

Természet Világa

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY

127. évf. 3. sz.

1996.

MÁRCIUS

ÁRA:

88 Ft

HORVÁTH GÁBOR – JOCHEN ZEIL

Állatcsapdák, avagy

egy olajtócsa vizuális ökológiája

Természet
Világa



A TUDOMÁNYOS
ISMERETTERJESZTŐ TÁRSULAT
ÉS A KÖZLÖNY-ÉS LAPKIADÓ
FOLYÓIRATA

Megindította 1869-ben
SZILY KÁLMÁN

A TERMÉSZETTUDOMÁNYI
KÖZLÖNY
127. ÉVFOLYAMA

1996. 3. sz. március

HORVÁTH GÁBOR

Állatcsapdák, avagy

Egyes ősi aszfaltmocsarak nagyszámú állatfajt ejtettek csapdába. Az így keletkezett, sokszor igen jó megtartású kőületek ma is fontos szerepet játszanak az őslénykutatásban. A kuvaiti Öböl-háborúból visszamaradt kőolajtavak hasonló módon tévesztenek meg, vonzanak magukhoz és ejtenek csapdába számos állatot, főleg vízirovarokat és vízimadarakat. Cikkünkben azt vizsgáljuk, melyek azok a vizuális jelek, amelyek döntőek ebben a folyamatban. Terepi méréseink során számítógépes nagylátószögű videopolarimetriával határoztuk meg néhány kuvaiti kőolajtó fénytükrözési és fénypolarizációs sajátosságait. Sikerült feltárnunk, hogy egy fénypolarizáció-látással rendelkező, vizet kereső állat számára egy kátránytócса olykor miért csábítóbb, mint egy víztócса. Számítógépes modellezéssel szemléltetni tudtuk, hogy mit is lát egy állat polarizációs csatornáján át az olajtavak közelében.

Az 1990/91-es Öböl-háború a kőolajért folyt. A háború vége felé a Kuvaitból visszavonuló iraki hadsereg több, mint 900 olajkutat robbantott fel. Az így fellángolt olajtüzeket csak több hónapos nemzetközi összefogással sikerült eloltani. A tűzoltók először a lángokat fékezték meg, majd kitorésgátlókkal a feltörő kőolajat is. E folyamat eredményeként több százezer tonna nyersolaj ömlött a sivatag homokjára, ill. folyt az Arab-öbölbe. Az égő olajkutak koromfelhőjének, valamint a tengerfelszínen szétterülő olajnak a sajnálatos környezeti hatása közismert: előbbi a nagyobb vulkánkitörések por- és füstfelhőinek a légköri hatásával volt analóg, s már-már „nukleáris télllel” fenyegetett, utóbbi pedig az olajszállító hajók elsüllyedésekor tengerbe ömlő olaj hatásának felelt meg. Megrázó képek járták be a nagyvilágot a kuvaiti partokra ki-kicsapó olajos víz hullámok biológiai hatásairól is, pl. olajban vergődő tengeri madarokról.

Az azóta eltelt mintegy 5 év alatt a tengerpart úgy-ahogy megtisztult, a vízen úszó olajfoltok is eltűntek a háborús pusztítások romjaival együtt. A társadalmi és biológiai élet visszatért normális kerékvágásába. Az iraki inváziókor kiközöskent időknek azonban még ma is léteznek eddig el nem tüntetett nyomai: a több száz, háborúból visszamaradt kisebb-nagyobb kőolajtó és kátránytócса. Ezeket az olajtavakat még mindig nem tudta felinni, eltemetni a sivatag homokja. Az évszakok váltakozását

követően ciklikusan meg-megújul az olajfelszín, amit korábban homokkal fújt be a sivatagi szél. Az újonnan felmelegedő, felbuggyanó kőolaj felszínének egy kevésbé ismert biológiai hatása, hogy számos állatot téveszt meg, vonz magához, és ejt csapdába.

Az olajcsapdába esett állatok

Egyes olajtavakat a partvonallal párhuzamosan futó koncentrikus gyűrűk öveztek (1. ábra). Közelebről megvizsgálva e sávokat kiderült, hogy rovartetemek tömkelege alkotta őket. E jelenség arra vezethető vissza, hogy az évek során a nyílt olajfelszín fokozatosan csökkent a párolgás és a homokba való elszívárgás miatt, így a partvonal lassan, de állandóan visszahúzódott, beszűkülött. Ha az évszakosan rajzó rovarok a parton vagy annak közelében értek földet és ragadtak az olajba vagy az azzal átitatott homokba, akkor tetemeik térbeli eloszlása rögzítette a pillanatnyi partvonal alakját a következő év újabb rovarinváziójáig. Azt, hogy egyes rovarok miért csak a part közelében landoltak, nem tudjuk. Egy másik elképzelésünk szerint az olajba ragadt rajzó rovarok kitinpáncéljai kezdetben az egész olajfelszínt egyenletesen borították, de a szél a partra sodorta őket, s így keletkeztek a sávok.

A szitakötők annyira vonzóknak találták az olajfelszínt, hogy a párok kopuláló gyű-

*A dolgozatban foglalt eredmények a Magyar Állami Eötvös Ösztöndíj (MÖB) és az F-014923 számú Fiatal OTKA-pályázat támogatásával születtek.

