

Dynamics of organic carbon and carbon of humins fraction in the soil profile of the Luvisols according to crop rotation and fertilization

Dynamika węgla organicznego i węgla frakcji humin w profilu gleby płowej w zależności od zmianowania i nawożenia



DOI: 10.15199/62.2025.5.5

The effect of long-term soil fertilization with manure in the dose used in agricultural practice and NH_4NO_3 in doses of 100 and 150 kg/ha on the content of org. C and humin fraction C in the lesser soil profile was presented. The studies showed that the content of org. C in the soil profiles of both crop rotations gradually decreased with depth. Application of manure in the dose of 35 t/ha once every 4 years on acidified soils in combination with the cultivation of legumes in a mixt. with grasses and mustard in crop rotation did not favor the accumulation of stable forms of humus in the 0–30 layer (humin fraction < 50%). In the deeper layers of the lesser soil profile (30–60 and 60–90 cm), C was accumulated in the humin fraction, over 70%. This indicates that in the deeper layers of the soil there were more humus and stable forms of organic matter.

Keywords: mineral fertilization, manure fertilization, long-term field experiment, humins, organic carbon

Od wielu lat badania naukowe koncentrują się nad glebową materią organiczną, której utrzymanie w glebie na optymalnym poziomie jest kluczowe nie tylko ze względów prawidłowego funkcjonowania gleby, ale także ochrony środowiska. W pracy przedstawiono wyniki wpływu długotrwałego nawożenia gleby obornikiem w dawce stosowanej w praktyce rolniczej i saletrą amonową w dawkach 100 i 150 kg/ha na zawartość węgla organicznego i węgla frakcji humin w profilu gleby płowej. Badania wykazały, że zawartość węgla organicznego w profilach gleb obu zmianowań stopniowo zmniejszała się wraz z głębokością. Stosowanie obornika w dawce 35 t/ha raz na 4 lata, na glebach zakwaszonych w połączeniu z uprawą roślin bobowatych w mieszance z trawami oraz gorczycy w płodozmianie nie sprzyja gromadzeniu stabilnych form próchnicy w warstwie 0–30 (frakcja humin < 50%). W głębszych warstwach profilu gleby płowej (30–60 i 60–90 cm) węgiel jest akumulowany we frakcji humin, ponad 70%. Świadczy to o tym, że w głębszych warstwach gleby występują bardziej próchniczne i stabilne formy materii organicznej.

Słowa kluczowe: nawożenie mineralne, nawożenie obornikiem, doświadczenie wieloletnie, huminy, węgiel organiczny

Większość prowadzonych w kraju badań nad węglem organicznym i jakością materii organicznej w glebach płowych koncentruje się nad ich oceną w poziomie orno-próchnicznym Ap (0–25 cm) gleby^{1–4)}. Tymczasem ze środowiskowego punktu widzenia ma znaczenie dynamika zmian zawartości węgla organicznego i poszczególnych frakcji glebowej materii organicznej (kwasów huminowych C_{KH} , kwasów fulwowych C_{KF} i humin C_{H})

w całym profilu glebowym⁵⁾. Analiza dotychczasowych doniesień naukowych dowodzi, że rozkład węgla organicznego, jak również poszczególnych frakcji glebowej materii organicznej może zmieniać się wraz z głębokością gleby i może zależeć od właściwości fizyczno-chemicznych warstwy ornej gleby (Ap) (0–30 cm) oraz zabiegów agrotechnicznych, czyli nawożenia i uprawy roślin wykonywanej w jej powierzchniowej warstwie⁶⁾. Badania z lat 60. i 90. ub. w. wskazują, że próchnica gleb nawożonych obornikiem, w porównaniu z glebami nawożonymi wyłącznie nawozami mineralnymi, ma większy udział kwasów huminowych oraz wyższą wartość stosunku węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych (C_{KH})^{7, 8)}. Łakomiec⁶⁾ wykazał, że wpływ nawożenia organicznego i mineralnego na zawartość kwasów huminowych w profilu glebowym np. gleb bielcowych jest bardzo różnorodny. W glebach nawożonych obornikiem wzrost zawartości kwasów huminowych (C_{KH}) wynosił 60–70% w całym profilu glebowym, a procentowy udział humin (C_{H}) w ogólnej zawartości substancji organicznej zmieniał się też zależnie od nawożenia, ale i poziomu profilu glebowego. Nawożenie obornikiem obniżało o kilka pro-



Dr hab. Dorota PIKULA (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 Roślin i Nawożenia w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach. W 2008 r. wdrożyła w IUNG-PIB badania jakości glebowej materii organicznej. Specjalność – nawożenie, ochrona środowiska, frakcjonowanie materii organicznej.

