VILÁGÍTÓ BAKTÉRIUMSOKADALOM

Eleven fényforrások

ÍRTA | FARKAS ALEXANDRA tudományos segédmunkatárs (MTA ÖK Duna-kutató Intézet), BARTA ANDRÁS tudományos munkatárs és HERCZEG TAMÁS tudományos munkatárs (ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium), VICTOR BENNO MEYER-ROCHOW vezető kutató (Világító Szervezetek Kutatóintézete, Hachijojima-sziget, Japán), ETELVINO BECHARA vezető kutató (São Paulo-i Szövetségi Egyetem Biokémiai Tanszék, Brazília).

Ha a milliónyi páncélos ostoros körül megmozdul a víz, azonnal kékes fényt bocsátanak ki
FOTÓ | DOUG PERRINE – CULTIRIS Képügynökség

Az élő szervezetek által termelt fény élettani hátterének és biológiai szerepének feltárása már eddig is számos újdonságot hozott a tudomány számára. De még további, megválaszolásra váró kérdések sorjáznak. A biolumineszcencia titkainak megfejtése az emberiség számára is haszonnal jár, hiszen a friss ismeretek új gyógyászati, diagnosztikai eljárások kidolgozására is vezetnek. A *Fény nemzetközi éve* jó lehetőséget kínál arra, hogy felidézzük a fényelőállításra képes fajok sokszínűségét, esetenként gyakorlati hasznosságát.

Az ókori tengerészeknek igazuk volt, amikor olyan, tejfehér tengerekről meséltek, amelyek éjszakánként kékesfehér fényben derengenek. *Plinius* (23–79) írt először a fénylésről, a világító, tengeri kagylókról. A jelenség létezését *Darwin* is megerősítette, amikor Föld körüli hajóútja során Dél-Amerika keleti partvidéke mentén vitorlázva éjszaka halvány fényben izzó hullámtarajok pompás fényjátékát figyelte meg.

TEJES TENGER HULLÁMAIN

A tengeri tűzijátékot sokáig a titokzatosság fátyla lengte körül, mígnem a modern technika alkalmazása segített a titok megfejtésében. A kiindulópontot az Indiai-óceán északnyugati részén tapasztaltak adták, ahol a tengerészek szerint „fehéres ragyogás észlelhető a horizonton”, és ezen áthaladva a „tejfehér tenger teljesen körülveszi a hajót”, jegyezték fel a naplójukba.
A rejtélyről *Jules Verne* is írt a Nemo kapitány című művében. Szerinte a „tenger fehér színe milliárdnyi ázalékállatka [egysejtű – *A szerk.*] jelenlététől ered”, amelyek „néha mérföldekre terjedő darabon tapadnak egymáshoz”.

A világító lárvák az új-zélandi Waitomo-barlangok mélyén élnek
FOTÓ | neverunprepared, flickr.com

A tejes tenger létezését egészen a közelmúltig csupán legendának vélték, mivel úgy gondolták, hogy a jelenséghez szükséges baktériumkoncentráció természetes körülmények között nem jöhet létre vizekben.

> *a tengeri fényjátékot parányi egysejtűek is előidézhetik*

2005-ben azonban *Steven Miller* és munkatársai hozzájutottak néhány műholdképhez, amelyeket éppen azon az 1995-ös éjszakán készítettek, amikor a *Lima* brit kereskedelmi hajó naplója szerint az óceánon látszott a lenyűgöző jelenség. Nagy meglepetésükre a megadott koordinátáknál megtalálták a fénykibocsátó baktériumok (*Vibrio harvey*) által megfestett, mintegy 15 ezer négyzetkilométernyi tejes tengert. A titokra tehát fény derült, a jelenség pontos hátterének és esetleges környezeti hatásainak megértéséhez azonban további vizsgálatokra van szükség. Régóta ismert, hogy vannak világító baktériumok, állatok, misztikus fényeket kibocsátó gombák. A kutatások során kiderült, hogy a tengeri fényjátékot parányi egysejtűek is előidézhetik. A fénylő élőlényeknek egyetlen közös tulajdonsága, hogy hőfejlődés nélkül bocsátják ki a fényt. A kutatók már régóta próbálják felderíteni az élő szervezetek keltette hideg fény, a biolumineszcencia részleteit.

