

IKARUSZ BOGLÁRKA LEPKÉK SZERKEZETI ÉS PIGMENT EREDETŰ SZÍNEINEK STRESSZÁLLÓSÁGA

Piszer Gábor, Kertész Krisztián, Horváth Zsolt Endre, Biró László Péter
MTA EK Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet

Bálint Zsolt
Magyar Természettudományi Múzeum

A rovarok egyik leglátványosabb csoportja a lepkék rendje, ami évezredek óta folyamatosan az emberi csodálat tárgya. Változatos színeik és mintázatok azonban nem öncélúak, hanem jól azonosítható biológiai szerepük van. A lepkék szárnyának felszíni (felső) oldalán megjelenő élénk színek jellemzően a szexuális kommunikációt szolgálják, elősegítve a vizuális alapon történő párválasztást. Ettől eltérően, a szárnyak fonák (alsó) oldalán található bonyolult mintázatoknak a rejtőzködésben van elengedhetetlen szerepük, így a lepkék összecukott szárnyakkal szinte tökéletesen képesek beolvadni a környezetükbe [1]. A két szárnyoldal eltérő biológiai funkciójához különböző optikai tulajdonságokra van szükség, mi-

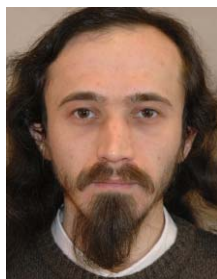
vel a felszínnek a figyelemfelkeltést, a fonáknak pedig az álcázást kell megvalósítania. Ehhez a pikkelyeknek, azaz a szárnymembránt tetőcserépszerűen borító kitinlapocskáknak kell a két oldal szerepének megfelelő színképzést megvalósítaniuk. A jelenség különösen szépen megfigyelhető a Magyarországon is honos Boglárka-rokonú lepkék esetében, ahol a hímek szárnyfelszíne fémesen csillogó, élénk kék színárnyalatokban pompázik, míg a fonákoldal szürkés-barna alapszínű, bonyolult foltmintázattal kiegészítve [2–4]. Ráadásul, a két oldal színei eltérő színképzési folyamatoknak köszönhetik a különböző optikai tulajdonságaikat. A Boglárka-rokonúakban, a fonák pikkelyeiben általában egy széles spektrális tartományban elnyelő pigment, a melanin található a kitinben, amely barna árnyalatok előállítására képes. A szárnyfelszín élénk kék, illetve kékes árnyalatú színei ezzel szemben festékanyagok és fotonikus nanoszerkezetek (-architektúrák) összjátékából állnak elő [5–7].

A szárnypikkelyek nanoarchitektúrája egy olyan kompozit anyag, ami kitinből és levegővel töltött üregek periodikus, háromdimenziós rendszeréből épül fel. Az üregek mérete és tipikus távolsága a látható fény hullámhossztartományába esik, azaz alig pár száz nanométerenként követik egymást a kitinbe ágyazva. Ennek következtében a kitin-levegő fotonikus nanoszerkezet úgy lép kölcsönhatásba a ráeső fényvel, hogy a szerkezetben terjedni nem képes

A munka az OTKA K 111741 és K 115724 pályázatok, valamint az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3-IV kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.
www.nanotechnology.hu/magyarul.html



Piszer Gábor okleveles fizikus, 2013-tól az MTA EK Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet tudományos segédmunkatársa. Fő kutatási tevékenysége a biológiai eredetű fotonikus nanoarchitektúrák optikai és szerkezeti vizsgálata, valamint ezek optikai elvű gőzérzékelő szenzoroként történő alkalmazása. Jelenleg az Új Nemzeti Kiválóság Program ösztöndíjasa.



Kertész Krisztián fizikus, az MTA EK Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet tudományos munkatársa. 2010-ben szerzett doktori fokozatot a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem TTK Fizikai Tudományok Doktori Iskolájában. Kezdetben főként szén nanoszerkezetek kutatásán dolgozott, majd a biológiai és bioinspirált fotonikus nanoszerkezetek vizsgálata került érdeklődése középpontjába, amelyben felhasznál mikroszkópos módszereket és optikai spektrometriát.



