

WĘGIEL ORGANICZNY W GLEBIE ŁĄKOWEJ NA TLE JEJ UŻYTKOWANIA, NAWOŻENIA I UWILGOTNIENIA

Barbara SAPEK, Irena BURZYŃSKA

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Chemii Gleby i Wody

Słowa kluczowe: mineralna gleba łąkowa, nawożenie, poziom wody gruntowej, rozpuszczalny węgiel organiczny (RWO), użytkowanie, węgiel organiczny utleniający (C-org)

Streszczenie

Oceniono zmiany zawartości węgla organicznego, utleniającego (C-org) oraz rozpuszczalnego węgla organicznego (RWO), oznaczonego w wyciągu z gleby za pomocą $0,01 \text{ mol CaCl}_2 \text{ dm}^{-3}$, w mineralnej glebie dwóch doświadczeń łąkowych w ponad 20-letnim okresie badań. Przebieg i kierunek tych zmian w czasie użytkowania jako łąki kośnej oraz po jego zaniechaniu rozpatrzono na tle dawki i formy nawozu azotowego oraz odczynu jako skutku następczego wpływu wapnowania, a także stosowania saletry wapniowej. Zmiany zawartości C-org w glebie łąkowej użytkowanej kośnie zależały, w głównej mierze, od jej zasobności w węgiel i części ilaste oraz od panujących w niej warunków wilgotnościowych, kształtowanych poziomem wody gruntowej. W glebie łąkowej ubogiej w C-org stwierdzono jego akumulację w miarę upływu lat. W glebie łąkowej zasobnej w C-org i części ilaste oraz w warunkach sprzyjających mineralizacji materii organicznej istnieje możliwość ubytku węgla w miarę upływu lat. Zaniechaniu rolniczego użytkowania łąki kośnej towarzyszyło zmniejszenie zawartości RWO, czemu sprzyjała obecność jonów wapnia w glebie i uprzednie jej nawożenie saletrą wapniową. Ta mobilna forma węgla może być dobrym oraz prostym w oznaczeniu wskaźnikiem jego dynamiki w szeroko pojętym środowisku przyrodniczym.

WSTĘP

Zubożenie gleby w związku węgla, a także stwierdzane straty azotu i związana z tym degradacja jej żyzności są skutkiem obserwowanego obecnie nasilenia mine-

ralizacji glebowej materii organicznej [SAPEK, SAPEK, 2006]. Przyczyną zubożenia gleby w węgiel jest, między innymi, emisja „gazu cieplarnianego” – CO₂, a także tworzenie ruchliwych połączeń składników mineralnych z rozpuszczalnym węglem organicznym – RWO i ich wymywanie w głąb profilu i dalej do wód gruntowych [CONEN, YAKUTIN, SAMBUU, 2003; DĘBSKA, GONET, 2002; LAL, 2000; WEIL, MAGDOFF, 2004; ZAUJEC, 2001; ZSOLNAY, 2001]. Uwalnianie z gleb bardzo dynamicznej, rozpuszczalnej formy węgla organicznego jest obecnie szczególnie ważne ze względu na jej środowiskowe oddziaływanie [DĘBSKA, GONET, 2002; SCHUMAN, 2000; ZSOLNAY, 2001]. Ocena zawartości węgla w glebach na tle obserwowanych obecnie zmian klimatycznych wymaga analizy licznej populacji różnorodnych próbek, w tym z wielu lat poprzedzających obserwowane zmiany [CONEN, YAKUTIN, SAMBUU, 2003; SMITH, 2004]. W glebach użytków zielonych, w tym również mineralnych, z natury bogatych w związki węgla, wymienione powyżej procesy mogą przebiegać ze znaczną intensywnością, zwłaszcza w warstwie 0–10 cm, bogatej w „makroskopową” materię organiczną [BURZYŃSKA, BARSZCZEWSKI, SAPEK, 2000; PATRA, JARVIS, HATCH, 1999; SAPEK, BURZYŃSKA, 1996]. Ich wydajność i dynamika zależą od sposobu użytkowania gleb łąkowych. Tam gdzie zaniechano ich rolniczego wykorzystania i pozostawiono bądź to jako nieużytki, bądź też jako tzw. użytki ekologiczne, można się spodziewać odmiennego kierunku przebiegu mineralizacji związków węgla [WEIL, MAGDOFF, 2004; ZAUJEC, 2001]. Zmieniające się obecnie warunki gospodarowania na użytkach zielonych, a ponadto silna antropopresja na środowisko wymagają systematycznych i ciągłych badań zasobności gleb łąkowych w związki węgla oraz ich przemian. Potrzeba wykonywania takich badań wynika z obecnie szeroko propagowanych i realizowanych działań rolnośrodowiskowych, których wytyczne zawierają dokumenty krajowe oraz Unii Europejskiej. Na taką potrzebę wskazuje szczególnie strategia Komisji Europejskiej w zakresie ochrony gleb, w tym przeciwdziałania stratom materii organicznej i zanieczyszczeniu gleb [Dyrektywa (COM(2006) 233)].

Celem pracy była ocena zmian zawartości węgla organicznego i jego rozpuszczalnej formy w mineralnej glebie łąkowej w miarę upływu lat jej użytkowania jako łąki kośnej oraz po jego zaniechaniu. Zagadnienie rozpatrzone na tle nawożenia azotem, zmian odczynu oraz uwilgotnienia gleby.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Na podstawie wyników badań na dwóch długoletnich, ścisłych doświadczeniach łąkowych, założonych w latach 1981–1982 i do dzisiaj kontynuowanych, oceniono zmiany całkowitej zawartości utleniającego węgla organicznego (C-org) oraz rozpuszczalnego węgla organicznego (RWO) w mineralnej glebie łąkowej. Zmiany te rozpatrzone na tle dawki (N₁ – 120, N₂ – 240 kg N·ha⁻¹) i formy nawozu

azotowego (saletry amonowej – AN i saletry wapniowej – CN), a także na tle następczego wpływu wapnowania.

