

BOGUMIŁA CIEŚCIŃSKA, BOŻENA DĘBSKA

WPŁYW MONOKULTURY ŻYTA I ZIEMNIAKA I NAWOŻENIA ORGANICZNO-MINERALNEGO NA SKŁAD FRAKCYJNY PRÓCHNICY I WŁAŚCIWOŚCI SPEKTROMETRYCZNE KWAŚÓW HUMINOWYCH

THE EFFECT OF RYE AND POTATO CULTIVATION IN MONOCULTURE AND OF ORGANIC-MINERAL FERTILIZATION ON THE FRACTIONAL COMPOSITION OF HUMUS AND SPECTROMETRIC PROPERTIES OF HUMIC ACIDS

Katedra Chemii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Abstract: The present research was performed based on a multi-year long fertilization experiment carried out by SGGW since 1923 in Skierniewice Research Station. The research involved the use of soil samples from the stands under the monoculture of rye and potato, considering selected fertilization combinations. It was found that humus in the soil under the monoculture of rye showed a higher share of carbon of humic acids, a wider range of ratio $\Sigma C_{HA} : \Sigma C_{FA}$ and a lower share of humins, as compared with the soil under potato. The organic fertilization used, irrespective of the crop species, increased the value of $\Sigma C_{HA} : \Sigma C_{FA}$, as compared with mineral fertilization. The crop species and the kind of fertilization applied modified the spectrometric parameters of humic acids. The highest values of absorbance ratios were recorded for HAs of soil under rye fertilized with manure.

Słowa kluczowe: skład frakcyjny próchnicy, UV-VIS, żyto, ziemniak, monokultura.

Key words: humus fractional composition, UV-VIS, rye, potato, monoculture.

WSTĘP

Zawartość i jakość próchnicy glebowej ma istotne znaczenie w kształtowaniu żyzności i urodzajności gleb. Wśród czynników agrotechnicznych wpływających na zasobność gleb w substancje próchniczne należy uwzględnić nawożenie mineralne, organiczne oraz wapnowanie. Wpływ tych czynników jest długotrwały, stąd problem badany jest w wieloletnich doświadczeniach nawozowych. Badania w tych doświadczeniach polegają między innymi na ocenie zmian zawartości materii organicznej w glebie w warunkach

uprawy roślin w monokulturze lub zmianowaniach ze zróżnicowanym nawożeniem [Mercik, Stępień 1992]. Ilość i jakość powstałych substancji humusowych poza typem gleby, sposobem uprawy i nawożeniem jest determinowana także ilością i jakością pozostawianych resztek roślinnych oraz ilościowym i jakościowym udziałem i aktywnością mikroorganizmów [Gonet 1997]. W badaniach przemian materii organicznej w glebie istotne jest określenie właściwości optycznych substancji humusowych w wyodrębnionych frakcjach charakteryzujących się różną odpornością na rozkład. Zastosowanie absorpcji elektronicznej w zakresie UV-VIS pozwala na charakterystykę struktury chemicznej cząsteczek kwasów huminowych i może być wykorzystywane do oceny stopnia zaawansowania procesu humifikacji materii organicznej w glebie, powstałej także z udziałem resztek uprawianych roślin [Kumada 1987; Chen i in. 1977; Gonet, Dębska 1999].

Celem pracy było określenie wpływu wieloletniej uprawy żyta i ziemniaka w monokulturze oraz rodzaju nawożenia na skład frakcyjny próchnicy i właściwości spektrometryczne kwasów huminowych.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach próbki gleb pobierano z pola Wieloletniego Statycznego Doświadczenia Nawozowego Stacji Doświadczalnej im. M. Górskiego SGGW w Skierniewicach. Pole doświadczalne usytuowane jest na glebach płowych, opadowo-glejowych wg WRB [2006] „Stagnic Luvisols”. Próbki pobrano z warstwy ornej (0–25 cm) ze stanowisk po 75 latach uprawy ziemniaka i żyta w monokulturze. Uwzględniono następujące kombinacje nawozowe: Ca (obiekt kontrolny), NPK, Ca+NPK, Ca+obornik (20 t·ha⁻¹·rok⁻¹), Ca+NPK+obornik (30 t·ha⁻¹ co 4 lata od 1989 roku). Nawozy mineralne były stosowane w jednakowych dawkach (tab. 1) na wszystkich polach wybranych kombinacji w pięciu powtórzeniach. Stosowanie co 4 lata 1,6 t·ha⁻¹ CaO ma na celu utrzymanie stanu zakwaszenia gleby na optymalnym poziomie (pH 5,8–6,4) [Mercik 2000]. W obrębie poletek poszczególnych kombinacji nawozowych pobrano próbki gleby z 5 punktów, a następnie zmieszano i uzyskano próbkę zbiorczą.

