

Assessing the effect of using digestate in maize monoculture on soil organic matter quantity and quality

Ocena wpływu stosowania pofermentu w monokulturze kukurydzy na ilość i jakość materii organicznej w glebie

DOI: 10.15199/62.2024.8.2

Org. digestate (solid fraction) obtained from an agricultural biogas plant was used as org. fertilizer (at a dose of 30 t/ha) for corn cultivation in a 3-year monoculture, in 2019–2021. After the harvest each year, the soil material was collected and separated into fractions of humic acids (C_{KH}), fulvic acids (C_{KF}) and humins (C_H) and the org. C content was detd. Fertilization with digestate prevented the loss of org. C in the soil, promoted its accumulation and improved the quality of soil org. matter. The use of digestate showed a positive effect on increasing the C_H fraction content. The value of the humic to fulvic acid ratio was $C_{KH}:C_{KF} > 1.5$.

Keywords: organic fertilization, natural fertilization, soil organic quality, humic substances, soil organic carbon

W statycznym doświadczeniu polowym porównano efekty stosowania pofermentu organicznego (stała frakcja) pozyskanego z biogazowni rolniczej na tle obiektu kontrolnego, w którym nie stosowano nawożenia organicznego, celem oceny ilości i jakości materii organicznej. Poferment stosowano w dawce 30 t/ha pod kukurydzę uprawianą na kiszonkę w trzyletniej monokulturze w latach 2019–2021. Nawożenie pofermentem przeciwdziało ubytkowi węgla organicznego w glebie (C_{org}) sprzyjało jego akumulacji, a także poprawiało jakość glebowej materii organicznej. Zastosowanie pofermentu wpływało korzystnie na zwiększenie zawartości frakcji humin (trwałej frakcji próchnicy). Wartość stosunku kwasów huminowych do fulwowych wynosiła $C_{KH}:C_{KF} > 1,5$.

Słowa kluczowe: nawożenie organiczne, jakość materii organicznej gleby, kwasy huminowe, kwasy fulwowe, huminy, węgiel organiczny w glebie

Postępujące szybko zmiany klimatu powodują pogorszenie warunków glebowych i spadek w niej zawartości materii organicznej, która jest niezbędna dla prawidłowego funkcjonowania gleb uprawnych¹⁾. W glebie materia organiczna ulega jednocześnie procesom mineralizacji, prowadzącym do uwolnienia składników pokarmowych niezbędnych dla roślin oraz procesom humifikacji, w wyniku których powstają związki próchniczne o wszechstronnym działaniu poprawiającym właściwości gleby, czyli kwasy huminowe (C_{KH}), fulwowe (C_{KF}) i huminy (C_H)^{2, 3)}. Podziału substancji humusowych na kwasy huminowe, kwasy fulwowe oraz huminy dokonano na podstawie analitycznych procedur frakcjonowania tych związków na podstawie ich rozpuszczalności w selektywnie działających

roztworach rozpuszczalnikach^{2, 3)}. Kwasy huminowe to słabe alifatyczne i aromatyczne kwasy organiczne, nierozpuszczalne w wodzie, środowisku kwaśnym. Zawierają ok. 58% węgla i charakteryzują się barwą od ciemnobrązowej do czarnej. Kwasy fulwowe są grupą związków zawierających mniej pierścieni aromatycznych, ale więcej tlenu niż kwasy huminowe, przez co są rozpuszczalne w wodzie w całym zakresie pH. Zawierają ok. 55% węgla i mają barwę od żółtej do żółtobrązowej. Ta frakcja kwasów humusowych odpowiedzialna jest za wymywanie zasadowych składników z gleby, w związku z tym nie jest korzystna dla jakości próchnicy. Huminy to grupa związków o barwie czarnej, nierozpuszczalnych w wodzie w całym zakresie pH. Huminy stanowią najważniejszą frakcję substancji



Dr hab. Dorota PIKUŁA (ORCID: 0000-0003-4173-197X) w roku 2000 ukończyła studia na Wydziale Rolnictwa i Biologii w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, specjalność ochrona środowiska. W 2006 r. uzyskała stopień doktora nauk rolniczych w dziedzinie agronomii, a w 2019 r. stopień doktora habilitowanego w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo. Jest zatrudniona na stanowisku adiunkta w Zakładzie Żywności Roslin i Nawożenia Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach. W 2008 r. wdrożyła w IUNG-PIB badania jakości glebowej materii organicznej. Specjalność – nawożenie, ochrona środowiska, frakcjonowanie materii organicznej.



