1. Mateusz MIKOŁAJCZYK [1], 2. Anita MIKOŁAJCZYK [2]

(1) Warszawski Uniwersytet Medyczny (2) Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
ORCID: 2. 0000-0002-5601-6648

doi:10.15199/48.2021.09.04

Wpływ różnych strumieni świetlnych pochodzących z lamp halogenowych i ledowych na intensywność fotosyntezy w obecności kwasu askorbinowego

Streszczenie. *Celem pracy było zbadanie wpływu światła dziennego i różnych strumieni świetlnych pochodzących ze światła halogenowego i ledowego na intensywność fotosyntezy moczarki kanadyjskiej w obecności kwasu askorbinowego. W badaniach użyto kwas askorbinowy w ilości 50 mg/l wody oraz zastosowano doświetlanie światłem halogenowym o strumieniu świetlnym wynoszącym 405 lm i 1320 lm oraz światłem ledowym o strumieniu świetlnym wynoszącym 470 lm i 1521 lm. Zaobserwowano wzrost intensywności fotosyntezy przy wyższym strumieniu świetlnym w porównaniu do intensywności fotosyntezy pod wpływem niższego strumienia świetlnego każdego z poszczególnych wybranych sztucznych źródeł światła zarówno w próbach z dodatkiem, jak i bez kwasu askorbinowego. Obecność kwasu askorbinowego w ilości 50 mg/l wody powodowała gwałtowny i silny spadek intensywności fotosyntezy moczarki kanadyjskiej, zarówno z zastosowaniem doświetlania z użyciem światła halogenowego jak i ledowego.*

Abstract. *The aim of the study was to investigate the effect of daylight and various luminous fluxes from halogen and LED light on the intensity of Elodea canadensis photosynthesis in the presence of ascorbic acid. In the research, ascorbic acid was used in the amount of 50 mg / l of water and illumination with halogen light with a luminous flux of 405 lm and 1320 lm and LED light with a luminous flux of 470 lm and 1521 lm were used. An increase in the intensity of photosynthesis was observed with a higher luminous flux compared to the intensity of photosynthesis under the influence of a lower luminous flux of each of the individual selected artificial light sources, both in the tests with and without the addition of ascorbic acid. The presence of ascorbic acid in the amount of 50 mg / l of water caused a rapid and strong decrease in the intensity of photosynthesis in Elodeacanadensis, both with the use of halogen and LED lighting. (**The influence of different luminous fluxes from halogen and LED lamps on the intensity of photosynthesis in the presence of ascorbic acid)***

Słowa kluczowe: źródło światła, lampa LED, lampa halogenowa, fotosynteza
Keywords: luminous flux, LED lamp, halogen lamp, photosynthesis

Wstęp

W środowisku życia ludzi, zwierząt i roślin od zawsze występuje promieniowanie elektromagnetyczne pochodzące ze źródeł naturalnych. Wytwarzanie sztucznych źródeł pola elektromagnetycznego rozpoczęło się wiele lat temu i rozwija się nieustannie wraz z postępem cywilizacyjnym. Promieniowaniem elektromagnetycznym nazywamy emisję zaburzenia energetycznego wywołanego przepływem prądu elektrycznego lub zmianą ładunków w źródle. Zaburzenie to związane z wzajemną indukcją składowej elektrycznej i magnetycznej fali polega na fakcie, że zmieniające się pole elektryczne wytwarza z określoną częstotliwością zmieniające się pole magnetyczne, a z kolei zmieniające się pole magnetyczne wytwarza z tą samą częstotliwością zmienne pole elektryczne. Źródłem promieniowania jest każde urządzenie (każda instalacja), w którym następuje przepływ prądu np. sieci energetyczne w tym linie wysokiego napięcia, stacje radiowe i telewizyjne, stacje bazowe i telefony telefonii komórkowej, urządzenia elektryczne gospodarstwa domowego, wiele urządzeń stosowanych podczas zabiegów medycznych, jak również lasery, lampy halogenowe czy obecnie lampy LED, będące źródłem światła opartym na diodach elektroluminescencyjnych. Wraz z rozwojem urządzeń emitujących promieniowanie elektromagnetyczne pojawiły się obawy związane z bezpieczeństwem ich stosowania. Istotnym jest, aby standardy bezpieczeństwa w zakresie pola elektromagnetycznego były racjonalne. Należy unikać nadmiernie przesadnych marginesów bezpieczeństwa, które mogłyby zagrozić skuteczności rozwiązań technologicznych przynoszących korzyść ludzkości. Jednocześnie nie można dopuszczać do przekraczania wartości granicznych odnoszących się do ekspozycji na pole elektromagnetyczne, które nie są uważane za bezpieczne. Wraz z postępem rozwoju urządzeń generujących pole elektromagnetyczne istnieje potrzeba badań nad biologicznymi skutkami oddziaływania tych pól. Skutkiem biologicznym mogą być jakiekolwiek zmiany (w tym strukturalne, metaboliczne, fizjologiczne, czy morfologiczne), które stwierdza się na poziomie cząsteczki biologicznej, struktury wewnątrzkomórkowej lub całego żywego organizmu w wyniku ekspozycji na dany czynnik. Stąd intersującym zagadnieniem wydaje się zbadanie równoczesnego odziaływania na komórki nowoczesnych źródeł światła (wytwarzających pola elektryczne i magnetyczne) w obecności kwasu askorbinowego.

