

Radosław Kaczyński

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

CZYNNIKI SIEDLISKOWE WARUNKUJĄCE PROCESY AKUMULACJI I ROZKŁADU GLEBOWEJ MATERII ORGANICZNEJ*

Wstęp

Szczątki organiczne dostające się do gleby podlegają procesom mineralizacji i humifikacji. Mineralizacja oznacza rozkład materii organicznej do prostych związków mineralnych, takich jak: CO_2 , H_2O , NH_3 i inne. Humifikacja natomiast to proces przemian szczątków organicznych w glebie, w wyniku których powstaje właściwa próchnica, czyli humus. Procesy mineralizacji i humifikacji zachodzą równocześnie, a produkty mineralizacji są włączane do procesu humifikacji i odwrotnie. Skutki działania obu procesów dla funkcjonowania ekosystemów są odmienne (25). Mineralizacja prowadzi do zaniku materii organicznej i jest głównym procesem uwalniania składników pokarmowych dla roślin (5, 12). Jest także ważnym ogniwem w obiegu materii. W procesie humifikacji materia organiczna jest akumulowana w formie specyficznych glebowych związków organicznych (humusu). Całość przekształceń materii organicznej w glebie określa się mianem rozkładu (2).

Zasoby materii organicznej gleby podlegają ciągłym dynamicznym zmianom ilościowym i jakościowym. Optymalną sytuacją w danych warunkach klimatycznych i glebowych jest stan względnej równowagi pomiędzy dopływem substancji organicznej do gleby i procesami jej mineralizacji (24). Ponadto z punktu widzenia rolnictwa oraz środowiska wskazane jest, aby występowała przybliżona równowaga pomiędzy różnymi formami próchnicy – z przewagą aktywnych frakcji w okresie największego zapotrzebowania roślin na składniki pokarmowe, a w okresie spoczynku wegetacyjnego z przewagą form stabilnych (19).

Zawartość próchnicy odzwierciedla w znacznym stopniu jakość i potencjał produkcyjny gleby. Dlatego też jest ona jednym z kryteriów wyróżniania obszarów problemowych rolnictwa w Polsce (3). Są to obszary o warunkach naturalnych utrudniających prowadzenie działalności rolniczej, zwłaszcza możliwość uprawy niektórych roślin (6). Obszary te wymagają podjęcia specjalnych działań ochronnych w celu ograniczenia ich marginalizacji i spadku rolniczej przydatności. Działania te muszą być

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 w programie wieloletnim IUNG - PIB

dostosowane do występujących na danym obszarze ograniczeń. Inne działania będą podjęte w przypadku silnego zakwaszenia gleb, inne w przypadku ich zanieczyszczenia pierwiastkami śladowymi, a jeszcze inne na obszarach zagrożonych suszą.

Zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie bądź przeciwdziałanie jej ubytkowi wymaga także podjęcia działań dostosowanych do czynników odpowiedzialnych za ten stan rzeczy (3). Może to być konserwująca (1, 22) uprawa roli, dobór odpowiednich roślin uprawnych i płodozmianu, zwiększenie nawożenia organicznego itp (12, 17). Dlatego też dokładne poznanie mechanizmów przemian próchnicy w glebach uprawnych oraz czynników siedliskowych, które je kształtują jest niezbędne dla podejmowania racjonalnych działań mających na celu poprawę warunków i opłacalności produkcji rolniczej na obszarach problemowych dotkniętych ograniczeniami natury przyrodniczej.