Horváth Zsolt Endre okleveles fizikus, az MTA doktora, az MTA EK MFA tudományos tanácsadója. Fő kutatási területe különféle nanoszerkezetek, nanostrukturált anyagok és vékonyrétegek elektronmikroszkópos vizsgálata, valamint vékonyrétegek és más kristályos anyagok röntgendiffrakciós, röntgen-reflektometriás szerkezetvizsgálata.



Biró László Péter az MTA levelező tagja, Széchenyi-díjas, az MTA EK MFA kutatóprofesszora Kolozsváron született, egyetemi tanulmányait is ott végezte. PhD fokozatot a BME-n szerzett, a Szegedi Tudományegyetem címzetes egyetemi tanára. Meghatározó szerepet játszott a nanométeres skálájú anyagtudomány hazai meghonosításában, fő kutatási területei a pásztázószondás mikroszkópia, a szén alapú nanoszerkezetek és 2D anyagok, valamint a biológiai eredetű fotonikus nanoarchitektúrák.



Bálint Zsolt a biológiai tudományok kandidátusa (1997), 1983 óta a Magyar Természettudományi Múzeum munkatársa, jelenleg főmuzeológusi beosztásban a Lepkegyűjtemény vezetője. Fő érdeklődési területe a Lángszínérfélék (*Lycanidae*) sokfélése, különös tekintettel taxonómiájukra és életmódjukra. Biró Lászlóval közel két évtizede kutatja a lepkék optikájával kapcsolatos jelenségeket.

bizonyos összetevőit veri csak vissza. Ez a jelenség hasonló ahhoz, ahogyan a félvezető anyagokban egyes elektronenergiákon tiltott sáv képződik. Az ilyen jellegű szerkezeteket fotonikus kristályoknak nevezzük [1]. A továbbhaladó komponensek elnyelődnek a nanoarchitektúrában jelen lévő melanin molekuláiban, így a két folyamat összjátékának eredménye, hogy szemünkhöz csak a fotonikus nanostrukturát által visszavert összetevő jut el, amit színként érzékelünk. Mivel a szerkezet méretei határozzák meg a terjedni képtelen fény hullámhosszát, az így keletkező színt szerkezeti színnek nevezik. Ennek legegyszerűbb esete a fizikában jól ismert vékonyréteg-interferencia. A különleges színképzés eredménye az is, hogy a fotonikus kristályokat tartalmazó szárnypikkelyek gyakran fémesen csilognak és iránytól függően verik vissza a fényt.

A Boglárka-rokonúak pontmintázata fajonként egyedi (fajspecifikus), így az entomológusok, azaz a rovarokkal foglalkozó tudósok a fonákmintázat alapján azonosítják a lepkék fajtát. Korábbi vizsgálataink során megmutattuk, hogy a Magyarországon honos Boglárka-rokonúak hímjei esetében a szárnyfelszín kék árnyalata is fajspecifikus, azaz a hímek faja meghatározható pusztán a kék szín optikai vizsgálatával [3, 4]. Ennek hátterében az állhat, hogy a lepkék színérzékelése képes ezen árnyalatok megkülönböztetésére, így az evolúció évmilliói alatt a szín és a vizuális érzékelés együttes fejlődésével egy olyan szexuális kommunikációs csatorna jött létre, amelyet fajtársaik azonosítására tudnak felhasználni. Ahhoz, hogy a szín alapján történő párválasztás hatékonyan megvalósulhasson, a szerkezeti színek nagyfokú reprodukálhatósága szükséges. Vizsgálataink alapján arra jutottunk [8], hogy a Lángszinérfélék családjának Európában legelterjedtebb tagja, az Ikarusz boglárka (latin nevén *Polyommatus icarus*) lepkefajban csak egy nagyon szűk spektrális tartományba (± 10 nm) eső színek fordulnak elő. Az ettől eltérő színű hímeket a nőstények vélhetően nem ismerik fel fajtársásként, így nem lesznek sikeresek a párkeresésben, emiatt gényeik sem öröklődnek tovább.