– JOCHEN ZEIL

egy olajtócsa vizuális ökológiája

rübe kapcsolódva lejtették násztáncukat az olaj fölött röpködve, s a nőstények az olajba próbálták meg lerakni petéiket. Esőzések után az olajtavak egy részét víz öntötte el; az egyidejűleg létező víz- és olajfelszín így érdekes megfigyelést tett lehetővé: a párosodó szitakötők meglepő módon nem a vízfelszín fölött repkedtek gyakrabban, hanem inkább az olajfelületre próbálták lerakni petéiket, ami sejteti, hogy az olajfelszín számukra csábítóbb volt, mint a vízé.

A kuvaiti kőolajtavak gyakran egészen sekélyek, olykor pocsolva-, tócsaszerűek, mélységük helyenként csak néhány centiméter vagy milliméter. Egy szitakötő számára persze már ez is végzetes; ha csak szárnyával érinti az olajat, rögtön röpképtelen lesz, lezuhan és végleg a kátrányba ragad (2/a ábra). Hasonlóan igaz az összes többi ízeltlábúra vagy más kis testű állatra (pl. gyíkra, kígyóra, egérre) is. Kevésbé érthető azonban, hogy a nagy testű, erős vízimadarak, pl. a gémek miként pusztultak bele a sekély olajtócsákba (2/b ábra). A legtöbb vízimadár látórendszere ugyanis az emberével összehasonlítva sok szempontból jobb (pl. nagyobb a térbeli felbontóképessége, jobb a színlátása), s ha messziről esetleg mégis megtévesztheti őket az olajfelszín csillogása, a közelükben landolva látás és (esetenként) szaglász útján már észlelniük kellene, hogy nem vízről van szó.

Feltevésünk szerint a vízimadarak azért pusztulnak el, mert elkábulnak és mérgezőést szenvednek, amikor a párolgó illékony olajkomponenseket belélegzik vagy inni próbálnak az olajból, de tollaik is összeragadnak, és emiatt röpképtelenek lesznek. Nem magától értetődő az sem, hogy ténylegesen mi is csábítja az olajtavakhoz az állatokat. Erre kézenfekvő magyarázatul szolgálhatna a sima, tiszta kőolajfelület napsütésbeli csillogása. Az alábbiakban azonban látni fogjuk, hogy a valóság ennél bonyolultabb. A válasz egy kevésbé kutatott, de igen általános biológiai, vizuális ökológiai kérdés vizsgálatában rejlik: az állatok (főleg a vizek közelében élők) vízkeresési és vízdetektálási stratégiájában. E probléma még napjainkban sem kellően tisztázott, s az az általános nézet, hogy az állatok a vízfelszínnek tükrözött fény intenzitása alapján, tehát fototaxissal találják meg a vizet. Hogy ez mennyire nem így van pl. a vízirovaroknál, az csak

1991-ben vált világossá egy felfedezés eredményeként.

A vízirovarok fénypolarizáció-érzékelése és vízdetektálása

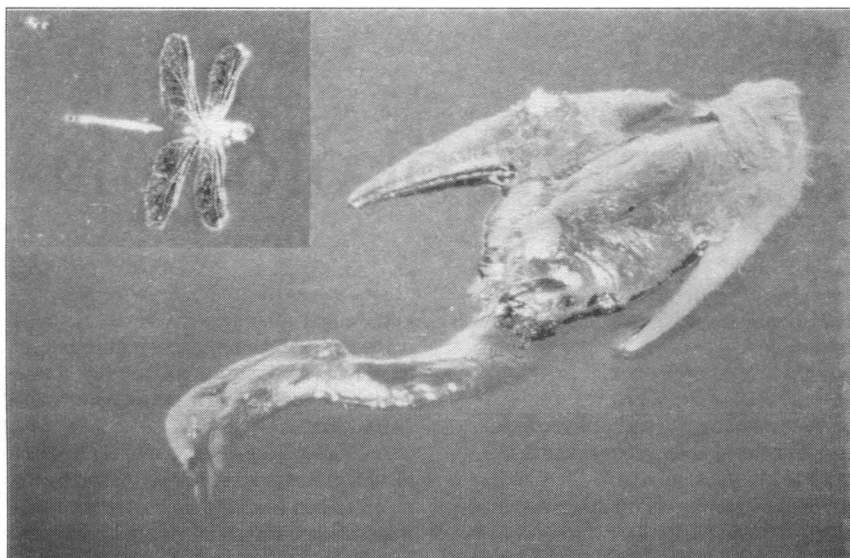
Az emberi szem gyakorlatilag vak a fény polarizációjára. 1949-ben Karl von Frisch fedezte fel, hogy a méhek az égbolt polarizációs mintázata alapján is képesek tájékozódni, mert összetett szemük érzékeli azt. Azóta kiderült, hogy más rovarok és ízeltlábúak (pl. lepkék, legyek, tücskök, sivatagi hangyák, pókok, rákok) is képesek felfogni a lineárisan poláros fény rezgési síkját. Ezen állatok legtöbbje a méhekhez hasonlóan az égbolt polarizációs mintázatából következtet a szoláris meridián irányára, mikor a Nap a felhők, a te-reptárgyak vagy a napnyugta miatt nem látható. Az ízeltlábúak fotoreceptoraiiban ugyanis a sejtmembránnak speciális, ujj-szerű kitüremkedései, ún. *mikrovillijei* vannak, amelyek egymással párhuzamosak és a bennük lévő látópigment-molekulák a hossz tengelyükkel párhuzamosan rendeződnek. Mivel a látópigment mole-

kulái annál több fényt nyelnek el, minél párhuzamosabb a fény rezgéssíkja a dipól-tengelyükkel, ezért a mikrovillis fotoreceptorok érzékenyek a polarizáció fokára és irányára.

