

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

ZESZYT 54(8): 25-39

2017

Aleksandra Ukalska-Jaruga, Bożena Smreczak, Joanna Strzelecka*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*WPLYW MATERII ORGANICZNEJ NA JAKOŚĆ GLEB
UŻYTKOWANYCH ROLNICZO***Słowa kluczowe:** materia organiczna, próchnica, gleba, jakość gleb, użytkowanie gruntów**Wstęp**

Koncepcja rolnictwa zrównoważonego zakłada realizację wielokierunkowych działań, które dla dobra przyszłych pokoleń łączą cele produkcyjne rolnictwa z wymaganiami na rzecz ochrony środowiska. Jednym z najważniejszych zagadnień w polityce UE jest ochrona gleb. Wpisując się w kierunki wyznaczone przez strategię tematyczną w dziedzinie ochrony gleby (KOM(2006) 231 wersja ostateczna), kraje członkowskie są zobowiązane do utrzymania prawidłowego funkcjonowania gleb oraz podjęcia niezbędnych kroków w celu określenia najważniejszych procesów degradujących środowisko glebowe, ich nasilenia oraz rejonów występowania. Zobowiązanie do tego typu działań zostało przedstawione m.in. w rezolucji Parlamentu Europejskiego (Rezolucja PE, 2007), który zwraca uwagę na potrzebę objęcia szczególną ochroną gleb użytkowanych rolniczo, dlatego zagadnienia te zostały włączone do Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) oraz Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW).

Rezolucja Parlamentu Europejskiego (Rezolucja PE, 2007) wśród głównych zagrożeń dla prawidłowego funkcjonowania gleb wymienia spadek zawartości materii organicznej, ponieważ jej ubytek może powodować wiele niekorzystnych zjawisk związanych z zaburzeniem procesów chemicznych, fizycznych i biologicznych, które bezpośrednio wpływają na jakość gleb. Dlatego też, analizy dynamiki zmian budowy materii organicznej są niezbędne przy ocenie tempa jej mineralizacji i akumulacji oraz czynników, które wpływają na przebieg tych procesów, a monitorowane przy zastosowaniu różnych metod chemicznych i spektralnych dostarczają odpowiedzi o stabilności, jakości i ilości związków budujących MOG.

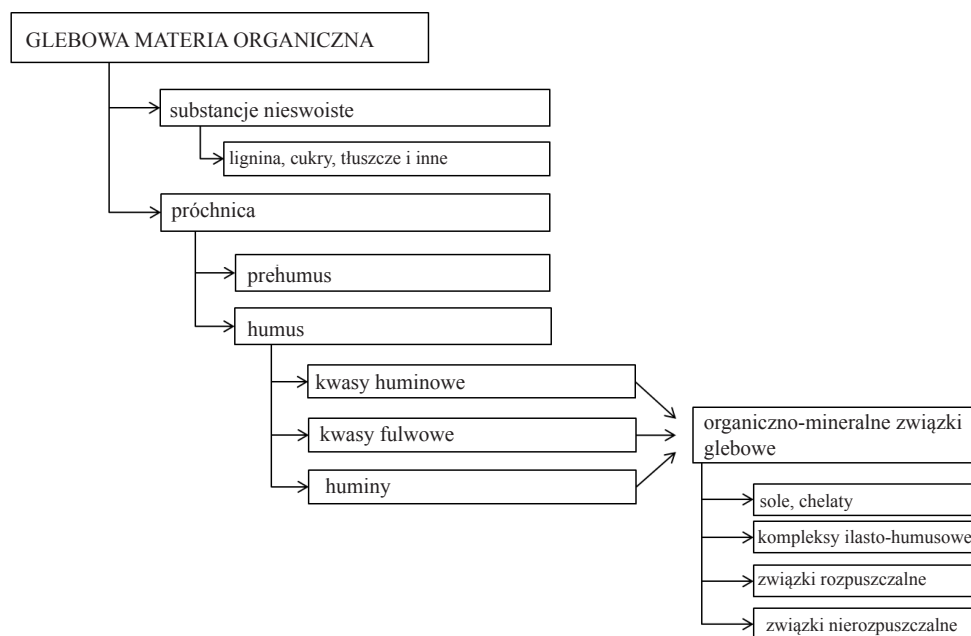
* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Celem opracowania jest przedstawienie zagadnień dotyczących znaczenia materii organicznej w ocenie fizycznej, chemicznej i biologicznej jakości gleb użytkowanych rolniczo, jej źródeł i budowy oraz metod chemicznych stosowanych w analizie MOG.

Skład i budowa glebowej materii organicznej

Glebowa materia organiczna (MOG) obejmuje wszystkie występujące w glebie związki zawierające węgiel pochodzenia organicznego. Powstaje z obumarłych składników organicznych, które pozostają w glebach w różnych stadiach rozkładu i resyntezy (15,38). Zróżnicowane warunki glebowe decydują o intensywności oraz kierunku przebiegu procesów fizykochemicznych i biologicznych, które towarzyszą przemianom organicznego materiału wyjściowego. Struktura powstających substancji, ich budowa chemiczna oraz wzajemne proporcje pomiędzy poszczególnymi frakcjami ulegają nieustannym zmianom w czasie (5, 14, 15). Badania nad rozpoznaniem zróżnicowanego składu MOG doprowadziły do wydzielenia grup (frakcji) związków charakteryzujących się zbliżonymi właściwościami (5, 49). W literaturze naukowej można znaleźć liczne podziały ze względu na budowę, właściwości fizykochemiczne, pochodzenie czy trwałość. Według ogólnej definicji przedstawionej przez Bednarek i in., 2005 (5) w skład materii organicznej wchodzi próchnica glebowa oraz substancje nieswoiste – Rys. 1. Próchnicę stanowi prehumus, do którego zalicza się niecałkowicie zhumifikowane części organiczne oraz humus zawierający kwasy huminowe, kwasy fulwowe, i huminy tworzące z cząstkami mineralnymi kompleksy organiczno-mineralne (Rys.1). Związki nieswoiste to cukry, aminokwasy, lignina, tłuszcze i inne (5). Specyficzną grupę substancji nieswoistych stanowią bituminy występujące głównie w glebach torfowych. Składają się z mieszaniny lipidów, ketonów, alkanów, wosków i wyższych alkoholi oraz związków węglowodorowych (20).

