

AGNIESZKA WOLNA-MARUWKA, ALEKSANDRA SAWICKA

AKTYWNOŚĆ ODDECHOWA GLEBY NAWOŻONEJ OSADEM ŚCIEKOWYM

RESPIRATION ACTIVITY IN THE SOIL FERTILISED WITH SEWAGE SLUDGE

Katedra Mikrobiologii Rolnej, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego
w Poznaniu

Abstract: The main aim of the research was to investigate the rate of organic matter decomposition implicated by the amount of released CO₂ from the soil. The rate of organic matter decomposition is an index of metabolic activity of microbiological communities inhabiting the soil. Furthermore, correlation between the respiration activity and the number of microorganisms in the loam sand with addition of sewage sludge and white mustard plants (*Sinapis alba* L.) cultivation was also investigated in the experiment. The release of CO₂ from the soil was determined using the absorption method. 0.5 N NaOH was titrated using 0.1 N HCl in presence of phenolphthalein. The CO₂ quantity and numbers of microorganisms in the soil were determined in five, consecutive mustard plants developmental phases. It was stated that CO₂ quantity did not correlate with the number of all studied groups microorganisms as *Salmonella* sp., *E. coli*, *Clostridium* sp., *Azotobacter* sp., the total bacteria number, fungi, actinomycetes. The highest respiration activity in the soil was found in the combination with loam sand+sewage sludge+mustard plants in the term – directly after harvest.

Słowa kluczowe: osad ściekowy, gleba, mikroorganizmy, CO₂, oddychanie.

Key words: sewage sludge, soil, microorganisms, CO₂, respiration.

WSTĘP

Wraz z wybudowaniem w Polsce nowych, biologicznych oczyszczalni powstał poważny problem zagospodarowania powstających w nich osadów ściekowych. W wielu krajach świata osady są w znacznie większym stopniu wykorzystywane rolniczo aniżeli w Polsce [Lasocka 2000]. Ich użycie w rolnictwie związane jest bogactwem zawartych w nich składników organicznych. Osady ściekowe, podobnie bowiem jak próchnica glebowa, zawierają organiczne związki węgla i azotu niezbędne do życia mikroorganizmów i fauny glebowej oraz składniki pokarmowe dla roślin [Siuta 1996].

Nie wszystkie osady ściekowe mogą być wykorzystane w rolnictwie ze względu na ich skład chemiczny. Zasadniczym przeciwwskazaniem takiego ich zastosowania są skażenia bakteriologiczne oraz zawartość metali ciężkich [Siuta 1990; Olszewska i in. 2001; Nguyen Thi Loc 2002]. Osady jednak zawierają znaczne ilości materii organicznej oraz składników nawozowych, takich jak: N, P i K i jeśli spełniają odpowiednie warunki [Rozporządzenie MŚ, z dnia 01.08.2002 r.] powinny być kierowane do powtórnego wykorzystania w postaci materiału rekultywacyjnego lub nawozowego [Chodur 2000].

Substancja organiczna w postaci osadu ściekowego po wprowadzeniu do gleby ulega biologicznemu spalaniu, w wyniku czego uwalniane są znaczne ilości CO₂, przy czym aktywność oddechowa gleby zależna jest między innymi od ilości wprowadzonego nawozu organicznego oraz od jego składu [Gostkowska i in. 1989]. Quemada i Mencho [2001], Joniec i Furczak [2003] oraz Selivanovskaya i in. [2001] odnotowali silne przyspieszenie tempa mineralizacji węgla organicznego w glebie po wprowadzeniu do niej osadów ściekowych. Zjawiska tego nie potwierdziły jednakże badania Dobosza i in. [2002]. Zdaniem zaś Gołębiowskiej i Pędziwilk [1984] ilość CO₂ uwalnianego w glebie służyć może za wskaźnik tempa rozkładu materii organicznej czy biomasy mikrobiologicznej gleby.

