

Anna NAPONA, Anna GROBELAK

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii
Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa

Wpływ osadów ściekowych na aktywność mikrobiologiczną i biochemiczną gleby

Niniejsza publikacja zawiera podsumowanie aktualnego stanu wiedzy na temat kształtowania się liczebności wybranych grup fizjologicznych drobnoustrojów (bakterii celulolitycznych, proteolitycznych, nityfikacyjnych czy grzybów) i zmian mikrobiocenotycznych w składzie mikroorganizmów glebowych oraz procesów mikrobiologicznych zachodzących w środowisku glebowym i w ryzosferze roślin po zastosowaniu osadów ściekowych jako nawozu. Omówiono tu zarówno korzystny, jak i negatywny wpływ osadów ściekowych na skład chemiczny gleby oraz na aktywność mikroorganizmów glebowych. Przytoczone publikacje potwierdziły, iż do nawożenia gleby najkorzystniejsze są osady pochodzące z przemysłu rolno-spożywczego, ponieważ stopień ich zanieczyszczenia substancjami toksycznymi jest niewielki. Zastosowanie osadów wpłynęło na zwiększenie zawartości węgla organicznego, azotu ogólnego oraz przyswajalnych form fosforu i potasu. Skutkiem tego były wyższa aktywność biologiczna gleby i wzrost liczebności bakterii (oligo-, makrotroficznymi), promieniowców i grzybów (nitkowatych, celulolitycznych) oraz wzrost aktywności procesów mikrobiologicznych, takich jak: amonifikacja, nityfikacja i denityfikacja. W pierwszych tygodniach nawożenia gleby zaobserwowano niekorzystne zmiany w strukturze mikroorganizmów, pochodzących z zastosowanych osadów, w skład których weszły patogenne wirusy, bakterie (*Salmonella*, *Shigella*) oraz grzyby (*Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*). Wraz z upływem czasu mikroorganizmy wprowadzone z odpadami zostały wyparte przez rodzime mikroorganizmy glebowe. Wyniki stymulującego wpływu osadów utrzymały się przez dłuższy czas, najmniej zaobserwowano je dla gleby w warstwie aplikacji osadów ściekowych.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, aktywność mikrobiologiczna i biochemiczna gleby

Wprowadzenie

Osady ściekowe są nieuniknioną konsekwencją oczyszczania ścieków, w ostatnich latach obserwuje się systematyczny wzrost ich ilości [1]. W Polsce w 2012 roku wytworzono 951,9 tys. ton suchej masy osadów [2]. Od 1 stycznia 2013 r. ograniczone jest składowanie osadów ściekowych, co wynika z Rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu [1]. Coraz istotniejszym problemem staje się więc ostateczne zagospodarowanie i utylizacja osadów ściekowych. Spośród znanych metod końcowego unieszkodliwiania osadów ściekowych bardzo racjonalne wydaje się ich wykorzystanie do użyźniania i rekultywacji gleb słabych biologicznie i zdegradowanych [3]. Odpowiedni przerób osadów ściekowych,

a następnie ich właściwe wykorzystanie, jest procesem technologicznie złożonym, tym bardziej, że trzeba uwzględnić aspekty prawne dotyczące ochrony środowiska, m.in. ustawę z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, która ogranicza wykorzystywanie osadów ściekowych jako nawozu bez odpowiedniego przygotowania [1].

Osady przeznaczone do wykorzystania nieprzemysłowego powinny spełniać wymagania dotyczące ich stanu sanitarnego (zawartość czynników chorobotwórczych: grzybów i bakterii, jaj pasożytów i wirusów) oraz chemicznego (m.in. zawartość metali ciężkich) ze względu na ich toksyczne oddziaływanie na organizmy żywe i możliwość bioakumulacji [4-6]. Z tego względu najbardziej racjonalne wydaje się wykorzystanie osadów ściekowych pochodzących z przemysłu spożywczego. W osadach tych zawartość wymienionych substancji i niepożądanych mikroorganizmów jest na ogół niższa od normatywnych wyników dla osadów z innych źródeł [7-9].

Mimo występujących zagrożeń związanych z wprowadzaniem do gleby osadów ściekowych istnieje też wiele pozytywnych aspektów ich zastosowania. Osady ściekowe oraz produkty ich mikrobiologicznych przemian wpływają korzystnie na fizyczne, chemiczne i biologiczne właściwości gleb [10]. Ich przyrodnicze zastosowanie łagodzi problem wysokich kosztów nawożenia mineralnego. Zawarte w osadach ściekowych makro- i mikroskładniki są dobrze przyswajalne przez rośliny, a nagromadzona w nich pełnowartościowa materia organiczna przyczynia się do poprawy bilansu związków próchnicznych [3].

Jednym z ciekawych aspektów zastosowania osadów ściekowych są zmiany w strukturze mikroorganizmów glebowych. Związki organiczne i mineralne wprowadzane do gleby wraz z osadami ściekowymi mają istotny wpływ na liczebność mikroorganizmów oraz przemiany przy udziale enzymów, których aktywność ulega zmianie w glebach poddanych działaniu tych odpadów [10, 11]. Wiele źródeł literaturowych [6, 7, 12, 13] dowodzi, że dodatek osadów ściekowych o niskich zawartościach metali ciężkich ($Cd > 0,487$ mg/kg s.m., $Pb > 17$ mg/kg s.m.) korzystnie wpływa zarówno na przyrost biomasy, jak i liczebność mikroorganizmów glebowych. Dlatego ważnym zagadnieniem staje się określanie zmian zachodzących w liczebności drobnoustrojów, aktywności enzymatycznej gleby oraz intensywności procesów związanych z obiegiem węgla i azotu po dodaniu osadów ściekowych i określenie ich wpływu na żyzność gleby [3, 6].