Wpływ czynników siedliskowych na procesy przemian glebowej materii organicznej

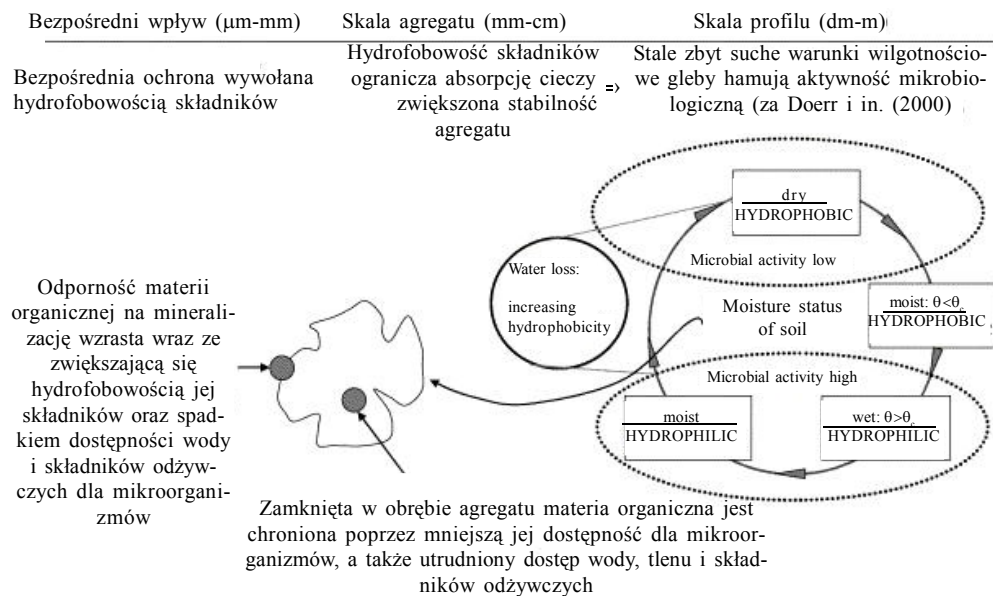
Procesy mineralizacji i humifikacji szczątków organicznych dostarczanych do gleby to procesy biochemiczne, za które odpowiadają głównie mikroorganizmy (20). Są one uwarunkowane czynnikami klimatycznymi, glebowymi, a także morfologią i składem chemicznym. Tempo przemian dostarczonej do gleby materii organicznej zależy od temperatury, ilości tlenu, wilgotności, dostępności składników odżywczych, odczynu, stosunku C/N w materiale organicznym, liczebności i aktywności mikroorganizmów, zawartości ligniny w dostarczonym materiale oraz stopnia jego rozdrobnienia (2, 27). W niniejszej pracy główny nacisk został położony na takie czynniki, jak: uziarnienie, stosunki wodne (wilgotność gleby), stosunki powietrzne, temperatura, zasobność w składniki pokarmowe i odczyn gleby.

Skład granulometryczny gleby

Jedną z podstawowych właściwości gleby jest skład granulometryczny, który poprzez oddziaływanie na pozostałe cechy, takie jak np. struktura, a co za tym idzie stosunki wodne i powietrzne, a także poprzez bezpośredni wpływ kształtuje w dużym stopniu procesy rozkładu materii organicznej w glebie. Uważa się powszechnie, iż zawartość próchnicy w glebie wzrasta wraz ze zwiększającym się udziałem części drobnych w jej składzie granulometrycznym (23). Zależność ta wynika z tworzenia się trwałych odpornych na rozkład związków próchnicy z częściami mineralnymi oraz podatności gleb cięższych na tworzenie się struktury agregatowej, gdzie próchnica w agregatach glebowych jest również w dużym stopniu odporna na rozkład przez mikroorganizmy (23). Duże znaczenie ma przy tym odporność agregatów na rozmywanie (hydrofobowość) oraz ich zwilżalność (13); (rys. 1).

