

NAPJAINK KÖRNYEZETSZENNYEZŐJE, A POLÁROS FÉNYSZENNYEZÉS

FALUSI Eszter, TÓTH Andrea

Szent István Egyetem, Környezet és Tájgazdálkodási Intézet,
Természetvédelmi és Tájökológiai Tanszék
Gödöllő 2103, Páter Károly u. 1., e-mail: falucei@gmail.com

Kulcsszavak: poláros fényszennyezés, poláros fény, polarizáció-érzékelés, ökológiai csapda

Összefoglalás: A városokban és azok közelében az éjszakai égbolt csillagainak láthatósága jelentősen lecsökken, ami lényegében lehetetlenné teszi a tudományos csillagászati megfigyeléseket. Ezt a jelenséget csillagászati fényszennyezésnek nevezzük. Az ökológiai fényszennyezés alatt az élőhelyek mesterséges fények miatti degradációját értjük. Ebben az áttekintő cikkben megismerjük a poláros fényszennyezés (PF) fogalmát, ami a mesterséges poláros fénynek a polarizációérzékeny állatokra gyakorolt káros hatásait jelenti. Ezen belül is csak a sima és sötét mesterséges felületekről visszaverődő erősen és vízszintesen poláros fénynek a polaro-taktikus vízirovarokra kifejtett káros hatásai kerülnek összefoglalásra. A PF a környezeti hatásoknak egy teljesen új formáját jelenti, ami globális és evolúciós értelemben egészen újkeletű. Példákon keresztül kerülnek ismertetésre a PF eddig megismert kísérleti bizonyítékait. Az erősen és vízszintesen polarizáló mesterséges felületek poláros ökológiai csapdaként működhetnek, mivel az e felületekhez vonzódó polarotaktikus rovarok gyakran elpusztulnak és az általuk lerakott peték kiszáradva megsemmisülnek. Ezáltal a PF közvetlen veszélyt jelenthet egyes vízirovar-populációkra az utódgeneráció megnövekedett pusztulási rátája okán. Az áttekintő cikk érintőlegesen foglalkozik a polárosfényszennyező forrásokhoz vonzódó vízirovarokkal táplálkozó predátorok, pók, madarak és denevérek lehetséges hasznáival és kárával.

Bevezetés

A földfelszínre érő teljes sugárzás a közvetlen sugárzásból és a szórt égboltfényből tevődik össze, három színtartományt magába foglalva: ibolyántúli (ultraibolya, UV): 300–380 nm, látható fény: 380–750 nm, vörösön belüli (infravörös, IV, IR): 750–3000 nm. Optikai jellemzői az intenzitás vagy fényesség, a hullámhossz, a polarizációs irány vagy rezgési sík és a polarizációs irány állásának gyakorisága a polarizációfok. A fény polarizáció jelentős részét a tükröződési polarizáció eredményezi, amelynek a természetben előforduló legfontosabb forrásai a vízfelszínek. A vizek polarizációját egyrészt a felületről visszatükröződő vízszintesen poláros fény, másrészt a víztestből származó, függőlegesen poláros fény határozza meg. A fényvisszaverő objektum sötétsége vagy világossága mellett a közeg törésmutatója is hatással van a fény polarizációra. Ha nagyobb a fényvisszaverő közeg levegőre vonatkoztatott törésmutatója, akkor nagyobb lesz a visszatükröződés, a polarizációfok és a vízszinteshez közelebb lesz a visszatükröződő fény rezgésirányja. Ezért például a fekete kőolaj, vagy kátrány töcsa nemcsak a színe, hanem a víznél nagyobb törésmutatója miatt is jobban polarizálja a felszínéről visszaverődő fényt.

A fény optikai sajátságai fontos információkat hordoznak, amelyeket a fényérzékelésre képes állatok hasznosítanak. Ugyanakkor a fotoreceptorokkal rendelkező állatcsoportok és gyakran az azonos rendszertani csoportba sorolt különböző fajok között is jelentős különbségek adódnak abban a tekintetben, hogy a fény előbbiekben felsorolt négy optikai sajátsága közül melyik információtartalmát használják ki. Az emlősök idegrendszerének

