

Dorota Pikula

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

ROLA SUBSTANCJI HUMUSOWYCH ORAZ INNOWACYJNE PRODUKTY ZWIĘKSZAJĄCE ICH ZAWARTOŚĆ W GLEBIE*

Słowa kluczowe: kwasy huminowe, kwasy fulwowe, huminy, mikroorganizmy glebowe, węgiel brunatny

Wstęp

W Polsce czynniki naturalne, przede wszystkim specyfika klimatu, duży udział gleb piaszczystych oraz zakwaszenie gleb nie sprzyjają akumulacji i utrzymywaniu na stałym poziomie zawartości substancji humusowych, głównych składników glebowej materii organicznej (1, 27, 37, 38, 41, 47). W dodatku użytkowanie rolnicze, głównie orne, sprzyja szybkiej mineralizacji i stratom substancji humusowych z gleb. Najbogatsze w związki humusowe są powierzchniowe poziomy gleb (3, 6, 10). Ze względu na ogromną rolę związków humusowych w kształtowaniu struktury i właściwości gleb konieczne jest regularne uzupełnianie ubytków materii organicznej w warstwie ornej gleby. W latach 80. ubiegłego wieku utrzymanie dodatniego salda zawartości materii organicznej w glebach można było zapewnić dzięki regularnemu nawożeniu obornikiem oraz uprawie roślin w płodozmianach. Obecnie jest to trudne z powodu utrzymującego się od kilkunastu lat trendu uprawy roślin w monokulturach, głównie zbożowych, oraz spadku produkcji nawozów naturalnych. Obowiązująca we współczesnym rolnictwie zasada zrównoważonego nawożenia, zapewniającego utrzymanie gleby w stanie żyzności, wymaga zatem poszukiwania alternatywnych do obornika produktów wyprodukowanych na bazie substancji humusowych przeznaczonych do zwiększania zawartości materii organicznej w glebie (11, 25, 43).

Materia organiczna – naturalna i wprowadzona w nawozach oraz produkty jej przemian powstałe w wyniku działalności mikroorganizmów oddziałują korzystnie na właściwości fizyczne, chemiczne oraz biologiczne gleb (5, 6, 7, 10, 37, 41). Do głównych źródeł glebowej materii organicznej zalicza się: resztki roślinne w różnych stadiach rozkładu, nawozy naturalne (obornik, gnojowica, gnojówka) i organiczne

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

(komposty, wermikomposty) oraz rzadziej wykorzystywane w praktyce rolniczej: osady ściekowe, organiczne odpady komunalne, korę, słomę, torf, węgiel brunatny. W dążeniu do wzbogacenia gleb w materię organiczną, podjęto w ostatnich latach szereg badań mających na celu pozyskanie nowych, bezpiecznych dla środowiska i człowieka źródeł glebowej materii organicznej (11, 17, 18, 25, 26, 28, 29, 30).

Charakterystyka substancji humusowych

Substancje humusowe (SH) są głównym składnikiem materii organicznej, decydującym o różnych jej funkcjach i właściwościach (6, 7, 8, 10, 24, 28, 36, 44, 48). Stanowią ważne ogniwo w globalnym obiegu węgla. Dzięki zdolności do wiązania i neutralizowania substancji szkodliwych, toksyn i zanieczyszczeń, pełnią funkcję ochronną w środowisku (12, 20, 28). Substancje humusowe – bezpostaciowe produkty przemian materiału organicznego różnego pochodzenia, tworzą naturalną mieszaninę brunatnych, amorficznych związków koloidalnych, względnie odpornych na mineralizację. W skład substancji humusowych wchodzi: kwasy huminowe (C_{KH}), kwasy fulwowe (C_{KF}) oraz huminy (C_H). Substancje te powstają w procesie humifikacji, polegającym na mikrobiologicznych i chemicznych procesach rozkładu resztek roślinnych oraz przebudowie i syntezie różnych związków organicznych prowadzących do powstania nowych substancji humusowych, zwanych próchnicą (humusem) (2, 10, 12, 13, 14, 36). Proces humifikacji definiowany jest także często jako „przedłużająca się stabilizacja materii organicznej”, ponieważ humifikacja prowadzi do odtworzenia substancji humusowych w glebie. Rozkład połączony z wytworzeniem prostych związków mineralnych, takich jak: CO_2 , H_2O , NH_3 oraz jonów (Ca^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} , HPO_4^{2-} itp.). Proces ten nosi nazwę mineralizacji. Procesy humifikacji i mineralizacji zachodzą równocześnie i są ze sobą ściśle związane, produkty humifikacji włączane są do procesu mineralizacji i odwrotnie. Przyjmuje się, że około 75-80% materii organicznej wprowadzanej corocznie do gleby (nawozy organiczne, resztki roślinne i zwierzęce) ulega procesom mineralizacji, a 20-25% przekształca się w swoiste substancje próchniczne (12). Ilość i jakość substancji humusowych powstałych w wyniku syntezy różnych związków organicznych zależą od typu gleby, nawożenia, składu ilościowego i jakościowego mikroorganizmów glebowych, temperatury, wilgotności, odczynu oraz ilości i jakości przetworzonego materiału organicznego (13, 14, 15, 16, 35). W literaturze szczególną rolę w procesie mineralizacji i humifikacji przypisuje się działalności mikroorganizmów (11, 20, 32, 33). Przyjmuje się, że sucha masa mikroorganizmów w glebach użytkowanych rolniczo wynosi od 110 do 1940 $kg \cdot ha^{-1}$. Znaczna część mikroorganizmów jest aktywna jedynie w określonych warunkach fizykochemicznych gleby. Głównym czynnikiem ograniczającym ich aktywność jest zawartość świeżej masy organicznej (20).

