

Aktywność allelopatyczna sinicy *Synechococcus* sp. i jej wpływ na naturalne zbiorowiska fitoplanktonu

Julia Tuszer, Kinga Dobosz, Dagmara Kulasa, Sylwia Śliwińska-Wilczewska

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii

E-mail: julka.tuszer@gmail.com

Tutor: dr Sylwia Śliwińska-Wilczewska

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,

Zakład Funkcjonowania Ekosystemów Morskich

Słowa kluczowe – *allelopatia, ekosystem wodny, pikoplanktonowe sinice, środowiskowa próba planktonowa, Synechococcus sp.*

Abstrakt

Pikoplanktonowe sinice z rodzaju *Synechococcus* zostały uznane w ciągu ostatnich kilku lat za ważny składnik fitoplanktonu w większości oceanów. Pomimo dużego znaczenia ekologicznego morskiej sinicy *Synechococcus*, bardzo niewiele wiadomo na temat ich allelopatycznego wpływu na organizmy fitoplanktonowe. W pracy zbadano wpływ związków allelopatycznych na biomasę naturalnego zbiorowiska fitoplanktonu (wyrażoną, jako zawartość chlorofilu *a* i *c*) oraz liczbę komórek heterotroficznych bakterii. Badania przeprowadzano w próbach z pojedynczym i wielokrotnym dodaniem przesączu uzyskanym z pikoplanktonowych sinic *Synechococcus* sp. Wykazano, że *Synechococcus* sp. miał największy wpływ na biomasę środowiskowej próby planktonowej po wielokrotnym dodaniu przesączu. Stwierdzono również, że po wielokrotnym dodaniu przesączu liczba bakterii znacznie się zwiększyła. Z drugiej strony, wykazano, że pojedyncze dodanie przesączu nie miało wpływu na liczebność bakterii heterotroficznych. Badania wykazały, że aktywność allelopatyczna pikoplanktonowej sinicy *Synechococcus* sp. to prawdopodobnie jedna z jej głównych strategii konkurencyjnych, mająca wpływ na niektóre, współistniejące ze sobą gatunki fitoplanktonu w ekosystemach wodnych.

1. Wstęp

Pikoplanktonowe sinice są wszechobecnym składnikiem naturalnych zbiorowisk planktonowych, zarówno w ekosystemach morskich, jak i słodkowodnych. Ponadto mogą być odpowiedzialne za 80–90% całkowitej produkcji węgla w zbiornikach wodnych (Stockner, 1988). Przed odkryciem pikoplanktonowych sinic w oceanach przez Johnsona i Sieburtha (1979) oraz Waterbury i in. (1979) publikowano jedynie przypadkowe doniesienia o tej frakcji w wodach morskich. Od 1982 roku liczba odnotowywanych pikoplanktonowych sinic gwałtownie wzrosła, a obecnie ich występowanie przypisuje się wszystkim morskim, słonawym i słodkowodnym

ekosystemom na świecie (Callieri, 2010; Sorokin i Zakusina 2010; Jodłowska i Śliwińska, 2014). Nieoczekiwano stwierdzono, że frakcja pikoplanktonowych sinic może stanowić aż do 80% całkowitej biomasy sinic (Stal i in., 2003; Sorokin i in., 2004; Marzec Mazur i in., 2013).

