

SONIA MARCINKOWSKA, EUGENIA TĘGOWSKA

*Zakład Toksykologii Zwierząt
Wydział Biologii i Ochrony Środowiska
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Lwowska 1, 87-10 Toruń
E-mail: smarcinkowska@umk.pl*

ODDZIAŁYWANIE ŚWIATŁA O RÓŻNYM SPEKTRUM NA BEZKRĘGOWCE ZMIERZCHU I PEŁNEGO DNIA

WPROWADZENIE

Wraz z rozwojem przemysłu i urbanizacją sięgającą na coraz większe obszary, pojawia się konieczność oświetlania obszarów handlowych, przemysłowych i sportowych. Choć światło w nocy może mieć zarówno szkodliwe, jak i korzystne znaczenie dla organizmów żywych, jest to zawsze ingerencja w ekosystem. Wzrastająca liczba latarni przydrożnych, billboardów, świecących reklam, a także iluminacji świetlnych pojawiających się na budynkach, w których często stosuje się diody LED, może powodować zaburzenia w cyklu dobowym i rocznym wielu organizmów. Nie tylko bowiem intensywność nasłonecznienia i temperatura, ale również długość fali światła i temperatura jego barwy ma wpływ na różne funkcje organizmu. Wadą popularnych diod LED jest emitowanie światła głównie o krótkich falach (światło niebieskie i fioletowe), a także o zimnych temperaturach barwy światła znacznie różniących się od światła słonecznego. Światło o spektrum fal znacznie odbiegającym od światła naturalnego może prowadzić do zakłóceń w funkcjonowaniu zwierząt w sposób bezpośredni i pośredni. Bezpośredni wpływ światła powoduje zmiany w orientacji w przestrzeni, zdobywaniu pożywienia, rozmnażaniu, a także relacji ofiara-drapieżnik (PERRY i współaut. 2008). W sposób pośredni sztuczne oświetlenie może prowadzić do

zaburzeń w życiu owadów poprzez wywołanie zmian w funkcjonowaniu flory. Badania pokazują duży związek pomiędzy wyginieniem z niektórych obszarów określonych gatunków kwiatów a zwiększeniem oświetlenia sztucznego. Niektóre kwiaty kwitnące w nocy zapylane są przez ćmy (Lepidoptera). Pojawienie się sztucznego oświetlenia powoduje przyciąganie owadów do źródła światła, w wyniku czego zostaje zaburzona ich orientacja w terenie i niemożliwe jest zapylenie. Brak interakcji owad-kwiat może prowadzić do spadku liczebności gatunkowej kwiatów kwitnących w nocy (MACGREGOR i współaut. 2015). Zanieczyszczenie światłem może być szczególnie niebezpieczne dla zwierząt nocnych, dla których taki tryb życia jest np. przystosowaniem do unikania ataku ze strony drapieżnika. Wiele owadów przyciąganych źródłem światła ginie od samego kontaktu z lampą, bądź staje się łatwym celem dla drapieżników takich jak nietoperze (RYDELL 1992). Wzrost aktywności ruchowej pod wpływem działania różnych długości światła, stwierdziła HO i współaut. (2013) w swojej pracy nad *Drosophila melanogaster* (owad dzienny). W pracy tej odrzucili oni początkowo postawioną przez siebie tezę zerową, która mówiła, że wraz ze wzrostem długości fali światła spada aktywność ruchowa. Ich badania wykazały wzmożoną aktywność

ność zarówno przy ekspozycji owadów na światło niebieskie i zielone, jak i przy ekspozycji na światło czerwone. Wzrost aktywności ruchowej pod wpływem działania światła niebieskiego i czerwonego wykazał także DANIELSON (1976) w badaniach nad równonogami (sowbugs) (bezkręgowce nocne). Z kolei ASHFAQ i współaut. (2005) wykazali, że na owady większy wpływ ma światło niebieskie niż czerwone, które przeciąga do siebie zdecydowanie mniejszą liczbę owadów. Pomiedzy barwą niebieską a czerwoną znalazła się barwa biała, żółta i następnie zielona. Z kolei doświadczenie WANG i współaut. (2013) nad owadem *Orius sauteri* z rodziny pluskwiaków wykazało, że największy wpływ na aktywność ruchową ma barwa czerwona, następnie żółta, zielona, a najmniejszy wpływ ma barwa niebieska. VAN LANGEVELDEA i współaut. (2011) w swej pracy dowodzili, że długość fali ma znaczący wpływ na różnorodność gatunkową ciem (owady nocne). W wyniku przeprowadzonych badań wykazali, że lampy emitujące światło o krótszych falach przyciągają większą liczbę gatunków ciem. Dodatkowo zauważono, że lampy takie są bardziej atrakcyjne dla ciem o większych rozmiarach i wadze, a także o większych oczach.