Wyodrębnienie różniących się właściwościami trzech kategorii substancji humusowych: kwasów huminowych, kwasów fulwowych oraz humin, jest wynikiem

analitycznej procedury ich frakcjonowania, opartej na kryterium ich rozpuszczalności w selektywnie działających rozpuszczalnikach (7, 8, 14, 28, 40, 41). Każda z wydzielonych grup pełni w glebie określoną rolę.

Kwasy huminowe to grupa związków próchnicznych, charakteryzujących się barwą ciemnobrązową aż do czarnej, zawierająca ok. 58% węgla, nierozpuszczalna w kwaśnym środowisku. Kwasy fulwowe tworzą grupę związków o barwie żółtej do żółtobrązowej, która łatwo rozpuszcza się w wodzie w całym zakresie pH i zawiera ok. 55% węgla. Ta frakcja jest odpowiedzialna za wymywanie z gleby składników zasadowych, nie jest więc korzystna dla jakości próchnicy. Wysoką zawartością kwasów fulwowych charakteryzują się gleby leśne, natomiast w składzie gleb łąkowych i torfowych jest więcej kwasów huminowych. Huminy to grupa związków próchnicznych o barwie czarnej, nierozpuszczalnych w wodzie w całym zakresie pH. Huminy stanowią najważniejszą frakcję substancji humusowych, decydującą o stabilności próchnicy w glebie (7, 8, 9, 13).

Ważnym wskaźnikiem oceny jakości materii organicznej jest wartość stosunku $C_{KH}:C_{KF}$. Powszechnie przyjmuje się, że materia organiczna o wyższych od 1 wartościach tego stosunku charakterystyczna jest dla gleb żyzniejszych. Stosunek kwasów huminowych do fulwowych ($C_{KH}:C_{KF}$) wskazuje ponadto na kierunek transformacji substancji organicznej w glebie, pozwala ocenić stabilność próchnicy oraz oszacować zmiany zachodzące w glebie, spowodowane długoletnią uprawą różnych roślin w płodozmianach, monokulturą, regularnym stosowaniem lub brakiem nawozów naturalnych oraz mineralnych.

Substancje humusowe w glebach uprawnych

Liczne badania (3, 6, 12, 24) wskazują, że każda gleba ma swoisty rodzaj próchnicy, która różni się nie tylko składem ilościowym, ale i jakościowym substancji humusowych, jak również formą wiązania ich z mineralną częścią gleby. Postępująca intensyfikacja produkcji roślinnej wiąże się z wprowadzeniem uproszczonego zmianowania, bardzo często uprawy roślin zbożowych w monokulturze, co nie pozostaje bez znaczenia dla jakości próchnicy (39).

Wśród czynników agrotechnicznych wpływających na zasobność gleb w substancje próchniczne należy wymienić przede wszystkim nawożenie – naturalne, organiczne, mineralne, jak również uprawę różnych gatunków roślin w zmianowaniach oraz różnych technologiach produkcji. Wyniki wielu statycznych doświadczeń nawozowych potwierdzają, że systematyczne nawożenie organiczne i naturalne zwiększa w glebie zawartość materii organicznej oraz wpływa istotnie na jakość próchnicy mierzoną stosunkiem $C_{KH}:C_{KF}$ i właściwościami fizykochemicznymi gleb (16, 19, 23, 34, 37, 38, 47). W badaniach własnych prowadzonych w oparciu o dwa wieloletnie doświadczenia zlokalizowane w Rolniczych Zakładach Doświadczalnych IUNG-PIB, w Osinach – z różnymi systemami uprawy roślin, w których na powierzchni około 16 ha porównuje

się w jednakowych warunkach różne systemy gospodarowania: ekologiczny, integrowany i konwencjonalny w dwóch wariantach: uproszczone zmianowanie i monokultura pszenicy ozimej, a także w Grabowie – z dwoma zmianowaniami różniącymi się doбором roślin, pięcioma poziomami nawożenia obornikiem (0, 20, 40, 60 i 80 t·ha⁻¹) oraz czterema dawkami azotu mineralnego (0, 50, 100, 150 kg·ha⁻¹), wykazano, że rodzaj nawożenia, gatunek uprawianej rośliny oraz system produkcji wpływały istotnie na zmiany zawartości substancji humusowych w glebach frakcji kwasów huminowych i były związane ze zmianami zawartości materii organicznej w glebie (tab. 1 i 2). W składzie frakcyjnym badanych substancji humusowych gleb z doświadczenia w Grabowie (nawożonych obornikiem) oraz gleb z doświadczenia w Osinach (z ekologicznego systemu produkcji) przeważały frakcje węgla kwasów huminowych (C_{KH}) i węgla humin (C_H), które mają zdolność do stabilizowania próchnicy i decydują o wytworzeniu poziomów próchnicznych dużej miąższości. Nawożenie azotem mineralnym w zróżnicowanych dawkach nie wpływało na skład frakcyjny materii organicznej.

