

Válaszok Garab Győző emeritusz kutatóprofesszor bírálatára

Köszönöm, hogy professzor úr vállalta az MTA Doktori Tanácsa felkérését és dolgozatomról részletes bírálatot adott. Köszönöm, hogy munkámat alaposan áttanulmányozta, felhívta figyelmemet annak hiányosságaira és ahhoz értékes gondolatokat fűzött.

Köszönöm Bírálómnak a disszertációm egészéről adott pozitív véleményét. Egyúttal elfogadom kritikai észrevételét, miszerint értekezésem felépítése nem könnyíti meg az olvasó és a bíráló dolgát, mert az adott szerkezetben az eredmények és a tematikai bevezetések, illetve a célok, valamint a hozzá tartozó módszerek távolra kerültek egymástól. Korábbi értekezést mintául véve leginkább azért választottam ezt a szerkezetet, mert ezzel lehetőségem adódott arra, hogy tudományos munkásságom lényegét, kutatásaim eredményeit és ezek értékelését egy tömbben ismertethessem. Megnyugtató számomra, hogy e szerkezet következetes alkalmazása nem akadályozta meg a részletek megismerését, értékelését.

Egyetértek Bírálómmal, hogy témám beágyazottsága megfelelőbb lett volna, ha a bevezető részben részletesebben kitérek a rovarok polarizáció-érzékelésének élettani / anatómiai aspektusaira is. Két alapvető oka volt annak, hogy ezt nem tettem meg. Az egyik ok az volt, hogy az általunk vizsgált fajok esetében nem állnak rendelkezésre olyan kísérleti adatok, amelyek a vízirovarokra vonatkozó általános megállapításokon túlmutattak volna. Kétségtelen tény viszont, hogy számos olyan esetet ismerünk szárazföldi rovarok vonatkozásában is, amikor különböző fajok a környezetből érkező fény polarizációjára más és más módon reagálnak. Ezeknek a viselkedéseknek evolúciós szempontból is kiemelt jelentősége van. Másrészt viszont e kutatások bemutatása megtörte volna dolgozatom fő gondolatmenetét, ezért nem vállalkoztam erre a feladatra.

A további kutatások lehetséges irányainak meghatározása szempontjából nagyon fontosnak tartom Bírálóm azon megjegyzéseit, amelyek felvetik, hogy a fajok közt eltérő polarizációs ingerküszöbértékek és a polarizáció-érzékelési szempontból különböző rovarszemterületek meglétének olyan szemanatómiai vonatkozásai is lehetnek, amelyeket érdemes lenne vizsgálni a későbbiekben.

Az erősen és vízszintesen poláros fényt tükröző mesterséges felületek poláros fényszennyezését tapasztalataink alapján leginkább két módszerrel lehet drasztikusan csökkenteni, ami együtt jár a fénypolarizációs ökológiai csapdahatás kivédésével is. Egyrészt a felületek érdesítésével (mattosításával) elérhető, hogy a visszaverődő diffúz fény kevésbé legyen poláros, miáltal már nem fogja vonzani a polarotaktikus vízirovarokat. Egy 2020-ban megjelent publikációnkban éppen egy ilyen gyakorlatilag polarizálatlan fényt reflektáló, új típusú napelemfelületről mutattuk ki, hogy nem vonzza az általunk vizsgált vízirovarokat (Fritz et al. 2020). E módszer alkalmazására elvileg lenne lehetőség a mezőgazdasági fóliák esetében is, miáltal megmaradhatna a sötét fólia nagyobb hőelnyelőképessége, miközben a róla tükröződő fény kevésbé lenne poláros.

Mezőgazdasági fóliák esetében még egyszerűbb megoldást jelentene, ha ezek nem teljesen feketék, hanem fehér rácsmintázattal ellátottak lennének. Ha egy erősen és vízszintesen polarizáló felületet olyan fehér rácsozattal látunk el, amely az egységes fényes, fekete felületet kisebb-nagyobb mértékben felaprózza, akkor ezekre akár harmincszor kevesebb vízirovar száll le, mint az azonos felületű, rácsozatlan tesztfelületekre (Horváth et al. 2010).