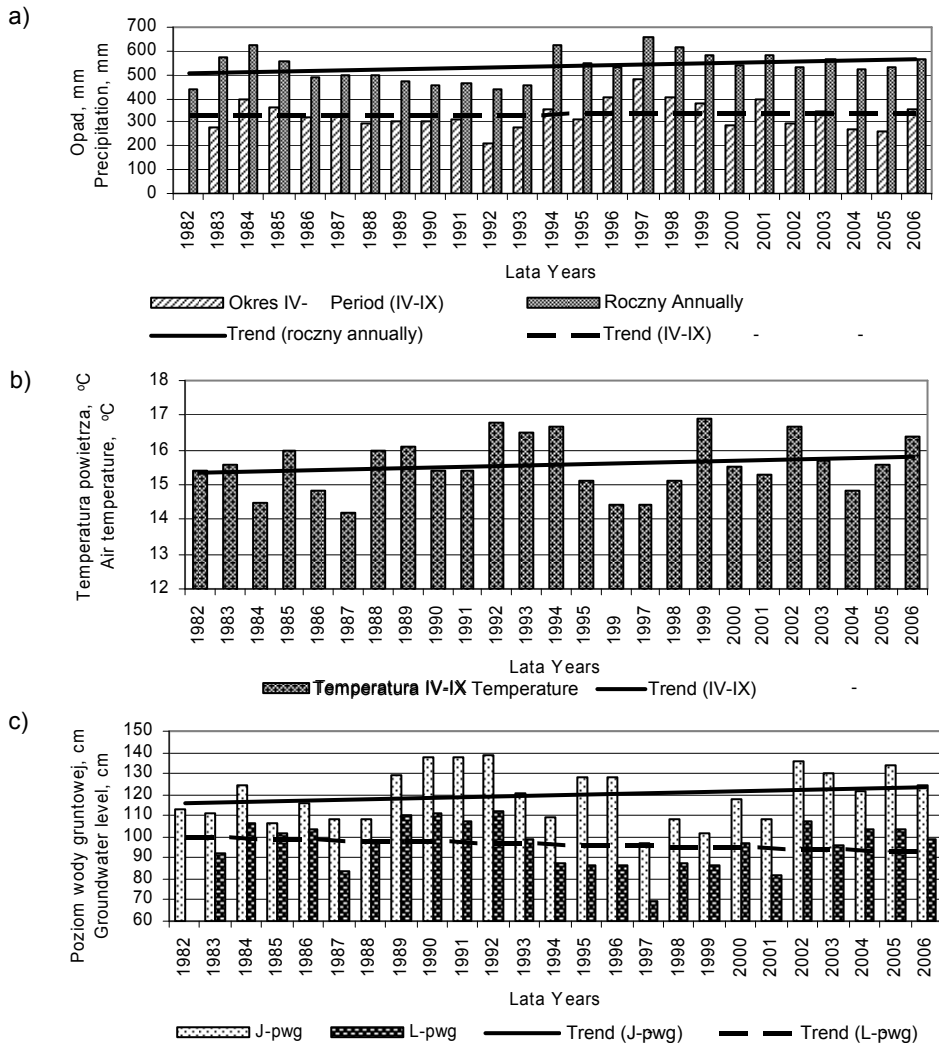
Doświadczenia zlokalizowano w województwie mazowieckim, w miejscowościach Janki (J) i Laszczki (L) na czarnej ziemi zdegradowanej, o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego na doświadczeniu J ($\text{pH}_{\text{KCl}} - 4,5$; zawartość części $<0,02$ mm – 18,4%; C-org – 1,9%) i gliny lekkiej pylastej na doświadczeniu L ($\text{pH-KCl} - 4,3$; zawartość części $<0,02$ mm – 22,4%; C-org – 3,8%). Doświadczenie L założono na 4-letniej łące. Wcześniej teren był użytkowany przemiennie (kośnie-pastwiskowo), a przez trzy lata, przed przywróceniem użytkowania łąkowego, jako pole orne. Doświadczenie L założono na 16-letniej łące, użytkowanej trzykośnie. W runi obu doświadczeń dominowały trawy – na doświadczeniu J z przewagą kupkówki pospolitej (*Dactylis glomerata* L.), tymotki łąkowej (*Phleum pratense* L.) i wiechliny łąkowej (*Poa pratensis* L. s. str.), na doświadczeniu L z przewagą kupkówki pospolitej (*Dactylis glomerata* L.), perzu właściwego (*Agropyron repens* L.) i wiechliny łąkowej (*Poa pratensis* L. s. str.). Doświadczenia założono metodą bloków losowanych w czterech powtórzeniach, z sześcioma obiektami nawozowymi – bez wapnowania (Ca_0N_1 , Ca_0N_2) oraz z wykonanym jednorazowo, na starcie doświadczenia, wapnowaniem węglanem wapnia w dawce wg 1 Hh (Ca_1N_1 , Ca_1N_2) i 2Hh (Ca_2N_1 , Ca_2N_2). Stosowano stałe nawożenie fosforem ($34,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) i potasem ($125 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a od 1991 r. $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) [SAPEK, 1993; 2006]. Począwszy od 1992 r., połowę poletka o powierzchni 50 m^2 nawożono saletrą wapniową. Ponadto od 2004 r. doświadczenie L przeznaczono na poligon do badań wpływu zaniechania rolniczego użytkowania łąki kośnej. Na tym doświadczeniu, w czasie wegetacji, wykonuje się koszenie runi, gdy osiągnie ona wysokość 15 cm i pozostawia ją rozłożoną na powierzchni łąki. Do porównania zmian zawartości C-org i RWO w warunkach łąki użytkowanej i nieużytkowanej obliczano wartości średnie z wyników oznaczeń czterech powtórzeń z każdego obiektu nawozowego.

Zawartość C-org (wyrażoną w % s.m.) w próbkach gleby z doświadczeń J i L, pobranych z warstw 0–5 i 5–10 cm w sześciu (J) i siedmiu (L) latach, w okresie od 1982–2007 r. oznaczono metodą Tiurina, w modyfikacji Orłowa [SAPEK, SAPEK, 1999]. Zawartość RWO (wyrażoną w $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w próbkach z 5-centymetrowych warstw gleby do głębokości 25 cm z doświadczenia L, pobranych w latach 2000, 2004 i 2007, oznaczano w wyciągu $0,01 \text{ mol CaCl}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ metodą spektrofotometryczną za pomocą autoanalyzera przepływowego firmy SKALAR [BURZYŃSKA, 2004]. Badane współzależności oceniono za pomocą współczynnika korelacji Pearsona. Do oceny istotności różnic w wynikach oznaczeń węgla zastosowano analizę wariancji.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

WARUNKI METEOROLOGICZNE, POZIOM WODY GRUNTOWEJ I ODCZYN GLEBY

Oceniono zmiany wielkości opadu i temperatury otoczenia, a także poziomu wody gruntowej (pwg) w glebie z doświadczeń w okresie badań (rys. 1). Linie



Rys. 1. Średnie roczne opady i w okresie wegetacyjnym (IV–IX) (a), temperatura powietrza (IV–IX) w rejonie Falent (b), średni poziom wody gruntowej (c) na doświadczeniach Janki i Laszczki w latach 1982–2006; linie trendu

Fig. 1. Mean annual precipitation and precipitation during vegetation period (IV–IX) (a), air temperature in Falenty region (b), mean groundwater level (c) in Janki and Laszczki experiments in the years 1982–2006; trend lines

trendu zmian w latach 1982–2006 wskazały nieznaczłą tendencję wzrostową średniego rocznego opadu i średniej temperatury otoczenia (rys. 1a, b). Średni opad w okresie wegetacyjnym (IV–IX) wykazywał pewną stabilność (rys. 1a). Średni roczny poziom wody gruntowej (pwg) na doświadczeniu J obniżał się z upływem lat badań ($r = 0,48^*$), a na doświadczeniu L podwyższał się ($r = -0,59^{**}$), co ilustrują linie trendu (rys. 1c). Wraz ze zwiększeniem opadu w okresie wegetacyjnym istotnie podwyższał się zarówno maksymalny, jak i średni pwg na dwóch doświadczeniach (ujemny znak współczynników korelacji r). Wzrostowi temperatury powietrza w okresie IV–IX towarzyszyło na ogół obniżenie średniego rocznego pwg (dodatni znak współczynnika r) (tab. 1).

