

Wpłynęło 18.06.2018 r.
Zrecenzowano 29.08.2018 r.
Zaakceptowano 13.09.2018 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

WPLYW NAWOŻENIA OSADEM ŚCIEKOWYM I FOSFOGIPSEM NA AKTYWNOŚĆ DEHYDROGENAZ, POTENCJAŁ MINERALIZACYJNY AZOTU ORAZ BIOMASĘ MIKROORGANIZMÓW W GLEBIE POD UPRAWĄ *Cannabis sativa* L.

Dariusz ZIELONKA¹⁾ ABD, Janusz AUGUSTYNOWICZ²⁾ AEF,
Anna PRĘDECKA³⁾ CF, Stefan RUSSEL⁴⁾ AD

- ¹⁾ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Rolnictwa i Biologii, Samodzielny Zakład Biologii Mikroorganizmów
²⁾ Uniwersytet Gdański, Wydział Prawa i Administracji, Katedra Prawa Gospodarczego Publicznego i Ochrony Środowiska, Zakład Prawa Ochrony Środowiska
³⁾ Szkoła Główna Służby Pożarniczej w Warszawie, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego, Zakład Bezpieczeństwa i Higieny Pracy
⁴⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach

Streszczenie

Osady ściekowe oraz fosfogipsy powstają jako produkty uboczne, odpowiednio oczyszczania ścieków i produkcji nawozów fosforowych. Wydaje się, że spośród znanych sposobów zagospodarowania przedmiotowych odpadów racjonalne jest ich rolnicze wykorzystanie. Rośliny – wykorzystując zawarte w nich składniki pokarmowe – przyczyniają się do utylizacji uciążliwego materiału.

Celem badań przedstawionych w niniejszej pracy było określenie wpływu nawożenia osadem ściekowym i fosfogipsem na aktywność dehydrogenaz, potencjał mineralizacyjny azotu i biomasę mikroorganizmów w glebie pod uprawą konopi siewnych (*Cannabis sativa* L.) odmiany Białobrzeskie.

Poletka, z wyjątkiem wariantu kontrolnego, nawożono osadem ściekowym jako ekwiwalentem nawożenia azotowego w dawce 170 kg N·ha⁻¹ oraz fosfogipsem w trzech wariantach: 100, 500 i 1000 kg·ha⁻¹. W czerwcu (początkowa faza wzrostu rośliny), lipcu (pełnia wzrostu) oraz we wrześniu (końcowa faza wzrostu) w glebie oznaczano aktywność dehydrogenaz, potencjał mineralizacyjny azotu i biomasę mikroorganizmów.

Badania wykazały pozytywny wpływ nawożenia osadem ściekowym i fosfogipsem na aktywność biologiczną gleby pod uprawą konopi siewnych.

Słowa kluczowe: aktywność dehydrogenaz, biomasa mikroorganizmów, fosfogips, konopie siewne, osad ściekowy, potencjał mineralizacyjny azotu

Do cytowania For citation: Zielonka D., Augustynowicz J., Prędecka A., Russel S. 2018. Wpływ nawożenia osadem ściekowym i fosfogipsem na aktywność dehydrogenaz, potencjał mineralizacyjny azotu oraz biomasę mikroorganizmów w glebie pod uprawą *Cannabis sativa* L. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 18. Z. 3 (63) s. 79–89.

WSTĘP

Wraz z ciągłym wzrostem populacji ludzkiej oraz rozwojem przemysłowym coraz większym problemem staje się ilość powstających odpadów, w tym osadów ściekowych i fosfogipsów. Przywracanie glebie składników zgromadzonych w osadzie ściekowym jest niezbędne nie tylko z gospodarczego punktu widzenia, lecz także do zachowania i odtwarzania równowagi ekologicznej. Skład mineralny i organiczny osadów z komunalnych oczyszczalni ścieków jest zbliżony do składu glebowej substancji organicznej – próchnicy [BĄCZALSKA 1998]. Dzięki temu możliwe jest ich wykorzystanie przyrodnicze, w tym rolnicze. Osady przeznaczone do wykorzystania nieprzemysłowego powinny spełniać wymagania co do składu chemicznego oraz stanu sanitarnego. Ograniczenie dotyczy m.in. zawartości metali ciężkich ze względu na toksyczne oddziaływanie na organizmy żywe oraz zdolność do bioakumulacji [BIEŃ 2002]. Fosfogips, będący odpadem w produkcji kwasu fosforowego, jest wykorzystywany w wielu gałęziach przemysłu, ze względu na zawartość substancji pokarmowych, w szczególności fosforu, możliwe jest jego wykorzystanie również do nawożenia roślin.

