

A VILÁG UGRÓVILLÁS SZEMMEL

Az ember számára érzékelhető vizuális környezet, habár rendkívül változatos, csak egy apró részhalma egy olyannyira gazdag világnak, amelyet el sem tudunk képzelni. Környezetünk számunkra láthatatlan elemeit sok élőlény képes érzékelni, így van ez a fény polarizációjával is. Az itt leírtakból ősi izeltlábúak példáján megismerhetünk egy módszert, amelynek segítségével bepillantást nyerhetünk egy adott élőlény által érzékelt világba.

A hatlábúak altörzsébe tartozó ugróvillások az összes kontinensen megtalálhatók, beleértve a zord antarktisi vidékeket is. Mintegy 7000 fajuk ismert, melyek a szárazföldi ökoszisztéma fontos részét képezik. Főként a talajban élnek, ahol bomló növényi részekkel, illetve gombákkal táplálkoznak. Általában menekülnek a fény elől, hiszen a számukra ideális környezetet jelentő talaj ismerve a fény hiánya. Léteznek azonban olyan ugróvillásfajok is, amelyek épphogy vonzódnak a fényhez, más szóval pozitív fototaxissal rendelkeznek. Ilyen például a vízi ugróvillás (*Podura aquatica*), mely a vízfelszíneket népesíti be. E faj egyedei csekély tömegüknek és víztaszító kültakarójuknak köszönhetően képesek a vízben mint egy gumihártyán mozogni.

Az ugróvillások mérete a milliméteres nagyságrendbe esik, legjellegzetesebb szervük pedig a furka vagy másnéven ugróvilla, mely a negyedik potrohszelvényről eredő, villa alakú ugrószerv. Ez alaphelyzetben előrehajlik a hasi oldalhoz simulva, ám egy pillanat alatt képes hátracsapódni, akár 10 centiméteres magasságba repítve ezzel az állatot. A helyváltoztatás e sajátos módja a ragadozók előli menekülésben segíti az ugróvillásokat.

A furka egyes fajoknál hiányzik vagy meglehetősen csökevényes. Másik jellegzetes szervük az első potrohszelvényről eredő hasi tömlő, melynek legfontosabb szerepe a vízháztartás szabályozása.

A szem, legyen az bármilyen egyszerű, kezdetleges, életbevágóan fontos információkkal szolgálhat egy élőlény

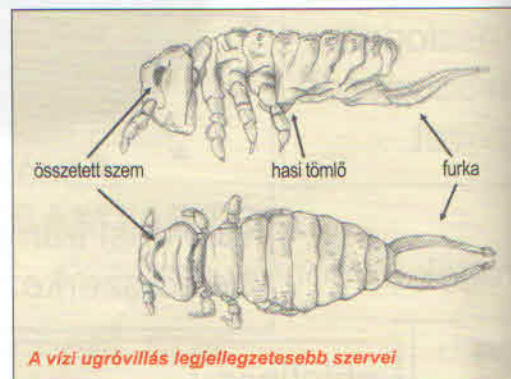


Vízi ugróvillások a víz felszínén
(FOTÓ: TOBY BARTON)

számára. A rovaroknál gyakori összetett szem az ugróvillások esetében is megtalálható, azonban jóval szerényebb formában. A szitakötők összetett szemét például nagyjából 3000 egyszerű szem – ommatídium – alkotja, amelyek viszonylag jó felbontású képet adnak a külvilágról. Ellenben az ugróvillások összetett szeme legfeljebb 8 ommatídiumból áll, következésképpen e faj egyedei környezetüknek csak egy módfelett elnagyolt képét érzékelik.