W pracy przedstawiono wstępne badania dotyczące ustalenia zależności między uwalnianiem CO₂ z gleby z dodatkiem osadu ściekowego a liczebnością mikroorganizmów.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono od kwietnia do lipca 2000 roku, w hali wegetacyjnej, w wazonach typu Mitscherlicha o pojemności 6,5 kg św. masy gleby. Doświadczenie obejmowało cztery kombinacje glebowe (każdą w dwóch powtórzeniach): piasek gliniasty – kontrola, piasek gliniasty z dodatkiem osadu ściekowego, piasek gliniasty obsiany gorczycą, piasek gliniasty z osadem ściekowym i obsiany gorczycą. Glebę do analiz pobierano z głębokości 0–20 cm w pięciu punktach każdego wazonu.

Analizy mikrobiologiczne i fizyko-chemiczne wykonywano pięciokrotnie, w kolejnych fazach rozwojowych gorzycy białej, tj:

- przed siewem – dzień założenia doświadczenia,
- rozeta – 28 dzień,
- początek kwitnienia – 54 dzień,
- zawiązywanie nasion – 78 dzień,
- bezpośrednio po zbiorze – 113 dzień.

Do badań użyto glebę określoną jako piasek gliniasty lekki o składzie chemicznym: C_{org.} – 9,55 g·kg⁻¹ s.m., N_{og.} – 0,87 g·kg⁻¹s.m., C:N – 10,97, pH₁₁₂₀ – 5,9.

Zastosowany w doświadczeniu osad ściekowy pochodził z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Gnieźnie i dodawany był do każdego z wazonów w ilości

295,42 g św. masy. Zawierał on metale ciężkie mieszczące się w normach określonych w wymienionym Rozporządzeniu [Rozporządzenie MŚ 2002]. Ponadto, charakteryzował się następującym składem chemicznym:

$C_{\text{org.}}$ – 271 g·kg⁻¹ s.m., $N_{\text{og.}}$ – 175,0 g·kg⁻¹ s.m., C:N – 9,98, $pH_{\text{H}_2\text{O}}$ – 5,9, P – 1,28 g·kg⁻¹ s.m., K – 0,24 g·kg⁻¹ s.m., Na – 0,14 g·kg⁻¹ s.m., Ca – 3,20 g·kg⁻¹ s.m., Mg – 0,72 g·kg⁻¹ s.m.

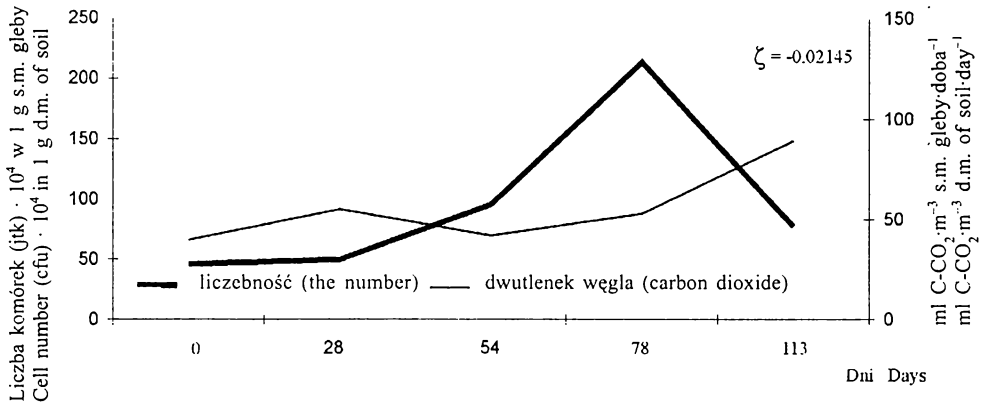
W kwietniu 2000 roku wazonny wypełnione glebą obsiano gorczycą białą (*Sinapis alba* L.) odmiany Nochowska (30 nasion na wazon). Po wschodach roślin w każdym wazonie pozostawiono po 20 siewek.

