate într-un

fluid din exteriorul celulelor) arată faptul că celulele individuale suferă o schimbare treptată a coloritului, ce se desfășoară pe întreg spectrul vizibil (FIG. 5.c). Așadar, expansiunea sau contractarea rețelei fotonice în iridoforii S este suficientă pentru a explica modificările reversibile de culoare observate *in vivo* (Teyssier și colab., 2015).

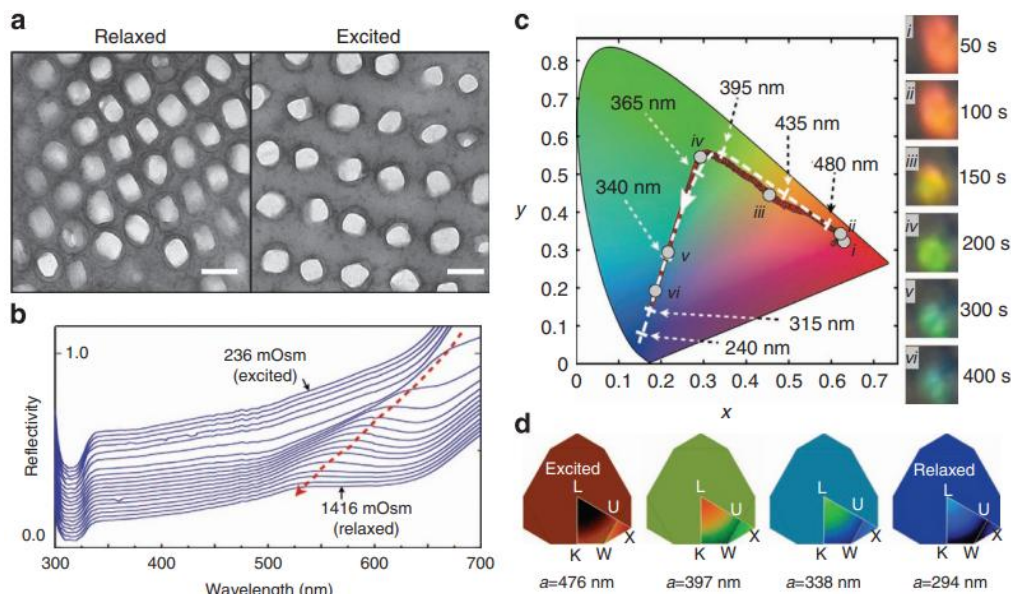


FIG. 5. Schimbarea culorii pielii *in vivo* la cameleoni este reprodusă *ex vivo*: (a) imagini de microscopie electronică (TEM) a rețelei de nanocristale de guanină din iridoforii S ai aceluiași individ, într-o stare relaxată și excitată; această transformare, precum și răspunsul optic corespunzător sunt redată *ex vivo* prin manipularea osmolarității pielii albe (de la 236 la 1.416 mOsm): (b) reflectivitatea unei probe de piele (pentru o vizibilitate mai bună a celor 19 curbe de reflectivitate, acestea sunt deplasate cu 0,02 unități pe axa y) și (c) evoluția temporală (în diagrama de cromaticitate CIE) a culorii unei celule individuale (inserțiile i-vi); ambele prezintă o schimbare puternică înspre albastru (săgeata roșie punctată în (b)), așa cum se observă *in vivo* în timpul schimbării coloritului pe bază comportamentală; linia albă întreruptă (c) reprezintă răspunsul optic în simulările numerice (FIG. 4.a), cu parametrul de rețea indicat prin săgețile punctate; presiunea osmotică crescută corespunde cu relaxarea comportamentală a cameleonului, astfel încât, se poate observa ordinea inversă (săgeata albă din graficul de culori CIE – (c)) de evoluție temporală, de la roșu spre verde și mai apoi la albastru, comparativ cu FIG. 4.a. (d) variația răspunsului fonic simulat al culorii pentru fiecare vârf al zonei ireductibile de Brillouin de ordin primar (culoarea uniformă, din afara zonei de Brillouin, indică media dintre toate direcțiile) este prezentată pentru patru valori ale parametrului de rețea ale cristalului fonic modelat; L-U-K-W-X sunt puncte de simetrie standard (Teyssier și colab., 2015).

Cu ajutorul modelării numerice (numerical band-gap modelling) a răspunsului optic generat de cristalul fonic, se simulează culorile produse de un cristal de guanină ce are o organizare într-o rețea cubică centrată pe fețe (FCC). Distanța dintre cristalele din rețea a fost măsurată pe imagini de

microscopie electronică cu transmisie (TEM), imagini realizate pentru mostre de piele în stare atât excitată, cât și de repaus, de diferite culori. Zona Brillouin ireductibilă a fost împărțită (FIG. 5.d) și structura de bandă fonică a fost calculată pentru fiecare vârf al acesteia, cu ajutorul unor tehnici numerice pe domeniul frecvenței. Zona Brillouin este un concept fundamental în fizica solidelor, folosit pentru a descrie structura rețelilor cristaline și comportamentul undelor electronice sau undelor de vibrație (fotoni) în aceste rețele. În structura unui cristal, atomii sunt dispuși într-o rețea periodică, iar zona Brillouin reflectă modul în care undele fonice se propagă prin această rețea și cum se comportă în funcție de direcțiile și frecvențele respective. În cadrul acestui experiment se observă faptul că există o mare similitudine între culorile simulate și cele observate *in vivo* (FIG. 4.a), precum și între cele simulate și cele obținute în timpul experimentelor cu presiune osmotică (FIG. 5.c) (Teyssier și colab., 2015).