Rend a fényben

A fény elektromágneses hullám, melyben az elektromos és mágneses tér mint fizikai mennyiségek, a terjedési irányra merőlegesen rezegnek, pontosan úgy, mint ahogy a megrántott kötélen egy adott pontja a kötélen végigszaladó hullám haladási irányára merőlegesen mozdul el. Egy valódi fénynyalábot úgy is elképzelhetünk, mint



A vízi ugróvillás legjellegzetesebb szervei

ilyen, egymás mellett haladó elemi hullámok sokaságát. Az emberi szem a fénynek a színét és intenzitását képes érzékelni, ezt a két paramétert a sokaságot alkotó hullámok hullámhossza, illetve száma határozza meg.

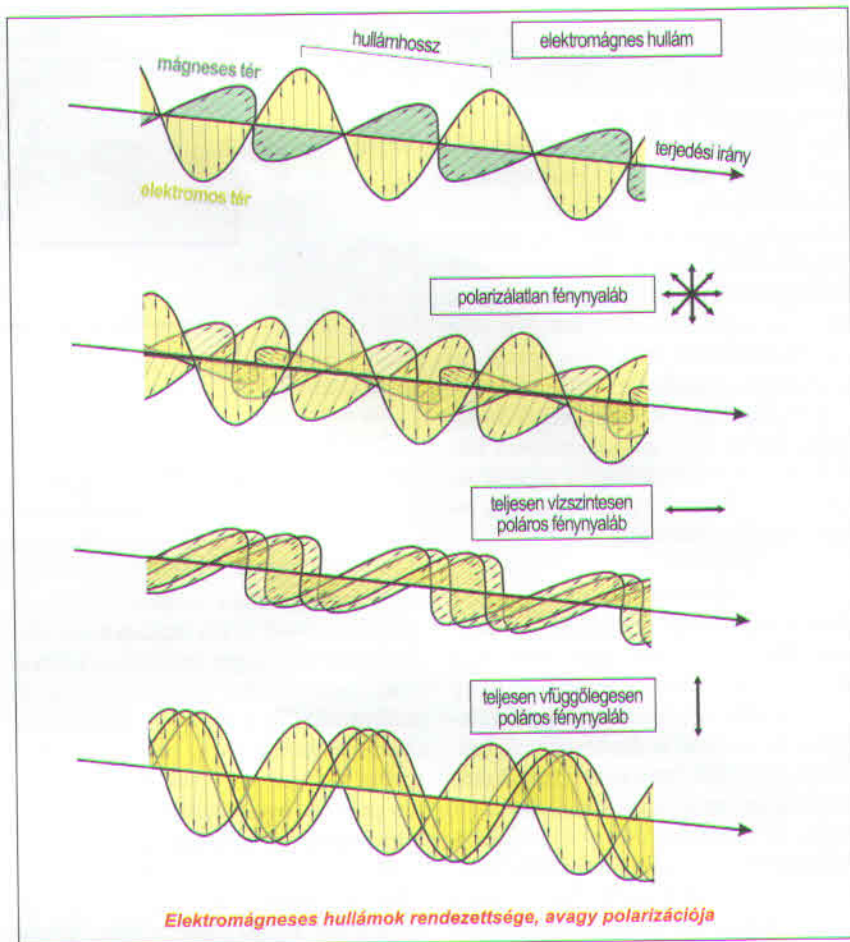
A fénynek azonban további jellemzői is vannak, mégpedig az elektromos tér-

erősség rezgéssíkjaival kapcsolatosan. Ha a hullámsokaságban jelen van egy ki-tüntetett irány, amelyben sokkal nagyobb valószínűséggel rezeg az elektro-mos térerősség, mint más irányokban, akkor erre azt mondjuk, hogy a fény-nyaláb polarizált. A rendezettség mérté-ke adja meg a polarizáció fokát, a kitün-tetett irány pedig a polarizáció irányát. Egy teljesen rendezetlenül rezgő elemi hullámokból álló fénynyalábot – ami-lyen a közvetlen napfény is – polarizá-latlannak nevezünk. Ha azonban a po-larizálatlan fény például egy vízfelület-ről visszaverődik, akkor polárossá válik, azaz jelentős rendezettség áll be az elektromos tér rezgésében, mégpedig víz-szintes irányban. A vízfelületekről tehát az esetek legnagyobb többségében víz-szintesen polarizált fény verődik vissza. Az előző analógiának megfelelően a vízfelületet érő polarizálatlan napfény-nek egy minden irányba, véletlenszerű-en rázott kötél, a visszavert fénynek pe-dig egy kis bizonytalansággal ugyan, de határozottan vízszintesen rezgetett kö-tél feleltethető meg.

