

A tollazat UV-reflektanciája és a táplálkozás kapcsolata vízimadaraknál*

LACZI MIKLÓS, CSEREPES T. MIHÁLY, HEGYI GERGELY, MICHL GÁBOR,
SZIGETI BEÁTA és TÖRÖK JÁNOS

Eötvös Loránd Tudományegyetem Állattrendszertani és Ökológiai Tanszék, Viselkedésökológiai Csoport
H–1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c. E-mail: *m03tyto_alba20@yahoo.co.uk*

Összefoglalás. A ragadozó fajok számára kulcsfontosságú tényező lehet, hogy mennyire tudnak rejtve maradni zsákmányuk előtt. Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy a halakat zsákmányoló vízimadarak világos (fehér) hasoldali színezete adaptív jelleg, elősegítve az égboltba való beolvadást. Ezen vizsgálatok azonban többnyire csak a látható fény tartományára (400–700 nm) korlátozódtak. Mivel azonban az e szempontból vizsgált potenciális zsákmánynak számító halak többsége az UV tartomány egy részét is érzékeli, ezért az UV reflektancia nélküli hasoldali tollazat számukra élesen elűthet az égbolt UV háttérsugárzásától. Feltételeztük, hogy a vízimadaraknál a hasoldali tollazat UV visszaverése összefüggést mutat a táplálék típusával, illetve a zsákmányszerzés módjával. A tollazat reflektanciájára vonatkozó méréseinket a Magyar Természettudományi Múzeum Állattárának Madárgyűjteményében végeztük. 15 család 89 fajának összesen 131 egyedén a mellkas közepét mértük, egyedenként három ismétlést végezve. Mérőeszközként egy hordozható spektrofotométer szolgált. A felvett spektrumokon főkomponens-analízist (PCA) végeztünk, amelynek az eredményeként kapott főkomponensek erősen korreláltak a teljes intenzitás, UV intenzitás és relatív UV visszaverés színjellemzőkkel. Az analízisek alapján a nyíltvízi halevők csoportjában találtunk magasabb intenzitás és UV intenzitás értékeket, a relatív UV visszaverés értékek azonban nem különböztek. Eredményeink azt mutatják, hogy a zsákmányolás sikerességét is erősen módosíthatja a hasoldali tollazat színezete, bár más magyarázatok is lehetségesek.

Kulcsszavak: vízimadár, rejtő színezet, UV, tollazati színek.

Bevezetés

A színlátásnak számos fajtája alakult ki az állatvilágban. Így a látószervben található fotoreceptorok fajtáinak, spektrális szenzitivitásának alapján előfordulnak például di- (pl. Blattoptera), tri- (pl. Diptera, Hemiptera, Orthoptera) és tetrakromatikus (pl. Lepidoptera, Odonata) állatok is (TOVÉE 1995).

Mint azt több fiziológiai és viselkedési tanulmány bizonyítja, a 320–400 nm közötti közeli UV tartomány érzékelés igen elterjedt az állatvilágban (pl. DAS et al. 1999, LEBAS & MARSHALL 2002, SIITARI et al. 2002, SIEBECK 2004, ARRESE et al. 2005, LI & LIM 2005).

*Előadták a szerzők a Magyar Biológiai Társaság Állattani Szakosztályának 946. előadójelentésén, 2006. február 1-jén.

Az e szempontból vizsgált halak (49 család 120 faja) 75%-a érzékeli az elektromágneses spektrum közeli UV tartományát. (THORPE 1993 in CUMMINGS et al. 2003).

Az UV tartomány érzékelésének különböző funkciói lehetnek. Szerepet játszhat a párválasztáskor (az UV színezet lehet a fenotípusos minőség szignálja, pl. SIEFFERMAN & HILL 2005) vagy a fajtárs felismerése során (rövid távú kommunikációban előnyös, mivel a nagyobb frekvenciájú hullámok erőteljesebben szóródnak, így hamarabb degradálódnak, vagyis kisebb annak a kockázata, hogy a távolban megbúvó predátor észrevegye a zsákmányt; ANDERSSON 1996). Elképzelhető, hogy szerepe van a hatékony táplálkozás elősegítésében.