În pielea cameleonilor mai este prezent un strat de iridofori, situați sub iridoforii S, denumiți iridofori de adâncime (D), care conțin cristale de guanină de dimensiuni mai mari, de formă rectangulară și oarecum dezorganizate (FIG. 4.d). Populația de iridofori D este prezentă la toți indivizii speciei *Furcifer pardalis*, indiferent de sex sau vârstă. În cadrul experimentelor cu presiune osmotică nu a fost observată vreo schimbare de colorit (în intervalul vizibil) la nivelul acestui strat, sugerând că principala funcție pe care o au iridoforii D nu este corelată cu schimbările de culoare ale pielii. Pe baza unor măsurători realizate se constată faptul că 45% din energia radiației solare, în intervalul de infraroșu apropiat, este blocată la cameleonii panteră prin reflexia ce are loc la nivelul dermei. În aceste condiții, prin intermediul realizării unor spectre Fourier se arată că stratul de iridofori D este un reflector cu bandă largă în regiunea de infraroșu apropiat. Așadar, acest strat joacă un rol important în protecția termică a anumitor specii, printre care se numără și *Furcifer pardalis* (Teyssier și colab., 2015).

4. Importanța mecanismului de schimbare a coloritului

Schimbarea culorii este un mecanism implicat în diverse funcții, de la cele de termoreglare și hidoreglare, până la cele de camuflaj și comunicare (Dollion și colab., 2020). Complexitatea mecanismului de schimbare a coloritului le oferă cameleonilor oportunități de semnalizare dinamică, prin care aceștia utilizează diverse elemente cromatice cu scopul de a furniza informații, atât pe parcursul interacțiunilor sociale, cât și în diferite contexte comportamentale. Un prim exemplu ar fi modul în care schimbările dinamice de colorit, ce apar în cazul speciei *Chamaeleo calyptatus* (cameleonul cu voal), pot prezice comportamentul indivizilor în cadrul confruntărilor dintre

masculi (Nečas, 1999). În ciuda situației de conflict în care se pot afla doi masculi, există un beneficiu comun în evitarea unei escaladări inutile a confruntării, motiv pentru care, semnalele dinamice de colorit pot permite concurenților să își comunice unul altuia motivația pe care o au și, prin urmare, să contribuie la strategii evoluționare stabile. Cu toate că *Chamaeleo calyptratus* este bine cunoscut pentru agresivitatea pe care o manifestă în cadrul interacțiunilor intrasexuale, întâlnirile agonistice sunt de cele mai multe ori soluționate înainte de contactul fizic, prin intermediul semnalelor vizuale (Nečas, 1999). Pe baza unor experimente realizate cu ajutorul a 10 cameleoni cu voal, s-a descoperit că probabilitatea ca doi masculi să se confrunte unul cu altul, precum și rezultatul generat în urma unui conflict, pot fi prezise prin intermediul luminozității maxime pe care o pot atinge dungile de pe corpul cameleonului, respectiv prin luminozitatea maximă a pielii de la nivelul capului. De asemenea, viteza de modificare a coloritului furnizează informații importante, astfel încât cameleonii a căror culoare a capului se modifică mai repede au mai multe șanse de a câștiga în cadrul unei confruntări. În cadrul experimentelor s-a mai observat și faptul că la începutul unei confruntări cameleonii agresivi se expun lateral, păstrând o distanță semnificativă față de oponentul lor, oferindu-i acestuia ocazia de a evalua culoarea dungilor corpului (indicator ce prezis probabilitatea de escaladare a unui conflict). Mai apoi, pe măsură ce înaintează și se pregătesc să se angajeze într-o luptă, oponentii au acces vizual la culoarea capului (indicator ce prezis rezultatul unei confruntări: câștig sau înfrângere). Această strategie este utilizată tocmai cu scopul de a minimiza intensificarea inutilă a confruntării (Ligon și McGraw, 2013).