Választásos kísérletek

Az emlősök kivételével számtalan állat képes érzékelni a polarizációt. Meg-annyi vízirovar például a vízfelszínről visszaverődő fény polarizációja alapján ismeri fel a víztesteket és vonzódik a vízszintesen poláros fényhez, azaz pozitív polarotaxissal rendelkezik. Ugró-villásoknál korábban még nem vizsgál-ták a polarizációérzékelés meglétét, azonban a vízi ugróvillás erősen vízhez kötött életmódja miatt felmerül a gya-nú, hogy talán e faj is érzékeli és hasz-nálja a fény polarizációját.

Ilyen kérdések megválaszolására vá-lasztásos kísérleteket szokás végezni. Ezeknek az a lényege, hogy a vizsgálni

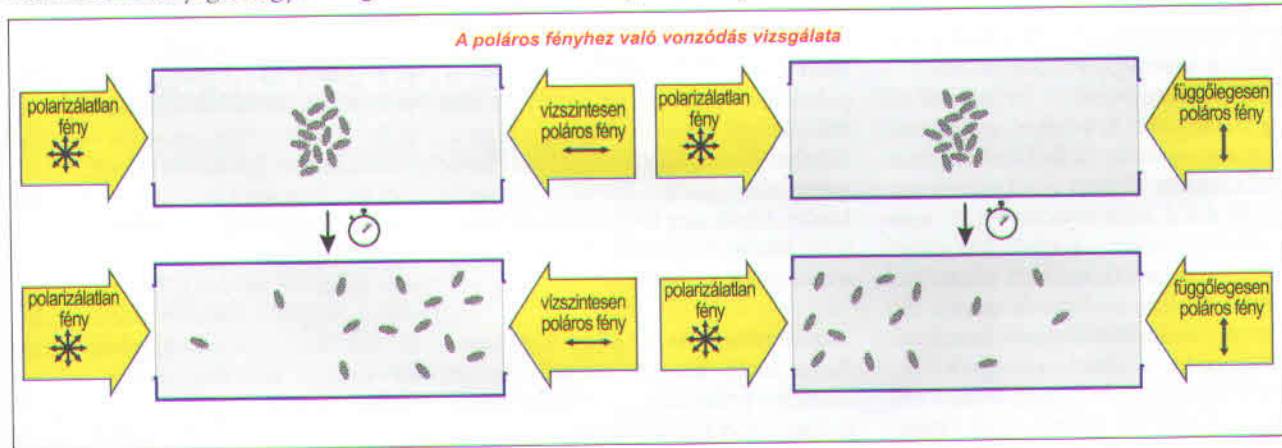


Elektromágneses hullámok rendezettsége, avagy polarizációja

kívánt állapotot egy arénába helyezzük, ahol különböző ingerforrások hatnak rá. A kiváltott viselkedésbeli reakciók alapján aztán az alkalmazott ingerek-nek a vizsgált élőlény életmenet-straté-giáiban betöltött szerepére következtethetünk.

Látással kapcsolatos kérdések eldön-téséhez értelemszerűen vizuális ingereket célszerű alkalmazni. Egyszerűen ellenőrizhető például az az ismert tény, hogy a vízi ugróvillás vonzódik a fény-hez. Ehhez a vizsgálatához olyan aréná-

ra van szükség, amelyben két különbö-ző oldalról különböző fényingerekkel hathatunk az állatokra. Ha egy ilyen aréna közepéről ugróvillásokat eresztünk el, akkor megfigyelhetjük, hogy a beállított két ingerforrás közül melyik felé mozdulnak el. Ehhez azonban az arénának a vizsgált paramétert ki-véve minden tekintetben szimmetri-kusnak kell lennie, beleértve például a páratartalmat, a hőmérsékletet, a sza-gokat vagy az állat számára látható formákat is.