1. Mikrobiologiczne i sanitarne ograniczenia przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych

Osady ściekowe ze względu na skład fizykochemiczny, a szczególnie wysoką zawartość substancji organicznej, zasiedlane są przez mikrofaunę i mikroorganizmy, tworząc swoistą biocenozę [14]. Dlatego odpowiednie zagospodarowanie osadów ściekowych stanowi ważny problem natury higienicznej. Sanitarne właściwości osadów ściekowych mają zmienny charakter i są kształtowane przez wiele

czynników, m.in.: rodzaj oczyszczalni ścieków, czynników klimatycznych oraz stosowane metody przeróbki osadów [4].

Barierę w zagospodarowaniu osadów ściekowych stanowią organizmy patogene, takie jak: bakterie chorobotwórcze z rodzaju *Enterobacteriaceae* (*Salmonella*, *Shigella*), grzyby, szczególnie zaliczane do tzw. dermatofitów, czyli wywołujących u człowieka zakażenia skóry, włosów i paznokci oraz wirusy i jaja pasożytów przewodu pokarmowego ludzi i zwierząt [15].

Wiele prac naukowych wskazuje, iż znaczną część zanieczyszczeń mikrobiologicznych stanowią bakterie patogeniczne [14, 16-18]. Badania, które przeprowadzili Loc i Greinert [16] wykazały obecność licznych mikroorganizmów chorobotwórczych w osadach ściekowych. W osadach ściekowych wykryto duży rezerwuuar bakterii należących do gatunku: *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus anthracis*, *Listeria monocytogenes*, *Vibrio cholerae*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Streptococcus faecalis*, *Proteus vulgaris* oraz rodzaju: *Salmonella* sp., *Shigella* sp. Mikroorganizmy te, po przedostaniu się do gruntu, mogą doprowadzić do skażenia ujęć wody i stać się realnym zagrożeniem dla zdrowia i życia zwierząt oraz ludzi [15-17]. Ograniczeniem w stosowaniu osadów ściekowych jest też występowanie grzybów patogenicznych. Według Bienia [4], osady ściekowe są siedliskiem grzybów potencjalnie chorobotwórczych i toksynotwórczych. Kontakt z grzybami potencjalnie chorobotwórczymi może doprowadzać do pojawienia się wielu chorób alergicznych, np. grzyby pleśniowe mogą powodować tzw. aspergilozy, najczęściej związane z układem oddechowym. Ponadto, wyizolowane z osadów ściekowych gatunki dermatofitów to grzyby patogene, a wywoływane przez nie schorzenia skóry są bardzo powszechne dzięki łatwości, z jaką przenoszą się z człowieka na człowieka. W osadach często można spotkać drożdżaki z rodzaju *Candida*, które w przypadku osłabionej odporności mogą wywołać ciężkie schorzenia błony śluzowej i narządów wewnętrznych, tzw. kandydozy. Do wyizolowanych z osadów ściekowych grzybów saprofitycznych, mających zdolności toksynotwórcze, należą też liczne szczepy grzybów pleśniowych, które wytwarzają aflatoksyny (*Aspergillus flavus* i *A. fumigatus*) oraz grzyby produkujące ochratoksyny (*A. ochraceus*), trichoteceny i zearalenon [3, 4].

Ważne zagrożenie natury sanitarnej stanowią też wirusy zawarte w osadach [3]. Największe zagrożenie stwarzają wirusy należące do grupy enterowirusów, które charakteryzują się znaczną odpornością na działanie środków dezynfekcyjnych oraz posiadają długą zdolność infekcyjną w środowisku [4, 15]. Do tej grupy można zaliczyć wirusy *Polio*, powodujące chorobę Heinego-Medina, wirusy *Coxsackie* oraz wirusy *Echo*, wywołujące zapalenie mięśnia sercowego, mózgu, mięśni, zakażenia jelitowe oraz choroby gorączkowe [15]. Trzeba pamiętać, iż ilościowe określenie liczby wirusów bytujących w osadach ściekowych, jak również dokładne ich poznanie jest ograniczone ze względu na trudności związane z ich izolowaniem i oznaczaniem [4].

Obok wskaźników mikrobiologicznych istotnym kryterium dopuszczającym osady do przyrodniczego zagospodarowania jest obecność w nich pasożytów przewodu pokarmowego i ich jaj [15]. Wśród występujących w osadach ściekowych

pasożytów przewodu pokarmowego znaczenie epidemiologiczne mają przede wszystkim tasiemce, nicienie i przywry [3, 4]. Stanowią one istotne zagrożenie dla człowieka, ponieważ wykazują szczególną odporność nawet w bardzo trudnych warunkach środowiskowych i charakteryzują się dużą żywotnością [3].