* Adres do korespondencji:

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

cent zawartość humin, a więc trwałego humusu w całym profilu glebowym w porównaniu z glebą nienawożoną⁶⁾.

Obecnie w ocenie żyzności gleby i stabilności próchnicy rekomenduje się zawartość węgla organicznego oraz frakcji węgla trwałej próchnicy – humin³⁾. Huminy to grupa związków próchnicznych o barwie czarnej, nierozpuszczalnych w wodzie w całym zakresie pH. Huminy są najważniejszą frakcją substancji humusowych, która decyduje o stabilności próchnicy w glebie^{3, 9, 10)}. Z punktu widzenia analizy chemicznej jest ona pozostałością po ekstrakcji frakcją, która reprezentuje trwałe połączenia związków próchnicznych z mineralną fazą gleby¹¹⁾. Zawartość tej frakcji odzwierciedla intensywność procesu humifikacji, a jej ilość zmniejsza się w miarę natężenia procesów mineralizacji materii organicznej. Wzrost zawartości w glebach bardziej stabilnych frakcji materii organicznej, takich jak kwasy huminowe i huminy poprawia nie tylko właściwości chemiczne i fizyczne gleb, ale również ich właściwości biologiczne, co ma podstawowe znaczenie dla plonowania roślin uprawnych¹²⁾.

W aktualnej literaturze brakuje danych dotyczących wpływu zmianowania oraz rodzaju nawożenia na alokację węgla organicznego i poszczególnych frakcji materii organicznej w profilu glebowym gleby płowej. Celem badań była ocena zawartości węgla organicznego i węgla frakcji humin (C_H) w profilu gleby płowej w zależności od zmianowania i nawożenia azotem mineralnym i obornikiem.

Część doświadczalna

Metodyka badań

Badania polowe przeprowadzono w Zakładzie Doświadczalnym IUNG-PIB w Grabowie nad Wisłą (51°21'08" N; 21°40'08" E) w 2023 r. Są one częścią doświadczenia, które założono na glebie Albic Luvisol¹³⁾ o uziarnieniu piasku gliniastego lekkiego, kompleksu żynnego bardzo dobrego, klasy bonitacyjnej IVa. Klimat w tej części kraju jest umiarkowany ze średnimi rocznymi opadami wynoszącymi ok. 560 mm i średnią roczną temp. 7,8°C¹⁴⁾. Wyniki badań mogą być zatem generalizowane dla podobnych warunków glebowo-klimatycznych w środkowej Polsce. Czynnikiem doświadczenia były 2 zmianowania, A i B, różniące się gatunkami uprawianych roślin, 5 poziomów nawożenia obornikiem, w tym obiekt bez obornika (0, 15, 25, 35, 45 t/ha), oraz 4 poziomy nawożenia azotem mineralnym (saletrą amonową), w tym obiekt kontrolny bez azotu (N0-0, N2-50, N3-100 i N4-150 kg/ha), w dawkach dostosowanych do potrzeb pokarmowych roślin uprawianych w obu zmianowaniach. W zmianowaniu A, określonym jako „zubożające” glebę w materię organiczną, były uprawiane: kukurydza na ziarno, pszenica ozima, jęczmień jary i kukurydza na kiszonkę. W zmianowaniu B, określanym jako „wzbogacające” glebę w materię organiczną, uprawiano kukurydę na ziarno, pszenicę ozimą + gorczycę na przyoranie jako poplon, jęczmień z wsiewką koniczyny i mieszankę koniczyny z trawami. Szczegółowy opis doświadczenia podano w pracy³⁾. W obydwu zmianowaniach nie przeorywano słomy i do 2020 r. nie wapnowano gleby. W 2023 r. w zbiorze kukurydzy na kiszonkę pobrano próbki gleby z profili genetycznych gleby płowej z obiektów nawożonych obornikiem w dawce 35 t/ha i azotem