Tabela 1

Frakcje materii organicznej w zależności od zmianowania oraz nawożenia obornikiem i azotem mineralnym w glebach RZD w Grabowie (2011-2012)

Czynniki doświadczenia		% SOM	% C _{KF}	% C _{KH}	% C _H	C _{KH} :C _{KF}
Zmianowanie	A	1,15	19,0	25,2	59,4	1,40
	B	1,32	20,1	22,8	61,2	1,20
Dawka obornika (t·ha ⁻¹)	0	1,12	21,1	25,9	60,5	1,34
	20	1,17	19,2	26,9	61,5	1,51
	40	1,24	20,8	26,0	61,0	1,40
	60	1,33	20,4	24,6	63,2	1,31
	80	1,32	19,4	24,2	64,3	1,35
Dawka N (kg·ha ⁻¹)	0	1,20	21,6	27,0	57,8	1,37
	50	1,24	19,5	24,4	62,8	1,34
	100	1,25	19,3	24,6	62,8	1,37
	150	1,26	19,5	24,3	62,9	1,34

Źródło: opracowanie własne

W glebach w Osinach, w monokulturze pszenicy ozimej oraz w systemie konwencjonalnym (intensywne nawożenie minerale i organiczne) notowano zwiększony udział węgla frakcji kwasów fulwowych (C_{KF}), który był prawdopodobnie konsekwencją wzrostu szybkości mineralizacji materii organicznej kosztem bardziej stabilnych frakcji próchnicy – humin (C_H), co w rezultacie może prowadzić do zmniejszenia ilości materii organicznej w glebie. Natomiast w ekologicznym systemie produkcji notowano wyższy procentowy udział węgla frakcji kwasów huminowych (C_{KH}) oraz węgla humin (C_H) w puli całkowitej węgla organicznego (tab. 2).

Badania własne potwierdzają, że również dobór gatunków roślin w zmianowaniu miał wpływ na jakość próchnicy mierzoną stosunkiem węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych ($C_{KH}:C_{KF}$). Gleby w zmianowaniu, w którym uprawiano mieszankę koniczyny czerwonej z trawami (B) charakteryzowały się niższym stosunkiem węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych w porównaniu do gleb spod zmianowania bez tej rośliny (A). Niższy stosunek $C_{KH}:C_{KF}$ wynikał z dopływu większej ilości azotu do gleb w zmianowaniu z rośliną bobowatą, który wpływa na większe tempo mineralizacji próchnicy. Humifikacji próchnicy w tym zmianowaniu nie służyło także większe zakwaszenie gleby w porównaniu do zmianowania A, w którym nie uprawiano rośliny bobowatej.

Przeprowadzone w Osinach badania wykazały, że system uprawy roślin (ekologiczny, intensywny i monokultura) wpływał istotnie na jakość substancji humusowych oraz stabilność próchnicy. W składzie frakcyjnym badanych gleb spod monokultury pszenicy ozimej stwierdzono większy udział frakcji węgla kwasów fulwowych (C_{KF}) niż kwasów huminowych (C_{KH}). Najlepszą jakością próchnicy i większym stopniem humifikacji odznaczały się gleby w ekologicznym systemie produkcji, natomiast gorszą jakością i stabilnością próchnicy – gleby spod monokultury pszenicy ozimej oraz uproszczonego systemu produkcji, o czym świadczy znacznie niższy od 1 stosunek węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych (2011 rok) (tab. 2.)

Tabela 2

Frakcje materii organicznej w zależności od systemu produkcji w glebach RZD w Osinach (2011-2015)

System produkcji	% SOM	% C_{KF}	% C_{KH}	% CH	$C_{KH}:C_{KF}$
2011 r.					
Ekologiczny	1,51	17,4	24,8	55,7	1,43
Konwencjonalny	1,36	25,5	17,5	54,7	0,69
Monokultura	1,11	29,0	25,1	43,4	0,86
2015 r.					
Ekologiczny	1,51	21,0	25,4	51,3	1,21
Konwencjonalny	1,36	22,3	23,6	51,4	1,06
Monokultura	1,11	24,1	25,2	47,6	1,05

Źródło: opracowanie własne

Huminy są frakcją, która reprezentuje trwałe połączenia związków próchnicznych z mineralną fazą gleby (3, 12, 13, 28, 41, 45). Zawartość tej frakcji odzwierciedla intensywność procesu humifikacji, a jej ilość zmniejsza się w miarę natężenia procesów mineralizacji materii organicznej. W badanych glebach doświadczenia w Grabowie większy udział procentowy węgla frakcji humin w puli węgla organicznego stwierdzano we wszystkich obiektach nawożonych obornikiem oraz w zmianowaniu,

w którym jednym z jego członów jest mieszanka koniczyny z trawami (zmianowanie B). W doświadczeniu w Osinach największy udział procentowy frakcji humin otrzymano w ekologicznym systemie produkcji, a najniższy w glebach pod monokulturą pszenicy ozimej (tab. 1 i 2).