W przypadku przyrodniczego wykorzystania osadów bardzo ważna jest więc znajomość czasu przeżywalności patogenów oraz prawidłowe, z punktu widzenia zagadnień sanitarno-higienicznych, unieszkodliwianie osadów przed wykorzystaniem ich do produkcji rolniczej lub rekultywacji terenów zdegradowanych [14, 18].

2. Aktywność mikrobiologiczna gleb nawożonych osadami ściekowymi

Żyzność gleby jest opisywana jako stan środowiska, w którym następuje dobry rozwój i plonowanie roślin. Ocena żyzności gleb w oparciu jedynie o ich właściwości fizyczne i chemiczne jest niepełna. Uwzględnienie wskaźników mikrobiologicznych w analizie środowiska glebowego pozwala odzwierciedlić ekologiczny stan gleb, jej aktywność biologiczną oraz żyzność i urodzajność. Parametry biologiczne, tj. aktywność oddechowa, enzymatyczna, są ponadto bardziej czułe i lepiej opisują stan środowiska glebowego niż właściwości fizykochemiczne, ponieważ są one bezpośrednio związane z mikroorganizmami przeprowadzającymi te procesy [3].

Wskaźniki mikrobiologiczne określają obecność pewnych grup drobnoustrojów o znanych wymaganiach ekologicznych, np. bakterii nitryfikacyjnych czy celulolitycznych. Wskaźniki te definiują też procesy metaboliczne drobnoustrojów, tj. intensywność nitryfikacji, amonifikacji, rozkład błonnika, aktywność enzymatyczną oraz wytwarzanie przez drobnoustroje specyficznych metabolitów czy wydzielanie CO₂ [19]. Stopień rozwoju drobnoustrojów w glebie zależy od jej właściwości fizycznych i chemicznych, nawożenia, warunków klimatycznych oraz czynników agrotechnicznych, a zwłaszcza od zasobności w materię organiczną, która jest źródłem energii i składników pokarmowych dla mikroorganizmów [3].

Mikroorganizmy glebowe, przekształcając ogromne ilości związków organicznych i mineralnych, wzbogacają glebę w azot, substancje biologicznie czynne, wzrostowe i antybiotyczne [19]. Jak wynika z badań Joniec i Furczak [18], mikroorganizmy występujące w osadach nie zasiedlają środowiska glebowego i w krótkim czasie po dodaniu osadów do gleby większość z nich obumiera i staje się dodatkowym źródłem materii organicznej [3, 18, 20].

Badania wielu autorów [11, 18, 21, 22] potwierdzają pozytywny wpływ osadów ściekowych na rozwój rodzimych bakterii glebowych. Wzrost ilości bakterii, głównie oligo- i makrotroficznych, oraz grzybów nitkowatych i celulolitycznych obserwuje się najwidoczniej w warstwie bezpośredniej aplikacji osadów [18]. Badania innych autorów [23, 24] wykazały, że liczebność bakterii i grzybów glebowych jest w istotny sposób związana z poziomem węgla organicznego oraz stosunkiem C:N, występującym w glebie po wprowadzeniu osadów ściekowych [23, 24]. Augustynowicz i inni [9] również stwierdzili, że dodatek osadów ściekowych do gleby wy-

rażnie zwiększał liczebność bakterii, promieniowców i grzybów [9]. W niektórych badaniach [22] zaobserwowano istotny proporcjonalny wzrost liczebności badanych mikroorganizmów wraz z rosnącą dawką osadów, a wprowadzona materia organiczna miała też bezpośredni wpływ na wzrost i plonowanie roślin oraz poprawę fizycznego, chemicznego i mikrobiologicznego stanu gleby. Efekt ten należy tłumaczyć wzbogaceniem gleby w substancję organiczną, m.in. azot oraz składniki mineralne, które przyczyniają się do polepszenia warunków wzrostu roślin [19]. W literaturze przedmiotu znaleźć można również doniesienia, iż aplikacja osadów do gleby wpływa nie tylko na wzrost populacji bakterii, ale także i grzybów. Nowak i inni [11] wykazali w swych badaniach, że osady ściekowe zwiększają w glebach populację grzybów, takich jak: *Penicillium*, *Verlicillium*, *Mucor*, *Mortierella*, *Fusarium*, *Geotrichum* i *Trichoderma* (znany antagonistą wielu patogenów roślinnych). Do wzrostu poziomu liczebności drobnoustrojów, a zwłaszcza bakterii, mogły przyczynić się również inne, korzystne, zmiany w środowisku ich bytowania, tj. podwyższenie wartości pH i wilgotności oraz poprawa warunków powietrznowodnych [3]. Do monitorowania składu mikrobiologicznego przydatne mogą być również nowoczesne metody molekularne, szczególnie w badaniach materiału składającego się z bakterii o zbliżonych cechach fenotypowych. Do metod tych zalicza się: FISH (fluorescencyjna hybrydyzacja in situ), która polega na hybrydyzacji sondy molekularnej, posiadającej znaną sekwencję genów znakowanych fluorescencyjnie z fragmentem genomu mikroorganizmów. Używając tej metody, można zidentyfikować szczepy patogenne dla ludzi, zwierząt i roślin oraz oznaczyć ich skład jakościowy i ilościowy. Kolejną metodą jest PCR (Polymerase Chain Reaction). Polega ona na łańcuchowej reakcji polimerazy DNA i powielaniu łańcuchów DNA. Za pomocą PCR można określić zmiany ilościowe i jakościowe populacji mikroorganizmów oraz liczebność określonych grup fizjologicznych, np. bakterii nityfikacyjnych [1].