Tabela 1. Współczynniki korelacji Pearsona między wybranymi parametrami meteorologicznymi w rejonie Falent oraz poziomem wody gruntowej na doświadczeniach w Jankach i Laszczkach w latach 1983–2006¹⁾

Table 1. Pearson's coefficients of correlation between some meteorological parameters in Falenty region and groundwater level in Janki and Laszczki experiments during 1983–2006¹⁾

Parametry Parameters	Poziom wody gruntowej		Groundwater level	
	maksymalny	maximum	średni	mean
	Janki	Laszczki	Janki	Laszczki
Opad (IV–IX) ²⁾ , mm	-0,45*	-0,61**	-0,48*	-0,59**
Precipitation (IV–IX) ²⁾ , mm				
Opad roczny ²⁾ , mm	-0,64**	-0,66*	-0,16	-0,36
Annual precipitation ²⁾ , mm				
Temperatura powietrza (IV–IX) ²⁾ , °C	-0,02	0,21	0,35	0,48*
Air temperature (IV–IX) ²⁾ , °C				

¹⁾ Liczebność populacji wyników $n = 24$.

²⁾ Dane ze stacji meteorologicznej w Falentach.

Objaśnienia: IV–IX – miesiące okresu wegetacyjnego, * istotne, gdy $\alpha = 0,05$, ** istotne, gdy $\alpha = 0,01$.

¹⁾ Number of results $n = 24$.

²⁾ Data from the meteorological station in Falenty.

Explanations: IV–IX – month of vegetation period, * significance at $\alpha = 0.05$, ** significance at $\alpha = 0.01$.

Zobojętniający wpływ wapnowania gleby i jego następcze działanie oraz wpływ nawożenia saletrą wapniową na odczyn gleby wykazano już we wcześniejszych pracach [SAPEK, KALIŃSKA, 1996; SAPEK, SAPEK, BARSZCZEWSKI, 2000]. W niniejszych badaniach stwierdzono silny, zakwaszający wpływ nawożenia saletrą amonową (AN), zwłaszcza dawką $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, gleby uboższej w węgiel i części ilaste z doświadczenia J, co dokumentuje porównanie średnich wartości pH z wszystkich obiektów nawozowych w 1983 i 2007 r. Stosowanie saletry wapniowej (CN) skutecznie przeciwdziało temu procesowi, a w warunkach odczynu słabo kwaśnego i bliskiego obojętnemu stabilizowało uzyskaną wartość pH gleby (tab. 2).

Tabela 2. Odczyn (pH-KCl) 0–10 cm warstwy gleby z obiektów nawozowych doświadczeń w Jankach i Laszczkach w warunkach nawożenia saletrą amonową (AN) oraz saletrą wapniową (CN)

Table 2. Soil pH-KCl of 0–10 cm soil layer from fertilisation objects in Janki and Laszczki experiments in the case of fertilisation with ammonium nitrate (AN) and calcium nitrate (CN)

Doświadczenie Experiment	Lata Years	Forma nawozu ¹⁾ Form of fertiliser ¹⁾	Wartości pH na poszczególnych obiektach nawozowych pH in particular fertilisation objects					
			Ca ₀ N ₁	Ca ₀ N ₂	Ca ₁ N ₁	Ca ₁ N ₂	Ca ₂ N ₁	Ca ₂ N ₂
Janki	1983	AN	4,4	4,3	6,5	6,4	6,9	7,0
	2007	AN	3,7	3,4	3,9	3,5	4,8	3,7
	1992	CN	4,0	3,6	4,8	5,2	6,3	6,2
	2007	CN	5,2	5,6	6,0	6,1	6,4	6,8
Laszczki	1983	AN	4,2	4,3	6,6	6,6	6,8	6,4
	2007	AN	4,2	3,7	5,2	4,1	6,1	5,1
	1995	CN	4,5	4,2	5,8	5,1	6,6	6,7
	2007	CN	5,2	5,4	6,2	5,8	6,6	6,6

¹⁾ Nawożenie CN, począwszy od 1992 r.

Objaśnienia: Ca₀ – obiekt niewapnowany, Ca₁, Ca₂ – wapnowany wg 1Hh i 2Hh, N₁ – 120, N₂ – 240 kg N·ha⁻¹.

¹⁾ CN fertilization since 1992.

Explanations: Ca₀ – not limed object, Ca₁, Ca₂ – objects limed acc. to 1Hh and 2Hh, N₁ – 120, N₂ – 240 kg N·ha⁻¹.

ZAWARTOŚĆ WĘGLA UTLENIALNEGO (C-org)

Średnia zawartość C-org z sześciu obiektów nawozowych doświadczenia J ($x_{Ca,N}$) w warstwie gleby 0–10 cm w latach badań mieściła się w przedziale od 1,33% s.m. w 1982 r. do 2,00% s.m. w 2004 r. (tab. 3). Ta średnia zawartość C-org oraz obliczona dla poszczególnych obiektów nawozowych zwiększała się wraz z upływem lat badań, co dokumentują istotne, poza jednym przypadkiem, współczynniki korelacji Pearsona (tab. 3). Wartości współczynnika zmienności ($W_2\%$) w latach badań (największy 18,4%) wskazują na stosunkowo niewielkie zmiany zawartości C-org, a także na pewien wpływ większej dawki azotu (N₂) na tę zawartość (tab. 3).

W glebie doświadczenia L, znacznie bogatszej w C-org i części <0,02 mm, a także o korzystniejszych warunkach wilgotnościowych zmiany zawartości C-org przebiegały odmiennie (tab. 4). Większe wartości współczynników zmienności średnich z poszczególnych obiektów nawozowych w latach badań ($W_1\%$) wynikają ze znacznie większej zawartości C-org w glebie tego doświadczenia w 1995 r. Prawdopodobnie, była ona spowodowana lokalnymi zmianami właściwości glebowo-wodnych na doświadczeniu (tab. 4). Po wykluczeniu wyników z 1995 r. zmniejszanie zawartości C-org w glebie wraz z upływem czasu wykazano tylko w przypadku obiektów uprzednio niewapnowanych (Ca₀), na co wskazują statystycznie udowodnione, ujemne współczynniki korelacji (tab. 4).