Analizy mikrobiologiczne wykonywano w pięciu powtórzeniach i obejmowały one między innymi oznaczenie ogólnej liczebności bakterii na agarze z wyciągiem glebowym [Wallace, Lochhead 1950], po 14 dniach inkubacji w temperaturze 27°C. Wśród wyrosłych kolonii bakterii oddzielnie oznaczano kolonie promieniowców. *Azotobacter* sp. hodowano zalewając 1 g św. masy gleby pożywką w modyfikacji Fenglerowej [Fenglerowa 1965] i inkubując płytki w temperaturze 25°C. Wyrosłe kolonie oznaczano po 5 dniach. Grzyby hodowano na podłożu Martina przez 5 dni [Martin 1950]. Płytki inkubowano w temperaturze 28°C. Bakterie z rodzaju *Salmonella* sp. hodowano metodą płytkową na pożywce firmy Merck [Rambach 1990] w temperaturze 37°C przez 24 godziny. W celu upewnienia się, że są to bakterie *Salmonella* sp. postępowano zgodnie z Polską Normą PN-Z-19000-1 [Polski Komitet Normalizacyjny 2001]. Bakterie *Escherichia coli* hodowano na specjalnym podłożu firmy Merck [Manafi, Kneifel 1989] w temperaturze 37°C przez 18 godzin. Także bakterie z rodzaju *Clostridium* sp. hodowano przez 18–24 godziny na podłożu firmy Merck [Harmon 1997] w temperaturze 37°C, w termostacie o zawartości CO₂ podwyższonej do 22%.

Jako wskaźnik ogólnej aktywności metabolicznej określono intensywność wydzielania CO₂. Ilość uwolnionego z gleby CO₂ oznaczano (we wszystkich kombinacjach i terminach) metodą absorpcji [Kaczmarek i in. 1973] w następujący sposób: do każdego z wazonów wkładano po dwie zlewki o pojemności 25 cm³, do każdej z nich wlewano po 5 cm³ 0,5 N roztworu NaOH. Zlewki wkopywano w glebę (której powierzchnię przykrywano szklanym kloszem) i inkubowano przez 24 godziny. Po upływie doby 2 cm³ pobranego ze zlewek roztworu NaOH miareczkowano 0,1 N roztworem HCl w obecności fenoloftaleiny. W celu poznania zależności pomiędzy liczebnością drobnoustrojów a ilością wydzielonego z gleby CO₂ obliczono współczynniki korelacji liniowej Pearsona [Wysocki, Lira 2003].

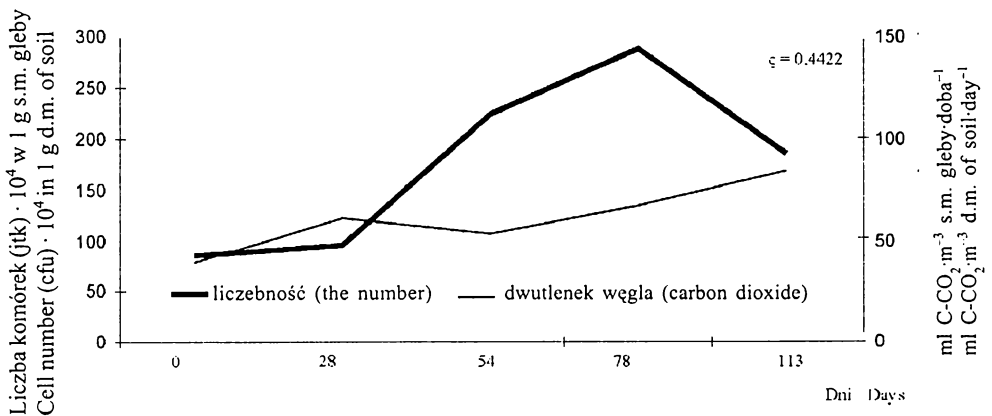
WYNIKI I DYSKUSJA

Zużyciu tlenu przez mikroorganizmy glebowe towarzyszy wydzielanie CO₂, którego ilość często przyjmuje się jako wskaźnik aktywności oddechowej drobnoustrojów. Przedstawione na rysunkach 1–4 wyniki badań obrazują ilość wydzielonego z gleby CO₂ i liczebność mikroorganizmów w zależności od dodatkowo wprowadzonej do gleby materii organicznej (w postaci osadu ściekowego), a także od obecności rośliny (gorzycy) i jej fazy rozwojowej.