Celem badań roślin energetycznych jest opracowanie takiego sposobu ich uprawy, który umożliwi uzyskanie maksymalnego przyrostu biomasy. Można wyróżnić dwa takie sposoby – tradycyjny, polegający na dostarczaniu azotu i fosforu z konwencjonalnych źródeł, takich jak nawozy mineralne, lub wykorzystywanie uciążliwych odpadów, którymi są osady ściekowe i fosfogipsy.

Obecnie coraz większą popularnością wśród badaczy roślin energetycznych cieszą się konopie siewne (*Cannabis sativa* L.) pochodzące z Azji i należące do rodziny konopiowatych. Roślina ta może być uprawiana w klimacie umiarkowanym, w okresie wegetacji wymaga ona opadu rzędu 200–300 mm. Ze względu na dobrze rozwinięty system korzeniowy jest odporna na krótkotrwałe okresy suszy [GRABOWSKA, KOZIARA 2001]. W jej uprawie nie ma konieczności stosowania środków ochrony roślin. Gatunek ten jest naturalnie odporny na choroby oraz ataki szkodników. Osiąga wysokość nawet ponad trzy metry, a plon biomasy to około 10–15 t·ha⁻¹ [VENTURI i in. 2007].

Celem badań przedstawionych w niniejszej pracy było określenie wpływu nawożenia osadem ściekowym i fosfogipsem na aktywność dehydrogenaz, potencjał mineralizacyjny azotu i biomasę mikroorganizmów w glebie pod uprawą konopi siewnych (*Cannabis sativa* L.).

METODY BADAŃ

W 2014 r. w Mazowieckim Ośrodku Doradztwa Rolniczego w Poświętnem przeprowadzono jednoczynnikowe doświadczenie założone w trzech powtórzeniach. Powierzchnia pojedynczego poletka wynosiła 3 m². W celu maksymalizacji

plonu wysiano 60 kg·ha⁻¹ nasion konopi siewnych odmiany Białobrzeskcie. Poletka, z wyjątkiem wariantu kontrolnego, nawożono na początku okresu wegetacji roślin osadem ściekowym jako ekwiwalentem nawożenia azotowego w dawce 170 kg N·ha⁻¹ [Ustawa... 2000] oraz, w celu zwiększenia ilości fosforu, fosfogipsem w trzech wariantach: 100, 500 i 1000 kg·ha⁻¹. Nawozy wprowadzano do gleby mechanicznie. Zastosowano niżej wymienione warianty nawozowe.

1. Wariant kontrolny, bez nawożenia („0”).
2. Nawożenie osadem ściekowym w dawce odpowiadającej 170 kg N·ha⁻¹ („OŚ”).
3. Nawożenie osadem ściekowym w dawce odpowiadającej 170 kg N·ha⁻¹ i fosfogipsem w ilości 100 kg·ha⁻¹ („OŚ + F 100 kg”).
4. Nawożenie osadem ściekowym w dawce odpowiadającej 170 kg N·ha⁻¹ i fosfogipsem w ilości 500 kg·ha⁻¹ („OŚ + F 500 kg”).
5. Nawożenie osadem ściekowym w dawce odpowiadającej 170 kg N·ha⁻¹ i fosfogipsem w ilości 1000 kg·ha⁻¹ („OŚ + F 1000 kg”).

Osad ściekowy pochodził z komunalnej oczyszczalni ścieków w Płońsku i spełniał wymagania dotyczące możliwości wykorzystania go w rolnictwie, zarówno pod względem zawartości metali ciężkich, jak i sanitarno-higienicznym związanym z obecnością jaj pasożytów jelitowych i bakterii z rodzaju *Salmonella* (tab. 1).

Tabela 1. Właściwości biologiczne i fizykochemiczne osadu ściekowego

Table 1. Biological and physicochemical properties of sewage sludge

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Wartość Value
1	2	3
pH	–	12,5
Sucha masa Dry mass	%	21,7
Substancja organiczna Organic substance	% s.m. % DM	59,1
Fosfor ogólny Total phosphorus	% s.m. % DM	0,94
Wapń (Ca) Calcium (Ca)	% s.m. % DM	11,3
Magnez (Mg) Magnesium (Mg)	% s.m. % DM	0,32
Zawartość azotu amonowego Ammonium nitrogen content	% s.m. % DM	0,27
Zawartość azotu ogólnego The content of total nitrogen	% s.m. % DM	4,01
Kadm (Cd) Cadmium (Cd)	mg·kg ⁻¹ s.m. mg·kg ⁻¹ DM	0,48
Miedź (Cu) Copper (Cu)	mg·kg ⁻¹ s.m. mg·kg ⁻¹ DM	88,2