W próbkach zbiorczych materiału glebowego oznaczono:

- zawartość węgla organicznego ogółem (Corg) – analizatorem CHN Model 1106 firmy Carlo-Erba Strumentazione,
- skład frakcyjny próchnicy metodą Tiurina w modyfikacji Ponomariewej i Płotnikowej [Dziadowiec 1999] wydzielając połączenia próchniczne następujących frakcji:
 - C_d – kwasy fulwowe (KF) rozpuszczające się w 0,05 M H₂SO₄ podczas dekalcytacji próbki gleby – kwasy wolne i słabo związane z ruchliwymi półtoratlenkami,
 - FrI – kwasy fulwowe KF i huminowe KH rozpuszczające się w 0,1 M NaOH bez uprzedniej dekalcytacji próbki – kwasy wolne i związane z niekrzemianowymi formami półtoratlenków,
 - FrII – kwasy fulwowe KF i huminowe KH rozpuszczające się w 0,1 M NaOH po uprzedniej dekalcytacji próbki – kwasy fulwowe i huminowe związane z wapniem. Z uwagi na bardzo niski udział frakcji II (FrII) wyniki oznaczeń wyłączono z przeliczeń i dyskusji zgodnie z zaleceniem autorów metody,
 - FrIII – kwasy fulwowe KF i huminowe KH trwale związane z mineralnymi składnikami gleby, przechodzące do wyciągu alkalicznego 0,02 M NaOH na gorąco.

W wydzielonych frakcjach oznaczono zawartość węgla organicznego analizatorem TOC PRIMACS firmy SCALAR, a zawartość węgla wybranych frakcji I i III (FrI, FrIII) wyrażono w mg kg⁻¹ s.m. próbki gleby oraz jako procentowy udział w puli węgla organicznego.

Na podstawie uzyskanych wyników wyliczono:

- ΣC_{KH} – suma węgla kwasów huminowych [KH(FrI) + KH(FrIII)],
- ΣC_{KF} – suma węgla kwasów fulwowych [C_d + KF(FrI) + KF(FrIII)],
- C_H – węgiel frakcji humin (z różnicy między Corg i sumą oznaczonych frakcji).

W roztworach kwasów huminowych frakcji I i III (FrI, FrIII), wykonano oznaczenie właściwości optycznych UV-VIS spektrometrem firmy Perkin-Elmer. Na podstawie wyznaczonych wartości absorbancji przy długościach fal 280, 400, 465, 600 i 665, obliczono współczynniki $A_{2/4}$, $A_{2/6}$, $A_{4/6}$ i $\Delta \log K$ [Kumada 1987].

Obliczenia statystyczne wykonano metodą analizy wariancji (test Tukeya) przy poziomie istotności $p=0,05$, dla doświadczeń wieloczynnikowych w układzie dwuczynnikowym: I czynnik – gatunek rośliny (ziemniak, żyto) i II czynnik – nawożenie, programem statystycznym ANALWAR.

WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza statystyczna otrzymanych wyników wykazała wpływ zarówno gatunku uprawianej rośliny, jak i rodzaju nawożenia na zawartość węgla organicznego (Corg) w badanej glebie (tab. 1). Gleba pod monokulturą żyta była bogatsza w materię organiczną średnio o ok. 61% niż gleba pod monokulturą ziemniaka. Ujemny bilans C organicznego w warunkach uprawy ziemniaka w monokulturze wystąpił pod wpływem nawożenia NPK i Ca NPK, natomiast dodatek wapnia stabilizował jego zawartość w glebie na stanowisku po życie, na poziomie porównywalnym do gleby obiektu kontrolnego (Ca). Nawożenie organiczne (bez nawozów mineralnych) lub w kombinacji z Ca NPK, dodatkowo sprzyjało nagromadzeniu węgla organicznego. Zawartość Corg w glebie na obiektach nawożonych obornikiem była wyższa niż w glebie z poletek, na których stosowano nawożenie mineralne [Cieścińska 2007]. Przy wyłącznym stosowaniu 20 t·ha⁻¹ obornika co rok zaobserwowano największy wzrost zawartości Corg w glebie pod monokulturą żyta w porównaniu z glebą obiektu kontrolnego oraz niezależnie od gatunku uprawianej rośliny najwyższą na tym obiekcie średnią zawartość Corg. Przepuszczalnie tempo mineralizacji lub humifikacji obornika zależały głównie od zabiegów agrotechnicznych (nawożenie, wapnowanie) i uprawianej rośliny. Uzyskane wyniki zmian zawartości Corg w glebach znajdują potwierdzenie we wcześniejszych badaniach [Kuszelewski 1972; Gonet 1989; Mercik, Stępień 1992; Mercik 2000]. Zaobserwowano również większą zawartość węgla organicznego w glebie na obiektach wapnowanych niż na niewapnowanych, prawdopodobnie wskutek hamowania wymywania związków organicznych i spowalniania mineralizacji substancji organicznej przy wyższych wartościach pH [Mercik, Stępień 1996].