és látászervi apparátusának evolúciós fejlődése során olyan fényérzékelő szervrendszer alakult ki, amely csak a fény intenzitását és hullámhosszát képes érzékelni, és így a fény polarizációjában rejlő információkat az emlősök nem tudják kiaknázni. Ezzel szemben az ízeltlábúak, a halak, a kétélűek, a hullók és a madarak között számos olyan fajjal találkozunk, amelyek látószerve érzékeny a fény polarizációjára. Bizonyos mesterséges felszínek fénypolarizációs sajátosságait tekintve megtévesztésig hasonlóak lehetnek egy vízszintesen poláros fényt visszaverő vízfelszínhez a vizet kereső rovarok számára. Mivel a vízi rovarok vízdetektálása a vízfelszínről érkező vízszintesen poláros fény segítségével történik, egyes antropogén eredetű termékek (aszfaltút, gépkocsi, üvegházak) vizuális csapdaként hatnak rájuk. Az előbbieken felsorolt antropogén termékek, aszfaltút, kőolajkifolyások optikai rovarcsapda hatását jól demonstrálhatjuk, a mezőgazdaságban sok helyütt használt fényes fekete műanyag (polietilén) fóliával, ennek hasonló optikai tulajdonsága miatt.

A poláros fényszennyezések

Sötét olajfelszínek által csapdázott vízi rovarok

KENNEDY (1917) volt az a kutató, aki elsőként tájékoztatott olyan szitakötő fajokról, amelyek egyedei azért pusztultak el, mert a nyíltfelszínű nyersolaj és petróleum tárolók folyadékát vízként azonosították. HORVÁTH és ZEIL (1996) hasonló jelenséget figyeltek meg a kuvaiti sivatagban, ahol az öbölháború következtében százával kialakult nyersolaj tavakba különböző vízirovarok, különösképpen szitakötők pusztultak bele, amelyek akkor estek csapdába, amikor megpróbálták lerakni petéiket az olajfelszínre. A két kutató feltételezése szerint a polarotaktikus vízirovarokra erőteljesen vonzó hatást gyakorolt az erősen és vízszintesen poláros fényt reflektáló olajfelszín. Horváth és kutatótársai (HORVÁTH et al. 1998), valamint WILDERMUTH (1998) svájci kutatóprofesszor vizsgálták, majd bizonyították ezt a hipotézist: kimutatták, hogy a pozitív polarotaxis a legfontosabb mechanizmus, amely a szitakötők élőhely- és petézőhely-választását irányítja és erre a sajátosságra vezethető vissza, hogy ezeket a rovarokat megtéveszti és magához vonzza a nyers- és fáradtolaj, a kátrány és aszfaltfelszín, amelyek erősen és vízszintesen poláros fényt tükröznek.

Képkalkotó videopolarimetriát használva HORVÁTH és ZEIL (1996) demonstrálták, hogy a sötét olajfelszín mindig vízszintesen poláros fényt ver vissza, amelynek polarizáció foka p megközelítőleg a Brewster szög (kb. 57° a függőlegetől) alatt vizsgálva igen nagy érték (közel 100%), miközben különösen a fehér árnyalatú víztestek alacsonyabb polarizációfokú fényt reflektálnak, amelynek iránya sem mindig vízszintes. A tükröző felületről visszaverődő fény magasabb polarizációfoka és a rezgésíkjának a vízszintes iránytól való kisebb mértékű eltérése erőteljesebb vonzóhatást gyakorol a vízirovarokra (HORVÁTH és VARJÚ 2004). Végső következtetésként megállapíthatjuk, hogy egy sötét olajtócsa sokkal vonzóbb lehet a polarotaktikus vízirovarok számára, mint egy világosabb víztest. Így a vízirovarok számára a természetes vizes élőhelyet utánzó olajtavak valójában egy szupernormális ingeret képeznek.

Korábban Budapest külvárosában 1951 és 2001. között egy nyíltfelszínű pakuratóról létezett. Bernáth és munkatársai (BERNÁTH et al. 2001a, 2001b) kimutatták, hogy ez a nyíltfelszínű olajtároló egy végzetes rovarcsapdaként működött 50 évig. Terepmunkájuk során megfigyelték, hogy a pakura szitakötőket, kérészeket, tegzeseket, vízi poloskákat és vízi bogarakat csapdáz nagy mennyiségben, különösen tavasszal, nyáron és ősszel a rovarok rajzása és kolonizációja során. Mind a nőstény, mind a hím szitakötők körében megjelentek például ugyanazok a jellegzetes viselkedésformák (járőröző repülés, territórium védelem, vízérintés, zsákmányszerzés a levegőben, párzás és petézés) az erősen és vízszintesen poláros olajfelszín fölött, mint a szitakötők természetes élőhelyén a víztestek fölött (CORBET 1999).