Kwas askorbinowy ma wielorakie zastosowanie, począwszy od wielu gałęzi przemysłu, skończywszy na szeroko pojętej medycynie. Znajdując zastosowanie w hodowlach akwarystycznych wykorzystywany jest w ochronie zdrowia ryb, służąc np. do leczenia ran [1,2]. W hodowlach akwarystycznych wykorzystywane są również różnorodne źródła światła oddziaływujące na rośliny akwariowe. Światło jest rodzajem energii elektromagnetycznej wykorzystywanej w fotosyntezie roślin. Fotosynteza jest podstawowym procesem biologicznym warunkującym istnienie większości organizmów żywych na Ziemi. Choć światło jest podstawowym czynnikiem niezbędnym do fotosyntezy to aktywność fotosyntetyczna roślin zależna jest też od innych czynników środowiskowych takich jak dwutlenek węgla, temperatura czy woda. Istotą procesu fotosyntezy jest przekształcanie energii promieniowania świetlnego w energię chemiczną związków organicznych. Rozwój technologii doświetlania roślin i oszczędności energii powoduje, że na rynku pojawiają się nowe rozwiązania dotyczące możliwości dostarczania roślinom światła [3-5]. Odpowiednia jakość urządzeń wprowadzanych do obrotu oraz ich bezpieczeństwo zależne od warunków ich zastosowania warunkuje prawidłowy rozwój ekosytemu, w tym ekosystemu ryb akwariowych.

Miarą całkowitej mocy światła emitowanego z danego źródła światła, mogącego wywołać określone wrażenie wzrokowe jest strumień świetlny, którego jednostką jest lumen (lm). Wskazywanym w literaturze [6] modelem doświadczalnym do badań wpływu światła na fotosyntezę jest moczarka kanadyjska (*Elodea canadensis Michx.*).

Moczarka kanadyjska jest wodną rośliną, pochodzącą z Ameryki Północnej, która rozprzestrzeniła się w europejskich wodach w połowie XIX wieku [7]. Oprócz zastosowania w doświadczeniach, jest ona wykorzystywana w akwarystyce. W hodowlach akwarystycznych wykorzystywany jest również kwas askorbinowy, który wpływa na stan zdrowia ryb [1,2] i może potencjalnie oddziaływać na rośliny akwariowe, w tym na moczarkę kanadyjską. Celem pracy było zbadanie wpływu różnych strumieni świetlnych pochodzących ze światła halogenowego i ledowego na intensywność fotosyntezy moczarki kanadyjskiej w obecności kwasu askorbinowego zastosowanego w dawce wykorzystywanej m.in. do leczenia ryb. Zasadne było potwierdzenie hipotezy, że wraz ze wzrostem wielkości strumienia świetlnego uzyskanym poprzez doświetlanie moczarki kanadyjskiej wybranymi źródłami światła sztucznego, wzrasta intensywność fotosyntezy. Uzyskane wyniki mogą być przydatne do dalszych badań nad zastosowaniem elektrycznych urządzeń świetlnych w ichtiologii i akwakulturze oraz mogą stanowić impuls do poszerzenia zainteresowań badawczych związanych z ekspozycją na pola elektromagnetyczne.