cd. tab. 1

1	2	3
Nikiel (Ni)	mg·kg ⁻¹ s.m.	8,92
Nickel (Ni)	mg·kg ⁻¹ DM	
Ołów (Pb)	mg·kg ⁻¹ s.m.	7,39
Lead (Pb)	mg·kg ⁻¹ DM	
Cynk (Zn)	mg·kg ⁻¹ s.m.	341
Zinc (Zn)	mg·kg ⁻¹ DM	
Rtęć (Hg)	mg·kg ⁻¹ s.m.	0,16
Mercury (Hg)	mg·kg ⁻¹ DM	
Chrom (Cr)	mg·kg ⁻¹ s.m.	15,8
Chrome (Cr)	mg·kg ⁻¹ DM	
Obecność <i>Salmonella</i> sp.	w 100 g osadu	nie stwierdzono
Presence of <i>Salmonella</i> sp.	in 100 g of sludge	not found
Liczba żywych jaj pasożytów jelitowych <i>Ascaris</i> sp.	liczba · kg ⁻¹ s.m.	0
Number of live intestinal parasitic eggs <i>Ascaris</i> sp.	number · kg ⁻¹ DM	
Liczba żywych jaj pasożytów jelitowych <i>Trichuris</i> sp.	liczba · kg ⁻¹ s.m.	0
Number of live intestinal parasitic eggs <i>Trichuris</i> sp.	number · kg ⁻¹ DM	
Liczba żywych jaj pasożytów jelitowych <i>Toxocara</i> sp.	liczba · kg ⁻¹ s.m.	0
Number of live intestinal parasitic eggs <i>Toxocara</i> sp.	number · kg ⁻¹ DM	

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Fosfogipsy zostały pozyskane z Zakładów Chemicznych „Police” S.A. w Policach, wchodzących w skład Grupy Azoty (tab. 2).

Doświadczenie założono na glebie, której charakterystykę przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne fosfogipsu**Table 2.** Physicochemical properties of phosphogypsum

Parametr Parameter	Wartość (% wag.) Value (% wt.)
Wilgotność Moisture	20–25
CaSO ₄ ·2H ₂ O	94–96
Ca ₃ (PO ₄) ₂	1,53–2,18
CaF ₂	1,52
SiO ₂	0,58
P ₂ O ₅ rozpuszczony P ₂ O ₅ dissolved	0,1–0,2
P ₂ O ₅ całkowity P ₂ O ₅ total	0,8–1,2
Fe ₂ O ₃	0,02
Al ₂ O ₃	0,06

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Tabela 3. Charakterystyka gleby pod uprawą *Cannabis sativa* L.**Table 3.** Characteristics of soil for *Cannabis sativa* L. cultivation

Rodzaj użytku Type of agricultural use	Kategoria agronomiczna gleby Soil agronomic category	pH w KCl pH in KCl	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
			mg·(100 g) ⁻¹		
Orne Arable	średnia mean	6,93	51,5	15,5	5,8

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

W czerwcu, lipcu i wrześniu oznaczono następujące parametry:

- 1) aktywność dehydrogenaz w glebie określono metodą kolorymetryczną z zastosowaniem TTC wg PN-ISO 23753-1:2008. Wyniki podano w $\mu\text{l H}_2\cdot(10\text{ g})^{-1}$ s.m. gleby;
- 2) potencjał mineralizacyjny azotu został oznaczony wg PN-ISO 14238:2000; wyniki podano w $\mu\text{g N-NH}_3\cdot(10\text{ g})^{-1}$ s.m. gleby;
- 3) biomasę mikroorganizmów glebowych wykonano metodą fumigacji-ekstrakcji wg PN-ISO 14240-2:2001; wyniki podano w $\mu\text{g C}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m. gleby.

Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji. W celu ustalenia istotności różnic między wartościami badanych parametrów w glebie z różnych wariantów nawozowych zastosowano test Tukeya (na poziomie istotności $\alpha = 0,05$). Grupy jednorodne przedstawiono na wykresach wielkimi literami alfabetu.