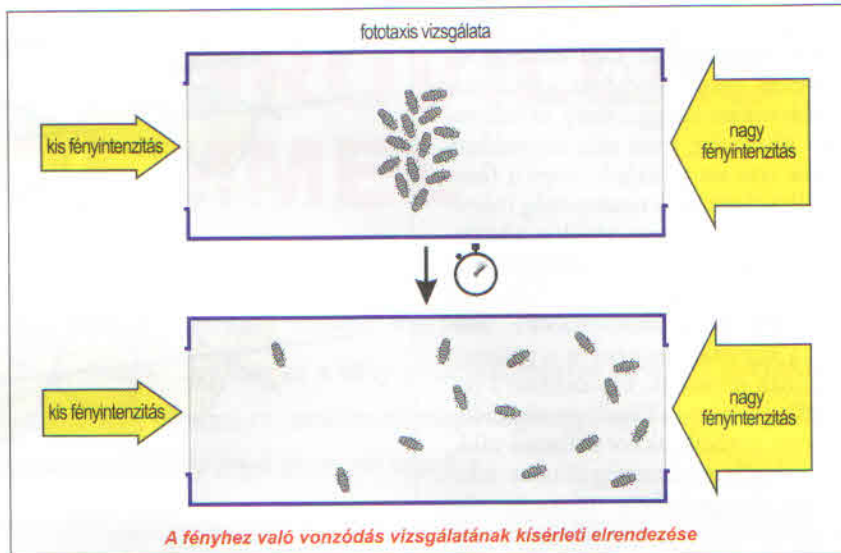


Ahhoz tehát, hogy egyszerűen a fényhez való vonzódást vizsgáljuk, olyan kísérleti elrendezésre van szükség, amelyben a teszt elején az aréna közepén álló állat két ingerforrás közül választhat, s azok között csak a fény intenzitásában van különbség, minden más tekintve azonosak. Csak így lehetünk teljesen biztosak abban, hogy a fényerősség-különbség miatt preferálja az adott élőlény az egyik, vagy a másik oldalt. Sok száz vízi ugróvillással elvégezve egy olyan választásos kísérletsorozatot, amelyben a világos és a sötét fényinger intenzitása között több nagyságrendnyi különbség van, kiderül, hogy a vizsgált állatoknak valóban jelentős hányada a világos oldalhoz vonzódik.

Az arénában

Ahhoz tehát, hogy a cikk elején feltett kérdésünket megválaszoljuk, miszerint a vízi ugróvillás képes-e érzékelni a fény polarizációját, az arénában ingerforrásként poláros fényt is alkalmaznunk kell. A legegyszerűbb ingerkonfiguráció például, ha az egyik oldalon polarizálatlan fényt, a másikon pedig vízszintesen polárosat alkalmazunk, ám azonos fényerősséggel. Sok száz ugróvillást egy ilyen aréna közepéről eleresztve, azt tapasztaljuk, hogy az állatok nagy része a vízszintesen poláros fényinger felé mozdul el. Ha viszont a vízszintesen polarizált fényingert függőlegesen polárosra cseréljük, azt látjuk, hogy az ugróvillások inkább a polarizálatlan fényhez vonzódnak, a függőlegesen polárosat pedig elkerülik. Ezek az eredmények egyértelműen arra utalnak, hogy azonos fényintenzitás mellett a vízi ugróvillás leginkább a vízszintesen polarizált fényhez vonzódik, közepesen vonzódik a polarizálatlanhoz és legkevésbé a függőleges rezgésű fényhez. Ezzel azonban még nincs bizonyítva, hogy e faj képes különbséget is tenni a fény polarizációs sajátságai között.

