

Különböző színhőmérsékletű fényforrások rovarvonzó hatásának természetvédelmi szempontú vizsgálata

Gyarmathy István^{1*}, Korompai Tamás², Mester Béla¹ és
Novák Richárd²

¹Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatóság, 4024 Debrecen, Sumen u. 2.

²Bükki Nemzeti Park Igazgatóság, 3304 Eger, Sánc u. 6.

*E-mail: gyarmathyistvan@hnp.hu

Összefoglaló: Kutatásunk elsődleges célja az eltérő színhőmérsékletű, közvilágításban is használt lámpák ökológiai hatásának elemzése volt. A fénycsapdák által vonzott ízeltlábúak mennyiségi adatait egy automatikus mintavevő (Zoolog) rögzítette, a hőmérséklet- és páratartalom-adatokkal egyidejűleg. A nagy mennyiségű adat statisztikai elemzésével lehetőség nyílt a különböző típusú fényforrások által élőhelyükről elvontott ízeltlábúak biomassa-mennyiségének hosszabb távú nyomon követésére, ezáltal a különböző színhőmérsékletű lámpák attraktivitásának elemzésére, illetve a napi és hosszabb távú aktivitásváltozások vizsgálatára is. A befogott biomassa száraztömegének mérése kiegészítette a fenti vizsgálatot. Mindezek lehetővé teszik a természetvédelmi kezelést, illetve a világítás védett területen történő szabályozását elősegítő következtetések levonását.

Kulcsszavak: fényszennyezés, távérzékelés, fénycsapda, természetvédelmi kezelés

Bevezetés

A fényérzékenység alapvető tulajdonság sokféle állat, különösen az ízeltlábúak esetében. A rovarok a fény széles spektrumára érzékenyek, az ember számára láthatatlan ultrabolyától (UV) a vörösig. Orientációjuk, napi aktivitásuk és éves ritmusuk nagymértékben függ a fényektől és a természetes fénymintáktól. A fényérzékenység táplálkozásukban és a szaporodásukban is fontos szerepet játszik. A rovarok a megvilágítás forrása felé haladnak, de a fény eltérítheti vagy taszíthatja őket (pozitív vagy negatív fototaxis), növelheti vagy csökkentheti aktivitásukat (Bertholf 1940). A növekvő kültéri világítás napjainkban jelentős természetvédelmi problémát jelent. A közvilágításban használt lámpatestek gyakorlatilag fénycsapdáként működnek. Sötét területeken egy fényforrás akár tízezres nagyságrendű rovaregyedet is képes bevonítani egy éjszaka során. A mesterséges fények által élőhelyükről eltávolított – és többnyire elpusztított – rovarok mennyisége

óriási: egy Egyesült Államokban végzett kutatás során egyetlen fénycsapda 36,8 kg (kb. 85 millió egyed) iszapszúnyogot (*Limonia* sp.) fogott el egy éjszaka alatt (Rich és Longcore 2006).

Egy magyar nagyvárosban, megvilágított falfelületek mentén végzett gyűjtés során az 50 alkalommal végzett napi kétórás gyűjtőprogram alatt 148 futóbogárfaj (Carabidae) 17 400 példányát azonosították. Ez az összes befogott rovar 20%-a volt. Külön érdekesség, hogy ez a pár tíz négyzetméteres megvilágított falfelület 25-30 km-es távolságban lévő szikes élőhelyekről is vonzott fajokat – vélhetően az élőhelyükről elkóborolt egyedek kerültek a fény hatósugarába (Ködöböcz 2018). A jelentős fényszennyezést okozó világítótestek vagy megvilágított felületek rövid időn belül olyan mértékben vonzhatják magukhoz a rovarokat, hogy a sötétebb élőhelyeken nem marad elegendő rovar táplálékként a ragadozók számára. Ez a folyamat – a fényszennyezés fragmentációs hatásával együtt – viszonylag gyorsan és nagy területen a fajkészlet (és így az ökoszisztéma egészének) jelentős átalakulását eredményezheti (Davies *et al.* 2012). A rovarok fajszáma és egyedszáma Európában az utóbbi időben jelentős mértékben lecsökkent. Feltételezhetjük, hogy ezt – más okok mellett (peszticidhasználat, élőhelyvesztés, stb.) – részben a fényszennyezés okozhatja. Mindezek túlmutatnak az egyes fajokra kifejtett hatásokon, és egyre több a bizonyíték arra, hogy a világszerte növekvő megvilágítás negatív hatással van egész ökoszisztémákra is. Ezért fontos meghatározni azokat a fényforrásokat és megvilágítási módokat, amelyek a legkevésbé károsítják a természeti környezetet, beleértve a táplálkozási láncban kulcsszerepet játszó rovarvilágot.