Procesom mineralizacji substancji organicznych wprowadzanych do gleby towarzyszy proces humifikacji. Kwasy humusowe jako główny składnik próchnicy decydują o jej właściwościach, a ostatecznie o roli próchnicy w środowisku glebowym [Gonet 1989]. W glebach uprawnych ilość kwasów humusowych i ich właściwości są modyfikowane między innymi rodzajem stosowanego nawożenia [Adamus i in. 1988; Mazur 1992; Kowaliński i in. 1986], a także rodzajem resztek pozbiorowych (ich składem chemicznym)

TABELA 1. Zawartość węgla (w $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) we frakcjach próchnicy oraz węgla organicznego (w $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w glebie, pod monokulturą ziemniaka i żyta
 TABLE 1. Carbon content ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in humus fractions and total organic carbon (in $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) in soil under potato and rye monoculture

Nawożenie* Fertilization*	$C_{\text{KH}} - C_{\text{IIA}}$			$C_{\text{KF}} - C_{\text{FA}}$				C_{H}	Corg – TOC $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
	FrI	FrIII	ΣC_{KH}	C_{d}	FrI	FrIII	ΣC_{KF}		
Ziemniak – Potato									
Ca (obiekt kontrolny)	2123	964	3087	209	620	301	1130	3353	7,6
NPK	2033	986	3019	257	693	266	1216	1215	5,4
CaNPK	1874	1059	2933	231	671	222	1124	1403	5,5
Ca+obornik; Ca+manure	3430	2437	5867	262	845	488	1595	1108	8,6
CaNPK+ob.; CaNPK+man.	3859	2533	6392	279	902	523	1704	484	8,5
Żyto; Rye									
Ca (obiekt kontrolny)	3266	1905	5171	263	893	406	1562	3037	9,7
NPK	3866	1549	5415	355	1332	399	2086	1329	8,8
CaNPK	3696	3306	7002	294	1145	563	2002	906	9,9
Ca+obornik; Ca+manure	5492	4111	9603	337	1592	632	2561	4036	16,2
CaNPK+ob.; CaNPK+man.	5679	4155	9834	329	1401	605	2335	261	12,4
Wartości średnie dla rośliny (I czynnik); Mean values for plant (I factor)									
Ziemniak Potato	2664	1596	4260	248	746	360	1354	1513	7,1
Żyto Rye	4399	3005	7405	316	1273	521	2109	1914	11,4
Wartości średnie dla nawożenia (II czynnik); Mean values for fertilization (II factor)									
Ca (obiekt kontrolny)	2694	1435	4129	236	757	354	1346	3195	8,7
NPK	2949	1268	4217	306	1013	333	1651	1272	7,1
CaNPK	2785	2183	4968	263	908	393	1563	1154	7,7
Ca+obornik; Ca+manure	4461	3274	7735	299	1219	560	2078	2572	12,4
CaNPK+ob.;CaNPK+man.	4769	3344	8113	304	1152	564	2020	373	10,5
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}									
I	13,5	10,5	19,7	6,1	6,9	7,3	10,9	26,0	0,54
II	31,6	24,5	46,1	14,1	16,1	16,9	25,4	60,7	1,27

*dawki od 1976 roku: Ca – 1,6 t·ha⁻¹ CaO co 4 lata, 90 kg N·ha⁻¹, 26 kg P·ha⁻¹, 91 kg K·ha⁻¹ oraz Ca+obornik (20 t·ha⁻¹ co rok), CaNPK+obornik (30 t·ha⁻¹ co 4 lata); *doses since 1976: Ca – 1,6 t·ha⁻¹ CaO every 4 years, 90 kg N·ha⁻¹, 26 kg P·ha⁻¹, 91 kg K·ha⁻¹ oraz Ca+manure (20 t·ha⁻¹ every year), CaNPK+manure (30 t·ha⁻¹ every 4 years)