Materiały i metody

Badania zostały przeprowadzone w pomieszczeniu, w którym przed i podczas eksperymentu monitorowano temperaturę, wilgotność i ciśnienie powietrza. Pomiarów powyższych parametrów dokonano za pomocą analogowego urządzenia o nazwie Barometr Termometr Higrometr B06XL-W3 firmy Koch. pH wody użytej w doświadczeniu zarówno przed dodaniem kwasu askorbinowego, jak i po jego dodaniu mierzone było przy użyciu zestawu pH TEST kwasowości wody firmy JBL GmbH&CoKG Neuhofen/Pfalz Germany w sposób zgodny z zaleceniami instrukcji producenta. Materiał roślinny stanowiło 50 gałązek moczarki kanadyjskiej (*Elodea canadensis Michx.*) zakupionej u producenta roślin akwariowych Plantis z Łodzi. Dobrano rośliny o podobnej długości i ulistnieniu, tak aby wyniki prób były porównywalne. W każdym z dziesięciu wariantów doświadczenia użyto 5 gałązek moczarki kanadyjskiej (n=5). Kontrolę doświadczenia stanowiły próby oświetlane światłem dziennym bez i z dodatkiem kwasu askorbinowego oraz próby bez dodatku kwasu askorbinowego oświetlane wybranymi strumieniami świetlnymi. W doświadczeniu użyto wodę o stałej temperaturze, cylindry o pojemności 1000 ml oraz wybrane źródła światła (z gwintem E27), których podstawowe parametry zostały zestawione w tabeli nr 1. Źródło światła umieszczano nad taflą wody w cylindrze w odległości 20 cm do tafli. Cylinder z wodą wystawiono na działanie światła dziennego przez 3 minuty, następnie zanurzono w nim gałązkę moczarki kanadyjskiej i po upływie 3 minut liczono wydzielające się pęcherzyki gazu (tlenu) w czasie kolejnych 2 minut. Następnie w ten sam sposób postępowano używając wymienionych w tabeli nr 1 źródeł światła, które umieszczano w oprawach oświetleniowych podłączonych do instalacji elektrycznej. Tą samą procedurę wykonywano w wodzie z dodatkiem 50 mg/l kwasu askorbinowego (kwas L-askorbinowy, pure, firmy KFD Sp. z o. o., Warszawa, Polska), który odważano za pomocą wagi Ultra 2.0 firmy Soehnle Leifheit AG, Nassau, Nadrenia, Niemcy. Zastosowana dawka kwasu askorbinowego w doświadczeniu (50 mg/l wody) jest wykorzystywana m.in. przez hodowców ryb do ochrony zdrowia ryb (na przykład leczenia ran i skaleczeń ryb) [1,2].

W naczyniach panowała stała temperatura wody wynosząca 22℃. Woda bez dodatku kwasu askorbinowego charakteryzowała się odczynem pH równym 7,6. Po dodaniu kwasu askorbinowego w ilości 50 mg/l wody, jej wskaźnik pH spadł do 7,2. Temperatura powietrza w pomieszczeniu przed i w trakcie trwania doświadczenia wynosiła 22,5℃, wilgotność 72%, natomiast ciśnienie wahało się w granicach 1009 – 1010 hPa.

Tabela 1. Podstawowe parametry źródeł światła sztucznego zastosowanego podczas doświadczenia

Źródła światła sztucznego	Parametry			
	producent	strumień świetlny [lm]	moc [W]	skuteczność świetlna [lm/W]
lampy halogenowe	Neolux	405	30	13,5
		1320	77	17,1
lampy ledowe	Osram	470	5,5	85,5
		1521	13	117

Po zakończeniu doświadczenia wyniki opracowano statystycznie. Średnią liczbę wydzielających się pęcherzyków gazu z uwzględnieniem odchylenia standardowego (SD) obliczono z 5 powtórzeń zarówno dla światła dziennego jak i dla kombinacji światła dziennego z wybranymi rodzajami źródeł światła zawartymi w tabeli 1 w obecności i przy braku kwasu askorbinowego. Rozkłady danych w grupach zbadano za pomocą testu Shapiro-Wilk'a. Porównania pomiędzy grupami analizowano przy użyciu testu Anova i testu Tukey'a. Różnice przy $p<0,05$ uznano za statystycznie istotne. Obliczenia powyższe wykonano za pomocą programu Statistica (wersja 13.1) (StatSoft, Poland) oraz programu Microsoft Office Excel.

Wyniki

W świetle dziennym zarówno bez dodatku jak i po dodaniu kwasu askorbinowego nie zaobserwowano wydzielających się pęcherzyków gazu. Natomiast zastosowanie dodatkowego źródła światła zarówno w postaci światła halogenowego, jak i ledowego spowodowało istotny statystycznie ($p<0,05$) wzrost liczby wydzielanych pęcherzyków gazu zarówno w próbach bez dodatku kwasu askorbinowego, jak i w próbach z kwasem askorbinowym. Zastosowanie silniejszego strumienia świetlnego zarówno w przypadku źródła światła halogenowego (1320 lm), jak i ledowego (1521 lm) powodowało istotny statystycznie ($p<0,001$) wzrost liczby wydzielanych pęcherzyków gazu zarówno w próbach bez dodatku kwasu askorbinowego, jak i w próbach z kwasem askorbinowym w porównaniu do mniejszego strumienia światła halogenowego (405 lm) i ledowego (470 lm) (tab. 2 i 3).