3. Aktywność biochemiczna gleb nawożonych osadami ściekowymi

Pobudzeniu rozwoju mikroorganizmów towarzyszy również stymulacja aktywności biochemicznej gleby. Wprowadzenie osadów do gleby powoduje wyraźne zmiany aktywności enzymatycznej, a ich kierunek oraz natężenie zależy od rodzaju stosowanych odpadów, ich dawki oraz badanego enzymu [3, 25, 26]. W badaniach przeprowadzonych przez Kucharskiego i innych [27] wykazano, iż na aktywność enzymatyczną gleb po zastosowaniu osadów ściekowych ma wpływ poziom zawartych w osadach związków mineralnych i organicznych. Ważna jest też zawartość węgla organicznego w glebie i osadzie. Badania Kucharskiego i innych [27] wykazały, że aktywność enzymatyczna gleby nawożonej osadami ściekowymi związana jest z poziomem zanieczyszczeń mineralnych (metale ciężkie) i organicznych (WWA, PCB). Skażenie gleby metalami ciężkimi poprzez wprowadzenie zanieczyszczonych osadów ściekowych jest więc przyczyną obniżenia jej aktywności enzymatycznej [26, 27].

Za pośredni wskaźnik liczebności i aktywności mikroorganizmów w glebie uznawana jest aktywność dehydrogenaz. Są to enzymy katalizujące przenoszenie wodoru z utlenionego substratu na akceptor, a ich działanie jest obserwowane wyłącznie w żywych komórkach. Aktywność tych enzymów rośnie wraz ze wzrostem wprowadzanej do gleby substancji organicznej, np. osadów ściekowych, wpływając na intensywność procesów jej mineralizacji [3]. Pascual i inni [28] i Vieira i inni [29] w swych badaniach wykazali pozytywny wpływ osadów ściekowych na aktywność dehydrogenaz, wskazując też na występowanie istotnej dodatniej korelacji pomiędzy wysokością dawki tych odpadów a aktywnością enzymatyczną [28, 29]. W badaniach Garcia-Gil i inni [30] wykazali istotną korelację pomiędzy aktywnością dehydrogenaz i biomasą mikroorganizmów glebowych [30].

Niezbędnym składnikiem zarówno dla mikroorganizmów, jak i roślin jest azot. Rezerwuuar tego pierwiastka w glebie jest zmienny i zależy w znacznym stopniu od wprowadzonych substratów organicznych i mineralnych oraz od udziału mikroorganizmów, biorących udział w jego przemianach [3]. Informacji o intensywności procesów rozkładu azotowych związków organicznych może dostarczyć aktywność proteaz i ureazy. Ros i inni [31] wskazują w badaniach, że aktywność enzymów uczestniczących w obiegu C, N i P wzrasta po wprowadzeniu do gleby osadów ściekowych. Wyniki te pokazują, iż osady ściekowe wykorzystywane jako materia organiczna poprawiają jakość gleb zdegradowanych [31].

Po wprowadzeniu do gleby tego rodzaju odpadów zostaje pobudzona aktywność mikrobiologiczna i biochemiczna podłoża, wzrasta aktywność proteaz i ureazy, enzymów, które są zaangażowane w mineralizację azotowej substancji organicznej dodanej do gleby. Mineralizacja biodegradowalnej frakcji osadów ściekowych pokazuje, iż mogą one być źródłem energii dla mikroorganizmów glebowych [32].

Do oceny potencjalnego tempa mineralizacji organicznych połączeń azotu w glebie wykorzystywane są proteazy. Aktywność tych białek w glebie jest wskaźnikiem aktywności drobnoustrojów. Wyniki badań Bielińskiej i Żukowskiej [33] pokazały, że wprowadzenie do gleby osadów ściekowych wpływa korzystnie na zmiany biochemicznej aktywności proteaz i ureazy, co świadczy o poprawie jej żyzności [33]. Z badań Garcia-Gil i innych [32] oraz Jezierskiej-Tys i Frąc [3] wynika, że wprowadzenie do gleby osadów ściekowych wpływa stymulująco na aktywność proteolityczną [32, 34]. Ureaza to enzym odpowiadający za katalizę hydrolizy mocznika do CO_2 i NH_4 . Enzym ten występuje w komórkach wielu roślin wyższych oraz mikroorganizmów, szczególnie bakterii. Badania Kizilkaya i Bayrakli [36] oraz Fernandes i innych [37] wykazały istotny wzrost aktywności ureazy wraz ze wzrostem dawki osadów ściekowych [36, 37]. Fernandes i inni [37] wykazali, że aktywność ureolityczna zmniejsza się wraz z głębokością gleby nawożonej osadami ściekowymi [37].

Przedstawione wyniki badań aktywności enzymatycznych mogą być wskaźnikami stanu ekologicznego gleby, ponieważ dostarczają informacji o biochemicznych procesach przebiegających w podłożu [36]. W celu całościowego przedstawienia obrazu stanu gleby badania należy prowadzić w oparciu o kilka wybranych enzymów łącznie [3].