wprowadzanych do gleby [Gonet i in. 1992]. W przeprowadzonym doświadczeniu wykazano, że rodzaj nawożenia i gatunek uprawianej rośliny (tab. 1) wpływały na zmiany zawartości C-frakcji I (FrI), a kierunek i wielkości tych zmian były ściśle związane ze zmianami zawartości węgla organicznego. W punktach badawczych, w których odnotowano zmniejszenie zawartości Corg (warianty z NPK), stwierdzono wzrost zawartości C_{KH} i C_{KF} frakcji I i jednocześnie obniżoną ich zawartość lub nieznaczny wzrost we frakcji trzeciej (FrIII). Zwiększony udział węgla frakcji I (labilnych substancji humusowych) jest prawdopodobnie konsekwencją wzrostu szybkości mineralizacji materii organicznej kosztem bardziej stabilnych frakcji próchnicy (FrIII), co w rezultacie może prowadzić do zmniejszenia Corg w glebie [Myśków, Zięba 1982; Lykov i in.1981].

Niezależnie od rodzaju nawożenia (tab. 1), zawartość C_{KH} frakcji I (FrI) i frakcji III (FrIII) oraz sumy kwasów huminowych (ΣC_{KH}) była istotnie większa na poletkach pod monokulturą żyta niż ziemniaka, a niezależnie od gatunku uprawianej rośliny najwyższą ich zawartością charakteryzowała się gleba nawożona obornikiem w dawce $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, co 4 lata łącznie z nawożeniem mineralnym. Niewiele niższe ich ilości wykazywały kombinacje z corocznym nawożeniem obornikiem w dawce $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a najniższe nawożone wyłącznie nawozami mineralnymi. Jak wynika z doniesień literaturowych [Gonet 1989], systematyczne nawożenie obornikiem zwiększa udział kwasów huminowych i humin, a zmniejsza udział kwasów fulwowych. Stosowanie nawozów mineralnych powoduje generalnie skutek odwrotny, choć znaleźć można dane świadczące o braku różnic w składzie frakcyjnym próchnicy w glebach nawożonych obornikiem lub obornikiem i nawozami mineralnymi [Łakomicz 1984; Gonet 1989]. Zaobserwowano, że rodzaj nawożenia i gatunek uprawianej rośliny znacznie oddziałują na zawartość poszczególnych frakcji próchnicy w glebie i na ich udział w Corg (tab. 1 i 2). Procentowy udział sumy frakcji kwasów huminowych był wyższy w glebie pod monokulturą żyta niż ziemniaka oraz przy pełnym nawożeniu mineralno-organicznym (tab. 2), natomiast średni udział frakcji kwasów fulwowych był większy w glebie pod monokulturą ziemniaka.

Pod wpływem stosowanego nawożenia i gatunku uprawianej rośliny nastąpiły zmiany $\Sigma C_{KH} : \Sigma C_{KF}$, jednego z podstawowych wskaźników oceny jakości materii organicznej gleb, a właściwie jej stabilności. W składzie próchnicy ocenianych gleb spod monokultury żyta i ziemniaka stwierdzono większy udział węgla frakcji kwasów huminowych niż kwasów fulwowych, co dokumentują otrzymane wartości $\Sigma C_{KH} : \Sigma C_{KF}$ (tab. 2). Najwyższe wartości omawianego wskaźnika w przypadku obu uprawianych roślin uzyskano w kombinacjach z pełnym nawożeniem mineralno-organicznym (CaNPK + obornik $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ co 4 lata). Próchnica gleby, na której uprawiano żyto, charakteryzowała się wyższymi wartościami stosunku $\Sigma C_{KH} : \Sigma C_{KF}$ w porównaniu z próchnicą gleby, na której uprawiano ziemniaki (tab. 2). Powszechnie wiadomo, że rośliny okopowe przyczyniają się do obniżania $\Sigma C_{KH} : \Sigma C_{KF}$, a próchnica o wyższych wartościach tego stosunku jest charakterystyczna dla gleb żyzniejszych [Kononowa 1968]. Nie bez znaczenia jest również fakt, że ilość resztek pozostawianych po zbiorze żyta jest znacznie większa niż po uprawie ziemniaka. Oceniając w doświadczeniu wpływ uprawianej rośliny na potencjalną żyzność gleby można przyjąć, że żyto stanowiło korzystniejszy substrat dla procesów humifikacji.