Dr inż. Ryszard WINIARSKI (ORCID: 0000-0002-6036-6982) w roku 1992 ukończył studia na Wydziale Ogrodniczym Akademii Rolniczej w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie). Od ukończenia studiów do chwili obecnej pracuje w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach, gdzie jest specjalistą w Zakładzie Żywności Roslin i Nawożenia. Specjalność – chemia rolna.

*** Adres do korespondencji:**

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czarotoryskich 8, 24-100 Puławy, tel.: (81) 478-68-37, e-mail: dpikuła@iung.pulawy.pl

Table. Characteristics of the digestate

Tabela. Charakterystyka pofermentu

Właściwości chemiczne	Rok badania		
	2019	2020	2021
pH _{H₂O}	7,8	7,9	7,4
N _{calc.} , % mas.	0,99	1,23	0,62
P(P ₂ O ₅), % mas.	0,87	0,92	0,82
K(K ₂ O), % mas.	0,43	0,35	0,32
C _{org.} , % mas.	20,80	27,00	13,90

humusowych, decydują o stabilności próchnicy, poprawiają strukturę gleby i pojemność wodną gleby oraz stanowią rezerwar składników odżywczych dla roślin i mikroorganizmów^{3,4}). Wspomniane substancje humusowe są głównym składnikiem materii organicznej, które decydują zarówno o jej właściwościach, jak i funkcjach. O jakości materii organicznej decyduje przede wszystkim procentowy udział poszczególnych frakcji substancji humusowych w puli całkowitej węgla organicznego oraz wartość stosunku kwasów huminowych do kwasów fulwowych ($C_{KH}:C_{KF}$). Wzrost zawartości w glebach bardziej stabilnych frakcji materii organicznej, takich jak kwasy huminowe oraz huminy poprawia nie tylko właściwości chemiczne i fizyczne gleb, ale również ich właściwości biologiczne, co ma podstawowe znaczenie dla plonowania roślin uprawnych^{4,5}). Stąd też właśnie poszczególne frakcje materii organicznej są bardziej miarodajnymi wskaźnikami jakości gleby niż całkowita zawartość węgla organicznego w glebie.

Naturalne warunki rolnicze w Polsce, przede wszystkim specyfika klimatu, duży udział gleb piaszczystych oraz zakwaszenie gleb nie sprzyjają akumulacji i utrzymaniu na stałym poziomie zawartości glebowej materii organicznej. W związku z tym większość (60%) gleb Polski można sklasyfikować jako charakteryzujące się relatywnie małą zawartością glebowej materii^{1,6}). Zawartość węgla organicznego w glebie może być zwiększana poprzez nawożenie obornikiem, stosowanie nawozów organicznych, uprawę roślin zwiększających zawartość świeżej materii organicznej w glebie oraz przyorywanie poplonów^{1,7}). Stąd też bardzo powszechne jest stosowanie obornika oraz nawozów organicznych. Stosowanie nawozów naturalnych i organicznych stabilizuje zawartość materii organicznej oraz pozytywnie wpływa na poprawę właściwości fizycznych gleb (zasobność w składniki pokarmowe, stabilizacja struktury agregatowej, wzrost pojemności wodnej)^{4,7}).

Poferment z biogazowni rolniczej będący produktem ubocznym przy produkcji biogazu jest źródłem cennej materii organicznej^{8,9}). W odseparowanej frakcji stałej zawartość materii organicznej wynosi przeciętnie ok. 17,4%. Oznacza to, że w 10 t zastosowanego pofermentu można wprowadzić do gleby 1,7 t materii organicznej¹⁰), która szybko podlega procesom mineralizacji, uwalniając składniki mineralne dostępne dla roślin¹¹). Badania naukowe potwierdzają, że

stosowanie pofermentu przeciwdziała ubytkowi glebowej materii organicznej, a w dłuższym okresie czasu sprzyja jej akumulacji, tym samym przyczyniając się do poprawy właściwości sorpcyjnych, buforowych i retencyjnych gleby^{12,13}) oraz stanowi alternatywę dla nawożenia mineralnego oraz obornika¹⁴⁻¹⁶). Dlatego też celem 3-letnich badań była ocena wpływu nawożenia pofermentem kukurydzy na ilość i jakość materii organicznej w glebie.