Osady ściekowe są bogatym źródłem azotu, w związku z czym ich wykorzystanie jako nawozu wpływa na mikrobiologiczne przemiany azotu glebowego i związaną z tym liczebność bakterii amonifikacyjnych, nityfikacyjnych i denitryfikacyjnych. Amonifikacja i nityfikacja są procesami, które informują o przemianach azotu glebowego [3, 38]. Procesy te uznawane są za wskaźniki aktywności biologicznej gleby i mogą być wykorzystywane do określania wpływu różnych czynników na stan biologiczny środowiska glebowego. Amonifikacja jest procesem polegającym na degradacji azotu organicznego pod wpływem drobnoustrojów, podczas którego następuje uwalnianie jonów amonowych. Proces ten zachodzi przy udziale enzymów produkowanych głównie przez mikroorganizmy heterotroficzne, zwane amonifikatorami [3, 39]. Natomiast nityfikacja jest procesem biochemicznym, polegającym na utlenianiu NH_4^+ do NO_2^- i w drugim etapie do NO_3^- . Proces ten przeprowadzany jest głównie przez enzymy wydzielane przez mikroorganizmy chemoautotroficzne, które czerpią energię z utleniania amoniaku lub azotanów (III) i zwane są nityfikatorami. Są to bakterie wrażliwe na zmiany właściwości fizycznych i chemicznych środowiska, w którym występują. Z tego powodu działalność tej grupy bakterii jest uważana za dobry wskaźnik biologicznej degradacji gleby, jak również poprawy jej właściwości pod wpływem różnych czynników rekultywacyjnych. Aktywność biologiczną gleb można poprawić, dodając do nich np. osady ściekowe, komposty lub inne materiały odpadowe pochodzenia organicznego [3].

Niekerk i Claassens [40] badali intensywności procesu amonifikacji i nityfikacji w glebach nawożonych osadami ściekowymi. Z badań tych wynika, że zastosowanie tego rodzaju odpadu wpływa pozytywnie także na intensywność wymienionych procesów. Ponadto, intensywność procesu amonifikacji maleje wraz z upływem czasu inkubacji gleby, natomiast natężenie procesu nityfikacji rośnie [40]. Hernandez i inni [41] zaobserwowali istotne różnice w nasileniu mineralizacji azotu w zależności od typu gleby nawożonej osadami ściekowymi [41].

Liczebność bakterii amonifikacyjnych i nityfikacyjnych może dostarczyć informacji o procesach przez nie przeprowadzanych, chociaż nie zawsze istnieje korelacja między liczebnością tych drobnoustrojów a intensywnością procesu amonifikacji czy nityfikacji, co stwierdzili Jezierska-Tys. i inni [42].

4. Długookresowe zmiany biologicznych właściwości gleb nawożonych osadami ściekowymi

Istotny problem stanowi ocena długookresowego oddziaływania osadów ściekowych na różnorodność funkcjonalną zbiorowisk mikroorganizmów środowiska glebowego [43]. Wyniki otrzymane przez Joniec i Furczak [18] wykazały, że pozytywne oddziaływanie osadów ściekowych nie jest krótkotrwałe. Wprowadzona do gleby materia organiczna ulega przy udziale drobnoustrojów stopniowemu przetworzeniu do form przyswajalnych dla roślin, co znajduje odzwierciedlenie we wzroście plonu roślin [18]. Warto podkreślić, że w procesach tych główną rolę odgrywają rodzime drobnoustroje glebowe. Po zastosowaniu osadów ściekowych następuje natomiast wzrost liczby rodzimych bakterii oligo- i makrotroficznych

oraz grzybów nitkowatych w warstwie bezpośredniej aplikacji osadów ściekowych do gleby i utrzymuje się nawet po 2 latach. Dodatkowo oddziaływanie osadów na wymienione grupy mikroorganizmów nasila się na ogół wraz ze wzrostem dawki osadów [18, 44].

Długoterminowa stymulacja rozwoju bakterii oligo- i makrotroficznycych oraz grzybów nitkowatych po zastosowaniu osadów ściekowych jest wywołana dostarczeniem dużej ilości materii organicznej, która z czasem uległa rozkładowi i staje się źródłem składników pokarmowych [18]. Potwierdzają to badania Żukowskiej i innych [45], wskazujące na utrzymywanie się istotnego wzrostu zawartości węgla organicznego i azotu ogólnego w glebie nawożonej osadami ściekowymi po okresie 2 lat.

Przedstawione wyniki porównać można z danymi uzyskanymi po 3 latach od zastosowania osadów do nawożenia gleb. Wyniki otrzymane przez Joniec i Furczak [18] wskazują, że w trzecim roku stymulacja przez osady rozwoju bakterii oligo- i makrotroficznycych była słabsza niż w pierwszym i silniejsza niż w drugim roku trwania doświadczenia. Natomiast pobudzenie przez osady rozwoju grzybów nitkowatych było większe niż w latach poprzednich. W odniesieniu do bakterii celulozotycznych stymulujący wpływ osadów uwidocznił się słabiej niż w pierwszym roku, ale silniej niż w drugim roku trwania doświadczenia [46]. Stymulacja rozwoju bakterii i grzybów celulozotycznych była spowodowana utrzymywaniem się w glebie zwiększonej zawartości celulozy (wprowadzonej wraz z tym dodatkiem do gleby), a także dostającej się do gleby wraz z resztkami uprawianych roślin, dla których obserwowano wzrost plonu [18]. Na stymulację grzybów celulozotycznych miało też wpływ podwyższenie poziomu fosforu w analizowanej glebie po zastosowaniu osadów. Potwierdzają to badania Kornilowicz-Kowalskiej i innych [47], które wykazały dodatnie korelacje pomiędzy tym parametrem chemicznym a omawianą grupą grzybów [47].

