

Potencjał biotechnologiczny cyjanobakterii tworzących zakwity sinicowe

Ewa KASOWSKA-ŻOK, Monika OSTROWSKA, Hanna STUDNIK – Wydział Chemii, Uniwersytet Opolski, Opole; Lucyna BALCERZAK – Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska, Wrocław; Beata ŻYSZKA, Damian DRZYŻGA, Grzegorz BAZGIER – Wydział Chemii, Uniwersytet Opolski, Opole; Paweł KAFARSKI – Wydział Chemii, Uniwersytet Opolski, Opole; Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska, Wrocław; Jacek LIPOK* – Wydział Chemii, Uniwersytet Opolski, Opole

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2014, 68, 4, 355–362

Wstęp

Nadmierne użyźnienie jezior i cieków wodnych spowodowane obecnością łatwo przyswajalnych form fosforu i azotu, wymieniane jest jako główna przyczyna zjawiska opisywanego jako zakwity sinicowe [1, 2]. Masowy rozwój mikrofotoautotrofów, głównie cyjanobakterii, któremu towarzyszy zmiana zabarwienia wody, obniżenie stężenia tlenu i pojawienie się siarkowodoru w strefie przydennej, obniża bioróżnorodność ekosystemu oraz istotnie pogarsza jakość wody i walory rekreacyjne akwenu [3].



Jezioro Turawskie jest zbiornikiem retencyjnym w dolnym biegu rzeki Mała Panew, w dorzeczu Odry w województwie opolskim [4]. Wody rzeki niosą ładunek antropogennych zanieczyszczeń, głównie ścieków komunalnych, przemysłowych i rolniczych, których składniki „wzbogacają” ton jeziora, powodując eutrofizację oraz tworzenie się warstwy osadów dennych, w której koncentrują się zanieczyszczenia [5]. Podobnie jak w przypadku innych zbiorników wodnych zawierających ponadnormatywny ładunek biogennych form fosforu i azotu, główną grupą organizmów rozwijających się w takich warunkach są sinice. Oceniając nasilenie występowania oraz bioróżnorodność mikroorganizmów fototroficznych zamieszkujących Jezioro Turawskie w latach 2012–2013 stwierdzono, iż konsorcjum sinic pojawia się w formie zakwitów dwukrotnie w sezonie. Mniejsze nasilenie obserwowano w czerwcu, natomiast intensywne zakwity notowano w drugiej połowie sierpnia i w pierwszej dekadzie września. Oznaczenia mikroskopowe wskazują, że w obu terminach dominował rodzaj *Microcystis*, w szczególności gatunki *Microcystis viridis*, *Microcystis wesenbergii* i *Microcystis aeruginosa*. W składzie konsorcjów liczniej pojawiały się również gatunki reprezentujące rodzaje *Anabaena* i *Nostoc*.

Masowy rozwój cyjanobakterii w wodach skażonych biogenami, głównie związkami fosforu, sugeruje, że sinice wyjątkowo efektywnie pozyskują ten składnik pokarmowy, a obecność różnych form fosforu sprzyja ich dominacji wśród wodnych autotrofów. Potwierdzają

to również wyniki wielu doświadczeń przeprowadzonych w laboratoriach Katedry Chemii Analitycznej i Ekologicznej Wydziału Chemii UO, które wskazują na udział sinic w utylizacji powszechnie używanych związków aminofosfonowych.



