

Dorota Pikula

*Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

MATERIA ORGANICZNA ISTOTNYM ELEMENTEM ŻYZNOŚCI GLEB*

Słowa kluczowe: próchnica, płodozmian, struktura gruzelkowata, organizmy glebowe, odczyn gleby

Wstęp

Żyzność gleby to zdolność do zaspokajania potrzeb roślin poprzez dostarczanie wody, powietrza i składników pokarmowych, uwarunkowana jej właściwościami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi (14). Miarą żyzności gleby może być ilość wytworzonej biomasy korzeni lub wielkość oraz jakość plonu roślin uprawnych. Wyróżnić możemy żyzność gleby naturalną i agrotechniczną. Naturalna żyzność gleby jest wynikiem procesu glebotwórczego i zależy od składu granulometrycznego, zwłaszcza zawartości koloidów glebowych, zawartości składników pokarmowych i materii organicznej w glebie, a także jej odczynu. Na żyzność gleby wpływają zarówno stosunki wodno-powietrzne w glebie, jak i obecność drobnoustrojów glebowych. Agrotechniczna żyzność gleby to naturalna żyzność gleby modyfikowana za pomocą zabiegów agrotechnicznych, tj. nawożenie nawozami organicznymi, naturalnymi lub mineralnymi, uprawa roli, melioracja i płodozmian (14, 15). Charakterystyczną cechą pokrywy glebowej Polski jest duża zmienność glebowa, uwarunkowana rodzajem skały macierzystej, z której powstała. Biorąc pod uwagę ten aspekt, ponad 40% gleb użytków rolnych została wytworzona ze skał macierzystych o niskiej jakości w sensie tworzywa glebowego (3, 11). W związku z tym w Polsce żyzność gleb i ich możliwości produkcyjne są ograniczone przewagą gleb lekkich (35%) i bardzo lekkich (30%), a więc słabo próchnicznych charakteryzujących się często odczynem bardzo kwaśnym i kwaśnym (20, 21). Istotnym wskaźnikiem oceny żyzności gleb jest zawartość w nich materii organicznej (2, 4, 7, 10). Glebowa materia organiczna wraz z jej specyficznymi frakcjami: kwasów huminowych, kwasów fulowych i humin oraz z bioróżnorodnością środowiska glebowego stanowi

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

kapitał przyrodniczy, który odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu właściwości i jakości gleb, jest też wyznacznikiem zrównowżenia środowiska glebowego (16, 18, 19, 22, 23, 24, 29). Próchnica uczestnicząc w globalnym cyklu węgla, spełnia również wiele funkcji środowiskowych wynikających z transportu związków węgla do wód powierzchniowych i gruntowych oraz do atmosfery. Stanowi zatem główne ogniwo w sekwestracji węgla i/lub uwalnianiu CO₂ do atmosfery (12, 28). Spośród wielu funkcji glebowej materii organicznej niezwykle istotna jest jej 3–4-krotnie większa zdolność do magazynowania wody w porównaniu z frakcją mineralną gleby, co jest szczególnie korzystne w zmniejszeniu skutków niedoboru wody (19). Niewłaściwe gospodarowanie glebową materią organiczną skutkuje spadkiem żyzności gleb, jak również utratą znacznych ilości wody zmagazynowanej w próchnicy. Można zatem z całą pewnością stwierdzić, że ubytek próchnicy w glebie zmniejsza jej możliwości retencyjne, stając się tym samym bardzo ważnym czynnikiem zwiększającym podatność gleb na suszę, a więc obniżającym ich żyzność. Celem pracy jest przedstawienie aktualnych informacji o glebowej materii organicznej w aspekcie utrzymania/poprawy żyzności gleb uprawnych.