Polarotaktikus rovarok megtévesztése a talajfelszínen elhelyezett fényes fekete műanyagfóliákkal

A mezőgazdaságban gyakran használnak nagy kiterjedésű fehér és fekete műanyag (polietilén) agrofóliákat, amelyeket azért terítenek ki a szántóföldeken, hogy megakadályozzák a gyomnövények elburjánzását, csökkentsek a víz elpárolgását a talajból, mérsékeljék kora tavasszal a felmelegedett termőföld hőkisugárzását, vagy megvédjék a termést az esőtől. Egy vízszintes fekete műanyagfólia mindig erősen és vízszintesen poláros fényt reflektál a Brestwer szög közelében, míg egy fehér műanyagfólia alacsony polarizáció fokú, függőlegesen, vagy ferdén poláros fényt tükröz (HORVÁTH és VARJÚ 2004). Így a vízszintes helyzetű fényes fekete műanyagfóliáról visszavert fény szupernormális ingerként hat a vizet kereső polarotaktikus vízirovarokra.

Számos kutató azt bizonyította, hogy valóban ezek a fényes fekete műanyagfóliák erőteljesen magukhoz vonzzanak különböző vízirovarokat (vízi bogarak és poloskák, szitakötők, kérészek, álkérészek, tegzesek, bögyölők) nagy számban, míg a fehér fóliák nem voltak vonzóak (NOORDWIJK 1980, HORVÁTH et al. 1998, 2008, KRISKA et al. 1998, 2006a, 2006b, 2007, WILDERMUTH 1998, WILDERMUTH és HORVÁTH G. 2005, BERNÁTH et al. 2001a, 2001b, CSABAI et al. 2006; HORVÁTH és KRISKA 2008) Az összes vízirovar hasonló viselkedési elemeket mutatott a fekete műanyag fóliánál: rajzás, landolás, felszállás, felületérintés, mászás a fólián, párzás és peterakás. Végül a vízirovarok nagy része (pl. vízi poloskák és bogarak) kiszáradva elpusztulnak néhány órán belül a fekete fólián. Ezek a rovarok mind a vízfelszínről tükröződő vízszintesen poláros fény alapján ismerik föl a víztesteket és ezek felé repülnek, ami egyértelmű megjelenése a pozitív polarotaxisuknak.

Polarotaktikus vízirovarok vonzódása száraz aszfalt utakhoz

PUSCHNIG (1926) és WHITEHOUSE (1941) közöltek adatokat arról, hogy különböző szitakötő fajok száraz aszfalt utak mentén járőröznek és gyakran megérintik az aszfaltfelszínt. Kriska és munkatársai (KRISKA et al. 1998) megfigyelték, hogy napnyugtakor számos kérészfaj egyedei rajzanak, és párosodnak az aszfaltút felett és gyakran landolnak a száraz aszfalton a közvetlen szomszédságában a patakknak, ahonnan kirepültek. A párzást követően a nőstény kérészek lerakták petéiket a száraz aszfaltfelszínre. A kérészek

hasonló viselkedést mutattak az aszfalt út fölött, mint természetes körülmények között a vízfelszín fölött. Tavasszal a petecsomóikat potrohvégeiken cipelő, petézésre készülő nőstény álkérészek is gyakran megfigyelhetők az említett aszfaltúton.

Képalkotó videopolarimetria segítségével, Kriska és munkatársai (KRISKA et al. 1998) kimutatták, hogy napnyugtakor az égboltfénnyel megvilágított aszfalt felszín (ahol a kérészek rajzoltak) egy erősen és vízszintesen poláros vízfelszínt utánoz a vizet kereső kérészek számára. Bizonyították azt is, hogy a kérészek a vizet a felszínéről visszavert fény vízszintes polarizációjáról ismerik fel és pozitív polarotaxissal rendelkeznek; továbbá azt is, hogy minél sötétebb és simább egy vízszintes aszfaltfelszín annál vonzóbb a kérészek számára.