Po trzech latach od zastosowania osadów odnotowuje się także istotny wzrost liczby bakterii i grzybów proteolitycznych w wierzchniej warstwie gleby. Jak pokazują badania Joniec i Furczak [18], pobudzenie rozwoju bakterii i grzybów rozkładających białko było w trzecim roku oddziaływania osadów na glebę nawet silniejsze niż w latach poprzednich. Warto podkreślić, że dodatni wpływ osadów w tym przypadku pojawił się dopiero w drugim roku badań [46]. Wzrastające wraz z upływem czasu pobudzenie przez aplikację osadów rozwoju bakterii i grzybów rozkładających białko jest spowodowane zapewne tym, iż białka zawarte w osadach są trudno rozkładalne, na co zwrócono uwagę w badaniach Hattori i Mukai [48].

Co ciekawe, badania które przeprowadziły Joniec i Furczak [18] wykazały, że po 3 latach od aplikacji osadów ściekowych wzrost liczebności drobnoustrojów ujawnił się zdecydowanie słabiej w warstwie bezpośredniej aplikacji osadów ściekowych niż w warstwie gleby położonej głębiej (20÷40 cm). Taka stymulacja jest zapewne spowodowana przenikaniem pewnej ilości składników pokarmowych wniesionych wraz z osadami w głąb profilu glebowego [46].

Obserwowanej długoterminowej stymulacji rozwoju poszczególnych grup drobnoustrojów towarzyszy pobudzenie ich aktywności biochemicznej, tj. oddycha-

nia, procesu mineralizacji celulozy, nityfikacji oraz aktywności dehydrogenaz i proteazy [18, 46].

Podsumowanie

Przedstawiony przegląd literatury dotyczy wpływu dodatku osadów ściekowych na właściwości biologiczne gleb. Na aktywność mikroorganizmów w środowisku glebowym ma wpływ wiele czynników. Ograniczenie lub pobudzenie aktywności drobnoustrojów jest ściśle związane z dostępnością materii organicznej. Z liczebnością mikroorganizmów związana jest intensywność procesów biologicznych, które kształtują żyzność gleby. Przemiany mikrobiologiczne polegają głównie na transformacji materii organicznej wniesionej do gleby między innymi z osadem ściekowym. Mikroorganizmy glebowe odgrywają ważną rolę w produktywności i wzroście roślin, ponieważ są odpowiedzialne za obieg pierwiastków biogennych w biosferze.

Osady ściekowe po wprowadzeniu do gleby stają się źródłem dostępnego węgla organicznego i makroelementów, dzięki czemu stymulują rozwój mikroorganizmów i aktywność enzymatyczną. Zastosowanie osadów ściekowych niesie za sobą jednak zagrożenie skażenia mikrobiologicznego. Dotychczasowe obserwacje pokazują jednak, że większość organizmów chorobotwórczych nie rozmnaża się w osadzie i stopniowo ginie po dodaniu osadów do gleby.

Podziękowania

Źródło finansowania: Projekt BIOTENAMRE POL NOR/201734/76 realizowany w ramach Programu Polsko-Norweska Współpraca Badawcza.

Autorka otrzymała stypendium w ramach projektu DoktoRIS - Program stypendialny na rzecz innowacyjnego Śląska, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego; annanapora@interia.pl

Literatura

- [1] Błaszczyk K., Krzyśko-Lupicka T., Przegląd metod badania osadów ściekowych stosowanych w Polsce, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2014, 17, 1, 117-133.
- [2] Ochrona Środowiska 2013, Informacje i Opracowania Statystyczne, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2013.
- [3] Jezierska-Tys S., Frąc M., Badanie nad wpływem osadu z oczyszczalni ścieków mleczarskich na aktywność mikrobiologiczną i biochemiczną gleby, *Rozprawy i monografie, Acta Agrophysica* 2008, 3, 14-25.
- [4] Bień J., *Osady ściekowe. Teoria i praktyka*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2002.
- [5] Kacprzak M., Grobelak A., Grosser A., Napora A., The potential of biosolid application for the phytostabilisation of metals, *Desalination and Water Treatment* 2014, 1-10.