WYNIKI I DYSKUSJA

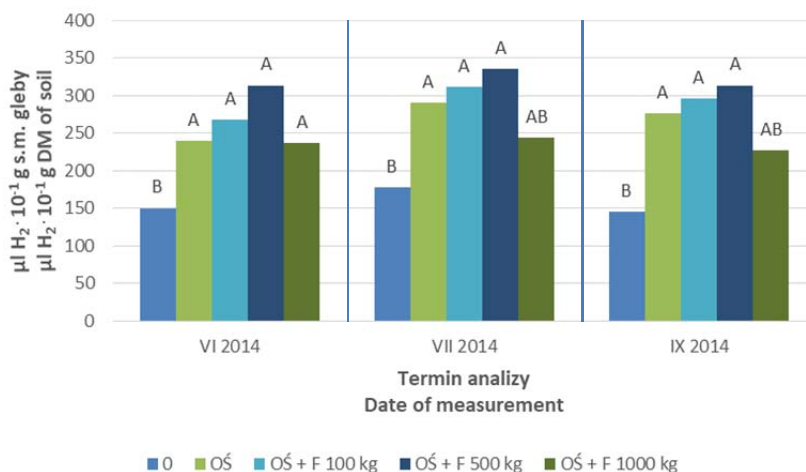
Zaprezentowane w niniejszej pracy wyniki są częścią szerszego projektu badawczego, realizowanego w latach 2014–2016, w którym do badań wybrano trzy odmiany kwalifikowanego materiału siewnego jednopiennych konopi przemysłowych: Białobrzeskie, Tygra i Beniko. Celem projektu było zbadanie możliwości wykorzystania osadów ściekowych i fosfogipsów do nawożenia upraw konopi przeznaczonych do produkcji biomasy oraz wpływu przedmiotowego nawożenia na biologię i właściwości fizykochemiczne gleby oraz fizjologię roślin. W ramach celu głównego realizowane były następujące cele szczegółowe:

- ocena wpływu nawożenia osadem ściekowym i fosfogipsem na wybrane parametry fizjologiczne determinujące sprawność aparatu fotosyntetycznego konopi siewnych (*Cannabis sativa* L.);
- określenie stopnia kolonizacji gleby i korzeni przez arbuskularne grzyby mikoryzowe oraz tworzenia zarodników pod wpływem nawożenia fosfogipsem i osadem ściekowym;
- identyfikacja arbuskularnych grzybów mikoryzowych w glebie mikoryzowej i korzeniach za pomocą PCR;
- oznaczenie plonu świeżej i suchej masy konopi w okresie senescencji;

- oznaczenie aktywności dehydrogenaz, potencjału mineralizacyjnego azotu i biomasy mikroorganizmów w glebie pod uprawą konopi siewnych (*Cannabis sativa* L.);
- analiza składu chemicznego gleby i biomasy roślin.

W badaniach stanu środowiska przyrodniczego ważnym elementem jest ocena jakości i produktywności gleby. Aktywność enzymów glebowych, z uwagi na ich związek z procesami biologicznymi, dostarcza informacji na temat specyficznej aktywności metabolicznej i funkcji przede wszystkim populacji mikroorganizmów glebowych. Na podstawie zmian aktywności enzymów hydrolitycznych można w dużym stopniu oceniać przebieg rozkładu substancji organicznej wprowadzonej do gleby [BURNS 1982; GIBBS i in. 2006]. Aktywność enzymatyczna może być również wskaźnikiem zmian aktywności metabolicznej mikroorganizmów, które zachodzą w glebie pod wpływem antropogenicznych czynników stresowych [KUCHARSKI 1997; ZAHIR i in. 2001]. Niektórzy autorzy, np. PACHA [1984], KIELSZEWSKA-ROKICKA [2001] czy ONYSZKO i in. [2015], wskazują na powiązanie między poziomem aktywności enzymów a właściwościami chemicznymi gleb.

Zmiany aktywności dehydrogenaz w próbkach gleby spod uprawy konopi siewnych przedstawiono na rysunku 1. Aktywność enzymów glebowych różniła się



Rys. 1. Zmiany aktywności dehydrogenaz w próbkach gleby spod uprawy *Cannabis sativa* L. odmiany Białobrzeskie nawożonej osadem ściekowym i fosfogipsem w poszczególnych terminach badań; „0”, „OS”, „OS + F 100 kg”, „OS + F 500 kg”, „OS + F 1000 kg” = warianty nawożenia jak na s. 81; grupy jednorodnie przedstawiono na wykresach wielkimi literami alfabetu; źródło: wyniki własne

