

Streszczenie

Szybki rozwój energetyki biogazowej powoduje pojawienie się problemu osadu pofermentacyjnego, stanowiącego produkt uboczny z produkcji biogazu. Jedną z możliwości utylizacji osadu jest wykorzystanie go do celów rolniczych, ponieważ zawiera dużo węgla (C) i innych składników odżywczych (N, P, K oraz Ca). Gleby rolnicze, w których wykorzystano osad pofermentacyjny, mogą potencjalnie magazynować C, co w konsekwencji może przyczynić się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Doniesienia wskazują, że substancją wspomagającą stabilizację węgla w glebie jest tlenek żelaza (Fe_2O_3) – jeden z dominujących tlenków metali w glebie – ze względu na jego wysoką reaktywność i pojemność sorpcyjną. Jednakże w literaturze trudno o informację o dodatkowym wpływie tlenku żelaza na stabilizację węgla w glebach wzbogaconych osadami pofermentacyjnymi. Głównym celem mojej pracy było ustalenie przebiegu mineralizacji źródeł C po dodaniu osadu pofermentacyjnego do gleby i określenie możliwości zwiększenia stabilizacji C przez dodanie Fe_2O_3 .

Seria eksperymentalna obejmowała inkubację dwóch gleb (piaszczysta i gliniasta) z różnymi dodatkami (osad, osad z Fe_2O_3 , glukoza) i ich kombinacjami. Osad pofermentacyjny bez i z Fe_2O_3 dodano do gleby w dawce 240 mg C kg^{-1} i inkubowano przez 110 dni w $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Glukozę znakowaną izotopem ^{14}C dodano w 30. dniu eksperymentu. W celu określenia zmian w przemianach natywnej materii organicznej gleby (SOC), po dodaniu osadu pofermentacyjnego bez i z Fe_2O_3 oraz glukozy, zastosowano podwójne znakowanie izotopowe $^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$. W celu rozróżnienia trzech źródeł C w CO_2 : 1) SOC (pochodzenia C_3 , $\delta^{13}\text{C} = -25,5 \text{ ‰}$), 2) osad pofermentacyjny (pochodzenia C_4 , $\delta^{13}\text{C} = -17,9 \text{ ‰}$) oraz 3) ^{14}C -glukoza, zastosowano naturalną zawartość izotopu ^{13}C wraz z znakowaniem izotopem ^{14}C .

Badania wykazały, że dodatek osadów pofermentacyjnych znacznie zwiększył emisję CO_2 z obu gleb. Analiza $\delta^{13}\text{C}$ całkowitej emisji CO_2 dowiodła, że osad pofermentacyjny zmniejszył mineralizację SOC. Dodanie Fe_2O_3 nieznacznie zwiększyło mineralizację SOC, ale o 72% zmniejszyło mineralizację osadu w glebie, zwiększając sekwestrację węgla. Dodatek glukozy aktywował mikroorganizmy do intensywniejszej mineralizacji osadu kukurydzianego,

ale tylko w glebie piaszczystej. Dodanie osadu pofermentacyjnego wywołało dodatni i ujemny *priming effect*, tj. przyspieszenie lub zmniejszanie mineralizacji SOC, szczególnie w glebie gliniastej. Analizy izotopowe wykazały, że Fe_2O_3 stabilizował zubożone w izotop ^{13}C składniki osadu (np. ligniny i substancje lipidowe) z powodu silnych oddziaływań sorpcyjnych. Po 110-dniowej inkubacji w glebie zmineralizowane zostało 65% i 18% osadu pofermentacyjnego, odpowiednio bez i z Fe_2O_3 .

W przedstawionych badaniach po raz pierwszy, naturalna zawartość izotopu ^{13}C została połączona z znakowaniem izotopem ^{14}C , co umożliwiło analizę trzech źródeł C w glebach po dodaniu osadów pofermentacyjnych. Badanie to pozwala lepiej zrozumieć obieg SOC po dodaniu osadu. Po pierwsze, wyniki moich badań pokazują, że stosowanie osadu pofermentacyjnego hamuje mineralizację SOC, co sugeruje, jego pozytywny wpływ na długoterminową jakość gleby – utrzymanie poziomów C w glebie. Po drugie, Fe_2O_3 zmniejszał mineralizację węgla z osadu pofermentacyjnego, a tym samym zwiększał sekwestrację C w glebie. Warto przy tym zaznaczyć, że wykorzystane naturalne znaczniki izotopu ^{13}C mogą być skutecznie wykorzystywane w badaniach wpływu nawożenia na zatrzymywanie składników odżywczych w glebie.