Część doświadczalna

Materiały

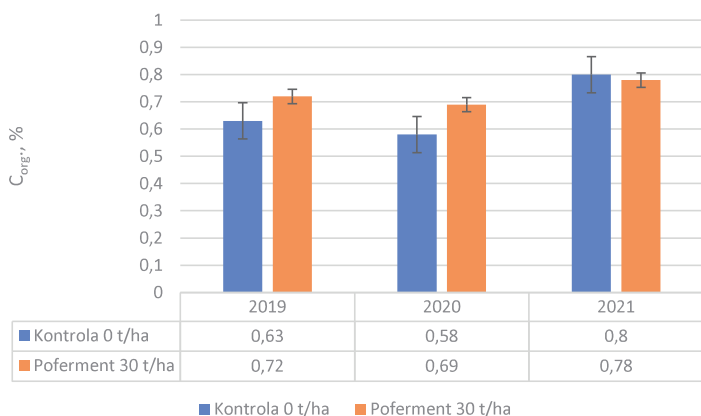
W badaniach zastosowano odpad pofermentacyjny z biogazowni w postaci stałej, którego parametry w latach 2019–2021 wynosiły odpowiednio: pH_{H₂O} – 7,8; 7,9 i 7,4, N – 0,99; 1,23 i 0,62% mas., P(P₂O₅) – 0,87; 0,92 i 0,82% mas., K(K₂O) – 0,43; 0,35 i 0,32% mas., zawartość węgla organicznego – 20,8; 27,0 i 13,9% mas. (tabela).

Do siewu została wykorzystana kukurydza odmiany LG 30-260 (2019), LG 30-250 (2020) i HOULK (2021).

Metodyka badań

Doświadczenie założono w 2015 r. w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym w Grabowie (woj. mazowieckie) (N: 51°21'9,76", E: 21°39'26,38") na glebie płowej wytworzonej z gliny lekkiej zawierającej 26–35% części spławalnych, zaliczanej do kompleksu żyniego bardzo dobrego. Gleba charakteryzowała się lekko kwaśnym odczynem (6,3–6,4 w KCl), bardzo wysoką zasobnością w fosfor przyswajalny (28,2–36,4 mg P₂O₅/100 g gleby), wysoką w potas przyswajalny (12,9–23,7 mg K₂O/100 g gleby) oraz bardzo małą zasobnością w magnez przyswajalny (2,1–3,5 mg Mg/100 g gleby). Średnia suma opadów w sezonie wegetacyjnym wynosiła ok. 340 mm, a średnia roczna temp. 7,8°C. Doświadczenie założono w czterech powtórzeniach, w układzie doświadczalnym *split-plot*. Kiszonka z kukurydzy jest integralną częścią większości dawek pokarmowych dla bydła mlecznego i jest dominującą paszą dla wysokowydajnych stad bydła mlecznego w Polsce. Dlatego też obiektem badań była kukurydza uprawiana na zieloną masę w monokulturze od 2015 r. W nawożeniu przedsięwziętym po wprowadzeniu do gleby pofermentu w dawce 30 t/ha zastosowano nawozy mineralne: fosfor w dawce 70 kg w postaci superfosfatu wzbogaconego (40% P₂O₅) oraz potas w dawce 120 kg w postaci granulowanej soli potasowej (60% K₂O). W doświadczeniu stosowano tradycyjną, mechaniczną uprawę gleby uwzględniającą użycie brony talerzowej i kultywatora.

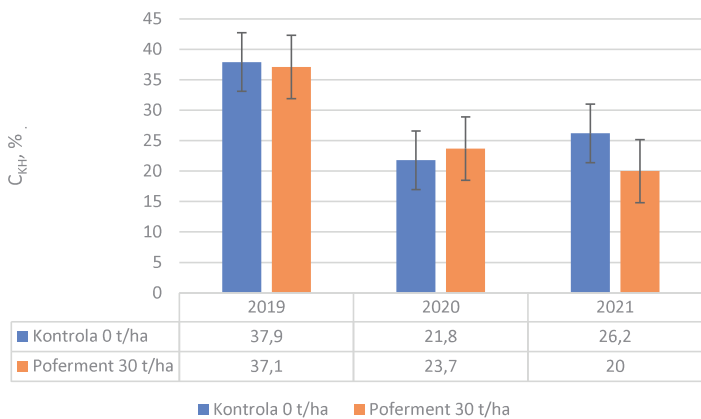
Próbki gleby pobrano do badań w latach (2019–2021) po zbiorze kukurydzy na kiszonkę. Próbki gleby pobrano pod koniec sezonu wegetacyjnego (październik) z warstwy ornej gleby. W materiale glebowym oznaczono zawartość C organicznego ($C_{org.}$)¹⁷) i pH_{KCL}¹⁸) w akredytowanym laboratorium chemicznym (Główne Laboratorium Analiz Chemicznych, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy



C_{org} – węgiel organiczny, HSD_{0,05}: 2019 – 0,061, 2020 – 0,078, 2021 – 0,869

Fig. 1. Content of C_{org} in the soil after digestate application in 2019–2021, %

Rys. 1. Zawartość C_{org} w glebie po zastosowaniu pofermentu w latach 2019–2021, %



C_{KH} – węgiel kwasów huminowych, HSD_{0,05}: 2019 – 0,689, 2020 – 0,211, 2021 – 0,010

Fig. 2. Content of humic acids (C_{KH}) in the soil after digestate application in 2019–2021, %

Rys. 2. Zawartość kwasów huminowych (C_{KH}) w glebie po zastosowaniu pofermentu w latach 2019–2021, %

Instytut Badawczy). Substancje humusowe: kwasy huminowe (C_{KH}), kwasy fulwowe (C_{KF}), huminy (C_H), zostały wydzielone na podstawie kryterium rozpuszczalności w kwasach i zasadach zgodnie z metodą Schnitzera¹⁹). Jakość glebowej materii organicznej została oznaczona na podstawie jej frakcjonowania, czyli chemicznego rozdzielenia na frakcje węgla kwasów huminowych, węgla kwasów fulwowych oraz węgla humin z wykorzystaniem selektywnych rozpuszczalników. Ogólna zasada frakcjonowania próchnicy tą metodą polega na rozdzielaniu poszczególnych jej części na podstawie kryterium ich rozpuszczalności. Węgiel poszczególnych frakcji został oznaczony w Zakładzie Żywienia Roślin i Nawożenia za pomocą analizatora Multi N/C 3100. Na podstawie uzyskanych wyników został wyliczony procentowy udział poszczególnych frakcji w ogólnej puli węgla organicznego. Węgiel frakcji humin wyliczono z różnicy między C_{org} a sumą oznaczonych frak-

cji. Zawartość węgla organicznego (%) w wydzielonych frakcjach obliczono z zależności (1) i (2):

$$C_{KH} = (C_{KH} + C_{KF}) - C_{KF} \quad (1)$$

w której $C_{KH} + C_{KF}$ oznacza sumę kwasów huminowych i fulwowych w ekstraktach otrzymanych z 0,5 M NaOH, C_{KF} węgiel kwasów fulwowych w roztworach po wytrąceniu kwasów huminowych.

Węgiel humin C_H obliczono wg zależności (2):

$$C_H = 100 - (C_{KH} + C_{KF} + Cd) \quad (2)$$

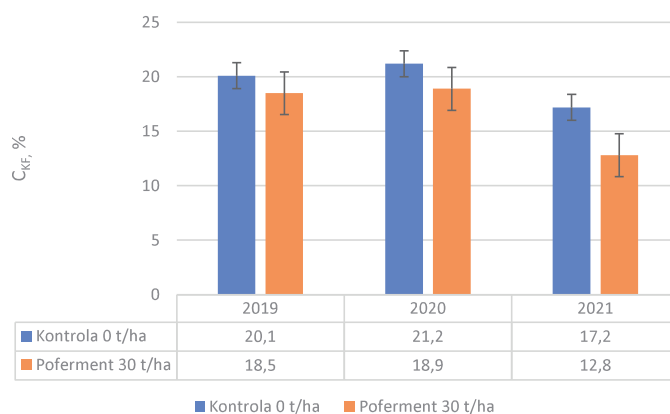
w której C_{KH} oznacza węgiel kwasów huminowych obliczony z zależności (1), a Cd węgiel w roztworze po odparowaniu.