A polarizáció-érzékelés a tájékozódáson túl sok másra is alkalmas pl. vízdetektálásra. 1991-ben Rudolf Schwind fedezte fel a Regensburgi Egyetem Állattani Intézetében, hogy a vízirovarok és a nedves anyagokban élő rovarok látórendszere is érzékeny a fénypolarizációra, és hogy e rovarok a vízfelületről tükröződő nap- és égboltfény horizontális polarizációja alapján találják meg a vízi életterüket, olykor az ultravioleta (UV) spektrális tartományban. Ha repülés közben vizet keresve egy vízirovar az optikai környezete bármely tartományából horizontálisan poláros fényt észlel, akkor egyenesen arra veszi repülési irányát, majd vizet remélve fejest ugrik abban, ill. landol a fényforráson. Számítása az esetek többségében be is válik, mivel a természetben szinte kizárólag csak a vízfelületekre jellemző az erős, horizontálisan poláros visszavert fény. Példának okáért a zöld növényzet egyrészt viszonylag kevés fényt ver vissza az UV- tartományban,

1. ábra. A kuvaiti kőolajtavakat gyakran a homokos partvonallal párhuzamosan futó koncentrikus gyűrűk övezik, amelyeket több ezer rovar, főleg szitakötő és vízirovarok kitinpáncélja alkot. E sávok léte az olajtó felületének fokozatos beszűkülésével és a rovarok évszakos rajzásával magyarázható





2. ábra. Kőolajba ragadt szitakötő és gém egy kuvaiti kátránytölcsésében. Egy kisebb kőolajtó az évek során több ezer ízeltlábút, sok hullót, madarat és rágcsalót ejt csapdába

másrészt pedig a reflektált fény polarizációs iránya nem vízszintes, hanem a Nap irányára merőleges a levelek és ágak véletlenszerű elrendeződése következtében.

A rovarok összetett szeme a gerincesek egyszerű lencsés szemével összehasonlítva sokkal kisebb térbeli felbontású, és természetesen a rovarok „értelmi képessége” is messze elmarad a magasabb rendű állatokétól. Ezért ami nekünk embereknek látványlag magától értetődően vizet jelent, az egy vízirovar számára nem biztosan. Az ember is tévedhet persze, pl. amikor nyáron délibábót lát. Az optikai környezet egy világosabb (pl. napsütéses) foltja a rovarszemet még könnyebben átjethetné a víz csalóka látványát utánozva. Általános tapasztalat, hogy a vízirovarnak kb. egyórai repülés alatt feltétlenül vizet kell találnia, különben kiszárad és elpusztul. Vízdetektálási képességének és módszerének tehát genetikailag kell öröklődnie, mivel általában nincs lehetősége a vízzel való előzetes vizuális tapasztalatok megszerzésére. Az evolúció során szinte százszázalékosan biztosnak bizonyult a vizeknek a róluk visszavert horizontálisan poláros fény alapján történő detektálása. Éppen ezért téveszthetők meg és ejthetők csapdába könnyen a vízirovarok a mesterséges fénytükröző és -polarizáló felületekkel (pl. autók szélvédő üvegével vagy növényházak üvegtábláival). Ezekre az antropogén eredetű polarizáló felületekre persze nem készíthette fel az evolúció a vízirovarokat, de érdekes módon a délibáb mégsem tudja becsapni őket, nem úgy, mint pl. az embert. A délibáb a fény folytonos törésével bekövetkező légtükrözés, amely nem jár a

fénypolarizáció jelentősebb módosulásával. Egy polarizációérzékeny vízirovar ezért észlelni képes, hogy a csillogó délibáb általában nem vízszintesen poláros, tehát nem vízfelszín, s így nem is repül vakon az ember számára vizet utánozó, elérhetetlen fata morgánába.

Számítógépes nagylátószögű videopolarimetria

Mivel az emberi szem érzéketlen a fény-polarizációra, műszerekre van szükségünk ahhoz, hogy megmérhessük vizuális környezetünk polarizációeloszlását. A gond csak az, hogy nem léteznek még „polarokamerák” (ezek nem tévesztendőek össze a polaroid fényképezőgépekkel!), melyekkel viszonylag nagy látóterben egyszerre mérhető és szemléltethető lenne egy tárgy vagy biotóp polarizációs mintázata ahhoz hasonlóan például mint ahogyan egy hőkamerával lehet objektumok hőmérsékleteloszlását mérni és hamis színekkel képernyőn megjeleníteni. Az optikában régóta ismeretesek olyan polariméterek, melyekkel nagy pontossággal mérhető a fény polarizációs sajátosságai, de ezeknek a műszereknek igen szűk a látótere, gyakorlatilag csak egy adott irányból beeső fényt lehet velük analizálni. Az ilyen polariméterekkel csak fáradságosan lehetne letapogatni egy tárgyat, ami technikailag bonyolult lenne, és maga a pásztázás is időt igényelne. A letapogatás közben az esetleges mozgások meghamisítanák a mérési eredményeket, mert nem lehetne szétválasztani a polarizáció miatt bekövetkező és a mozgás miatt keletkező intenzitásváltozások-

tól. Ezért egy ilyen „pásztázó polariméter” szinte kizárólag csak laboratóriumban lehetne használni, terepi mérésekhez alkalmatlan lenne.