Słowa kluczowe: emisja CO_2 , $\delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2$, Fe_2O_3 , węgiel organiczny gleby, osad pofermentacyjny, glukoza, sekwestracja C, *priming effect*, naturalna zawartość ^{13}C , znakowanie ^{14}C

Abstract

Rapid development of biogas production results in increased amounts of biogas residues, i.e., a post-fermentation sludge. One possibility for utilizing such sludge is its addition into the soil, because sludge contains high levels of carbon (C) and the nutrients (N, P, K and Ca). Soils, especially managed agricultural soils with applied sludge, have the potential to store C, and in consequence mitigate greenhouse gas emissions. Iron oxide – one of the dominant metal oxides in soil – also plays an important role in C stabilization due to its high reactivity and sorption capacity. However, there is no information about the additional effect of Fe_2O_3 on C stabilization in sludge-amended soil. The main aim of this study was to determine how the mineralization of organic C sources occurs after the addition of post-fermentation sludge to soil, and whether it is possible to slow down or reduce the mineralization (and consequently increase C stabilization in the soil) by adding Fe_2O_3 .

The experimental series included the incubation of two soils (sandy and loamy) with various additions (sludge, sludge with Fe_2O_3 , glucose and combinations of these). The post-fermentation sludges, without and with Fe_2O_3 , were added to soils at a rate of 240 mg C kg^{-1} , and incubated for 110 days at $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Additionally, some of the soil samples received ^{14}C -labelled glucose on day 30 of the experiment. To determine changes in the soil organic carbon (SOC) turnover after the addition of post-fermentation sludge without and with Fe_2O_3 and glucose, dual $^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$ isotopic labels were successfully used. The ^{13}C natural abundance was combined with ^{14}C labelling to separate the total CO_2 efflux from three sources: 1) native SOC (C_3 originated, $\delta^{13}\text{C} = -25.5\text{‰}$), 2) added post-fermentation sludge (C_4 originated, $\delta^{13}\text{C} = -17.9\text{‰}$) and 3) glucose (^{14}C labelled).

The addition of post-fermentation sludges strongly increased the CO_2 emission from the soils. A $\delta^{13}\text{C}$ analysis of the total CO_2 efflux revealed that post-fermentation sludge decreased the SOC mineralization. Added Fe_2O_3 slightly increased the SOC mineralization but decreased the sludge mineralization by -72% , and therefore, increased C stabilization in soil. Glucose addition stimulated the microorganisms to more intensive maize sludge mineralization only

in the sandy soil. Post-fermentation sludge addition induced a positive and negative *priming effect*, i.e., the acceleration or reduction of the SOC mineralization, most pronounced in the loamy soil (highest C content). A $\delta^{13}\text{C}$ analysis revealed that Fe_2O_3 stabilized ^{13}C -depleted sludge components, (e.g., lignin and lipid components) rather than ^{13}C -enriched components, (e.g., sugars), due to strong sorption interactions. A total of 65% and 18% of the post-fermentation sludge without and with Fe_2O_3 had been mineralized after 110 days of incubation in the soil.

Here, for the first time, the ^{13}C natural abundance was combined with ^{14}C labelling to trace three C sources in post-fermentation sludge-amended soils. This study provides a better understanding of the turnover of SOC after sludge addition. Firstly, the application of post-fermentation sludge suppresses SOC decomposition, suggesting that its use as a fertilizer could positively influence long-term soil quality by maintaining the soil C levels. Secondly, Fe_2O_3 addition decreases sludge mineralization, and therefore increases C sequestration in soil. Finally, the success of the ^{13}C natural abundance and ^{14}C labelling approach supports its use as an effective method of analysing various fertilization techniques with respect to soil nutrient retention. Such results were only possible by partitioning the total CO_2 into three sources.

Keywords: CO_2 emission, $\delta^{13}\text{C}$ of CO_2 , Fe_2O_3 , soil organic carbon, sludge carbon, glucose, C sequestration, *priming effect*, ^{13}C natural abundance, ^{14}C labelling