Biodegradacja związków fosfoorganicznych przez sinice

Zdolność cyjanobakterii do enzymatycznego rozszczepienia wysokoenergetycznych wiązań chemicznych, w tym trwałego w warunkach fizjologicznych bezpośredniego wiązania fosfor-węgiel (C-P), wydaje się być swoistą zdobyczą ewolucyjną niektórych mikroorganizmów [6]. W połowie ubiegłego wieku, z komórek pierwotniaków po raz pierwszy wyizolowano naturalnie występujący związek fosfonoorganiczny – ciliatynę (kwas 2-aminoetylofosfonowy) [7]. Od tego czasu zdolność do biosyntezy naturalnych związków zawierających wiązanie C-P potwierdzono wielokrotnie np. u orzęska *Tetrahymena pyriformis*, parzydełkowca *Anthopleura elegantissima* [8], czy bakterii należących do rodzaju *Streptomyces* [9]. Logicznym wydaje się, iż organizmy wytwarzające tego rodzaju połączenia chemiczne dysponują odpowiednim aparatem enzymatycznym do ich biotransformowania. Taka zdolność jest szczególnie cenna współcześnie, kiedy liczna grupa syntetycznych związków zawierających wiązanie fosfor-węgiel, znajduje zastosowanie w różnych dziedzinach ludzkiej aktywności.

Najpowszechniej stosowane aminopolifosfoniany są o wiele efektywniejszymi kompleksonami, niż ich analogi aminopolikarboksylowe, jak kwas etylenodiaminotetraoctowy (EDTA), czy kwas nitrilotrioctowy (NTA) [10]. Te właściwości przyczyniły się do zastosowania omawianych związków jako dodatków do detergentów, inhibitorów korozji, środków zapobiegających odkładaniu się kamienia kotłowego, czynników dyspergujących (np. w produkcji cementu), uniepalniaczy oraz w procesach oczyszczania ścieków przemysłowych [11–13]. Niestety, mimo tak powszechnego zastosowania aminofosfonianów, do tej pory nie opracowano efektywnej metody usuwania tych substancji ze środowiska co powoduje, że każdego roku tysiące ton tych połączeń powiększa pulę pierwiastków biogennych w ekosystemach wodnych. W tej sytuacji coraz więcej uwagi

Autor do korespondencji:
Dr hab. Jacek LIPOK prof. UO, jacek.lipok@uni.opole.pl

poświęca się możliwościom wykorzystania cyanobakterii do utylizacji połączeń fosforu. Stwierdzono na przykład, że sinice *Phormidium bohneri* oraz *Phormidium laminosum* są w stanie w ciągu dwóch dni zredukować ilość jonów fosforanowych (PO_4^{3-}) w ściekach o blisko 99% [14, 15]. Potwierdzają to wyniki eksperymentów prowadzonych przez zespół Katedry Chemii Analitycznej i Ekologicznej, w których zdolność do utylizowania ksenobiotyków aminopolifosfonowych wykazały zarówno gatunki halofilne, jak i słodkowodne [16]. Ustalono także, że omawiane bakterie znacząco różnią się wrażliwością wobec aminopolifosfonianów stosowanych na skalę przemysłową, gdyż gatunki halofilne rozwiały się w podłożach zawierających milimolowe ilości tych substancji, podczas gdy sinice słodkowodne tolerowały jedynie mikromolowe stężenia [17]. Rezultaty innych eksperymentów dowiodły również, że obecność najpopularniejszego herbicydu – glifozatu (N-fosfonometylenoglicyny), może indukować dynamiczny rozwój kolonii cyanobakterii [18]. W celu pełniejszego poznania procesów biotransformacji przeprowadzanych przez sinice, w badaniach wykorzystano, spektroskopię magnetycznego rezonansu jądrowego – metodę ^{31}P NMR, rozwijając techniki *in vivo* oraz *ex vivo*, których zastosowanie pozwoliło na przestudiowanie procesu biodegradacji glifozatu przez halofilny szczep *Spirulina platensis* [19].