Skład frakcyjny wyrażono jako procentowy udział danej frakcji w puli węgla organicznego gleby. Wydzielone frakcje substancji humusowych zostały uznane za główne wskaźniki żyzności gleby. Jakość glebowej materii organicznej została oceniona poprzez określenie stosunku kwasów humusowych do kwasów fulwowych ($C_{KH}:C_{KF}$).

Obliczenia statystyczne wykonano metodą analizy wariancji (ANOVA dla układów jednoczynnikowych), z wykorzystaniem programu statystycznego Statistica 13.1 firmy StatSoft. Istotność różnic określono, stosując test Tukeya przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki badań

Wprowadzenie do gleby świeżej materii organicznej w postaci pofermentu ma duże znaczenie dla utrzymania/zwiększenia żyzności gleby. Stosowanie pofermentu nie tylko przeciwdziała ubytkowi glebowej materii organicznej, ale w dłuższym okresie sprzyja jej akumulacji, przyczyniając się do poprawy najważniejszych właściwości gleby, a także do zwiększenia jej aktywności biologicznej. Poferment zastosowany w dawce 30 t/ha pod kukurydzę na



C_{KF} – węgiel kwasów fulwowych, HSD_{0,05}: 2019 – 0,028, 2020 – 0,004, 2021 – 0,003

Fig. 3. Content of fulvic acids (C_{KF}) in the soil after digestate application in 2019–2021, %

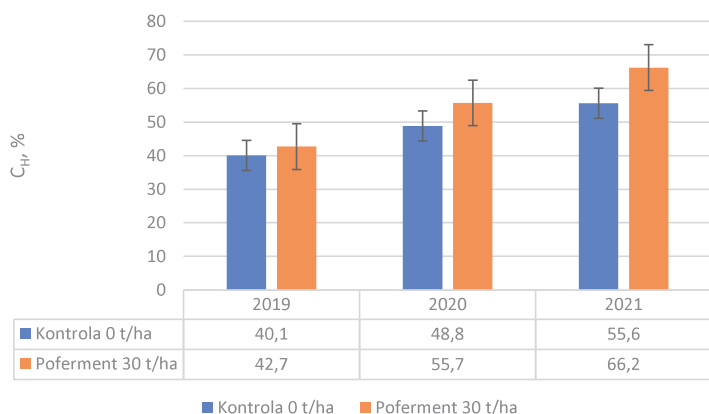
Rys. 3. Zawartość kwasów fulwowych (C_{KF}) w glebie po zastosowaniu pofermentu w latach 2019–2021, %

kiszonkę zawierał średnio 20,6% C_{org} i miał pH wynoszące średnio 7,7 (tabela).

Charakterystyka pofermentu

Największą akumulację C_{org} w glebie po zastosowaniu tego pofermentu stwierdzono w pierwszym i drugim roku stosowania pofermentu w porównaniu z obiektem kontrolnym (rys. 1) o odpowiednio 11,4% i 11,9%. W trzecim roku badań zawartość węgla organicznego po zastosowaniu pofermentu była najwyższa (0,78%), ale porównywalny poziom zawartości C_{org} otrzymano także w obiekcie kontrolnym (0,8%).

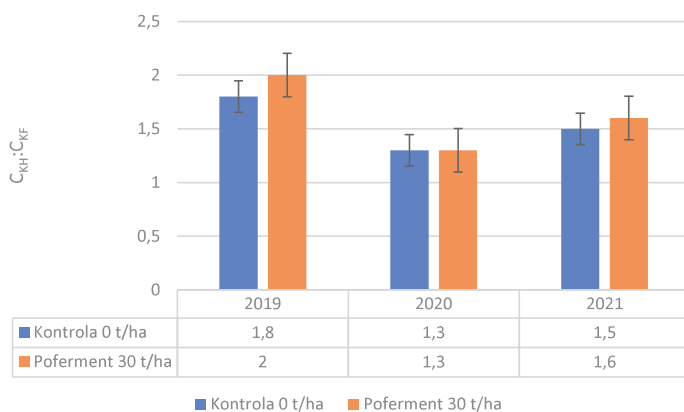
Istotne różnice statystyczne w ramach prowadzonych badań stwierdzono dla C_{KF} w latach 2019–2021, C_{KH} w 2021 r. oraz dla C_H w latach 2020–2021. Zawartość kwasów huminowych (C_{KH}) była największa w pierwszym roku badań i udział tej frakcji w całkowitej puli węgla organicznego wynosił 37,1% (rys. 2). W kolejnych latach badań zmniejszał się i wynosił 23,7% w 2020 r. i 20% w 2021 r. W drugim roku badań zawartość kwasów huminowych wzrosła w stosunku do obiektu kontrolnego o 8,7%. Zawartość kwasów fulwowych (C_{KF}) zmniejszała się po zastosowaniu pofermentu we wszystkich latach badań. Udział tej frakcji w całkowitej puli węgla organicznego w pierwszym i drugim roku wyniósł odpowiednio 18,5 i 18,9%. Najmniejszą zawartość kwasów fulwowych (C_{KF}) otrzymano w trzecim roku badań i udział tej frakcji w całkowitej puli węgla organicznego wyniósł 12,8% (rys. 3). Zawartość frakcji humin, odpowiedzialnej za trwałość próchnicy w glebie, była największa w trzecim roku badań i jej udział w całkowitej puli węgla organicznego wyniósł 66,2%, a w porównaniu z obiektem kontrolnym zanotowano wzrost o 11,9%. Najmniejszą zawartość tej frakcji notowano w pierwszym roku badań, jej udział w całkowitej puli węgla organicznego wyniósł 42,7%. Zawartość frak-