Tabela 3. Średnia zawartość utleniającego węgla organicznego (C-org) w 0–10 cm warstwie gleby niewapnowanej i wapnowanej z długoletniego doświadczenia w Jankach w warunkach nawożenia saletrą amonową w latach 1982–2004

Table 3. Mean content of oxidisable organic carbon (C-org) in 0–10 cm soil layer of not limed and limed soil from long-term Janki experiment fertilised with ammonium nitrate in 1982–2004

Lata Years	Zawartość C-org (% s.m.) na poszczególnych obiektach nawozowych Content of C-org. (% of DM) on particular fertilisation objects						Średnio Mean $x_{Ca, N}$	$W_1, \%$
	Ca_0N_1	Ca_0N_2	Ca_1N_1	Ca_1N_2	Ca_2N_1	Ca_2N_2		
1982	1,27	1,32	1,27	1,35	1,38	1,35	1,33	4,10
1983	1,60	1,96	1,51	1,90	2,08	1,84	1,82	12,85
1985	1,57	1,61	1,73	1,69	1,68	1,79	1,68	5,40
1986	1,49	1,50	1,55	1,60	1,57	1,65	1,56	4,30
1995	1,60	1,81	1,74	1,74	2,01	1,75	1,78	10,25
2004	1,87	2,24	1,79	2,15	1,92	2,03	2,00	12,70
2007	1,71	2,10	1,78	2,00	1,93	2,05	1,93	7,8
Średnio Mean	1,59	1,79	1,62	1,78	1,80	1,78	1,72	
$W_2, \%$	11,3	18,4	11,7	15,2	14,4	13,5	13,4	
r	0,78*	0,79*	0,75*	0,76*	0,49	0,77*	0,77*	

Objaśnienia: opis obiektów nawozowych, jak pod tabelą 2; $W_1, \%$ – współczynnik zmienności dla obiektów nawozowych, $W_2, \%$ – współczynnik zmienności dla lat badań, r – współczynnik korelacji Pearsona (lata \times C-org), * istotne gdy $\alpha = 0,05$, ** istotne gdy $\alpha = 0,01$.

Explanations: description of fertilisation objects as under Table 2; $W_1, \%$ – variability coefficient for fertilisation objects, $W_2, \%$ – variability coefficient for the study years, r – Pearson's coefficient of correlation (years \times C-org); * significance at $\alpha = 0,05$, ** significance at $\alpha = 0,01$.

Tabela 4. Średnia zawartość utlenialnego węgla organicznego (C-org) w 0–10 cm warstwie gleby niewapnowanej i wapnowanej z długoletniego doświadczenia w Laszczkach w warunkach nawożenia saletrą amonową, w latach 1983–2007

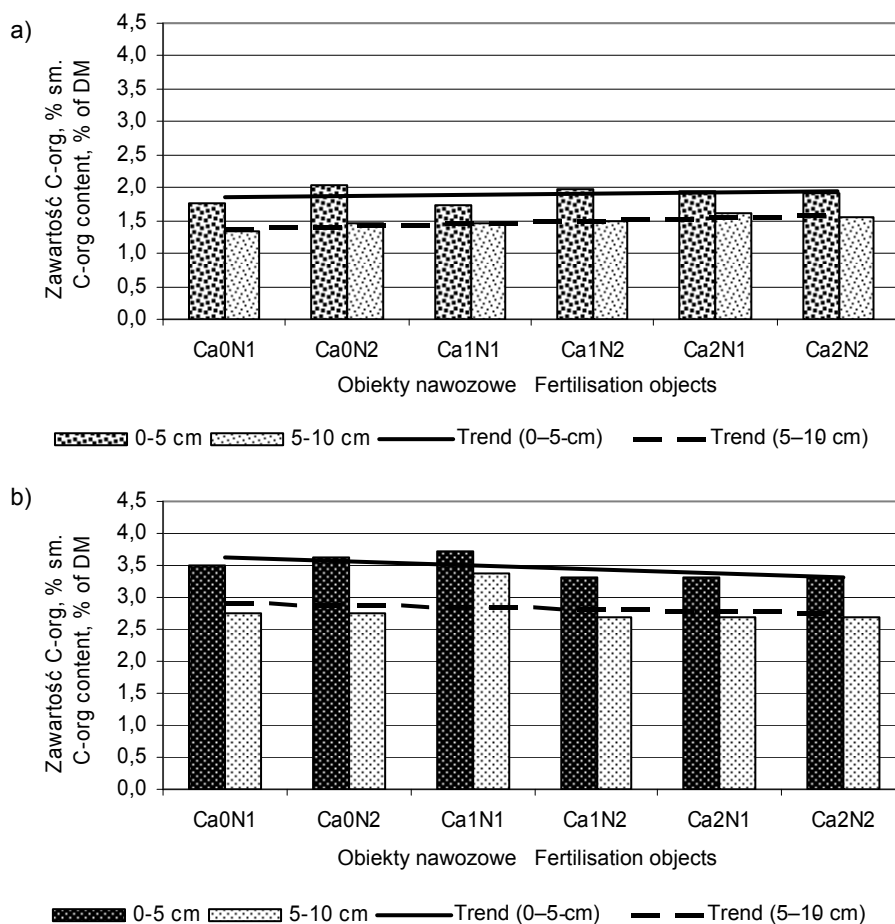
Table 4. Mean content of oxidisable organic carbon (C-org) in 0–10 cm soil layer of not limed and limed soil from long-term Laszczki experiment fertilised with ammonium nitrate in 1983–2007

Lata Years	Zawartość C-org, % s.m. na poszczególnych obiektach nawozowych Content of C-org, % DM on particular fertilization objects							Średnio Mean $x_{Ca, N}$	$W_1, \%$
	Ca_0N_1	Ca_0N_2	Ca_1N_1	Ca_1N_2	Ca_2N_1	Ca_2N_2	Ca_2N_2		
1983	2,99	3,40	2,98	3,04	2,56	3,10	3,01	8,90	
1985	2,91	2,95	3,40	2,71	2,66	2,82	2,91	9,15	
1986	3,20	3,24	3,65	2,96	2,93	2,76	3,12	10,15	
1995	4,44	3,82	4,78	3,67	3,78	3,79	4,05	11,75	
2000	2,72	2,99	3,43	2,97	2,81	2,61	2,92	10,75	
2004	2,69	3,05	3,53	2,85	2,81	2,83	2,96	11,25	
2007	2,31	2,04	3,12	2,72	2,61	2,85	2,60	8,80	
Średnio Mean	3,09	3,15	3,55	2,99	2,88	2,96	3,1		
$W_2, \%$	23,9	20,3	16,9	15,4	15,6	15,5	16,4		
r_1	-0,33	-0,54	0,04	-0,11	0,06	-0,12	-0,14		
r_2	-0,88**	-0,70*	0,04	-0,38	0,09	-0,41	-0,66		

Objaśnienia: r_1 – współczynnik korelacji Pearsona (lata \times C-org) dla wszystkich lat badań, r_2 – współczynnik korelacji Pearsona (lata \times C-org) z wykluczeniem 1995 r., pozostałe, jak pod tabelami 2. i 3.