Zestawione w tabeli 4 zależności istotne statystycznie ($p<0,001$) ukazują, że podczas zastosowania kombinacji światła dziennego ze strumieniem świetlnym wynoszącym 405 lm żarówki halogenowej nastąpił ponad 11-krotny spadek liczby pęcherzyków gazu w próbach z kwasem askorbinowym w porównaniu z próbami bez obecności kwasu askorbinowego. Jeszcze większy, bo aż ponad 24-krotny spadek liczby pęcherzyków gazu w próbach z kwasem askorbinowym w porównaniu z próbami bez obecności kwasu askorbinowego odnotowano gdy zastosowano kombinację światła dziennego ze strumieniem świetlnym wynoszącym 470 lm lampy ledowej. Prawie 11-krotny spadek liczby wydzielanych pęcherzyków gazu w wodzie z kwasem askorbinowym w porównaniu z kontrolą zaobserwowano przy użyciu żarówki halogenowej o strumieniu świetlnym wynoszącym 1320 lm. Również istotny statystycznie ($p<0,001$) ponad 9-krotny spadek liczby wydzielanych pęcherzyków gazu w wodzie z kwasem askorbinowym w porównaniu z kontrolą został odnotowany podczas zastosowania kombinacji światła dziennego i lampy ledowej o strumieniu świetlnym wynoszącym 1521 lm (tabela 4).

Tabela 2. Zależność liczby pęcherzyków wydzielonego gazu od zastosowanego wybranego źródła światła sztucznego i światła dziennego w próbach bez dodatku kwasu askorbinowego (kontrolę stanowiły próby oświetlane światłem dziennym (n=5))

Źródło światła	Średnia liczba pęcherzyków ±SD	Poziom istotności p
dzienne	0,00±0,00	p<0,001
dzienne i halogenowe 405 lm	46,60±2,07	
dzienne i halogenowe 1320 lm	169,40±12,66	
dzienne	0,00±0,00	p<0,001
dzienne i ledowe 470 lm	43,80±2,17	
dzienne i ledowe 1521 lm	153,20±11,80	

Tabela 3. Zależność liczby pęcherzyków wydzielonego gazu od zastosowanego wybranego źródła światła sztucznego i światła dziennego w próbach z dodatkiem kwasu askorbinowego (kontrolę stanowiły próby poddane działaniu kwasu askorbinowego, oświetlane światłem dziennym (n=5))

Źródło światła	Średnia liczba pęcherzyków ±SD	Poziom istotności p
dzienne	0,00±0,00	p<0,004
dzienne i halogenowe 405 lm	4,20±1,64	
dzienne	0,00±0,00	p<0,001
dzienne i halogenowe 1320 lm	15,80±2,17	
dzienne i halogenowe 405 lm	4,20±1,64	p<0,001
dzienne i halogenowe 1320 lm	15,80±2,17	
dzienne	0,00±0,00	p<0,004
dzienne i ledowe 470 lm	1,80±0,84	
dzienne	0,00±0,00	p<0,001
dzienne i ledowe 1521 lm	16,60±2,07	
dzienne i ledowe 470 lm	1,80±0,84	p<0,001
dzienne i ledowe 1521 lm	16,60±2,07	

abela 4. Wpływ wielkości strumienia świetlnego i kwasu askorbinowego na liczbę pęcherzyków wydzielonego gazu podczas zastosowania kombinacji światła dziennego ze sztucznym światłem halogenowym i ledowym (próby kontrolne bez dodatku kwasu askorbinowego – „K", próby z kwasem askorbinowym – „AA")

Kategoria	Źródło światła	Strumień świetlny [lm]	Liczba pęcherzyków±SD	**Poziom istotności p**
K (n=5)	dzienne i halogenowe	405	46,60±2,07	p<0,001
AA (n=5)	dzienne i halogenowe	405	4,20±1,64	
K (n=5)	dzienne i halogenowe	1320	169,40±12,66	p<0,001
AA (n=5)	dzienne i halogenowe	1320	15,80±2,17	
K (n=5)	dzienne i ledowe	470	43,80±2,17	p<0,001
AA (n=5)	dzienne i ledowe	470	1,80±0,84	
K (n=5)	dzienne i ledowe	1521	153,20±11,80	p<0,001
AA (n=5)	dzienne i ledowe	1521	16,60±2,07	