Skład glebowej materii organicznej

W skład materii organicznej wchodzi wszystkie związki organiczne węgla. Głównym źródłem tego komponentu glebowego są oprócz próchnicy i mikroorganizmów glebowych, wprowadzane do gleby resztki roślinne, wydzieliny korzeniowe, korzenie roślin oraz nawozy naturalne i organiczne (7, 8, 22). Materia organiczna obejmuje zatem świeży materiał organiczny wprowadzony do gleby, szczątki korzeni roślin, liście, odchody, żywe organizmy żyjące w glebie, produkty ich działalności życiowej oraz trwałą próchnicę (29). Próchnicę definiuje się natomiast jako serie wielocząsteczkowych brunatnych i czarnych substancji powstałych w wyniku wtórnej syntezy z pierwotnej materii organicznej. Próchnica stanowi ok. 90% materii organicznej, dlatego często jest synonimicznie stosowana z pojęciem materii organicznej. Składa się z węgla (58%), tlenu (28%), wodoru (4–5%), azotu (1,5–7%) i części mineralnych (2–8%) (8, 29). Z informacji, jakie można znaleźć w literaturze wynika, iż do dziś struktura chemiczna próchnicy nie została dostatecznie poznana (6). Jej geneza powiązana jest z produkcją biomasy w rolnictwie, w lasach oraz w innych naturalnych i półnaturalnych ekosystemach, lecz istotnym jej źródłem może być również tzw. zewnętrzna materia organiczna – ZMO (ang. EOM – *exogenous organic matter*) pochodząca z recyklingu nawozów organicznych, ścieków i różnych bioodpadów (6).

Makro- i mikroorganizmy glebowe czerpią z materii organicznej energię oraz niezbędne dla ich rozwoju składniki pokarmowe. W glebach pływowych, wytworzonych z piasków masa organizmów glebowych wynosi od 1 do 3 t·ha⁻¹, w czarnych ziemiach wytworzonych z glin i ilów sięga nawet 10 t·ha⁻¹ (21). Stąd gleby zasobne w związki próchnicowe odznaczają się dużą aktywnością biologiczną. Mikroorganizmy

glebowe, szybko namnażając się, znacząco poprawiają właściwości fitosanitarne gleb, a wprowadzona świeża materia organiczna może być intensywnie przetwarzana do bezpostaciowych, amorficznych związków organicznych, z których powstaje próchnica. Dla jej jakości i stabilności bardzo ważny jest udział w puli całkowitego węgla organicznego frakcji swoistych związków próchnicznych, czyli kwasów huminowych, kwasów fulwowych i humin (22, 24, 29). Kwasy huminowe to słabe alifatyczne i aromatyczne kwasy organiczne, nierozpuszczalne w wodzie w środowisku kwaśnym (29). Zawierają około 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 (22). Huminy to grupa związków o barwie czarnej, nierozpuszczalnych w wodzie w całym zakresie pH. Huminy stanowią najważniejszą frakcję substancji humusowych, decydują o stabilności próchnicy, poprawiają jej strukturę i pojemność wodną oraz stanowią rezerwuuar składników odżywczych dla roślin (22, 24, 29). Substancje humusowe zawierają przeciętnie ok. 50–58% węgla, 3–6% wodoru, 33–43% tlenu, 1–5% azotu i do 1% siarki (7). Spośród różnych materiałów organicznych w glebie substancje humusowe mają najdłuższy czas obiegu – wynosi on od ok. 20 do 1000 lat. Dla porównania, czas obiegu labilnej frakcji próchnicy to maksymalnie 15 lat (tab. 1.). W tabeli poniżej przedstawiono czas obiegu w glebie różnych materiałów organicznych.

Tabela 1

Czas obiegu różnych materiałów organicznych w glebie

Materiał organiczny	Czas obiegu (lata)
Resztki pozbiorowe	0,5–2
Biomasa mikroorganizmów	0,1–0,4
Biomasa makroorganizmów	1–8
Labilna frakcja próchnicy	1–15
Substancje humusowe	20–1000

Źródło: Robert, 2001 (26)

Próchnica jest także rezerwuarem składników pokarmowych dla roślin, tj. makro- i mikroelementów, które po rozkładzie materii organicznej w wyniku procesu mineralizacji stają się dostępne dla roślin (8, 29).