Explanations: r_1 – Pearson's coefficient of correlation (years \times C-org) for all study years, r_2 – Pearson's coefficient of correlation (years \times C-org) for all years excluding 1995, others as under Tables 2 and 3.

Nie stwierdzono istotnej współzależności między zawartością C-org w glebie kolejnych obiektów nawozowych a jej odczynem. Jednak kierunek zmian zawartości C-org w warstwach gleby 0–5 i 5–10 cm z kolejnych 6 obiektów nawozowych (Ca_0N_1 , Ca_0N_2 , Ca_1N_1 i Ca_1N_2 , Ca_2N_1 i Ca_2N_2) doświadczenia L wskazywały na tendencję do zmniejszania się zawartości C-org wraz ze zwiększeniem wartości pH, tj. odkwaszaniem gleby, co ilustrują linie trendu na doświadczeniu L (rys. 2b). W takim bowiem kierunku zwiększa się wartość pH badanych gleb (tab. 2). Linie



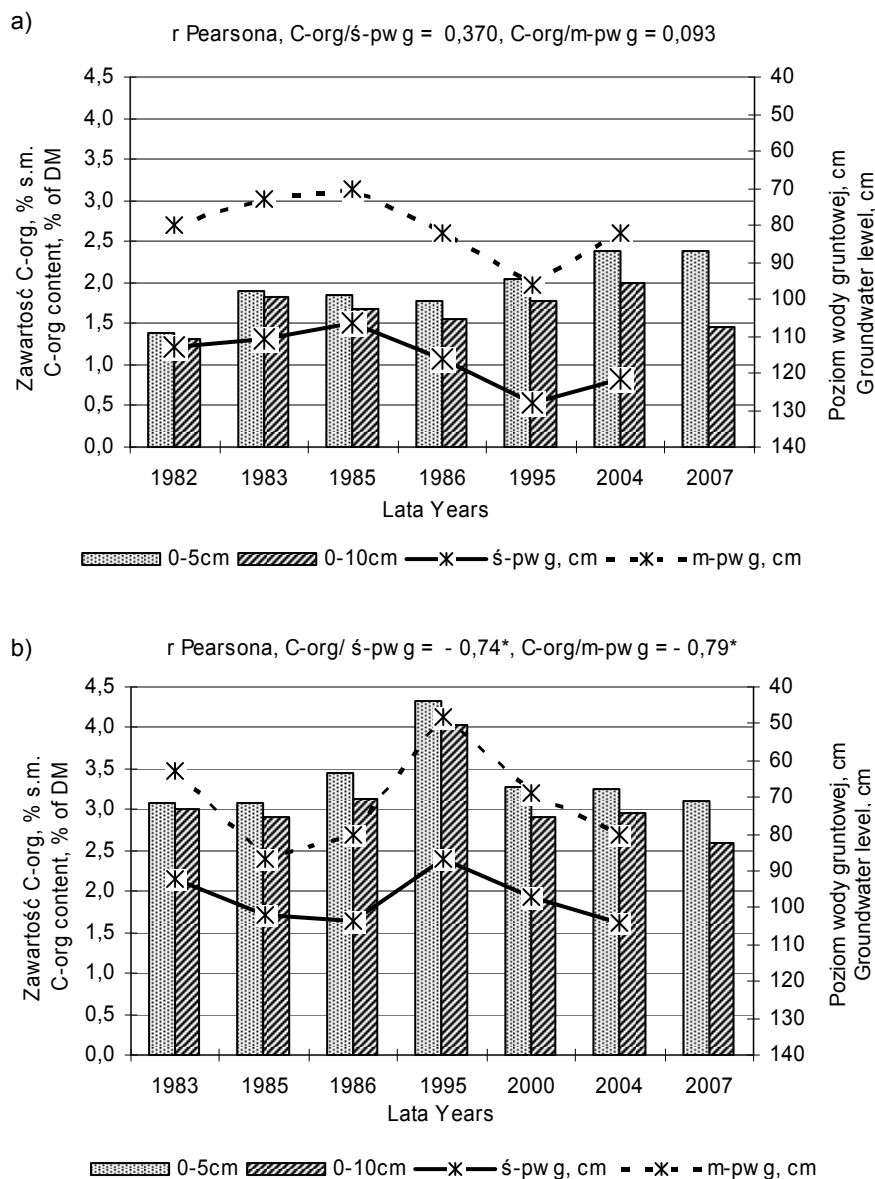
Rys. 2. Średnie z lat 1983–2007 zawartości węgla organicznego (C-org) w 0–5 i 5–10 cm warstwie gleby z obiektów nawozowych na doświadczeniu w Jankach (a) i w Laszczkach (b); obiekty: Ca_0 – niewapnowane, Ca_1 – wapnowane wg 1Hh, Ca_2 – wapnowane wg 2Hh, N_1 – 120 kg $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$, N_2 – 240 kg $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$; linie trendu

Fig. 2. Mean from the years 1983–2007 contents of organic carbon (C-org) in 0–5 and 5–10 cm soil layer of fertilisation objects in Janki (a) and Laszczki (b) experiments; objects: Ca_0 – not limed, Ca_1 – limed according to 1Hh, Ca_2 – limed according to 2Hh, N_1 – 120 kg $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$, N_2 – 240 kg $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$; trend lines

trendu zmian w glebie doświadczenia J, znacznie uboższej w węgiel i części ilaste oraz o mniej korzystnych warunkach wilgotnościowych, wskazują na odwrotny kierunek zmian, co mogłoby świadczyć o tendencji do akumulacji węgla wraz ze zmniejszeniem zakwaszenia gleby (rys. 2a). Wcześniej taką zależność stwierdziły SAPEK i BURZYŃSKA [1996]. Ponadto autorki wykazały, że zwiększenie zawartości wapnia i związane z tym większe pH gleby może przeciwdziałać ewentualnym stratom węgla organicznego w przypadku nadmiernych dawek saletry amonowej. W innym doświadczeniu, w warunkach łąki trwałej deszczowanej, obserwowano natomiast zwiększenie zawartości C-org pod wpływem dużych dawek azotu ($360 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) zarówno w formie mineralnej, jak i mineralno-organicznej [BURZYŃSKA, BARSZCZEWSKI, SAPEK, 2000]. W niniejszych badaniach obserwowano jedynie pewną tendencję dodatniego wpływu większej dawki azotu (N_{240}) na zawartość C-org w glebie niektórych obiektów nawozowych (tab. 3, 4). Wykazano ponadto, iż uprzednie wapnowanie i nawożenie azotem oraz związany z tym słabo kwaśny odczyn gleby na obiekcie Ca_1N_1 najbardziej sprzyjały akumulacji węgla na doświadczeniu L, co już obserwowano wcześniej [SAPEK, BURZYŃSKA, 1996] (tab. 4). DĘBSKA i GONET [2002] nie stwierdzili istotnych zmiany zawartości C-org w ornej glebie płowej po 20 latach nawożenia azotem.