mineralnym (saletrą amonową) w dawkach N 100 i 150 kg/ha, ze zmianowań A i B, celem charakterystyki gleboznawczej badanych profili gleb płowych oraz oznaczenia zawartości Corg., pH, frakcji materii organicznej humin (C_H) w całym profilu gleby płowej: Ap (0–30 cm), Et (30–60 cm) i Bt (60–90 cm) w zależności od zmianowania i nawożenia. W materiale glebowym oznaczono: zawartość Corg. metodą miareczkową¹⁵⁾, pH w zawiesinie KCl (1 mol/dm³)¹⁶⁾, w akredytowanym laboratorium chemicznym (Główne Laboratorium Analiz Chemicznych, IUNG-PIB). Substancje humusowe: kwasy huminowe (C_{KH}), kwasy fulwowe (C_{KF}) i huminy (C_H), zostały wydzielone na podstawie kryterium rozpuszczalności w kwasach i zasadach zgodnie z metodą Schnitzera¹¹⁾. Węgiel poszczególnych frakcji został oznaczany w Zakładzie Nawożenia i Zarządzania Składnikami Pokarmowymi za pomocą analizatora Multi N/C 3100. Na podstawie uzyskanych wyników obliczono udział procentowy poszczególnych frakcji w ogólnej puli węgla organicznego. Węgiel frakcji humin obliczono z różnicy między Corg. a sumą oznaczonych frakcji. Zawartość węgla organicznego w wydzielonych frakcjach obliczono z zależności (1) i (2):

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

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

w których C_{KH} oznacza węgiel kwasów huminowych, $C_{KH} + C_{KF}$ sumę kwasów huminowych i fulwowych w ekstraktach otrzymanych z 0,5 M NaOH, C_{KF} węgiel kwasów fulwowych w roztworach po wytrąceniu kwasów huminowych, C_H węgiel humin, a C_d węgiel w roztworze po odwapnieniu.

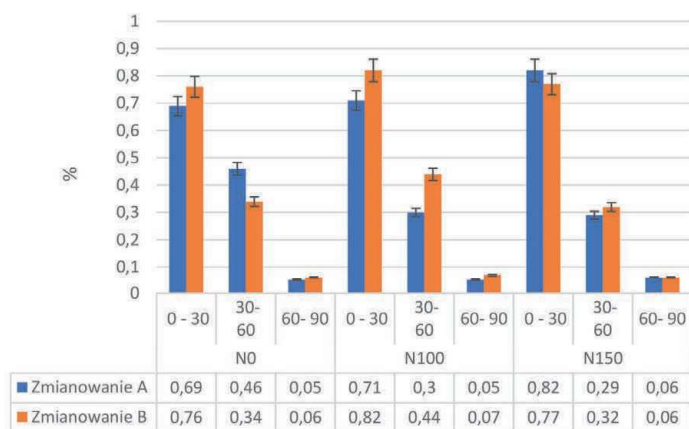
Skład frakcyjny wyrażono jako procentowy udział danej frakcji w puli węgla organicznego gleby. Wydzielone frakcje substancji humusowych zostały uznane za główne wskaźniki żyzności gleby. Przedstawiono zawartość Corg. oraz węgla frakcji trwałej próchnicy (frakcja węgla humin C_H) i odczyn gleby.

Dane poddano 3-kierunkowej analizie wariancji (ANOVA) o istotności różnic ocenianych na poziomie $p \leq 0,05$, za pomocą oprogramowania FR-ANALWAR opartego na programie Microsoft Excel. Istotność różnic określono, stosując test Tukeya przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki badań

Na rys. 1 przedstawiono zawartość węgla organicznego (Corg.) w profilu gleby płowej w zależności od nawożenia, zmianowania i głębokości (cm).