Dyskusja

Brak widocznych pęcherzyków gazu w próbach poddanych działaniu światła dziennego miał związek z bardzo pochmurną pogodą w dniu przeprowadzanego eksperymentu i nie oznacza, że rośliny w tym czasie nie przeprowadzały procesu fotosyntezy. Zgodnie z postawioną hipotezą doświetlanie moczarki kanadyjskiej światłem halogenowym jak i ledowym spowodowało wzrost intensywność fotosyntezy. Zależność istotną statystycznie (p<0,001) pomiędzy wzrostem strumienia świetlnego a wzrostem intensywności fotosyntezy zaobserwowano w przypadku zwiększenia strumienia światła halogenowego (z 405 lm na 1320 lm), jak i ledowego (z 470 lm na 1521 lm) zarówno w próbach w obecności, jak i przy braku kwasu askorbinowego (tab. 2 i 3). Dodatek kwasu askorbinowego w ilości 50 mg/l wody spowodował istotny statystycznie (p<0,001) spadek wytwarzania pęcherzyków gazu świadczących o intensywności fotosyntezy, zarówno z zastosowaniem doświetlania z użyciem światła halogenowego jak i ledowego (tab. 4). Zaskakujący i trudny do wytłumaczenia jest aż ponad 24-krotny spadek liczby pęcherzyków gazu w próbach z kwasem askorbinowym w przypadku zastosowania strumienia 470 lm lampy ledowej (tab. 4). W rozważaniach należy zwrócić uwagę na istnienie potrzeby dopasowania zakresu spektralnego emitowanego światła LED do konkretnego gatunku roślin [8]. Na intensywność fotosyntezy wpływają oprócz natężenia światła inne czynniki, takie jak np. charakterystyka widmowa światła skorelowana z widmem czynnościowym fotosyntezy. Jest to szczególnie istotne gdy coraz szersze zastosowanie w praktycznych rozwiązaniach oświetleniowych znajdują źródła światła LED [9].

Z jednej strony badania [4] wskazują, ze lampy LED mogą naśladować naturalne światło, aby zapewnić wzrost i rozwój fotosyntezy organizmów i tym samym zapewnić produkcję roślinną przy obniżonym zużyciu energii. Z drugiej strony wyniki ostatnich badań [10,11] wyraźnie pokazują, że nowoczesne oświetlenie elektryczne, w tym lampy LED, stanowią poważne zagrożenie dla zdrowia. W głównej mierze przyczyn tego stanu upatruje się w powstawaniu przejściowego napięcia o wysokiej częstotliwości [12]. Ekspozycja na pola elektromagnetyczne może zaburzać równowagę jonową, zwiększać stężenie wolnych rodników i powodować stres oksydacyjny w komórce roślinnej i zwierzęcej [13,14], a nawet prowadzić do zmian w poziomach markerów antyoksydacyjnych we krwi człowieka [11]. Pole elektromagnetyczne, a szczególnie przejściowe napięcie o wysokiej częstotliwości, wpływają na procesy metaboliczne i wywierają różne biologiczne skutki na komórki poprzez szereg mechanizmów [10,11,15-17].

Nowoczesne zamienniki klasycznych żarówek w tym źródła LED i halogenowe emitują pole elektromagnetyczne o różnych częstotliwościach, stąd przy eksploatacji nowo wyprodukowanych urządzeń oświetleniowych, zalecanym środkiem ochrony przed promieniowaniem elektromagnetycznym jest instalowanie ich w odpowiedniej

odległości od stanowisk pracy [18]. Dodatkowo zaobserwowano możliwości zapobiegania potencjalnym niekorzystnym skutkom ekspozycji na pola elektromagnetyczne poprzez stosowanie melatoniny [19-21], kwasów tłuszczowych omega [22], kwasu foliowego [23], witaminy E [24,25] oraz kwasu askorbinowego [26-28]. Oprócz korzystnego działania przeciwutleniającego wydaje się, że zastosowanie kwasu askorbinowego może mieć związek z uzupełnieniem jego niedoborów, ponieważ zaobserwowano, że pod wpływem pola elektrycznego następuje degradacja kwasu askorbinowego w roślinach [29].

W komórkach roślinnych kwas askorbinowy występuje w chloroplastach, mitochondriach, wakuoli i cytozolu i pełni ważną rolę regulacyjną w różnicowaniu, wzroście i metabolizmie fotosyntetyzujących komórek. Rola kwasu askorbinowego w procesie fotosyntezy jest znacząca zarówno w warunkach normalnych, jak i stresowych. Pełni on funkcję w regulacji transportu elektronów w warunkach stresowych [30]. Kwas askorbinowy chroni aparat fotosyntetyczny przed uszkodzeniami i fotoinhibicją (zjawiskiem hamowania fotosyntezy przy dużych natężeniach światła) [31]. Dodatek kwasu askorbinowego spowodował spadek pH wody z 7,6 do 7,2 oraz doprowadził do bardzo silnego, istotnie statystycznego spadku wytwarzania pęcherzyków gazu, świadczącego o intensywności zachodzącej fotosyntezy z użyciem światła halogenowego jak i ledowego (tab. 4). Nie można wykluczyć, że spadek intensywności fotosyntezy pod wpływem kwasu askorbinowego ma związek z działaniem ochronnym aparatu fotosyntetycznego przed uszkodzeniami, jednak szczegółowy mechanizm zaobserwowanego procesu nie jest dokładnie poznany. Zgodnie z posiadaną wiedzą literaturową nie odnaleziono danych opisujących przebieg i czas utrzymywania się hamującego działania kwasu askorbinowego na intensywność fotosyntezy moczarki kanadyjskiej. Wymaga to dalszych badań.