Wykorzystanie substancji humusowych w nawożeniu

Doświadczenia naukowe potwierdzają, że substancje humusowe pozytywnie wpływają na żyzność gleb oraz wzrost roślin, głównie ze względu na wysoką sorpcję wymienną kationów, zawartość tlenu i dużą pojemność wodną (6, 10, 20). Główną ich zaletą jest zwiększenie pojemności wodnej gleb lekkich, co sprawia, że zagrożenie suszą jest mniejsze. Zwiększają dostępność składników pokarmowych dla roślin (zmniejszają ich wypłukiwanie i zatrzymują w strefie korzeniowej), stymulują rozwój systemu korzeniowego oraz rozwój pożytecznych mikroorganizmów w glebie. Dodatkowo, substancje humusowe wiążąc się z minerałami ilastymi, kationami, polisacharydami z udziałem mikroorganizmów, nadają glebie gruzelkowatą strukturę, tworząc dobre stosunki wodne, powietrzne i lepszą przepuszczalność gleb. Tworząc natomiast kompleksy chelatowe z mikro- i makroelementami, sprawiają, że składniki pokarmowe są łatwiej przyswajalne dla roślin. Niska zawartość kwasów humusowych, szczególnie w glebach piaszczystych skutkuje słabym zatrzymywaniem w niej wody i składników mineralnych, które migrując w głąb profilu glebowego, stają się niedostępne dla korzeni roślin uprawnych (5, 12, 20).

W doświadczeniach naukowych skuteczność działania substancji humusowych na glebę i rośliny ocenia się na ogół, dodając do pożywek substancje humusowe wyekstrahowane z gleb, torfu, węgla brunatnego czy też kompostów lub testuje w badaniach polowych, stosując je w postaci oprysku roślin lub gleby (11, 26, 28, 29, 30). Badania naukowe i praktyka rolnicza potwierdzają, że substancje humusowe, które oprócz kwasów huminowych, kwasów fulwowych i humin zawierają także znaczne ilości składników pokarmowych, tj. potas, magnez i azot, wywierają korzystny wpływ na rozwój i plonowanie roślin, a ich stosowanie w dłuższym czasie poprawia również niektóre właściwości gleby. Bardzo często obserwuje się również wzrost masy korzeniowej, a w szczególności korzeni włośnikowych niezwykle ważnych w pobieraniu składników pokarmowych i wody. Korzenie roślin uprawianych na glebach, do których dodaje się substancje humusowe charakteryzują się lepszym wzrostem elongacyjnym i zachowują dłużej wigor, co sprawia, że roślina może pobierać wodę z głębszych warstw gleby i lepiej wykorzystuje składniki pokarmowe.

Substancje humusowe wyekstrahowane z węgla brunatnego, torfu, leonardytu lub oksyhumolitów są najczęściej wykorzystywane na glebach lżejszych, na których nie stosuje się obornika lub obornik i nawozy organiczne stosowane są w warunkach niedostatecznej ilości wody w glebie, przez co trudno ulegają rozkładowi (49). Zastosowanie preparatów z dodatkiem substancji humusowych stymuluje rozkład

świeżo wprowadzonej do gleby masy organicznej, a uwalniane w wyniku jej przemian składniki pokarmowe stają się szybciej dostępne dla roślin. Największe korzyści w postaci zwiększonego pobrania stwierdza się w przypadku: fosforu, azotu, a także magnezu i mikroelementów (11).

Substancje humusowe szczególnie korzystnie wpływają na rośliny uprawiane na glebach o uregulowanym odczynie, bogatych w wapń. Na takich glebach znaczny udział kwasów huminowych i ich form związanych z wapniem przyczynia się do stabilizacji materii organicznej gleby (24, 26).

Korzystne oddziaływanie substancji humusowych na rozwój systemu korzeniowego roślin ma ogromne znaczenie w uprawie polowej, szczególnie roślin jarych (11). Rośliny jare są szczególnie narażone na okresowe susze, które to znaczenie zmniejszają w efekcie plony tych roślin. Badania własne (niepublikowane) oceny skuteczności preparatów zawierających substancje humusowe, przeprowadzone w IUNG-PIB na zlecenie producentów, potwierdzają, że na glebach z aplikowanymi preparatami zawierającymi kwasy humusowe, rośliny jare wytwarzały dłuższy i lepiej rozwinięty system korzeniowy, a więc pobierały więcej wody z głębszej warstwy gleby, co sprawiało, że były odporniejsze na okresowe susze, a ich komórki zachowywały dłużej turgor. Ta cecha jest szczególnie pożądana w naszym klimacie, gdzie stosunkowo często mamy do czynienia z okresowym niedoborem wody i przewagę gleb lekkich, a więc bardziej narażonych na utratę wody w porównaniu do gleb cięższych, z większym kompleksem sorpcyjnym. Ponadto wykazano, że kukurydza, pszenica czy jęczmień plonowały pod wpływem tych substancji od 5 do nawet 25% (kukurydza) wyżej w porównaniu do obiektów kontrolnych, na których stosuje się standardowe nawożenie mineralne NPK.