Az ultraibolya színezet a predátorok részéről is segítheti a vizuális háttérbe történő nagyobb fokú beolvadást (GREEN & LEBERG 2005), ami növelheti a sikeresebb zsákmányszerzést. Több vizsgálat is kimutatta, hogy a közeli UV hullámhossztartomány érzékelésének képessége jelentős szerepet játszik a táplálékkeresésben is (HONKAVAARA et al. 2002). Feltételezik, hogy mivel a nyíltvízi, halra vadászó madarak hasoldala látható a vízben levő halak számára (pl. GREEN 2005), és e madarak vizuális háttereként az UV-sugárzással rendelkező égbolt szolgál, a zsákmány elől való rejtőzés és így a táplálkozás hatékonysága is magasabb fokú a világosabb és nagyobb UV-visszaveréssel rendelkező egyedeknél, fajoknál.

Szerepet játszhatnak az aposzematizmusban (SEAH & LI 2001, BLACKLEDGE & WENZEL 1999), a tojásmimikri kialakításában (CHERRY & BENNETT 2001), a még ki nem repült fiókák szülőik általi detektálásának megkönnyítésében (JOURDIE et al. 2004), hozzájárulhatnak a reproduktív izolációhoz (BLEIWEIS 2004). Privát vizuális kommunikációs csatornaként is használatosak abban az esetben, amikor egy faj és predátorának spektrális szenzitivitása eltérő, miáltal mérséklődik a szignalizáció predációs költsége (HÅSTAD et al. 2005; CUMMINGS et al. 2003).

Az UV színezet leggyakrabban az emberi szem számára kéknek és fehérnek tűnő, depigmentált tollazati területeken fejeződik ki (EATON & LANYON 2003). Bár a fehér strukturális színezet kialakítási költségei teljes egészében még nem tisztáztak, fenntartási költségei egyes esetekben azonban már jelentékeny méreteket ölthetnek, például a melanin hiánya miatt e tollak jobban kopnak, törékenyebbek, mint a pigmenteket tartalmazók (BONSER 1995).

Célkitűzések

A jelen vizsgálat célja annak kiderítése, hogy különböznek-e a nyílt vízi, halra vadászó madarak hasoldalának reflektancia-jellemzői (különös tekintettel az UV-tartományra) a nem nyílt vízben halra vadászókéktól, illetve nem halebő vízimadarakétól.

Feltételezésünk szerint a halebő madarakat segíti a háttérbe való beolvadásban és a zsákmány elől való rejtőzésben a világos, nagy UV visszaveréssel rendelkező hasoldali színezet. Az irodalmi adatok arra utalnak, hogy a növényzet jelenléte az UV hullámok nagy mértékű elnyelése révén jelentősen csökkenti a vizuális háttér UV komponensének arányát, ennek megfelelően az UV-szenzitív látással rendelkező zsákmány predátora színezetének a zsákmányszerzés szempontjából optimális megjelenését is (GREEN & LEBERG 2005) befolyásolja. Ezért a növényzettől mentes, nyílt vízfelszín fölött halak után kutató madárfajok esetében várunk magasabb UV reflektancia-értékeket, mivel az e csoportba tartozó fajok vizuális háttereként szolgáló égboltban jóval nagyobb a közeli ultraibolya fény aránya.

Módszerek

Méréseinket a Magyar Természettudományi Múzeum Állattárának Madárgyűjteményében végeztük, vízi élőhelyen élő madárfajok kitömött példányain. A 89 madárfaj összesen 131 egyedét azok hasoldalának középvonalán mértük, a szárnyhajlatok magasságában. A méréseket USB2000 spektrométerrel (Ocean Optics Europe) végeztük, melyhez a fényforrást egy Mini-D2 deutérium-halogén lámpa szolgáltatta (Ocean Optics Europe). A spektrométerhez és a fényforráshoz egy kettéágazó szonda csatlakozott, magába foglalva hat darab, egyenként 400 μm átmérőjű, a minta megvilágítását szolgáló optikai szál, melyek a szintén 400 μm átmérőjű, a mintáról visszavert fotonokat érzékelő és azokat a detektorba vezető optikai szál körül helyezkedtek el. A mérőfej egy fekete, műanyag csőhöz volt rögzítve, elősegítve ezzel azt, hogy az optikai szál vége és a mért tollak felszíne közti távolság mindig azonos (3 mm) maradjon. A mérőfej (vagyis ezzel egyetemben a megvilágítás és a detektálás iránya) és tollak síkja egymással körülbelül 90°-os szöveget zárt be. Egy mérési pontról három felvétel készült. A megvilágított, kör alakú mintavételi területek átmérője hat milliméter volt. A mérőberendezés a tollakról visszaverődő fotonokat számolta, vagyis a reflektanciát mérte, mérésenként 3500 ms-ig. A fényintenzitást számítógép rögzítette, az elektromágneses spektrum 179 és 877 nm közti tartományában, 0,37 nm-enként. A reflektancia-értékeket a program %-os értékben adta meg, a fehér referenciát véve 100 %-nak, a feketét 0 %-nak. A fehér referenciát minden mérés előtt fel kellett venni, mivel hosszabb idő elteltével a fényforrás hőmérséklete rendszerint megemelkedett, ez pedig torzíthatta volna az adatokat, a fényforrás spektrális összetételében történő esetleges változások miatt. Standard fehér referenciaként egy speciális, e célra gyártott műanyag szolgált (típus: WS-1).