Azt a célt tűztük magunk elé, hogy viszonylag egyszerűen és gyorsan megmérjük és megjelenítsük a kuvaiti kőolajtavak tükröződési-polarizációs sajátosságait, mert feltételezésünk szerint az olajfelszínről visszavert nap- és égboltfény polarizációs és intenzitás-mintázata játszik fontos szerepet abban, hogy oly sok állatot tévesztsenek meg és vonzanak magukhoz e kátránytölcsék. Kifejlesztettünk egy új módszert, az ún. számítógépes nagylátószögű forgóanalizátoros videopolarimetriát, amellyel a terepen is kimérhető, majd a laboratóriumban kiértékelhető és szemléltethető a biotópok polarizációs mintázata (3. ábra). Egy állványra rögzített videokamerával úgy vesszük fel a kiválasztott biotóp képét, hogy a kamera objektívlencséje előtt egy lineáris polárszűrőt forgatunk. A felvétel közben kódoljuk a polárszűrő irányát, és az így kapott szögértékeket a megfelelő képkockákhoz rendeljük. A terepen videokazettára rögzített képi információkat ezután a laborban egy számítógépes, videomagnós képfeldolgozó berendezéssel képről képre digitalizáljuk, aminek eredményeként a vizsgált biotóp intenzitáseloszlásának sorozatához jutunk a polárszűrő szögének függvényében. Ha a biotóp adott pontjáról jövő fény részlegesen polarizált, akkor intenzitása szinuszosan változik a forgó polárszűrő hatására. Egy alkalmas programmal ezen intenzitásmodulációból kiszámítható a vizsgált pontból jövő fény polarizációjának foka és iránya. E számításokat a felvett kép minden pontjára elvégezve meghatározható és hamis színes kódolással a számítógép képernyőjén megjeleníthető a biotóp fényintenzitásának, polarizációfokának és polarizációs irányának a térbeli eloszlása. Ha a terepi videofelvétel alatt a forgó polárszűrő elé különböző színszűrőket helyezünk, akkor a polarizációs mintázatok a hullámhossz függvényében mérhetőek. Ekkor nagylátószögű video-spektropolarimetriáról beszélünk. E módszerrel tehát széles látómezőben mérhetőek és szemléltethetőek kiterjedt objektumok polarizációs sajátosságai.

Nagylátószögű videopolariméterünkkel kimértük néhány kuvaiti kőolajtó tükröződési-polarizációs mintázatát. Egy friss és egy előregedett felszíni kőolajtó egészen eltérő tükröződési sajátosságokkal rendelkezik. A sima, tiszta olajfelszín nagy reflektivitású és polarizációjú, s a visszavert fény rezgéssíkja többnyire horizontális. Egy homokkal szennyeződött öreg aszfaltfelszín ellenben diffúzan szórja a fényt a homokszemek és a redők miatt, fénytükröző képessége és polarizációfoka egészen

kicsi, és a visszaverődő fény rezgéssíkja a vízszintestől jelentősen eltérhet. Ez alól csak a kérges felszín azon foltszerű régiói kivételek, ahol az aszfaltkéreg felszakadt, s kilátszik a csillogó, erősen horizontálisan poláros olajfelszín.

A tiszta olajfelszín és vízfelszín fényvisszaverési sajátságai közti különbség szemléltetésére kiszámítottuk egy sima víz-, ill. olajfelület tükröződési-polarizációs mintázatait, mikor a Nap zenittől mért szögtávolsága 60° . Az eredményt a 4. ábra mutatja. Az elméleti polarizációs számítások és a nagylátószögű videopolarimetriás terepi mérések eredményei alapján leszűrhető, hogy egy tiszta kőolajfelszín reflektivitása a Nap állásától és a látószögtől függően 10%-kal, polarizációfoka 25%-kal is nagyobb lehet a vízfelszínénél, valamint az olajról visszavert fény rezgéssíkja 12%-kal is közelebb eshet a vízszinteshez. Kvalitatíve azt szögezhetjük tehát le, hogy egy kőolajtól több, polárosabb és vízszintes rezgéssíkú fényt ver vissza, mint egy vízfelület.