LÁMPAGYÚJTÁS LUCIFERINNEL

A környezetbe jutó fény színe többnyire zöldes, de előfordul vörös és kék is. Erőssége is változó, néha alig észrevehető, máskor akár olvasni is lehet a fényforrás mellett. Míg az egysejtűek egész testükben világítanak, addig a soksejtűek szervezetében különleges világító szervek (például mirigyek) alakulnak ki, amelyek gyakran fényvisszaverő pigmentköpennyel béleltek, így reflektorként is működnek.
A fény minden esetben kémiai reakció következtében keletkezik, amikor a szervezetben levő luciferin nevű összetett fehérjemolekula oxigén felvételével átalakul. Ezzel a létrejövő új molekula gerjesztett állapotba kerül. A fénykibocsátás akkor zajlik le, amikor a molekula ebből a gerjesztett állapotból alapállapotba tér vissza. A kibocsátott fény színe a folyamatban részt vevő fehérjék szerkezetétől függ. A vegyi reakcióhoz nélkülözhetetlen a luciferáz enzim jelenléte is, amely katalizálja (elősegíti) a folyamatot. A kémiai átalakuláshoz magnéziumionok és az energiadús adenozin-trifoszfát (ATP) jelenlétére szintén szükség van.
Többféle luciferázt és luciferint ismerünk, de az egy fajba tartozó szervezetek általában ugyanazokat az anyagokat használják. Ennek ellenére mégis képesek lehetnek különböző színű fény kibocsátására. Ennek

Pókhálószerű fonalak várják a csillagfényes barlangba tévedő rovarokat
FOTÓ | VICTOR BENNO MEYER-ROCHOW

A bizarr külsejű horgászhal „horgászbotjának" fénylő végével csalogatja táplálékát
FOTÓ | DAVID SHALE – CULTIRIS Képügynökség

oka nem teljesen tisztázott, de a kétezres években megkezdett kutatások közelebb vihetnek a rejtély megoldásához. Így például biotechnológiai módszerek alkalmazásával sikerült a luciferáz enzim néhány aminosav-komponensét kicserélni, ami azzal járt, hogy a gerjesztett állapotú molekula szerkezete és energiaszintje is eltért a megszokottól. Az eljárással azt is elérték, hogy a kibocsátott szín is megváltozzon.

Van azonban az élővilágban a fénykibocsátásnak egy másik módja is: a fluoreszcencia. Ennek során a rövidebb hullámhosszú fényt elnyelő anyag nagyobb hullámhosszú fényt bocsát ki. A biolumineszcencia és a biofluoreszcencia gyakran nem független egymástól.

Amikor az ember az óceánok mélyebb zónáiba is lemerészkedett, kiderült, hogy sok világító állat él ott, legtöbbjük az úgynevezett középmély zónában. Az óceánok mélye igen barátságtalan élőhely, hiszen a napsugarak csupán a felső 200 méternyi vízoszlopot világítják át. A fény lefelé haladva gyorsan elenyészik, nagyjából egy kilométeres mélységben pedig már tökéletes sötétség honol. Nem csoda, ha ilyen helyzetben számos faj próbál saját lámpással boldogulni, akár önvédelmi vagy szaporodási célra, akár fegyverként használva azt.

SZEMFÉNYVESZTŐK ÉS FÉNYFÜGGÖNYÖSÖK

A *Némó nyomában* című, animációs filmből is ismeretes, bizarr külsejű *horgászhal alakúak* (Lophiiformes) *rendjébe* tartozó fajok igen leleményesek. E mélytengeri fajok nevüket világító csaliszerveikről kapták. Nőstényeiknek olyan gerincnyúlványuk van, amelynek vége világít, míg maga az állat a mélyben észrevétlen. A fénygömb számos gyanútlan prédaállatot csal a horgászhal szája elé, mivel éppen olyan, mint amilyet a kiszemelt áldozat hím és nőstény egyedei egymás megtalálására használnak. A szemfényvesztést a nyúlvány végén élő baktériumok idézik elő, amelyek egymagukban is képesek lennének fény kibocsátására, ám ebben a különleges szimbiózisban (míg ők védelmet élveznek) a folyamatot kénye-kedve szerint a horgászhal irányítja. A tintahalak közé tartozó *vámpírkalmár* (Vampyroteuthis infernalis) ezzel szemben önvédelemre használja a fényt. Ragadozó közelsége esetén teljesen megváltoztatja a küllemét, és az így láthatóvá váló fénykibocsátó szervei egy világító szempárra hasonlítanak. Összeszűkítésükkel még a távolodás látszatát is kelti. Csápvégeiből fénylő folyadékot spriccel szét a vízbe, amely elfedi valódi hollétét. Amíg az összezavart ragadozó a fényfüggöny bűvöletéből próbál felocsúdni, a kalmár könnyedén elillan. Felszíni rokonainak „tintafelhőjével" itt mit sem kezdhetne. Természetesen az óceán felső, fényes zónájában élőkre is számos veszély leselkedik. Néhány itt élő hal és fejlábú álcafénnyel rejtőzködik. Ha kivilágítják hasoldalukat, könnyedén beleolvadnak a víz és az égbolt határánál kialakuló, ezüstösen fénylő háttérbe, és így az alattuk elúszó ragadozó előtt láthatatlanok maradnak.