Metody spektroskopowe w badaniach metabolizmu cyanobakterii

Wyniki badań biotransformacji związków fosfonoorganicznych przez cyanobakterie, dostarczają informacji na temat przemian różnych form fosforu, jednakże wpływ tej grupy związków na metabolizm cyanobakterii jest wciąż mało poznany. Tymczasem sinice wykazują zdolność do adaptacji chromatycznej, polegającej na zmianie stosunku barwników fotosyntetycznych w zależności od intensywności i spektrum światła docierającego do komórek [20]. Śledzenie dynamiki tych zmian może służyć do określania zdolności adaptacyjnych sinic do warunków środowiskowych, także w kontekście zmian składu chemicznego. Jest to również jeden z pierwszych wskaźników odpowiedzi metabolicznej cyanobakterii na obecność w ich otoczeniu ksenobiotyków fosfonoorganicznych, gdyż oddziaływaniu tych związków, towarzyszy zazwyczaj stymulowanie lub hamowanie procesu fotosyntezy już na etapie biosyntezy odpowiednich barwników [21]. Rejestrowanie takich zmian polega przede wszystkim na spektrofotometrycznym (UV-Vis) oznaczeniu stężenia barwników asymilacyjnych z grup chlorofilu i karotenoidów. Mimo niewątpliwych zalet tej metody (szybkość, niski koszt, niewielkie wymagania aparaturowe), wyniki tak prowadzonych oznaczeń pozwalają jedynie na określenie zakresu tolerancji cyanobakterii w stosunku do fosfonianów. Zdecydowanie bardziej wiarygodną i znacznie szerszą ocenę wpływu czynników stresogennych na funkcjonowanie sinic umożliwia przeprowadzenie badań metabolomicznych. Szczególnie uzasadnione jest wykorzystanie do tego celu metod i technik spektroskopowych. Jedną z takich metod jest Fourierska absorpcyjna spektroskopia w podczerwieni. Analiza widm FT-IR cyanobakterii niesie wiele interesujących informacji. Na przykład, za pomocą tej metody możliwe jest śledzenie zmian w obszarach spektralnych odpowiadających takim metabolitom sinicowym jak lipidy, barwniki asymilacyjne czy polisacharydy. Co ciekawe, obszary te są również miejscami różnicowania się widm poszczególnych gatunków cyanobakterii, co umożliwia wykorzystanie metody FT-IR jako pomocniczej w oznaczeniach taksonomicznych tej grupy organizmów. Omawiana metoda znajduje zastosowanie także w analizie płynów pochodzących pod kątem zmian jakościowych i ilościowych określonych form fosforu. Zestawienie pozyskanych w ten sposób informacji pozwala na określenie wpływu stresorów na wybrane aspekty metabolizmu cyanobakterii, poprzez stworzenie profilu chemicznego charakteryzującego takie oddziaływanie.

Wytwarzanie nanocząstek metali przez sinice w procesach bioremediacji

Stwierdzone zdolności cyanobakterii do degradowania wiązania C-P w związkach fosfonowych, nie wyczerpują potencjału biotechnologicznego tych mikroorganizmów. Od kilkunastu lat, sinice wzbudzają zainteresowanie jako biosorbenty jonów metali, stanowiąc realną alternatywę dla stosowanych obecnie chemicznych i fizycznych metod oczyszczania ścieków z nadmiernych ilości tych form pierwiastków [22, 23]. Przy obecnym poziomie zaawansowania procesów biotechnologicznych, biomasa cyanobakterii tworzących zakwity zbiorników wodnych nie musi stanowić uciążliwego środowiskowo, trudnego w zagospodarowaniu „naturalnego zanieczyszczenia” [24]. Możliwości dalszego wykorzystania biomasy nie tylko w pewnym stopniu rozwiązują problem jej składowania, ale mogą przynieść korzyści ekonomiczne. Za stosowaniem biomasy sinic jako sorbentów jonów metali przemawiają niskie koszty jej pozyskania, możliwość wielokrotnego użycia, odporność mikroorganizmów na wysokie stężenia pierwiastków metalicznych, mniejsza szkodliwość dla środowiska niż stosowanych metod chemicznych oraz możliwości remediacji metali z zanieczyszczeń, w których pierwiastki te występują w niskich stężeniach [23 ÷ 25]. Szczególnie interesujące jest zagadnienie odzyskiwania metali rozproszonych w biosferze, za pomocą cyanobakterii, które są w stanie kumulować metale w postaci nanocząstek. Przeprowadzone badania wskazują, że sinice reprezentujące wiele rodzajów, np.: *Nostoc*, *Microcystis*, *Spirulina*, *Phormidium*, *Anabaena* i *Synechococcus*, są zdolne do wytwarzania najbardziej popularnych i pożądanych nanocząstek złota i srebra [26, 27]. Wyniki doświadczeń Autorów potwierdzają tę cechę cyanobakterii, sugerując ponadto, że możliwe jest kontrolowanie tych procesów i uzyskiwanie nanocząstek metali o określonych rozmiarach [28]. Poszukiwanie gatunków cyanobakterii zdolnych do biosyntezy cząstek metali w skali nanometrycznej, dobór odpowiednich warunków umożliwiających otrzymywanie produktu o określonej morfologii oraz opracowanie procesów ekstrakcji wytworzonych nanocząstek, mogą doprowadzić do powstania technologii łączącej biosyntezę nanocząstek metali z bioremediacją form jonowych tych pierwiastków ze środowiska.