A reflektancia-értékekből három színjellemezőt számítottunk:

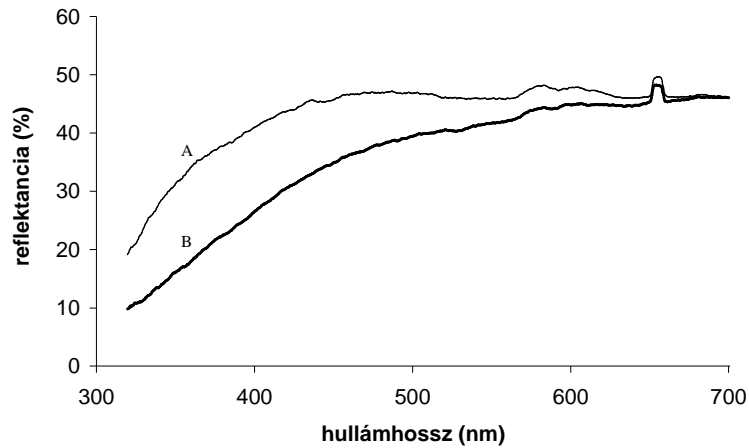
Intenzitás (brightness): A mért reflektancia-értékek átlaga 320 és 700 nm közt ($R_{320-700}$). Ez a változó adja meg a tollakról visszaverődő fény átlagos mennyiségét (SZIGETI et al. 2007).

UV intenzitás (UV brightness): A mért reflektancia-értékek átlaga 320 és 400 nm között ($R_{320-400}$).

Relatív UV visszaverés (UV chroma): E változó fejezi ki, hogy a tapasztalt fényintenzitásnak hányadrészéért felelős az UV tartományban visszavert fény mennyiség ($R_{320-400}/R_{320-700}$; SZIGETI et al. 2007).

A madárfajok besorolása a nyílt vízben illetve nem nyílt vízfelszínen táplálkozó, valamint a halebvő, illetve más táplálékot fogyasztó kategóriákba irodalmi adatok alapján történt (CRAMP 1998, DEL HOYO et al. 2001). Azon fajokat tekintettük halebvőknek, melyeknél a táplálékuk legalább 40%-át halak tették ki. Az analízisekben a nyíltvízi halebvő fajok (a 2. ábrán csillaggal jelölve) csoportját hasonlítottuk össze a nem nyíltvízi halebvők és nem halebvők egybevont csoportjával.

A reflektancia-értékek (1. ábra) 10 nm-enként vett átlagain főkomponens-analízist (PCA) végeztünk (STATISTICA for Windows v. 5.5, StatSoft, Tulsa, Oklahoma). A főkomponens-adatokat egyrészt általános lineáris modellben (SAS v.8.02, SAS Institute, Cary, North Carolina), másrészt a fajok közti filogenetikai kapcsolatokat is figyelembe véve PAGEL (1994) GLS-alapú modelljében teszteltük. A filogenetikai kapcsolat meghatározása SIBLEY & AHLQUIST (1990) alapján, módosítva készült (GARAMSZEGI et al. 2002; 2. ábra).



1. ábra. A hlevő *Podiceps cristatus* (A) és a növényevő *Aix galericulata* (B) tollzatán mérhető fényvisszaverési spektrumok.

Figure 1. Reflectance spectra measured on the plumage of fish-eating *Podiceps cristatus* (A) and herbivore *Aix galericulata* (B).