În ciuda faptului că rolul schimbării culorii în comunicare a fost studiat preponderent în contextul competițiilor intrasexuale (Ligon și McGraw, 2013; Ligon, 2014), există studii ce investighează ce rol are schimbarea coloritului în alegerea partenerului (Dollion și colab., 2020). În cazul cameleonilor, selecția sexuală pe baza abilității de a schimba coloritul are o probabilitate mare de apariție, ținând cont de prezența dimorfismului sexual puternic atât în ceea ce privește culoarea (femelele și juvenalii sunt de culoare maro deschis până la maroniu, pe când masculii prezintă combinații de roșu, verde, albastru și galben), cât și în capacitatea de a schimba culoarea (femelele au un colorit ce rămâne constant, pe când masculii prezintă variații). S-a demonstrat experimental că femelele își aleg partenerul ținând cont de schimbările de culoare în interval vizibil, precum și coloritul UV, având o mare importanță regiunea corporală la nivelul căreia se manifestă aceste schimbări. Femelele tind să aleagă masculii care prezintă mai puține schimbări de nuanță, dar mai multe schimbări de saturație și care afișează o modificare mai mare la nivelul

coloritului per general. În caz contrar, indivizii care au multe schimbări de luminozitate ale culorii sunt rar aleși de către femele. De asemenea, femelele manifestă o atenție deosebită asupra modificărilor de culoare ce au loc la nivelul benzilor și interbenzilor de pe lateralele corpului, alegând masculi ce au puține schimbări de nuanță, dar multe modificări ale saturației în regiunea benzilor și interbenzilor (Dollion și colab., 2020). Totodată, pe lângă schimbările manifestate în interval vizibil, s-a demonstrat că există o relație strânsă și între coloritul în UV și alegerea partenerului. Astfel, femelele aleg masculi ce prezintă o absorbție UV mai mare, precum și care suferă schimbări mai mari de colorit în UV. Schimbările de luminozitate la cameleoni sunt totodată implicate și în contextul camuflajului, fiind folosite pentru a reduce vizibilitatea indivizilor atunci când sunt expuși prădătorilor. Din acest motiv, masculii care nu sunt aleși de către femele tind să se închidă la culoare pentru a nu intra în concurență cu ceilalți masculi, adaptare folosită ca tehnică de protecție (Dollion și colab., 2020).

În concluzie, *Furcifer pardalis* are abilitatea de a-și schimba rapid coloritul, reglându-și activ răspunsul fonic al rețelei de nanocristale mici de guanină din componența iridoforilor S. Acest mecanism este unul aparte în lumea vie, facilitând interacțiunile sociale în cadrul speciei și totodată fiind implicat în diverse funcții precum camuflajul, termoreglarea și comunicarea.

Mulțumiri. Mulțumesc D-lui Lect. univ. dr. Alexandru Rădac pentru sfaturile utile și coordonarea acestui studiu.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Andreone F., Guarino F.M., Randrianirina J.E. 2005. Life history traits, age profile, and conservation of the panther chameleon, *Furcifer pardalis* (Cuvier 1829), at Nosy Be, NW Madagascar. *Tropical Zoology*. 18: 209–225.
- Aspögren S., Hedberg D., Sköld H.N., Wallin M. 2009. New insights into melanosome transport in vertebrate pigment cells. *International Review of Cell and Molecular Biology*. 272: 245–302.
- Bagnara J.T., Hadley M.E. 1973. *Chromatophores and color change: The comparative physiology of animal pigmentation*. Editura Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs (NJ). 218 p.
- Denton E.J., Land M.F. 1971. Mechanism of reflexion in silvery layers of fish and cephalopods. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 178: 43–61.
- Detto T., Hemmi J.M., Backwell P.R.Y. 2008. Colouration and colour changes of the fiddler crab, *Uca capricornis*: A descriptive study. *PLOS One*. 3.
- Dollion A.Y., Herrel A., Marquis O., Leroux-Coyau M., Meylan S. 2020. The colour of success: does female mate choice rely on male colour change in the chameleon *Furcifer pardalis*?. *Journal of Experimental Biology*. 223: 1–11.
- Fujii R. 1993. Cytophysiology of fish chromatophores. *International Review of Cytology*. 143: 191–255.
- Keren-Rotem T., Levy N., Wolf L., Bouskila A., Geffen E. 2016. Alternative mating tactics in male chameleons (*Chamaeleo chamaeleon*) are evident in both long-term body color and short-term courtship pattern. *PLOS One*. 11.

- Ligon R.A. 2014. Defeated chameleons darken dynamically during dyadic disputes to decrease danger from dominants. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 68: 1007–1017.
- Ligon R.A., McCartney K.L. 2016. Biochemical regulation of pigment motility in vertebrate chromatophores: a review of physiological color change mechanisms. *Current Zoology*. 62: 237–252.
- Ligon R.A., McGraw K.J. 2013. Chameleons communicate with complex colour changes during contests: different body regions convey different information. *Biology Letters*. 9: 1–5.
- Nečas P. 1999. Chameleons: nature's hidden jewels. Editura Chimaira, Frankfurt. 348 p.
- Teyssier J., Saenko S.V., Dirk van der Marel, Milinkovitch M.C. 2015. Photonic crystals cause active colour change in chameleons. *Nature Communications*. 6: 1–7.
- https://species.m.wikimedia.org/wiki/File:Furcifer_pardalis_distribution.png
- https://animaldiversity.org/accounts/Furcifer_pardalis/#45441c35f49cc367205277875d92e3e0
- <https://www.chameleons.info/en/furcifer-pardalis/>
- <https://animalia.bio/index.php/panther-chameleon>
- <https://www.iucnredlist.org/species/172955/6947909#use-trade>