Jak wykazano na początku rozdziału, kierunek zmian poziomu wody gruntowej na dwóch doświadczeniach był przeciwstawny (rys. 1c). Również linie trendu zmian zawartości C-org w glebie kolejnych obiektów nawozowych przebiegały w przeciwnym kierunku na dwóch doświadczeniach, co może być związane z odmiennością panujących tam warunków glebowo-wodnych (rys. 2a, b). Można przypuszczać, że obserwowane większe zawartości C-org są skutkiem podwyższenia pwg i większego uwilgotnienia gleby, co sprzyja akumulacji węgla. Wskazuje na to, stwierdzone w warstwie gleby 0–10 cm na doświadczeniu L, istotne zwiększenie średniej zawartości C-org wraz z podwyższeniem średniego rocznego poziomu wody gruntowej (ś-pwg, $r = -0,74^*$), a jeszcze bardziej maksymalnego (m-pwg, $r = 0,79^*$) (rys. 3b). PATRA, JARWIS i HATCH [1999] zwracają szczególną uwagę na dużą, potencjalną zdolność do mineralizacji makroskopowej materii organicznej w warstwie gleby łąkowej 0–10 cm. Nie stwierdzono istotnej zależności zawartości C-org od pwg w glebie ubogiej w ten składnik i o gorszych warunkach wilgotnościowych na doświadczeniu J. Dodatni znak współczynników korelacji wskazuje na tendencję jej wzbogacania w węgiel wraz z obniżeniem pwg (rys. 3a).

Wpływ zaniechania rolniczego użytkowania łąki kośnej, tj. braku nawożenia oraz sprzętu trzech pokosów roślinności, na tle formy saletry, przedstawiono na przykładzie średnich wyników z wszystkich obiektów nawozowych w latach badań 2000, 2004 i 2007 na doświadczeniu L, przeznaczonym na te badania od 2004 r. Zawartości C-org w czasach użytkowania łąki, podane na przykładzie 2000 r. oraz w okresie braku użytkowania rolniczego (2004–2007), były częściowo podobne w przypadku stosowania saletry amonowej. Stwierdzono jedynie statystycznie udowodnione zmniejszenie zawartości C-org w warstwie gleby 5–10 cm (tab. 5).



Rys. 3. Średnie z 6 obiektów nawozowych zawartości C-org w warstwie gleby 0–5 i 0–10 cm oraz średnie (ś-pwg) i maksymalne (m-pwg) poziomy wody gruntowej w latach 1983–2007 na doświadczeniu w Jankach (a) i na doświadczeniu w Laszczkach (b); współczynniki korelacji Pearsona dla C-org w warstwie gleby 0–10 cm i poziomu wody gruntowej

Fig. 3. Mean from 6 fertilisation objects contents of organic carbon in 0–5 and 0–10 cm soil layer and mean (ś-pwg) and maximum (m-pwg) groundwater levels in 1983–2007 in Janki (a) and Laszczki (b) experiment; Pearson's correlation coefficients for C-org in 0–10 cm soil layer and groundwater level

Tabela 5. Średnie zawartości utleniającego węgla organicznego (C-org) oraz rozpuszczalnego węgla organicznego (RWO)¹⁾ w glebie z doświadczenia w Laszczkach w warunkach użytkowania łąki kośnej (2000 r.) i po jego zaniechaniu (lata 2004 i 2007) z obiektów nawożonych saletrą amonową (AN) i saletrą wapniową (CN)

Table 5. Mean content of oxidisable organic carbon (C-org) and dissolved organic carbon (DOC)¹⁾ in the soil from under mown meadow (Laszczki 2000) and after abandonment of agricultural use (2004 and 2007) in objects fertilised with ammonium nitrate (AN) and calcium nitrate (CN)

Forma węgla Form of carbon	Warstwa Layer cm	n	AN			CN		
			2000	2004	2007	2000	2004	2007
C-org, % sm.	0–5	24	3,28	3,25	3,29	3,16	3,17	2,96*
C-org, % of DM	5–10	24	2,57	2,67	2,37**	2,59	2,52	2,62
RWO, mg·kg ⁻¹ sm.	0–5	24	32,2	27,7	15,2**	28,9	18,2**	12,0**
DOC, mg·kg ⁻¹ DM	5–10	24	22,1	22,8	13,8**	25,1	16,4**	11,4**

¹⁾ Średnia wartość dla wszystkich 6 obiektów nawozowych.

Objaśnienia: n – liczebność próbek, * różnice istotne, gdy $\alpha = 0,05$, ** różnice istotne, gdy $\alpha = 0,01$;

¹⁾ Mean value for all 6 fertilisation objects.

Explanations: n – number of samples, * differences significance at $\alpha = 0.05$, ** at $\alpha = 0.01$.

W glebie z obiektów uprzednio nawożonych saletrą wapniową istotne zmniejszenie zawartości C-org wykazano w warstwie gleby 0–5 cm po 4 latach braku rolniczego użytkowania doświadczenia.

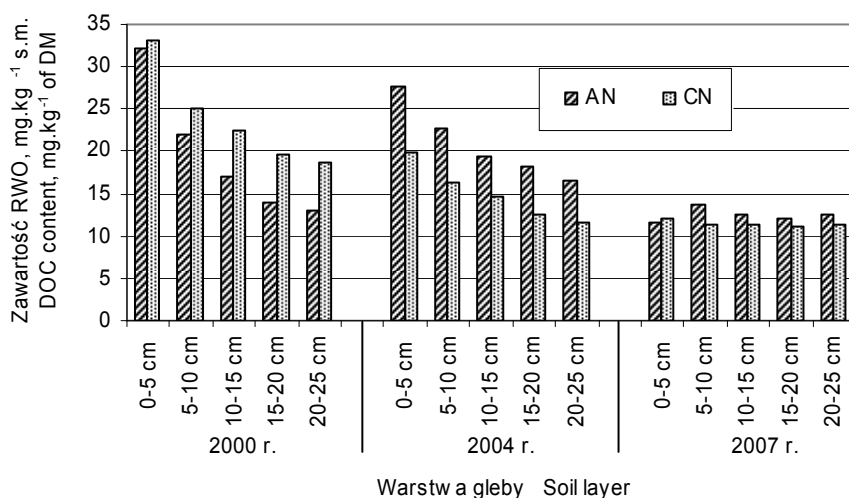
Rozważając zmiany zawartości C-org w glebie na obydwóch doświadczeniach – J i L, należy zwrócić uwagę na odmiennosc panujących tam warunków wilgotnościowych oraz różną zasobność w węgiel i części ilaste, a także historię obu łąk przed ich założeniem. Pierwsze z nich zostało założone na glebie stosunkowo uboższej w C-org i części ilaste oraz o niskim poziomie wody gruntowej, co skutkowało uwilgotnieniem gleby mniej korzystnym do mineralizacji materii organicznej. Wykazane obniżanie poziomu wody gruntowej wraz z upływem lat badań mogło, w warunkach tego doświadczenia, sprzyjać wzbogacaniu gleby w węgiel, czego jednak statystycznie nie udowodniono. W glebie doświadczenia L, zasobniejszej w węgiel i części ilaste oraz o lepszym uwilgotnieniu, stwierdzono natomiast istotne zwiększenie C-org wraz z podwyższeniem poziomu wody gruntowej, co wskazuje na panujące w niej korzystne warunki glebowo-wodne do akumulacji węgla.