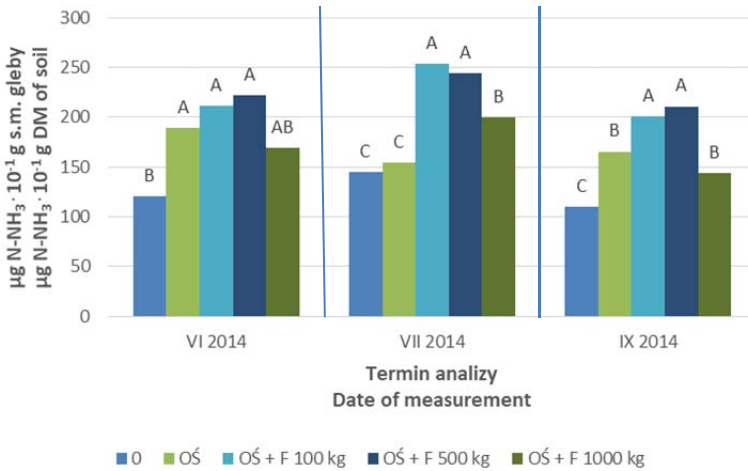
Fig. 1. Changes of dehydrogenases activity in soil of *Cannabis sativa* L. Białobrzeskie variety cultivation fertilised with sewage sludge and phosphogypsum at the appropriate dates of researching; “0”, “OS”, “OS + F 100 kg”, “OS + F 500 kg”, “OS + F 1000 kg” = fertilization variants as in p. 81; homogeneous groups were marked in diagrams with capital letters; source: own study

istotnie statystycznie tylko pomiędzy wariantem kontrolnym a wariantami nawozowymi, w których zastosowano osad ściekowy oraz oprócz osadu ściekowego różne dawki fosfogipsu, z wyjątkiem wariantu z dawką 1000 kg fosfogipsu w lipcu i wrześniu. Nie wykazano istotności różnic w aktywności dehydrogenaz w zależności od dawki fosfogipsu. Największe, jednak nieistotne wartości tego wskaźnika, w całym okresie badań, zaobserwowano w glebie z wariantu nawozowego „OŚ + F 500 kg”, najmniejsze natomiast z wariantu „0”. Na uwagę zasługuje, że w całym okresie badań wartości aktywności dehydrogenazy dla poszczególnych kombinacji nawozowych kształtują się na podobnym poziomie, z niewielkim wzrostem w lipcu, jednak nie udowodniono tego statystycznie.

Wielu autorów (ALBIACH i in. [2000]; GARCIA-GIL i in. [2002]; KARACA i in. [2002]; FERNANDES i in. [2005]) badało wpływ osadu ścieków komunalnych na aktywność różnych enzymów glebowych. Z dotychczasowych badań wynika, że aktywność enzymów jest dodatnio skorelowana z zawartością składników pokarmowych w glebie [FRANKENBERGER, DICK 1983]. Z badań BARAN i in. [2000] oraz MORENO i in. [1999] wynika też, że aktywność dehydrogenaz była wykorzystywana jako wskaźnik zmian aktywności biologicznej środowiska glebowego pod wpływem zróżnicowanego nawożenia. MORENO i in. [1999] oraz VIERIA i MAGANHOTTO DE SOUZA SILVA [2003] zaobserwowali znaczny wzrost aktywności dehydrogenaz pod wpływem nawożenia gleby osadem ściekowym. Z badań własnych wynika, że zarówno wprowadzenie do gleby jedynie osadu ściekowego, jak i w połączeniu z fosfogipsem powoduje zwiększenie aktywności dehydrogenaz w porównaniu z glebą kontrolną.