A megvilágításra adott különböző válaszok összefüggenek a fény intenzitásával, spektrumával és polarizációjával. Ha meg akarjuk találni ennek a vonzerőnek az okait, meg kell vizsgálnunk a fiziológiai gyökereket, valamint a rovarok viselkedését. A vonzerő a rövidebb hullámhossznak és a magasabb frekvenciának köszönhető, míg a nagyobb hullámhosszú vörös fény a rovarok számára nehezebben észlelhető. A rovaroknak az összetett szemük mellett három pontszemük (ocelli) van, melyek feladata a fény, és nem a mozgás azonosítása. Úgy tűnik, a pontszemek a rövidebb hullámhosszokat könnyebben felismerik.

Sok rovar szürkületben táplálkozik, amikor a kék fény uralja az ég sugárzási spektrumát. A napnyugta és a csillagászati szürkület közötti 1-2 órán át a kék felé eltolódott fények állandó polarizációs mintázatot, ezáltal orientációs lehetőséget biztosítanak a rovarok számára (Cronin *et al.* 2006). Csillagfényben a besugárzási spektrumok „vöröseltolódnak”, és erősen befolyásolja őket a Hold jelenléte vagy hiánya. Ez megmagyarázza, hogy a különböző fényforrások vonzó hatása miért függ a spektrális összetételtől. A kék vagy hideg fehér fényt kibocsátó fémhalogén lámpáknak vagy LED-eknek 6-10-szer nagyobb vonzó hatása van a lepkék szá-

mára, mint a hosszabb hullámhosszú (meleg fehér vagy sárga fényű) nátriumlámpáknak. Tehát a lepkék számára a hideg fénnel rendelkező LED akár 10-szer fényesebbnek tűnik, mint az azonos intenzitású sárga nátriumlámpák (Huemer *et al.* 2010).

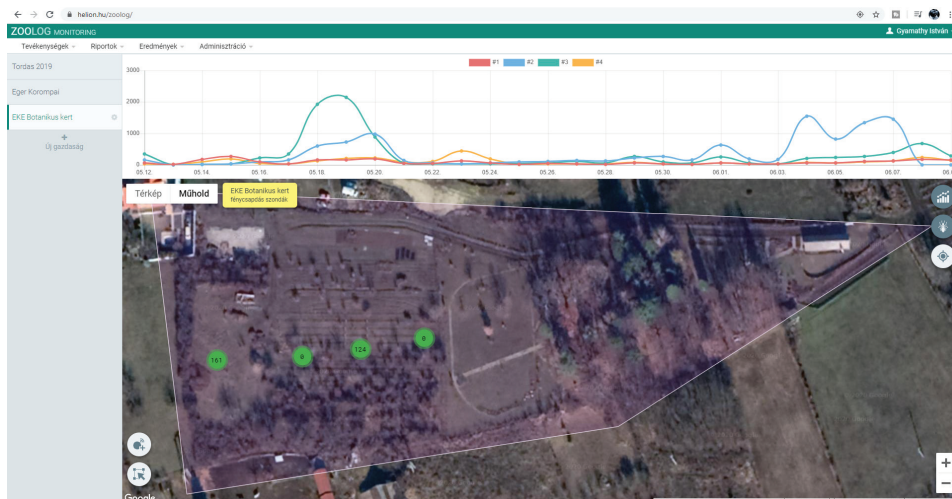
A fenti ismeretek alapján a közvilágításban széles körben használt különféle típusú fényforrások rovarvonzó hatását vizsgáltuk meg. Feltételeztük, hogy a színhőmérséklet és a lámpák fényének spektrális összetétele fontosabb, mint a lámpák fényereje. Ennek igazolására különféle színhőmérsékletű, spektrális összetételű és fényerősségű fényforrásokat alkalmazó csapdákat használó kutatóprogramot indítottunk. A befogott rovarok számlálásához újszerű távérzékelési módszert is alkalmaztunk: a ZooLog mintavételi rendszert, az Edapholog szondák továbbfejlesztett változatát (Dombos *et al.* 2017).