a világító állatok zöme tengerlakó, de a bogarak körében is elterjedt a jelenség

De arra is van példa, hogy a magát veszélyben érző prédaállat azért kezd el világítani, hogy a helyszínre csábítsa ellensége ellenségét. Ezt a fortélyt alkalmazzák például a *páncélos ostoros*ok, amelyek a rájuk leselkedő rákok elől kis méretük miatt képtelenek lennének gyorsan elmenekülni, így inkább felkeltik a rákok ragadozóinak figyelmét. Kék vagy zöld felfénylésüket már a vizet ért legkisebb mechanikai zavar – például egy hajó elhaladása vagy egy kő vízbe csapódása – is kiváltja, és ez nagytömegű jelenlétük esetén megragadó látvány. A *Két óceán között* című könyvük szerint *Jiří Hanzelka* és *Miroslav Zikmund* cseh világutazókat is ez a jelenség kápráztathatta el a Panamai-öböl térségében.

CSALOGATÓK ÉS RIASZTÓK

A Csendes-óceánban élő *kristálymedúzá*val (Aequorea victoria) kapcsolatos megfigyelések kiemelkedően fontos felismerésre vezettek. Azt tapasztalták a kutatók, hogy ernyője tövében erős, kékeszöld fényt bocsát ki, ha megzavarják az állatot. Kiderült, a fényjátékban közreműködő fehérje (GFP) ultraibolya megvilágításban zöld fényt bocsát ki. A zöld fluoreszcens fehérje felfedezéséért, a sejtek jelzőanyagaként történő hasznosításáért amerikai kutatók 2008-ban kémiai Nobeldíjban részesültek. Ha a fehérjét egy látni kívánt, de önmagában nem látható fehérje génjéhez kapcsolják, a rejtett folyamatok követhetőkké válnak. Az eljárás az orvosi diagnosztikában már eddig is sokszorosan kamatozott, különösen az idegélettan területén.

A világító állatok zöme tengerlakó szervezet ugyan, de a biolumineszcencia a szárazföldön is elterjedt jelenség az élővilágban, így például a bogarak körében. A világító bogarak közül hazánkban a június közepén rajzó *nagy szentjánosbogár* a legismertebb, amely 2015-ben az *Év rovara* címet is elnyerte (lásd: Az év rovara – A nagy szentjánosbogár, *TermészetBúvár* 2015/1. szám – *A szerk.*). Nem kevésbé érdekes az amazóniai tisztások és legelők termeszvárainak falában élő, igen falánk *Pyrophorus nyctophanus* nevű pattanóbogár lárvája, amely a zsákmány csalogatására használja zöld fényét.

A *parázsbogarak* (Phengodidae) fénye valószínűleg a ragadozók elriasztására szolgál, de a faj igazi különlegessége abban áll, hogy lárváik egyszerre két különböző színű fényt is képesek kibocsátani. Nyugodt körülmények között csak két vörös foltjuk világít, zavar esetén azonban testük zöld pontjait is felvillantják. Sötétben a hengeres lárvák ilyenkor mozgó vonatra hasonlítanak, ezért angol nyelvterületen „vasútkukac" a becenevük.