RYSUNEK 1. Ogólna liczebność mikroorganizmów (*Salmonella* sp., *E. coli*, *Clostridium* sp., *Azotobacter* sp., ogólna liczebność bakterii, grzybów, promieniowców) a wydzielanie CO₂ w glebie kontrolnej
 Objaśnienia: 0 dzień (dzień założenia doświadczenia) – termin przed siewem; 28 dzień po założeniu doświadczenia – rozeta; 54 dzień po założeniu doświadczenia – początek kwitnienia; 78 dzień po założeniu doświadczenia – zawiązywanie nasion; 113 dzień po założeniu doświadczenia – bezpośrednio po zbiorze; ζ – współczynnik korelacji

FIGURE 1. The total number of microorganisms (*Salmonella* sp., *E. coli*, *Clostridium* sp., *Azotobacter* sp., the total number of bacteria, fungi, actinomycetes) and CO₂ release in the soil; explanations: 0 day (in day of beginning experiment) – before sowing; 28 day after beginning of experiment – rosette; 54 day after beginning of experiment – beginning of flowering; 78 day after beginning of experiment – initiation of seeds; 113 day after beginning of experiment – at harvest; ζ – Pearson correlation of coefficient



RYSUNEK 2. Ogólna liczebność mikroorganizmów (*Salmonella* sp., *E. coli*, *Clostridium* sp., *Azotobacter* sp., ogólna liczebność bakterii, grzybów, promieniowców) a wydzielanie CO₂ w glebie z osadem ściekowym

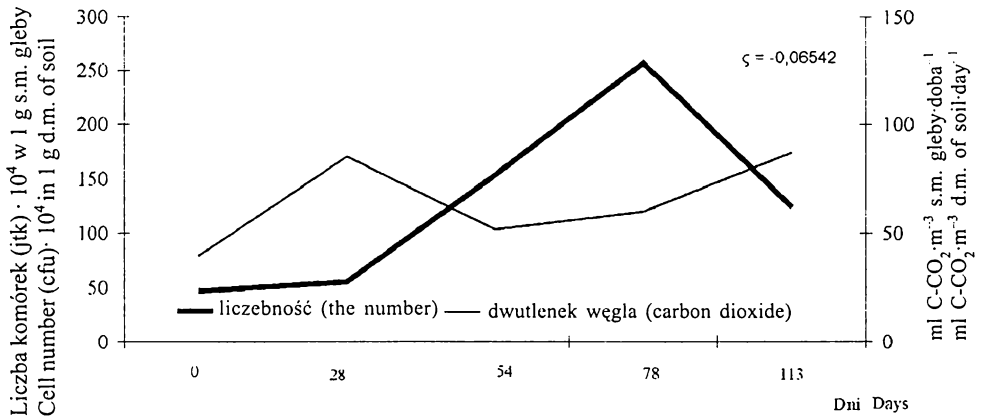
FIGURE 2. The total number of microorganisms (*Salmonella* sp., *E. coli*, *Clostridium* sp., *Azotobacter* sp., the total number of bacteria, fungi, actinomycetes) and CO₂ release in the soil with sewage sludge