Wiele różnych czynników, w tym parametrów fizycznych, a także dostępność zasobów oraz konkurencja o nie, selektywne odżywianie się i allelopatyczne interakcje mogą wpływać na występowanie szkodliwych zakwitów glonów w ekosystemach wodnych. Rozwój masowych zakwitów glonów jest konsekwencją tych czynników i interakcji fizjologicznych glonów i sinic w środowisku wodnym. Allelopatia wydaje się być kluczowym czynnikiem, który sprzyja dominacji niektórych gatunków tworzących zakwity, w stosunku do innych gatunków glonów. Wytwarzanie związków allelopatycznych przez poszczególne gatunki fitoplanktonu stwierdzono u kilku grup glonów takich jak: Cyanophyta, Pyrrophyta, Chrysophyta i Chlorophyta (Chiang i in., 2004; Gantar i in., 2008; Prince i in., 2008; Żak i Kosakowska, 2015). Allelopatia sinic ma różny wpływ na różne grupy organizmów, na przykład na fitoplankton, zooplankton czy ryby (Suikkanen i in., 2004, 2005; Granéli i Hansen, 2006; Hamilton i in., 2014), jednak nie odnotowano allelopatycznej aktywności pikoplanktonowych sinic należących do rodzaju *Synechococcus*. Uwalnianie związków allelopatycznych to ciekawe zagadnienie, ponieważ substancje te zakłócają interakcje między gatunkami. Związki allelopatyczne prawdopodobnie odgrywają ważną rolę w sukcesji, konkurencji i tworzeniu zakwitów przez różne gatunki fitoplanktonu (Fistarol i in., 2004; Poniedziałek i in., 2015). Zastosowanie badań biologicznych jest pierwszym krokiem w określeniu frakcji lub gatunków wrażliwych na związki allelopatyczne wytwarzane przez *Synechococcus* sp. na naturalne zbiorniki planktonu w środowisku.

Głównym celem niniejszej pracy było określenie zakresu wpływu zjawiska allelopatii pikoplanktonowych sinic *Synechococcus* sp. na środowiskową próbę planktonową przy pojedynczym oraz wielokrotnym dodaniu przesączu. Uważa się, że obecność interakcji związanych ze związkami allelopatycznymi jest powszechna w ekosystemach wodnych. Prawdopodobnie związki allelopatyczne wydzielane przez pikoplanktonowe sinice mają wpływ na biomę naturalnych zespołów fitoplanktonu, a także liczebność heterotroficznych bakterii. Wpływ ten nie został jednak do tej pory określony. Badania wskazują, że niektóre grupy taksonomiczne fitoplanktonu mogą być pod mniejszym lub większym wpływem działania związków allelopatycznych, które produkowane są przez *Synechococcus* sp. Podkreśla to rolę tych pikoplanktonowych sinic w ekosystemach morskich.

2. Materiały i metody

Doświadczenie przeprowadzono na pikoplanktonowej sinicy *Synechococcus* sp. (BA – 124) oraz na środowiskowej próbie planktonowej pobranej w strefie przybrzeżnej Zatoki Gdańskiej w dniu 1.10.2016 r. Próby pobrano za pomocą siatki planktonowej WP2 na głębokości 1 m. Wodę bałtycką pobrano do plastikowej butelki o pojemności 1 litra. Parametry wody bałtyckiej wynosiły: temperatura 18°C, zasolenie 8 PSU.

Hodowlę *Synechococcus* sp. wyizolowano z materiału pochodzącego z Zatoki Gdańskiej (południowe Morze Bałtyckie). Hodowlę aklimatyzowano do warunków laboratoryjnych przez 7 dni do następujących parametrów: temperatury: 18°C oraz zasolenia: 8 PSU w Instytucie Oceanografii i Geografii, Uniwersytetu Gdańskiego. Hodowlę pikoplanktonowych sinic hodowano na pożywce f/2 oraz na wodzie bałtyckiej o zasoleniu 8 PSU przez okres 7 dni w temperaturze 18°C w fotoperiodzie 16:8, przy natężeniu promieniowania: 20 $\mu\text{mol fotonów m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Źródłem oświetlenia była lampa fluorescencyjna (Cool White 40W, Sylvania, USA). Próbę planktonową, którą pobrano z Zatoki

Gdańskiej aklimatyzowano przez 1 dzień do warunków laboratoryjnych, takich samych jak w przypadku *Synechococcus* sp.

2.1. Zestaw doświadczalny

Allelopatyczne oddziaływania określano za pomocą zmodyfikowanej metody zaproponowanej przez Fistarol i in. (2004). Allelopatyczne eksperymenty przeprowadzono poprzez wystawienie środowiskowej próby planktonowej pobranej z Zatoki Gdańskiej na działanie przesączu z *Synechococcus* sp.