Cyanobakterie jako biokatalizatory

Omówione wcześniej procesy, wynikające z naturalnych zdolności cyanobakterii do mikrobiologicznej transformacji związków fosfonoorganicznych i jonów metali, bynajmniej nie ograniczają możliwości wykorzystania sinic w biotechnologii. Mikroorganizmy te wydają się być szczególnie predestynowane do zastosowania ich jako skutecznych narzędzi w modyfikacji struktur bioaktywnych, naturalnych i syntetycznych związków organicznych, pod kątem korzystnych zmian ich właściwości fizykochemicznych i aktywności biologicznej. Unikalne cechy cyanobakterii, takie jak: szybki wzrost biomasy, łatwość i niskie koszty prowadzenia hodowli, „elastyczność” metabolizmu, wytwarzanie wielu metabolitów wtórnych wykazujących aktywność biologiczną [28] spowodowały, że w Katedrze Chemii Analitycznej i Ekologicznej podjęte zostały prace nad wykorzystaniem cyanobakterii do biotransformacji zróżnicowanych strukturalnie związków reprezentujących monoterpeny oraz flawonoidy.

Z dostępnej literatury wynika, iż znane są cyanobakterie posiadające zdolność do przemian monoterpenów poprzez ich: epoksydację [30], stereoselektywną hydroksylację [31], utlenianie [32], odwodornienie [33] oraz stereo- i enancjoselektywną redukcję [34, 30]. Natomiast przemiany związków flawonoidowych uzyskano dotychczas jedynie dzięki zastosowaniu różnych gatunków bakterii właściwych oraz grzybów, katalizujących przebieg reakcji: kondensacji, cyklizacji, hydroksylowania, odwodornienia, redukcji lub glikozyłowania [35]. W laboratorium Katedry Chemii Analitycznej i Ekologicznej przeprowadzono transformacje monoterpenów oraz flawonoidów za pomocą zarówno halofilnych, jak i słodkowodnych gatunków sinic. Określono

również wpływ testowanych produktów naturalnych na wzrost cyjanobakterii wykazując, że wrażliwość halofilnych cyjanobakterii wobec wybranych flawonoidów jest cechą gatunkową, natomiast wzrost gatunków słodkowodnych był skutecznie hamowany w obecności milimolowych stężeń tych substancji. Z kolei monoterpenu, testowane w stężeniach milimolowych, w większości przypadków hamowały rozwój i słodkowodnych i halofilnych sinic. W przeprowadzonych eksperymentach rejestrowano dynamikę rozwoju populacji oraz mierzono aktywność metaboliczną mikroorganizmów. Do wyodrębnienia i rozdziału produktów procesów przemian zastosowano różnorodne techniki ekstrakcyjne oraz metody i techniki chromatograficzne, a do określenia charakteru chemicznego tych związków wykorzystano głównie metody spektroskopowe (spektrofotometria UV-VIS, spektroskopia ^1H NMR, spektrometria MS). Pełna identyfikacja struktur powstających produktów pozwoli na określenie charakteru przemian katalizowanych przez cyjanobakterie w kontrolowanych warunkach, a tym samym umożliwi ich wykorzystanie w ukierunkowanej biosyntezie.