Skuteczność tych preparatów jest zazwyczaj większa przy stosowaniu w formie oprysku na rośliny niż na glebę. Zastosowanie preparatów humusowych do zaprawy roślin lub oprysków prowadzi również do zwiększenia plonów oraz wzrostu odporności roślin na niekorzystne warunki glebowe i klimatyczne oraz choroby. Im bardziej odbiegające od normy warunki, tym większy efekt zastosowania związków humusowych (43). Preparaty zawierające kwasy huminowe, stosowane w formie oprysku dolistnego, mogą stymulować również wzrost łodyg roślin uprawnych. Wszystkie te pozytywne efekty uzyskuje się, stosując rozcieńczone roztwory preparatów humusowych. Roztwory bardziej stężone nie tylko nie dają pożądaných skutków, ale mogą ujemnie oddziaływać na wzrost i rozwój roślin (43). Z badań Instytutu Ogrodnictwa w Skierniewicach wynika, że wrażliwość roślin na działanie kwasów humusowych zależy zarówno od fazy rozwojowej, w jakiej preparat jest aplikowany, jak również od gatunku roślin. Szczególnie korzystnie pod ich wpływem poprawia się jakość warzyw, np. pomidora, którego owoce są bardziej wybarwione i szybciej dojrzewają (49).

Innowacyjne metody zwiększania zawartości materii organicznej w glebie

Zabiegi uprawowe i ograniczone stosowanie nawozów naturalnych w praktyce powodują szybką mineralizację i straty substancji humusowych z gleby (25, 26, 28, 29, 30). Z tego względu w badaniach naukowych wciąż poszukuje się nowych, bezpiecznych dla środowiska i człowieka źródeł materii organicznej. Jednym z nich może być odpadowy węgiel brunatny (18, 26, 28, 29, 30) w postaci miazgi, w formie nawozów organiczno-mineralnych bądź innych preparatów produkowanych na jego bazie, jak również torf (18, 25, 28, 29, 30). Węgiel brunatny posiada struktury chemiczne podobne do struktur próchnicy glebowej i jest źródłem związków organicznych zawierających duże ilości kwasów humusowych. Zastosowanie węgla brunatnego do zwiększania zasobów glebowej materii organicznej jest determinowane jego właściwościami: silnie porowata struktura, alkaliczny charakter popiołu węglowego, zdolność pochłaniania i wymiany jonów oraz powolna mineralizacja zawartej w nim substancji organicznej (25). Do nawozów wyprodukowanych na bazie węgla brunatnego (pył węglowy i pospółka, produkty uboczne przy wydobywaniu węgla) i torfu niskiego w stosunku wagowym 5:1 węgla brunatnego należy Rekulter – nawóz organiczno-mineralny, zawierający 85% węgla brunatnego. Z badań (25, 28, 29) wynika, że wprowadzony do gleby lekkiej ten niekonwencjonalny nawóz powodował ponad dwukrotny przyrost ogólnej zawartości węgla organicznego, który utrzymywał się przez cały okres prowadzonych badań oraz wzrost pojemności sorpcyjnej gleby lekkiej o 400% w stosunku do kombinacji bez tego nawozu. Po zastosowaniu Rekultera wzrosła też wartość pH (18, 29). Podobną zależność w swoich badaniach otrzymali Ma z u r i n . (34). Jednak w przeprowadzonych przez nich badaniach zawartość węgla organicznego nie ulegała istotnym zmianom w działaniu następczym. Potwierdza to opinię o stosunkowo powolnej mineralizacji węgla brunatnego (26, 28, 42).

Poza węglem brunatnym oraz produktami wytworzonymi na jego bazie, źródłem materii organicznej mogą być nawozy organiczno-mineralne oparte na leonardytach. Są one końcowym efektem trwającego kilkadziesiąt milionów lat procesu humifikacji materii organicznej. Leonardyty to kopalina będąca formą pośrednią między torfem a węglem brunatnym. Stosując je, dostarczamy glebie bioaktywne kwasy humusowe. Przykładem nawozu, którego surowcem są leonardyty, jest Rosahumus. Jest to nawóz organiczno-mineralny, zawierający 85% kwasów humusowych oraz 12% K_2O oraz 0,6% żelaza. Otrzymuje się go w procesie alkalicznej ekstrakcji leonardytów. Preparat humusowy działa jak środek kondycjonujący glebę i biostymulator rozwoju roślin. Jest on zalecany na glebach o niskiej zawartości próchnicy, na których nie stosuje się obornika oraz w gospodarstwach stosujących uproszczone płodozmiany, z przewagą roślin zbożowych.