Eredmények

A számolt színjellemezők a repetabilitás-értékek alapján a három ismétlés során azonosnak mondhatók (intenzitás: $r = 0,955$; $F = 64,26$; $p < 0,001$. UV-intenzitás: $r = 0,943$; $F = 50,75$; $p < 0,001$. relatív UV-visszaverés: $r = 0,851$; $F = 18,14$; $p < 0,001$), ami jelzi a módszer megbízhatóságát. A számításokat LESSELLS & BOAG (1987) által leírt módon végeztük.

A főkomponens-értékeket összehasonlítottuk a hagyományos színjellemezőkkel. Az első főkomponens (PC1) értékei a teljes intenzitással és az UV intenzitással mutattak erős negatív összefüggést, míg a második főkomponens (PC2) értékei a relatív UV visszaveréssel és az UV-intenzitással korreláltak erősen, ezen esetekben pozitív korrelációt találtunk (1. táblázat).

A főkomponens-analízis eredményeként kapott PC1 értékek a két csoportban szignifikánsan különböztek ($F_{1,129} = 4,58$; $p = 0,034$; 3/a ábra), a kisebb értékek a nyíltvízi hlevő csoportban adódtak. Az eredményeket megerősítette a GLS-alapú modell is ($LR = 3,089$; $p = 0,041$). Ezek szerint a nyíltvízi hlevő fajok esetén magasabb a mért intenzitás és az UV-intenzitás.

A két csoport PC2 értékei között nem adódott szignifikáns különbség ($F_{1,129} = 0,55$; $p = 0,458$; 3/b ábra). A szintén erős összefüggés miatt ez azt jelenti, hogy a relatív UV visszaverés értékei közt nem találtunk különbséget.

1. táblázat. A számolt színjellemzők és a két főkomponens korrelációja. Az első főkomponens az intenzitás és UV intenzitás változókkal mutat erős negatív összefüggést, míg a második főkomponens az UV-intenzitás és a relatív UV-visszaverés-értékekkel korrelál erősen, pozitívan.

Table 1. Correlations between the principle components and brightness, UV-brightness and UV-chroma. We have found strong negative correlation between PC1 and brightness and between PC1 and UV-brightness. PC2 correlated strongly and positively with UV-brightness and UV-chroma.

	PC1	PC2
Intenzitás	-0,9997 p<0,001	-0,0251 p=0,776
UV intenzitás	-0,9556 p<0,001	0,2901 p<0,001
Relatív UV-visszaverés	-0,0916 p=0,298	0,8847 p<0,001