W glebie kontrolnej bez dodatku osadu, nieobsianej roślinami (rys. 1) ilość wydzielonego dwutlenku węgla wynosiła $40,1 \text{ ml C-CO}_2 \cdot \text{m}^{-3} \text{ s.m. gleby} \cdot \text{doba}^{-1}$ w fazie przed siewem. Utrzymywała się na zbliżonym poziomie przez 78 dni i wzrastała 2,5-krotnie po 113 dniach od założenia doświadczenia. Aktywność oddechowa gleby nie była jednak skorelowana z liczbą mikroorganizmów. Liczebność oznaczonych grup drobnoustrojów utrzymywała się na stałym poziomie przez pierwsze 28 dni, tj. do fazy odpowiadającej utworzeniu przez roślinę rozety, a następnie wyraźnie wzrastała aż do 78 dni, tj. do terminu odpowiadającego fazie zawiązywania nasion. Po tym czasie liczba drobnoustrojów gwałtownie spadała. Taką dynamikę rozwoju drobnoustrojów należy tłumaczyć zjawiskiem ustalania się równowagi biologicznej w glebie w nowych warunkach, przystosowaniem się do nich mikroorganizmów i w dalszej kolejności ich namnażaniem i śmiercią. Mimo iż wydzielanie CO_2 nie było skorelowane z namnażaniem się drobnoustrojów w glebie, to jednak wzrost aktywności oddechowej zanotowano w fazie zawiązywania nasion, w której to liczebność drobnoustrojów osiągnęła najwyższą wartość ($221 \text{ jtk} \cdot 10^4$ w 1 g s.m. gleby).

W glebie, którą wzbogacono dodatkowo materią organiczną w postaci osadu ściekowego (rys. 2), po okresie stabilizacji (4 tygodnie) odnotowano dość gwałtowne namnażanie się drobnoustrojów, także aż do fazy odpowiadającej terminowi zawiązywania nasion, a dynamika wydzielania CO_2 z gleby miała podobny przebieg jak w glebie kontrolnej. Jednak w tym przypadku odnotowano istnienie zależności pomiędzy wydzielaniem CO_2 a liczebnością drobnoustrojów, bowiem współczynnik korelacji był równy 0,4422, a wg Pearsona zachodzi związek między cechami, gdy $\zeta > 0,2$. Przeprowadzone przez Gostkowską i in. [1989] oraz Selivanovską i in. [2001] badania potwierdzają korzystny wpływ zastosowanych osadów ściekowych na wzrost biomasy mikrobiologicznej oraz aktywności oddechowej gleby.

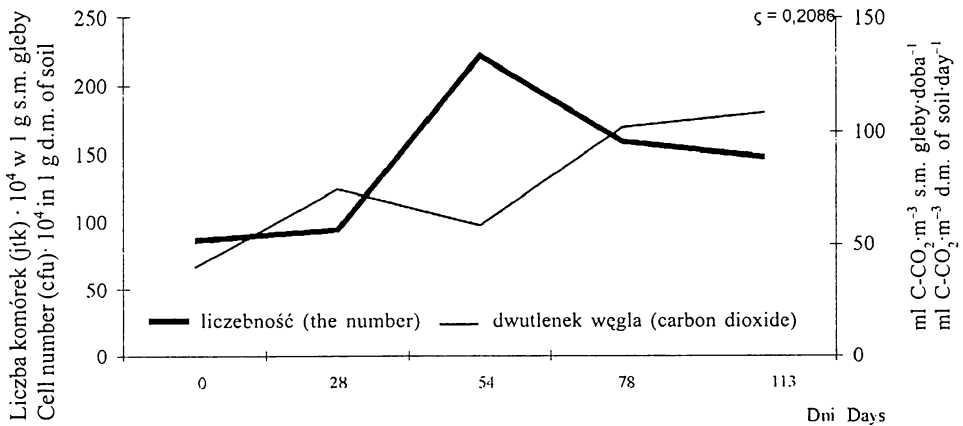
W wazonach napełnionych glebą, bez wzbogacenia jej osadami, lecz obsianą gorczycą (rys. 3) dynamika namnażania się drobnoustrojów i aktywność oddechowa gleby przebiegały podobnie jak w kombinacji z samą glebą (rys. 1). Wpływ rośliny na badane parametry wyrażał się jedynie w odnotowanych, wyższych ich wartościach.