Akumulacja materii organicznej jest ważnym czynnikiem tworzenia się gleb oraz zróżnicowania ich morfologii. Dlatego też, MOG stanowi podstawowy wskaźnik decydujący o fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwościach gleby (3, 5, 14, 15, 49).



Rys. 1. Podział glebowej materii organicznej

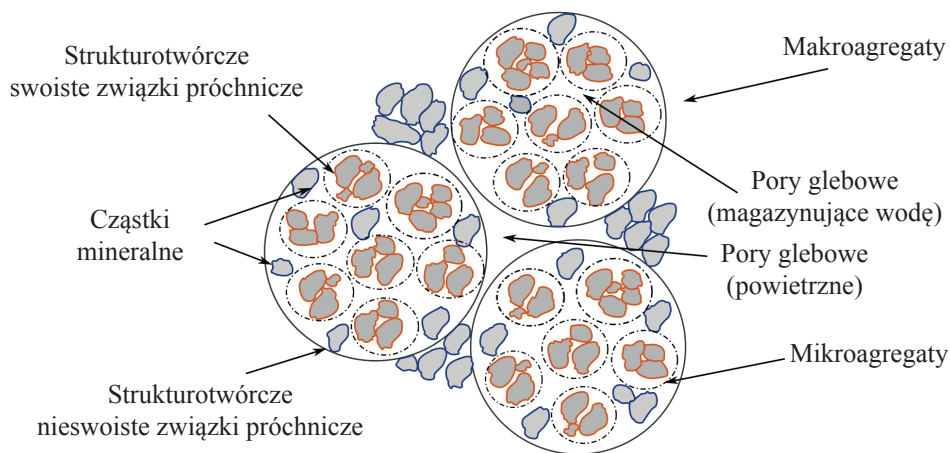
Źródło: Bednarek i in., 2005 (5), zmodyfikowane

Wpływ materii organicznej na fizyczne właściwości gleb

Korzystny wpływ MOG na właściwości fizyczne gleb związany jest z udziałem frakcji organicznej w tworzeniu agregatów glebowych oraz zachowaniu prawidłowych warunków wodno-powietrznych i termicznych. Niejednorodna materia organiczna łączy się z minerałami ilastymi, półtoratlenkami żelaza i glinu oraz węglowodanami cementując, wiążąc i stabilizując cząstki glebowe (26). Powstałe w ten sposób wielopostaciowe agregaty różnią się kształtem, wielkością oraz gęstością w zależności od typu gleby i zawartości związków próchnicznych (49). Struktura agregatowa wpływa na objętość, kształt i wielkość porów, które mają zasadnicze znaczenie w obiegu wody i powietrza w glebie (Rys. 2). W glebach ciężkich i drobnoziarnistych MOG zmniejsza zwięzłość gleb w przeciwieństwie do gleb lekkich, zapobiegając w nich wypłukiwaniu w głąb profilu drobnych cząstek mineralnych (3, 15). Jest to efekt szczególnie istotny w aspekcie rolniczego wykorzystania gleb, ponieważ stwarza dogodne środowisko dla swobodnego wzrostu korzeni roślin, ich oddychania oraz pobierania składników mineralnych (52). Uprawa roślin o wiązkowym systemie korzeniowym dodatkowo zwiększa stabilizację agregatów glebowych (52). Gęsta sieć drobnych korzeni wywiera nacisk, który ścisną przylegające do nich cząstki gleby zawierające frakcje organiczne i powoduje jednoczesne ich odwodnienie, kurczenie oraz zlepianie i w konsekwencji powstawanie wielu drobnoporowatych makrocząsteczek glebowych zawierających drobne pory (26). Dodatkowo, nieswoiste związki próchniczne tj. polisacharydy, hemicelulozy czy uronidy, tworzą na

powierzchni przylegających mikroagregatów elastyczną powłokę strukturotwórczą pełniącą jednocześnie funkcję ochronną (49). Według Haynes (19) w celu utrzymania prawidłowej struktury gleby zawartość MOG powinna wynosić od 3,2% do 4%.

Wysoka zawartość MOG stabilizuje strukturę gleby oraz zmniejsza podatność na degradację w wyniku erozji wodnej i wietrznej. Wysoka pojemność wodna związków próchnicznych sprawia, że są one zdolne do zatrzymywania nawet 5-krotnie więcej wody w formie dostępnej dla roślin, w stosunku do swojej masy. Jest to właściwość, która ma szczególnie ważne znaczenie w glebach piaszczystych (15).



Rys. 2. Wpływ MOG na formowanie agregatów glebowych

Źródło: opracowanie własne

Dodatkowo, charakterystyczna ciemno-brązowa barwa substancji próchnicznych sprawia, że ich zawartość bezpośrednio wpływa na barwę gleby. Gleby zasobniejsze w MOG charakteryzują się ciemniejszą barwą, a co z tym związane wykazują wyższą zdolność do pochłaniania promieniowania słonecznego. Absorpcja promieniowania wspomaga nagrzewanie i wpływa na panujące warunki termiczne, co przyspiesza procesy mikrobiologiczne oraz wschody roślin (3, 5, 15).