G o e b e l i in. (7) oraz L a m p a r t e r i in. (13) badali zależność tempa mineralizacji od struktury, a także zwilżalności i właściwości hydrofobowych agregatów glebowych. Tempo mineralizacji oceniono na podstawie wydzielonego dwutlenku

węgla, a miarą zwilżalności był kąt zwilżania agregatów. Dowiedziono, iż tempo mineralizacji zależy w dużym stopniu od tych właśnie parametrów. Badając m.in. próbki gleby płowej wytworzonej z lessu (gleyic luvisols), zhomogenizowane oraz o naturalnej agregatowej strukturze autorzy ci zaobserwowali niższe tempo mineralizacji w próbkach o strukturze agregatowej niż w próbkach zhomogenizowanych. Wynika to z właściwości hydrofobowych i małej zwilżalności agregatów glebowych (7, 13). Wpływa to znacznie na stabilizację próchnicy w glebie. Hydrofobowość agregatów glebowych jest większa przy wyższym pH oraz obecności jonów Ca w glebie. Przyjmuje się, że w podobnych warunkach klimatycznych zawartość próchnicy w glebach gliniastych jest od dwóch do czterech razy większa niż w glebach piaszczystych (21).



Rys. 1. Mechanizm fizycznej ochrony na granicy faz w skali agregatu i w skali profilu.

θ_c jest krytyczną wartością zawartości wody

Źródło: Goebel i in., 2005 (7).

Skala macierzysta reguluje zapasy próchnicy w glebie nie tylko poprzez wpływ na jej strukturę. Gleby wytworzone ze skał zasobnych w składniki pokarmowe (o zróżnicowanym składzie mineralnym), jak np. bazalt, są zasobniejsze w składniki mineralne potrzebne roślinom niż gleby powstałe ze skał „ubogich”, np. z granitu. Gleby zasobne porasta bujniejsza roślinność dostarczająca glebie więcej szczątków podlegających humifikacji.

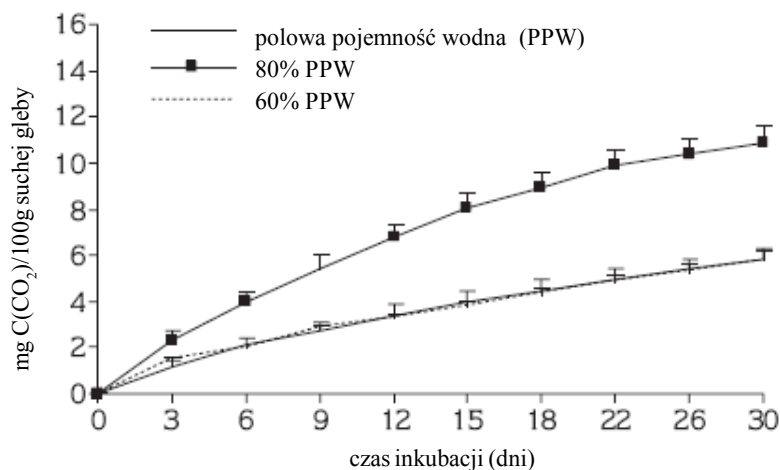
Wilgotność gleb

Jednym z najważniejszych czynników regulujących zapasy glebowej materii organicznej jest woda. Zawartość materii organicznej w glebach jest z reguły wyższa w rejonach o większej rocznej sumie opadów. Warunki większej wilgotności gleb w tych rejonach skutkują większą produkcją biomasy i zwiększonym dopływem szczątków organicznych do gleby, stanowiących pokarm dla organizmów glebowych.

Z drugiej strony większa wilgotność skutkuje zmniejszoną aeracją i niedostatkami tlenu. Większość organizmów glebowych potrzebuje tlenu i w momencie drastycznego zmniejszenia się jego ilości ich aktywność maleje lub ustaje całkowicie (4). Jest to przyczyną występowania dużych ilości materii organicznej w glebach nadmiernie wilgotnych (torfy). Można więc stwierdzić, że wpływ stosunków wodnych na przemiany materii organicznej jest duży, lecz pośredni i polega na regulowaniu dostępu tlenu do gleby.