Podsumowanie

Sinic (cyjanobakterie), postrzegane są przede wszystkim jako uciążliwe skażenie ekosystemów wodnych będące skutkiem antropogenicznej eutrofizacji tych akwenów. Masowy rozwój tych fotosyntezujących bakterii w obecności licznych połączeń uznanych za skażenia chemiczne oraz pierwiastków biogennych, głównie fosforu, wskazuje na ich wyjątkowe zdolności adaptacyjne związane ze swoistym, „plastycznym” metabolizmem. Wyniki wielu badań prowadzonych w tym kierunku dowiodły, że możliwe jest wykorzystanie sinic jako katalizatorów procesów biotransformacji zarówno związków naturalnych, jak i połączeń syntetycznych, w tym tak stabilnych w środowisku wodnym jak pochodne fosfonoorganiczne. Możliwe jest także wykorzystanie sinic w procesach bioremediacji jonów metali, w których równocześnie wytwarzane są nanocząstki tych pierwiastków. Cechy te, w połączeniu z łatwością hodowli w kontrolowanych warunkach sprawiają, iż cyjanobakterie postrzegane są jako mikroorganizmy o interesującym potencjale biokatalitycznym.

Podziękowania

Przygotowanie publikacji zostało sfinansowane ze środków przekazanych przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu nr UMO-2011/01/B/NZ9/04722. M. Ostrowska, B. Żyszka, D. Drzyzga oraz G. Bazgier są stypendystami projektu „Stypendia doktoranckie – inwestycja w kadrę naukową województwa opolskiego” współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Literatura