Wpływ MOG na chemiczne właściwości gleb

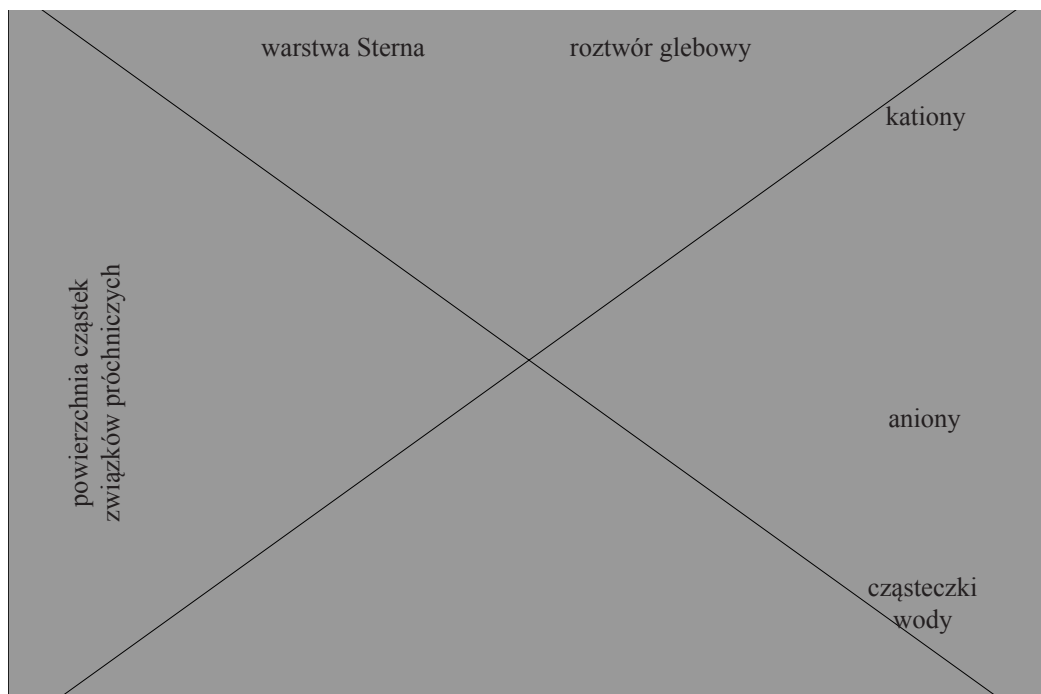
MOG ze względu na dużą niejednorodność składu wpływa pośrednio i bezpośrednio na właściwości chemiczne gleb. Jedną z najważniejszych frakcji MOG, która ma istotne znaczenie środowiskowe i rolnicze, jest próchnica. Związki próchnicowe przede wszystkim zwiększają zasobność gleb, w tym od 2-30 razy pojemność sorpcyjną oraz poprawiają właściwości buforowe. Stanowią znaczące źródło składników odżywczych dla roślin, pozytywnie wpływają na dostępność mikroskładników oraz są

czynnikiem chelatującym jony wielowartościowe (3, 5, 14, 49). Właściwości próchnicy kontrolowane są głównie przez biopolimerową strukturę chemiczną o zmiennym składzie pierwiastkowym. Głównymi składnikami są węgiel (40-60%), wodór (3-8%), tlen (30-50%), azot (1-5%), fosfor i siarka (0,1-4%), które tworzą struktury pierścieni aromatycznych (15). Procentowy udział poszczególnych pierwiastków w związkach próchnicowych jest determinowany genezą ich powstawania, warunkami środowiskowymi oraz stopniem przetworzenia wyjściowych składników organicznych. Przy pierścieniach aromatycznych oraz łańcuchach alifatycznych poszczególnych składników materii organicznej występują grupy funkcyjne (m.in. $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, $=\text{C}=\text{O}$) odpowiedzialne głównie za procesy sorpcyjne zachodzące w glebie z udziałem związków próchnicowych (38, 49). Reaktywność poszczególnych grup funkcyjnych zależy od odczynu gleby. Przy zmianie pH np. z 5 do 7 zachodzi dysocjacja protonów lub grup hydroksylowych i powstają ujemnie naładowane miejsca sorpcyjne wiązania kationów (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+); (26, 14). Ogólna zdolność wymiany oraz jej pojemność różni się w zależności od frakcji próchnicy i wynosi od 300 do 1200 $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ (49). Sorpcja kationów przez związki próchniczne zapobiega ich wymywaniu z gleby jednocześnie umożliwiając zachowanie dynamicznej równowagi z roztworem glebowym (5, 14).

Oddziaływanie powierzchni właściwej materii organicznej z kationami najdokładniej opisuje model tworzenia podwójnej warstwy elektrycznej Gouya i Sterna (3,5,49). Według opracowanego modelu (Rys.3) do ujemnie naładowanej powierzchni koloidów organicznych, które mogą stanowić kwasy huminowe i kwasy fulwowe oraz połączenia organiczno- mineralne, przylega ściśle warstwa zaadsorbowanych kationów (warstwa Sterna). Poza warstwą Sterna znajduje się warstwa dyfuzyjna, w której w miarę oddalania się od powierzchni koloidu przyciąganie kationów jest znacznie słabsze. Zaadsorbowane kationy mogą ulegać wymianie z kationami obecnymi w roztworze glebowym, a przebiegający proces zachodzi z zachowaniem zasady równoważności ładunków (5, 49). Dzięki zdolności sorpcyjnej substancje próchniczne regulują stężenie roztworów glebowych, pozwalając na utrzymanie względnie stałego odczynu gleby (3, 15).

Oprócz zdolności sorpcyjnych próchnica posiada wysokie zdolności kompleksujące. Najczęściej tworzy chelaty z mikro- i makroskładnikami, co ułatwia ich transport przez błony półprzepuszczalne do komórek roślinnych. Jednak w glebach poddanych antropopresji związki próchnicowe mogą łatwo tworzyć kompleksy i sorbować zanieczyszczenia tj. pierwiastki śladowe, pestycydy, hydrofobowe zanieczyszczenia organiczne (31, 55, 51). Wysoka pojemność sorpcyjna materii organicznej wynosząca od 800 do 1000 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ pozwala efektywnie zatrzymywać związki toksyczne obniżając ich biodostępność w glebie. Związki pomiędzy zawartością MOG a ilością hydrofobowych zanieczyszczeń organicznych, tj. wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, polichlorowanych bifenyli, chloroorganicznych pestycydów, były wskazywane m.in. przez Maliszewską -Kordybach i in. (31)

i Zhang'a i in. (56), Smreczak i in. (47) oraz Nam'a i in. (35). Zdolność wiązania pierwiastków śladowych tj. Zn, Pb, Cu, Cd przez materię organiczną badali m. in. Quenea i in. (41), Fan i in. (11) Opfergelt i in. (36) oraz Kwiatkowska-Malina (27). Z badań tych autorów wynika, że najwyższe powinowactwo sorpcyjne do MOG wykazuje Zn, natomiast Pb, Cu, Cd są wiązane głównie przez frakcję mineralną.