Mivel a szárnyfelszín kékje nagy távolságból is hatékonyan működő kommunikációs csatorna, szemben a szárnyfonák bonyolult mintázatával, azt feltételezzük, hogy fontos biológiai funkciója miatt a szerkezeti eredetű kék színek sokkal stabilabbak a külső hatásokkal szemben, mint a pigment eredetű fonákmintázatai. Ennek vizsgálatára külső környezeti stressznek tettük ki a lepkéket a fejlődésük során: bábállapotú példányokat különböző, 10 és 62 nap közti ideig hűtőszekrényben, 5 °C-on tároltunk. A petékből kikelő hernyók növekedés és többszöri vedlés után bebábozódnak. A bábban megtörténik a teljes átalakulás, ennek ideje jellemzően 7-10 nap. Ekkor formálódnak a szárnyak, az azokat borító szárnypikkelyek, valamint a teljes pigmentációs folyamat is ekkor zajlik le. A bábok hűtésével le tudtuk lassítani ezt a fejlődési folyamatot, ezzel beavatkozva a fotonikus nanoarchitektúrák és a pigment eredetű színek kialakulásába.

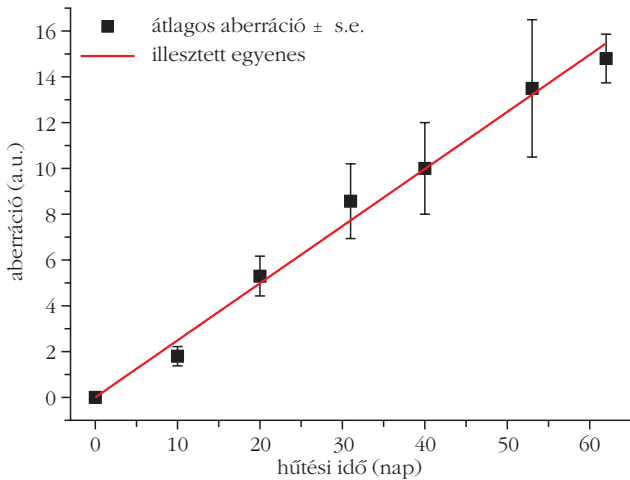
Azt tapasztaltuk, hogy hűtés hatására rajzolatbeli rendellenességek (aberrációk) alakulhatnak ki a természetes körülmények között, hűtés nélkül nevelt példányokkal szemben [9]. Ezen aberrációk mértéke, mint látni fogjuk, függ a hűtési időtől.

Kísérleti módszerek

Hűtési kísérleteinkhez saját nevelésű Ikarusz boglárka egyedeket használtunk. A fajra jellemző az ivari kétalakúság, azaz a hímek élénk kék szárnyfelszínűek, a nőstények viszont az esetek túlnyomó többségében barnák. A kísérletünkben szülő generációként alkalmazott imágókat (kifejlett egyedeket) a csillebércei Energiatudományi Kutatóközponthoz (régai nevén KFKI telephelyhez) közeli tisztások egyikén fogtuk be. A kék hímeket és barna nőstényeket ragadozóktól védve, hálólal fedett tápnövényen petéztettük. A kikelt hernyók is itt nevelkedtek, amíg a tápnövény elegendő volt. Ezt követően begyűjtöttük a hernyókat, és egyesével Petricsészékbe helyezve egészen a bábozódásukig folytattuk táplálásukat. Az egyedek, a tipikusan hajnali órákban lejátszódó bábozódásuk után, a hűtőszekrénybe kerültek, ahol 10 és 62 nap közötti meghatározott ideig +5 °C-on tartottuk őket. A hűtési idő leteltével a bábok a keltető edénybe kerültek, ahonnan a kikelés után az imágókat egyesével begyűjtöttük. Az imágók szárnyainak színét integrálgömbös optikai spektrometriával vizsgáltuk. E módszerrel a szárnyról visszavert összes fényt detektálni tudjuk, így a szerkezeti színek közti kicsiny eltérések is hatékonyan feltárhatók és összehasonlíthatók. Az egyedeken nemcsak a szerkezeti színt, hanem a fonákoldal mintázatát és annak elváltozásait is megvizsgáltuk. A rajzolat egyes elemeinek megváltozásához (aberrációjához) ponttérteket rendeltünk, amelyeket összevetettünk a hűtési idővel. Továbbá, néhány kiválasztott példány szárnypikkelyeiről optikai mikroszkópos, valamint pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkópos felvételeket is készítettünk. Ezek segítségével tártuk fel a fotonikus nanoszerkezet tulajdonságait.