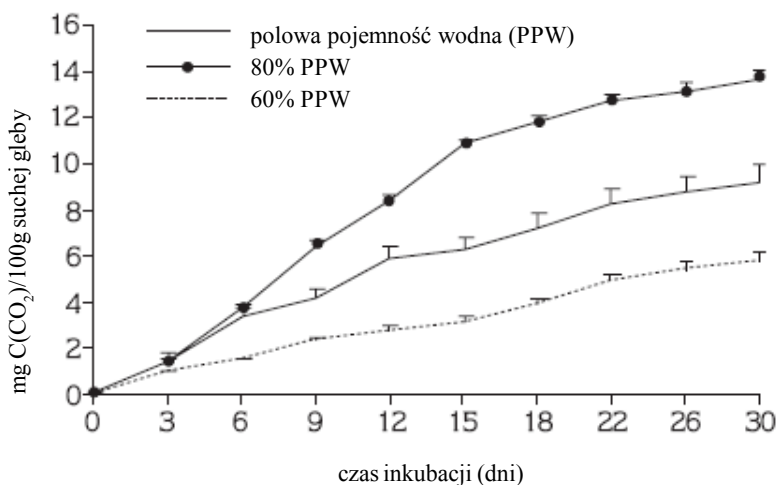
Zależność tempa mineralizacji od stosunków wodnych w glebie można zobrazować, badając respirację gleby w określonych warunkach wilgotności, przy określonej temperaturze. Badania w warunkach inkubacyjnych na różnych typach gleb prowadziło wielu autorów. Zeng i in. (26) badali mineralizację materii organicznej w glebach wschodniej Turcji leżących w półsuchym klimacie, porośniętych zbiorowiskiem szarańczyna strąkowego (*Ceratonia siliqua* L.). Celem badań było określenie w jakim stopniu mineralizacja materii organicznej w glebie (sklasyfikowanej jako Alfisol) o składzie granulometrycznym gliny i zawartości węgla organicznego 2,85% zależy od temperatury i wilgotności. Do doświadczenia pobrano próbki z wierzchniej warstwy gleby (do 20 cm), wysuszono w temperaturze pokojowej, zhomogenizowano i przesiano przez sito o oczku 2 mm. Następnie próbki poddano określonym warunkom wilgotnościowym i termicznym (przy dostępie tlenu), w których badano tempo mineralizacji na podstawie wydzielonego CO₂ absorbowanego w Ba(OH)₂. Tempo mineralizacji badano w różnych warunkach temperatury (23 i 28°C) i wilgotności (połowa pojemności wodna (PPW) 80 i 60% PPW tej gleby); (rys. 2 i 3).

Badania wykazały, iż aktywność mikrobiologiczna gleby zwiększała się wraz ze wzrostem temperatury. Aktywność mikroorganizmów w próbkach nawilżanych do wilgotności odpowiadającej połowej pojemności wodnej i 60% PPW była niższa niż w próbkach o wilgotności 80% PPW zarówno w temperaturze 23°C, jak i 28°C. Tempo mineralizacji C (%) przy wilgotności 80% PPW w temperaturze 28°C było większe niż w próbkach o wilgotności odpowiadającej PPW i 60% PPW w temperaturze 23°C oraz 60% PPW przy 28°C. Stwierdzono więc, że mikroorganizmy w badanej glebie wykazywały największą aktywność w warunkach 80% PPW przy temperaturze 28°C, w badaniach prowadzonych co 30 dni (rys. 3). Zatem wilgotność jest czynnikiem limitującym aktywność mikroorganizmów (zarówno w warunkach niskiego, jak i wysokiego stanu), ograniczając im zaopatrzenie w tlen i składniki odżywcze (26).



Rys. 2. Mineralizacja C organicznego w temperaturze 23°C

Źródło: Zengin i in., 2008 (26).