Rys. 3. Rozmieszczenie jonów w podwójnej warstwie elektrycznej modelu Gouya i Sterna
Źródło: wg Bednarek i in., 2005 (5) oraz Tan, 2014 (49), zmodyfikowane.

Wpływ MOG na biologiczne właściwości gleb

Gleby zasobne w MOG odznaczają się znaczną aktywnością biologiczną. W glebach zasobnych w substancje próchniczne populacje mikroorganizmów są liczniejsze, bardziej aktywne i wykazują ustabilizowany skład gatunkowy (9). Substancje próchniczne pozytywnie wpływają na przemiany azotu amonowego i związków azotowych w glebie oraz zmniejszają znacząco ich straty (1). Związki próchniczne mają również istotny wpływ na procesy fizjologiczne roślin. W ich skład wchodzi wiele tzw. substancji wzrostowych, które intensyfikują szereg ważnych procesów fizjologicznych roślin, takich jak gospodarka wodna, aktywność enzymatyczna, oddychanie czy fotosynteza roślin wyższych (1, 4).

Od zawartości próchnicy w glebie zależy także naturalna odporność gleb na rozwój czynników chorobotwórczych. Fitosanitarnie działanie próchnicy polega na tworzeniu przez nią warunków sprzyjających masowemu namnażaniu się mikroorganizmów antagonistycznych wobec wielu gatunków grzybów i bakterii chorobotwórczych dla roślin uprawnych (1,9).

Źródła i przemiany materii organicznej w glebie

Próchnica w glebie podlega nieustannym transformacjom biochemicznym i mikrobiologicznym, będącym rezultatem aktywności enzymatycznej mikroorganizmów w tym głównie bakterii i grzybów (3, 15, 37). Całokształt zachodzących przemian obejmują procesy mineralizacji i humifikacji, które zachodzą jednocześnie i są ze sobą ściśle związane. Produkty humifikacji poddawane są mineralizacji i odwrotnie, jednak skutki obydwu przemian są odmienne (5, 14). Optymalny stan dla rolnictwa i środowiska jest osiągnięty poprzez utrzymanie względnej równowagi między stabilnymi i labilnymi formami próchnicy, jednak z pewną przewagą aktywnych frakcji próchnicy w okresie największego zapotrzebowania na składniki pokarmowe przez rośliny i z przewagą bardziej stabilnych jej form w okresie spoczynku wegetacyjnego (33). Ze względu na zróżnicowane właściwości oraz warunki glebowo-klimatyczne trudno jest zachować względny stan równowagi pomiędzy humifikacją (dopływem) a mineralizacją materii organicznej (37).

Proces humifikacji obejmuje złożone przemiany wyjściowych komponentów substancji organicznej i ich transformację do substancji amorficznych. Humifikacja jest wiązana z utlenianiem polisacharydów roślinnych oraz selektywnym wiązaniem trudno degradowalnych substancji organicznych tj. lignin czy związków fenolowych. Głównym produktem procesu humifikacji są frakcje związków o zbliżonych właściwościach tj. kwasów huminowych, kwasów fulwowych i humin. Humifikacja jest procesem, w wyniku którego tworzą się nowe produkty stanowiące uzupełnianie zasobów organicznych związków powstałych w procesie mineralizacji (5, 14, 15). Efektywność tworzenia związków próchnicznych zależy głównie od rodzaju substratu i wyrażana jest poprzez tzw. współczynnik humifikacji (ang. *humification index*, HI) (17). Według danych literaturowych (33, 37) najwyższy dodatni HI stwierdzono dla łąbinu i seradeli uprawianych na zielony nawóz: 40% oraz obornika: 35%; dla słomy zbóż: 20-25%, dla resztek z kukurydzy: 15%, natomiast dla resztek poźniwnych z roślin okopowych jedynie: 8%.

W procesie mineralizacji następuje przekształcanie związków organicznych w proste związki mineralne. W przypadku procesów tlenowych powstają produkty takie jak CO_2 , H_2O , jony Ca^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NH_4^+ i NO_3^- , a w procesach beztlenowych: CO_2 , H_2O , H_2S , CH_4 i skatol (5, 14, 15). Mineralizacja ma istotne znaczenie w obiegu pierwiastków zawartych w MOG ponieważ tylko mineralne związki rozpuszczone w roztworze glebowym mogą zostać pobrane przez rośliny (3, 17). Dlatego też, zachowanie ciągłości przemian MOG (mineralizacja i humifikacja) staje się niezwykle istotne w aspekcie rolniczego gospodarowania materią organiczną.

Długoterminowe utrzymanie wysokiej zasobności gleb w MOG jest możliwe poprzez systematyczne dostarczanie świeżej materii organicznej oraz wysoką aktywność biologiczną gleby (40). W gospodarstwie rolnym dopływ materii organicznej można regulować na wiele sposobów. Pozostawianie na polu roślinnych resztek poźniwnych, w tym np. słomy, stosowanie nawozów naturalnych i organicznych, uprawa poplonów i mieszanek trawiasto-motylikowatych oraz stosowanie konserwującej uprawy roli. Działania te, korzystnie wpływają zarówno na przyrost materii organicznej w glebie jak i retencję wody (40, 45). Zastosowanie tego typu zabiegów agrotechnicznych pozwala w znaczący sposób podnieść potencjał produkcyjny gleb. Według Mazura (33) najcenniejsze pod względem masy i zawartości węgla organicznego są resztki poźniwne rzepaku ozimego, bobu, lucerny w 3 i 4 roku uprawy tej rośliny, słonecznika oraz gorczycy. W zrównoważonej gospodarce materią organiczną, ważną rolę w odtwarzaniu zasobów próchnicy w glebie odgrywają liczne dodatki doglebowe, tj. egzogenna materia organiczna, w tym: odpady z przemysłu rolno-spożywczego czy pofermenty z biogazowni itp. (32, 53). Coraz częściej wśród tych dodatków wymienia się również biowęgiel oraz produkty na bazie biowęgla.