C_H – węgiel kwasów huminowych, HSD_{0,05}: 2019 – 0,152, 2020 – 0,009, 2021 – 0,0003

Fig. 4. Content of humins (CH) in the soil after digestate application in 2019–2021, %

Rys. 4. Zawartość humin (C_H) w glebie po zastosowaniu pofermentu w latach 2019–2021, %



$C_{KH}:C_{KF}$ – stosunek węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych, HSD_{0,05}: 2019 – 0,689, 2020 – 0,152, 2021 – 0,356

Fig. 5. The ratio of humic acids to fulvic acids (CKH:CKF) after digestate application in 2019–2021

Rys. 5. Stosunek kwasów huminowych do kwasów fulwowych ($C_{KH}:C_{KF}$) po zastosowaniu pofermentu w latach 2019–2021

cji humin zwiększała się w kolejnych latach badań i była zawsze większa niż w obiekcie kontrolnym.

Konsekwencją zmian procentowego udziału frakcji glebowej materii organicznej w całkowitej puli węgla organicznego jest wartość stosunku kwasów huminowych do kwasów fulwowych ($C_{KH}:C_{KF}$)⁴. Powszechnie przyjmuje się, że materia organiczna o wartościach tego stosunku wyższych od 1 jest stabilniejsza i charakterystyczna dla gleb żyzniejszych. Najwyższą wartość tego stosunku otrzymano w pierwszym roku po zastosowaniu pofermentu i wyniosła ona 2,0. W kolejnych latach stosowania pofermentu wartość stosunku obniżała się i w 2020 r. oscylowała wokół 1,3, a w 2021 – 1,6. Takie zmiany są konsekwencją zachodzących jednocześnie procesów mineralizacji i humifikacji materii organicznej po wprowadzeniu pofermentu do gleby. Mniejsza wartość stosunku $C_{KH}:C_{KF}$ w drugim roku badań świadczy o przewadze procesu mineralizacji i dominacji frakcji kwasów fulwowych w puli całkowitej węgla organicznego⁴.

Podsumowanie

Stosowanie pofermentu przeciwdziało ubytkowi glebowej materii organicznej, sprzyjało jej akumulacji i poprawiało jakość glebowej materii organicznej. Samo jednak zmagazynowanie węgla organicznego w glebie nie gwarantuje stabilności i dobrej jakości materii organicznej. Glebowa materia organiczna składa się z frakcji lekkiej, niezwiązanej z koloidami mineralnymi (labilna frakcja), frakcji związanej z agregatami glebowym oraz z frakcji silnie związanej z cząstkami mineralnymi, które decydują o jej jakości i stabilności. Wykorzystanie do oceny stabilności materii organicznej frakcji kwasów huminowych (C_{KH}), kwasów fulwowych (C_{KF}) oraz humin (C_H) wraz ze stosunkiem $C_{KH}:C_{KF}$ jest kluczowym wskaźnikiem oceny wpływu nawożenia pofermentem na jakość glebowej materii organicznej. Zastosowanie pofermentu do nawożenia kukurydzy uprawianej w monokulturze

wpływało korzystnie na zwiększenie zawartość frakcji humin (trwałej próchnicy) oraz pozawalało na utrzymanie dobrej jakości materii organicznej – wartość stosunku $C_{KH}:C_{KF} > 1,5$. Należy jednak pamiętać, że pod uprawę kukurydzy na kiszonkę poferment powinien być stosowany łącznie z nawozami NPK w celu zapobiegania wyczerpywaniu składników pokarmowych z gleby, a także utrzymania zawartości węgla ograniczonego na optymalnym poziomie i dobrej jakości materii organicznej w glebie.