Akumulacja materii organicznej w glebie – wpływ na jej właściwości

Dzięki określonym frakcjom próchnicy– kwasom huminowym i huminom, charakteryzujących się większą zdolnością buforową w porównaniu z materiałami ilastymi gleby, próchnica może stabilizować odczyn gleb, zwiększając równocześnie ich właściwości buforowe (8, 29). Poszczególne frakcje próchnicy działają także ochronnie, gdyż zatrzymują na zasadzie filtra metale ciężkie w glebie. Szczególną rolę w kształtowaniu właściwości gleby, oprócz materii organicznej, mają mikroorganizmy glebowe. Drobnoustroje te, uczestnicząc w procesie mineralizacji i humifikacji materii organicznej, wraz z substancjami humusowymi, przyczyniają się do tworzenia struktury gruzełkowej gleby (1, 16). Gleba o zróżnicowanej wielkości gruzełek, przeważnie od 0,5 do 5 mm, stwarza optymalne warunki wodno-powietrzne i wpływa korzystnie na prawidłowy rozwój korzeni. W efekcie zwiększa się urodzajność gleb, bowiem im wyższe plony roślin uprawnych, tym więcej świeżej materii organicznej pozostającej w glebie, która może być źródłem trwałej próchnicy (1, 7, 16). Z uwagi na to, że największy wpływ na zawartość materii organicznej w glebie mają warunki klimatyczne, szczególnie temperatura powietrza i opady, to w warunkach klimatu chłodniejszego jej zawartość w glebie jest większa. Prawidłowość ta wynika ze spowolnienia tempa procesu mineralizacji wraz ze spadkiem temperatury powietrza. Szacuje się, że w porównywalnych warunkach siedliskowych i glebowych zawartość materii organicznej zwiększa się 2–3-krotnie z obniżeniem temperatury o 10°C (7). Drugim ważnym czynnikiem, który wpływa korzystnie na akumulację materii organicznej w glebie jest wilgotność. Gleby uwilgotnione zawierają więcej tego komponentu, niż gleby przesuszone. Według Morissa (19), zwiększenie zawartości substancji humusowych w glebie o 0,5% może skutkować zatrzymaniem na powierzchni 1 ha gleby ok. 80 m³ wody. Taka ilość odpowiada około 8 mm opadu atmosferycznego zatrzymanego w warstwie próchnicznej gleby. Spadek zawartości glebowej materii organicznej zawsze generuje w glebie nie tylko obniżenie jej żyzności, ale i utratę zdolności retencyjnej. W efekcie gleba straci szereg innych swoich właściwości, m.in. ciemną barwę i możliwość szybkiego nagrzewania się. W tabeli 2 zaprezentowano charakterystykę właściwości gleby kształtowanych przez glebową materię organiczną (29).

Tabela 2

Charakterystyka właściwości gleby warunkowanych materią organiczną

Właściwości	Źródło	Skutek
Barwa	ciemna barwa gleby jest spowodowana obecnością materii organicznej	szybsze nagrzewanie gleby wiosną na glebach żyznych. Zwiększone albedo warstwy ornej (gdy jest mniej próchnicy)
Retencja	materia organiczna może wiązać wodę w ilości 20-krotnie przewyższającej jej masę	poprawa właściwości gleb lekkich, zmniejszenie skutków suszy
Struktura agregatowa	tworzenie połączeń z minerałami ilastymi, kationami, polisacharydami z udziałem mikroorganizmów	struktura agregatowa kształtuje stosunki wodne, powietrzne i przepuszczalność gleb
Gęstość właściwa	materiał organiczny posiada niższą gęstość niż materiał mineralny gleby	mniejsza gęstość gleby powoduje wzrost porowatości, ze względu na interakcje składników organicznych i nieorganicznych
Rozpuszczalność w wodzie	materia organiczna jest nierozpuszczalna w wodzie ze względu na tworzenie połączeń z minerałami ilastymi i kationami wielowartościowymi	tylko niewielka część materii organicznej ulega migracji w głąb profilu glebowego
Buforowanie	materia organiczna wykazuje właściwości buforowe w zakresie słabokwaśnym, obojętnym i zasadowym	utrzymywanie stałego odczynu gleby
Pojemność wymiany kationów (PWK)	całkowita kwasowość substancji humusowych waha się w zakresie 300–1400 cmol (+)/kg	zwiększenie PKW wielu gleb zależy od zawartości materii organicznej
Mineralizacja	rozkład materii organicznej uwalnia do środowiska m.in CO ₂ , H ₂ O, NH ₃ , fosfor, potas, wapń, siarkę i magnez	źródło składników pokarmowych niezbędnych dla wzrostu i rozwoju roślin
Chelatowanie kationów metali ciężkich	materia organiczna tworzy kompleksy z kationami wielowartościowymi	wiązanie kationów metali ciężkich, częściowa ich detoksykacja oraz regulowanie bioprzyzwajalności mikroskładników