- Chorus I., Bartram J.: *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. WHO, F&FN Spon, London, 1999.
- Kobos J., Mazur-Marzec H., Dittmer M., Witek B., Pliński M.: *Toxic cyanobacterial blooms in the Kociewskie lakes (northern Poland)*. *Oceanol Hydrobiol St* 2005, **34**, 3, 77–84.
- Błaszczuk A., Toruńska A., Kobos J., Browarczyk-Matusiak G., Mazur-Marzec: *Ekologia toksycznych sinic*. Kosmos Problemy Nauk Biologicznych 2010, **59**, 1–2, 173–198.
- Wiatkowski M., Czerniawska-Kusza I.: *Use of the preliminary Jedlice Reservoir for water protection in the Turawa Reservoir on the Mała Panew River*. *Oceanol Hydrobiol St, International Journal of Oceanography and Hydrobiology* 2009, **38**, 1, 83–91.
- Rak A.: *Zarządzanie zasobami wodnymi w dorzeczu Odry – VIII konferencji „ODRA 2010”*, Dynamika zmian zawartości fosforu w zbiorniku retencyjnym Turawa. 2010, 281–293.
- Kononova S.V., Nesmeyanova M.A.: *Phosphonates and Their Degradation by Microorganisms*. *Biochemistry* 2002, **67**, 2, 184–195.
- Horiguchi M., Kandatsu M.: *Isolation of 2-aminoethanephosphonic acid from rumen protozoa*. *Nature* 1959, **184**, 901–902.
- Kitteredge J.S., Roberts E., Simonsen D.G.: *Occurrence of free 2AEP in the sea anemone, Anthopleura elegantissima*. *Biochemistry* 1962, **1**, 624–628.
- Hendlin D., Stapley E.O., Jackson M., Wallick H., Miller A.K., Wolf F.J., Miller T.W., Chaiet L., Kahan F.M., Foltz E.L., Woodruff H.B., Mata J.M., Hernandez S., Mochales S.: *Phosphonomycin, a new antibiotic produced by strains of Streptomyces*. *Science* 1969, **166**, 3901, 122–123.
- Nowack B.: *Environmental chemistry of phosphonates*. *Water Res* 2003, **37**, 11 2533–2546.
- May H.B., Nijis H., Godecharles V.: *Phosphonates. Multifunctional ingredients for laundry detergents*. *Household. Pers Prod Ind* 1986, **23**, 50–54.
- Bujacz B., Wieczorek P., Krzysko-Lupicka T., Golab Z., Lejczak B., Kafarski P.: *Organophosphonate utilization by the wild-type strain of Penicillium notatum*. *Appl Environ Microbiol* 1995, **61**, 8, 2905–2910.
- Huang J., Su Z., Xu Y.: *The evolution of microbial phosphonate degradative pathways*. *J Mol Evol* 2005, **61**, 5, 682–690.
- Laliberte G., Lessard P., De La Nou, E.J., Sylvestre S.: *Effect of phosphorus addition on nutrient removal from wastewater with the cyanobacterium Phormidium bohneri*. *Bioresource Technol* 1997, **59**, 227–233.
- Sawayama S., Rao K.K., Hall D.O.: *Nitrate and phosphate ion removal from water by Phormidium laminosum immobilized on hollow fibres in a photobioreactor*. *Appl Microbiol Biot* 1998, **49**, 463–468.
- Forlani G., Pavan M., Gramek M., Kafarski P., Lipok J.: *Biochemical bases for a widespread tolerance of cyanobacteria to the phosphonate herbicide glyphosate*. *Plant Cell Physiol* 2008, **49**, 3, 443–56.
- Forlani G., Bertazzini M., Giberti S., Wieczorek D., Kafarski P., Lipok J.: *Sublethal detergent concentrations increase metabolism of recalcitrant polyphosphonates by the cyanobacterium Spirulina platensis*. *Environ Sci Pollut Res Int* 2013, **20**, 5, 3263–70.
- Lipok J., Studnik H., Gruyaert S.: *The toxicity of Roundups 360 SL formulation and its main constituents: Glyphosate and isopropylamine towards non-target water photoautotrophs*. *Ecotox Environ Safe* 2010, **73**, 1681–1688.
- Lipok J., Owsiak T., Młynarz P., Forlani G., Kafarski P.: *Phosphorus NMR as a tool to study mineralization of organophosphonates – The ability of Spirulina spp. to degrade glyphosate*. *Enzyme Microb Tech* 2007, **41**, 3, 286–291.
- Takaichi S.: *Distributions, biosyntheses and functions of carotenoids in algae*. *Agro Food Ind. Hi. Tech.* 2013, **24**, 1, 55–58.
- Liang C., Zhao F., Wei W., Wen Z., Qin S.: *Carotenoid biosynthesis in cyanobacteria: Structural and evolutionary scenarios based on comparative genomics*. *Int J Biol Sci* 2008, **2**, 4, 197–207.
- Ostrowska M., Lipok J.: *Wytwarzanie nanocząstek metali przez mikroorganizmy*. *Przem. Chem.* 2013, **92**, 5, 847–852.
- Gadd G.M.: *Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment*. *J Chem Technol Biotechnol* 2009, **84**, 1, 13–28.
- Miklaszewska M., Waleron M., Waleron K.: *Biotechnologiczny potencjał cyjanobakterii z rodzaju Arthrospira*. *Biotechnologia* 2008, **3**, 82, 119–142.
- Das N., Vimala R., Karthika P.: *Biosorption of heavy metals – an overview*. *Indian J Biotechnol* 2008, **7**, 2, 159–169.
- Lengke M.F., Sanpawanitchakit C., Southam G.: *Metal nanoparticles in microbiology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011, 36–34.
- Asmathunisha N., Kathiresan K.: *A review on biosynthesis of nanoparticles by marine organisms*. *Colloid Surface B* 2013, **103**, 283–287.
- Ostrowska M., Lipok J., Jarosz A. 56. *Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego i Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego*. Materiały konferencyjne 2013, 448.
- Wang A., Zhang F., Huang L., Yin X., Li H., Wang Q., Zeng Z., Xie T.: *New progress in biocatalysis and biotransformation of flavonoids*. *J Med Plant Res*, 2010, **4**, 847–856.
- Rasoul-Amini S., Fotooh-Abadi E., Ghasemi Y.: *Biotransformation of monoterpenes by immobilized microalgae*. *J. Appl. Phycol.* 2010, **23**, 6, 975–981.
- Hamada H., Kondo Y., Ishihara K., Nakajima N., Hamada H., Kurihara R., Hirata T.: *Stereoselective Biotransformation of Limonene and Limonene Oxide by Cyanobacterium, Synechococcus sp. PCC 7942*. *J. Biosci. Bioeng.* 2003, **96**, 6, 581–584.
- Shimoda K., Kubota N., Hamada H., Kajib M., Hirata T.: *Asymmetric reduction of enones with Synechococcus sp. PCC 7942*. *Tetrahedron Asymmetry* 2004, **15**, 11, 1677–1679.