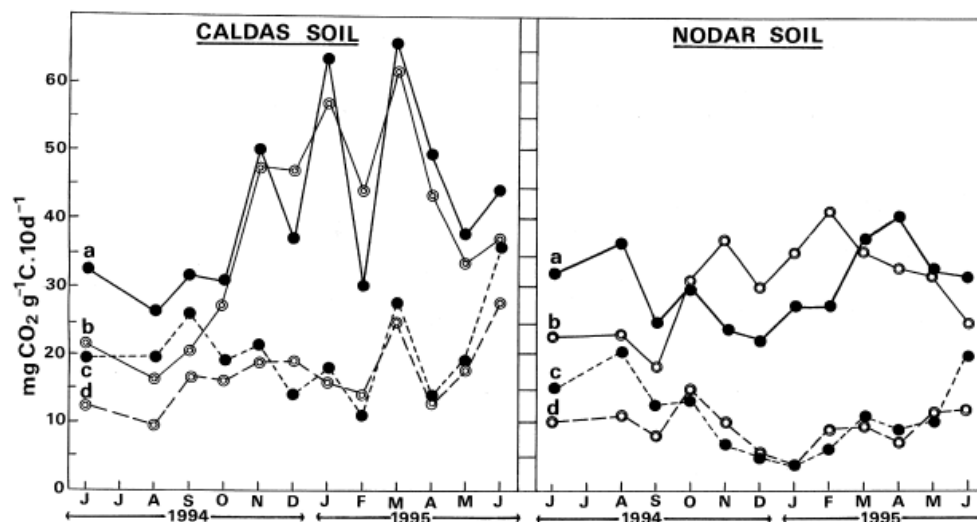


Rys. 3. Mineralizacja C organicznego w temperaturze 28°C

Źródło: Zengin i in., 2008 (26).

Do podobnych wniosków doprowadziły badania L e i r ó s (14) na dwóch profilach gleb z hiszpańskiego regionu Galicja, zaklasyfikowanych jako Umbrisols.

Nieco inne badania nad wpływem wilgotności na respirację gleby przeprowadzili O r c h a r d i C o o k (18). Mierzyli oni respirację próbek glebowych (uwolniony CO₂) o składzie gliny pylastej przy różnych wartościach ciśnienia ssącego gleby i na



Rys. 4. Wartość wydzielonego CO_2 z dwóch poziomów (O i Ah) w warunkach temperatury i uwilgotnienia: TM (a), Tm (b), tM (c), Tm (d)

gdzie:

t, m – połowa temperatura i wilgotność (w terenie),

T – temperatura maksymalnego tempa mineralizacji (25°C),

M – wilgotność referencyjna odpowiadająca wilgotności tych gleb w 48 h po obfitym opadzie (dla gleby z Caldas: 120% dla poziomu O i 42% dla Ah, dla gleby z Nodar odpowiednio 80% i 45%)

Źródło: Leirós i in., 1998 (14).

tej podstawie określili wpływ wilgotności gleby na aktywność mikroorganizmów glebowych. Próbkę gleby pobrano do kolb, gdzie przez 77 dni eksperymentu przy temperaturze 25°C próbki schły, były 4-krotnie ponownie nawilżane, a przez cały czas monitorowano respirację gleby oraz potencjał wody glebowej (rys. 4). Okazało się, iż potencjał wody (w przedziale od $-0,01$ do $-8,5$ MPa) i respiracja gleby są bardzo silnie skorelowane ($r = 0,991$). Zmiana ciśnienia ssącego gleby z $-0,01$ MPa (gleba mokra) na $-0,02$ MPa skutkowało spadkiem aktywności mikroorganizmów o 10%. Ponowne nawilżenie gleby powodowało duży i gwałtowny wzrost ich aktywności. Zanotowano 40-krotny wzrost aktywności mikroorganizmów w krótkim czasie, gdy w wyniku nawilżenia ciśnienie ssące gleby spadło o ponad 5 MPa (18).

Klimat

Biorąc pod uwagę ścisłą zależność tempa przemian glebowej materii organicznej od temperatury, niektórzy badacze upatrują dużego zagrożenia ze strony zauważalnych zmian klimatu (określanych mianem „globalnego ocieplenia”) dla zasobów węgla organicznego, którego gleba jest ogromnym magazynem (15). Najbardziej wyraźne zmiany spodziewane są w umiarkowanej strefie klimatycznej, gdzie przyspieszone