Huminy (pozostałość po ekstrakcji) są frakcją, która reprezentuje trwałe połączenia związków próchnicznych z mineralną fazą gleby. Zawartość tej frakcji jest odbiciem procesów humifikacji, a jej ilość zmniejsza się w miarę wzrostu natężenia procesów mineralizacji substancji organicznej [Turski 1996]. Udział procentowy węgla frakcji humin (C_H) zależał od gatunku uprawianej rośliny i był niższy (16,46% Corg) w glebie spod monokultury żyta niż ziemniaka (22,17% Corg), a także zależał od rodzaju nawożenia (tab. 2). Gleba na poletkach nawożonych obornikiem w dawce $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ co 4 lata łącznie z Ca NPK cechowała się zdecydowanie najniższym udziałem frakcji humin w porównaniu z glebą, na której stosowano corocznie $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ obornika, a najwyższym udziałem – gleba z obiektu kontrolnego. Można zauważyć, że tylko przy łącznym stosowaniu obornika i Ca NPK (tab. 1) występowała tendencja do znacznego wzrostu zawartości C_{KH} frakcji I oraz znacznego zmniejszania zawartości frakcji humin. Przypuszczać należy, że mineralne nawożenie może być w tym przypadku traktowane jako czynnik uruchamiający te związki lub powodujący ich mineralizację [Wiśniewski, Gonet 1986].

TABELA 2. Udział węgla we frakcjach próchnicy (w % Corg) oraz wartości stosunku $\Sigma C_{KH} : \Sigma C_{KF}$ w glebie spod monokultury ziemniaka i żyta
 TABLE 2. Carbon share in humus fractions (in % of TOC) and the $\Sigma C_{HA} : \Sigma C_{FA}$ ratio values in soil under potato and rye monoculture

Nawożenie* Fertilization*	$C_{KH} - C_{HA}$			$C_{KF} - C_{FA}$				$\Sigma C_{KH} : \Sigma C_{KF}$	C_H
	FrI	FrIII	ΣC_{KII}	C_d	FrI	FrIII	ΣC_{KII}		
Ziemniak – Potato									
Ca (obiekt kontrolny)	28,05	12,73	40,78	2,76	8,19	3,98	14,93	2,7	44,29
NPK	37,30	18,09	55,39	4,72	12,72	4,88	22,32	2,5	22,29
CaNPK	34,32	19,39	53,72	4,23	12,29	4,07	20,59	2,6	25,69
Ca+obornik; Ca+manure	40,02	28,44	68,46	3,06	9,86	5,69	18,61	3,7	12,93
CaNPK+ob.; CaNPK+man.	44,98	29,52	74,50	3,25	10,51	6,09	19,85	3,8	5,64
Żyto; Rye									
Ca (obiekt kontrolny)	33,43	19,49	52,92	2,69	9,14	4,16	15,99	3,3	31,09
NPK	43,78	17,54	61,32	4,02	15,09	4,52	23,63	2,6	15,05
CaNPK	37,29	33,36	70,65	2,97	11,55	5,68	20,20	3,5	9,14
Ca+obornik; Ca+manure	33,90	25,38	59,28	2,08	9,83	3,90	15,81	3,8	24,91
CaNPK+ob.; CaNPK+man.	45,69	33,43	79,12	2,65	11,27	4,87	18,79	4,2	2,10
Wartości średnie dla rośliny (I czynnik); Mean values for plant (I factor)									
Ziemniak – Potato	36,93	21,64	58,57	3,60	10,71	4,94	19,26	3,1	22,17
Żyto – Rye	38,82	25,84	64,66	2,88	11,38	4,63	18,88	3,5	16,46
Wartości średnie dla nawożenia (II czynnik); Mean values for fertilization (II factor)									
Ca (obiekt kontrolny)	30,74	16,12	46,85	2,73	8,67	4,07	15,46	3,0	37,69
NPK	40,54	17,82	58,36	4,37	13,90	4,70	22,97	2,5	18,67
CaNPK	35,81	26,38	62,19	3,60	11,92	4,87	20,39	3,1	17,42
Ca+obornik; Ca+manure	36,96	26,91	63,87	2,57	9,84	4,79	17,21	3,7	18,92
CaNPK+ob.; CaNPK+man.	45,33	31,48	76,81	2,95	10,89	5,48	19,32	4,0	3,87
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}									
Czynnik – Factor I	0,147	0,119	0,217	0,070	0,081	0,084	0,135	0,02	0,287
II	0,343	0,279	0,507	0,163	0,189	0,195	0,315	0,05	0,671