A fonákoldal pigment alapú mintázata

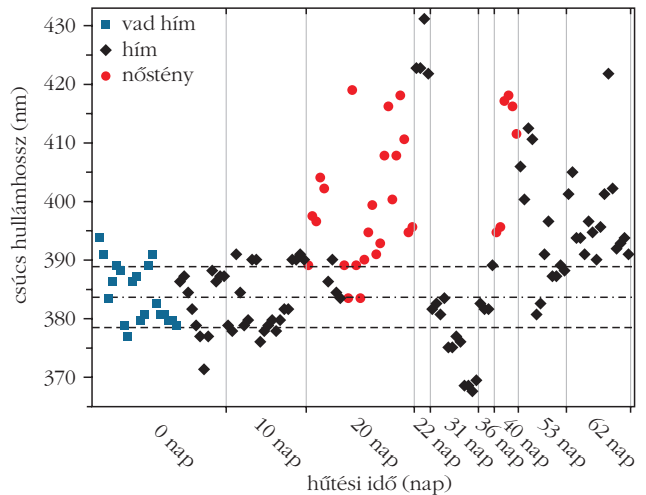
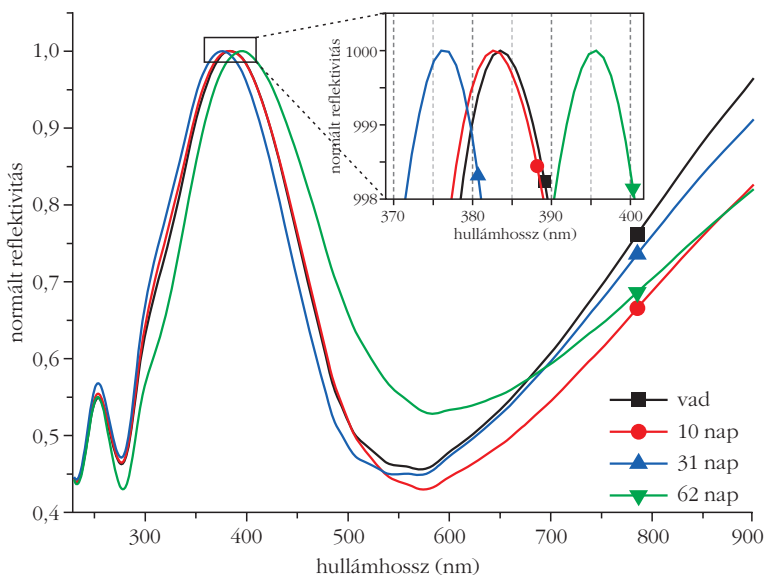
Az Ikarusz boglárka szárnyainak fonákoldali mintázata a hímek és a nőstények esetében megegyezik. Ez az összetett, pigmentszínéből álló mintázat a Boglárka-rokonúak nemzetségében tipikusan fehér gyűrűvel határolt fekete pöttyöket és narancsszínű foltokat tartalmaz. Az 1. ábrán (lásd az első, belső borítón) néhány, a kísérlet során kikelt lepké szárnya látható. A hűtetlen egyedeken megfigyelhető (1.e, g, m, o. ábrák), hogy a fekete pöttyök a szárnyak teljes felületén megtalálhatók; ezeket a példányokat tekintettük összehasonlítási alapnak. A fonákoldali mintázat elemei a hűtési idő növelésével megváltozhatnak: előfordul a foltok méretének csökkenése, valamint azok elhalványulása és eltűnése is. Ezeket a változásokat a tovább-