W badaniach naukowych zwraca się uwagę również na nawożenie służące zachowaniu lub zwiększeniu materii organicznej w glebach, w oparciu o stosowanie

preparatów mikrobiologicznych (4, 11, 31, 46). Preparaty te zalecane są szczególnie na gleby, na których nie stosuje się nawożenia obornikiem lub gnojowicą. Efekt działania takich preparatów nie jest jednoznaczny. Zgodnie z deklaracjami producentów, mają one w krótkim czasie zwiększać zawartość węgla organicznego w glebie oraz poprawiać właściwości gleby. Stosunkowo nowymi produktami, ale coraz popularniejszymi w Polsce, są preparaty mikrobiologiczne oparte na tzw. efektywnych mikroorganizmach, tzw. EM. Wielu badaczy (4, 31) opisuje korzystny wpływ i szerokie działanie mikroorganizmów na aktywność mikrobiologiczną gleby oraz poprawę jej właściwości chemicznych. Niektórzy (17) zwracają uwagę, że pozytywne działanie preparatu jest uzależnione od ilości jego stosowania oraz od rodzaju gleby. Z badań przeprowadzonych z pożytecznymi mikroorganizmami przez zespół naukowców (46) wynika, że po roku od zastosowania preparatu mikrobiologicznego EM nie stwierdza się znacznych zmian zawartości węgla organicznego w glebie. Na polu testowym, na którym nie stosowano nawożenia organicznego, po dwukrotnym zastosowaniu EM, zawartość węgla organicznego w glebie obniżyła się nawet o 19,1%. Wynika z tego, że przy połowym stosowaniu EM, konieczne jest obfite stosowanie nawożenia organicznego, w celu uniknięcia zmniejszenia zawartości węgla organicznego w glebie. Znaczne straty węgla organicznego z gleby, rzędu 5,8 tony, są najprawdopodobniej efektem metabolizmu efektywnych mikroorganizmów. W ramach badań prowadzono również obserwacje organoleptyczne i stwierdzono poprawę struktury gleby, gdyż w wierzchniej warstwie wytworzyły się charakterystyczne gruzelki. Jednak po ponownym zastosowaniu preparatu, w kolejnym okresie wegetacyjnym obserwowano pogorszenie właściwości gleby (46). Nie stwierdzono zmian ilościowych i jakościowych składu frakcyjnego próchnicy w glebie z pól nienawożonych i nawożonych EM. Przeprowadzone badania nie wykazały zatem pozytywnego wpływu tego preparatu mikrobiologicznego na zwiększenie zawartości węgla materii organicznej w glebie. Stosowanie efektywnych mikroorganizmów powinno być połączone ze stosowaniem nawozów organicznych i siewem poplonów, w celu przeciwdziałania zmniejszeniu zawartości materii organicznej w glebie. Preparat ten budzi wiele kontrowersji, głównie ze względu na zakładane szerokie spektrum działania (22, 32).

Podsumowanie

O właściwościach materii organicznej w glebie decyduje specyficzna struktura substancji humusowych: kwasów huminowych, kwasów fulwowych i humin (9, 12, 45). Zmiany zawartości materii organicznej i jej komponentów w glebach nie należy łączyć jedynie z rodzajem uprawianych roślin, gdyż współuczestniczą tu również zmiany sezonowe, uzależnione od wahań i nasilenia procesu mineralizacji. Źródłem materii organicznej w glebach, oprócz resztek pozbiorowych roślin, korzeni oraz tradycyjnych nawozów naturalnych i organicznych, mogą być nawozy organiczno-

-mineralne z węgla brunatnego. Dlatego też w ostatnich latach zwraca się uwagę na możliwości wykorzystania odpadowego węgla brunatnego, jako źródła materii organicznej (17, 25, 29, 30), zarówno w postaci miału, jak i nawozów organiczno-mineralnych, i preparatów produkowanych na jego bazie (26, 28, 29) do nawożenia gleb lżejszych. Węgiel brunatny i nawozy produkowane z jego udziałem są lepszym od obornika źródłem materii organicznej w glebie.

Obecnie na rynku można znaleźć dużą gamę preparatów wytwarzanych na bazie leonardytów zawierających substancje humusowe. Producenci preparatów zawierających w składzie substancje humusowe gwarantują rolnikom osiąganie wysokich plonów roślin i szybką poprawę właściwości gleby, głównie poprzez wzrost zawartości próchnicy w glebie bez konieczności stosowania nawozów naturalnych. Prowadzone w IUNG-PIB badania rolnicze skuteczności działania preparatów humusowych na plony roślin uprawnych i żyzność gleby potwierdzają jedynie skuteczność tych preparatów na glebach o uregulowanym odczynie, na których stosuje się optymalne nawożenie NPK. W zależności od składu preparatu, może okresowo poprawiać się zasobność gleby w ten składnik pokarmowy, który występuje w większym stężeniu w preparacie. Ponieważ działanie tych preparatów polega na stymulowaniu utrzymywania się wyższego stężenia składników pokarmowych w pobliżu strefy korzeniowej, w efekcie rośliny mogą efektywniej wykorzystać składniki pokarmowe, co skutkuje wyższymi plonami. W przyszłości należy spodziewać się wzrostu stosowania w nawożeniu preparatów i środków poprawiających właściwości gleby z dodatkiem substancji humusowych oraz mikroorganizmów, w celu stabilizacji materii organicznej w glebie.