Vízirovarok vonzódása fekete, vörös, vagy sötét színárnyalatú gépkocsikhoz

Korábban többen is gyakran megfigyelték vízi bogarak és poloskák leszállását fekete és piros színű gépkocsik motorháztetőjén, tetején és csomagtartóján (JÄCH 1997, NILSSON 1997; VONDEL 1998, KRISKA et al. 1998), és azt is, hogy kérészek és szitakötők gyakran rakják a petéiket ezen autók felszínére (KENNEDY 1938, WYNIGER 1955, SVIHLA 1961, WATSON 1992, WILDERMUTH 1998, STEVANI et al., 2000, BERNÁTH et al. 2001b, GÜNTHER 2003, TORRALBA és OCHARAN 2003, WILDERMUTH és HORVÁTH 2005). SCHWIND (1991, 1995), Kriska és munkatársai (KRISKA et al. 2006a) megállapították, hogy a vörös és fekete vízszintes tükröző felületek majdnem teljesen azonos mértékben vonzzák a vízi bogarakat és poloskákat, míg a sárga és a fehér vízszintes tükröző felületek egyáltalán nem vonzóak. Képalkotó videopolarimetria alkalmazásával Kriska és kollégái (KRISKA et al. 2006a) kimutatták, hogy a spektrum kék és zöld színtartományában a vörös és a fekete autókról visszavert fény polarizációfoka nagy és a motorháztetőről, a tetőről és a csomagtartóról visszatükröződő fény rezgéssíkja pontosan, vagy majdnem pontosan vízszintes. Így a vörös és fekete autók vízszintes felületei erősen vonzzák a polarotaktikus vízirovarokat. Másrészt pedig a sárga és fehér autók vízszintes felszíneiről visszaverődő fény polarizációfoka igen alacsony és a polarizáció iránya általában nem vízszintes. Eképpen a sárga és a fehér gépkocsik nem vonzzák magukhoz a polarotaktikus vízirovarokat. A gépkocsikhoz vonzott vízirovarok által a karosszériára lerakott peték rövid idő alatt kiszáradnak és elpusztulnak. Ez a pusztító hatás gyakran megjelenik a vízirovarok imágóinak esetében is, amelyek leszállásuk után szinte rögtön odasülnek a napsütésben felhevült autófelszínhez. A gépkocsi karosszériára lerakott peték is sérülést okozhatnak a fényezésen a savas esők hatásához hasonlóan a petékben található kéntartalmú aminosavakból képződő kénsav révén. (STEVANI et al. 2000).

Fekete sírkövek által megfévesztett szitakötők

WYNIGER (1955), NEVILLE (1960), JURZITZA és KORMANN (1960), és PAINE (1992) megfigyelték, hogy különböző szitakötő fajok egyedei szexuális és petézési viselkedést mutatnak különböző vízszintes tükröző felületeknél, fényes betonfelszínen, fekete padon, fényes sátozott, műanyag szélvédőn és üvegtáblákon. Horváth és társai (HORVÁTH et al. 2007) megfigyelték, hogy különböző *Sympetrum* szitakötő fajok egyedei vonzódtak a polírozott felületű fekete sírkövekhez egy temetőben, ahol mindnyájan ugyanazt a viselkedést mutatták (pl. ülőágon való tartózkodás, felületérintés, párzás) mint a vizeknél.

A szitakötők azokat a síremlékeket részesítették előnyben, amelyek rendelkeztek egy legalább 0,5 m²-es majdnem vízszintes, fényesre polírozott fekete felülettel, nyílt égbolt alatt helyezkedtek el és volt legalább egy ülőág a közvetlen szomszédságában. Képkalkotó videopolarimetriát alkalmazva Horváth és munkatársai (HORVÁTH et al. 2007) azt találták, hogy a vízszintes fekete sírkövek, hasonlóan a sima vízfelszínnekhez erősen és vízszintesen poláros fényt reflektálnak. Bizonyították, hogy a fekete síremlékekhez vonzódó szitakötők pozitív polarotaxissal rendelkeznek, mert természetes körülmények között a szitakötők vízdetekciója a tükröző vízfelületről érkező vízszintesen poláros fény érzékelésén alapszik.