Absorbancja roztworów substancji humusowych zależy głównie od ich budowy chemicznej. Wraz ze wzrostem stopnia skondensowania jądra aromatycznego cząsteczek oraz ich masy wzrasta gęstość optyczna, a maleje wartość $A_{4/6}$ [Schnitzer, Skinner 1968]. Współczynnik absorbancji $A_{4/6}$ roztworów kwasów huminowych (tab. 3) przyjmował średnio wyższe wartości w glebie pod monokulturą żyta. Na tej podstawie można przypuszczać, że kwasy huminowe wydzielone z gleby spod żyta charakteryzują się większą alifatycznością i mniejszą masą cząsteczkową w porównaniu z kwasami huminowymi gleby spod ziemniaka. Kwasy huminowe wyizolowane z gleby spod monokultury żyta charakteryzowały się również wartościami współczynników absorbancji $A_{2/4}$, $A_{2/6}$ wyższymi niż kwasy huminowe spod monokultury ziemniaka. W strukturach kwasów huminowych gleby spod żyta był prawdopodobnie większy udział lignin (A_{280}), których źródłem są pozostawione resztki poźniwne. Kwasy huminowe wyizolowane z gleby spod ziemniaka cechują się prawdopodobnie większą chemiczną dojrzałością (niższe wartości $A_{2/4}$, $A_{2/6}$, $A_{4/6}$) niż z gleby spod żyta.

TABELA 3. Wartości współczynników absorbancji kwasów huminowych frakcji I i III
 TABLE 3. Absorbance coefficients of fractions I and III of humic acids

Nawożenie* Fertilization*	I – frakcja				III – frakcja			
	A _{2/4}	A _{2/6}	A _{4/6}	ΔlogK	A _{2/4}	A _{2/6}	A _{4/6}	ΔlogK
Ziemniak – Potato								
Ca (obiekt kontrolny)	6,07	27,91	4,59	0,71	6,99	21,61	3,10	0,60
NPK	5,39	22,97	4,26	0,65	6,87	19,37	2,82	0,56
CaNPK	5,65	26,98	4,78	0,69	6,68	18,38	2,75	0,39
Ca+obornik; Ca+manure	6,91	39,13	5,67	0,82	7,10	23,55	3,32	0,64
CaNPK+ob.; CaNPK+man.	6,79	36,09	5,32	0,80	7,12	24,43	3,43	0,66
Żyto; Rye								
Ca (obiekt kontrolny)	7,54	46,27	6,14	0,83	7,07	22,30	3,15	0,62
NPK	6,46	35,51	4,88	0,77	6,30	16,09	2,55	0,52
CaNPK	7,37	41,21	5,59	0,81	7,15	23,80	3,33	0,63
Ca+obornik; Ca+manure	8,28	57,62	6,96	0,92	7,57	27,48	3,63	0,70
CaNPK+ob.; CaNPK+man.	8,19	55,43	6,77	0,91	7,65	28,95	3,78	0,71
Wartości średnie dla rośliny (I czynnik); Mean values for plant (I factor)								
Ziemniak – Potato	6,16	30,62	4,92	0,73	6,95	21,47	3,08	0,57
Żyto – Rye	7,57	44,41	6,07	0,85	7,15	23,72	3,29	0,64
Wartości średnie dla nawożenia (II czynnik); Mean values for fertilization (II factor)								
Ca (obiekt kontrolny)	6,81	37,09	5,37	0,77	7,03	21,96	3,13	0,61
NPK	5,93	27,24	4,57	0,71	6,59	17,73	2,69	0,54
CaNPK	6,51	34,09	5,19	0,75	6,92	21,09	3,04	0,51
Ca+obornik; Ca+manure	7,60	48,38	6,32	0,87	7,34	25,52	3,48	0,67
CaNPK+ob.; CaNPK+man.	7,49	45,76	6,05	0,86	7,39	26,69	3,61	0,69
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}								
Czynnik – Factor I	0,032	0,966	0,088	0,006	0,140	0,213	0,051	0,015
II	0,074	2,256	0,205	0,013	0,327	0,498	0,119	0,036

Oprócz gatunku uprawianej rośliny czynnikiem wpływającym na właściwości spektrometryczne kwasów huminowych FrI i FrIII był rodzaj nawożenia (tab. 3). Kwasy huminowe frakcji I – wyekstrahowane z gleby nawożonej wyłącznie obornikiem oraz frakcji III – wyekstrahowane z gleby nawożonej obornikiem łącznie z CaNPK charakteryzowały się wyższymi wartościami współczynników A_{2/4}, A_{2/6}, A_{4/6} niż roztwory kwasów huminowych z pozostałych obiektów. Najniższe wartości tych współczynników stwierdzono w glebie obiektu nawożonego NPK. Uzyskane wyniki badań potwierdzają opinię, że nawożenie obornikiem zwiększa w cząsteczkach kwasów huminowych udział lignin, na co wskazuje przewaga kwasów o mniejszej masie cząsteczkowej, a więc młodszych w porównaniu z kwasami huminowymi z gleb nawożonych mineralnie [Gonet, Dębska 1998, 1999]. Współczynniki A_{2/4}, A_{2/6}, A_{4/6} i ΔlogK są parametrami powszechnie wykorzystywanymi do oceny stopnia humifikacji materiałów organicznych oraz charakterystyki powstałych substancji humusowych [Chen i in., 1977; Gonet, Dębska 1993; Dębska 1996; Gonet, Wegner 1990]. Chen i wsp. [1977] podają, że niska wartość współczynnika A_{4/6} świadczy o dojrzałych, dobrze wykształconych kwasach huminowych.