Aktywność allelopatyczną badano dodając do środowiskowej próby planktonowej przesącz bez komórek, uzyskany z hodowli pikoplanktonowych sinic. Kulturę *Synechococcus* sp. przesączono przez filtry o wielkości oczek 0,45 μm (Macherey-Nagel MN GF-5 Düren, Niemcy). Przesącz bezkomórkowy ($V=10\text{ mL}$) dodano do 25 mL kolb Erlenmeyera, zawierających środowiskową próbę planktonową ($V=10\text{ mL}$). Kontrole wykonano przez dodanie 10 mL pożywki f/2 zamiast przesączu. Aby uzyskać stałe efekty uwalniania związków allelopatycznych przez pikoplanktonowe sinice do środowiskowej próby planktonowej, przesącze pikoplanktonowych sinic dodawano codziennie przez 7 dni. Pierwsze dodawanie wykonano w sposób opisany powyżej. Następnie dodawano przesącz po wcześniejszym odlaniu 2 mL prób i zastąpienie go z równą objętością świeżego przesączu lub pożywki kontrolnej. Wszystkie testy przeprowadzono w trzech powtórzeniach.

2.2. Określenie oddziaływania allelopatycznego na biomasę próby środowiskowej

Allelopatyczne działanie *Synechococcus* sp. na biomasę środowiskowej próby planktonowej oceniono poprzez codzienne pomiary stężenia chlorofilu *a* oraz chlorofilu *c*. Próbę środowiskową przesączono przez filtry z włókna szklanego Whatman GF/C i ekstrahowano zimnym roztworem 90% acetonu w ciemności przez 2 godziny w temperaturze -60°C . W celu usunięcia resztek komórek i cząstek pigmentu z przesączu, ekstrakt wirowano przy 10 000 obrotów/minutę przez 5 minut. Metodę spektrofotometryczną przeprowadzano przy kolejnych długościach fali: 630, 647, 664 i 750 nm za pomocą spektrofotometru UV-VIS DU530 Life Science (Beckman, Kalifornia, USA) i stosując 1 cm szklaną kuwetę. Stężenie zawartości barwników obliczono według procedury zaproponowanej przez Jeffrey i Humphrey'a (1975). Stężenie barwników fotosyntetycznych próby środowiskowej mierzono metodą spektrofotometryczną po 0 (1 godz ekspozycji), 1, 3 i 7 dniach ekspozycji w kontroli i próbach z pojedynczym i wielokrotnym przesączem uzyskanym z *Synechococcus* sp.

2.3. Określenie liczby komórek bakterii heterotroficznych

Działanie przesączu *Synechococcus* sp. na bakterie heterotroficzne badano poprzez monitorowanie ich liczebności każdego dnia prowadzenia badań. Liczbę komórek bakterii heterotroficznych określono za pomocą cytometru przepływowego BD Accuri™ C6 (Becton Dickinson, New Jersey, USA). Ilość bakterii heterotroficznych identyfikowano za pomocą standardowych filtrów optycznych 670 nm (FL3) i 675/25 nm (FL4) (Marie i in., 2005). Krzywą wzrostu bakterii heterotroficznych badano po 0 (1 godz. ekspozycji), 1, 3 i 7 dniach eksperymentu, oraz w kontroli, zarówno w próbach z pojedynczym i wielokrotnym przesączem uzyskanym z *Synechococcus* sp.