Függőleges üvegfelületek által megtévesztett polarotaktikus tegzesek

A *Hydropsyche pellucidula* tegzesek napnyugtakor repülnek ki a Dunából Budapestnél, majd megkezdik rajzásukat a fák és bokrok körül a folyóparton. Kriska és munkatársai (KRISKA et al. 2008a, 2008b) megfigyelték, hogy ezek a vízirovarok tömegesen a vízparti épületek függőleges üvegtábláihoz vonzódnak: a tömegrajzásban résztvevő *H. pellucidula* egyedeket akár több órára is magukhoz vonzzák a sötét, függőleges üveglapok, amelyekre leszállnak, mászkálnak és párzanak rajta, miközben jelentős részüket csapdába ejtik az épület nyitott bukóablakai. Kriska és kollégái (KRISKA et al. 2008a) kimutatták, hogy a petézésre készülő *H. pellucidula* nőstények vonzódnak az erősen és vízszintesen poláros fényhez, amely az összetett szemük hasi oldalával érzékelnek. Ennek a pozitív polarotaxisnak a vízdetekció a funkciója, amelynek eredményeként petézéskor képesek visszatalálni ahhoz a víztesthez, amelyben a lárvakorukat töltötték. Kriska és munkatársai (KRISKA et al. 2008a) azt is kimutatták, hogy az erősen poláros függőleges fekete üvegfelületek szignifikánsan vonzóbbak a *H. pellucidula* egyedek számára, mint a kevésbé poláros fehér üvegfelületek.

Képkalkotó videopolarimetria alkalmazásával, Malik és kollégái (MALIK et al. 2008) kimutatták, hogy a repülő tegzesek vonzódása a függőleges üvegfelületekhez és a helybenmaradásuk is egyértelműen magyarázható a függőleges üvegfelület tükröződési-polarizációs sajátságaival és ezen rovarok polarotaktikus viselkedésével. Ők bizonyították, hogy a tegzesek kibújásuk után a vízparti épületekhez vonzódnak annak sötét sziluettje és az üvegfelületeiről tükröződő vízszintesen polarizált fény miatt. Napnyugta után az épületek csapdázó hatása továbbra is megmarad az épület világítása által kiváltott pozitív fototaxis miatt. Mivel az épületek függőleges üvegfelületei tömeges megjelenésük az antropogén eredetű optikai környezetben és a polarotaktikus vízirovarok szélesen elterjedtek szerte a világon, ezek az eredmények általános érdeklődésre tarthatnak számot a vízirovarok vizuális és viselkedési ökológiájával foglalkozó kutatók körében.

A poláros fényszennyezés rovarvökre gyakorolt lehetséges előnyei és hátrányai

A poláros fényszennyezés megnevezés arra a tényre utal, hogy a jelenség kialakulásának egyetlen kiváltó oka a poláros fény, míg a szennyezés kifejezés azt jelzi, hogy a poláros fényszennyezés elsődleges hatása az, hogy megtéveszti és magához vonzza a fény vízszintes polarizációja révén a polarotaktikus rovarokat. Az elsődleges hatás mellett a poláros fényszennyezés másodlagos hatásai előnyösek is lehetnek, amikor bizonyos állatok (pl. rovarvő madarak, pókok és denevérek) olyan polarotaktikus rovarokkal

táplálkoznak, amelyek erőteljesen vonzódnak a mesterséges eredetű vízszintesen poláros fényhez. Ebben az esetben a ragadozók hasznat húzhatnak a poláros fényszennyezésből. Az utcai lámpákhoz vonzódó rovarokra vadászó békák (BUCHANAN 2006), hullók (PERRY és FISHER 2006), madarak (EISENBEIS 2006), denevérek (RYDELL 2006) és pókok (FRANK 2006) megjelenése a fényforrások közelében egy jólismert másodlagos következménye a hagyományos (nem poláros) ökológiai fényszennyezésnek.

Bernáth és munkatársai (BERNÁTH et al. 2008) barázda billegetőkről közöltek adatokat (*Motacilla alba*, *M. flava*) amelyeket a földre kiterített fényes fekete műanyag agrofóliák által csapdázott polarotaktikus rovar tömeg vonzott a száraz és erősen, vízszintesen poláros felületekhez. Ezek a billegetők szisztematikusan vadászták le a fólia fölött repülő és a fóliára leszálló rovarokat, amely ezáltal úgy működött, mint egy gigantikus madáretető. Kriska és munkatársai (KRISKA et al. 1998) megfigyelték, hogy a barázda billegetők (*Motacilla alba*) gyakran összeszedetik a rajzó és párosodó kérészeket azoknál a száraz aszfaltutaknál, amelyek a patakok és folyók közelében futnak.