2. ábra. Ikarusz boglárka lepkék fonákoldali szárnyrajzolatának átlagos rendellenességei (aberráció) a hűtési idő függvényében. Látható, hogy a két mennyiség között egyenes arányosság van, azaz a hűtési idő növelésével egyre több elváltozást tapasztaltunk a fonákoldali mintázatban. s.e.: standard hiba, a.u.: tetszőleges egység.

biakban fonákoldali rendellenességeknek (aberrációknak) nevezzük. A leghosszabb ideig, 62 napig hűtött hím és a 40 napig hűtött nőstény aberrációi az 1.f, b, illetve az 1.n, p ábrákon láthatók. Megfigyelhető, hogy a hímnél szinte teljesen eltűnt a fajra jellemző mintázat, valamint a nőstényben is jelentősen lecsökkent a pöttyök mérete és száma is. Mind a 49 vizsgált példány esetében elvégeztük a hűtésekor létrejövő aberrációk számszerűsítését úgy, hogy a mintázat elemeinek változásához számértékeket rendeltünk: a vizsgált folt kismértékű aberrációjához egy pontot, míg jelentős változásához, illetve eltűnéséhez két pontot rendeltünk. E pontokat egyenként összegeztük, majd az azonos ideig hűtött lepkékre átlagoltuk. Az így kapott átlagos aberrációkat a hűtési idő függvényében ábrázoltuk (2. ábra). Látható, hogy a szárnyak

3. ábra. Különböző ideig hűtött Ikarusz boglárka hímek szárnyfelszínén mért visszaverési spektrumok a kék maximumra normálva. A kinagyított részen a csúcsok maximumai láthatók.

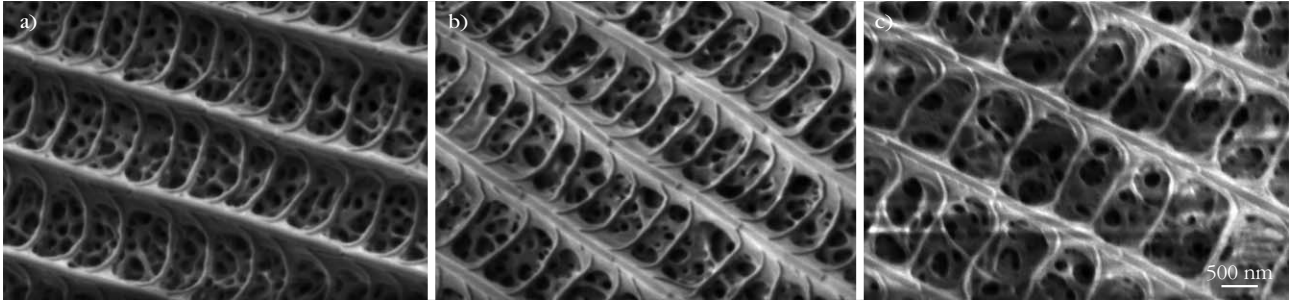


4. ábra. Ikarusz boglárka lepkeszárnyak felszíni visszaverési maximumának hullámhossza a hűtési idő függvényében. Látható, hogy a 10 napos hűtés nem okozott változást a szerkezeti színben, azonban a hosszabb hűtési idők esetén jelentősen megnőtt a szórás, és a kékpikkelyes nőstények is megjelentek.

fonákoldalán előforduló rendellenességek átlaga egyenes arányosságban van a hűtési idővel, azaz minél hosszabb ideig hűtöttük a bábokat, annál nagyobb változás jelent meg a kikelt lepkék fonákmintázatában.