Jednak najwyższą aktywność oddechową gleby zanotowano w kombinacji: gleba (piasek gliniasty) z dodatkiem osadu ściekowego i obsiana gorczycą (rys. 4). Efekt tego zjawiska najprawdopodobniej związany był z intensywną mineralizacją materii organicznej pochodzącej z osadu ściekowego oraz wpływem gorczycy białej. W obiekcie tym największą liczbę drobnoustrojów odnotowano w fazie kwitnienia roślin. Mineralizacja materii organicznej i udostępnianie składników pokarmowych były przyczyną lepszego rozwoju roślin, a najprawdopodobniej największa aktywność fotosyntetyczna w okresie kwitnienia roślin spowodowała wzmożone wydzielanie korzeniowe i namnażanie mikroorganizmów. Zanotowano też wyższą, przeciętną wartość wydzielonego CO_2 z gleby, równą $58,3 \text{ ml C-CO}_2 \cdot \text{m}^{-3} \text{ s.m. gleby} \cdot \text{doba}^{-1}$ (gleba kontrolna – $41,8 \text{ ml C-CO}_2 \cdot \text{m}^{-3} \text{ s.m. gleby} \cdot \text{doba}^{-1}$). Wpływ roślin (m.in. wikliny) na kilkakrotny wzrost wydzielania CO_2 z gleby nawożonej osadem ściekowym potwierdzają badania przeprowadzone przez Wielgosz [1996].



RYSUNEK 3. Ogólna liczebność mikroorganizmów (*Salmonella* sp., *E. coli*, *Clostridium* sp., *Azotobacter* sp., ogólna liczebność bakterii, grzybów, promieniowców) a wydzielanie CO_2 w glebie z gorczycą białą

FIGURE 3. The total number of microorganisms (*Salmonella* sp., *E. coli*, *Clostridium* sp., *Azotobacter* sp., the total number of bacteria, fungi, actinomycetes) and CO_2 release in the soil with white mustard;



RYSUNEK 4. Ogólna liczebność mikroorganizmów (*Salmonella* sp., *E. coli*, *Clostridium* sp., *Azotobacter* sp., ogólna liczebność bakterii, grzybów, promieniowców) a wydzielanie CO_2 w glebie z dodatkiem osadu ściekowego i z gorczycą białą

FIGURE 4. The total number of microorganisms (*Salmonella* sp., *E. coli*, *Clostridium* sp., *Azotobacter* sp., the total number of bacteria, fungi, actinomycetes) and CO_2 release in the soil with sewage sludge addition and with white mustard

Wzrost aktywności oddechowej o 15,9% w stosunku do kombinacji kontrolnej (rys. 1) stwierdzono również w obiekcie z glebą (bez dodatku osadu) obsianą gorczycą (rys. 3). Przyczyną tego zjawiska była najprawdopodobniej respiracja glebowa, na którą składają się trzy komponenty glebowe: respiracja korzeniowa, mikrobiologiczna respiracja w ryzosferze oraz respiracja zachodząca w glebie z dala od korzeni rośliny [Keltling i in. 1997].

Procesy przeobrażania substancji organicznej w glebach są związane z działalnością drobnoustrojów, produkowanych przez nie enzymów i ich aktywnością oddechową. Powszechnie przyjmuje się, że respiracja w glebie jest wskaźnikiem tzw. aktywności mikrobiologicznej, a jej rozmiary korelują z zawartością substancji organicznej w glebie, a zwłaszcza ze średnią ilością mikroorganizmów glebowych [Dąbek-Szreniawska, Wilke 1996; Kowalik 2001].

Z naszych badań wynika, że liczebność drobnoustrojów we wszystkich kombinacjach doświadczalnych zwiększała się, wzrastała też aktywność oddechowa, ale oba te parametry nie wzrastały w tych samych terminach. Zwiększanie się liczebności drobnoustrojów wyprzedzało wzrost wydzielania CO_2 . Należy przypuszczać, że wydzielone w znacznej ilości przez drobnoustroje enzymy sorbowane były przez koloidy glebowe i efektywne ich działanie zaznaczyło się po wyczerpaniu się enzymów uwolnionych do roztworu glebowego. Jak wynika z badań Dąbek-Szreniawskiej i Wilke [1996], aktywność oddechowa drobnoustrojów ma związek nie tylko z zawartością materii organicznej w glebie, ale zależy również od typu gleby, a nawet jej frakcji.