Összetettebb táplálékhálózat kialakulásáról számoltak be Bernáth és munkatársai (BERNÁTH et al. 2001a, 2008) egy budapesti, nyíltfelszínű pakuratároló vizsgálatára kapcsán: Az erősen és vízszintesen poláros fekete olajfelszín különböző vízirovar fajok egyedeit vonzza magához nagy tömegben. Ez a rovar tömeg különböző rovarvő madarakat és denevéreket vonz a közelbe, amelyeket gyakran foglyul ejt a ragacsos olajfelszín. A csapdába esett madarak és denevérek tetemei ragadozó madarakat vonzzanak a területre (pl. baglyok, karvalyok), amelyeket szintén csapdába ejt a pakura. Végül a táplálékhálózat összes tagja áldozatul esik a pakurató poláros fényszennyezésének, a vízirovarokat, madarakat és denevéreket is elpusztítja az olaj.

Korábban már említettük, hogy a bögölyök is polarotaktikus rovarok, így vonzódnak az erősen és vízszintesen poláros felszínhez (HORVÁTH et al. 2008; KRISKA et al. 2008b). A fényes fekete felületek poláros fényszennyezésének vizsgálata tette lehetővé egy új optikai csapda kifejlesztését a bögölyök számára, amely sokkal nagyobb hatékonysággal fogja be ezeket a rovarokat, mint az eddig használt a visszavert fény intenzitása és színe alapján működő csapdák (pl. MALAISE 1937, HALL et al. 1998). A poláros bögölycsapda hatékonyan csökkentheti helyi szinten a bögölyök egyedszámát, ami előnyös az emberek és háziállataik számára egyaránt, hiszen a világszerte elterjedt bögölyök nőstényeinek többsége vérszívó. A nőstény bögölyök vérszívással számos az embereket és házi állatokat megbetegítő kórokozót terjesztenek (pl. lépfene, tularémia, anaplazmózis, hog kolera, vándor filária, Lyme kór), ezért az ellenük való védekezés nem csak gazdasági, hanem közegészségügyi szempontból is igen jelentős.

Irodalom

- BERNÁTH B., SZEDENICS G., MOLNÁR G., KRISKA GY., HORVÁTH G. 2001a: Visual ecological impact of „shiny black anthropogenic products” on aquatic insects: oil reservoirs and plastic sheets as polarized traps for insects associated with water. Archives of Nature Conservation and Landscape Research 40: 87–107.
- BERNÁTH B., SZEDENICS G., MOLNÁR G., KRISKA GY., HORVÁTH G. 2001b: Visual ecological impact of a peculiar waste oil lake on the avifauna: dual-choice field experiments with water-seeking birds using huge shiny black and white plastic sheet. Archives of Nature Conservation and Landscape Research 40: 1–28.
- BERNÁTH B., KRISKA GY., SUHAI B., HORVÁTH G. 2008: Insectivorous birds as insect indicators on plastic sheets attracting polarotactic aquatic insects. Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae 54: 145–155.