- [6] Grobelak A., Kacprzak M., Grosser A., Napora A., Chemofitostabilizacja gleby zanieczyszczonej kadmem, cynkiem i ołowiem, *Rocznik Ochrona Środowiska* 2013, 15, 1982-2002.
- [7] Placek A., Grobelak A., Grosser A., Napora A., Kacprzak M., Landspreading of sewage sludge from the food industry in the process of remediation of contaminated sites, *Proceedings SUM, Second Symposium on Urban Mining Bergamo, CISA Publisher, Italy* 2014, 19-21.
- [8] Bień J., Neczaj E., Worwąg M., Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M., Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2011, 14, 4, 375-384.
- [9] Augustynowicz J., Pietkiewicz S., Kalaji M.H., Russel S., Wpływ nawożenia osadem ściekowym na wybrane parametry biologii gleby oraz wydajności aparatu fotosyntetycznego ślazuwca pensylwańskiego (*Sida Hermaphrodita* (L.) Rusby), *Nauka Przyroda Technologie* 2010, 4, 6, 1-10.
- [10] Sullivan T.S., Stromberger M.E., Paschke M.W., Ippolito J.A., Long-term impacts of infrequent biosolids applications on chemical and microbial properties of semi-arid rangeland soil, *Biology and Fertility of Soils* 2005, 42, 3, 258-266.
- [11] Nowak M., Kacprzak M., Grobelak A., Osady ściekowe jako substytut glebowy w procesach remediacji i rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2010, 13, 2, 121-131.
- [12] Fijałkowski K., Kacprzak M., Grobelak A., Placek A., The influence of selected soil parameters on the mobility of heavy metals in soil, *Engineering and Environmental Protection* 2012, 15, 1, 81-92.
- [13] Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M.T., Landi L., Pietramellara G., Renella G., Microbial diversity and soil functions, *European Journal of Soil Science* 2003, 54, 655-670.
- [14] Budzińska K., Jurek A., Michalska M., Berleć K., Szejniuk B., Dynamika zmian mikroflory bakteryjnej w składowanych osadach ściekowych, *Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska* 2009, 4, 1155-1164.
- [15] Pepper I.L., Brooks J.P., Gerba C.P., Pathogens in biosolids, *Adv. Agr. Els.* 2006, 90, 1-41.
- [16] Loc N.T., Charakterystyka mikrobiologiczna i możliwość wykorzystania osadów ściekowych do produkcji kompostu z oczyszczalni ścieków dla miasta Zielona Góra, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 2002, 484, 401-408.
- [17] Kocær F.O., Alkan U., Baskaya H.S., The effect of alkaline-stabilized-sludge application on the microbiological quality of soil and leachate, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 2004, 167, 704-712.
- [18] Joniec J., Furczak J., Liczebność wybranych grup drobnoustrojów w glebie bielcowej pod uprawą wierzby użyźnionej osadem ściekowym w drugim roku jego działania, *Annales Universitatis Mariae Curie Skłodowska* 2007, 62, 1, 93-104.
- [19] Janvier C., Villeneuve F., Alabouvette C., Edel-Hermann V., Mateille T., Steinberg C., Soil health through soil disease suppression: Which strategy from descriptors to indicators? *Soil Biology & Biochemistry* 2007, 39, 1-23.
- [20] Czekala J., Osady ściekowe - nawóz czy odpad? *Wodociągi - Kanalizacja* 2009, 1, 30-33.
- [21] Kacprzak M., Stańczyk-Mazanek E., Changes in the structure of fungal communities of soil treated with sewage sludge, *Biology and Fertility of Soils* 2003, 38, 89-95.
- [22] Loc N.T., Greinert H., Wpływ osadu ściekowego na mikroflorę gleby oraz wzrost i skład chemiczny grochu siewnego (*Pisum sativum* L.), *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura* 2000, 83, 119-124.
- [23] Marschner P., Kandeler E., Marschner B., Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment, *Soil Biology & Biochemistry* 2003, 35, 3, 453-461.
- [24] Jezierska-Tys S., Frąc M., The effect of fertilization with sewage sludge from a dairy plant and with straw on the population numbers of selected microorganisms and respiration activity of brown soil, *Polish Journal of Soil Science* 2005, 38, 2, 145-151.