33. Jiittner F., Hans R.: *The reducing capacities of cyanobacteria for aldehydes and ketones*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 1986, **25**, 1, 52–54.
34. Utsukihara T., Chaia W., Katoa N., Nakamurab K., Horiuchia C.A.: *Reduction of (+)- and (-)-camphorquinones by cyanobacteria*. J. Mol. Catal. B-Enzym. 2004, **31**, 1–3, 19–24.
35. Das S., Rosazza J.P.N.: *Microbial and Enzymatic Transformations of Flavonoids*, J. Nat. Prod. 2006, **69**, 3, 499–508.

Mgr Ewa KASOWSKA-ŻOK, absolwentka Wydziału Chemii Uniwersytetu Opolskiego (2010). Obecnie pracuje w Katedrze Chemii Analitycznej i Ekologicznej przy realizacji projektu NCN „Biodegradacja ksenobiotyków aminofosfonowych przez cyjanobakterie”; UMO-2011/01/B/NZ9/04722.
e-mail: Ewa.Kasowska@uni.opole.pl, tel. 77 4527115

Mgr Monika OSTROWSKA, absolwentka Wydziału Chemii Uniwersytetu Opolskiego (2011), słuchaczka Środowiskowego Studium Doktoranckiego Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej i Wydziału Chemii Uniwersytetu Opolskiego. Zainteresowania naukowe: oddziaływania pomiędzy mikroorganizmami, a jonami metali przejściowych. Jest współautorką 1 publikacji, 1 rozdziału w monografii oraz 4 wystąpień konferencyjnych.
e-mail: Monika.Ostrowska@pwr.wroc.pl, tel. 77 4527115

Mgr Hanna STUDNIK, absolwentka Wydziału Chemii Uniwersytetu Opolskiego (2009), słuchaczka Środowiskowego Studium Doktoranckiego Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej i Wydziału Chemii Uniwersytetu Opolskiego. Współautorka 2 publikacji oraz 18 wystąpień konferencyjnych dotyczących możliwości wykorzystania cyjanobakterii do biotransformacji aminofosfonianów.
e-mail: hanna.studnik@pwr.wroc.pl, tel. 77 4527115

Mgr inż. Lucyna BALCERZAK, absolwentka Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej (2011), słuchaczka Środowiskowego Studium Doktoranckiego Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej i Wydziału Chemii Uniwersytetu Opolskiego, doktorantka Zakładu Chemii Bioorganicznej WCh PWr oraz Katedry Chemii Analitycznej i Ekologicznej WCh UO. Zainteresowania naukowe to zastosowanie cyjanobakterii do biotransformacji produktów naturalnych oraz badanie wpływu wybranych monoterpenów na wzrost tych mikroorganizmów. Współautorka 2. publikacji, 8. wystąpień konferencyjnych, 1. zgłoszenia oraz 2. patentów RP.
e-mail: lucyna.balcerzak@pwr.wroc.pl, tel. 77 4527115; 71 3202010