Anyag és módszer

Négy Jermy-típusú fénycsapdát használtunk (1., 2. ábra), amelyek 4000 és 2700 Kelvin színhőmérsékletű és némileg eltérő fényerejű lámpákkal voltak felszerelve: (i) 4000 Kelvin színhőmérsékletű (hideg fehér), 3100 lumen fényerejű higanygőzlámpa (MVL: mercury vapour lamp). Régi utcai világítási rendszerekben és fénycsapdáknak is használták. (ii) A kísérleti időszak elején, 2020. május 8-ig egy UV rovarcsapda fénycsövet használtunk (BL368 jelű) vélelmezve, hogy ez lesz a legattraktívabb a rovarok számára. (iii) Május 8-a után az előző helyett a végleges fényforrás két db 4000 Kelvines (hideg fehér), összesen 3040 lumenes kompakt



1. ábra. Jermy-csapdák, különféle típusú lámpákkal.



2. ábra. A Zoolog adatgyűjtő eredményei online nyomon követhetők (a képen a csapdák elhelyezkedése is látható a Botanikus Kertben) ([http1](http://)).

fénycső (CFL: compact fluorescent lamp) volt. (Azért kellett két darabot használni, hogy a szokványos közvilágítási fényáramot reprodukálhassuk.) Jelenleg ez a legelterjedtebb lámpatípus az utcai világításban. (iv) 4000 Kelvines (hideg fehér), 2450 lumenes LED lámpa; ezt használják jelenleg leggyakrabban az utcai világítások korszerűsítésénél. (v) 2700 Kelvines (sárga színű), 2450 lumenes LED lámpa; a jelenlegi vélemények szerint ez javasolandó a természetvédelmi előírásokban (3. ábra). (Megjegyezzük, hogy a csapdákbán használt fényforrások



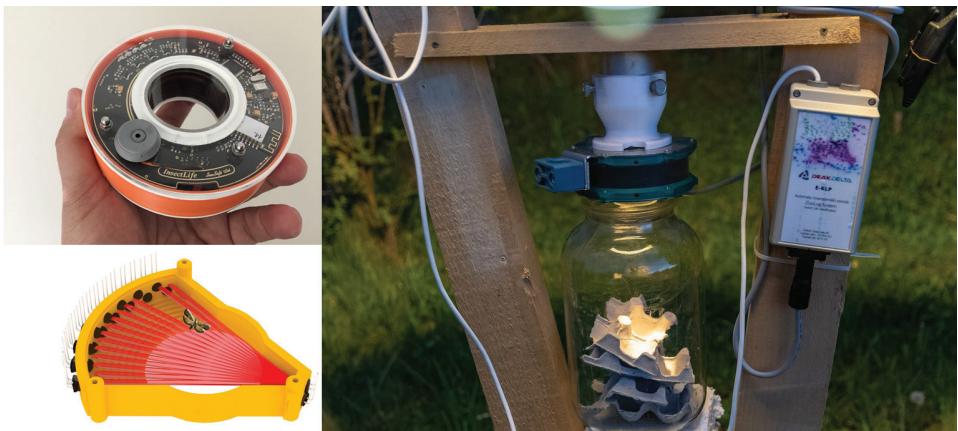
3. ábra. Jermycsapda sárga LED-del és Zoolog szondával felszerelve.

esetében az MVL kivételével csak a fényerő, a színhőmérséklet és a működési elv egyezett a közvilágításban használatos fényforrásokkal.)

Mivel – miként később bemutatott vizsgálataink ezt alátámasztják – a 4000 Kelvin színhőmérsékletű lámpák attraktivitása jelentősen eltér (az azonos színhőmérsékletű CFL lámpa attraktivitása meghaladja a szintén 4000 Kelvines LED-ét), szükségesnek tartottuk a lámpák fényének spektrális vizsgálatát. Feltételeztük, hogy a CFL spektrumának több kék komponenst kell tartalmaznia, mint a LED-nek. A szakirodalmi adatok ezt alátámasztják. A mérések szerint (Ferreirade *et al.* 2019, Benxuan *et al.* 2020) a CFL lámpák spektrális eloszlása vonatkozásában a rövid hullámhosszú kék radiancia mennyisége jelentősen meghaladja az azonos színhőmérsékletű LED lámpák által kibocsátott rövid hullámhosszú radianciát. Sőt, a CFL fényforrás a rovarok számára különösen vonzó UV spektrumot is tartalmaz. A Kolláth Zoltán (Eszterházy Károly Egyetem) által 4000 Kelvines CFL és LED-es fényforrásról készített (még nem publikált) spektrum is alátámasztja ezt.