Utrzymanie zasobów materii organicznej jest ważne nie tylko ze względu na funkcję produkcyjną, siedliskową i retencyjną gleby, lecz również na rolę gleby w procesach sekwestracji węgla z atmosfery i redukcji skutków efektu cieplarnianego (6). Zabiegi uprawowe stosowane przez intensywne rolnictwo, zwłaszcza prowadzone w monokulturach, niszczą strukturę gleby, zwiększają jej aerację, powodując intensywną mineralizację próchnicy i uwalnianie dwutlenku węgla do atmosfery, zwiększając tym samym udział rolnictwa w całkowitym bilansie tego gazu ze wszystkich sektorów gospodarki (6).

Zasobność gleb Polski w materię organiczną

Gleby mineralne naszego kraju ze względu na zawartość próchnicy dzieli się na słabo próchniczne (poniżej 1%), średnio próchniczne (1,01-2%), próchniczne (2,01-3%) i wysoko próchniczne (powyżej 3%). Zawartość i zasoby próchnicy w glebach użytkowanych rolniczo zależą od dwóch grup czynników: 1) siedliskowych, determinowanych przez klimat, ukształtowanie terenu, skałę macierzystą, typ gleby i stosunki wodne oraz 2) antropogenicznych, związanych przede wszystkim z agrotechniką roślin (3, 14). Najmniejsze ilości związków próchnicznych zawierają lekkie gleby brunatne, rdzawe i bielcowe oraz płowe wytworzone z piasków, a największe średnie i ciężkie rędziny czarnoziemne, czarnoziemy, czarne ziemie i mady czarnoziemne. Na ogół gleby użytków zielonych zawierają więcej materii organicznej w porównaniu do gruntów ornych, w których równowaga procesów mineralizacji i humifikacji zależy od rodzaju i ilości stosowanych nawozów, doboru gatunków roślin w zmianowaniu oraz sposobu agrotechniki (6).

Wyniki programu *Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce* uzyskane na podstawie badań przeprowadzonych w roku 2015 wskazują na duże zróżnicowanie zawartości próchnicy w wierzchniej warstwie (0-20 cm) gleb z terenów rolniczych. Przeciętna zawartość próchnicy (mediana) w 216 próbkach glebowych wynosiła 1,68 %, a zakres zawartości wahał się od 0,62 do 6,62%. Gleby o niskiej zawartości próchnicy (>1%) stanowiły około 4% zbioru danych, o średniej zawartości (1,01-2%) aż 63%. Były to głównie gleby lekkie i bardzo lekkie, w których następuje szybki rozkład materii organicznej, przy małych możliwościach jej akumulacji. Natomiast gleby zawierające powyżej >2% próchnicy stanowiły 33% zbioru wyników (42).

Analiza danych z programu *Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce* z 5 cykli badań przeprowadzonych w latach 1995-2015 wskazuje, że przeciętna zawartość próchnicy (wyrażona medianą) utrzymuje się na względnie stałym poziomie. Zawartość oznaczona w roku 2015 nie różni się istotnie od zawartości przeciętnych z lat ubiegłych tj. 2010 (mediana=1,70%), 2005 (mediana=1,67%), 2000 (mediana=1,80%) oraz 1995 (mediana=1,77%). Dla porównania, według Europejskiej Bazy Danych o Glebach (ESD) ok. 45% gleb Europy charakteryzuje się niską (Corg =1-2%) i bardzo niską (Corg <1%) zawartością węgla organicznego, a jedynie 5% wykazuje wysoką (Corg > 6%) zasobność tego składnika w glebach.

Metody oznaczeń jakości materii organicznej w glebach

Wiele funkcji gleb użytkowanych rolniczo zależy od ich zasobności w materię organiczną, ale równie ważnym zagadnieniem jest jakość MOG. Podstawowym kryterium oceny jakości materii organicznej jest analiza składu frakcyjnego (14, 15). Stosowane w badaniach metody analizy składu frakcyjnego odpowiadające różnym klasyfikacjom MOG, ukazują dynamikę, zróżnicowanie stopnia rozkładu i przemian materii organicznej kontrolowaną przez warunki środowiskowe i jakość substratu. Pomimo, że struktura chemiczna materii organicznej nie została dostatecznie poznana, stwierdzono, że głównym jej komponentem jest węgiel organiczny pochodzący z obumarłych części organizmów roślinnych i zwierzęcych związany m.in. w fazie koloidalnej (próchnica, humus) lub rozpuszczony w roztworze glebowym (14, 34). Ze względu na zróżnicowane pochodzenie, tempo i kierunek przemian związków organicznych w glebach oraz związany z tym skład, pojawia się problem pełnej i dokładnej charakterystyki MOG. Opracowanie odpowiednich metodyk umożliwiających rutynowe monitorowanie stanu środowiska glebowego w zakresie oznaczania zawartości MOG staje się wyzwaniem dla współczesnych badaczy. Istotny problem stanowi brak standardowych metod, które kompleksowo oraz z dużą dokładnością pozwolą określić ilość i jakość glebowej materii organicznej. W literaturze naukowej można znaleźć opis analiz różnorodnych procedur oceny zawartości frakcji glebowej materii organicznej i jej struktur, począwszy od metod termicznych tj. strata przy żarzeniu (zawartość całkowita) po metody chemiczne

tj. ekstrakcja sekwencyjna rozpuszczalnikami (zawartość rozpuszczalnych w kwasach i zasadach frakcji substancji humusowych) i coraz częściej stosowane metody spektralne. Różnorodność tych metod powoduje konieczność wyboru określonej procedury lub stosowania wielu z nich, w celu szerokiej charakterystyki materii organicznej. Obecnie niemożliwe jest zastosowanie jednej efektywnej techniki izolacji wszystkich składników MOG, w kilku prostych krokach analitycznych.