Reakcja organizmów żywych na światło może być różna. Jedne są przez światło przyciągane, inne odstraszone. Wraz z urbanizacją obszarów i bardziej intensywnym ich oświetleniem zmienia się aktywność ruchowa, nie tylko na danym miejscu, ale także orientacja w terenie wielu organizmów, w wyniku czego dochodzi do licznych migracji. Prowadzi to do gromadzenia się pewnych gatunków na obszarach, w których wcześniej nie występowały. Pojawienie się oświetlenia w pobliżu zbiorników wodnych powoduje zaburzenia w migracji pionowej zooplanktonu, a tym samym, zwiększenie przeżywalności glonów znajdujących się na powierzchni wód. Skutkiem większej ilości glonów na powierzchni jest ich zakwit, obniżenie jakości wody, a także zarastanie zbiorników wodnych (MOORE i współaut. 2000). Zaburzenia w orientacji w otoczeniu za pośrednictwem światła zauważono także u żółwi morskich (LORNE i SALMON 2007), które po wykluciu wędrują w kierunku przeciwnym do ciemności rzucanej przez wydmy, czyli w kierunku morza. Lorne i Salmon w swoich badaniach pokazali, że sztuczne oświetlenie powoduje zakłócenia w migracji młodych żółwi do morza. Żółwie zmylone oświetleniem z nadbrzeży zamiast

kierować się do morza udają się głębiej w ląd. Światło czy to naturalne czy sztuczne może jedne organizmy mobilizować do migracji, a u innych powodować jej zatrzymanie. Na przykład srebrne węgorze (*Anguilla anguilla* L.), zaprzestają przemieszczania się, gdy księżyc jest w pełni. Analogiczna sytuacja następuje na obszarach, gdzie pojawiło się sztuczne oświetlenie podwodne. Z kolei u ryb łososiowatych, sytuacja jest odwrotna. Blask księżyca czy sztuczne oświetlenie prowadzi do produkcji tyroksyny, która wywołuje pobudzenie tych ryb do migracji (NAVARA i NELSON 2007). Prócz migracji organizmów i zmian ich rozprzestrzenienia geograficznego należy liczyć się z konsekwencjami takich zmian. Pojawienie się nowych, zwabionych światłem gatunków wiąże się z pojawieniem się licznych drapieżników.

Zrozumienie wpływu światła o różnej długości fal na organizmy jest istotne dla wyeliminowania zagrożeń wynikających z ekspozycji na światło widzialne. W przeciwieństwie do wpływu światła na organizm ludzki, niewiele wiadomo na temat reakcji bezkręgowców na różne długości fal światła emitowanego przez diody LED. Dodatkowo można spodziewać się, że reakcja bezkręgowców nocnych i dziennych na różne długości fal światła może być różna, ze względu na różny skład długości fal światła o poranku, w południe i wieczorem (ROENNEBERG i GOSTER 1997). Dlatego podjęliśmy się zbadania oddziaływania światła o różnej długości fal i temperaturze barwy światła, pochodzącego z diod LED, na aktywność ruchową organizmów o różnych zdolnościach lokomotorycznych, uwzględniając również aktywność dobową: owady dnia pełnego i zmierzchu.

Przeprowadzone badania dotyczyły dwóch grup owadów (i) dnia pełnego: kowal bezskrzydły (*Pyrrhocoris apterus*), poskrzypka liliowa (*Lilioceris lili*), ogrodnica niszczylistka (*Phylloperthahorticola*), i (ii) zmierzchu: prosionek szorstki (*Porcelliospiniornis*), drewnojad (*Zophobas morio*) oraz dżdżownica kalifornijska (*Eisenia fetida*). Do doświadczenia użyto po ośmiu przedstawicieli każdego z badanych gatunków. Badane organizmy umieszczano w podłużnych, wąskich, aluminiowych pojemnikach przykrytych z góry szklaną płytką. Następnie poddano je działaniu światła pochodzącego z diod typu LED o 5 różnych długościach fal i o 2 różnych temperaturach barwy światła: niebieska 440-490 nm, zielona 490-560 nm, żółta 560-590 nm, pomarańczowa 590-630

nm, czerwona 630–780 nm oraz barwa biała ciepła 2800K, barwa biała chłodna 5000K. Badanie przeprowadzono także w ciemności: rejestracja obrazu w podczerwieni powyżej 780 nm oraz w świetle migającym: światło stroboskopowe. Organizmy naświetlane były jedną barwą światła przez 1 godz. Każdy pomiar dokonywany był w godzinach porannych (10:00–12:00), w całkowicie zaciemnionych pomieszczeniach o panującej wewnątrz temperaturze 25°C. W przypadku badania dżdżownic na dno pojemników wyłożono nawilżoną ligninę w celu zapewnienia odpowiedniej wilgotności. Wilgotność wewnątrz tak przygotowanych pojemników wynosiła ponad 85%. Z kolei dla zapewnienia odpowiednich warunków dla prosionka, drewno-

jada i poskrzypki do pojemników wstawiono pojemniki z wodą. Całe doświadczenie rejestrowane było przez kamerę Sony HDR-XR 200VE, a następnie analizowane przez obserwatora. Aktywność lokomotoryczną oceniano co 6 min przez 20 s, według 5-stopniowej skali, gdzie: 1, zwijają się w kłębek (dotyczy tylko dżdżownic); 2, mało aktywne [zmieniło się miejsce pobytu badanego osobnika w porównaniu do poprzedniej stop klatki, ale w okresie rejestracji (20 s) nie rusza się on]; 3, średnio aktywne (poruszają się po dnie pojemników w okresie rejestracji); 4, bardzo aktywne (wspinają się po ściankach pojemników); 5, wybitnie aktywne (próbują się wydostać).