Mając na uwadze obecny trend związany z lękiem przed negatywnym oddziaływaniem pola elektromagnetycznego na ludzi, zwierzęta i rośliny istnieje potrzeba różnorodnych i wiarygodnych badań naukowych, które mogłyby stać się podstawą nowych regulacji prawno-normalizacyjnych niezakłócających postępu technologicznego, a zarazem dbających o bezpieczeństwo człowieka i ekosystemu. W dalszych badaniach dotyczących szeroko rozumianej ekspozycji na pola elektromagnetyczne, należy zwrócić uwagę na wzajemne oddziaływania i wpływ innych współistniejących czynników, w tym czynników chemicznych takich jak np. kwas askorbinowy na ewentualne powstawanie tzw. skutków biologicznych (poekspozycyjnych zmian na poziomie cząsteczki, struktury wewnątrzkomórkowej lub całego żywego organizmu). Mimo opisanych przez de Vochta i Olsena [32] metodologicznych zastrzeżeń do niektórych opublikowanych badań nad szkodliwością pól elektromagnetycznych, przejściowe napięcie o wysokiej częstotliwości, problematyka tętnienia światła [12,33-35] to wciąż nierozwiązane i istotne problemy, szczególnie wobec stale powstających nowych rozwiązań dotyczących nowoczesnych źródeł światła. W związku z ciągłym postępem technologicznym oddziaływanie nowoczesnych źródeł światła na komórki biologiczne nie jest jeszcze dogłębnie poznane, jednak jak wnioskuje Wantuch i Janowski [18] wydaje się, że wraz ze wzrostem wydajności tych urządzeń, ich zagrożenia eksploatacyjne stają się większe. Stąd ważne jest stałe monitorowanie nowoczesnych urządzeń generujących pole elektromagnetyczne [12,18,32,33,36,], ponieważ ich nieodpowiednia jakość może być potencjalnym zagrożeniem dla fauny i flory naszego ekosystemu.

Wnioski

1. Wzrost wielkości strumienia świetlnego uzyskany poprzez doświetlanie moczarki kanadyjskiej światłem sztucznym halogenowym lub ledowym powodował wzrost intensywności fotosyntezy moczarki kanadyjskiej w porównaniu do prób poddanych działaniu jedynie światła dziennego zarówno w próbach z dodatkiem, jak i bez kwasu askorbinowego.
2. Zaobserwowano bardzo silną zależność wzrostu intensywności fotosyntezy przy wyższym strumieniu świetlnym w porównaniu do intensywności fotosyntezy pod wpływem niższego strumienia świetlnego każdego z poszczególnych wybranych sztucznych źródeł światła zarówno w próbach z dodatkiem, jak i bez kwasu askorbinowego.
3. Dodatek kwasu askorbinowego w ilości 50 mg/l wody powodował gwałtowny i silny spadek wytwarzania pęcherzyków gazu świadczących o intensywności fotosyntezy, zarówno z zastosowaniem doświetlania z użyciem światła halogenowego jak i ledowego. Czas utrzymywania się hamującego działania kwasu askorbinowego na wytwarzanie pęcherzyków gazu przez moczarkę kanadyjską oraz mechanizm zaistniałego procesu wymagają dalszych badań.
4. Badając skutki biologiczne ekspozycji na pola elektromagnetyczne należy zwracać uwagę na możliwość współistnienia oddziaływania dodatkowych czynników, w tym chemicznych, jak np. kwasu askorbinowego.