Za główny wskaźnik żyzności i produktywności gleb uznaje się substancje humusowe tj. kwasy fulwowe, kwasy huminowe i huminy, dlatego też dotychczasowe badania składu MOG skupiają się głównie na oznaczeniach tych frakcji. Do niedawna w celu wydzielenia poszczególnych związków humusowych stosowano metody: Tiurina, Boratyńskiego i Wilka, Ponomariewej i Płotnikowej, Kononowej i Bielczikowej, Schnitzera, Swifta (8). Zasada frakcjonowania za pomocą przytoczonych metod opiera się głównie na procesach analizy sekwencyjnej, w której używa się roztworów $\text{Na}_2\text{P}_4\text{O}_7$ i NaOH , NaOH i Na_2CO_3 , NaOH , H_2SO_4 , Na_2SO_4 o różnej sile ekstrakcji (2, 28, 38).

W większości współczesnych prac naukowo-badawczych dotyczących analizy związków humusowych stosowana jest metoda ekstrakcji opracowana przez Międzynarodowe Towarzystwo Substancji Humusowych IHSS (ang. *International Humic Substances Society*). Mniej poznana, ale porównywalna z procedurą według IHSS, znormalizowana metoda ISO 12782-4:2014 (21) przedstawia sposób izolacji związków humusowych z gleby. Podobny sposób ekstrakcji substancji humusowych z produktów nawozowych zaproponowali Lamar i in. (28). Wymienione metody opierają się na zastosowaniu selektywnie działających rozpuszczalników w połączeniu z rozdziałem związków próchnicowych na makroporowych syntetycznych żywicach polimerowych.

Aktualnie w pracach naukowych coraz więcej uwagi poświęca się również frakcji labilnej węgla w glebach oraz frakcji trwałej – silniej związanej z matrycą glebową (18, 12, 48). Stosowane metody ekstrakcji pozwalają wyizolować frakcje labilną poprzez ekstrakcje (wyrząsanie) gleby z wodą - gorącą lub zimną (16) oraz roztworami KCl (22), CaCl_2 lub K_2SO_4 (43). Przyjmuje się, że otrzymane ekstrakty pozwalają wnioskować o ilości węgla organicznego łatwo dostępnego dla organizmów glebowych fauny i flory glebowej (13).

Za jeden z ogólnych wskaźników jakości gleb oceniany na podstawie wyniku analiz chemicznych uznaje się stosunek zawartości węgla kwasów huminowych (C_{kh}) do węgla kwasów fulwowych (C_{kf}) wyrażony jako indeks humifikacji. Przyjmuje się, że $\text{HI} > 1$ charakteryzuje gleby, w których dominują procesy humifikacji, przy czym im wyższe wartości tego parametru tym gleby są żyzniejsze (17). Parametr $\text{HI} < 1$ wskazuje na nasilenie procesów mineralizacji materii organicznej i konieczność kompensowania jej zasobów. Ponadto, stosunki $C_{\text{kh}}:C_{\text{kf}}$ mogą być traktowane jako wyznacznik rozwoju poziomów organicznych gleby oraz zasobności i tempa akumulacji próchnicy (17).

Intensywność humifikacji materii organicznej może być określana również poprzez wskaźnik stopnia humifikacji DH (ang. *degree of humification*). DH jest miarą proporcji składników humusowych tworzących związki labilne o stosunkowo szybkim tempie przemian w glebie, łatwo wykorzystywanych jako substraty przez drobnoustroje glebowe. Wskazuje na ilość stabilnych substancji próchnicowych, tj. związków odpornych na działanie mikroorganizmów. Parametr ten jest wyrażany stosunkiem $DH = (C_{kf} + C_{kh}) : C_{humin}$. Niski poziom DH może być związany z silną interakcją pomiędzy MOG a mineralną częścią gleby, co powoduje dużą stabilność MOG w bardziej trwałych frakcjach huminowych (17). Według Liu (29), wysoki wskaźnik DH wskazuje na stosunkowo żyzną glebę o dobrej zdolności do infiltracji wody, stabilności agregatów, aktywności drobnoustrojów i zasobności w składniki odżywcze (17, 29).

Metody stosowane do frakcjonowania materii organicznej dostarczają istotnych informacji o udziale poszczególnych form w ogólnej puli MOG oraz ich wzajemnych proporcjach ilościowych. Do szczegółowej charakterystyki poszczególnych frakcji oraz badań struktur molekularnych wydzielonych związków z wykorzystaniem metod chemicznego frakcjonowania wykorzystywane są w szerokim zakresie metody spektroskopowe m. in. spektrometria w zakresie światła widzialnego, bliskiej i dalekiej podczerwieni (NIR, IR) oraz metody rezonansu magnetycznego NMR (ang. *nuclear magnetic resonance*); (24, 39, 46, 50, 54).

Podsumowanie

W ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się ochronie zasobów materii organicznej co wynika z jej znaczącego udziału w podwyższaniu potencjału produkcyjnego gleb. Z uwagi na rolę jaką pełni w glebie oraz specyficzne właściwości, MOG staje się kluczowym parametrem w ocenie jakości i prawidłowego funkcjonowania gleb, ze szczególnym uwzględnieniem gleb użytkowanych rolniczo.

Prowadzone w skali kraju oraz Europy badania wskazują na stosunkowo niską zawartość materii organicznej w glebach, wynikającą przede wszystkim z uwarunkowań glebowo-klimatycznych, które nie sprzyjają jej naturalnej akumulacji. Ponadto, nieracjonalna praktyka rolnicza związana ze zmniejszaniem się arealu upraw roślin bobowatych drobnonasiennych z trawami i traw w uprawie polowej oraz ograniczenie stosowania nawozów naturalnych i organicznych skutecznie przyczynia się do redukcji zawartości MOG. W związku z tym, istnieje potrzeba podejmowania bezpośrednich działań mających na celu zwiększenie lub przynajmniej utrzymanie na stałym poziomie zawartości MOG w glebach, co zapewni uzyskiwanie plonów o satysfakcjonującej wielkości i jakości.