Ennek megértéséhez képzeljünk el egy fénynyalábót, amelyet nagyszámú, szorosan egymás mellett haladó elemi hullám alkot teljesen véletlenszerű rezgésűkkel, azaz minden egyes elemi hullám egy adott, a többitől különböző síkban rezgetett kötélnek feleltethető meg a korábbi analógiánk szerint. Ekor polarizálatlan fényről beszélünk. Az előző kísérletünkben az egyik fényinger éppen ilyen volt, míg a másik például vízszintesen poláros, tehát kizáró-



lag vízszintes síkban rezgetett kötélnek megfelelő elemi hullámokból állt. A kétféle fényinger intenzitása azonos volt, azaz darabra ugyanannyi elemi hullám alkotta a polarizált fényingert, mint a polarizálatlant, csak éppen vízszintes síkba rendeződve. A függőlegesen poláros fény esetében pedig ugyanannyi rendezett elemi hullámot kell elképzelni, csak függőleges síkban.

Ha egy olyan látószervvel tekintենek e háromféle fénynyalábba, amely csak a fény vízszintesen polarizált összetevőjét érzékeli, akkor a polarizálatlan fényt gyengébb, egészen pontosan feleakkora intenzitásúnak érzékelnék, mint a vízszintesen poláros nyalábót, hiszen az utóbbit több vízszintesen rezgő komponens alkotja. Más szóval, a polarizálatlan fény esetében mindenféle rezgésűkbe szét van osztva ugyanannyi elemi hullám, mint a vízszintesen rendezett esetben. Ha pedig a függőlegesen poláros nyalábba tekintenek bele, akkor nem érzékelnék fényt, hiszen abban nincsen vízszintesen rezgő összetevő. Ennek értelmében egy ilyen látószervvel rendelkező élőlényről nem állíthatjuk, hogy képes-e a polarizáció látására, hiszen nem tud különbséget tenni például egy polarizálatlan fénynyaláb és egy feleakkora intenzitású vízszintesen poláros nyaláb között. Ugyanígy képtelen lenne megkülönböztetni egy függőlegesen poláros fényingert a sötétségtől.

Az érzékelt és a teljes valóság

A perdöntő kísérlet elvégzéséhez az arénában polarizálatlan és vízszintesen poláros fényt kell alkalmazni, ám a po-

láros fényinger intenzitását feleakkorára vagy még kisebbre kell állítani, mint a polarizálatlanét. A kísérlet elvégzésével kiderül, hogy a vízi ugróvillás még akkor is a vízszintesen rezgésű fényhez vonzódik inkább, ha az 10-szer kisebb intenzitású, mint a polarizálatlan fényinger. Ez egyértelműen bizonyítja, hogy a *Podura aquatica* ugróvillás mindössze 8 ommatidiumból álló összetett szeme is képes különbséget tenni a fény rezgéseinek különféle rendezettségei között, azaz érzékeli a fény polarizációját. Ehhez a látószervének a fény két, egymásra merőleges síkban történő rezgéseinek erősségét kell mérnie, és a kettő közötti kontraszt szolgál információval a beérkező fény polarizációjáról.

A vízi ugróvillás receptorsejtjeinek a polarizációérzékelést lehetővé tevő elrendezését már évtizedekkel ezelőtt ismerték, azonban az itt leírt választásos kísérletek eredményeivel vált bizonyossá, hogy a fénypolarizáció érzékelése ökológiai szerepet is betölt a vízi ugróvillás esetében. A vízszintesen polarizációjú fényhez való vonzódás minden bizonnyal a vízfelületek azonosítását szolgálja, hiszen a vízi ugróvillás szorosan vízhez kötött életmódot folytat.

A most röviden bemutatott kísérletek eredményei amellet, hogy újkeletűek, némi képet adhatnak arról, hogy az általunk érzékelt valóság mennyivel szűkebb a teljes valóságnál, ami minden különböző típusú élőlény számára eltérő módon nyilvánul meg.

EGRI ÁDÁM