- BUCHANAN B. W. 2006: Observed and potential effects of artificial night lighting on anuran amphibians. In: Rich, C. and Longcore, T. (eds.): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. pp. 192–220. Island Press, Washington – Covelo – London.
- CORBET P. S. 1999: *Dragonflies. Behaviour and Ecology of Odonata*. Harley Books, Martins, Great Horkesley, Colchester, Essex.
- CSABAI Z., BODA P., BERNÁTH B., KRISKA GY., HORVÁTH G. 2006: A ‘polarisation sun–dial’ dictates the optimal time of day for dispersal by flying aquatic insects. *Freshwater Biology* 51: 1341–1350.
- EISENBEIS G. 2006: Artificial night lighting and insects: attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany. In: RICH C., LONGCORE T. (eds.): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. pp. 281–304. Island Press, Washington – Covelo – London.
- FRANK K. D. 2006: Effects of artificial night lighting on moths. In: RICH C., LONGCORE T. (eds.): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. pp. 305–344. Island Press, Washington – Covelo – London.
- GÜNTHER A. 2003: Eiablage von *Sympetrum vulgatum* auf ein parkendes Auto (*Odonata: Libellulidae*). *Libellula* 22: 19–23.
- HALL M. J. R., FARKAS R., CHAINEY J. E. 1998: Use of odour-baited sticky boards to trap tabanid flies and investigate repellents. *Medical and Veterinary Entomology* 12: 241–245.
- HORVÁTH G., ZEIL J. 1996: Kuwait oil lakes as insect traps. *Nature* 379: 303–304.
- HORVÁTH G., VARJÚ D. 2004: *Polarized Light in Animal Vision – Polarization Patterns in Nature*. Springer Verlag, Heidelberg – Berlin – New York.
- HORVÁTH G., KRISKA GY. 2008: Polarization vision in aquatic insects and ecological traps for polarotactic insects. In: Lancaster, J. and Briers, R. A., (eds.): *Aquatic Insects, Challenges to Populations*. CAB International Publishing, Wallingford, Oxon, UK, pp. 204–229.
- HORVÁTH G.; BERNÁTH B., MOLNÁR G. 1998: Dragonflies find crude oil visually more attractive than water: Multiple-choice experiments on dragonfly polarotaxis. *Naturwissenschaften* 85: 292–297.
- HORVÁTH G., MALIK P., KRISKA GY., WILDERMUTH H. 2007: Ecological traps for dragonflies in a cemetery: attraction of *Sympetrum* species (*Odonata: Libellulidae*) by horizontally polarizing black gravestones. *Freshwater Biology* 52: 1700–1709.
- HORVÁTH G., MAJER J., HORVÁTH L., SZIVÁK I., KRISKA GY. 2008: Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (*Diptera: Tabanidae*) are attracted to horizontally polarized light. *Naturwissenschaften* 95: 1093–1100.
- JÄCH M. A. 1997: Daytime swarming of rheophilic water beetles in Austria (Coleoptera: Elmidae, Hydraenidae, Haliplidae). *Latissimus* 9: 10–11.
- JURZITZA G., KORMANN K. 1960: Libellenbeobachtungen in der Umgebung von Karlsruhe (Baden). *Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwest-Deutschland*, 19: 56–57.
- KENNEDY C. H. 1917: Notes on the life history and ecology of the dragonflies (Odonata) of central California and Nevada. *Proc US Nat Mus* 52: 483.
- KENNEDY C. H. 1938: The present status of work on the ecology of aquatic insects as shown by the work on the Odonata. *Ohio Journal of Science* 38: 267.
- KRISKA GY., HORVÁTH G., ANDRIKOVICS S. 1998: Why do mayflies lay their eggs en masse on dry asphalt roads? Water–imitating polarized light reflected from asphalt attracts Ephemeroptera. *Journal of Experimental Biology* 200: 2273–2286.
- KRISKA GY., MALIK P., CSABAI Z., HORVÁTH G. 2006a: Why do highly polarizing black burnt–up stubble–fields not attract aquatic insects? An exception proving the rule. *Vision Research* 46: 4382–4386.
- KRISKA GY., CSABAI Z., BODA P., MALIK P., HORVÁTH G. 2006b: Why do red and dark–coloured cars lure aquatic insects? The attraction of water insects to car paintwork explained by reflection–polarization signals. *Proceedings B of the Royal Society* 273: 1667–1671.
- KRISKA GY., BERNÁTH B., HORVÁTH G. 2007: Polarotaxis in a mayfly that needs not search for water: polarotactic water detection in *Palingenia longicauda* (Ephemeroptera). *Naturwissenschaften* 94: 148–154.
- KRISKA GY., MALIK P., SZIVÁK I., HORVÁTH G. 2008a: Glass buildings on river banks as ‘polarized light traps’ for mass–swarming polarotactic caddis flies. *Naturwissenschaften* 95: 461–467.
- KRISKA GY., MAJER J., HORVÁTH L., SZIVÁK I., HORVÁTH G. 2008b: Polarotaxis in tabanid flies and its practical significance. *Acta Biologica Debrecina Supplementum Oecologica Hungarica* 18: 101–108.
- MALAISE R. 1937: A new insect-trap. *Entomologisk Tidskrift Stockholm* 58: 148–160.
- MALIK P., HEGEDÜS R., KRISKA GY., HORVÁTH G. 2008: Imaging polarimetry of glass buildings: why do vertical-glass surfaces attract polarotactic insects? *Applied Optics*, 47/24: 4361–4374.
- NEVILLE A. C. 1960: A list of Odonata from Ghana, with notes on their mating, flight, and resting sites. *Proceedings of the Royal Entomological Society of Lond* 35: 124.