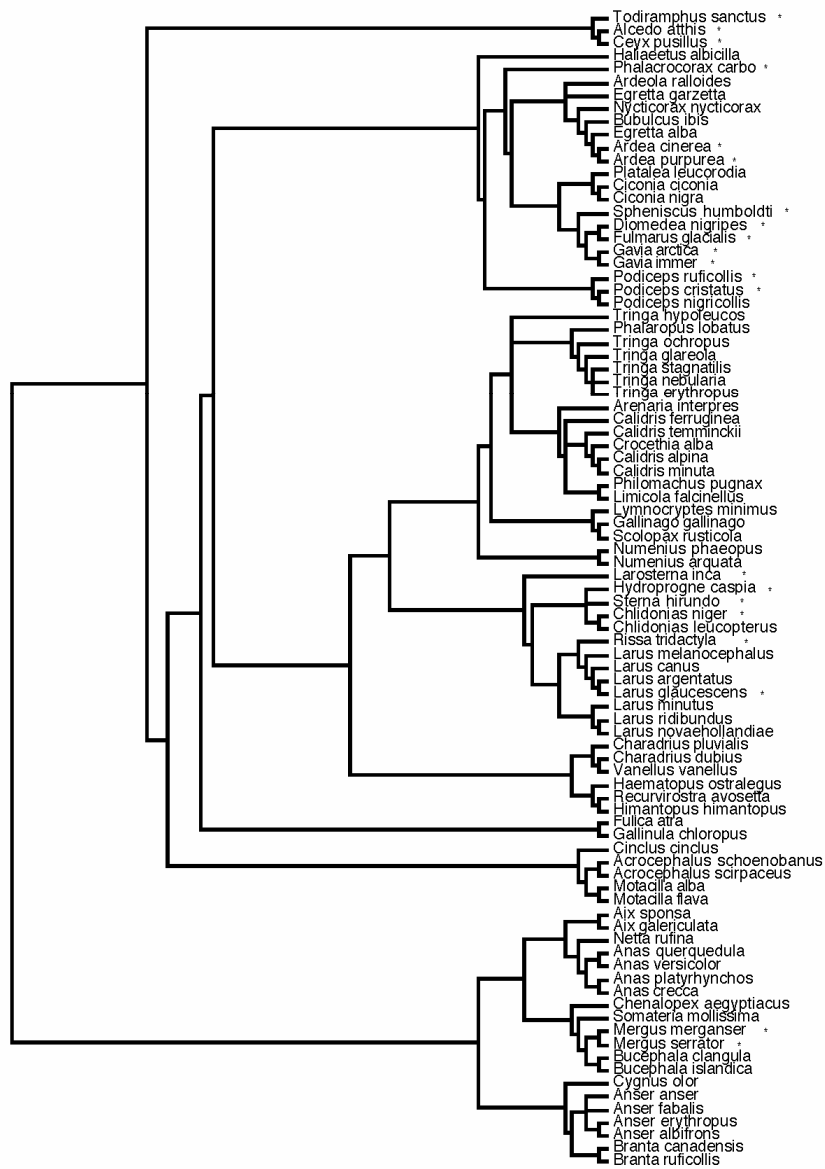
Értékelés

A tollazat színezetét két, egymástól merőben eltérő mechanizmus alakítja ki: e szerint megkülönböztethetők pigment (elsősorban karotinoid és melanin) alapú, valamint strukturális eredetű színek (JAWOR & BREITWISCH 2003). A valóságban ezek gyakran egymással kombinálódva hoznak létre egy-egy színt, különféle mechanizmusok útján (pl. SHAWKEY & HILL 2005).

A strukturális színezet a fény és a biológiai komponensek fizikai interakciója révén keletkezik (pl. PRUM et al. 1998). A kromatikus strukturális színezet (ultraibolya, lila, kék, türkiz) a tollazatban a fénynek az egyes tollágak és –ágacsok keratinállományának térben rendezett levegőüregecskéin történő koherens szóródás által megvalósuló erősítő interferenciája révén jön létre (PRUM et al. 1998). Azonban az akromatikus fehér szín keletkezésének pontos módja, kialakításának költségei még nem tisztázottak, de annyi bizonyos, hogy a fehér tollak reflektanciája valamennyi hullámhossz (köztük tehát az UV-A tartomány hullámhosszainak is) random, vagyis inkoherens szórásának az eredménye (RAINWATER 1971, in BRIDGE & EATON 2005)

A bevezetőben is példák sora igazolta, hogy az UV színezet sokféle szerepet tölthet be az állatvilágban. Ebben a vizsgálatban a vízimadarak tollazata UV színezetének a táplálkozás során betöltött szerepét kívántuk felderíteni.

A PC1 értékek közötti különbség azt mutatja, hogy a vizsgált hullámhossztartományban, 320 és 700 nm közt, a tollazati reflektancia intenzitása a nyílt vízben hallal táplálkozó madaraknál nagyobb, mint az egyéb táplálkozású fajok esetében. Ez megfelelt várakozásainknak, mert elsősorban ezen fajok számára segíthet a préda elől való elrejtőzésben a világos hasoldali színezet. A PC2 értékek között azonban nem adódott különbség, tehát az UV tartományban történő visszaverés relatív aránya a teljes visszaveréshez képest nem különbözött a két csoportban. Ez azonban nincs ellentétben a várakozásunkkal, hogy a nyílt vízben halászó madarak UV visszaverése magasabb. Magasabb UV reflektancia és magasabb reflektancia az emberi szem számára érzékelhető fény tartományában (400–700 nm)

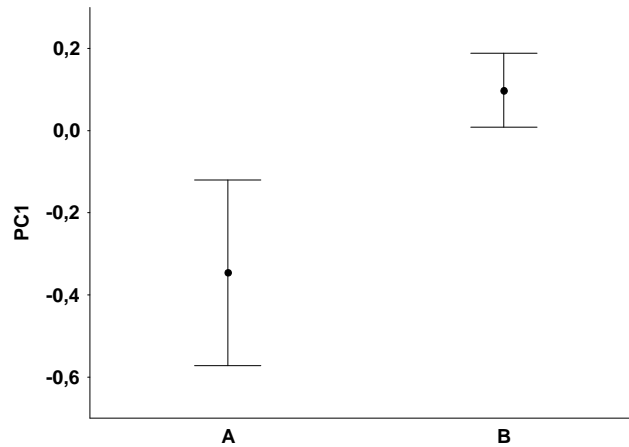


2. ábra. A fajok közötti filogenetikai kapcsolatokat jelző törzsfa (SIBLEY & AHLQUIST, 1990 alapján, módosítva). A nyílt vízi halevőket csillaggal jelöltük.