Jak sugeruje Kononowa [1968], wartości $A_{4/6}$ badanych kwasów huminowych FrI (6,32) > 5 mogą świadczyć o niskim stopniu kondensacji kwasów huminowych i przewadze w nich struktur alifatycznych nad cyklicznymi (tab. 3). Natomiast uzyskane w niniejszych badaniach wartości $A_{4/6}$ dla FrIII (3,61) kształtowały się zdecydowanie poniżej 5, co w pełni potwierdza zgodność uzyskanych wyników z wyjaśnieniem tych zależności przez Kononową [1968]. Kumada [1987] zaawansowanie procesu humifikacji wiąże z wartością współczynnika $\Delta \log K$. Jeżeli wartość ta maleje, to zwiększa się stopień humifikacji kwasów huminowych. O większym stopniu aromatyczności, a więc dojrzałości kwasów huminowych frakcji III związanej z mineralną częścią gleby świadczą otrzymane niższe wartości współczynników absorbancji: $A_{2/4}$, $A_{2/6}$, $A_{4/6}$ i $\Delta \log K$ w porównaniu z frakcją I (FrI). Można zatem przyjąć, że kwasy huminowe trwale związane z mineralną częścią gleby (FrIII) charakteryzują się większą stabilnością, a więc odpornością na rozkład [Orłow, Griszina 1981] niż kwasy huminowe labilnej frakcji I.

WNIOSKI

1. Kształtowanie się podstawowych właściwości próchnicy gleb zależne jest w dużym stopniu zarówno od gatunku uprawianej rośliny, co jest związane z właściwościami resztek roślinnych wprowadzanych do gleby, jak i ze stosowanym rodzajem nawożenia.
2. Nawożenie wyłącznie obornikiem powodowało wzrost zawartości materii organicznej większy w glebie pod monokulturą żyta niż ziemniaka.
3. Próchnica gleby spod monokultury żyta charakteryzowała się wyższym udziałem węgla kwasów huminowych, szerszym stosunkiem $\Sigma C_{KH} : \Sigma C_{KF}$ oraz niższym udziałem humin niż próchnica gleby spod monokultury ziemniaka.
4. Nawożenie obornikiem gleby zarówno spod monokultury żyta, jak i ziemniaka zwiększało wartość stosunku $\Sigma C_{KH} : \Sigma C_{KF}$ w porównaniu z nawożeniem mineralnym, a najwyższe wartości uzyskano na obiektach nawożonych obornikiem w dawce 30 t·ha⁻¹ co 4 lata łącznie z Ca NPK.
5. Gatunek rośliny oraz rodzaj stosowanego nawożenia modyfikowały parametry spektrometryczne kwasów huminowych. Najwyższe wartości współczynników absorbancji $A_{2/4}$, $A_{2/6}$, $A_{4/6}$ oraz $\Delta \log K$ otrzymano dla kwasów huminowych frakcji I labilnej wyizolowanych z gleby spod żyta nawożonej obornikiem.

LITERATURA

- ADAMUS M., DROZD J., STANISŁAWSKA E. 1988: Współdziałanie nawozów organicznych i mineralnych w kształtowaniu przemian materii organicznej i właściwości fizyko-chemicznych gleb lekkich. W: Nawozy Organiczne, AR Szczecin 1: 118.
- CHEN Y., SENESI N., SCHNITZER M. 1977: Information provided on humic substances by $E_{4/6}$ ratios. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 352–358.
- CIEŚCIŃSKA B. 2007: Comparison of carbon management indexes assayed for soil under various crop rotation and fertilization systems. *Humic Subst. Ekosyst.* 7: 45–49.
- DĘBSKA B. 1996: Charakterystyka kwasów huminowych powstałych w glebie w procesie rozkładu mieszanek owies-wyka stosowanej jako nawóz zielony. *Zesz. Nauk. AR Szczecin, Rolnictwo* 62: 107–114.