Autorzy: *Mateusz Mikołajczyk student Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego kierunku lekarsko-dentystycznego, e-mail: matmateusza@gmail.com;*
Dr hab. n. med. Anita Mikołajczyk, prof. UWM Katedra Psychologii, Socjologii Zdrowia oraz Zdrowia Publicznego, Szkoła Zdrowia Publicznego, Collegium Medicum, Uniwersytet Warmińsko–Mazurski, ul. Warszawska 30, 10-082 Olsztyn, e-mail: anita.mikolajczyk@uwm.edu.pl

LITERATURA

[1] Land B., Using Vitamin C To Neutralize Chlorine in Water Systems, *Technology & Development Program,* (2005), 4.
[2] Prost M., Choroby ryb. *Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Nauk Weterynaryjnych, Lublin, Polska,* (1994).
[3] Czyżewski D., Zamienniki LED klasycznych żarówek, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), nr 11, 123-127
[4] Darko E., Heydarizadeh P., Schoefs B., Sabzalian M.R., Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism, *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.,* (2014), 369(1640), 20130243. doi:10.1098/rstb.2013.0243
[5] Woźny A., Źródła światła wykorzystywane w produkcji ogrodniczej. Prace Instytutu Elektrotechniki, (2015), 269, 48-54
[6] Iancu C., Chilom C.G., Discovering photosynthesis by experiments, *Romanian Reports in Physics,* (2016), 68(3), 1259–1269.
[7] Szweykowska A., Szweykowski J., Botanika t. 1 Morfologia, *Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, Polska,* (2017)
[8] Klamkowski K., Treder W., Treder J., Puternicki A., Lisak E., Wpływ doświetlania lampami sodowymi i led na aktywność fotosyntetyczną oraz wzrost roślin pomidora, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, (2012), 256, 75-86
[9] Puternicki A., Zastosowanie półprzewodnikowych źródeł światła do wspomagania wzrostu roślin, Prace Instytutu Elektrotechniki, (2010), 245, 69-86
[10] Khaki-Khatibi F., Nourazarian A., Ahmadi F., Farhoudi M., Savadi-Oskouei D., Pourostadi M., Asgharzadeh M., Relationship between the use of electronic devices and susceptibility to multiple sclerosis, *Cogn Neurodyn.*, (2019), 13(3), 287-292, doi: 10.1007/s11571-019-09524-1
[11] Kıvrak E.G., Yurt K.K., Kaplan A.A., Alkan I., Altun G,. Effects of electromagnetic fields exposure on the antioxidant defense