Źródło: Stevenson, 1994 (29)

Nasilenie procesów degradacyjnych może prowadzić do całkowitej utraty przez glebę funkcji produkcyjnych czy retencyjnych. W efekcie następuje jej wyłączenie z użytkowania rolniczego (5). Warto zatem podkreślić, że prawidłowe użytkowanie gleb jest niezwykle ważne, ponieważ nie tylko ogranicza proces ich degradacji i pozwala uzyskać duże plony roślin uprawnych, ale jest także ważnym czynnikiem wiązania związków węgla w postaci próchnicy przyczyniającym się do zmniejszenia efektu cieplarnianego (12, 28). Intensywne użytkowanie gleb w monokulturach, jak podaje literatura, niszczy strukturę gleb, prowadzi do nadmiernej aeracji siedlisk oraz mineralizacji próchnicy (7, 8, 30, 31). W efekcie do atmosfery uwalnia się dużo CO₂, którego emisja stanowi istotną pozycję w obniżeniu zawartości materii organicznej w glebie.

Skuteczność różnych zabiegów agrotechnicznych na zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie potwierdzają liczne wieloletnie badania prowadzone w IUNG-PIB, jak i w innych jednostkach naukowych zarówno w Polsce, jak i zagranicą (4, 13, 15, 16, 17, 18). Dobroczynnie na zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie, jak i na retencję wody wpływa pozostawianie w glebie wszelkich resztek po zbiorach roślin, stosowanie nawozów naturalnych i organicznych, uprawa międzyplonów i mieszanek trawiasto-motyłkowatych (15, 18, 23). Korzystne oddziaływanie obornika i odpowiedniego płodozmianu na przyrost próchnicy w glebie potwierdzają 40-letnie badania prowadzone w należącym do IUNG-PIB Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym w Grabowie. W wieloletnim eksperymencie uwzględniono podstawowe czynniki agrotechniczne, które mogą wpływać na zawartość materii organicznej w glebie, tj. zmianowanie roślin – zubożające glebę z materii organicznej, wprowadzenie do zmianowani rośliny bobowatej i międzyplonów z gorzycy, nawożenie obornikiem i azotem mineralnym (16, 17, 23, 24). Dotychczasowe wyniki badań wskazują, że na akumulację materii organicznej w glebie największy wpływ ma zmianowanie, następnie nawożenie obornikiem. Stwierdzono też korzystny wpływ nawożenia azotem mineralnym na stabilizację zawartości węgla organicznego i próchnicy (23, 24). Inne, 50-letnie badania prowadzone w Zakładzie Doświadczalnym „Bałcyny” Spółka z o.o. nad uprawą roślin w płodozmianie i monokulturze dowodzą natomiast, że długoletnia gospodarka bezobornikowa, zarówno w monokulturowej uprawie roślin, jak również w płodozmianie, sukcesywnie obniża ilość materii organicznej w glebie (30, 31). Monokulturowa uprawa roślin łącząca natomiast nawożenie mineralne i systematyczną aplikację obornika nie powoduje ubytków glebowej materii organicznej (27). Jednak z powodu rosnącej tendencji zakwaszenia gleby, obniżenie odczynu gleby w przyszłości może być czynnikiem zwiększającym mineralizację glebowej materii organicznej i powodować obniżenie jej zawartości w glebie. W wyniku obniżenia pH kationy wapnia i magnezu są wypierane z kompleksu sorpcyjnego gleby i stopniowo pogarszają się właściwości gleby. Gleba traci zdolności buforowe, pojawia się toksyczny glin oraz następuje uruchomienie szkodliwych metali ciężkich do łańcucha troficznego. Niezbędne jest w takich przypadkach wykonanie zabiegu wapnowania gleb (20).