Otrzymano: 03-06-2024

LITERATURA

- [1] W. Barabasz, S. Baran, R. Bednarek, E.J. Bielińska, A. Bielska, B. Bieniek i in., [w:] *Gleboznawstwo* (red. A. Mocek), PWN, Warszawa 2015, 571.
- [2] S. Gonet, [w:] *Rola materii organicznej w środowisku* (red. M. Markiewicz), PTSH, Wrocław 2007, 7.
- [3] R. Sutton, G. Sposito, *Environ. Sci. Technol.* 2005, **39**, 9009, <http://dx.doi.org/10.1021/es050778q>.
- [4] D. Pikula, O. Ciotucha, *Agronomy* 2022, **12**, 2385, <https://doi.org/10.3390/agronomy12102385>.
- [5] V. Šimanský, E. Wójcik-Gront, J. Horváthová, D. Pikula, T. Lošák, A. Parzych, M. Lukac, E. Aydin, *Agronomy* 2022, **12**, nr 6, 1460, <https://doi.org/10.3390/agronomy12061460>.
- [6] Monitoring Chemizmu Gleb Ornych Polski, 2017, https://www.gios.gov.pl/chemizm_gleb/index.php?mod=wyniki.
- [7] S. Mały, G. Siebielec, *Badania egzogennej materii organicznej w celu bezpiecznego stosowania do gleby*, Centralny Instytut Nadzoru i Badań w Rolnictwie, Brno 2015, 143.
- [8] S. Baran, J. Łabętowicz, E. Krzywy (red.), *Przyrodnicze wykorzystanie odpadów*, PWRiL, Warszawa 2011, 323.
- [9] X. Gómez, M.J. Ceutos, A.I. Garcia, A. Morán, *J. Hazard. Mater.* 2007, **149**, nr 1, 97.
- [10] T. Jadczyzyn, R. Winiarski, *Studia Raporty IUNG-PIB* 2017, **53**, nr 7, 105.
- [11] A. Łagodzka, M. Kamiński, M. Cholewiński, W. Pospolita, *Kosmos Probl. Nauk Biolog.* 2016, **65**, nr 4, 601.
- [12] G. Bezzi, L. Maggioni, C. Pieroni, *Proced. 24th European Biomass Conference and Exhibition, The Netherlands, 6–9 June 2016*, 1377.
- [13] M. Szymańska, J. Łabętowicz, W. Stępień, T. Sosulski, M. Korc, *Opracowanie technologii uzdatniania i zagospodarowania masy pofermentacyjnej pozostającej jako produkt uboczny przy produkcji biogazu rolniczego*, grant NCN nr N305 096539, 2010–2014.
- [14] C. Vaneekhaute, E. Meers, G. Ghekiere, F. Accoe, F.G. Tack, *Biomass Bioenerg.* 2013, **55**, 175, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.01.032>.
- [15] C. Beni, P. Servadio, S. Marconi, U. Neri, R. Aromolo, G. Diana, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2012, **43**, 821.
- [16] A. Kowalczyk-Juško, M. Szymańska, *Poferment nawozem dla rolnictwa*, Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Warszawa 2015, 60.
- [17] PB 021 Wydanie IV – 28.08.2020, *Zawartość ogólnego węgla organicznego TOC (OWO). Zakres: (0,10–50,0)%*. Metoda miareczkowa.
- [18] PN-ISO 10390:1997, *Jakość gleby. Oznaczenie pH. Metoda potencjometryczna na oznaczenie pH w H₂O i KCl*.
- [19] H. Dziadowiec, S.S. Gonet, *Przewodnik metodyczny do badań materii organicznej gleb*, Prace Komisji Naukowych PTG 120, Warszawa 1999.

Od 75 lat
poszerzamy
Twoje
horyzonty



WYDAWNICTWO
SIGMA-NOT 