ZAWARTOŚCI ROZPUSZCZALNEGO WĘGLA ORGANICZNEGO (RWO)

Średnie zawartości RWO w porównywanych warstwach gleby 0–5 i 5–10 cm w warunkach zaniechania użytkowania łąki (lata 2004, 2007) w porównaniu ze stwierdzonymi w 2000 r., reprezentującymi wieloletnie jej użytkowanie, znacznie się zmniejszyły (tab. 5). Jak wskazuje ZSOLNAY [2001], rozpuszczalna forma ma-

terii organicznej, mimo że stanowi względnie małą część (<1%) całkowitej jej ilości, jest nadzwyczaj mobilna i jest czułym wskaźnikiem zmian w środowisku, zwłaszcza w glebie. Można przyjąć, że rozpuszczalna forma węgla może być dobrym wskaźnikiem przemian organicznych związków węgla w glebach łąkowych w wyniku zmian ich użytkowania.

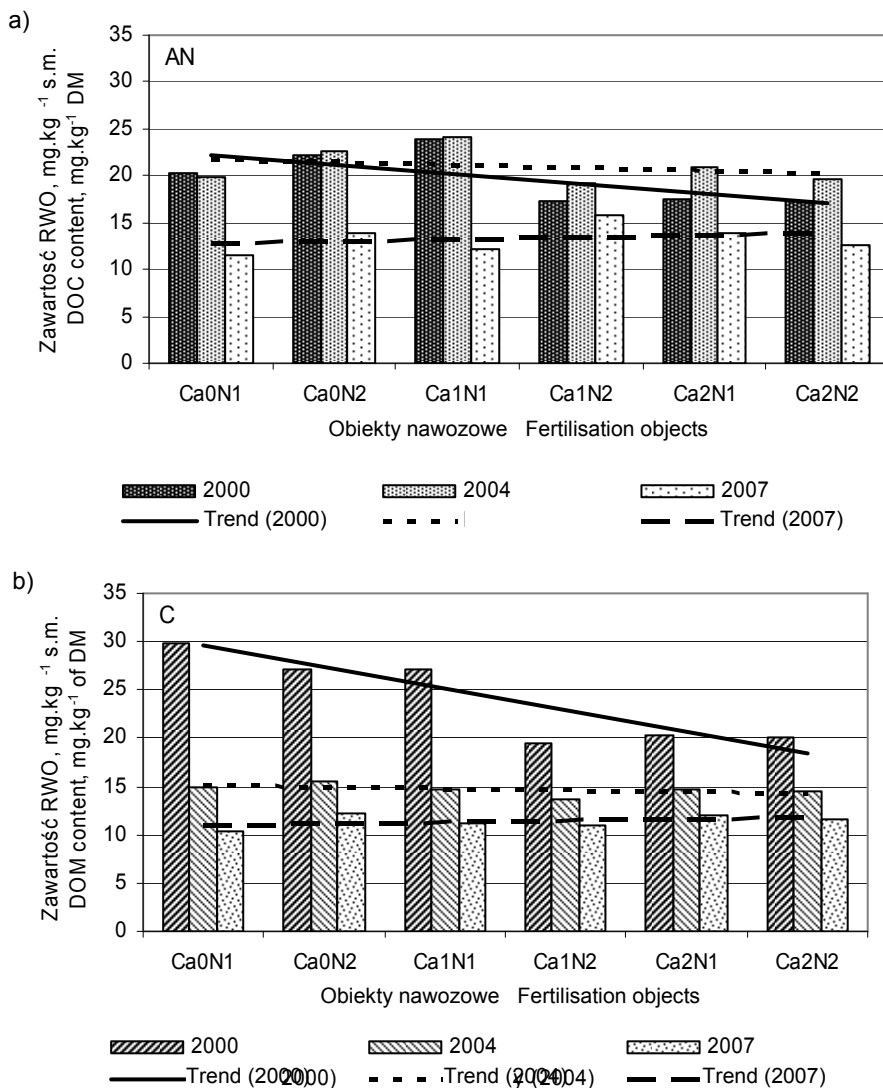
W warunkach użytkowania łąki nawożenie saletrą wapniową sprzyjało zwiększeniu zawartości RWO w 5-centymetrowych warstwach gleby do głębokości 25 cm (rys. 4). Wskazywałoby to na wpływ jonów wapnia, systematycznie wprowadzanych w tych warunkach do gleby z nawozem, na uwalnianie tej formy węgla [SCHUMAN, 2000]. W glebie z obiektów niewapnowanych (Ca_0) zaznaczył się również wpływ większej dawki azotu (N_2) na zawartość w niej RWO – dodatni po nawożeniu AN, a ujemny po stosowaniu CN (rys. 5a, b). DĘBSKA i GONET [2002] nie stwierdzili istotnego wpływu mineralnego nawożenia azotem na zawartość RWO w glebie ornej.