Ennek két fő oka van. Az egyik, hogy az olaj törésmutatója nagyobb a vízénél. A híg folyós kőolaj levegőre vonatkoztatott törésmutatója 1,39–1,49 között változik, de a kátrányé lehet 1,57 is, míg a vízé csak 1,33 a látható spektrum közepén. A Fresnel-formuláknak megfelelően: minél nagyobb a törésmutató, annál nagyobb a reflektivitás és a polarizációfok, és annál közelebb esik a vízszinteshez a reflektált fény rezgéssíkja. A másik ok, hogy míg a víz átlátszó, addig a kőolaj és a kátrány a benne lévő festékanyagoktól erősen fényelnyelő, sötétbarna vagy fekete. Egy víztöcsa polarizációját így részben a felületéről tükröződő fény, részben pedig a fenekéről visszazórt fény határozza meg. A felszínről visszavert fény horizontálisan poláros, míg a fenékről reflektált fény a felszínen áthatolva függőleges polarizációjú lesz. E két ellentétes hatás lerontja egymást, ezért az eredő polarizáció kisebb, mintha csak a felszínről verődne vissza fény. Zavaros és sekélyebb vizeknél, pl. a zöldessárga színtartományban a fenékről visszavert és a felszínen megtört fény függőleges polarizációja dominál, elnyomva a felszíni fénytükrözés vízszintes polarizációját. Ilyen jelenség kőolajtöcsák esetén nem fordulhat elő, mert az olajba hatoló fény teljesen elnyelődik, így csakis a felszíni fényvisszaverés horizontális polarizációja érvényesül. Az olajtöcsák tehát mindig vízszintesen polarizáltak, míg a vízpocsolyák, ha zavarosak vagy sekélyek, akkor függőleges polarizációjuk is lehetnek.

Amint Rudolf Schwind Regensburgban kimutatta, a vízirovarek elkerülnek vizuális környezetük függőlegesen polarizált régióit, s csak a vízszintes polarizációjú ultraibolya területek iránt érdeklődnek, mert csak az utóbbiakról hiszik, hogy víz. E re-

akciójuk annál erősebb, minél nagyobb a polarizációfok és minél vízszintesebb a fény rezgéssíkja. Ezért azt a végkövetkeztetést vonhatjuk le, hogy a polarizációérzékeléssel rendelkező vízirovarek számára egy kőolajfelszín sokkal csábítóbb, mint egy vízfelszín. Ezzel indokolható a kuvaiti kőolajtavak vízirovarek megtévesztő és vonzó hatása. Ez a magyarázata annak a megfigyelésünknek is, hogy a szitakötők inkább az erősebben poláros és több fényt vízszintes rezgéssíkkal tükröző olajfelületen próbálták petéiket lerakni a víz helyett. Hogy a vízimadarak szeme is érzékeny-e a fénypolarizációra, s esetleg ennek tudható-e be, hogy őket is becsapja a csillogó, poláros kőolajfelszín, ez egyelőre még nyitott kérdés.

A kőolajtavak felszínének ciklikus megújulása

Kuvaitban a nyár május végétől november elejéig tart; $35-40^\circ\text{C}$ -os perzselő hőségek júliusban és augusztusban támadnak. Nyáron eső egyáltalán nem esik. Télen, december elejétől február közepéig, a napi hőmérséklet $7-14^\circ\text{C}$ -ra csökken, éjszaka pedig fagypontra alá is süllyedhet. November és május között hullik némi eső, az évi csapadékátlag azonban csak 100 mm körüli. Az év bármely szakában kerekedhet homokvihár, ill. ennek szelidebb változata az ún. *tauuz* (ami arabul port jelent). Utóbbi olyan, szél által felkavart homok- és portömeg, amely több óráig (sőt néha napokig) lebeg a levegőben. A homokviharak és tauzok a nyár közepén a leggyakoribbak, s a tél közeledtével a legritkábbak.

Az évszakok váltakozását követően a kuvaiti kőolajtavak felszíne évről évre ciklikusan megújul. Az előző fejezetben szövegtünk már arról, miként öregszik el egy kezdetben friss, sima olajfelület, amely a tél beálltával a csökkenő hőmérséklet hatására sűrűn folyóssá válik, amit a szélviharak és tauzok homokkal szennyeznek be, a szelek redőkbe gyűrnek, az esők pedig részben vagy egészen vízzel öntenek el. Mindennek eredményeként jelentősen csökken az olajfelszín állatokra kifejtett megtévesztő és „mechanikus” csapdázó képessége.

Nyáron aztán a felmelegedő olajtó új életre kel: az esővíz elpárolog, a mélyből konvekciós áramlásokkal friss kőolaj buggyan fel, a homokszennyeződés és a sűrűbb kátránykéreg elsüllyed, ill. feloldódik a híg folyóssá váló kőolajban. Az így megtisztuló, kismulót nyílt olajfelület jelentősen megnövekedett fényvisszaverése és tükröződési polarizációja ismét nagyszámú állatot csábít magához, amelyek a nagy szárazságban és hőségben vizet keresnek.