Figure 2. Phylogenetical tree showing relations between the studied species. Based on SIBLEY & AHLQUIST (1990), modified. The open water fish-eaters marked by asterisk.

ugyanis megnövelheti a teljes visszaverés mennyiségét anélkül, hogy az UV visszaverésének relatív aránya megváltozna.

Eredményeink jól illeszkednek GREEN (2005) vizsgálatához, melyben a nyílt élőhelyen élő madarak világosabb hasi színezetének előnyös voltát igazolja. Hasonló eredményeket mutattak ki erdei élőhelyen élő madarak körében is, a nyíltabb élőhelyen élő fajok esetén magasabb intenzitás-értékeket tapasztaltak (MCNAUGHT & OWENS 2002).

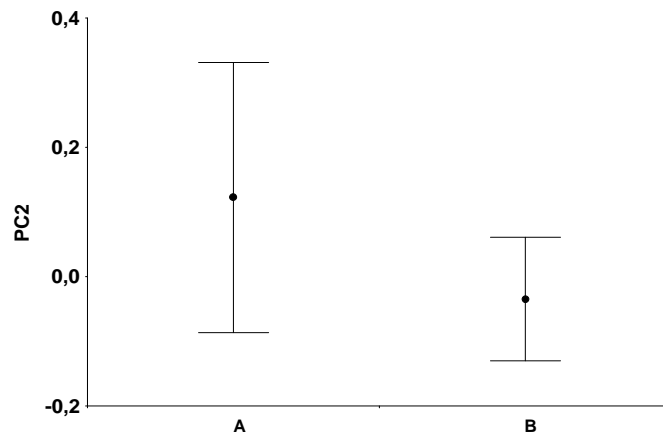


3.a. ábra. Az első főkomponens értékei (átlag \pm SE) a nyíltvízi halevő (A csoport, $n=29$) illetve a nem halevő és nem nyíltvízi halevő (B csoport, $n=102$) táplálkozású fajok egyedeinek esetén. Alacsonyabb PC1 értékek a negatív korreláció miatt nagyobb intenzitást és UV-intenzitást jelentenek, azaz a különbség alapján a nyíltvízi halevők tollazatát találtuk világosabbnak.

Figure 3.a. PC1 values (mean \pm SE) of open water fish-eaters (group A, $n=29$), and the non-fish-eaters and non-open water fish-eaters (group B, $n=102$). As PC1 with brightness and UV-brightness negatively correlated, the open water fish-eaters had brighter plumage than other bird species.

Jelen vizsgálat eredményei összhangban vannak azzal a várakozásunkkal is, hogy a világosabb színezet valóban a zsákmányszerzés során megszerezhető előny miatt alakulhatott ki, vagyis a zsákmányállatok látószervének spektrális érzékenysége és a vizuális háttér együttesen jelentős szerepet játszhattak a hasoldali szín alakulásában.

Azonban más okokat sem zárhatunk ki a hasoldali UV színezetben jelentkező különbség magyarázatára. Elképzelhető például, hogy a nagyobb UV visszaveréssel rendelkező tollazat más élethelyzetekben, akár a párválasztás vagy a szociális rangsor kialakítása során is fontos szerepet tölthetnek be, s ha egy ilyen viselkedés kifejezettebb a nyíltvízi halászóknál, akkor az is okozhat különbséget a két csoport között.



3/b. ábra. A második főkomponens értékei (átlag \pm SE) a nyíltvízi halevő (A csoport, n=29) illetve a nem halevő és nem-nyíltvízi halevő (B csoport, n=102) táplálkozású fajok egyedeinek esetén. A két csoport közt nem találtunk szignifikáns különbséget.

Figure 3/b. PC2 values (mean \pm SE) of open water fish-eaters (group A, n=29), and the non-fish-eaters and non-open water fish-eaters (group B, n=102). We have not found any significant differences between the two groups.

Köszönetnyilvánítás. Köszönettel tartozunk a Magyar Természettudományi Múzeum Állattárának, dr. FORRÓ LÁSZLÓ igazgatónak és dr. BANKOVICS ATTILÁNAK, a Madárgyűjtemény vezetőjének, hogy a mérések elvégzését lehetővé tették. Az analízisek során nyújtott segítségéért köszönet illeti GARAMSZEGI LÁSZLÓ ZSOLTOT. A kutatást anyagilag támogatta az ELTE, az Erdők a Közjóért Alapítvány és az OTKA.