2.4. Analizy statystyczne

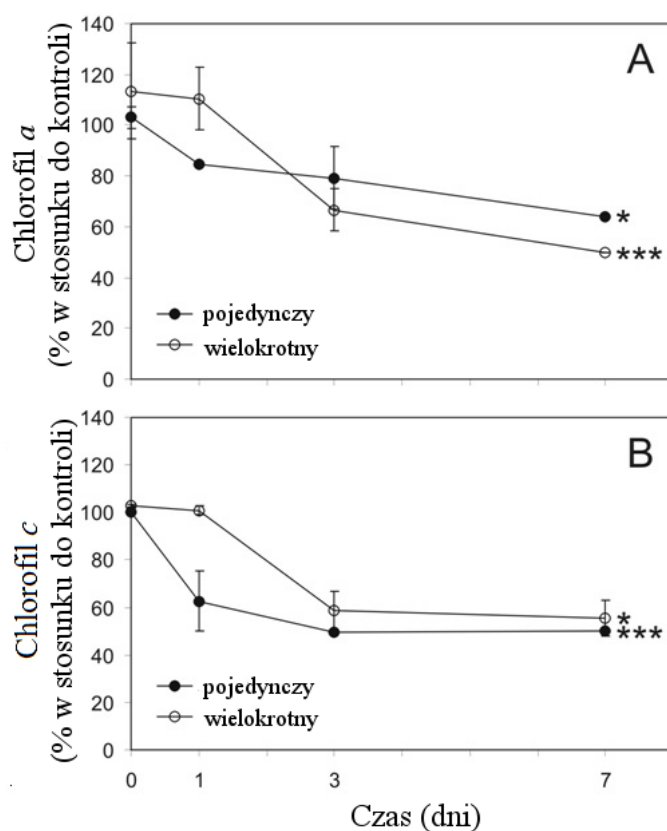
Zastosowano analizę wariancji (ANOVA), aby sprawdzić różnice we wszystkich analizowanych parametrach pomiędzy organizmami docelowymi a próbą środowiskową z dodatkiem

przesączu uzyskanym z pikoplanktonowych sinic *Synechococcus* sp. Dane przedstawiono jako średnią z trzech niezależnych powtórzeń, gdzie $\pm$ oznacza odchylenie standardowe (SD). Poziomy istotności były następujące: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. Analizy statystyczne przeprowadzono za pomocą oprogramowania Statistica 12.

3. Wyniki

3.1. Wpływ *Synechococcus* sp. na biomasa naturalnych zbiorowisk fitoplanktonowych

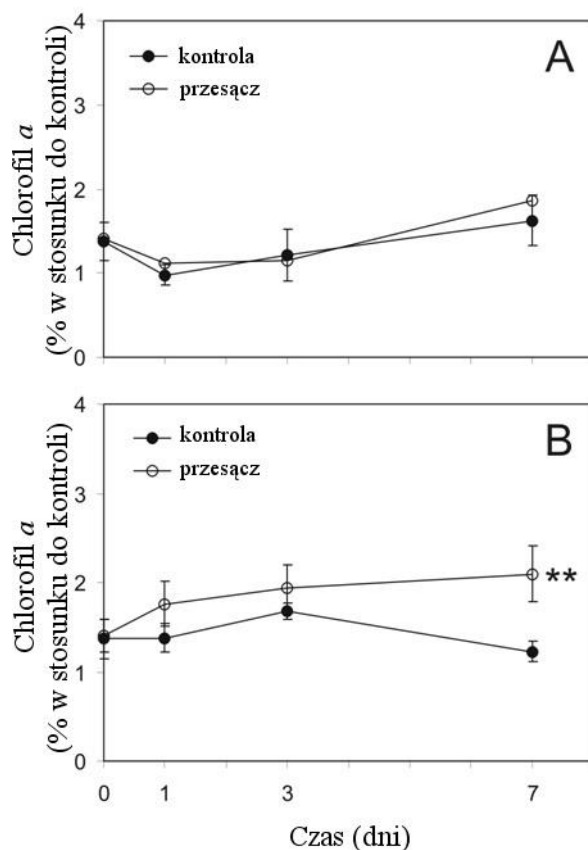
Wpływ pojedynczego i wielokrotnego dodawania pozbawionego komórek przesączu pochodzącego od kolonii *Synechococcus* sp. na wzrost (wyrażony jako udział procentowy chlorofilu *a* i *c* w stosunku do kontroli) zbiorowisk fitoplanktonowych po 0 (1 godz.) oraz 1, 3 i 7 dniach ekspozycji pokazano na rycinie 1. Wystawienie na działanie allelopatycznych związków uwalnianych przez *Synechococcus* sp. spowodowało hamowanie wzrostu fitoplanktonu pobranego ze środowiska. Po ostatnim dniu eksperymentu stężenie chlorofilu *a* było znacznie niższe w powtórzeniach z przesączem uzyskanym z kolonii *Synechococcus* sp. i względem kontroli wynosiło kolejno 64% ($p < 0,05$) dla powtórzeń z jednorazowo dodanym przesączem i 50% ($p < 0,001$) dla próby z przesączem dodawanym wielokrotnie. Odnotowano także, że przesącz negatywnie wpływał na stężenie chlorofilu *c*. Po 7 dniach eksperymentu, jego zawartość w zbiorowiskach fitoplanktonowych był mniejszy o 50% ($p < 0,001$) i 55% ($p < 0,05$) w odniesieniu do kontroli.