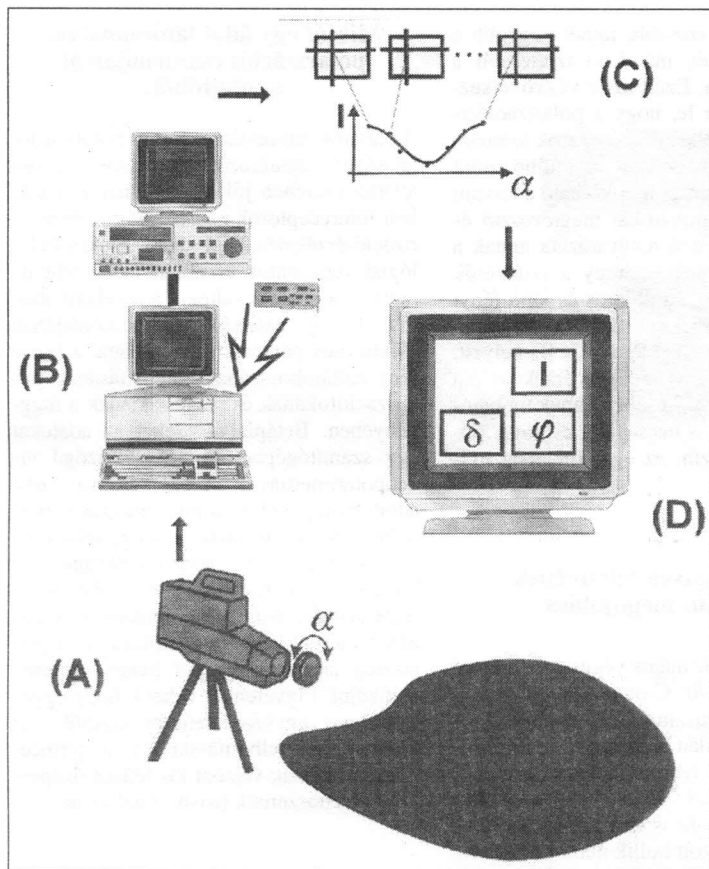
Mit lát egy állat látórendszere polarizációs csatornáján át az olajtóból?

Az állatok látórendszerével és polarizációlátásával foglalkozó biológusok számos állatfaj esetében jól ismerik már a retina-beli fotoreceptorok neurobiológiai és polarizáció-érzékelési sajátságait. Elektrofiziológiai vizsgálatok eredményeként vált ismertté, hogyan is változik a reccshártyabeli csapok és pálcikák sejtmembránjának elektromos potenciálja az időnek, a beeső fény hullámhosszának, intenzitásának, polarizációfokának és rezgéssíkjának függvényében. Betáplálva ezeket az adatokat egy számítógépbe, és nagylátószögű videopolarimetriával meghatározva egy adott biotóp polarizációs mintázatát, modellezhető az a látvány, amit egy állat látórendszerének polarizációs csatornáján át a környezetéből lát. Nem kell mást tenni, mint pontról pontra kiszámítani a retinának a mért polarizációs mintázat által gerjesztett aktivitását, s azt hamis színesen ábrázolni. Figyelembe vehető, hogy egyes állatoknak egyszerű lencsés szemük van nagy térbeli felbontással (pl. a gerincesek), másoknak viszont kis felbontóképességű facettaszemük (rovároknak) van.

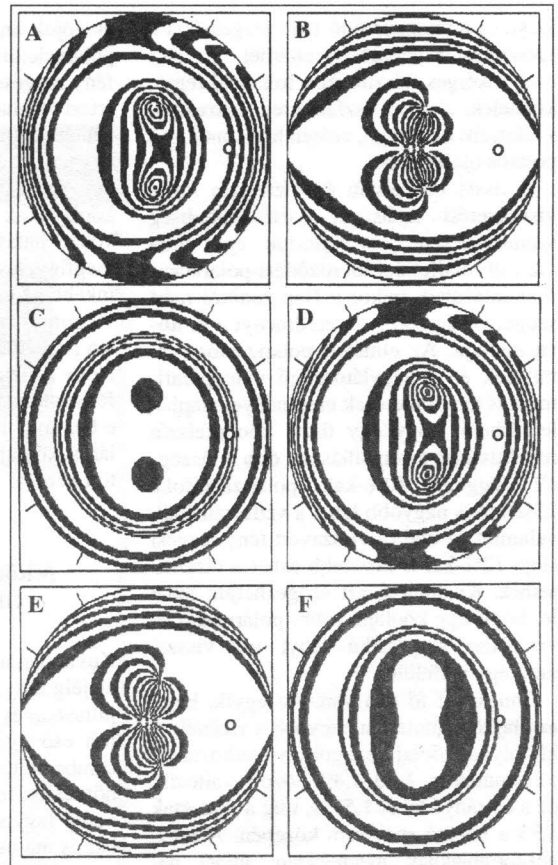
Ősi aszfaltmocsarak Rancho La Brea

Észak-Amerika egyik leghíresebb őslénytemetője, *Rancho La Brea* a Los Angeles szívében lévő Hancock parkban található, ahonnan több száz ősi, mára zömében kihalt állat- és növényfaj maradványát ásták ki: algákat, magasabb rendű növényeket, puhatestűeket, ízeltlábúakat, hullóket, kétélűket, madarakat és emlősöket. Különösen gazdag az emlős és madár megafauna. A maradványokat a lelőhely mellett épített múzeumban állították ki; az ásatások és a kutatómunka napjainkban is tart, bár a korábban jóval kisebb intenzitással.