tempo mineralizacji przewyższy zwiększoną produkcję netto biomasy w wyniku ocieplenia klimatu. Przewiduje się, że wzrost średniej temperatury rocznej o 1°C w rejonach ze średnią roczną temperaturą około 5°C spowoduje stratę 10% C organicznego w glebach na skutek przyspieszonej mineralizacji. Taki sam wzrost średniej rocznej temperatury spowoduje utratę jedynie 3% C organicznego w rejonach o średniej rocznej temperaturze około 30°C. Przewidywane straty mogą być dużo większe jeśli weźmiemy pod uwagę wartości bezwzględne i gleby rejonów zimnych zawierających dużo C organicznego (10). Przyjmuje się, że podniesienie średniej temperatury rocznej o 8-9°C powoduje podwojenie szybkości przemian glebowej materii organicznej (4).

Właściwości chemiczne gleby

Odczyn gleby wpływa na zawartość materii organicznej w dwojaki sposób: poprzez dekompozycję i produkcję biomasy. Jeśli chodzi o pH gleby to zarówno humifikacji, jak i mineralizacji materii organicznej sprzyja odczyn obojętny. Przy takim odczynie aktywność mikroorganizmów jest największa, najszybciej więc przebiega zarówno proces rozkładu, jak też tworzenia się próchnicy. Obecność wapnia sprzyja powstawaniu humianów wapnia, czyli trwałych związków kompleksowych, bardzo ważnych dla żyzności gleby (11). Odczyn obojętny lub lekko kwaśny sprzyja rozwojowi większości roślin, co skutkuje wysoką produkcją biomasy i dopływem szczątków roślinnych. Ponadto przy niskim pH może występować zjawisko hydrolizy substancji próchnicznych, co ma niemałe znaczenie na glebach kwaśnych o przemianym typie gospodarki wodnej i dużym udziale kwasów fulwowych w składzie frakcyjnym próchnicy (11).

W procesie mineralizacji materii organicznej duże znaczenie ma zawartość azotu w resztkach roślinnych i w glebie (24), a dokładniej stosunek C/N. Jeśli jest on zbyt szeroki (szerszy niż 30 : 1) drobnoustroje glebowe mają zbyt dużo węgla, a za mało azotu i wówczas pobierają go z zasobów glebowych, lecz, gdy tu jest go zbyt mało ich aktywność zamiera. Dla akumulacji próchnicy ważna jest zawartość metali, zwłaszcza wapnia, z którymi próchnica tworzy trwałe kompleksy glebowe odporne na działanie mikroorganizmów (19).

Podsumowanie

Określenie wpływu różnych cech środowiska przyrodniczego oraz działalności człowieka na środowisko glebowe w skali regionu lub kraju nie jest łatwe. W celu kompleksowej oceny wpływu czynników siedliskowych na bilans glebowej materii organicznej należy wcześniej przeprowadzić badania laboratoryjne. Pozwalają one na dokładne zbadanie zależności pomiędzy parametrami gleby i czynnikami klimatycznymi a tempem przemian próchnicy (24). Dopiero posiadając takie dane, można badać zależności w skali makro. Z badań laboratoryjnych wynika, że mineralizacja materii organicznej, jak również próchnicy przebiega najszybciej w następujących warun-

kach: temperaturze $>20^{\circ}\text{C}$, zwiększonej aeracji, odpowiedniej wilgotności (60-80% PPW) oraz pH gleby zbliżonym do obojętnego. Ważna jest też zbilansowana zawartość składników pokarmowych potrzebnych mikroorganizmom, a także odpowiedni stosunek C/N w dostarczanej masie organicznej (16). Humifikacji sprzyjają zbliżone warunki, ponieważ w jej przebiegu ogromną rolę odgrywają organizmy glebowe (8). Akumulacji nierozłożonej materii organicznej sprzyja natomiast niska temperatura i duża wilgotność ograniczająca dostęp tlenu, czego dowodem są gleby organiczne powstające w podmokłych i chłodnych obszarach.