A szerkezeti szín változásai

A szárnyak felszínének szerkezeti színét integrálgömbös spektrometriával vizsgáltuk. A hűtetlen, valamint a 10, 31 és 62 napig hűtött hímek átlagolt visszaverési spektrumait hasonlítottuk össze egymással (3. ábra). A 10 napos hűtés nem volt hatással a szerkezeti színre, a visszaverési spektrum egybevág a hűtetlen egyedeken mérttel. Viszont a 31 és 62 napig hűtött hímekben különböző irányú eltérés tapasztalható a csúcs maximumának pozíciójában: a 31 napos hűtés az ultraibolya-irányba tolta a visszaverési maximumot, míg a 62 napig hűtött lepkékben nagyobb hullámhosszak felé tolódott a csúcs. A jelenség elemzéséhez minden vizsgált egyed esetében ábrázoltuk a csúcsok maximumának hullámhosszát a hűtési idő függvényében (4. ábra). Az első nyolc minta mindegyike általában felnevelt hűtetlen egyed volt, amelyek természetes változatossága megfelel a korábban vizsgált, természetben nevelkedett példányokénak [8]. Így a hűtés hatására létrejövő spektrális változásokat ezzel a csoporttal hasonlítottuk össze. A 10 napig tartó hűtés nem okozott jelentős hullámhosszbeli eltolódást a szerkezeti színben, ahogy ez a 3. ábrán is látható. Ez összhangban van a fonákoldali mintázat megváltozásával is, mivel ilyen idejű hűtésnél csak kismértékű rendellenességeket tapasztaltunk. Azonban hosszabb ideig tartó hű-



6. ábra. A szárnypikkelyek fotonikus nanoszerkezeteinek pásztázó elektronmikroszkópos felvételei: Ikarusz boglárka (a) hűtetlen hím, (b) 22 napig hűtött hím, (c) 20 napig hűtött nőstény.

téskor a szerkezeti szín változása nem a fonákoldalon látott lineáris módon változó aberráció–hűtésidő függvényhez hasonló kapcsolatot mutatott. A mért értékek szórása a többszörösére emelkedett, függetlenül a hűtési időtől, valamint az eredetileg barna nőstényeken kisebb-nagyobb mértékű kék pikkelyes tartományok alakultak ki (1.j és 1.l ábra). Vagyis a hűtés hatására a nőstények szárnypikkelyeiben is megjelent a fotonikus nanoarchitektúra. Ez a megnövekedett színbeli változottság, valamint a kékes nőstények megjelenése azt mutathatja, hogy a bábok tartós hűtése formájában keltett külső stressz hatására a példányok egyedi genetikai változatossága jelenhetett meg.

Pikkelyek optikai és elektronmikroszkópiája

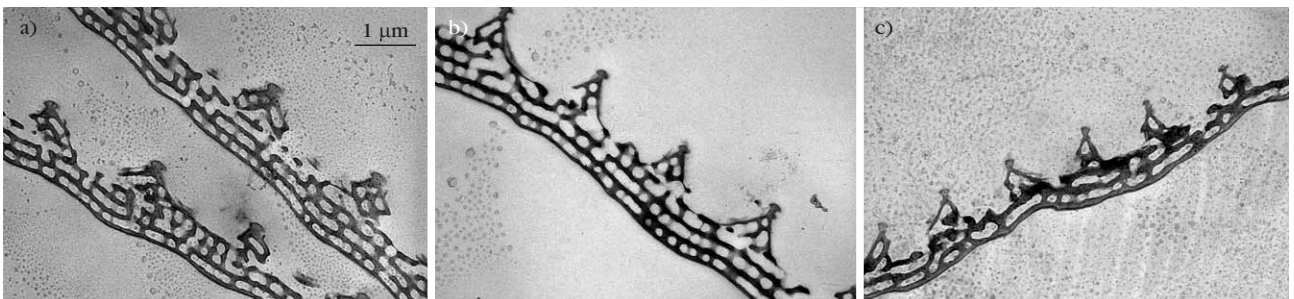
Az Ikarusz boglárkák szárnyainak megváltozásait optikai mikroszkóppal is megvizsgáltuk. A Boglárkarokonúak nemzetségében jellemzően két-két pikkelyréteg fedi a szárnymembrán mindkét oldalát, amelyek közül a felszín fedőpikkelyei rendelkeznek szerkezeti színekkel, az alappikkelyeket melanin színezi sötétbarnára. A természetes körülmények között nevelt hímeknél megfigyelhető a rendezett kék fedőpikkelyek rendszere, amelyek tetőcserépszerűen fekszenek egymáson (5.a ábra az első, felső borítón). A barna alappikkelyek alig néhány helyen lógnak ki a fedőpikkelyek közül, jellemzően ott, ahol ez utóbbiakból hiányzik egy-két darab. Ha összehasonlítjuk a 22 napig hűtött hím (5.b ábra) pikkelyeinek rendszerét a hűtetlenével, akkor határozott különbségeket tapasztalunk: a hűtés hatására szinte teljesen eltűntek a