A fosszília a felső 8 méteres, kései pleisztocén korú (jégkorszaki), a környező hegyekből származó finomszemcsés folyami hordalékos homokban helyezkednek el. E homokrétge alatt 350 méterre egy szerkezetileg kontrollált kőolajrezervoár van, ahonnan a repedéseken, vetődéseken és átjárható rétegeken keresztül kőolaj szivárog a felszínre a talajnyomás hatására. A felszínhez érve az illékonyabb olajkomponensek elpárolognak aszfaltot, kátrányt hagyva maguk után. Az így kialakuló mocsarak sűrűn folyó, ragadós anyaga a kőolajon kívül jelentős mennyiségű kolloidális kőolajszármazékból, aszfaltból áll, amely kémiai kicsapódás során keletkezett. A szilárd aszfaltszemcsék az olajban egyenletesen oszlanak el. A legtöbb fosszília ebben a kátrányos homokmátrix-



3. ábra. A számítógépes nagylátószögű forgóanalizátoros videopolarimetria módszerének sematikus ábrázolása. (A) A terepen egy állványra állított videokamerával úgy vesszük fel egy adott biotóp képét, hogy a felvétel közben egy lineáris polárszűrőt forgatunk a kamera objektívlencséje előtt, miközben kódoljuk a szűrő szögállását. (B) A laboratóriumban egy számítógépes videomagnós képfeldolgozó berendezéssel képről képre digitalizáljuk a felvételt. (C) Eredményül a biotóp I fényintenzitás-eloszlásához jutunk a polárszűrő α szögének függvényében. A biotóp egy adott pontjáról jövő részlegesen poláros fény intenzitása szinuszosan változik α -val, mely modulációból pontra kiszámítjuk a δ polarizációfokot és a φ polarizációs irányt. (D) A számítógép képernyőjén végül hamis színes kódolással megjelenítjük I , δ és φ mért térbeli eloszlását. Ha a felvétel közben a polárszűrő elé színszűrőket is helyezünk, akkor a polarizációs mintázatok a fény hullámhosszának függvényében mérhetőek. Ekkor nagylátószögű video-spektropolarimetriáról beszélünk



4. ábra. Sima vízfelület (A, B, C) és kátrányfelszín (D, E, F) tiszta égboltra számított tükröződési-polarizációs mintázatai, mikor a Nap 60° -ra van a zenittől. A tükröződő égboltfény polarizációfokának (A, D) és polarizációs irányának (B, E), valamint az olaj- és vízfelület fényvisszaverő képességének (C, F) irány-eloszlását izovonalasan ábrázoltuk. Az egymást követő izovonalak közti tartományokat váltakozva feketével és fehérrel színeztük. A kör alakú mintázatok az égbolt tükröképének felelnek meg, középpontjuk a nadírt (a zenit tükröképét), kerületük pedig a horizontot reprezentálja polárkoordináta-rendszerben. A Nap tükröképét egy kis kör jelzi

ban halmozódott fel; azok az állatok, amelyek belemerültek a ragadós, sűrű aszfaltmocsárba, ott rekedtek és fosszilizálódtak.

A Rancho La Brea különlegessége, hogy az emlős-megafauna 90%-a hűsevökből áll, de a madarak zöme is ragadozó. Az itt található fajok 95%-a rovar, de egyéb ízeltlábúak – pókok, osztrakodák, izo-, diplo- és chilopodák – is előkerültek. Számtalan növényi maradvány is fellelhető itt: algák, fa-, levél- és virágtörödékek, pollenek, magok.

A paleoökológiai és őslénytani rekonstrukciók alapján az éghajlat a fosszíliaik felhalmozódásának korában (késő pleisztocén) a mai Los Angelesihez volt hasonló (bár nem volt olyan száraz, mint napjaink-

ban): száraz szubtrópusi nyarakkal, évszakosan váltakozó esőzésekkel, a mainál valamivel kisebb átlaghőmérséklettel. A fűfélék viszonylag ritkán fordultak elő a környéken, s az erősen száraz nyarak miatt a növényevők csordái vándorlásra kényszerültek; őket követték a hűsevő állatok hordái.

A nyári meleg időjárásban az aszfalt a kiszáradt folyómedrek átjárható homokjában a felszínre szívárgott; sekély kátránytölcsák keletkeztek. A feltevések szerint ezeket az olajpocsolyákat, aszfaltgödöröket lehulló levelek vagy szélfújta homok és por fedhette be, álcázta el. A véletlenül arra tévedő vagy átvonuló, vagy a ragadozók előtt menekülő növényevők nem vet-

ték észre őket, s beléjük ragadtak. Egy másik interpretáció szerint egy-egy kiadósabb nyári eső után az aszfalton felgyülemelő és elszivárogni nem tudó víz vonzhatta a szomjas növényevőket, amelyek aztán elpusztultak a vízfilm alatti gyilkos kátrányban.

A növényevők hullái számtalan ragadozó és dögevő állatot vonzottak a kátránygödörkhöz; e hűsevők jó része szintén a kátrányba ragadva pusztult el. A tetemek hamarosan lebomlottak, a csontok kátránnyal itatódtak át, és részben elsüllyedtek az aszfaltban. A nyarat követő esős, téli évszakban az újraéledő folyók a megdermedő kátrányrétegre vékony, finomszemcsés, hordalékos homokot rétegeztek,

mely végleg betemette a csontokat. Az olajos homok jól konzerválta őket, s megővta a szétbomlástól. A következő nyáron kiszáradó folyók medrében a kátrány újra folyékonyra vált, a felszínre szivárgott, s a folyamat előlről kezdődött, ami napjainkban is tart. Ennek bizonyítékai azon apró termetű állatok tetemei, amelyek a Los Angeles-i kátránytócsák felszínén figyelhetők meg.