A Jermy-típusú fénycsapdák alá automatikus számláló érzékelőket telepítettünk (4. ábra), amelyek mobilinternet-kapcsolaton keresztül a következő adatokat szolgáltatják egy központi szerverhez ([http1](http://1)): beeső egyedek száma, a beesés időpontja, az aktuális hőmérséklet és páratartalom (Dombos *et al.* 2018). (Emellett a csapda alkalmas egy a testmérettel korreláló érték megadására is, mi ezt technikai okok miatt nem használtuk.)

A monitoring program kalibrációval kezdődött. A rovarok egyedszámát manuálisan számláltuk és hasonlítottuk össze az érzékelők eredményeivel. Az egyes napok gyűjtési eredményeit elkülönítve tároltuk, és néhány hét múlva laboratóriumi mérlegen lemértük a minták száraztömegét. Gépi tanulás segítségével kalibráltuk a szondákat. A csapdákat az egri Eszterházy Károly Egyetem botanikus kertjében



4. ábra. Zoolog érzékelő gyűrű és adatgyűjtő, és rögzítése a Jermy-csapdához (fotó: [http1](http://1)).

helyeztük el, egymástól jól elkülönítve, egy vonalban, közöttük 20, illetve 30 méteres távolsággal (2. ábra). A csapdák 5-10 méteres körzetében a mikroélelőhelyek tekintetében inhomogenitást feltételeztünk, ezért az adott csapdák lámpáit szabályos ütemben estéről-estére cserélgettük. Ez a feltételezés a fajösszetétel és a fogási naplók összevetése után nem nyert bizonyítást. A kalibrálást 2019 végén kezdtük, a tényleges adatgyűjtést 2020 áprilisában indítottuk el, és 2020. november végéig folytattuk.

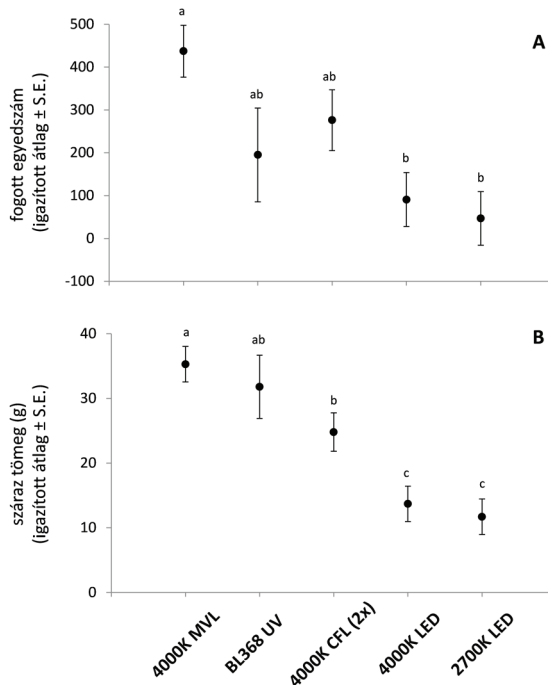
Az általunk alkalmazott megfigyelőrendszer IR (infravörös) érzékelő gyűrűt használ a befogott rovarok detektálására (Balla *et al.* 2020). A detektálás elve lényegében egy fotocellás kapu, amely a közeli infravörös tartományban működik a környezeti fény zavaró hatásának csökkentése érdekében. Infravörös fényforrásként egy TSAL6200 típusú LED diódát használunk, amelynek karakterisztikus hullámhossza 940 nm volt. A pontosságot egy 3D-s tervezési programban készített munkadarab biztosítja. A 3D nyomtatás lehetővé tette a nem kívánt fények kizárását és a szóródás elkerülését, ezáltal csökkentve az eszköz környezeti fényzajra való érzékenységét. A szonda GSM/GPRS modem használatával továbbítja az összegyűjtött adatokat egy központi szerver adatbázisába.