Ryc. 1 Krzywa wzrostu zbiorowisk fitoplanktonowych wyrażona jako % chlorofilu *a* (A) i chlorofilu *c* (B) w stosunku do kontroli przy wystawieniu organizmów na działanie jednokrotnie oraz wielokrotnie dodanego przesączu pozyskanego z kolonii *Synechococcus* sp., wartości odnoszą się do średnich ($n=3$, średnia $\pm$ SD), gwiazdka wskazuje znaczące różnice w porównaniu do kontroli

3.2. Wpływ *Synechococcus* sp. na współlistniejące z nim bakterie heterotroficzne

Wpływ pozbawionego komórek przesączu pochodzącego od kolonii *Synechococcus* sp. na liczbę komórek bakterii heterotroficznych pokazano na rycinie 2. Wykazano, że po wielokrotnym dodaniu przesączu liczba komórek bakterii znacząco wzrosła. Na końcu eksperymentu heterotroficzne bakterie miały znacznie wyższą liczebność ($2,0 \cdot 10^4$ bakterii·mL⁻¹) ($p < 0,01$) w próbach zawierających przesącz niż w kontroli ($1,2 \cdot 10^4$ bakterii·mL⁻¹). Z drugiej strony, wykazano także, że jednokrotnie dodawany przesącz pochodzący od *Synechococcus* sp. nie ma wpływu na liczebność bakterii heterotroficznych ($p > 0,05$).



Ryc. 2. Krzywa wzrostu bakterii heterotroficznych ($N \cdot 10^4 \cdot mL^{-1}$) w powtórzeniach z jednorazowo (A) i wielokrotnie dodanym przesączem (B) uzyskanym z *Synechococcus* sp. oraz w kontroli, wartości odnoszą się do średnich ($n=3$, średnia $\pm$ SD), gwiazdka wskazuje znaczące różnice w porównaniu do kontroli

4. Dyskusja

Obecnie wiele uwagi poświęca się zagadnieniu allelopatii u różnych gatunków fitoplanktonu. Metoda "Cross-culturing" jest często używana do badania wpływu allelopatii na różne gatunki sinic i glonów w monokulturach (Antunes i in., 2012; Żak i Kosakowska, 2015), a także na naturalne zbiorowiska fitoplanktonu (Fistarol i in., 2004; Suikkanen i in., 2005). Stosowana metoda jest użyteczna zarówno dla monokultur, jak i całych zbiorowisk fitoplanktonowych, które hoduje się na pożywcze z dodatkiem przesączu otrzymanego z hodowli innych gatunków w celu zbadania możliwego wpływu związków allelopatycznych uwalnianych do podłoża (Legrand i in., 2003). W wielu przypadkach, sposób działania związków allelopatycznych jest jeszcze słabo poznany, ponieważ

trudno jest wykazać bezpośrednie dowody allelopatii w zbiorowiskach planktonowych ze środowiska. W związku z tym istotne jest, aby scharakteryzować aktywność allelopatyczną w kontrolowanych warunkach eksperymentalnych i ich wpływ na organizmy docelowe. W tym eksperymencie badano wpływ związków allelopatycznych pikoplanktonowych sinic *Synechococcus* sp. na ogólną biomasę zbiorowiska fitoplanktonowego oraz liczebność bakterii heterotroficznych.