- NILSSON A. N. 1997: On flying *Hydroporus* and the attraction of *H. incognitus* to red car roofs. *Latissimus* 9: 12–16.
- NOORDWIJK M. V. 1980: Dragonfly behaviour over shining surfaces. *Notul Odonatol* 1: 105.
- PAINE A. 1992: Notes and observations. *Journal of the British Dragonfly Society*, 8: 14–18.
- PERRY G., FISHER R. N. 2006: Night lights and reptiles: observed and potential effects. In: RICH C., LONGCORE T. (eds.): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Chapter 8, pp. 169–191, Island Press, Washington – Covelo – London.
- PUSCHNIG R. 1926: Albanische Libellen. *Konowia* 5: 33, 113, 208, 313.
- RYDELL J. 2006: Bats and their insect prey at streetlights. In: RICH C., LONGCORE T. (eds.): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. 3: 43–60, Island Press, Washington – Covelo – London.
- SCHWIND R. 1991: Polarization vision in water insects and insects living on a moist substrate. *Journal of Comparative Physiology A* 169: 531–540.
- SCHWIND R. 1995: Spectral regions in which aquatic insects see reflected polarized light. *Journal of Comparative Physiology A* 177: 439–448.
- STEVANI C. V., PORTO J. S., TRINDADE D. J., BECHARA E. J. H. 2000: Automotive clearcoat damage due to oviposition of dragonflies. *Journal of Applied Polymer Science* 75, 1632–1639.
- SVIHLA A. 1961: An unusual ovipositing activity of *Pantala flavescens* Fabricius. *Tombo* 4: 18.
- TORRALBA B. A., OCHARAN F. J. 2003: Coches como hábitat para libélulas? Algunos machos de *Crocothemis erythraea* creen que sí. *Boletín de la Sociedad Entomología Aragonesa* 32: 214–215.
- WATSON J. A. L. 1992: Oviposition by exophytic dragonflies on vehicles. *Notulae Odonatologicae* 3: 137.
- WHITEHOUSE F. C. 1941: A guide to the study of dragonflies of Jamaica. *Bull Inst Jamaica Sci Ser No 3*, pp 1–69.
- WILDERMUTH H. 1998: Dragonflies recognize the water of rendezvous and oviposition sites by horizontally polarized light: a behavioural field test. *Naturwissenschaften* 85: 297–302.
- WILDERMUTH H., HORVÁTH G. 2005: Visual deception of a male *Libellula depressa* by the shiny surface of a parked car (Odonata: Libellulidae). *International Journal of Odonatology* 8: 97–105.
- VONDEL B. J. VAN 1998: Another case of water beetles landing on a red car roof. *Latissimus* 10: 29.
- WYNIGER R. 1955: Beobachtungen über die Eiablage von *Libellula depressa* L. (Odonata, Libellulidae). *Mitteilungen der Entomologischen Gesellschaft Basel NF* 5: 62–63.

POLARIZED LIGHT POLLUTION, A CURRENT ENVIRONMENTAL POLLUTION

E. FALUSI, A. TÓTH

Szent István University, Institute of Environmental and Landscape Management, Dept. of Nature Conservation and Landscape Ecology, H-2103 Gödöllő, Páter K. u. 1.
falucei@gmail.com

Keywords: polarized light pollution, polarized light, polarization vision, ecological trap

The degradation of human views of the night sky in/near cities makes practically all astronomical observations impossible, which phenomenon is called ‘astronomical photopollution’. Ecological photopollution (EPP) has been defined as the degradation of the photic habitat by artificial light. In this review article we introduce the definition of polarized light pollution (PLP), meaning all adverse effects on polarotactic aquatic insects attracted by exactly or nearly horizontally polarized light reflected from smooth and dark artificial surfaces. PLP is a new kind of environmental effects, it is global and novel in an evolutionary sense. We review the experimental evidences of PLP, such as (i) trapping of aquatic insects by dark oil surfaces; (ii) dehydration of polarotactic insects attracted to black plastic sheets used in agriculture; (iii) egg-laying of polarotactic mayflies onto dry asphalt roads; (iv) attraction of aquatic insects to black, red or dark-coloured car paintwork; (v) deception of polarotactic dragonflies by shiny black gravestones; (vi) attraction of mass-swarming polarotactic caddis flies to glass surfaces. All such highly and horizontally polarizing artificial surfaces may act as polarized ecological traps for polarotactic insects, because these surfaces are inappropriate for the development of eggs laid by the deceived aquatic insects. The mortality associated with PLP may threaten populations of endangered aquatic insect species. We discuss possible benefits and/or disadvantages of predators (spiders, birds, bats) feeding on the polarotactic insects attracted to different sources of PLP. Several remedies of PLP are also suggested. PLP is mainly a byproduct of the human architectural, building, industrial and agricultural technology, and it may allow to function feeding webs composed of polarotactic insects and their predators.