rendezett pikkelysorok és -rétegek, helyüket pedig kék és barna pikkelyek rendezetlen halmaza vette át. A nőstényeknél ilyen jellegű, a rendezetlenség irányába mutató folyamatot nem figyeltünk meg, viszont valamennyi hűtött példányon feltűnő a kék pikkelyek megjelenése (5.d ábra), ami nem jellemző a vadon befogott barna nőstényekre (5.c ábra).

Pásztázó elektronmikroszkópba helyezve a hűtetlen és a hűtött egyedek szárnyait, feltárhatók a fotonikus nanoszerkezetek részletei. A hűtetlen hím esetében (6.a ábra) megfigyelhető a kék színt keltő, szivacszerű fotonikus nanoszerkezet [2], ami a pikkely teljes térfogatát kitölti. A felülnézeti képeken a 22 napig hűtött hím (6.b ábra) és a 20 napig hűtött nőstény (6.c ábra) fedőpikkelyeiben is hasonló szerkezet fedezhető fel. Tehát a kék nőstényekben is a fotonikus nanoszerkezet megjelenése az, ami a szárny kékségét okozza.

Transzmissziós elektronmikroszkóppal bepillantást nyertünk a pikkelyek belső szerkezetébe. Ehhez 70 nanométer vastag metszeteket készítettünk a fenti három egyed szárnyaiból, és az így nyert szeleteket elektronsugárral átvilágítva képet alkottunk a fedőpikkelyek keresztmetszetéről. A metszeteket a 6. ábrán látható, a pikkelyek teljes hosszán végigfutó gerincekre merőlegesen készítettük. A hűtetlen (7.a ábra) és a hűtött (7.b ábra) hímek fotonikus nanoszerkezetei között nem látható számottevő különbség. A nőstényen (7.c ábra) megjelenő kék pikkelyek szerkezete viszont eltér a hímekétől: kevesebb rétegű és rendezetlenebb fotonikus nanoszerkezet tölti ki a pikkely térfogatát, ennek megfelelően a visszavert szerkezeti színük is eltérő (4. ábra).

7. ábra. A szárnypikkelyek fotonikus nanoszerkezeteinek keresztmetszeti transzmissziós elektronmikroszkópos felvételei: Ikarusz boglárka (a) hűtetlen hím, (b) 22 napig hűtött hím, (c) 20 napig hűtött nőstény. A metszetek a pikkelyek hosszanti gerinceire (6. ábra) merőlegesen készültek.



Következtetések

Az Ikarusz boglárka bábok hosszú idejű hűtésének hatására az imágók szárnyainak felszínén mind a szerkezeti szín, mind a pigment alapú fonákmintázat megváltozott, azonban a különböző színeképzési folyamatok eltérő mértékű és irányú változásokat mutattak. A fonákdal festékanyagokon alapuló mintázatában a hűtési idővel egyenesen arányos rendellenességek jöttek létre: a hűtési idő növelésével a szárnyak egyre nagyobb részén tapasztaltunk megváltozó vagy eltűnő jellegzetességeket. Ezzel szemben a felszín szerkezeti színbeli változásainak karaktere, azaz a hűtési idő hatására megnövekedett színbeli változatossága azt mutatta, hogy a kék szexuális jelzőszín esetében kismértékű és egyedi spektrális változások jelennek meg a bábok tartós hűtésével. Ez kapcsolatban lehet a lepkék rejtett genetikai variációival, amelyeket a környezeti stressz (tartós hűtés) aktivált a vizsgált egyedekben. Az irodalomban beszámolnak hasonló, hőszok okozta megváltozásról, továbbá a 20, illetve 40 napig hűtött nőstények kék színének megjelenése (1.j és 1.1 ábra) is ezt a feltételezést támasztja alá.