Badania o allelopatycznym wpływie sinic na próby środowiskowe są rzadkością w literaturze. W niniejszej pracy wykazano, że wzrost środowiskowych prób planktonowych został zahamowany po ekspozycji na działanie związków uwalnianych przez *Synechococcus* sp. W czasie 7 dni po ekspozycji stężenie chlorofilu *a* i *c* było mniejsze w próbach z przesączem pikoplanktonowych sinic niż w próbach kontrolnych. Fistarol i in. (2004), również badał allelopatyczny wpływ *Alexandrium tamarense* na środowiskowych próbach planktonowych z Zatoki Hopavågen w Norwegii. Autorzy zauważyli, że intensywność wpływu związków allelopatycznych zmienia się w zależności od organizmu docelowego. Badania opisane w powyższej pracy wykazały, że *A. tamarense* wpływał na całą środowiskową próbę planktonową poprzez zmniejszenie tempa wzrostu i zmiany jej struktury. Sugeruje się, że związki allelopatyczne powodują większą wrażliwość gatunków docelowych, co może wpływać na biomasę zbiorowisk fitoplanktonu (Mulderij i in., 2003). Ponadto Wolfe (2000) zauważył, że uwalnianie związków allelopatycznych wpływa korzystnie na gatunek, który wydziela te substancje. Wyniki powyższych badań wykazują ogólne działanie hamujące związków allelopatycznych widzialnych przez *Synechococcus* sp. na zbiorowiska planktonowe występujące w środowisku wodnym.

Niektóre badania wykazały, że przesącz wolny od komórek może mieć również wpływ na bakterie heterotroficzne (Suikkanen i in., 2005; Sorokin i Zakuskina, 2010). W związku z tym w niniejszej pracy został zbadany możliwy wpływ przesączu pikoplanktonowych sinic na bakterie heterotroficzne. W powyższych badaniach wykazano, że pojedynczy dodatek przesączu uzyskany z *Synechococcus* sp. nie miał wpływu na liczebność bakterii heterotroficznych, jednakże wielokrotne dodanie przesączu zwiększyło liczbę komórek heterotroficznych bakterii. Po jednym tygodniu doświadczenia po dodaniu przesączu z *Synechococcus* sp., procent komórek bakteryjnych stanowił około 170% w stosunku do kontroli. W doświadczeniu liczebność bakterii najpierw wzrosła 3-krotnie w porównaniu z kontrolą, a następnie stopniowo zmniejszała się, osiągając poziom kontroli w ostatnim dniu eksperymentu. Dodatkowo, Sorokin i Zakuskina (2010) wykazali, że średnia liczba bakterii w planktonie wahała się od wiosny do początku lata $6 \cdot 10^6$ do $17 \cdot 10^6$ komórek $\cdot \text{mL}^{-1}$, ale podczas rozkwitu pikoplanktonowych sinic (lato-jesień), gęstość bakterii wzrosła do $21 \cdot 10^6$ komórek $\cdot \text{mL}^{-1}$. Autorzy sugerują, że duża liczba bakterii pojawiła się przez wspierającą obecność organizmów pikoplanktonowych sinic. Jednakże efekt zwiększenia się liczby komórek bakterii heterotroficznych to bezpośredni wpływ stymulujących związków allelopatycznych z *Synechococcus* sp. jest niejasny i wymaga dalszych badań.

Pikoplanktonowe sinice są często określane mianem grup, które nie są zdolne do tworzenia zakwitów (Stockner i in., 1988). Jednak Sorokin i Zakuskina (2010) wykazali, że u wybrzeży Adriatyku pojawiają się bardzo gęste, długoterminowe zakwity pikoplanktonowych sinic. Gęstość zakwitu tych organizmów wahała się od $8 \cdot 10^6$ do $35 \cdot 10^6$ komórki $\cdot \text{mL}^{-1}$. Udział pikoplanktonowych oraz nanoplanktonowych sinic całkowitej biomasy fitoplanktonu, wynosił 98% od wiosny do początku lata, a 92% jesienią. Sorokin i Zakuskina (2010) zbadali, że zakwitowi pikoplanktonowych sinic towarzyszą ogromne zmiany w siedliskach dennych. Ponadto Sorokin i in. (1998) odnotowali zakwit pikoplanktonowych sinic w kraterze czynnego wulkanu ($52 \cdot 10^6$ komórek $\cdot \text{mL}^{-1}$). Występowanie pikoplanktonowych sinic *Synechococcus* sp. odnotowano również w Morzu Bałtyckim (Mazur-Marzec i in., 2013; Jodłowska i Śliwińska, 2014; Śliwińska-Wilczewska i in., 2016). W niniejszej

pracy wykazano, że związki wytwarzane i uwalniane przez *Synechococcus* sp. mają negatywny wpływ na gatunki biomasy zbiorowisk fitoplanktonowych w środowisku naturalnym.