WPLYW DŁUGOŚCI FALI I TEMPERATURY BARWY ŚWIATŁA NA BEZKRĘGOWCE

W wyniku przeprowadzonego badania stwierdzono wpływ zarówno długości fali światła, jak i temperatury barwy światła na aktywność ruchową badanych bezkręgowców. Ze względu na różny poziom wrodzonej aktywności lokomotorycznej badanych organizmów przeprowadzone badania miały charakter trójkierunkowy:

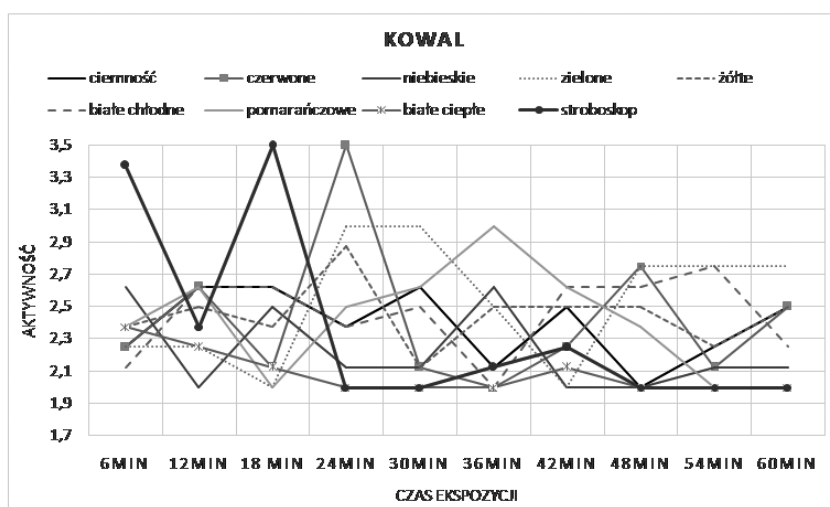
1. badano aktywność lokomotoryczną w obrębie gatunku; badanie podstawowe;
2. badano aktywność lokomotoryczną pomiędzy gatunkami; analiza porównawcza (owady dzienne i zmierzchu);
3. analiza międzygatunkowa reakcji na poszczególne długości fal światła; wpływ

światła o różnym spektrum na poszczególne gatunki bezkręgowców; badanie podstawowe.

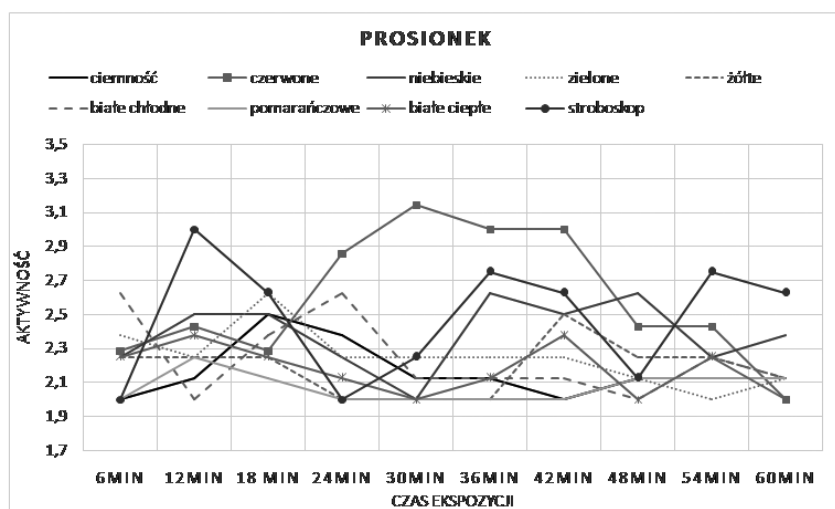
Pierwszym etapem doświadczenia było zbadanie wpływu światła pochodzącego z diod typu LED na zmiany aktywności ruchowej owadów dnia pełnego. Podczas doświadczenia zauważono wzmożoną aktywność ruchową kowala i ogrodnicy pod wpływem działania światła stroboskopowego. Kowale przez większość trwania eksperymentu poruszały się po ściankach pojemników i po szklanej przykrywie (Ryc. 1). Wzmożoną aktywność ruchową kowala, szczególnie widoczną między 12 a 24 min trwania doświadczenia,

zauważono także podczas ekspozycji na światło czerwone. Wyniki te nie pokryły się z wynikami otrzymanymi dla ogrodnicy i poskrzypki, u których nie zauważono reakcji na światło czerwone. W drugiej części doświadczenia wpływ na aktywność kowala miała także ekspozycja na światło zielone i pomarańczowe. Zauważono spadek aktywności kowala względem ciemności po ekspozycji na światło białe ciepłe i niebieskie (Ryc. 1).