Biorąc pod uwagę kombinacje glebowe i posługując się współczynnikiem korelacji liniowej Pearsona [Wysocki, Lira 2003], stwierdzono, że korelacja między ilością wydzielonego CO_2 z analizowanych obiektów glebowych a średnią liczbą wszystkich, badanych grup drobnoustrojów występowała w kombinacjach, w których glebę wzbogacano w osad ściekowy (rys. 2 i 4). W przeprowadzonym doświadczeniu bowiem współczynniki korelacji liniowej wahały się od ujemnego do 0,4.

Z doświadczenia wynika, że ilość wydzielonego CO_2 w glebie można uznać za wskaźnik biologicznej aktywności środowiska glebowego, bowiem jego ilość uwalniana do środowiska związana jest z intensywnością mineralizacji materii organicznej w glebie. Jednak nie zawsze występuje wprost proporcjonalna zależność między aktywnością oddechową a liczebnością mikroorganizmów.

W niniejszym doświadczeniu posłużono się absorpcyjną metodą pomiaru aktywności oddechowej gleby. Przydatności metody tej budzi wiele kontrowersji, bowiem obecnie stosuje się nowoczesne analizatory gazowe [Conant i in. 2004; Lou i in. 2004]. Brak jednak prac, w których porównywano by obie metody, trudno więc jest jednoznacznie stwierdzić, która jest bardziej skuteczna.

WNIOSKI

1. Dodatek materii organicznej w postaci osadu ściekowego do gleby o uziarnieniu piasku gliniastego lekkiego i uprawa gorczycy białej stymulowały wydzielanie CO_2 i namnażanie się drobnoustrojów.

2. Dodatnia korelacja liniowa pomiędzy ilością wydzielonego CO₂ a ogólną liczbą analizowanych grup drobnoustrojów występowała jedynie w kombinacjach z dodatkiem osadu ściekowego.
3. Intensywne wydzielanie CO₂ z gleby z dodatkiem osadu ściekowego jest wskaźnikiem intensywnej mineralizacji materii organicznej z osadu.