Irodalom

- BANKS A. N. (2001): For your eyes only? The role of UV in mate choice. *Trends in Ecology & Evolution* 16: 473–474.
- BLACKLEDGE T. A. & WENZEL J. W. (1999) Do stabilimenta in orb webs attract prey or defend spiders? *Behavioral Ecology* 10: 372–376.
- BLEIWEIS R. (2004): Ultraviolet plumage reflectance distinguishes sibling bird species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 101: 16561–16564.
- BONSER R. H. (1995): Melanin and the abrasion resistance of feathers. *The Condor* 97: 590–591.
- BRIDGE E. S. & EATON M. D. (2005): Does ultraviolet reflectance accentuate a sexually selected signal in terns? *Journal of Avian Biology* 36: 18–21.
- CHERRY M. & BENNETT A. T. D. (2001): Egg colour matching in an African cuckoo, as revealed by ultraviolet-visible reflectance spectrophotometry. *Proceedings of the Royal Society of London* 268B: 565–571.
- CRAMP S. (1998): *The birds of the Western Palearctic*. Vol. 1–9. Oxford University Press, Oxford.

- CUMMINGS M. E., ROSENTHAL G. G. & RYAN M. J. (2003): A private ultraviolet channel in visual communication. *Proceedings of the Royal Society of London* 270B: 897–904.
- DAS D., WILKIE S. E., HUNT D. M. & BOWMAKER J. K. (1999): Visual pigments and oil droplets in the retina of a passerine bird, the canary *Serinus canaria*: microspectrophotometry and opsin sequences. *Vision Research* 39: 2801–2815.
- EATON M. D. & LANYON S. M. (2003): The ubiquity of avian ultraviolet plumage reflectance. *Proceedings of the Royal Society of London* 270B: 1721–1726.
- GARAMSZEGI L. ZS., MØLLER A. P. & ERRITZOE J. (2002): Coevolving avian eye size and brain size in relation to prey capture and nocturnality. *Proceedings of the Royal Society of London* 269B: 961–967.
- GOMEZ D. & THÉRY M. (2004): Influence of ambient light on the evolution of colour signals: comparative analysis of a Neotropical rainforest bird community. *Ecology Letters* 7: 279–284.
- GREEN M. C. (2005): Plumage dimorphism in the reddish egret: Does plumage coloration influence foraging habitat use and tactics? *Waterbirds* 28: 519–524.
- GREEN M. C. & LEBERG P. L. (2005): Influence of plumage colour on prey response: does habitat alter heron crypsis to prey? *Animal Behaviour* 70: 1203–1208.
- HÅSTAD O., VICTORSSON J. & ÖDEEN A. (2005): Differences in color vision make passerine less conspicuous in the eyes of their predators. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 102: 6391–6394.
- HONKAVAARA J., KOIVULA M., KORPIMÄKI E., SIITARI H. & VIITALA J. (2002): Ultraviolet vision and foraging in terrestrial vertebrates. *Oikos* 98: 505–511.
- DEL HOYO J., ELLIOTT A. & SARGATAL J. (eds) (2001): *Handbook of the birds of the world*. Vol. 1–6. Lynx edicions, Barcelona.
- HUNT S., CUTHILL I. C., BENNETT, CHURCH S. C. & PARTRIDGE J. C. (2001): Is the ultraviolet waveband a special communication channel in avian mate choice? *Journal of Experimental Biology* 204: 2499–2507.
- JOHNSEN A., ANDERSSON S., ÖRNBORG J. & LIFJELD J. T. (1998): Ultraviolet plumage ornamentation affects social mate choice and sperm competition in bluethroats (Aves: Luscinia s. svecica): a field experiment. *Proceedings of the Royal Society of London* 265B: 1313–1318.
- JOURDIEV., MOUREAU B., BENNETT A. T. D. & HEEB P. (2004): Ultraviolet reflectance by the skin of nestlings. *Nature* 431: 262.
- LEBAS N. R. & MARSHALL N. J. (2000): The role of colour in signalling and male choice in the agamid lizard *Ctenophorus ornatus*. *Proceedings of the Royal Society of London* 267B: 445–452.
- LESSELLS C. M. & BOAG P. T. (1987): Unrepeatable repeatabilities: a common mistake. *The Auk* 104: 116–121.
- LI D. & LIM M. L. M. (2005): Ultraviolet cues affect the foraging behaviour of jumping spiders. *Animal Behaviour* 70: 771–776.
- MCCAUGHT M. K. & OWENS I. P. F. (2002): Interspecific variation in plumage colour among birds: species recognition or light environment? *Journal of Evolutionary Biology* 15: 505–514.
- PRUM R. O., TORRES R., WILLIAMSON S. & DYCK J. (1998): Coherent light scattering by blue feather barbs. *Nature* 396: 28–29.
- SEAH W. K. & LI D. (2001): Stabilimenta attract unwelcome predators to orb-webs. *Proceedings of the Royal Society of London* 268B: 1553–1558.
- SHAWKEY M. D., ESTES A. M., SIEFFERMAN L. & HILL G. E. (2003): Nanostructure predicts intraspecific variation in ultraviolet-blue plumage colour. *Proceedings of the Royal Society of London* 270B: 1455–1460.
- SHAWKEY M. D. & HILL G. E. (2005): Carotenoids need structural colours to shine. *Biology Letters* 1: 121–124.
- SIEBECK U. E. (2004): Communication in coral reef fish: the role of ultraviolet colour patterns in damselfish territorial behaviour. *Animal Behaviour* 63: 273–282.
- SIEFFERMAN L. & HILL G. E. (2005): Ornamental plumage colouration dependent on age in Eastern bluebirds *Sialia sialis*. *Journal of Avian Biology* 36: 428–435.