Aszfaltutak esetében már nehezebb jó megoldást találni. Kutatásaink során kimutattuk, hogy ezek még akkor is vonzzák a vízirovarokat, ha a felületükbe fehér kőzúzalékot, murvát hengerelnek. Sajnos e tevékenység sem csökkenti a felszínről tükröződő fény polarizációfokát a vízirovarok ingerküszöbe alá (Egri et al. 2017). A leginkább veszélyeztetett természetvédelmi területeken áthaladó aszfaltutak felületén talán kialakítható lenne a depolarizáló fehér rácsmintázat, bár ezt a megoldást

közlekedésbiztonsági szempontok miatt valószínűleg csak kisforgalmú utak esetében lehetne alkalmazni.

Egyetértek Bírálómmal abban, hogy a természetes élőhelyek megőrzésére kiemelt figyelmet kell fordítani a poláros fényszennyezés tekintetében is és az általa okozott károkozást is fontos lenne minél pontosabban számszerűsíteni. Sajnos ilyen adatokkal azonban nem rendelkezünk sem a hazai ökoszisztémák esetében, sem pedig globális méretekben. Az első számszerűsítést is célzó publikációnk a *Perla abdominalis* álkérészfaj vonatkozásában is csak nemrégiben, 2019-ben jelent meg (Egri et al. 2019).

Egyetértek Bírálóm pernyemezős kutatásainkhoz kapcsolódó véleményével, mely szerint a vízirovarok tarlóégetés által érintett területektől való távolmaradásának a polarizáció-érzékeléstől független egyéb okai is lehetnek (pl. légköri szennyezőanyagok jelenléte, a természetestől eltérő optikai környezet).

A kérészek és álkérészek kompenzációs repülése sajnos még mindig azok közé a sokak által és sokszor megfigyelt látványos jelenségek közé tartozik, amellyel kapcsolatban nagyon hézagosak az ismereteink. Emiatt nem írtam értekezésemben részletesebben erről a témáról. A tiszavirág esetében a kompenzációs repülés jelenségéhez tudnám hasonlítani például a tömegrajzások pontos időzítetttségét és fantasztikus összehangoltságát, amelynek szabályozásáról is inkább csak feltételezések vannak, mintsem kísérleti eredményekkel alátámasztott magyarázatok. Értekezésemben a híd szerepét a kérészek természetes optikai környezetének megváltozása vonatkozásában vizsgáltam, egyéb esetleges perturbációs hatásokkal nem foglalkoztam, ugyanakkor elismerem e tényezők vizsgálatának fontosságát is.

A hídpillérek mögött folyásirányban kialakuló Kármán-féle örvénysorok a vízfelület hullámzásával azt eredményezik, hogy a hullámzó vízfelszínről tükröződő fény polarizációiránya jobban eltér a vízszintestől, mint egy sima, nem hullámzó felszínről visszaverődő fényé. A fodrozódó vízfelszín polarizációirányának nagyobb szórása pedig csökkentheti a kérészekre kifejtett vonzó hatást a hídtest kis polarizációfokú és függőlegesen poláros tükörképéhez hasonlóan.

A matt (érdes) felületekről diffúzan visszaverődő fény polarizációfoka kisebb, mint a fényes (sima) felületekről visszaverődő fényé, ezért a matt autófelületekkel folytatott kísérleteink során azt vártuk, hogy a polarotaktikus rovarok számára nem vagy kevésbé lesznek vonzóak, mint a fényes megfelelőik. Ezzel szemben a kapott eredményeink árnyaltabb képet mutattak. A matt felületek között is előfordultak olyanok, amelyeknél a visszavert fény polarizációfoka elérte egyes vízirovaraxonok fénypolarizációs ingerküszöbét, ezek képesek voltak pozitív polarotaxist kiváltani (Blahó et al. 2014, Száz et al. 2016). Mindezek alapján elmondható, hogy ránézésre nem lehet egyértelműen megállapítani egy matt felületről (pl. matt karbonfóliával bevont gépkocsikarosszéria vagy mattosított felületű napelem), hogy polárosan fényszennyező-e vagy sem.