LITERATURA

- CHODUR M. 2000: Suszenie termiczne osadów z oczyszczalni ścieków w technologii ROTADISC. Charakterystyka i zagospodarowanie osadów ściekowych. Bydgoskie Tow. Nauk. *Prace Wydz. Nauk Techn., ser. A.*, Gdańsk: 197–206.
- CONANT R.T., DALLA-BETTA P., KLOPATEK C.C., KLOPATEK J.M. 2004: Controls on soil respiration in semiarid soils. *Soil Biol. Biochem.* **36**: 945–951.
- DĄBEK-SZRENIAWSKA M., WILKE B.M. 1996: Microbiological activity within various fractions of soil aggregates. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **436**: 13–19.
- FENGLEROWA W. 1965: Simple method for counting *Azotobacter* in soil samples. *Acta Microbiol. Polon.* **14**: 203.
- DEBOSZ K., PETERSEN S.O., KURE L.K., AMBUS P. 2002: Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. *Appl. Soil Ecol.* **19**: 237–248.
- GOŁĘBIEWSKA J., PĘDZIWIŁK Z. 1984: CO₂ release as index of biological activity of cultivated soils. *Acta Microbiol. Polon.* **33**: 249–256.
- GOSTKOWSKA K., WOYTOWICZ B., SZEMBER A., JAŚKIEWICZ W., FURCZAK J., JEZIERSKA-TYS S. 1989: Wpływ różnych środków użyźniających na aktywność mikrobiologiczną gleby gliniastej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **370**: 65–79.
- HARMON S.M., KAUTER D., PEELER J.T. 1971: Comparison of media for enumeration *Clostridium perfringens*. *Appl. Microbiol.* **21**: 922–927.
- JONIEC J., FURCZAK J. 2003: Aktywność oddechowa i dehydrogenazowa gleby pod uprawą wikliny koszykarskiej użyźnionej osadem ściekowym. Cz. II. Efektywne mikroorganizmy w rolnictwie zrównoważonym i ochronie środowiska. Materiały XXXVIII Międzynarodowego Sympozjum Mikrobiologicznego, Rogów: 38.
- KACZMAREK W., KASZUBIAK H., GUZEK H. 1973: Comparison of changes in the number of microorganisms in the soil by plate and microscopic procedures. *Pol. J. Soil Sci.* **6**: 133–139.
- KELTING D., BURGER J., EDWARDS G. 1997: Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* **30**: 961–966.
- KOWALIK P. 2001: Ochrona środowiska glebowego. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- LASOCKA I. 2000: Gospodarka osadowa w oczyszczalniach ścieków dla miast Mosina i Puszczykowo. Charakterystyka i zagospodarowanie osadów ściekowych. Bydgoskie Tow. Nauk., *Prace Wydz. Nauk Techn., ser. A.*, Gdańsk: 211–217.
- LOU Y., LI Z., ZHANG T., LIANG Y. 2004: CO₂ emissions from subtropical soils of China. *Soil Biol. Biochem.* **39**: 1835–1842.
- MANAFI M., KNEIFEL W. 1989: A combined chromogenic-fluorogenic medium for simultaneous detection of total coliforms and *E. coli* in water. *Zentralbl. Hyg.* 225–234.
- MARTIN J. P. 1950: Use of acid, rose Bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Sci.* **69**: 215–232.
- NGUYEN THI LOC B. 2002: Charakterystyka mikrobiologiczna i możliwość wykorzystania osadów ściekowych do produkcji kompostu z oczyszczalni ścieków dla miasta Zielona Góra. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **484**: 401–408.

- OLSZEWSKA H., PALUSZAK Z., TRACZYKOWSKI A. 2001: Ocena mikrobiologiczna osadów ściekowych z zakładów mięsnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **477**: 451–457.
- POLSKI KOMITET NORMALIZACYJNY 2001: Polska Norma PN-Z-19000-1. Ocena stanu sanitarnego gleby. Wykrywanie bakterii z rodzaju *Salmonella*.
- RAMBACH A. 1990: New plate medium for facilitated differentiation of *Salmonella* spp. from *Proteus* spp. and other enteric bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* **56**: 301–303.
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA, z dnia 01.08.2002. *Dz. U.* 02. 134. 1140.
- QUEMADA M., MENCHO E. 2001: Soil respiration 1 year after sewage sludge application. *Biol. Fertil. Soils* **33**: 344–346.
- SELIVANOVSKAYA S. YU., LATYPOVA V. Z., KIYAMOVA S.N., ALIMOVA F. K. 2001: Use of microbial parameters to assess treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan. *Agricul. Ecosyst. Environ.* **86**: 145–153.
- SIUTA J. 1996: Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. *Mat. Terenowej Konf. Nauk.-Techn.* Lublin: 11–25.
- SIUTA J. 1990: Prognoza degradacji i użytkowania ziemi w Polsce. *Ochrona Środow.* **1**: 31–74.
- WALLACE R., LOCHHEAD A. 1950: Qualitative studies of soil microorganisms. IX. Amino acid requirements of rhizosphere bacteria. *Canadian J. Res. Section C* **28**: 1–6.
- WIELGOSZ E. 1996: Liczebność i niektóre parametry aktywności drobnoustrojów w osadzie ścieków komunalnych pod uprawą różnych roślin. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **437**: 338–341.
- WYSOCKI F., LIRA J. 2003: Statystyka. Wydaw. AR Poznań.

Dr inż. Agnieszka Wolna-Maruwka,
Katedra Mikrobiologii Rolnej, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego,
ul. Wołyńska 35, 60-637 Poznań
e-mail: amaruwka@interia.pl