Drugi etap doświadczenia polegał na ekspozycji owadów zmierzchu na te



Ryc. 1. Wpływ światła o różnej długości fal i różnej temperaturze barwowej na aktywność ruchową kowala bezskrzydłego.



Ryc. 2. Wpływ światła o różnej długości fal i różnej temperaturze barwowej na aktywność ruchową prosionka szorstkiego.

same długości fal światła. Przeprowadzona analiza wyników dla prosionka szorstkiego wykazała największy wpływ na aktywność ruchową pod wpływem działania światłem czerwonym. Najwyższą aktywność odnotowano między 18 a 42 min trwania doświadczenia. W tym czasie prosionki utrzymywały się w ciągłym ruchu po dnie pojemników (Ryc. 2).

wzmoczoną aktywność pod wpływem światła stroboskopowego i niebieskiego. Aktywność wzrosła także pod wpływem światła białego chłodnego, co nie było widoczne u pozostałych grup. Pozostałe długości fal światła nie wpłynęły znacząco na zmianę aktywności dżdżownic względem ciemności.

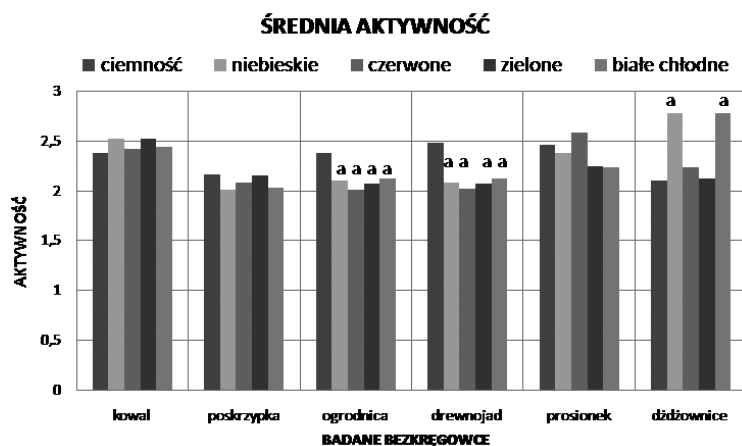
Wpływ na ruchliwość obu gatunków owadów zmierzchu zaobserwowano także podczas ekspozycji na stroboskop (Ryc. 2). Na niewielki wzrost aktywności miało także wpływ naświetlanie barwą niebieską. Prosionki pod wpływem tego światła wykazywały dużą ruchliwość po dnie pojemników, przy jednoczesnej próbie wydostania się z nich (Ryc. 2). Ekspozycja na pozostałe długości fal nie powodowała zmian aktywności w odniesieniu do ciemności (Ryc. 2).

Ostatnią badaną grupą były dżdżownice, u których zaobserwowano

ANALIZA MIĘDZYGATUNKOWA

Analizując otrzymane wyniki dla wszystkich badanych bezkręgowców stwierdzono, że najbardziej wrażliwe na różne długości fal światła są dżdżownice, co wynikało z najwyż-

szej średniej aktywności ruchowej. Różnice statystycznie istotne otrzymano po ekspozycji dżdżownic na światło niebieskie i białe chłodne. Bez względu na grupę zwierząt dnia pełnego czy zmierzchu, każdy gatunek reagował na światło indywidualnie. W odniesieniu do ciemności statystycznie istotnie zmniejszyła się aktywność drewnojada i ogrodnicy po ekspozycji na światło niebieskie, czerwone, zielone i białe chłodne ($p > 0,05$). Kowal i ogrodnica, pomimo przynależności do owadów dziennych, charakteryzowały się innymi aktywnościami. Na różne długości fali światła modele reakcji były różne. Światło niebieskie wzmogło aktywność ruchową u kowala, z kolei u poskrzypki i ogrodnicy światło to działało paraliżująco. Wśród bezkręgowców zmierzchu także nie był widoczny jednoznaczny model aktywności. W odniesieniu do ciemności świa-



Ryc. 3. Średnia aktywność ruchowa badanych bezkręgowców dla wybranych długości światła $p > 0,05$.

tło niebieskie istotnie zmniejszyło aktywność ruchową u drewnojada, natomiast u dżdżownic istotnie ją wzmacniało. Światło czerwone u drewnojada istotnie zmniejszyło aktywność ruchową, a u prosonka i dżdżownicy wzmo-

gło. U dżdżownic, zaobserwowano statystycznie istotnie wzrost aktywności ruchowej po ekspozycji na światło białe chłodne, czego nie zauważono u żadnego z badanych owadów (Ryc. 3).