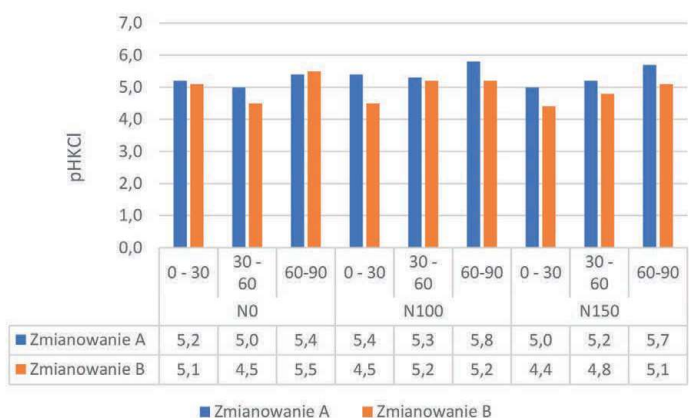
Zmianowanie wpływało na zawartość Corg. w warstwie gleby na głębokości 0–30 cm. Dodatek azotu mineralnego w dawce 100 kg/ha zwiększał zawartość węgla organicznego w obu zmianowaniach. Wraz ze wzrostem głębokości stwierdzono mniejszą akumulację Corg. w profilu glebowym obu zmianowań, ale azot mineralny nie wpływał istotnie na zmiany zawartości Corg. w głębszych warstwach (rys. 1.) Zmianowanie A charakteryzowało się wyższym pH gleby w porównaniu ze zmianowaniem B. W tym zmianowaniu zwiększenie dawki azotu mineralnego wpłynęło na spadek pH gleby poniżej 5,0 i nawożenie obornikiem w dawce 35 t/ha nie niwelowało zakwaszenia gleby (rys. 2). Mimo znaczącego zakwaszenia gleby w zmianowaniu B, stwierdzono o 63% więcej węgla frakcji trwałej próchnicy w porównaniu ze zmianowaniem A



NIR (test Tukeya) I = n.i.; II = 0,049; III = 0,128; II/I = 0,070; I/II = 0,824; III/I = n.i.; I/III = n.i.; III/II = n.i.; II/III = n.i.

Fig. 1. Organic carbon content (Corg.) in the Luvisol profile depending on crop rotation (I), fertilization (II) and depth (III)

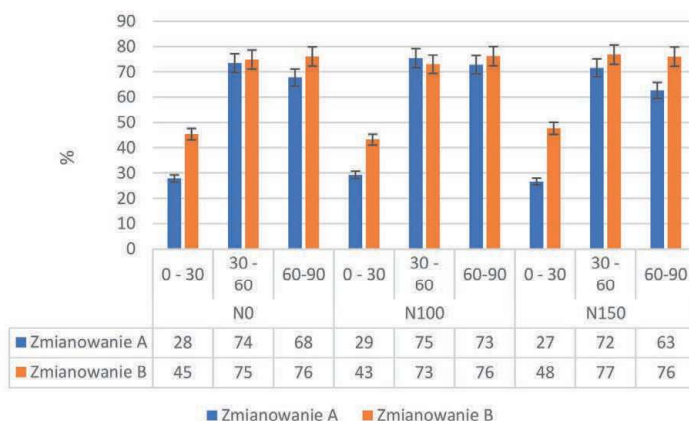
Rys. 1. Zawartość węgla organicznego (Corg.) w profilu gleby płowej w zależności od zmianowania (I), nawożenia (II) i głębokości (III)



NIR (test Tukeya) I = n.i.; II = 0,119; III = 0,075; II/I = 0,169; I/II = 0,552; III/I = 0,107; I/III = 0,543; III/II = 0,131; II/III = 0,158

Fig. 2. Soil pH in the lessive soil profile depending on crop rotation (I), fertilization (II) and depth (III)

Rys. 2. Odczyn gleby (pH) w profilu gleby płowej w zależności od zmianowania (I), nawożenia (II) i głębokości (III)



NIR (test Tukeya) I = 1,977; II = 0,372; III = 0,225; II/I = 0,526; I/II = 1,826; III/I = 0,318; I/III = 1,814; III/II = 0,389; II/III = 0,484

Fig. 3. Carbon content of the humic fraction (Ch) in the lessive soil profile depending on crop rotation (I), fertilization (II) and depth (III)

Rys. 3. Zawartość węgla frakcji humin (Ch) w profilu gleby płowej w zależności od zmianowania (I), nawożenia (II) i głębokości (III)

(rys. 3). W warstwach profilu zmianowania A i B na głębokości 30–60 cm kumulowało się ponad 70% węgla frakcji humin. Nawożenie azotem mineralnym stabilizowało zawartość tej frakcji w glebie. Otrzymane wyniki badań znajdują potwierdzenie w literaturze^{8,10}. Zasoby materii organicznej w glebach uprawnych nie są stałe i ulegają wahaniom w zależności od dopływu do gleby świeżej materii organicznej oraz właściwości chemicznych i fizycznych występujących w wierzchniej (0–30 cm) warstwie gleby, czyli odczynu gleby, zawartości Corg. w glebie, nawożenia naturalnego i mineralnego oraz gatunków uprawianych roślin^{2,4,8,12}).