system, *J Microsc Ultrastruct*., (2017b), 5(4), 167-176. doi: 10.1016/j.jmau.2017.07.003
[12] Milham S., Stetzer D., The electronics in fluorescent bulbs and light emitting diodes (LED), rather than ultraviolet radiation, cause increased malignant melanoma incidence in indoor office workers and tanning bed users, *Med Hypotheses,* (2018), 116, 33-39, doi: 10.1016/j.mehy.2018.04.013
[13] Challis L.J., Mechanisms for interaction between RF fields and biological tissue, *Bioelectromagnetics*, (2005), Suppl 7, S98-S106, doi: 10.1002/bem.20119. PMID: 15931683.
[14] Georgiou C.D., Oxidative stress induced biological damage by low level EMFs:mechanism of free radical pair electron spinpolarization and biochemical amplification, *Eur J Oncol,* (2010), 5, 66-113.
[15] Gherardini L., Ciuti G., Tognarelli S., Cinti C., Searching for the perfect wave: the effect of radiofrequency electromagnetic fields on cells., *Int J Mol Sci,* (2014) 15, 5366-87
[16] Tasset I., Medina F.J., Jimena I., Agüera E., Gascón F., Feijóo M., Sánchez-López F., Luque E., Peña J., Drucker-Colín R., Túnez I., Neuroprotective effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on a Huntington's disease rat model: effects on neurotrophic factors and neuronal density, *Neuroscience,* (2012), 3, 209, 54-63. doi: 10.1016/j.neuroscience.2012.02.034.
[17] Volkow, N. D., Tomasi, D., Wang, G. J., Vaska, P., Fowler, J. S., Telang, F., Alexoff, D., Logan, J., & Wong, C., Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism. JAMA, (2011), 305(8), 808–813. https://doi.org/10.1001/jama.2011.186
[18] Wantuch A., Janowski M., Elektryczne źródła światła - wpływ na zdrowie człowieka, *Przegląd Elektrotechniczny,* 92 (2016), nr 3, 173-6. doi:10.15199/48.2016.03.4
[19] Shirazi A., Ghobadi G., Ghazi-Khansari M., A radiobiological review on melatonin: anovel radioprotector, *J Radiat Res*, (2007), 48, 263-72
[20] Sokolovic D., Djindjic B., Nikolic J., Bjelakovic G., Pavlovic D., Kocic G., Krstic D., Cvetkovic T., Pavlovic V., Melatonin reduces oxidative stress induced by chronic exposure of microwave radiation from mobile phones in rat brain, *J Radiat Res,* (2008), 49, 579-86
[21] Ulubay M., Yahyazadeh A., Deniz Ö.G., Kıvrak E.G., Altunkaynak B.Z., Erdem G., Kaplan S., Effects of prenatal 900 MHz electromagnetic field exposures on the histology of rat kidney, *Int J Radiat Biol.,* (2015), 91(1), 35-41. doi: 10.3109/09553002.2014.950436. PMID: 25084839.
[22] Erdem Koç G., Kaplan S., Altun G., Gümüş H., Gülsüm Deniz Ö., Aydin I., Emin Onger M., Altunkaynak Z., Neuroprotective effects of melatonin and omega-3 on hippocampal cells prenatally exposed to 900 MHz electromagnetic fields, *Int J Radiat Biol.*, (2016), 92(10), 590-5. doi: 10.1080/09553002.2016.1206223
[23] Kivrak E.G., Altunkaynak B.Z., Alkan I., Yurt K.K., Kocaman A., Onger M.E., Effects of 900-MHz radiation on the hippocampus and cerebellum of adult rats and attenuation of such effects by folic acid and Boswellia sacra, *J Microsc Ultrastruct.,* (2017a), 5(4), 216-224, doi: 10.1016/j.jmau.2017.09.003
[24] Ghanbari A.A., Shabani K., Mohammad Nejad D., Protective Effects of Vitamin E Consumption against 3MT Electromagnetic Field Effects on Oxidative Parameters in Substantia Nigra in Rats, *Basic Clin Neurosci*, (2016), 7, 315-22
[25] Mohammadnejad D., Rad J. S., Azami A., Lotfi A., Role of vitamin E in prevention of damages in the thymus induced by electromagnetic field: ultrastructural and light microscopic studies, *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy,* (2011), 55, 111-15
[26] Pei X., Gu Q., Ye D., Wang Y., Zou X., He L., Jin Y., Yao Y., Effect of computer radiation on weight and oxidant-antioxidant status of mice, *Nutr Hosp.,* (2014) 20, 31(3), 1183-6. doi: 10.3305/nh.2015.31.3.8200
[27] Saygin M., Ozmen O., Erol O., Ellidag H.Y., Ilhan I., Aslankoc R. The impact of electromagnetic radiation (2.45 GHz, Wi-Fi) on the female reproductive system: The role of vitamin C, *Toxicol Ind Health,* (2018), 34(9), 620-630, doi: 10.1177/0748233718775540
[28] Shekoohi-Shooli F., Mortazavi S.M., Shojaei-Fard M.B., Nematollahi S., Tayebi M., Evaluation of the Protective Role of Vitamin C on the Metabolic and Enzymatic Activities of the Liver in the Male Rats After Exposure to 2.45 GHz Of Wi-Fi Routers. *J Biomed Phys Eng*., (2016), 6(3), 157-164
[29] Mercali G.D., Schwartz S., Marczak L.D., Tessaro I.C., Sastry S., Effect of the electric field frequency on ascorbic acid degradation during thermal treatment by ohmic heating, *J Agric Food Chem*., (2014), 62(25), 5865-5870. doi:10.1021/jf500203u
[30] Ivanov B.N., Role of Ascorbic Acid in Photosynthesis, *Biochemistry (Moscow),* (2014), 79, 3, 282-289
[31] Kozłowska-Szerenos B., Ciereszko I., Udział askorbinianu w odpowiedzi roślin na niekorzystne czynniki środowiska W: Ciereszko I., Bajguza A.(red.) Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Rośliny i grzyby w zmieniających się warunkach środowiska. *Polskie Towarzystwo Botaniczne – Oddział w Białymstoku,* (2013), 69-83.
[32] de Vocht F., Olsen R.G., Systematic Review of the Exposure Assessment and Epidemiology of High-Frequency Voltage Transients, *Front Public Health,* (2016), 4, 52. doi:10.3389/fpubh.2016.00052
[33] Milham S., Morgan L.L., A new electromagnetic exposure metric: high frequency voltage transients associated with increased cancer incidence in teachers in a California school, *Am J Ind Med.,* (2008), 51(8), 579-86, doi: 10.1002/ajim.20598. PMID: 18512243
[34] Wiśniewski A., Tętnienie światła wytwarzanego przez tuby LED – zamienniki świetlówek liniowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 91 (2015), nr 7, 55-8. doi:10.15199/48.2015.07.18
[35] Wiśniewski A., Tętnienie światła wytwarzanego przez lampy LED – zamienniki żarówek tradycyjnych i halogenowych, *Przegląd Elektrotechniczny,* 93 (2017), nr 6, 63-6. doi:10.15199/48.2017.06.16
[36] Milham S., Stetzer D., Dirty electricity, chronic stress, neurotransmitters and disease, *Electromagn Biol Med.,* (2013), 32(4), 500–7