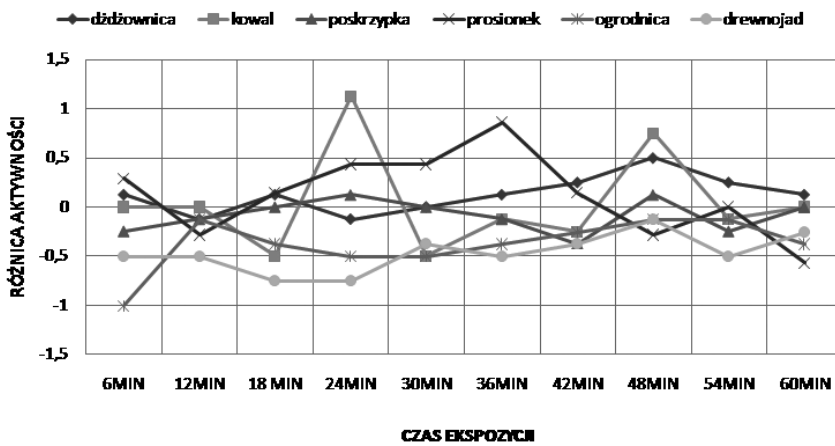
WPLYW ŚWIATŁA O WYBRANEJ DŁUGOŚCI NA BEZKRĘGOWCE

Kolejnym krokiem w analizie zmian aktywności ruchowej bezkręgowców pod wpływem światła było określenie, na które organizmy dana długość fali ma największy wpływ. Pierwszą barwą poddaną analizie była barwa czerwona, a punktem odniesienia

w tej analizie były doświadczenia przeprowadzone w ciemności. Stwierdzono największy wpływ tej długości fali na kowala bezskrzydłego. Pod wpływem światła czerwonego kowal wykazał dwa szczyty aktywności: pierwszy w 24 min trwania doświadczenia, a drugi w 48 min. Drugim gatunkiem, który wykazywał wzmożoną aktywność ruchową był prosonek. Wykres aktywności dla prosonka, w przeciwieństwie do wykresu aktywności kowala, nie charakteryzuje się szczególnymi zmianami amplitudy. Działanie światła czerwonego wpłynęło paraliżująco na ogrodnicę oraz drewnojada przez cały czas trwania eksperymentu. Najmniejszą wrażliwość na światło czerwone wykazywały dżdżownice (Ryc. 4).

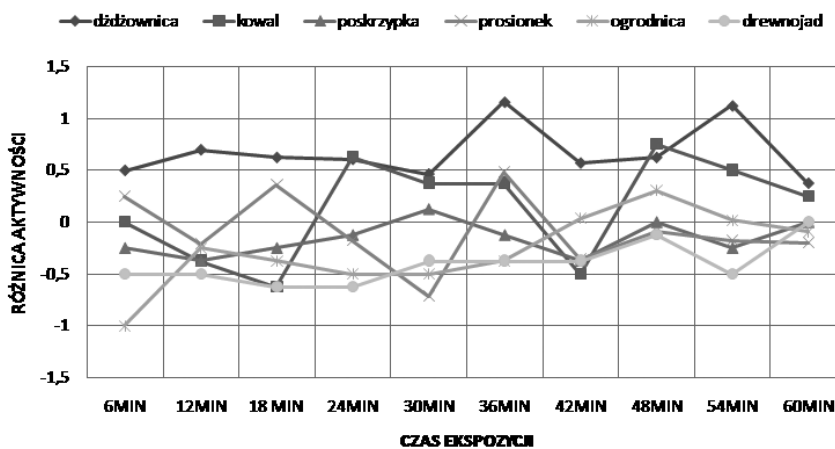
Zbadano także różnice aktywności ruchowej wywołanej działaniem światła niebieskiego względem ciemności. Analiza wyników wykazała wyraźny wzrost aktywności ruchowej pod wpływem fal krótkich dla dżdżownicy. Przez większość doświadczenia utrzymywała się ona na stałym poziomie. Statystycznie istotny wzrost aktywności zaobserwowano w 36 i 54 min ($p=0,02$; $p=0,01$). Zmniejszoną aktywność odnotowano dla drewnojada. Najmniejszą różnicę w aktywności ruchowej pomiędzy światłem niebieskim a ciemnością odnotowano dla poskrzypki. Wyniki analizy dla prosonka były najbardziej sta-

ŚWIATŁO CZERWONE WZGLĘDEM CIEMNOŚCI

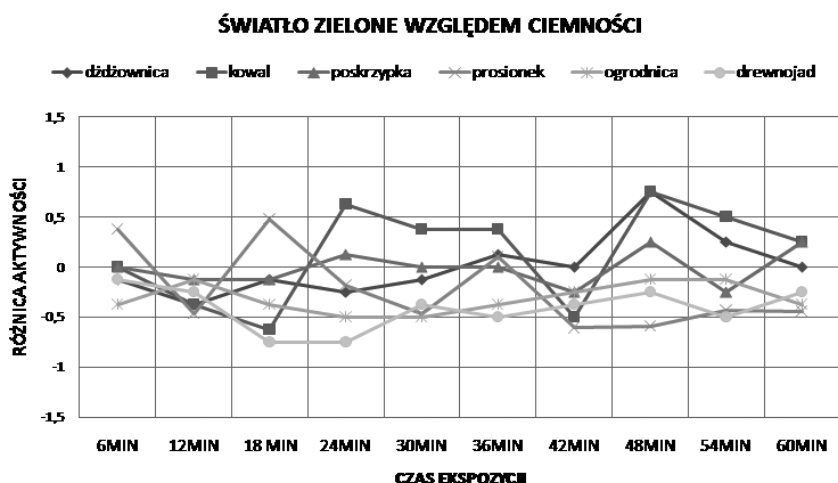


Ryc. 4. Wpływ światła czerwonego w odniesieniu do ciemności na aktywność ruchową badanych bezkręgowców.