Strategia ochrony zasobów materii organicznej w glebach UE

Od wielu lat w krajach Unii Europejskiej, także w Polsce, następuje utrata gleb na cele pozarolnicze związana z urbanizacją, rozwojem sieci drogowej i przemysłu. Jednocześnie następuje znaczące pogorszenie jakości gleb i powstają zakłócenia funkcji, które pełnią w krajobrazie i ekosystemach, związane ze spadkiem zawartości materii organicznej (6, 10, 25). W wyniku mineralizacji w naszych warunkach klimatycznych ubywa rocznie nawet 4% glebowej materii organicznej. Obniżenie zawartości próchnicy w glebie o 0,5% zmniejsza zdolność do zatrzymywania

składników pokarmowych i wody (zdolność sorpcyjna gleby pylasto-ilastej obniża się o 4%, a piaszczysto-gliniastej nawet o 15%) (1, 8). W polityce Unii Europejskiej w ostatniej dekadzie można zatem dostrzec wyraźne dążenie do nadania ochronie gleb rangi równej ochronie powietrza i wody. Problemy ochrony gleb w ostatnich latach znalazły swoje miejsce w różnych dokumentach przyjętych na forum światowym i europejskim (6, 10, 25). Znaczenie ochrony gleb zostało mocno uwypuklone w 6 Programie Działań Środowiskowych UE, w którym wskazano osiem podstawowych zagrożeń i procesów degradacji gleb istotnych z punktu widzenia polityki ochrony zasobów przyrody w UE, tj.: erozję, zanieczyszczenie gleb ze źródeł lokalnych i rozproszonych, ubytek glebowej materii organicznej, utratę bioróżnorodności, zagęszczenie, zasolenie, osuwiska i powodzie oraz utratę powierzchni w wyniku urbanizacji. W polskich aktach prawnych nie ma jednak jednoznacznych przepisów chroniących zasoby materii organicznej w glebie.

Na szczeblu krajowym obowiązek utrzymania odpowiedniej dla naszych warunków glebowo-klimatycznych zawartości materii organicznej w glebie nakłada Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej (dobrowolnie). Dodatkowo w założeniu Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW) na lata 2014–2020 zawarto także klauzulę dotyczącą ochrony gleb przed degradacją powodującą ubytek próchnicy. Również w broszurze Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi pt. „Gospodarowanie wodą w rolnictwie w obliczu suszy”, wydanej dla rolników, wskazano na potrzebę zwiększania zawartości materii organicznej w glebach uprawnych (9). Konieczność zrównoważonego gospodarowania glebową materią organiczną została również zaproponowana przeze mnie do pkt. 8.1. „*Innovative, systemic zero-pollution solutions to protect health, environment and natural resources from persistent and mobile chemicals*” Europejskiego Zielonego Ładu.

Podsumowanie

Aktualnie w Polsce i Europie przeważają gospodarstwa specjalizujące się w produkcji roślinnej lub zwierzęcej. Skutkuje to w pierwszym przypadku deficytem nawozów naturalnych (obornika, gnojowicy) i prowadzi do pogorszenia właściwości gleb, w drugim nadmiarem tych nawozów i trudnościami w zagospodarowaniu nawozów naturalnych, głównie gnojowicy. Ograniczenie dopływu materii organicznej do gleb w postaci np. obornika, przy jednocześnie dużym udziale w strukturze zasiewów zbóż i buraka cukrowego oraz przy znikomej powierzchni roślin wieloletnich powoduje znaczne straty tego ważnego komponentu żyzności gleby. Próba wykorzystania jedynie nawozów mineralnych jako rekompensaty do poprawy żyzności gleb powoduje tzw. „efekt błędnego koła”, gdyż azot mineralny przyspiesza proces mineralizacji zarówno trwałego humusu, jak i świeżo wprowadzanej do gleby materii organicznej. W zawiązku z powyższym, wszelkie działania związane z agrotechniką roślin uprawnych powinny być ukierunkowane na gromadzenie próchnicy (przewaga

procesów humifikacji nad mineralizacją), gdyż materia organiczna po tym procesie przekształca się w trwały humus, który odpowiedzialny jest z kolei za tworzenie struktury gruzełkowej gleby.