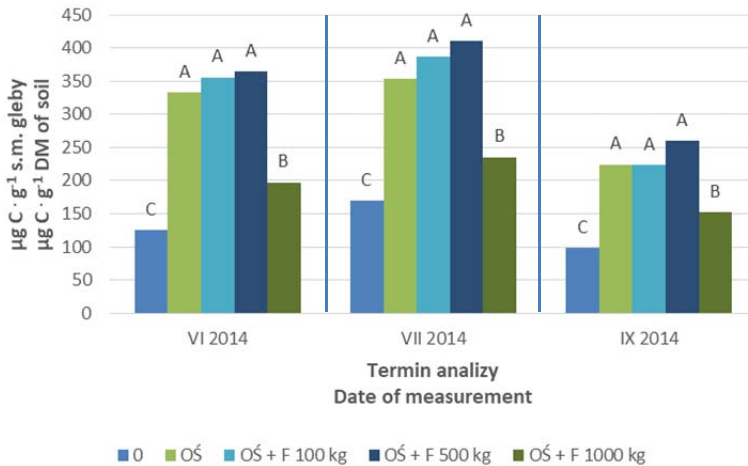
Największe wartości potencjału mineralizacyjnego azotu w próbkach gleby spod uprawy konopi siewnej zaobserwowano w lipcowym, a najmniejsze we wrześniowym terminie badań, z wyjątkiem wariantu „OŚ”, w którym badany wskaźnik uzyskał największe wartości w czerwcu, a najmniejsze w lipcu (rys. 2). Jednakże należy zwrócić uwagę, że przedmiotowa obserwacja nie była istotna statystycznie. Różnice w uzyskanych wartościach na poszczególnych wariantach nawozowych, podobnie jak w przypadku aktywności dehydrogenaz, nie były duże. Największe wartości badanego wskaźnika w lipcowym i wrześniowym terminie badań stwierdzono na wariantach „OŚ + F 100 kg” i „OŚ + F 500 kg”.

Zmiany biomasy mikroorganizmów w próbkach gleby spod uprawy konopi siewnych odmiany Białobrzeskie przedstawiono na rysunku 3. Największe wartości badanego wskaźnika zanotowano w lipcowym terminie badań, a najmniejsze we wrześniu. Jednakże należy zwrócić uwagę, że różnice te nie były istotne statystycznie. W całym okresie badań największe wartości biomasy mikroorganizmów stwierdzono w przypadku gleby z wariantów „OŚ”, „OŚ + F 100 kg” oraz „OŚ + F 500 kg”, a najmniejsze z wariantu kontrolnego „0”. Zastosowanie fosfogipsu w dawce $1000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ zwiększyło istotnie biomasę mikroorganizmów w porównaniu z wariantem kontrolnym, jednak wpłynęło negatywnie na wartość badanego wskaźnika w porównaniu z pozostałymi wariantami nawozowymi.



Rys. 2. Zmiany potencjału mineralizacyjnego azotu w próbkach gleby spod uprawy *Cannabis sativa* L. odmiany Białobrzeskie nawożonej osadem ściekowym i fosfogipsem w poszczególnych terminach badań; objaśnienia jak pod rys. 1; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Changes of nitrogen mineralization potential in soil of *Cannabis sativa* L. Białobrzeskie variety cultivation fertilised with sewage sludge and phosphogypsum at the appropriate dates of researching; explanations as in Fig. 1; source: own study



Rys. 3. Zmiany biomasy mikroorganizmów w próbkach gleby spod uprawy *Cannabis sativa* L. odmiany Białobrzeskie nawożonej osadem ściekowym i fosfogipsem w poszczególnych terminach badań; objaśnienia jak pod rys. 1; źródło: wyniki własne

Fig. 3. Changes of microbial biomass in soil of *Cannabis sativa* L. Białobrzeskie variety cultivation fertilised with sewage sludge and phosphogypsum at the appropriate dates of researching; explanations as in Fig. 1; source: own study

Przeprowadzone badania wykazały pozytywny wpływ nawożenia zarówno samym osadem ściekowym, jak i uzupełnionym dawkami fosfogipsu na ilość biomasy mikroorganizmów w glebie. Badania wielu autorów wskazują, że zapewne jest to spowodowane wzbogaceniem gleby substancją organiczną, azotem, fosforem oraz innymi składnikami pokarmowymi [BLECHSCHMIDT i in. 1999; DAR 1997; NOWAK i in. 2001].

WNIOSKI

1. Nawożenie osadem ściekowym i fosfogipsem plantacji konopi siewnych (*Cannabis sativa* L.) stymulowało biologiczną aktywność gleby wyrażoną aktywnością dehydrogenaz, potencjałem mineralizacyjnym azotu oraz biomasą mikroorganizmów.

2. Badania wykazały tendencję wskazującą, że najsilniejsza stymulacja biologicznej aktywności gleby przez osad ściekowy i fosfogips ma miejsce w lipcowym terminie badań.