Az új-zélandi Waitomo-barlangok még ezeknél is izgalmasabb világító élőlényeket, a *gombaszúnyog*nak is nevezett légyfaj (*Arachnocampa luminosa*) lárváit rejtik. Ezek kékes fénnyel próbálják 10–15 centiméteres, pókhálószerű, ragacsos fonalaikba csalogatni a barlangba tévedt rovarokat, hogy azután elfogyasszák azokat. A több ezer fénylő lárva a barlang mélyéről éppen olyan látványt nyújt, mintha maga a csillagos égbolt látszana. A különlegesség évente ötszázezer látogatót vonz a világ minden tájáról.

ERDEI TÜNDÉRTÜZEK

A szárazföldi élőlények közül a világító gombákat fonja körbe a legtöbb rejtély. Néhány történet például arról számol be, hogy fülledt, nyári éjszakákon a korhadó tuskók felől kékes fényeket láttak fel-felvillanni az erdőkben. A régi kor embere ezt a jelenséget az erdei koboldoknak tulajdonította, mások szerint pedig a fény azt a helyet jelölte, ahol a tündérek éjszakai dáridókat tartottak. Azt is megfigyelték, hogy ha egy kosár faforgácsot hosszabb ideig a kályha mellett tároltak, felette időnként fényvillanások voltak megfigyelhetők.

A hazánkban is feljegyzett, titokzatosnak vélt jelenségek oka a *világító tölcsérgomba* (Omphalotus oleárius) fénylése, amelynek fonalai a lombos fák rönkjeiben élnek. *Olaus Magnus* svéd történész 1652-ből származó beszámolója szerint az erdő ismeretlen mélységébe merészkedő emberek is az ilyen, világító, korhadó tölgyfakérgeket használták útjelölésre, hogy visszataláljanak kiindulási helyükhöz. A mikronéziai bennszülöttek rituális táncaikban fejdíszként is használtak, vagy összetörve az arcukra kentek világító gombákat, hogy megijesszék ellenségeiket.

A világító gombák baljós előjelnek számítottak, így gyakran elpusztították őket.

A híres angol botanikus, *George Gardner* úgy fedezett fel új fajt 1840-ben, hogy az utcán egy csapat fiút világító gombával látott játszani. Azt is megmutatták neki, hogy melyik korhadó pálmán találták meg, de ezután a fajnak látszólag nyoma veszett. A *brazíliai kókuszvirággombá*t (Neonothopanus gardneri) 2009 sötét, újholdas éjszakáján fedezték fel újra *Cassius Vinicius Stevani* és munkatársai. Sokáig úgy vélték, hogy a gombák fénytermelése éjjel-nappal állandó, ám 2015 márciusában *Jay Dunlap* kutatócsoportja kimutatta, hogy a faj biolumineszcenciáját a belső biológiai óra vezérli, ezért fénykibocsátása – a napszakok változásához szigorúan igazodva – csak éjjel figyelhető meg. A fénylés szabályozásában részt vevő gének azonosításához további kutatásokra van szükség.

Az egyik, valószínű elképzelés szerint a jelenleg ismert, hetvennél is több világító gombafaj fénykibocsátása azért fontos, mert ennek segítségével csalogatják magukhoz a spóráikat terjesztő rovarokat. Jay Dunlap és munkatársai ennek bizonyítására akrilgyantából belülről kivilágítható műgombákat készítettek, amelyeket ragacsos anyaggal vontak be. Ezeket olyan erdőkbe helyezték ki, ahol más, világító gombafajok is éltek, majd egy részükben bekapcsolták a fényforrásokat, másokat pedig kivilágítatlanul hagytak. A kísérlet során kiderült, hogy a műgombák ragadós felszínén sokkal több rovar esett csapdába, mint a sötétben maradt társaikon, így bebizonyosodott, hogy a fény valóban vonzó a spórákat terjesztő rovarok számára. De az is lehetséges, hogy a világító gomba fénye épp azt jelzi a közeledő rovaroknak: vigyázat, mérgező vagyok!

A biolumineszcencia további kutatása, a hideg fény kibocsátására képes fajok alaposabb megismerése még sok meglepetést tartogathat.

A puhatestű tengerlakó *Flabellina affinis* megvilágításban sajátos színeket mutat
FOTÓ | CULTIRIS Képügynökség

A brazíliai kókuszvirággomba termőteste nappal...

... és sötétben, amikor zöld fénnyel világít
FOTÓ | CASSIUS VINICIUS STEVANI, IQ-USP, Brazília