5. Wnioski

Oddziaływanie allelopatyczne pikoplanktonowych sinic może być jednym z czynników przyczyniających się do powstawania i utrzymywania się ogromnych zakwitów sinic. Gatunki tworzące masowe zakwity są poważnym problemem ze względów ekologicznych i ekonomicznych. Zakwity sinic notuje się od XIX wieku, ale w ostatnich dziesięcioleciach ich aktywność znacznie wzrosła. Ponadto oddziaływanie allelopatyczne morskich pikoplanktonowych sinic *Synechococcus* sp. może mieć wpływ na otaczający je ekosystem. Praca ta określa zakres zjawiska allelopatii u dominującej w okresie letnim morskiej pikoplanktonowej sinicy *Synechococcus* sp. na naturalne zbiorowisko fitoplanktonu. Dostarczanie nowych informacji na temat zakresu działania związków allelopatycznych pikoplanktonowych sinic może mieć znaczenie dla lepszego zrozumienia ogólnosiwiatowego zjawiska powstawania ogromnych zakwitów sinic i ich globalnej ekspansji w wielu ekosystemach wodnych.

Literatura

- Antunes, J.T., Leão, P.N., Vasconcelos, V.M., 2012. Influence of Biotic and Abiotic Factors on the Allelopathic Activity of the Cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* Strain LEGE 99043. *Microbial Ecology* 64, 584–592.
- Callieri, C., 2010. Single cells and microcolonies of freshwater picocyanobacteria: a common ecology. *Journal of Limnology* 69, 257–277.
- Chiang, I.Z., Huang, W.Y. Wu, J.T., 2004. Allelochemicals of *Botryococcus braunii* (Chlorophyceae). *Journal of Phycology* 40, 474–480.
- Fistarol, G.O., Legrand, C., Selander, E., Hummert, C., Stolte, W., Granéli, E., 2004. Allelopathy in *Alexandrium* spp.: effect on a natural plankton community and on algal monocultures. *Aquatic Microbial Ecology* 35, 45–56.
- Gantar, M., Berry, J.P., Thomas, S., Wang, M., Perez, R., Rein, K.S., 2008. Allelopathic activity among Cyanobacteria and microalgae isolated from Florida freshwater habitats. *FEMS Microbiology Ecology* 64(1), 55–64.
- Granéli, E., Hansen, P.J., 2006. *Allelopathy in harmful algae: a mechanism to compete for resources?*, [w:] E. Granéli i J.T. Turner (red.), *Ecology of Harmful Algae, Ecological Studies* (pp. 189–201). 189 Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Hamilton, T.J., Paz-Yepes, J., Morrison, R.A., Palenik, B., Tresguerres, M., 2014. Exposure to bloom-like concentrations of two marine *Synechococcus* cyanobacteria (strains CC9311 and CC9902) differentially alters fish behaviour. *Conservation Physiology* 2(1), <https://doi.org/10.1093/conphys/cou020>
- Jeffrey, S.W., Humphrey, G.F., 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c*1 and *c*2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen* 167, 191–194.
- Jodłowska, S., Śliwińska, S., 2014. Effects of light intensity and temperature on the photosynthetic irradiance response curves and chlorophyll fluorescence in three picocyanobacterial strains of *Synechococcus*. *Photosynthetica* 52(2), 223–232.
- Johnson, P.W., Sieburth, J.M., 1979. Chroococcoid cyanobacteria in the sea: a ubiquitous and diverse phototrophic biomass. *Limnology and Oceanography* 24(5), 928–935.
- Legrand, C., Rengefors, K., Fistarol, G.O., Granéli, E., 2003. Allelopathy in phytoplankton - biochemical, ecological and evolutionary aspects. *Phycologia* 42(4), 406–419.