BIBLIOGRAFIA

- ALBIACH R., CANET R., POMARES F., INGELMO F. 2000. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology*. Vol. 75. Iss. 1 s. 43–48.
- BARAN S., BIELIŃSKA E. J., WÓJCIKOWSKA-KAPUSTA A. 2000. Wpływ uprawy wikliny na kształtowanie się aktywności dehydrogenaz i fosfataz oraz zawartości ołowiu w glebie bielcowej użyźnionej osadem ściekowym [Effect of wicker cultivation on the dehydrogenase and phosphatase activity and lead content in podzolic soil fertilized with sewage sludge]. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis. Agricultura*. Nr 84 s. 19–24.
- BĄCZALSKA D. 1998. Ocena możliwości składowania skratek pochodzących z Grupowej Oczyszczalni Ścieków we Włocławku na miejskim wysypisku komunalnym. W: *Osady ściekowe w praktyce* [Assessment of the possibility of storing screenings originating from the Group Wastewater Treatment Plant in Włocławek at the municipal landfill. In: *Sewage sludge in practice*]. 7. Konferencja Naukowo-Techniczna. Częstochowa–Ustroń 16–18 czerwca 1998 r. Częstochowa. Wydaw. P. Częst. s. 34–56.
- BIEŃ J.B. 2002. *Osady ściekowe. Teoria i praktyka* [Sewage sludge. Theory and practice]. Częstochowa. Wydaw. P. Częst. ISBN 83-7193-193-X ss. 290.
- BLECHSCHMIDT R., SCHAAF W., HÜTTL R.F. 1999. Soil microorganism experiments to study the effects of waste material application on nitrogen and carbon turnover of lignite mine spoils in Lusatia (Germany). *Plant and Soil*. Vol. 213. Iss. 1–2 s. 23–30.
- BURNS R.G. 1982. Enzyme activity in soil: Location and a possible role in microbial ecology. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 14. Iss. 5 s. 423–427.
- DAR H.G. 1997. Impact of lead and sewage sludge on soil microbial biomass and carbon and nitrogen mineralization. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Vol. 58 s. 234–240.
- FERNANDES S.A.P., BETTIOL W., CERRI C.C. 2005. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Applied Soil Ecology*. Vol. 30 s. 65–77.

- FRANKENBERGER W.T., DICK W.A. 1983. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. *Soil Science Society of American Journal*. Vol. 47 s. 945–951.
- GARCIA-GIL J.C., PLAZA C., POLO A. 2002. Sewage sludge effects on biological and biochemical parameters in a degraded soil. *Waste Management and the Environment*. Vol. 56 s. 341–350.
- GIBBS P.A., CHAMBERS B.J., CHAUDRI A.M., MCGRATH S.P., CARLTON-SMITH C.H. 2006. Initial results from long-term field studies at three sites on the effects of heavy metal-amended liquid sludges on soil microbial activity. *Soil Use and Management*. Vol. 22 s. 180–187.
- GRABOWSKA L., KOZIARA W. 2001. Wpływ temperatury i opadów na plonowanie konopi włóknistych odm. Białobrzeskie [Influence of temperature and precipitation on the yield of fiber hemp var. Białobrzeskie]. *Natural Fibres*. Vol. 45 s. 114–127.
- KARACA A., NASEBY D.C., LYNCH J.M. 2002. Effect of cadmium contamination with sewage sludge and phosphate fertiliser amendments on soil enzyme activities, microbial structure and available cadmium. *Biology and Fertility of Soils*. Vol. 35. No 6 s. 428–434.
- KIELISZEWSKA-ROKICKA B. 2001. Enzymy glebowe i ich znaczenie w badaniach aktywności mikrobiologicznej gleby. W: *Drobnoustroje środowiska glebowego, aspekty fizjologiczne, biochemiczne, genetyczne* [Soil enzymes and their importance in studies of soil microbial activity. In: *Microbes of the soil environment, physiological, biochemical and genetic aspects*]. Red. H. Damm, A. Pokojka-Burdziej. 35. Ogólnopolskie Sympozjum Mikrobiologiczne. Toruń. UMK s. 37–48.
- KUCHARSKI J. 1997. Relacje między aktywnością enzymów a żyznością gleby. W: *Drobnoustroje w środowisku – występowanie, aktywność i znaczenie* [Relations between enzyme activity and soil fertility. In: *Microorganisms in the environment – occurrence, activity and significance*]. Red. W. Barabasz. Kraków. AR s. 327–347.
- MORENO J.L., HERNANDEZ T., GARCIA C. 1999. Effects of a cadmium – contaminated sewage sludge compost on dynamics of organic matter and microbial activity in an arid soil. *Biology and Fertility of Soils*. Vol. 28 s. 230–237.
- NOWAK A., PRZYBULEWSKA K., SZOPA E. 2001. Wpływ nawożenia kompostami z osadów ściekowych na liczebność niektórych grup mikroorganizmów glebowych [Effect of fertilization with composts from sewage sludge on the number of selected groups of soil microorganisms]. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 477 s. 443–449.
- ONYSZKO M., WROŃSKA I., CYBULSKA K., DOBROWOLSKA A., TELESIŃSKI A. 2015. Porównanie aktywności enzymatycznej wybranych torfowych podłoży ogrodniczych [Comparison of the enzymatic activity of selected horticultural growing media]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 15. Z. 1 (49) s. 69–77.
- PACHA J. 1984. Relacje między mikroorganizmami, enzymami, materią organiczną i koloidami glebowymi oraz ekologiczne znaczenie tych procesów [Relations between microorganisms, enzymes, organic matter and soil colloids and ecological significance of these processes]. *Postępy Mikrobiologii*. T. 33. Z. 2 s. 91–107.
- PN-ISO 14238:2000 Jakość gleby. Metody biologiczne. Oznaczanie mineralizacji azotu i nityfikacji w glebach oraz wpływu związków chemicznych na te procesy [Soil quality. Biological methods. Determination of nitrogen mineralization and nitrification in soils and the influence of chemical compounds on these processes].
- PN-ISO 14240-2:2001 Jakość gleby. Oznaczanie ilości biomasy mikroorganizmów w glebie. Metoda fumigacji-ekstrakcji [Soil quality. Determination of the amount of biomass of microorganisms in the soil. Fumigation-extraction method].
- PN-ISO 23753-1:2008 Jakość gleby. Oznaczanie aktywności dehydrogenazy w glebie. Część 1: Metoda z zastosowaniem chlorku 2,3,5-trójfenyloctetrazolu (TTC) [Soil quality. Determination of soil dehydrogenase activity. Part 1: Method using 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC)].