ŚWIATŁO NIEBIESKIE WZGLĘDEM CIEMNOŚCI



Ryc. 5 Wpływ światła niebieskiego w odniesieniu do ciemności na aktywność ruchową badanych bezkręgowców.



Ryc. 6. Wpływ światła zielonego w odniesieniu do ciemności na aktywność ruchową badanych bezkręgowców.

bilne. Początkowo aktywność prosionka była wyższa w odniesieniu do ciemności, jednakże w miarę trwania doświadczenia ustabilizowała się na niskim poziomie (Ryc. 5).

pod wpływem działania światła zielonego, w odniesieniu do ciemności, wykazały drewnojady oraz ogrodnicza (Ryc. 6).

DYSKUSJA

Otoczający nas świat daje nam wiele sygnałów, za pomocą których możemy orientować się w przestrzeni. Jednym z takich sygnałów są różnice w długości fali światła emitowanego do otoczenia przez różne jego źródła. Ponieważ wrażliwość poszczególnych gatunków na różne długości fal jest różna, umożliwia im to prawidłowe funkcjonowanie w środowisku. W środowisku naturalnym światło emitowane przez obiekty naturalne takie jak słońce i księżyc charakteryzuje się stosunkowo wysoką zawartością fal o długości poniżej $<450\text{nm}$. Z kolei światło odbite od obiektów fizycznych w swoim spektrum posiada głównie fale o długości $>450\text{nm}$ (MENZEL 1979). Niestety, w dzisiejszych czasach za sprawą ciągle wzrastającej liczby źródeł sztucznego oświetlenia coraz częściej możemy spotkać się z zaburzeniami w prawidłowym funkcjonowaniu wielu organizmów. W naszych badaniach żadna z przeprowadzonych analiz nie wskazała modelu typowego dla zwierząt zmierzchu lub dnia pełnego. Reakcja na określoną długość światła zależy od badanego gatunku. Przeprowadzony eksperyment wykazał odmienny wpływ barwy światła i jego temperatury barwowej na aktywność ruchową bezkręgowców. Jest to zgodne z wynikami badań HORI i

współaut. (2014) na komarze i *Drosophila melanogaster* wskazującymi, że toksyczny wpływ światła widzialnego jest gatunkowo specyficzny.

Nasze eksperymenty wykazały wzmożoną aktywność ruchową u większości badanych bezkręgowców pod wpływem działania światła stroboskopowego. Doświadczenia przeprowadzone przez HIRASHIMA i ETO (1993) na karaczanie amerykańskim sugerują, że migające światło w ciągu 15 min może spowodować wzrost stężenia neuroamin: oktopaminy i tyraminy, w wyniku czego dochodzi do zwiększenia stresu odczuwanego przez owady. Wyniki takie mogą sugerować, że w rezultacie działania migającego światła doszło do wystąpienia reakcji stresowej, a badane owady szukały ucieczki bądź schronienia przed drażniącym je światłem (HORI i współaut. 2014). W naszych badaniach bezkręgowcem najbardziej wrażliwym na światło migające okazała się dżdżownica. Wykazaliśmy ponadto, że bezkręgowce zmierzchu: dżdżownica i prosionek, prezentują odmienne reakcje na poszczególne długości fal światła. Reakcje te mogą wynikać m.in. z różnego natężenia światła w ich naturalnym środowisku. Dowiedliśmy również, że dżdżownice i prosionek nie wzmagają aktywności w odpowiedzi na

Analizując różnice w aktywności ruchowej otrzymanych dla światła zielonego względem ciemności stwierdzono wzmożoną aktywność kowala. Pod wpływem światła zielonego przez większość czasu doświadczenia był on bardziej ruchliwy; aktywność była wyższa w odniesieniu do ciemności (Ryc. 6). Przeciwnie wyniki otrzymano dla prosionka, który w pierwszych minutach doświadczenia wykazywał aktywność ruchową

ekspozycję na światło żółte. Powodem tego może być odbieranie tej długości fali przez bezkręgowce jako światła dziennego, czyli czasu ich spoczynku. Nasze badania mają wartości nie tylko poznawcze, ale i aplikacyjne. SHIMODA i HONDA (2013) w swojej pracy przedstawiają związek pomiędzy aktywnością ciem w nocy a barwą żółtą. Ćmy z gatunku *Eudocima tyrannus* często niszczą hodowle chryzantem i orchidei. Chcąc uniknąć szkód spowodowanych ich działaniem, szklarnie zaczęto oświetlać światłem o barwie żółtej, co kontroluje aktywność nocnej ćmy i zmniejsza uszkodzenia kwiatów.