Literatura

1. Baker J., Ochsner T., Venterea R., Griffis T.: Tillage and soil carbon sequestration. What we really know? *Agric., Ecosys. Environ.*, 2007, **118**: 1-5.
2. Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojńska U., Prusinkiewicz Z.: *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. PWN Warszawa, 2005.
3. Bieńkowski J., Jankowiak J.: Zawartość węgla organicznego w glebie i jego zmiany pod wpływem różnych systemów produkcji. *Fragm. Agron.*, 2006, **2**: 216-225.
4. Bot A., Benites J.: The importance of soil organic matter. FAO, Rome, 2005.
5. Dziadowiec H.: Ekologiczna rola próchnicy glebowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1999, **411**: 270-272.
6. Filipiak K., Jadczyzyn J.: Kryteria wyboru i ocena obszarów problemowych rolnictwa w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **12**: 103-111.
7. Goebel M., Bachmann J., Woche S., Fischer W.: Soil wettability, aggregate stability, and the decomposition of soil organic matter. *Geoderma*, 2005, **128**, **1-2**: 80-93.
8. Gorlach E., Mazur T.: *Chemia rolna*. PWN Warszawa, 2001.
9. Jadczyzyn J.: Regionalne zróżnicowanie obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w Polsce. *IUNG-PIB Puławy, Instr. upowszechn.*, 2009, **163**: ss. 80.
10. Kirschbaum M.: The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biol., Biochem.*, 1994, **27(6)**: 753-760.
11. Kononowa M.: *Substancje organiczne gleby, ich budowa, właściwości i metody badań*. PWRiL Warszawa, 1968.
12. Kowaliński S.: *Substancja organiczna gleb i jej przeobrażenia*. PWRiL Warszawa, 1995.
13. Lamparter A., Bachmann J., Goebel M. O., Woche S. K.: Carbon mineralization in soil: Impact of wetting-drying, aggregation and water repellency. *Geoderma*, 2009, **150(3-4)**: 324-333.
14. Leirós M. C., Trasar-Cepeda C., Seoane S., Gil-Sotres F.: Dependence of mineralization of soil organic matter on temperature and moisture. *Soil Biol. Biochem.*, 1999, **31(3)**: 327-335.
15. Marzec A.: Zmiany klimatu. Nowy raport Międzynarodowego Panelu ds. Zmian Klimatycznych (IPCC). *Polityka Energetyczna*, 2007, **10(1)**: 97-103.
16. Mazur T.: Stan i perspektywa bilansu substancji organicznej w glebach uprawnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1995, **421a**: 267-276.
17. Mazur T.: Rolnicze i ekologiczne znaczenie glebowej substancji organicznej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1995, **422**: 9-19.
18. Orchard V., Cook F. J.: Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biol., Biochem.*, 1983, **15(4)**: 447-453.
19. Pałosz T.: Rolnicze i środowiskowe znaczenie próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu. *Rocz. Ochr. Środ.*, 2009, **11**: 329-338.

20. Pastuszek A.: Substancja organiczna w glebach. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 2007, 30.
21. Prasad R., Power J. F.: Soil fertility management for sustainable agriculture. Lewis Publishers, New York, 1997.
22. Reicosky D. C.: Effect on conservation tillage on soil organic carbon dynamics. Sustaining the Global Farm, 1999.
23. Rice C. W.: Organic matter and nutrient dynamics. Encyclopedia of soil science. New York, 2002, 925-928.
24. Trojanowski J.: Przemiany substancji organicznych w glebie. PWRiL Warszawa, 1972.
25. Zawadzki S., Dobrzański B.: Gleboznawstwo. Podręcznik dla studentów akademii rolniczych. Wyd. III popr. PWRiL Warszawa, 1995.
26. Zengin E., Aka Sagliker H., Darici C.: Carbon mineralization of *Ceratonia siliqua* L. Soil under different temperature and humidity conditions. Turk. J. Bot., 2008, **32**: 123-127.
27. <http://www.nofa.org/tnf/humus.php>

Adres do korespondencji:

mgr Radosław Kaczyński
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (81) 886 34 21, w. 310
e-mail: rkaczynski@iung.pulawy.pl