Literatura

1. Adamus M., Drozd J., Stanisławska E.: Współdziałanie nawozów organicznych i mineralnych w kształtowaniu przemian materii organicznej i właściwości fizykochemicznych gleb lekkich. [W:] Nawozy organiczne, AR Szczecin, 1998, 1: 118.
2. Bijlsma R.J., Lambers H.: A dynamic whole-plant model of integrated metabolism of nitrogen and carbon. *Plant and Soil*, 2000, 220: 71-87.
3. Błaszczyk W.H.: Różnicowanie składu humusu agregatów glebowych, *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1993, 411: 69-76.
4. Boligłowa E.: Ochrona ziemniaka przed chorobami i szkodnikami przy użyciu Efektywnych Mikroorganizmów (EM) z udziałem ziół. [W:] Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie, pod red. Z. Zbytek. PIMR, Poznań, 2005, 165-170.
5. Cwojdzński W., Nowak K.: Wybrane właściwości gleby w prowadzonym od 28 lat statycznym doświadczeniu nawozowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2002, 484: 87-94.
6. Czyż E., Dexter A.R., Gądja A.: Wpływ uproszczonej uprawy roli na właściwości fizyczne i mikrobiologiczne wybranych gleb, 2002, *Zesz. Nauk. Połud.-Wschod. Oddz. PTiE i PTG, Rzeszów*, 13: 33-35.

7. Dębicka B.: Właściwości substancji humusowych gleby nawożonej gnojowicą. Rozprawy 110, ATR Bydgoszcz, 2004.
8. Dziadowiec H.: Ekologiczna rola próchnicy glebowej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1993, **411**: 270-272.
9. Dziadowiec H., Gonet S.S.: Przewodnik metodyczny do badań materii organicznej gleb. Prace. Kom. Nauk. PTG, Warszawa, 1999, 120, ss. 65.
10. Dziamski A.: Wpływ nawożenia organicznego na zawartość i jakość próchnicy gleb. Substancje humusowe w glebach i nawozach. PTSH, Wrocław, 2003.
11. Gałązka A., Kocoń A.: Wpływ preparatów z mikroorganizmami pożytecznymi na liczebność i biomasę mikroorganizmów glebowych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2015, **45(19)**: 127-142.
12. Gleboznawstwo, pod red. B. Dobrzańskiego, S. Zawadzkiego, PWRiL, Warszawa, 1999.
13. Gonet S.S.: Stan humusu w glebach w wieloletnich statycznych doświadczeniach nawozowych. Zesz. Nauk. AR Kraków, 1993, **277(37)**: 39-49.
14. Gonet S., Dębicka B.: Charakterystyka kwasów huminowych powstałych w procesie rozkładu resztek roślinnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1993, **411**: 241-248.
15. Gonet S.S., Wegner K.: Wpływ nawożenia na próchnicę gleb. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, 1990, **196**: 127-135.
16. Janssen B.H., Noij G.A.M.: Simple model for calculation of nitrogen and phosphorus mineralization for „young” soil organic matter. DRAFT, AGN, 1986, 108.
17. Kaczmarek Z., Jakubus M., Grzelak M., Mrugalska M.: Impact of the addition of various doses of Effective Microorganisms to arable – humus horizons of mineral soils on the their physical and water properties. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2008, **53(3)**: 118-121.
18. Kalembasa S., Tengler S.: Rola węgla brunatnego w nawożeniu i ochronie środowiska. Monografie. Wyd. AP, Siedlce, 2004, 52, ss. 136.
19. Klimanek E.M., Klimanek E.M.: Umsetzungsverhalten von Emterückständen. Arch. Acker-Pflanzenbau, Bodenk. Berlin, 1990a, **34(8)**: 559-567.
20. Kobus J.: Biologiczne procesy a kształtowanie żyzności gleb. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1995, **421a**: 209-219.
21. Kondratowicz-Maciejewska K.: Wpływ nawożenia obornikiem i zmianowania na właściwości materii organicznej gleby. Rozpr. hab., Bydgoszcz, 2004, ss. 113.
22. Kosicka D., Wolna-Maruwka A., Trzeciak M.: Wpływ preparatów mikrobiologicznych na glebę oraz wzrost i rozwój roślin. Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych, 2015, t. 64, **2(307)**: 327-335.
23. Körschens M.: Importance of soil organic matter (SOM) for biomass production and environment (a review). Arch. Acker Pfl. Boden., 2002, **48**: 89-94.
24. Kusińska A.: Właściwości związków próchnicznych bielicy próchnicznej z południowego pasma wydm Puszczy Kampinowskiej. [W:] Wpływ działalności człowieka na środowisko glebowe KPN. Wyd. SGGW-AR, Warszawa, 1996, 123-135.
25. Kwiatkowska J., Maciejewska A.: Wpływ rodzajów substancji organicznej na właściwości fizykochemiczne gleby i zawartość węgla organicznego. Roczn. Gleb., 2008, Tom LIX, **1**: 128-133.