Wrażliwość na barwę żółtą wykazują także niektóre gatunki mszyc. Udowodniono, że sztuczne światło o długości fali ok. 590 nm przyczynia się do zwiększenia przeżywalności i wzrostu liczebności tych owadów. Tak więc, stosowanie światła o barwie żółtej wokół plantacji, na których żerują mszyce, mogłoby się przyczynić do zwiększenia strat. Owady te potrafią także, np. w zależności od pory roku, reagować na światło o barwie zielonej, niebieskiej i ultrafioletowej; światło zielone jest bodźcem stymulującym aktywność, a światło niebieskie i UV odstrasza te owady. Migracje wiosenne mszyc zbożowych

pokazały, że owady te chętniej atakują odmiany zboża o liściach zielono-żółtych niż odmiany o liściach niebiesko-zielonych. Z kolei obserwacje jesiennych migracji mszyc wykazały u nich wrażliwość na światło o barwie czerwonej, która jest dla nich sygnałem ostrzegawczym (SEMPRUCH 2012). W wyniku naszych badań stwierdzono u niektórych gatunków (drewnojad, ogrodnica) zmniejszoną aktywność ruchową w wyniku działania światła czerwonego. Tłumienie aktywności pod wpływem długotrwałego działania światła czerwonego zauważył także SPOELSTRA i współaut. (2015), którzy poddali działaniu światła czerwonego myszy leśne. Wykazali także, że na znaczące zmniejszenie aktywności względem ciemności i światła czerwonego ma działanie światła białego oraz zielonego. Autorzy sugerowali, że być może jest to spowodowane nie tyle wpływem światła, co faktem, że oczy myszy są mniej wrażliwe na światło o długich falach. Z kolei wyniki otrzymane w tym samym doświadczeniu uzyskane dla nietoperzy pokazały, że światło o barwie zielonej znacząco pobudza ich aktywność. W przeprowadzonych przez nas badaniach także uzyskaliśmy różne reakcje bezkręgowców na światło zielone.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonego badań można wnioskować, że oświetlenie LED o określonej barwie, może znacząco wpływać na funkcjonowanie organizmów bezkręgowych. Nie tylko długość fali światła, ale także temperatura barwy światła decyduje o aktywności ruchowej badanych bezkręgowców. Światło stroboskopowe zwiększa ich aktywność ruchową. Światło o skrajnych długościach fal: czerwone i niebieskie, może zarówno pobudzać, jak i hamować aktyw-

ność ruchową bezkręgowców. Barwy o pośrednich długościach fal nie mają istotnego wpływu na większość bezkręgowców; nie jest to jednak regułą. Na tej podstawie nie można wskazać dominującego wpływu jednej długości fal światła na aktywność bezkręgowców. Dotyczy to zarówno bezkręgowców dnia pełnego, jak i bezkręgowców zmierzchu. Każda z badanych grup reagowała najintensywniej na inną długość fal światła.

LITERATURA

- ASHFAQ M., KHAN R. A., KHAN M. A., RASHEED F., HAFEEZ S. H., 2005. *Insect orientation to various color lights in the agricultural biomes of Faisalabad*. Pakistan Entomol. 27, 49-52.
- DANIELSON S. H. J., 1976. *Adaptations of Terrestrial Isopods to Varying Wavelengths of Light*. Praca magisterska. Drake University.
- HIRASHIMA A., ETO M., 1993. *Effect of stress on levels of octopamine, dopamine and serotonin in the American cockroach (Periplaneta americana L.)*. Comp. Biochem. Physiol. Part C, Comp. Pharmacol. 105, 279-284.
- HO M., MAWJI N., MENG S. W., NG D. T., SMYRNIS N. E., 2013. *The effect of exposure to varying light wavelengths during development on locomotor speed of adult Drosophila melanogaster*. The Expedition 3, <http://ojs.library.ubc.ca/index.php/expedition/article/view/184810/184489>.
- HORI M., SHBUYA K., SATO M., SAITO Y., 2014. *Lethal effects of short-wavelength visible light on insects*. Sci. Rep. 4, doi:10.1038/srep07383.
- LORNE J. K., SALMON M., 2007. *Effects of exposure to artificial lighting on orientation of hatchling sea turtles on the beach and in the ocean*. Endang. Spec. Res. 3, 23-30.