A Kárpát-medencében, illetve az elterjedési területük középső részén az Ikarusz boglárka nőstényeinek szárnyfelszínén a barna szín dominál. Viszont a faj elterjedési területének szélein a nőstényekre is a kék szín jellemző, amit a fedőpikkelyeikben kialakuló, a hímekéhez hasonló, szivacszerű fotonikus nanoszerkezet állít elő. Ennek egy lehetséges magyarázata, hogy az elterjedési terület szélén a populáció sűrűsége alacsony, így a megszokott párkeresési stratégia nehezebben valósítható meg. Viszont, ha a nőstények is „felveszik” a fajra jellemző, fajspecifikus szerkezeti szint, akkor a feltűnő, messziről is követhető szexuális jelzőszín használatával genetikai állományuk továbbörökítésének esélyét jelentősen megnövelik.

Összegezve, az Ikarusz boglárka bábállapotban történő, ellenőrzött hűtésével kétféle elváltozást hoztunk létre: (i) A pigmentek által színezett fonákdali mintázat rendellenessége, ami egyenesen arányos a hűtési időtartammal, és kisebb egyedi eltérésektől eltekintve minden példánynál nagyon hasonló jellegű megváltozásokat tapasztaltunk. (ii) A szárnyak felszínén lévő szerkezeti színek megváltozása, amely ugyan kismértékben függött a hűtési időtől, de az egyedi variációk megjelenése sokkal hangsúlyosabb volt. Valószínűsíthető, hogy a bábok tartós hűtésével a faj rejtett genetikai variációit aktiváltuk, amelyek a természetben csak szélsőséges körülmények között, például az elterjedési területük szélein jelennek meg. Érdemes kiemelni, hogy a szexuális jelzőszín stabilitásának – a párválasztásban játszott szerepe miatt – nagyobb a jelentősége a leszármazottak genetikai állományának meghatározásában, mint a rejtőzködésben szerepet játszó pigment alapú mintázatnak.

Irodalom

1. Márk G. I., Bálint Zs., Kertész K., Vértesy Z., Biró L. P.: A biológiai eredetű fotonikus kristályok csodái. *Fizikai Szemle* 57/4 (2007) 116–121.
2. Bálint Zs., Biró L. P.: A lepkék színeváltozása. *Természet Világa* 135/7(2004) 310–313.
3. Kertész K., Piszter G., Vértesy Z., Biró L. P., Bálint Zs.: Színek harmóniája: a boglárkalepkék szerkezeti kék színének fajfelismerési szerepe – I. rész. *Fizikai Szemle* 63/7–8 (2013) 231–234.
4. Kertész K., Piszter G., Vértesy Z., Biró L. P., Bálint Zs.: Színek harmóniája: a boglárkalepkék szerkezeti kék színének fajfelismerési szerepe – II. rész. *Fizikai Szemle* 63/9 (2013) 293–298.
5. Rajkovits Zs., Illy J.: Az élő természet színei. *Fizikai Szemle* 51/3 (2001) 76–79.
6. Rajkovits Zs.: Szerkezeti színek az élővilágban. *Fizikai Szemle* 57/4 (2007) 121–126.
7. Bálint Zs., Biró L. P.: A lepkés szárny kémiai és fizikai színei. *Természet Világa* 140/11 (2009) 486–489.
8. Piszter G., Kertész K., Bálint Zs., Biró L. P.: Variability of the structural coloration in two butterfly species with different prezygotic mating strategies. *PLoS ONE* 11 (2016) e0165857.
9. Kertész K., Piszter G., Horváth Z. E., Bálint Zs., Biró L. P.: Changes in structural and pigmentary colours in response to cold stress in *Polyommatus icarus* butterflies. *Scientific Reports* 7(2017) 1118.

Jobb egy mentőötlet mint öt mentő egylet

– írta Karinthy Frigyes az egyletistápolás margójára.

**Most Társulatunknak lenne szüksége
egyletmentő ötletekre!**



Ezek az ötletek nem vesznek el,

ha a <http://forum.elft.hu>

linken, az ELFT stratégiai vitafórumán adjuk elő.