Starunia

Egy másik, ősi kátránytóhoz kötődő fosszílialelőhely Nyugat-Ukrajnában, Lvov (korábban Lemberg) városától délkeletre levő *Starunia* faluban található. A 19. században itt egy kisebb méretű kőolajkitermelés indult be; főleg ásványi viaszt, ozokeritet bányásztak, mely az olaj talajfelszíni átalakulásának végterméke. *Starunia* akkor vált paleontológiailag világhírvé, mikor 1907-ben egy korábbi folyómederben megnyitott ozokeritbányában egy gyapjas mamut maradványaira bukkantak. Későbbi őslénytani ásátások során további, igen jó megtartású állat- és növénymaradványok kerültek napvilágra: pl. gyapjas orrszarvúak, hóbaglyok, mezei nyulak, rókkák, vadmacskák, rovarok és pókok. A rovarok legnagyobb hányada bogár volt, közülük is a vízbogarak domináltak, különösen a *Helophorus* nemzetség. E kövületeket Lvovi és krakkói múzeumokban állították ki.

Staruniában miocén korú hordalékos rétegekben egy folyó vájta völgyet növényi és állati maradványokban gazdag pleisztocén iszaphordalék töltött fel. Az elbomló szerves anyagból származott az a kőolaj és terméke, az ozokerit, mely a bányászati tárgya volt. A jégkorszaki fossziliákat tartalmazó rétegek az olajon túl sós vízzel is telítődtek, s ez is hozzájárult a jó konzerválódáshoz. A kövületeket tartalmazó geológiai rétegek a pleisztocén egy hideg fázisában, úgy 37–22 ezer évvel ezelőtt keletkeztek.

A feltételezések szerint Staruniában véletlenül estek csapdába az állatok és fosszilizálódtak egy sós vízzel és a felszínre szivárgó kőolajjal vagy kátránnyal töltött kisebb mélyedésben. Az akkori éghajlatnak megfelelően a maradványok hűen reprezentálják a pleisztocén sztyeppe-tundra környezet flóráját és faunáját. A vízbogarak jelenlétét azzal szokás magyarázni, hogy e rovarok gyakran éjszaka repültek vízi biotópjukat keresve, s ha sütött a hold, akkor a kátránytóról visszaverődő, fényesen csillogó holdfény vonzhatta őket az olajdövrőhöz, amibe aztán beleragadtak.

Analógia az ősi és a mai kátránytavak között

A cikkünkben eddig írtak alapján az a következtetés vonható le, hogy mind a mai kuvaiti kőolajtavak, mind az ősi kátránytavak és aszfaltmocsarak nagyszámú állatfajt ejtenek, ejtettek csapdába. A kuvaiti kőolajtavak csapdázóképessége elsősorban speciális vizuális ökológiai hatásukkal magyarázható: a száraz, forró, sivatagi környezetben vizet kereső állatok (főleg vízirovarok és vízimadarak) az olajfelszínről tükröződő nap- és égboltfény vizet utánzó polarizációs- vagy intenzitás-mintázatától megtévesztve vonzódnak az olajtavakhoz. Az ősi kátránytavak csapdázóképességét eddig vagy azzal magyarázták, hogy az állatok véletlenül tévedtek beléjük, mert avar, por takarta őket, vagy azzal, hogy az esőzések után egy ideig vízreteg fedte őket, ami ivásra csábított.

A kuvaiti esettanulmány alapján viszont elképzelhetőnek tartjuk, hogy az ősi kátránytavak tükröződési-polarizációs vagy intenzitás-mintázatukkal is megtéveszthették az állatokat, amelyek valószínűleg sokszor nem passzívan, pusztán véletlenül keveredhettek egy-egy kátránydövrőhöz, hanem vizet sejtve aktívan, szándékosan közelíthettek meg a nyílt, tiszta kátrányfelszínt. Ehhez a csábításhoz nem is volt szükség előzetes esőre és az olajra rétegződő esővízre. Ilyen esők Rancho La Breán a nyári száraz éghajlatban amúgy is csak ritkák lehetnek, pedig csak ekkor volt folyékony és veszélyes a kátrány. A csillogó, erősen poláros kátrányfelszín inkább polarotaxissal vonzhatta magához a polarizáció-érzékelésre képes állatokat (pl. ízeltlábúakat) vagy fototaxissal másokat (pl. emlősöket). Még a staruniai vízbogarak kátrányba ragadásának szokásos magyarázata áll legközelebb a valósághoz, bár részben az is téves. Mint korábban láttuk, ezek a rovarok nem a tükröződő fény intenzitása, hanem *polarizációjára* támaszkodnak, és nemcsak este felé vagy éjszaka, hanem fényes nappal is. Nem szükséges tehát holdvilágos éjszakán a sötétből előcsillanó kátrányfelületet feltételezni ahhoz, hogy megmagyarázhassuk a staruniai vízirovarok csapdába esését. Nappal is bármikor megtéveszthette őket az olajfelszínről visszavert poláros fény. E vizuális ökológiai interpretációnk természetesen csakis nyílt, tiszta olajfelszínre vonatkozik. Az avarral, porral fedett kátrányfelületeknek ilyen vizuális vonzó hatása nem lehetett, rájuk valószínűleg tényleg véletlenül tévedhettek az állatok.

Az írás az 1995. évi cikkpályázatunkon I. díjban részesült.