- Marie, D., Simon, N., Vaultot, D., 2005. Phytoplankton cell counting by flow cytometry. *Algal Culturing Techniques* 1, 253–267.
- Mazur-Marzec, H., Sutryk, K., Kobos, J., Hebel, A., Hohlfeld, N., Błaszczuk, A., Toruńska, A., Kaczkowska, M.J., Łysiak-Pastuszek, E., Kraśniewski, W., et al., 2013. Occurrence of cyanobacteria and cyanotoxins in the Southern Baltic Proper. Filamentous cyanobacteria vs. single-celled picocyanobacteria. *Hydrobiologia* 701, 235–252.
- Mulderij, G., Van Donk, E., Roelofs, G.M., 2003. Differential sensitivity of green algae to allelopathic substances from *Chara*. *Hydrobiologia* 491, 261–271.
- Poniedziałek, B., Rzymiski, P., Kokociński, M., Karczewski, J., 2015. Toxic potencies of metabolite(s) of noncylindrospermopsin producing *Cylindrospermopsis raciborskii* isolated from temperate zone in human white cells. *Chemosphere* 120, 608–14.
- Prince, E.K., Myers, T.L., Kubanek, J., 2008. Effects of harmful algal blooms on competitors: Allelopathic mechanisms of the red tide dinoflagellate *Karenia brevis*. *Limnology and Oceanography* 53, 531–541.
- Sorokin, Y.I., Zakuskina, O.Y., 2010. Features of the Comacchio ecosystem transformed during persistent bloom of picocyanobacteria. *Journal of Oceanography* 66, 373–387.
- Sorokin, P.Y., Sorokin, Y.I., Boscolo, R., Giovanardi, O., 2004. Bloom of picocyanobacteria in the Venice lagoon during summer–autumn 2001: ecological sequences. *Hydrobiologia* 523(1-3), 71–85.
- Sorokin, Y.I., Sorokin, P.Y., Zakuskina, O.Y., 1998. Microplankton and its function in zones of shallow hydrotherms of the Western Pacific. *Journal of Plankton Research* 20, 1015–1031.
- Stal, L.J., Albertano, P., Bergman, B., Bröckel, K., Gallon, J.R., Hayes, P.K., Sivonen K., Walsby, A.E., 2003: BASIC: Baltic Sea cyanobacteria. An investigation of the structure and dynamics of water blooms of cyanobacteria in the Baltic Sea - responses to a changing environment. *Continental Shelf Research* 23, 1695–1714.
- Stockner, J.G., 1988. Phototrophic picoplankton: an overview from marine and freshwater ecosystems. *Limnology and Oceanography* 33, 765–775.
- Suikkanen, S., Fistarol, G.O., Granéli, E., 2004. Allelopathic effects of the Baltic Cyanobacteria *Nodularia spumigena*, *Aphanizomenon flos-aquae* and *Anabaena lemmermannii* on algal monocultures. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 308, 85–101.
- Suikkanen, S., Fistarol, G.O., Granéli, E., 2005. Effects of cyanobacterial allelochemicals on a natural plankton community. *Marine Ecology Progress Series* 287, 1–9.
- Śliwińska-Wilczewska, S., Pniewski, F., Latała, A., 2016. Allelopathic activity of the picocyanobacterium *Synechococcus* sp. under varied light, temperature, and salinity conditions. *International Review of Hydrobiology* 101, 69–77.
- Waterbury, J.B., Watson, S.W., Guillard, R.R., Brand, L.E., 1979. Widespread occurrence of a unicellular, marine, planktonic, cyanobacterium. *Nature* 277(5694), 293–294.
- Wolfe, G.V., 2000. The chemical defence ecology of marine unicellular plankton: constraints, mechanisms, and impacts. *Biological Bulletin* 198, 225–244.
- Żak, A., Kosakowska, A., 2015. The influence of extracellular compounds produced by selected Baltic cyanobacteria, diatoms and dinoflagellates on growth of green algae *Chlorella vulgaris*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 167, 113–118.

Krótką notką o autorze: Julia Tuszer – studentka I roku studiów magisterskich na kierunku oceanografia. Jej główne zainteresowania to zwierzęce organizmy bentosowe, w szczególności skorupiaki, ich immunologia i choroby u nich występujące. Wraz z przyjaciółkami podczas tutoringu zgłębiała wiedzę w tematyce mikroorganizmów roślinnych i ich wpływu na środowisko morskie, czego efektem jest powyższa praca.