Podsumowanie

Większa koncentracja węgla organicznego w wierzchniej warstwie gleby (0–30 cm) w zmianowaniu B potwierdza, że najważniejszym czynnikiem zwiększającym zawartość węgla organicznego w glebie jest płodozmian z udziałem roślin bobowatych w mieszance z trawami. Stosowanie obornika w dawce 35 t/ha raz na 4 lata na glebach zakwaszonych w połączeniu z uprawą roślin bobowatych w mieszance z trawami oraz gorczyicy w płodozmianie nie sprzyja gromadzeniu stabilnych form próchnicy (węgiel frakcji humin < 50%). Sugeruje to, że dawka obornika jest za mała, a gleba wymaga regularnego wapnowania. W zmianowaniu A nawożenie azotem mineralnym w dawce 150 kg/ha może nasilać procesy mineralizacji materii organicznej w warstwie 0–30 cm gleby (obniżenie frakcji węgla humin < 30%).

Zawartość węgla organicznego w profilach gleb obu zmianowań stopniowo zmniejszała się wraz z głębokością. W głębszych warstwach profilu gleby płowej (30–60 i 60–90 cm) węgiel jest akumulowany we frakcji humin w ponad 70%. Świadczy to o tym, że w głębszych warstwach gleby występują bardziej próchniczne i stabilne formy materii organicznej.

Otrzymano: 22-04-2025

Zrecenzowano: 05-05-2025

Zaakceptowano: 06-05-2025

Opublikowano: 19-05-2025

LITERATURA

- [1] J. Wiater, *Agricultura* 2000, **84**, 515.
- [2] M. Körschens, *Archiv. Acker- Pflanzenbau Bodenkunde* 2002, **48**, 89.
- [3] D. Piłkuła, O. Ciotucha, *Agronomy* 2022, **12**, 2385, <https://doi.org/10.3390/agronomy12102385>.
- [4] V. Šimanský, E. Wójcik-Gront, J. Horváthová, D. Piłkuła, T. Lošák, A. Parzych, M. Lukac, E. Aydın, *Agronomy* 2022, **12**, nr 6, 1460, <https://doi.org/10.3390/agronomy12061460>.
- [5] S. Zawadzki, *Podstawy gleboznawstwa*, PWRiL, Warszawa 2002.
- [6] I. Łakomiec, *Roczniki Gleboznawcze* 1966, XVI(1), 157.
- [7] M. Adamus, J. Drozd, E. Stanisławska, *Nawozy organiczne*, AR, Szczecin 1998.
- [8] D. Piłkuła, A. Rutkowska, *Plant Soil Environ.* 2014, **60**, nr 11, 507.
- [9] D.V. Guimaraes, M.I.S. Gonzaga, T. Oliveira da Silva, T. Lima da Silva, V. Nildo da Silva, M. Iraídes Silva Matias, *Soil Tillage Res.* 2013, **26**, 177, <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.07.010>.
- [10] S.S. Gonet, *Properties of humic acids of soils with diversified fertilization*, Dissertations 33, Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz 1989.
- [11] H. Dziadowiec, S.S. Gonet, *Przewodnik metodyczny do badań materii organicznej gleb*, Prace Komisji Naukowych PTG 120, Warszawa 1999.
- [12] S. Martyniuk, D. Piłkuła, M. Kozieł, *Sci. Rep.* 2019, **9**, 1878.
- [13] J. Kondracki, *Geografia regionalna Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
- [14] World reference base for soil resources 2022, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, 4th edition, https://www.isric.org/sites/default/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf.
- [15] PB 021-wyd. IV, 28.08.2020, Zawartość węgla organicznego. Metoda miareczkowa.