Aktualne przepisy dotyczące ochrony MOG są związane z zapobieganiem degradacji gleb, zachowaniem ich prawidłowych funkcji oraz przywróceniem wysokiej jakości. Brak odwołania w przepisach i normach do konkretnych wskaźników

ilościowych (np. zawartości Corg) i jakościowych (np. HI, DH, C:N, zawartość poszczególnych frakcji MOG), hamuje osiągnięcie wysokiego i skutecznego poziomu ochrony glebowej materii organicznej. Wydaje się więc niezbędne wprowadzenie w najbliższej przyszłości dodatkowych wytycznych uwzględniających wybrane parametry pozwalające na szczegółową charakterystykę materii organicznej (mineralizacja, humifikacja) wraz z uwzględnieniem kierunków jej przemian i wpływu warunków środowiskowych (klimat, użytkowanie, bioróżnorodność) na te zmiany. Skuteczne wsparcie w ramach PROW i zachęta rolników do ochrony zasobów MOG oraz stosowania praktyk służących jej gromadzeniu w glebach, z pewnością przyczynią się do efektywniejszego zarządzania tym cennym składnikiem gleby. Jednocześnie muszą zostać podjęte działania edukacyjne ukierunkowane na wzrost świadomości społecznej wskazujące na znaczenie materii organicznej w prawidłowym funkcjonowaniu gleb.

Literatura

1. Anderson T.H.: Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, **98**: 285-293.
2. Baglieria A., Ioppolo M., Ne`greb M., Gennari M.: A method for isolating soil organic matter after the extraction of humic and fulvic acids. *Organic Geochemistry*, 2007, **38**: 140-150.
3. Baldock J.A I Nelson P.N: Soil organic matter: [w:] *Handbook of soil science*, Sumner M.E. (ed.): Taylor and Francis Group, Boca Raton London New York, 1996, B. 25-71.
4. Bastida F., Moreno J.L., Hernández T., García C.: Microbiological activity in a soil 15 years after its revegetation. *Soil Biol. Biochem.*, 2006, **38**: 2503-2507.
5. Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojńska U., Prusinkiewicz Z.: *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. Warszawa, 2005.
6. Bienkowski J., Jankowiak J.: Zawartość węgla organicznego w glebie i jego zmiany pod wpływem różnych systemów produkcji. *Fragmenta Agronomica*, 2006, **2**: 216-225.
7. Pikuła D.: Aspekty środowiskowe gospodarowania materią organiczną w rolnictwie. *Studia ekonomiczne i regionalne*, 2015, **8(2)**: 98-112.8.
8. Dziadowiec H., Gonet S.: *Przewodnik metodyczny do badań materii organicznej gleb*, Warszawa 1999, ISSN 0860-1313.
9. Eleftheriadis A., Maria-Belén T.: Soil microbiological properties affected by land use, management, and time since deforestation and crop establishment. *European Journal of Soil Biology*, 2014, **62**: 138-144
10. European Soil Database <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/resource-type/european-soil-database-soil-properties>
11. Fan T., Wang Y., Li C., He J., Gao J., Zhou D., Friedman S., Sparks D.: 2016. Effect of Organic Matter on Sorption of Zn on Soil: Elucidation by Wien Effect Measurements and EXAFS Spectroscopy. *Environmental Science and Technology*, 2016, **50**: 2931–2937.
12. Figueiredo C., Resck D, Carneiro A. Labile and stabile fractions of soil organic matter management systems and native cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* vol.34 no.3 Viçosa. 2010.
13. Ghani A, Dexter M, Perrot K.: Hot-water extractable carbon in soils; a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry*, **35**:1231-1243.
14. Gonet S.: *Ochrona zasobów materii organicznej*. [W:] *Rola materii organicznej w środowisku*. Gonet S.S., Markiewicz M. (red.). PTSH, Wrocław, 2007.

15. Gonet, S., Smal H., Chojnicki J.: Właściwości chemiczne gleb [w:] *Gleboznawstwo*, PWN, 2015: 189-200.
16. Guigue, J., Mathieu, O., Lévêque, J., Mounier, S., Laffont, R., Maron, P. A., Navarro, N., Chateau, C., Amiotte-Suchet, P. and Lucas, Y.: A comparison of extraction procedures for water-extractable organic matter in soils. *European Journal of Soil Science*, 2014, **65**: 520–530. doi:10.1111/ejss.12156
17. Guimaraes D., Silva Gonzaga M., da Silva T., da Silva Dias T., Silva Matias M.: Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. *Soil and Tillage Research*, 2013, **126**: 177-182.
18. Haynes R.: Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: *Adv. Agron.*, 2005, **85**: 221-268.
19. Haynes R.: Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy*, 2005, **85**: 221-268.
20. Hłnicki P.: *Torf: Torfowiska i torf*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu, 2002, 400-606.
21. ISO 12782-4:2012 Soil quality, Parameters for geochemical modelling of leaching and speciation of constituents in soils and materials, Part 4: Extraction of humic substances from solid samples.
22. Jones D., Willett V.: Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, **38**: 991-999.
23. Karavanova E.: Dissolved Organic Matter: Fractional composition and sorbability by the soil solid phase (Review of Literature). *Eurasian Soil Science*, 2013, **8**: 833–844.
24. Kiss K., Szalai Z., Jakab G., Madarász B., Zboray N.: Characterization of Soil Organic Substances by UV-Vis Spectrophotometry in Some Soils of Hungary [w:] *Soil Carbon*, Alfred E. Hartemink, Kevin McSweeney. 2014: 127-136.
25. Komunikat Komisji z dnia 22 września 2006 r. „Strategia tematyczna w dziedzinie ochrony gleby” COM (2006)231 wersja ostateczna.
26. Krull, E. S., Baldock, J. A., Skjemstad, J. O.: Importance of mechanisms and processes of the stabilization of soil organic matter for modelling carbon turnover. *Functional Plant Biology* **30**:207-222.
27. Kwiatkowska-Malina J.: Functions of organic matter in polluted soils: The effect of organic amendments on phytoavailability of heavy metals. *Applied Soil Ecology*, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.021>
28. Lehmann J., Kleber M.: Traditional approach to the study of soil organic matter. *Nature*, 2015, **528**: 60-68.
29. Liu, H.: Relationship between organic matter humification and bioavailability of sludge-borne copper and calcium during long-term sludge amendment to soil. *Science of the Total Environment*, 2016, **566-567**: 8-14.
30. Maliszewska-Kordybach B., Klimkiewicz-Pawlas A., Smreczak B.: Relationship between the properties of mineral soils and the level of accumulation of persistent organic contaminants; example of polycyclic aromatic hydrocarbons. ss. 345-358. [w:] *Physical, Chemical and Biological Process in Soils*; ed.: Szajdak L.W., Karabanov A.K. 2010.
31. Maliszewska-Kordybach B.: Trwałość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebie. Rozprawa habilitacyjna. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Puławy 1993.
32. Mały S., Siebielec G.: Badania egzogennej materii organicznej w celu bezpiecznego stosowania do gleby. Raport z realizacji projektu „Zagrożenia i korzyści wynikające z wprowadzania do gleb egzogennej materii organicznej” (CZ.3.22/1.2.00/12.03445), 2015.
33. Mazur T.: Rolnicze i ekologiczne znaczenie glebowej substancji organicznej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 1995, **422**: 9-19.
34. Moni C., Derrien D., Hatton P., Zeller B, Kleber M.: Density fractions versus size separates: does physical fractionation isolate functional soil compartments? *Biogeosciences*, 2012, **9**: 5181–5197.