Mgr Beata ŻYSZKA, absolwentka Wydziału Chemii Uniwersytetu Opolskiego (2013). Obecnie, jako słuchaczka Środowiskowego Studium Doktoranckiego Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej i Wydziału Chemii Uniwersytetu Opolskiego, jest doktorantką w Katedrze Chemii Analitycznej i Ekologicznej Wydziału Chemii Uniwersytetu Opolskiego. Zainteresowania naukowe: biotransformacje flawonoidów przez cyjanobakterie. Jest współautorką 2. wystąpień konferencyjnych.
e-mail: beata.zyszka@pwr.wroc.pl, tel. 77 4527115

Mgr Damian DRZYŻGA, absolwent Wydziału Chemii Uniwersytetu Opolskiego (2012), słuchacz Środowiskowego Studium Doktoranckiego Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej i Uniwersytetu Opolskiego, doktorant w Katedrze Chemii Analitycznej i Ekologicznej WCh UO. Zainteresowania naukowe: analiza procesów biotransformacji związków fosfonowych przez cyjanobakterie. Jest współautorem 1 rozdziału w monografii oraz 9. wystąpień konferencyjnych na konferencjach krajowych i zagranicznych.
e-mail: damian.drzyzga@pwr.wroc.pl, tel. 77 4527115

Mgr inż. Grzegorz BAZGIER, absolwent Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej (2012). Obecnie słuchacz Środowiskowego Studium Doktoranckiego Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej i Wydziału Chemii Uniwersytetu Opolskiego, doktorant w Katedrze Chemii Analitycznej i Ekologicznej WCh UO. Zainteresowania naukowe: wykorzystanie metod spektroskopowych w badaniach zmian w metabolizmie cyjanobakterii, wywołanych przez stresory chemiczne. Jest współautorem 1 rozdziału w monografii oraz 4 wystąpień konferencyjnych.
e-mail: gbazgier@uni.opole.pl, tel. 77 4527115

Prof. dr hab. inż. Paweł KAFARSKI, profesor Politechniki Wrocławskiej i Uniwersytetu Opolskiego. Pełnił i pełni wiele funkcji akademickich spośród, których szczególnie ważną była prezesa Polskiego Towarzystwa Chemicznego. Jest on współautorem ponad 300 publikacji, które są cytowane ponad 3590 razy w literaturze naukowej. Jego zainteresowania naukowe to projektowanie, synteza i badanie aktywności inhibitorów wybranych enzymów o znaczeniu agrochemicznym i medycznym, zastosowanie biokatalizy w chemii organicznej oraz synteza i badanie aktywności biologicznej aminofosfonianów i ich pochodnych. Spośród uzyskanych wyróżnień najwyższą ceną medal Jana Hanusa nadany przez Czeskie Towarzystwo Chemiczne i medal Włodzimierza Trzebiatowskiego przyznany przez Senat Politechniki Wrocławskiej. Jest on szczególnie wdzięczny dwóm swoim nauczycielom – dr Zbigniewowi Czarnuchowi (nauczyciel historii w liceum) oraz prof. Przemysławowi Mastalerzowi (mentor akademicki) za to, że ukształtowali jego sylwetkę.
e-mail: pawel.kafarski@uni.opole.pl, tel. 77 4527115

* Dr hab. Jacek LIPOK, profesor Uniwersytetu Opolskiego, członek Prezydium Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Chemicznego. Autor i współautor blisko 50 publikacji i raportów, ponad 100 wystąpień konferencyjnych oraz 1 patentu RP. Jego zainteresowania naukowe, to wyjaśnienie roli związków chemicznych wykazujących aktywność biologiczną w ekosystemach, ocena zdolności wybranych organizmów i ich konsorcjów do biotransformacji ksenobiotyków i związków naturalnych oraz wykorzystanie metod spektroskopowych w badaniach przemian związków chemicznych, indukowanych obecnością organizmów.
e-mail: jacek.lipok@uni.opole.pl, tel. 77 4527115