Az adatokat óránkénti összesítésben töltöttük le 2020. április 25. és november 25. között, csak a naplemente és napfelkelte közötti adatokat használva, amikor a gyűjtőedényekkel ellátott Jermy-csapdák világítása üzemelt. Az így létrejött adatbázisból csak azokat az adatsorokat használtuk fel, amelyek esetében csapdanaponként legalább nyolc órányi beérkező adat állt rendelkezésre (az expozíciós csapdaidő az éjszaka hosszának változása miatt 8,5 és 14 óra között volt), illetve amely napokon gyűjtőüveg volt a csapda alatt és a begyűjtött minta feldolgozásra került (ennek adatait egy külön cikkben tesszük közzé). Az adatokat ismétléses mintavétel szerint rendeztük, ahol a négy csapdalozási ponton belül több gyűjtési dátum (csapdanap) található, melyekhez külön-külön a mért száraztömeg és a fogások Zoolog által közölt egyedszám-értékei összegezve lettek, a páratartalom és hőmérséklet adatrekordok pedig átlagolva. A páratartalom százalékos értékeit transzformáltuk (arcus sinus). R statisztikai környezetben (R 3.6.3, R Development Core Team 2020), általánosított lineáris kevert hatású modellekkel (GLMM) vizsgáltuk négy független változó (fényforrás típusa, expozíciós idő, átlagos hőmérséklet és átlagos páratartalom) hatását két függő változóra (fogott rovarok egyedszáma és száraztömeg), ahol random faktor volt a csapdanap és a csapdalozási pont. Először a teljes GLMM-eket illesztettük az nlme csomag lme funkciójának segítségével, majd a variancia analízis (ANOVA funkció) után, nem szignifikáns független változók eltávolításával jutottunk el a minimum adekvát GLMM-ekhez. Szignifikáns hatású faktorok esetében az lsmeans funkcióval számoltuk ki a csoportok igazított átlagait, illetve Tukey HSD teszttel vetettük össze a csoportokat. A korrelációkat ggplotRegression funkcióval vizsgáltuk.

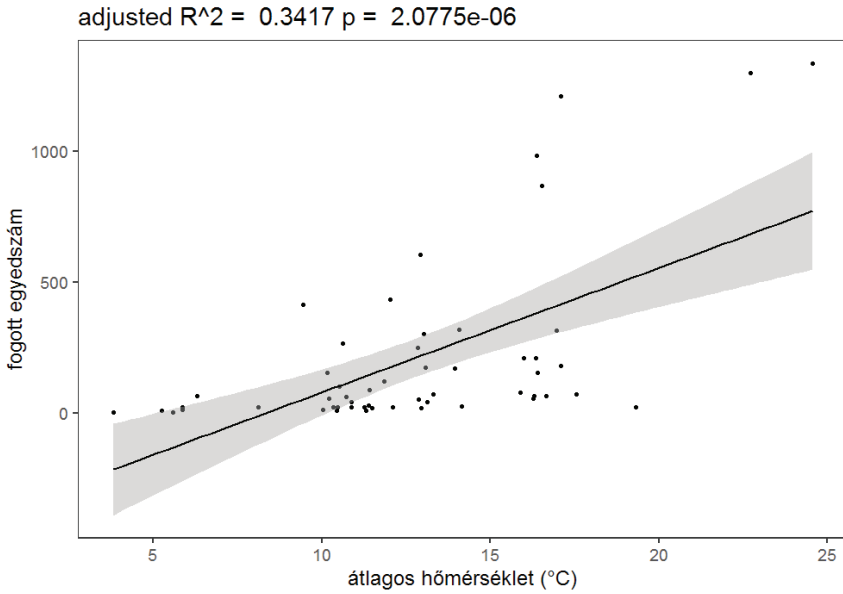
Eredmények

A fogott rovarok egyedszámát szignifikánsan befolyásolta az alkalmazott fényforrás típusa ($\text{Chi}^2 = 30,7$, $p < 0.001$), valamint az átlagos hőmérséklet ($\text{Chi}^2 = 28,2$, $p < 0.001$). Az egyedszám szignifikánsan nagyobb volt az MVL esetében mind a 4000, mind pedig a 2700 Kelvines LED fényforrásokhoz képest (5.a ábra, 1. táblázat). A fogott rovarok egyedszáma szignifikánsan nőtt az átlagos hőmérséklettel (6. ábra).