26. Linaczar M., Drozd J., Weber J.: Wpływ Humidolu na niektóre właściwości fizykochemiczne gleb piaszczystych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1996, **437**: 265-270.
27. Łoginow W., Andrzejewski J., Janowiak J.: Rola nawożenia organicznego w utrzymaniu zasobów materii organicznej w glebie. Roczn. Gleb., 1991, Tom XLII, 3/4: 19-25.
28. Maciejewska A.: Badanie właściwości i żyzności gleby piaszczystej po zastosowaniu niekonwencjonalnego nawozu otrzymanego z węgla brunatnego. Rozpr. hab. Acta. Acad. Agricultur. Rech. Olst. Agricultura, 1994, **56**, Suppl. D: 4-9.
29. Maciejewska A., Kwiatkowska A.: Kształtowanie się właściwości fizykochemicznych gleby użyźnionej Rekulterem. Roczn. Gleb., 2004, Tom LV, 3: 147-153.
30. Maciejewska A., Kwiatkowska J.: Niektóre właściwości chemiczne gleby oraz jej zdolności buforowe po zastosowaniu nawozu organiczno-mineralnego z węgla brunatnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 2002, **482**: 351-357.
31. Majchrzak B., Waleryś Z., Okorski A.: Wykorzystanie efektywnych mikroorganizmów (EM) w biologicznej ochronie pszenżyta przed chorobami podsuszkowymi. XLV Sesja Naukowa Instytutu Ochrony Roślin. Poznań, 2005, 155-156.
32. Martyniuk S.: Czy rolnictwo konwencjonalne (intensywne) szkodzi mikroorganizmom glebowym? Polish J. Agron., 2014, **17**: 25-29.
33. Martyniuk S., Pikula D., Kozieł M.: Pozytywne i negatywne efekty dużego dopływu materii organicznej do gleby. Materiały Warsztatów Naukowych – „Instrumenty i metody przeciwdziałania degradacji gleb użytkowanych rolniczo”. IUNG-PTG, Puławy, 8-9.10.2015 r., 18-19.
34. Mazur T., Wojtas T., Mazur Z.: Rolnicza wartość nawozów organiczno-mineralnych produkowanych na bazie węgla brunatnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1998, **455**: 141-147.
35. Mercik S., Stępień W.: Działanie nawozów organicznych na glebie nienawożonej obornikiem przez 70 lat. Zesz. Nauk. AR Szczecin, 172, Rolnictwo, 1996, **62**: 357-365.
36. Orłow D.S.: Praktikum po chemii gumusa. IMU, Moskawa, 1981.
37. Pikula D.: Aktualne trendy w gospodarowaniu glebową materią organiczną. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2013, **34(8)**: 109-124.
38. Pikula 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.
39. Pranagal J.: Wpływ systemu uprawy na zawartość węgla organicznego w glebie. Annales UMCS, Sec. E, 2004, **59(1)**: 1-10.
40. Puła J., Łabza T.: Wpływ nawożenia organicznego na zawartość i skład frakcyjny związków próchnicznych gleby lekkiej. Annales UMCS, Sec. E., 2004, **59(4)**: 1513-1519.
41. Rutkowska A., Pikula D.: Effect of crop rotation and nitrogen fertilization on the quality and quantity of soil organic matter. Soil Science, Edited by: Dr. Maria C. Hernandez Soriano, InTech. Rozdział w monografii, 2012, 249-265.
42. Skłodowski P., Maciejewska A.: Właściwości materii organicznej gleb po agromelioracji nawozem organiczno-mineralnym. Komplet R. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1993, **409**: 203-208.
43. Spigarelli S.A.: Stimulation of anion root growth by peat humic substances. Effects of extraction, temperature and pH. 6th In. Meeting IHSS, Monopoli (Bari), Abstracts, Italy, 1992, 79.

44. Sychaj-Fabisiak E., Smoliński S., Murawska B., Janowiak J.: The effect of differentiated nitrogen fertilization on the total carbon and nitrogen content on the rate of microflora development in soil. *Humic Subs. Ecosyst.*, 2003a, **5**: 109-117.
 45. Stevenson F.J.: *Humus Chemistry*. Wiley, Chichester, 1994.
 46. Tołoczko W., Trawczyńska A., Niewiadomski A.: Zawartość związków próchnicznych w glebach nawożonych preparatem EM. *Rocz. Gleb.*, Tom LX, **1**, Warszawa, 2009, 97-101.
 47. Wiaterski J.: Wpływ nawożenia organiczno-mineralnego na bilans węgla organicznego. *Fol. Univ. Agric. Stetin., Agricultura*, 2000, **84**: 515-520.
 48. Wiśniewski W., Wegner K., Gonet S.S.: Wpływ mineralnego i organicznego nawożenia na jakość próchnicy. *Rocz. Gleb.*, 1986, **37(2/3)**: 287-294.
 49. <http://rosahumus.pl/wyniki-badan/> (Data dostępu: 16.05.2016 r.)
-

Adres do korespondencji:

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