Obecnie poważnym problemem jest brak lub niedostateczna ilość danych dotyczących zawartości i dynamiki tworzenia/rozkładu materii organicznej na poziomie gospodarstw rolnych. Obecnie rzadko wykonuje się analizy zawartości węgla organicznego w glebie przed i po wdrożeniu proekologicznych rozwiązań na poziomie gospodarstwa, a wyniki z gospodarstw lub gmin są sporadycznie upowszechnione. Aktualnie istnieje potrzeba ustalenia również zależności między materią organiczną gleby, zarówno między zawartością węgla organicznego, jak i zawartością zdefiniowanych frakcji węgla organicznego (kwasów huminowych, kwasów fulwowych i humin) i właściwościami gleby.

W celu przeciwdziałania degradacji gleb należy szerzej propagować celowość zwiększania glebowej materii organicznej w glebie, poprzez kampanie informacyjne na temat funkcji glebowej materii organicznej, jej zawartości w glebach, praktyk zwiększających zawartość próchnicy w glebie. Należy również upowszechnić medialnie informacje dotyczące jakości materii organicznej, czyli funkcji poszczególnych substancji humusowych, głównych składników glebowej materii organicznej w glebie. W Polsce brakuje informacji o jakości materii organicznej gleb użytkowanych rolniczo oraz o stopniu ich humifikacji. Parametry te mają wymiar środowiskowy, są niezbędne do oceny ryzyka wymywania labilnych form próchnicy, jak i skutków środowiskowych nadmiaru lub zmniejszenia zawartości materii organicznej w glebie. Potrzebne są również obowiązkowe przepisy prawne chroniące zasoby materii organicznej w glebie na szczeblu krajowym.

Literatura

1. Czyż E., Dexter A.R., Gajda A.: Wpływ uproszczonej uprawy roli na właściwości fizyczne i mikrobiologiczne wybranych gleb. Zesz. Nauk. Połud.-Wschod. Oddz. PTIE i PTG, Rzeszów, 2010, **13**: 33-35.
2. Dick W.A., Gregorich E.G.: Developing and maintaining soil organic matter levels. In: Schonning P., Elmholt S., Christensen, B.T. (eds). *Managing soil quality. Challenges in modern agriculture*, CABI Publishing, Wallingford-Oxon, 2004: 103-120.
3. Duer I.: Kształtowanie żyzności gleby w rolnictwie zrównoważonym. *Mat. Szkol. IUNG-PIB*, 2001/2002, 80/01: 7-13.
4. Franzluebbers A.J.: Soil organic matter stratification ratio as a indicator of soil quality. *Soil Tillage Res.*, 2002, **66**: 95-106.
5. Gliński J., Horabik J., Lipiec J.: *Encyclopedia of Agrophysics*. 2011, pp. 1027.
6. Gonet S.S. *Materia organiczna w tematycznej strategii ochrony gleb Unii Europejskiej*. *Roczn. Gleboz.*, Warszawa, 2007, LVIII, 3/4: 15-26.
7. Gonet S.S.: *Ochrona zasobów materii organicznej*, W: *Rola materii organicznej w środowisku*; Markiewicz M., PTSH, Wrocław, 2007: 27-29.
8. Gonet S.S., Smal H., Chojnicki J.: Właściwości chemiczne gleb. *Gleboznawstwo*, 2015: 189-200.