- MACGREGOR C. J., POCOCK M. J., FOX R., EVANS D. D., 2015. *Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: a review*. Ecol. Entomol. 40, 187–198.
- MENZEL R., 1979. *Spectral sensitivity and color vision in invertebrates*. [W:] *Handbook of Sensory Physiology Vol 7/6/ 6A. Comparative Physiology and Evolution of Vision in Invertebrates*. AUTRUM H. (red.). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, 503–580.
- MOORE M. V., PIERCE S. M., WALSH H. M., KVALVIK S. K., LIM J. D., 2000. *Urban light pollution alters the diel vertical migration of Daphnia*. Verhandlungen des Internationalen Vercin Limnologie 27, 1–4.
- NAVARA K. J., NELSON R. J., 2007. *The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences*. J. Pineal Res. 43, 215–224.
- PERRY G., BUCHANAN B. W., FISHER R. N., SALMON M., WISE S. E., 2008. *Effects of artificial night lighting on amphibians and reptiles in urban environments*. [W:] *Urban Herpetology. Society for the Study of Amphibians and Reptiles*. MITCHEL J. C., JUNG BROWN R. E., BARTHOLOMEW B. (red.). UT. Herpetological Conservation, Salt Lake City, 239–256.
- ROENNEBERG T., GOSTER R. G., 1997. *Twilight times: light and the circadian system*. Photochem. Photobiol. 66, 549–561.
- RYDELL J., 1992. *Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden*. Funct. Ecol. 6, 744–750.
- SEMPRUCH C., 2012. *Interakcje między mszycami a roślinami we wstępnych etapach wyboru żywiciela*. Kosmos 61, 573–586.
- SHIMODA M., HONDA K., 2013. *Insect reactions to light and its applications to pest management*. Appl. Entomol. Zool. 48, 413–421.
- SPOELSTRA K., VAN GRUNSVEN R. H. A., DONNERS M., GIENAPP P., HUIGENS M. E., SLATERUS R., BERENDSE F., VISSER M. E., VEENEDAAL E., 2015. *Experimental illumination of natural habitat - an experimental set-up to assess the direct and indirect ecological consequences of artificial light of different spectral composition*. Philosoph. Transact. Royal Soc. B, Biol. Sci. 370, doi: 10.1098/rstb.2014.0129.
- WANG S., ZHANG F., GUO X., 2013. *Light intensity and wavelength influence development, reproduction and locomotor activity in the predatory flower bug Oriussauteri (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae)*. BioControl 58, 667–674.
- VAN LANGEVELDE F., ETTEMA J. A., DONNERS M., WALLIS DE VRIES M. F., GROENENDJIK D., 2011. *Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths*. Biol. Conserv. 144, 2274–2281.

SONIA MARCINKOWSKA, EUGENIA TĘGOWSKA

Zakład Toksykologii Zwierząt

Wydział Biologii i Ochrony Środowiska

Uniwersytet Mikołaja Kopernika

Lwowska 1, 87-10 Toruń

ODDZIAŁYWANIE ŚWIATŁA O RÓŻNYM SPEKTRUM NA BEZKRĘGOWCE ZMIERZCHU I PEŁNEGO DNIA

Streszczenie

Nie tylko intensywność nasłonecznienia i temperatura, ale również długość fali i temperatura barwy światła ma wpływ na różne funkcje organizmu. Poznano już wpływ światła o różnym spektrum na życie roślin i człowieka, jednak mało jest informacji na ten temat dotyczących bezkręgowców. Nie wiemy, czy tak jak w przypadku ssaków, źródła światła typu LED wpływają na poprawne funkcjonowanie organizmu, czy wpływają na aktywność ruchową bądź nie zaburzają cyklu okołodobowego.

Celem eksperymentów było zbadanie oddziaływania światła o różnej długości fal pochodzącego z diod LED na aktywność ruchową bezkręgowców dnia pełnego i zmierzchu.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono wpływ zarówno długości fali światła, jak i temperatury barwowej światła na aktywność ruchową badanych bezkręgowców. Wykazano, że nie ma jednolitego schematu wpływu danego oświetlenia na bezkręgowce o różnych preferencjach świetlnych. Na podstawie przeprowadzonego doświadczenia można wnioskować, że zmiana oświetlenia na LED o określonej barwie, w środowisku człowieka, może znacząco wpływać na funkcjonowanie organizmów bezkręgowych.

SONIA MARCINKOWSKA, EUGENIA TĘGOWSKA

Department of Animal Toxicology

Faculty of Biology and Environmental Protection

Nicolaus Copernicus University in Toruń

Lwowska 1, 87-10 Toruń

THE EFFECT OF LIGHT OF DIFFERENT SPECTRA ON INVERTEBRATES ACTIVE AT DUSK AND IN BROAD DAYLIGHT

Summary

Not only sunlight intensity and temperature, but also the light wavelength and colour temperature affect various body functions. The importance of the spectrum of light in the life of plants and humans has already been demonstrated. However, similar information on the effect of the light spectra on invertebrates is scarce. We do not know, whether, similarly to mammals, LEDs affect their correct body functions, influence their motor activity or disturb their circadian rhythm.

The aim of the study was to verify the effect of the LED light of various wavelengths on motor activity of invertebrates having different preferences for the light intensity in their natural environment. The obtained results show that the light wavelength and colour temperature influence the motor activity of the studied insects. It was demonstrated that a scheme in which a given light affects insects of different light preferences is not uniform. On the basis of the conducted study it can be concluded that a change in exposure to LED light of specified colour in the human environment may significantly affect functioning of invertebrates.