- [25] Selivanovskaya S.Y., Latypova V.Z., Gubaeva L.A., Microbiological processes in gray forest soil treated with sewage sludge compost, *European Journal of Soil Science* 2006, 39, 4, 443-449.
- [26] Włóka D., Kacprzak M., Rosikoń K., Fijałkowski F., Study of the migration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH's) in the sewage sludge-soil system, *Environment Protection Engineering* 2013, 39, 2, 115-124.
- [27] Kucharski J., Wyszowska J., Nowak G., Harms H., Activity of enzymes in soil treated with sewage sludge, *Polish Journal of Soil Science* 2000, 33, 1, 29-36.
- [28] Pascual I., Antolin M.C., Garcia C., Polo A., Sanchez-Diaz M., Effect of water deficit on microbial characteristics in soil amended with sewage sludge or inorganic fertilizer under laboratory conditions, *Bioresource Technology* 2007, 98, 1, 140-144.
- [29] Viera R.F., Maganhoto de Souza Silva C.M., Soil amendment with sewage sludge and its impact on soil microflora, *Brazilian Journal of Microbiology* 2003, 34, 1, 56-58.
- [30] Garcia-Gil J.C., Plaza C., Soler-Rovira P., Polo A., Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass, *Soil Biology & Biochemistry* 2000, 32, 1907-1913.
- [31] Ros M., Hernandez M.T., Garcia C., Bioremediation of soil degraded by sewage sludge: effects on soil properties and erosion losses, *Environmental Management* 2003, 31, 6, 741-747.
- [32] Garcia-Gil J.C., Plaza C., Senesi N., Brunetti G., Effects of sewage sludge amendment on humic acids and microbiological properties of a semiarid Mediterranean soil, *Soil Biology and Fertility of Soils* 2004, 39, 320-328.
- [33] Bielińska E.J., Żukowska G., Aktywność proteazy i ureazy w glebie lekkiej użyźnionej osadem ściekowym, *Acta Agrophysica* 2002, 70, 41-47, 34.
- [34] Jezierska-Tys S., Frąc M., Fidecki M., Wpływ nawożenia osadem ściekowym na aktywność enzymatyczną gleby brunatnej, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio E*, 2004, 59, 3, 1175-1181.
- [35] Baran S., Bielińska E.J., Wójcikowska-Kapusta A., Wpływ uprawy wikliny na kształtowanie się aktywności dehydrogenaz i fosfataz oraz zawartości ołowiu w glebie bielcowej użyźnionej osadem ściekowym, *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura* 2000, 84, 19-24, 36.
- [36] Kizilkaya R., Bayraklı B., Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities, *Applied Soil Ecology* 2005, 30, 192-202.
- [37] Fernandes S.A., Bettiol W., Cerri C.C., Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity, *Applied Soil Ecology* 2005, 30, 65-77.
- [38] Habteselassie M.Y., Stark J.M., Miller B.E., Thacker S.G., Norton J.M., Gross nitrogen transformations in an agricultural soil after repeated dairy-waste application, *Soil Science Society of America Journal* 2006, 70, 1338-1348.
- [39] Simon J., Enzymology and bioenergetics of respiratory nitrite ammonification, *FEMS Microbiology* 2002, 26, 285-309.
- [40] Niekerk C., Claassens A., N transformation in incubated sewage sludge and commercial fertilizer enriched soil, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2005, 36, 743-757.
- [41] Hernandez T., Moral R., Perez-Espinosa A., Moreno-Caselles J., Perez-Murcia M.D., Garcia C., Nitrogen mineralization potential in calcareous soils amended with sewage sludge, *Bioresource Technology* 2002, 83, 3, 213-219.
- [42] Jezierska-Tys S., Frąc M., Fidecki M., Wpływ nawożenia osadem ściekowym pochodzącym z mleczarni na przemiany azotu w glebie brunatnej, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio E*, 2004, 59, 3, 1167-1173.
- [43] Smalla K., van Elsas J.D., The soil environment, [in:] *Environmental molecular microbiology*, W.T. Liu, J.K. Jansson (eds.), Caister Academic Press, Norfolk, UK 2010, 111-130.

- [44] Furczak J., Joniec J., Preliminary study of the effect of sewage sludge on the microbiological activity of a podzolic soil under willow culture, *International Agrophysics* 2007, 21, 1, 39-48.
- [45] Żukowska G., Flis-Bujak M., Baran S., Wpływ nawożenia osadem ściekowym na substancję organiczną gleby lekkiej pod uprawą wikliny, *Acta Agrophysica* 2002, 73, 357-367.
- [46] Joniec J., Furczak J., Liczebność wybranych grup drobnoustrojów w glebie bielcowej pod uprawą wierzby (*Salix viminalis* L.) użyźnionej osadem ściekowym w trzecim roku jego działania, *Annales Universitatis Mariae Curie Skłodowska*, 2007, 62, 1, 107-116.
- [47] Kornilowicz-Kowalska T., Iglík H., Wojdyło B., Correlation between the abundance of cellulolytic fungi and selected soil properties, *Acta Mycologica* 2003, 38, 161-172.
- [48] Hattori H., Mukai S., Decomposition of sewage sludge in soil as affected by their organic matter composition, *Soil Science & Plant Nutrition* 1986, 32, 421-432.

Sewage Sludge Influence on Microbiological and Biochemical Soil Activity

This publication summarizes the current state of knowledge on the development of the selected microbial groups: (cellulolytic, proteolytic, nitrification bacteria and fungi) and microbiocenotic changes in the composition of the soil microflora and microbial processes occurring in the soil environment and rhizosphere plants after the application of sewage sludge as fertilizer. Moreover, both the positive and the negative impacts of sewage sludge on chemical composition of soil and soil microflora activity were discussed. Cited publications have confirmed that as a soil fertilizer, the most favorable are the sewage sludge from agro-food industries, mainly because the degree of pollutions and toxic substances is small. Application of the sewage sludge has increased organic carbon content, total nitrogen and bioavailable forms of phosphorus and potassium. One of the most common result was a higher biological activity of the soil and an increase in the number of bacteria (oligo-, macro-trophic), thermophilic *Actinomyces* and fungi (filamentous, cellulolytic) and an increase in the activity of microbial processes such as: ammonification, nitrification and denitrification. During the first period of fertilizing the soil some adverse changes in the structure of the endogenous microflora were noted, which entered the pathogenic viruses, bacteria (*Salmonella*, *Shigella*), and fungi (*Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*) coming from the sewage sludge. With the passage of time some exogenous microflora was displaced by indigenous microorganisms. The results of the stimulating effects of sewage sludge remained for a long time and were mostly observed in soil at the application level.

Keywords: sewage sludge, microbial and biochemical soil activity