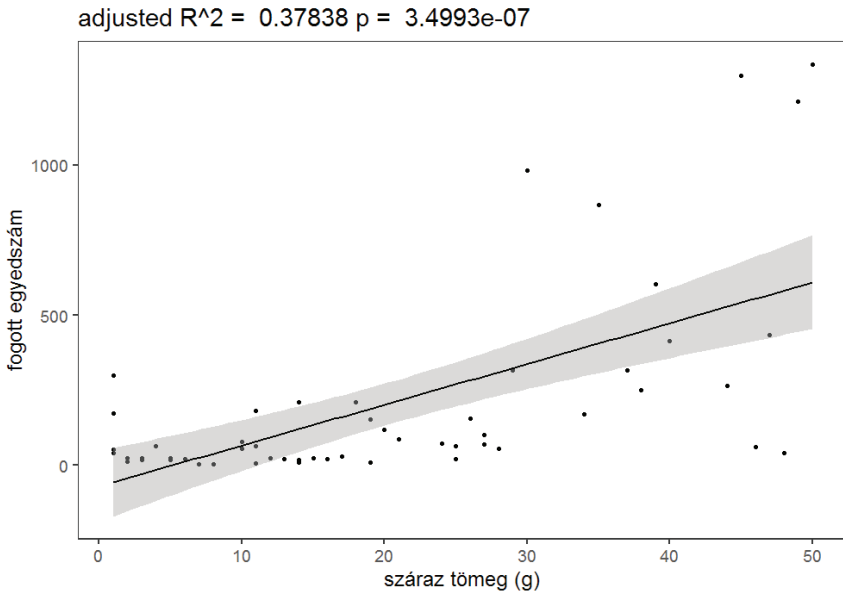
A begyűjtött minták száraztömegét szignifikánsan befolyásolta az alkalmazott fényforrás típusa ($\text{Chi}^2 = 101,4$, $p < 0.001$). A száraztömeg szignifikánsan nagyobb volt az MVL esetében a CFL fényforráshoz képest (5.b ábra, 1. táblázat), azonban az UV lámpa egyik előző fényforrástól sem különült el szignifikánsan (5.b ábra, 1. táblázat). Mind a 4000, mind pedig a 2700 Kelvines LED fényforrás esetében szignifikánsan kisebb volt a száraztömeg a többi fényforráshoz képest (5.b ábra, 1. táblázat). Az egyedszám szignifikánsan nőtt a száraztömeggel (7. ábra). Egy egy éjszaka befogott rovarmennyiséget a 8. ábra mutat be.



5. ábra. Fogott rovarok egyedszámának (a) és száraztömegének (b) eltérése a különböző fényforrások között. A hibásávok feletti betűk az elkülönülés mértékét jelölik (Tukey HSD, $p < 0,05$).



6. ábra. Fogott rovarok egyedszáma az átlagos hőmérséklet függvényében.



7. ábra. Fogott rovarok egyedszáma a száraztömeg függvényében.

1. táblázat. Az eltérés iránya és mértéke a standard hibával (S.E.) a szignifikáns hatást gyakorló faktorok csoportjai között (Tukey HSD, $p < 0,05$). A szignifikáns elkülönülés félkövérrel jelölve.

	Fogott egyedszám			Szárzattömeg (g)		
	eltérés	S.E.	p	eltérés	S.E.	p
MVL – BL368	242,1	118,41	0,237	3,5	4,88	0,949
CFL – BL368	81	128,15	0,969	-6,9	5,2	0,652
2700K LED – BL368	-148	119,03	0,719	-20	4,88	< 0,001
4000K LED – BL368	-104,2	118,85	0,902	-18,1	4,88	0,002
CFL – MVL	-161,1	85,84	0,321	-10,5	2,97	0,003
2700K LED – MVL	-390,2	78,75	< 0,001	-23,6	2,73	< 0,001
4000K LED – MVL	-346,3	78,58	< 0,001	-21,7	2,73	< 0,001
2700K LED – CFL	-229	87,82	0,066	-13,1	2,97	< 0,001
4000K LED – CFL	-185,2	87,67	0,208	-11,2	2,97	0,001
4000K LED – 2700K LED	43,8	79,62	0,981	1,9	2,73	0,951



8. ábra. A csapdák által egy éjszaka alatt összegyűjtött minták, balról: LED 4000 K, MVL 4000 K, LED 2700 K, CFL 4000 K.

Megvitatás és konklúzió

Kutatásunk elsődleges célja az eltérő színhőmérsékletű (spektrális összetételű) és fényintenzitású, közvilágításban is használt lámpák ökológiai hatásának elemzése volt. A folyamatosan működő, automatizált szondák használata nagy mennyiségű, statisztikailag elemezhető adat összegyűjtését tette lehetővé. Így lehetőség volt az

élőhelyükről eltávolított izeltlábúak biomasszájának mennyiségi becslésére és a különböző színhőmérsékletű fényforrások vonzerejének elemzésére, ezáltal természetvédelmi kezelést megalapozó következtetések levonására.