35. Nam J., Gustafsson O., Kurt-Karakus P., Breivik K., Steinnes E., Jones K.: Relationships between organic matter, black carbon and persistent organic pollutants in European background soils: Implications for sources and environmental fate. *Environmental Pollution*, 2008, **156**: 809-817.
36. Opfergelt S., Cornélis JT., Houben D., Givron C., Burton KW., Mattielli N.: The influence of weathering and soil organic matter on Zn isotopes in soils. *Chemical Geology*, 2017, <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.06.002>
37. Pałosz T.: Rolnicze i środowiskowe znaczenie próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu. *Rocznik Ochrony Środowiska*, 2009, **11(1)**: 329-338.
38. Pastuszko A.: Substancja organiczna w glebach: Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 2007, **30**: 83-98.
39. Peng Q., Shi T., Song A., Chen Y., Gao W.: Estimating Soil Organic Carbon Using VIS/NIR Spectroscopy with SVMR and SPA Methods. *Remote Sensing*, 2014, **6**: 2699-2717.
40. Pikuła D.: Aktualne trendy w gospodarowaniu glebową materią organiczną. *Studia i Raporty IUNG-PIB. Problemy Gospodarki Nawozowej w Polsce*, 2013, **34(8)**:93-107.
41. Quenea K., Lamy I., Winterton P., Bermond A., Dumat C.: Interactions between metals and soil organic matter in various particle size fractions of soil contaminated with waste water. *Geoderma*, 2009, **1**: 217-223.
42. Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Kowalik M., Kaczyński R., Koza P., Ukalska-Jaruga A., Łysiak M., Wójtowicz U., Poręba L., Chabros E.: Raport z II etapu realizacji zamówienia „Monitoring Chmizmu Gleb Ornych Polski w latach 2015-2017” Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, IUNG-PIB, 2017, pp. 194. http://www.gios.gov.pl/images/dokumenty/pms/monitoring_jakosci_gleb/Raport_MChG_etap3.pdf
43. Rennert T., Gockel K., Mansfeldt T.: Extraction of water-soluble organic matter from mineral horizons of forest soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2007, **170**:514–521.
44. Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 13 listopada 2007 r. w sprawie strategii tematycznej w dziedzinie ochrony gleby (2006/2293(INI)).P6_TA(2007)0504.
45. 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*. Edited by Maria C. Hernandez Soriano, Chapter 9, INTECH, 2012: 249-267.
46. Shiau Y., Chen J., Chung T., Tian G., Chiu C.: ¹³C NMR spectroscopy characterization of particle-size fractionated soil organic carbon in subalpine forest and grassland ecosystems. *Botanical Studies*, 2017, **58**: 23.
47. Smreczak B.: Ocena zawartości trwałych zanieczyszczeń chloroorganicznych w gruntach ornych Polski. Raport końcowy z realizacji tematu statutowego. IUNG-PIB, Puławy, 2011.
48. Strosser E.: Methods for determination of labile soil organic matter: An overview. *Journal of Agrobiology*, 2010, **27**: 49-60.
49. Tan K.H.: Humic matter in soil and environment. Principles and controversies, wyd. CRC Press, Taylor and Francis Group, 2014: 79-104.
50. Teong I., Felix N., Mohd S., Sulaeman A.: Characterization of Soil Organic Matter in Peat Soil with Different Humification Levels using FTIR. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, **136**: 012010, doi:10.1088/1757-899X/136/1/012010
51. Ukalska-Jaruga A., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B.: Rola materii organicznej w procesach akumulacji trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) w glebach. *Polish Journal of Agronomy*, 2015, **20**: 15–23.
52. Weil R., Magdoff F.: Significance of Soil Organic Matter to Soil Quality and Health [w:] Soil organic matter in sustainable agriculture, Magdoff F. and Weil R. wyd. CRC Press, 2004, p. 1-45.
53. Wiater J.: Wpływ nawożenia organiczno-mineralnego na bilans węgla organicznego. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie* 211, *Agricultura*, 2000, **84**: 515-520.
54. Xue S., Zhao Q., Wei L., Song Y., Tie M.: Fluorescence spectroscopic characterization of dissolved organic matter fractions in soils in soil aquifer treatment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, **185**:4591–4603.
55. Yang Y., Zhang N., Xue M., Tao S.: Impact of soil organic matter on the distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils. *Environmental Pollution*, 2010, **158**: 2170-2174.

-
56. Zhang N., Yang Y., Tao S., Liu Y., Shi K.: Sequestration of organochlorine pesticides in soils of distinct organic carbon content. *Environmental Pollution*, 2011, **159**: 700-705.
-

Adres do korespondencji:

mgr Aleksandra Ukalska-Jaruga
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Krańcowa 8, 24-100 Puławy
tel. 81 47 86 915
e-mail: aukalska@iung.pulawy.pl