Legújabb kutatási eredményeink alapján azonban már azt is tudjuk, hogy létezik olyan kísérleti matt napelemfelszín, amely egyetlen általunk vizsgált vízirovaraxon esetében sem vált már ki pozitív polarotaxist (Fritz et al. 2020).

A polarizációs csapdák bögölyvonzó-képessége például a gazdaállatok által kibocsátott szaganyagokat utánzó széndioxiddal és ammóniával a duplájára növelhető, amint az kiderült az egyik terepkísérletünkben (Blahó et al. 2013). A hagyományos, nem polarizációs elven működő rovarcsapdák bögölyvonzó-képessége közismerten fokozható ilyen bögölyök által kedvelt szaganyagokkal.

Irodalom

Blahó, M.; Egri, Á.; Száz, D.; Kriska, Gy.; Åkesson, S.; Horváth, G. (2013) Stripes disrupt odour attractiveness to biting horseflies: Battle between ammonia, CO₂, and colour pattern for dominance in

the sensory systems of host-seeking tabanids. *Physiology and Behavior* 119 (2013): 168-174 (doi: 10.1016/j.physbeh.2013.06.013)

Blahó, M.; Herczeg, T.; Kriska, Gy.; Egri, Á.; Száz, D.; Farkas, A.; Tarjanyi, N.; Czinke, L.; Barta, A.; Horváth, G. (2014) Unexpected attraction of polarotactic water-leaving insects to matt black car surfaces: mattness of paintwork cannot eliminate the polarized light pollution of black cars. *Public Library of Science One* 9/7: e103339

Egri, Á.; Pereszlényi, Á.; Farkas, A.; Horváth, G.; Penksza, K.; Kriska, Gy. (2017) How can asphalt roads extend the range of in situ polarized light pollution? A complex ecological trap of *Ephemera danica* and a possible remedy(link is external) *Journal of Insect Behavior* 30 (4): 374–384

Egri, Á.; Száz, D.; Pereszlényi, Á.; Bernáth, B.; Kriska, Gy. (2019) Quantifying the polarised light pollution of an asphalt road: an ecological trap for the stonefly, *Perla abdominalis* (Guérin-Méneville, 1838) (Plecoptera: Perlidae) *Aquatic Insects* 40 (3): 257–269

Horváth, G.; Blahó, M.; Egri, Á.; Kriska, Gy.; Seres, I.; Robertson, B. (2010) Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology* 24: 1644–1653

Fritz, B.; Horváth, G.; Hünig, R.; Pereszlényi, Á.; Egri, Á.; Guttman, M.; Schneider, M.; Lemmer, U.; Kriska, Gy.; Gomard, G. (2020) Bioreplicated coatings for photovoltaic solar panels nearly eliminate light pollution that harms polarotactic insects. *Public Library of Science One* 15 (12): e0243296 (22 pages, doi: 10.1371/journal.pone.0243296)

Száz, D.; Mihályi, D.; Farkas, A.; Egri, Á.; Barta, A.; Kriska, Gy.; Robertson, B.; Horváth, G. (2016) Polarized light pollution of matte solar panels: anti-reflective photovoltaics reduce polarized light pollution but benefit only some aquatic insects. *Journal of Insect Conservation* 20: 663–675

Végezetül köszönöm Garab Győző professzor úrnak, hogy disszertációmát elbírálta, eredményeimről elismerően nyilatkozott és számos gondolatébresztő kérdést fogalmazott meg, melyek segítik eredményeim interpretációját, további kutatásaim irányainak meghatározását. Amennyiben válaszaimat kielégítőnek tartja, kérem megtisztelő támogatását az értekezés nyilvános vitára tűzését és elfogadását illetően.

Budapest, 2021. január 30.

Kriska György