Az eredmények alapján a hidegebb színhőmérséklet nagyobb attraktivitása mellett a fényintenzitás is igen jelentős tényező. A nagyobb fényerősségű lámpák több rovarot fogtak el az azonos színhőmérsékletű, de kisebb fényerősségű lámpáknál. Kísérletünkben a legkevésbé vonzó lámpa a sárga LED (2700 K és 2450 lumen) volt. A 4000 Kelvines LED-es lámpa csak csekély mértékben volt nagyobb attraktivitású. Jelentős növekedés tapasztalható azonban a 4000 Kelvines 3040 lumenes kompakt fénycső esetében, és egyértelműen a legvonzóbb a 4000 Kelvines színhőmérséklettel és 3100 lumen fényerősséggel rendelkező higanygőz lámpa.

A rovarok általában különösen érzékenyek a látható spektrum rövidebb hullámhosszú (kék) régióira és az UV fényre (Ashfaq *et al.* 2005). A rovarok fény felé orientálódásának hasonló mintázatát más tanulmányokban is publikálták (Thomas 1996). Az eredmények azt mutatják, hogy a rovarvonzó hatásért nagy részben a kék és az UV fény a felelős. Az éjszakai lepkék szeme a 380–400 nm-es hullámhossztartományra a legérzékenyebb, míg kevésbé érzékeny a hosszabb hullámhosszú spektrális régiókra (Menzel *et al.* 1986).

Kísérletünk megerősítette, hogy a színhőmérséklet fontos szerepet játszik a rovarok eltérő mértékű vonzásában. A meleg (sárgás) színhőmérsékletű, kevés rövid hullámhosszú komponenst tartalmazó fény kevésbé vonzó, mint a hideg (fehér és kék) fény. A fényintenzitás erőssége is fontos tényező. Az eredmények alátámasztják és megerősítik azt, hogy a természetközeli és védett természeti területeken és környékükön a kültéri világítás tervezésénél és megvalósításánál az élővilágra legkevésbé negatív hatást gyakorló, elsősorban meleg színhőmérsékletű (2200–2700 K), kevés kék spektrális komponenst tartalmazó és alacsony teljesítményű fényforrások alkalmazása kerüljön előtérbe.

Kiragadott aspektus, de ha naponta csak 1 grammnyi az a rovarmennyiség, amit egy közvilágítási lámpa befog (a méréseink szerint az egy éjszaka befogott rovarok nedvestömege a 36,6 grammot is elérte – 2020. 08. 09-ei mérés az MVL esetében), akkor a Magyarországon a közvilágításban használt mintegy 1300000 lámpatest tavasztól őszig, nagyjából 250 napot figyelembe véve, éves szinten mintegy 325 tonna rovarot vont ki az élőhelyekről. Ezáltal jelentősen sérülnek az általuk nyújtott ökológiai funkciók és az ökoszisztéma-szolgáltatások (Lyytimäki 2013). Figyelembe véve, hogy egész Európában komolyan csökken a rovarok faj- és egyedszáma (Hallmann *et al.* 2017), minden kis lépés a közvilágítás természetbarátabbá tételére nagy jelentőséggel bír természeti értékeink megóvása szempontjából.

Köszönetnyilvánítás – A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00014 projekt tette lehetővé. Köszönetet mondunk az Eszterházy Károly Egyetem, illetve a Bükki és Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatóságok által nyújtott segítségért is.