- DZIADOWIEC H. 1999: Przewodnik metodyczny do badań materii organicznej gleb. *Prace Komisji Naukowych PTG* 120: 26–30.
- GONET S.S. 1989: Właściwości kwasów huminowych gleb o zróżnicowanym nawożeniu. *Rozprawa nr 33, ATR Bydgoszcz* : 52 ss.
- GONET S.S. 1997: Wpływ czynników siedliskowych i antropogenicznych na materię organiczną gleb. *Humic Subst. Environ.* 1: 17–24.
- GONET S.S., DĘBSKA B. 1993: Charakterystyka kwasów huminowych powstałych w procesie rozkładu resztek roślinnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 411: 241–248.
- GONET S.S., DĘBSKA B. 1998: Properties of humic acids developed during humification process of post-harvest plant residues. *Environ. Int.* 24, 5/6: 603–608.
- GONET S.S., DĘBSKA B. 1999: Properties of humic acids produced during decomposition of plant residues in soil. *Rostlinna Výroba* 45, 10: 455–460.
- GONET S.S., WEGNER K. 1990: Wpływ nawożenia na próchnicę gleb. *Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Rol, LIII* 196: 127–135.
- GONET S.S., ZAUJEC A., DĘBSKA B. 1992: Chemiczna charakterystyka produktów rozkładu resztek roślinnych w glebie. *Nawozy Organiczne, PAN, AR Szczecin*, 1: 306–313.
- KONONOWA M. 1968: Substancje organiczne gleby, ich budowa, właściwości i metody badań. PWRiL, Warszawa: 391 ss.
- ORŁOW D.S., GRISZINA L.A. 1981: Praktikum po chemii gumusa. Izd. MGU, Moskwa: 240 ss.
- KOWALIŃSKI S.T., DROZD J., LICZNER M. 1986: Przemiany związków próchnicznych w glebie pod różnymi roślinami uprawianymi w monokulturze i zmianowaniu w świetle dziesięcioletnich doświadczeń. *Rocz. Glebozn.* 37, 2-3: 169–185.
- KUMADA K. 1987: Chemistry of soil organic matter. *Developments in Soil Science* 17, Japan Sc. Soc. Press Tokyo, Elsevier Amsterdam: 241 ss.
- KUSZELEWSKI L. 1972: Wpływ nawożenia organicznego i mineralnego na zawartość i niektóre wskaźniki jakościowe substancji próchnicznych gleby. *Rocz. Nauk Roln.* 98, 1: 7–27.
- LYKOV F.I., CERNIKOV V.A., BOINACAN B.D. 1981: Ocena gumusa poczw po charakterystyce jego labilnej części. *Izvestia TSCH* 5: 65–68.
- ŁAKOMIEC I. 1984: Wpływ nawożenia na skład związków próchnicznych w glebie w oparciu o doświadczenia wieloletnie na polu doświadczalnym w Skierniewicach. W: 60 lat statycznych doświadczeń nawozowych na polu doświadczalnym SGGW-AR w Skierniewicach. *Symposium naukowe, Skierniewice*: 37–40.
- MAZUR T. 1992: Znaczenie resztek poźniowych w bilansie substancji organicznej gleb. *Nawozy Organiczne, PAN, AR Szczecin* 2: 4–11.
- MERCIK S. 2000: Wieloletnie statyczne doświadczenia nawozowe w Skierniewicach. *Wydział Rolniczy SGGW Warszawa-Skierniewice*: 9–15.
- MERCIK S., STĘPIEŃ W. 1992: Bilans węgla organicznego w trwałych doświadczeniach nawozowych w Skierniewicach. *Nawozy Organiczne, PAN, AR Szczecin* 2: 12–17.
- MERCIK S., STĘPIEŃ W. 1996: Działanie nawozów organicznych na glebie nienawożonej obornikiem przez 70 lat. *Zesz. Nauk. AR Szczecin* 172, *Rol.* 62: 357–365.
- MYŚKÓW W., ZIĘBA S. 1982: Zawartość i właściwości próchnicy w glebach w zależności od nawożenia mineralnego i organicznego. *Materiały IUNG Puławy*: 3–57.
- SCHNITZER M., SKINNER S.I.M. 1968: Alkali versus acid extraction of soil organic matter. *Soil Sci.* 105/6: 391–396.
- TURSKI R. 1996: Substancja organiczna gleb i jej znaczenie w ekosystemach. *Zesz. Probl. Nauk Rol.* 437: 375–381.
- WIŚNIEWSKI W., GONET S.S. 1986: Wpływ nawożenia azotem mineralnym i obornikiem na skład frakcyjny materii organicznej gleby. *Pamiętnik Puławski* 87: 21–27.