- Ustawa z dnia 26 lipca 2000 r. o nawozach i nawożeniu [The act of 26 July 2000 on fertilizers and fertilization]. Dz. U. 2000. Nr 89 poz. 991.
- VENTURI P., AMADUCCI S., AMADUCCI M.T., VENTURI G. 2007. Interaction between agronomic and mechanical factors for fiber crops harvesting Italian results nate II. hemp. Journal of Natural Fibers. Vol. 4. No 3 s. 83–97.
- VIERIA R.F., MAGANHOTTO DE SOUZA SILVA C.M. 2003. Soil amendment with sewage sludge and its impact on soil microflora. Brazilian Journal of Microbiology. Vol. 34. Iss. 1 s. 56–58.
- ZAHIR Z.A., ATEEQ UR REHMAN MALIK M., ARSHAD M. 2001. Soil enzymes research: A review. Journal of Biological Sciences. Vol. 1. Iss. 5 s. 299–307.

Dariusz ZIELONKA, Janusz AUGUSTYNOWICZ, Anna PRĘDECKA, Stefan RUSSEL

THE EFFECT OF SEWAGE SLUDGE AND PHOSPHOGYPSUM FERTILIZATION ON DEHYDROGENASES ACTIVITIES, NITROGEN MINERALIZATION POTENTIAL AND MICROBIAL BIOMASS IN SOIL FOR *Cannabis sativa* L. CULTIVATION

Key words: *Cannabis sativa* L., dehydrogenases activity, microbial biomass, nitrogen mineralization potential, phosphogypsum, sewage sludge

S u m m a r y

Sewage sludge and phosphogypsum are by-products of wastewater treatment and phosphorus fertilizer production, respectively. Considering all known methods of their management, it seems rational to use these waste products in agriculture. While assimilating nutrients contained in sewage sludge or phosphogypsum, agricultural crops contribute to the recycling of these otherwise noxious materials.

The objective of this study was to identify the effect of fertilization with sewage sludge and with phosphogypsum on dehydrogenases activities, nitrogen mineralization potential and microbial biomass in soil for *Cannabis sativa* L. cultivation.

Plots, with the exception of the control variant, were fertilized with sewage sludge as an equivalent of nitrogen nutrition in a dose of 170 kg N·ha⁻¹ and with phosphogypsum applied in three doses: 100, 500 and 1000 kg·ha⁻¹. Dehydrogenases activity, nitrogen mineralization potential and microbial biomass were determined in the soil during June (early development stage of plants), July (full development) and September (final development stage).

Our results showed that differentiated fertilization level positive affect on the analyzed indicators.

Adres do korespondencji: mgr inż. Dariusz Zielonka, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Rolnictwa i Biologii, Samodzielny Zakład Biologii Mikroorganizmów, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa; e-mail: info@dariusz-zielonka.pl