Irodalomjegyzék

- Ashfaq, M., Khan, R., Ashan, M., Rasheed, F. (2005): Insect orientation to various color lights in the agricultural biomes of Faisalabad. *Pakistan Entomologist* 27: 49–52.
- Babbie, E. R. (1973): *Survey Research Methods*. Wadsworth Publishing, Belmont, 744 p.
- Balla, E., Flórián, N., Gergócs, V., Gránicz, L., Tóth, F., Németh, T., Dombos, M. (2020): An opto-electronic sensor-ring to detect arthropods of significantly different body sizes. *Sensors* 20: 982. <https://doi.org/10.3390/s20040982>
- Bertholf, L. M. (1940): Reactions to light in insects. *Bios* 11: 39–43.
- Benxuan, L., Mingxia, L., Jiangtao, F., Jingchao, Z., Smowton, P. M., Sohn, J. I., Il-Kyu, P., Haizheng, Z., Bo, H. (2020): Colloidal quantum dot hybrids: an emerging class of materials for ambient lighting. *Journal of Materials Chemistry C* 8: 10676–10695. <https://doi.org/10.1039/d0tc01349h>
- Cronin, T. W., Warrant, E. J., Greiner, B. (2006): Celestial polarization patterns during twilight. *Applied Optics* 45: 5582–5589. <https://doi.org/10.1364/AO.45.005582>
- Davies, T. W., Bennie, J., Gaston, K. J. (2012): Street lighting changes the composition of invertebrate communities. *Biology Letters* 8: 764–767. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0216>
- Dombos, M., Kosztolányi, A., Szlávecz, K., Gedeon, C., Flórián, N., Groó, Z., Dudás, P., Bánszegi, O. (2017): Edaphology monitoring system: automatic, real-time detection of soil microarthropods. *Methods in Ecology and Evolution* 8: 313–321. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12662>
- Dombos, M., Flórián, N., Gergócs, V., Schellenberger, V., Haszon, B., Nagy, A. (2018): Ízeltlábúak automatikus detektálási problémái és megoldásai terepi vizsgálatokban. In: Szép, T. (szerk.): *II. Magyar Ökológus Kongresszus: Absztraktkötet*. Magyar Ökológusok Tudományos Egyesülete, Nyíregyháza, p. 30.
- Ferreirade, D., Souzaa, P., Fernandesda, P., Silvaa, L., Almeida, F., Fontenelea, G., Damaceno, B., Marcelode, O. J. (2019): Efficiency, quality, and environmental impacts: A comparative study of residential artificial lighting. *Energy Reports* 5: 409–424. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.03.009>
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D., de Kroon, H. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS One* 12: e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Huemer, P., Kühtreiber, H., Tarmann, G. (2010): Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten – Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol (Österreich). *Wissenschaftliches Jahrbuch der Tiroler Landesmuseen* 4: 110–135.
- Ködöböcz, V. (2018): Fényen gyűjtött futóbogarak (Coleoptera: Carabidae) a debreceni Malompark Bevásárlóközpontnál, 2000 és 2018 között. *Folia Historico-Naturalia Musei Matrensis* 42: 71–82.
- Lyytimäki, L. (2013): Nature's nocturnal services: Light pollution as a non-recognised challenge for ecosystem services – research and management. *Ecosystem Services* 3: e44–e48. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.12.001>

- Menzel, R., Ventura, D., Hertel, H. (1986): Spectral sensitivity of photoreceptors in insect compound eyes: comparison of species and methods. *Journal of Comparative Physiology A* 158: 165–177.
- R Development Core Team (2020): R: *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Bécs. <https://www.r-project.org/>
- Rich, C., Longcore, T. (2006): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press, Washington, 458 p.
- Thomas, A. W. (1996): Light trap catches within and above the canopy of a northeastern forest. *Journal of Lepidopterist's Society* 50: 21–45.

Internetes források:

http1: <https://helion.hu/zoolog>

How common light sources differ in attracting insects: A case study using long-term data via „Zoolog” monitoring system

István Gyarmathy^{1*}, Tamás Korompai², Béla Mester¹ &
Richárd Novák²

¹*Hortobágy National Park Directorate, H-4024 Debrecen, Sumen u. 2, Hungary*

²*Bükk National Park Directorate, H-3304 Eger, Sánc u. 6, Hungary*

*E-mail: gyarmathyistvan@hnp.hu

Our primary goal was to analyze the ecological impact of lamps with different color temperatures, also used as street lights. Quantitative data on arthropods attracted by light traps were recorded by an automatic sampler (Zoolog), along with temperature and humidity data. Long term monitoring of the amount of arthropod biomass removed from its habitat by the different types of light sources has been made possible by the statistical analysis of the acquired large dataset, thus analyzing the attractiveness of lamps with different color temperatures as well as changes in daily and long-term activity. The above study is complemented by the measurement of the dry mass of the captured biomass, as well as the planned species-level determination of the macrolepidoptera fauna occasionally trapped in the traditional way. Our results make it possible to draw conclusions that help nature conservation management and the regulation of public lighting in protected areas.

Keywords: light pollution, remote sensing, color temperature, light trap, conservation management