9. Gospodarowanie wodą w rolnictwie w obliczu susz. Broszura pod redakcją Dobrzańskiej N., i Dembka W. Departament Komunikacji i Promocji MR i RW, Warszawa 2020.
10. Komunikat Komisji Europejskiej do Rady Europejskiej, Parlamentu Europejskiego, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów – W kierunku tematycznej strategii ochrony gleb. COM (2002) 179 wersja końcowa. Komisja Wspólnot Europejskich, Bruksela, 2002.
11. Krasowicz S., Kuś J.: Kierunki zmian w produkcji rolniczej w Polsce do roku 2020 – próba prognozy. Zag. Ekon. Rol., 2010, Warszawa, **3**: 5-18.
12. Lal R.: Węgiel glebowy i nasilenie efektu cieplarnianego. Rolnictwo polskie i ochrona jakości wody, Zesz. Eduk., 2000, **6**: 22-36.
13. Liu X., Herbert S.J., Hashemi A.M., Zhang X. and Ding G.: Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation – a review. Plant Soil Environ., 2006 **52**: 531-543.
14. Lityński T., Jurkowska H.: Żyzność gleby i odżywianie się roślin. Warszawa, 1982. ss. 643.
15. Marks M., Magdalena J., Kostrzewska M.K.: Eksperymenty wieloletnie w badaniach rolniczych w Polsce. Wydawnictwo UMW Olsztyn, 2018, ss. 280.
16. Martyniuk S., Pikuła D., Kozieł M.: Soil properties and productivity in two long-term crop rotations differing with respect to organic matter management on an Albic Luvisol. Scientific Reports, 2019, **9**: 1-9.
17. Mazzoncini M., Sapkota T. B., Barber P., Antocji D., Risaliti R.: Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content, Soil Till. Res., 2011, **114**: 165-174.
18. Mercik S., Stępień W., Lenart S.: Żyzność gleb w trzech systemach nawożenia: mineralnym, organicznym i organiczno-mineralnym – w doświadczeniach wieloletnich. Cz. I. Właściwości fizyczne i fizykochemiczne gleb, Folia Univ. Agric. Stetin 211, Agric., 2000, **84**: 311-316.
19. Morris G.D.: Sustaining national water supplies by understanding the dynamic capacity that humus has to increase soil water-holding capacity. Thesis submitted for Master of Sustainable Agriculture, Faculty of Rural Mangamnet The University of Sydney, 2004.
20. Ochal P., Kopiński J.: Wpływ zakwaszenia gleb na środowisko i produkcję roślinną. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2017, **53(7)**: 9-25.
21. Pietr S.: Odczyn gleby a materia organiczna, W: Leksykon nawożenia. PWR przy wyłącznej współpracy z Grupą Azoty, 2017: 54-59.
22. Pikuła D.: Rola substancji humusowych oraz innowacyjne produkty zwiększające ich zawartość w glebie. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2016, **48(2)**: 81-93.
23. Pikuła D., Rutkowska A.: Effect of leguminous crop and fertilization on soil organic carbon in 30-years field experiment. Plant Soil Environ., 2014, **60(11)**: 507-511.
24. Rutkowska A. Pikuła D.: Effect of crop rotation and nitrogen fertilization on the quality and quantity of soil organic matter. Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment., 2013.
25. Reports of the Technical Working Groups established under the Thematic Strategy for Soil Protection., EUR 21319 EN/5, 2004, 1-79.
26. Robert M.: Soil carbon sequestration for improved land management. World Soil Resources Report, 2001, 96.
27. Rychcik B.: Ekologiczne i produkcyjne skutki uprawy grochu siewnego w płodozmianie i narastającej monokulturze. Rozpr. hab., UMW w Olsztynie, 2009.
28. Sapek B.: Gleba jako źródło i „pułapka” na gazy cieplarniane. Zesz. Eduk., 2000, **6**: 52-6.
29. Stevenson F.J.: Humus chemistry: genesis, composition, reactions. Humus Chemistry. 2nd ed., New York, Chichester. John Wiley, 1994, p. 489-496.
30. Zawisłak K., Adamiak J., Tyburski J.: Dynamika substancji organicznej i składników mineralnych w warstwie uprawnej gleby pod wieloletnimi monokulturami. Cz. I. Gatunki o większych wymaganiach glebowych, Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 1988a, **331**: 227-235.

31. Zawiaślak K., Adamiak J., Tyburski J.: Dynamika substancji organicznej i składników mineralnych w warstwie uprawnej gleby pod wieloletnimi monokulturami. Cz. II. Gatunki o mniejszych wymaganiach glebowych, Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 1988b, **331**: 237-245.
-

Adres do korespondencji:

dr hab inż. Dorota Pikula
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 47 86 837
e-mail: dpikula@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Dorota Pikula	0000-0003-4173-197X