- SIITARI H., HONKAVAARA J. & VIITALA J. (1999): Ultraviolet reflection of berries attracts foraging birds. A laboratory study with redwings (*Turdus iliacus*) and bilberries (*Vaccinium myrtillus*). *Proceedings of the Royal Society of London* 266B: 2125–2129.
- SIITARI H., HOVI M. & VIITALA J. (2002): Behavioural evidence for ultraviolet vision in a tetraonid species – foraging experiment with black grouse *Tetrao tetrix*. *Journal of Avian Biology* 33: 199–202.
- SZIGETI B., TÖRÖK J., HEGYI G., ROSIVALL B., HARGITAI R., SZÖLLÖSI E. & MICHL G. (2007): Egg quality and parental ornamentation in the blue tit. *Journal of Avian Biology* 38: 105–112.
- TOVÉE M. J. (1995): Ultra-violet photoreceptors in the animal kingdom: their distribution and function. *Trends in Ecology & Evolution* 10: 455–460.
- VIITALA J., KORPLMÄKI E., PALOKANGAS P. & KOIVULA M. (1995): Attraction of kestrels to vole scent marks visible in ultraviolet light. *Nature* 373: 425–427.

Relationship between UV-reflectance of plumage and feeding in waterbirds

MIKLÓS LACZI, MIHÁLY CSEREPES T., GERGELY HEGYI, GÁBOR MICHL,
BEÁTA SZIGETI & JÁNOS TÖRÖK

Being hidden from the prey could be essential for the predators. Previous studies have showed that light (white) abdominal plumage colouration could be adaptive for fish-eating birds, because of facilitating to fade into the colour of the sky. However, these studies usually focused only on the visible wavelength range (between 400 and 700 nm). Many of fish species as a potential prey have found being able to sense a part of the ultraviolet range (the UV-sensitive cones show maximal sensibility/responsiveness at 360–365 nm wavelength), so the abdominal plumage of a fishing bird without UV-reflectance may be more conspicuous in the sky, which has UV-radiation. We predicted that the large UV reflectance was associated with open water fish-eating waterfowls. All together 131 individuals of 89 species from 15 families were measured. All the sampled specimens were taken from the Aves Collection of the Hungarian Natural History Museum, Department of Zoology. We recorded the plumage reflectance three times of every individuals at the middle of the birds' breast between shoulders. A portable spectrometer from Ocean Optics Europe was used to measure the colouration. We used Principle Component Analysis (PCA), and the two PCs were correlated strongly with the values of brightness, UV-brightness and UV-chroma. Generalized Linear Models showed birds which catch fish in open waters have greater brightness and UV-brightness, whereas we couldn't find any difference in UV-chroma values between open water fishing birds and other avian species. Although our study shows that UV-reflectance has an important role in hunting success, alternative explanations are possible as well.

Keywords: waterbirds, cryptic colouration, UV, plumage colours.