Rys. 4. Średnie zawartości rozpuszczalnego węgla organicznego (RWO) z 6 obiektów nawozowych w warstwach profilu gleby z doświadczenia w Laszczkach, na tle działania saletry amonowej (AN) i saletry wapniowej (CN) w warunkach użytkowania łąki koźziej (2000 r.) i po jego zaniechaniu (lata 2004 i 2007)

Fig. 4. Mean contents of dissolved organic carbon (DOC) from 6 fertilisation objects in layers of soil profiles from Laszczki experiment on the background of ammonium nitrate (AN) and calcium nitrate (CN) effect in mown meadow (2000) and after abandonment of mowing (2004 and 2007)

W latach zaniechania użytkowania łąki stwierdzono zróżnicowany wpływ dwóch form saletry na zawartość RWO w glebie. W przypadku uprzedniego nawożenia CN istotny wpływ braku użytkowania łąki wystąpił w obydwóch warstwach gleby już w pierwszym roku (2004), a w glebie nawożonej AN dopiero po 4



Rys. 5. Średnie zawartości rozpuszczalnego węgla organicznego (RWO) w warstwie gleby 0–25 cm z obiektów nawozowych na doświadczeniu w Laszczkach w warunkach rolniczego użytkowania łąki kośnej (2000 r.) i po jego zaniechaniu (lata 2004 i 2007) na tle nawożenia saletrą amonową (AN) (a) i saletrą wapniową (b); obiekty: opis, jak na rys. 2; linie trendu

Fig. 5. Mean contents of dissolved organic carbon (DOC) in 0–25 cm soil layer from under mown meadow (2000) and after mowing abandonment (2004 and 2007) from fertilisation objects in Laszczki experiment on the background of ammonium nitrate fertilisation (AN) (a) and calcium nitrate fertilisation (CN) (b); objects: explanations as in Fig. 2; trend lines

latach (2007 r.) (tab. 5). Zawartość RWO była mniejsza w glebie o odczynie znacznie mniej kwaśnym i bliskim obojętnemu, uprzednio nawożonej saletrą wapniową (objekty Ca_2N_1 i Ca_2N_2), niż w glebie nawożonej saletrą amonową (rys. 5, tab. 2). Można sądzić, że w warunkach nieużytkowania łąki pozostały z uprzedniego nawożenia CN zapas jonów wapnia w glebie stabilizuje strukturę materii organicznej, co w tych warunkach zmniejsza uwalnianie z niej RWO [SCHUMAN, 2000]. To zmniejszenie może wskazywać na sekwestrację węgla, natomiast zwiększenie zawartości tej formy węgla może sprzyjać jego wymywaniu i stratom [ZSOLNAY, 2001].

Zróznicowany wpływ dwóch form saletry oraz zmniejszenie zawartości rozpuszczalnego RWO po zaniechaniu rolniczego użytkowania łąki stwierdzono w warstwach gleby do głębokości 25 cm. Największe zróżnicowanie, a także zubożenie w RWO wierzchniej, 10-centymetrowej warstwy gleby, uprzednio nawożonej CN obserwowano w pierwszym roku po zaniechaniu użytkowania – 2004 r. (rys. 4). Po upływie 4 lat zawartość RWO, znacznie mniejsza w warunkach nawożenia obiema formami saletry, stabilizowała się, zwłaszcza w glebie uprzednio nawożonej CN (rys. 4). Ustalanie równowagi tworzenia się RWO w glebie kolejnych obiektów nawozowych doświadczenia w latach użytkowania łąki i jego zaniechania ilustrują linie trendu zmian średniej jego zawartości w warstwie 0–25 cm (rys. 5a, b). Prezentowana kolejność obiektów nawozowych odpowiada kierunkowi zwiększenia wartości pH gleby (tab. 2). W warunkach użytkowania łąki (2000 r.) kierunek linii trendu zmian zawartości RWO w glebie wskazuje na jego zmniejszenie wraz z odkwaszeniem gleby. W glebie obiektów nawożonych AN nie stwierdzono istotnej zależności między zawartością RWO i pH (rys. 5a), natomiast w przypadku gleby nawożonej CN wykazano istotne zmniejszenie zawartości tej formy węgla w miarę zwiększania się wartości pH gleby ($r = -0,83^{**}$) (rys. 5b). Wraz z upływem czasu od zaniechania użytkowania łąki, tj. nawożenia i zbioru plonu, wpływ odczynu gleby zanika, co wymaga pogłębienia badań tego zjawiska (rys. 5a, b).

WNIOSKI

1. Zmiany zawartości utleniającego węgla organicznego (C-org) w glebie łąkowej użytkowanej kośnie w ponad 20-letnim okresie badań zależały, w głównej mierze, od jej zasobności w węgiel i części ilaste oraz od panujących w niej warunków wilgotnościowych. Odczyn gleby i nawożenie azotem wpływały na te zmiany w mniejszym stopniu.

2. W glebie łąkowej, zasobnej w C-org i części ilaste, o korzystnych warunkach wilgotnościowych, sprzyjających mineralizacji materii organicznej, istnieje możliwość ubytku węgla w miarę upływu lat. W takich warunkach podwyższenie poziomu wody gruntowej będzie przeciwdziało temu procesowi.

3. Mimo obniżania poziomu wody gruntowej, stwierdzona akumulacja C-org w glebie łąkowej ubogiej w węgiel organiczny i części ilaste oraz o niekorzystnych warunkach wilgotnościowych wskazuje na ograniczoną intensywność mineralizacji glebowej materii organicznej.

4. Zaniechaniu rolniczego użytkowania łąki końskiej towarzyszyło zmniejszenie zawartości rozpuszczalnego węgla organicznego (RWO), czemu sprzyjała obecność jonów wapnia w glebie i uprzednie jej nawożenie azotem w formie saletry wapniowej. Ta forma węgla może być dobrym oraz prostym w oznaczeniu wskaźnikiem dynamiki tego pierwiastka w środowisku.

LITERATURA

- BURZYŃSKA I., 2004. Współzależność między zawartością RWO w roztworze ekstrakcyjnym a wybranymi składnikami mineralnymi w wodach gruntowych. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* t. 4 z. 2a(11) s. 525–535.
- BURZYŃSKA I., BARSZCZEWSKI J., SAPEK B., 2000. Następczy wpływ nawożenia mineralnego i organiczno-mineralnego na zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego w glebie łąki trwałej deszczowanej. *Wiad. IMUZ* t. 21 z. 1 s. 21–29.
- CONEN F., YAKUTIN M.V., SAMBUU A.D., 2003. Potential for detecting changes in soil organic carbon concentration resulting from climate change. *Global Change Biol.* 9 s. 1515–1520.
- DĘBSKA B., GONET S., 2002. Wpływ zmianowania oraz nawożenia obornikiem i azotem na zawartość węgla rozpuszczalnego w glebie pyłowej. *Nawozy Nawożenie* 1 s. 209–210.
- Dyrektywa (COM(2006) 233).
- LAL R. 2000. Węgiel glebowy i nasilenie efektu cieplarnianego. *Zesz. Edukac.* 6. Falenty: Wydaw. IMUZ s. 22–36.
- PATRA A.K., JARVIS S.C., HATCH D.J., 1999. Nitrogen mineralization in soil layers, soil particles and macro-organic matter under grassland. *Biol. Fertil. Soils.* 29 s. 38–45.
- SAPEK A., SAPEK B., 2006. Mineralizacja związków azotu w glebie łąki nawożonej różnymi dawkami azotu i nawadnianej deszczownicą. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 513 s. 355–364.
- SAPEK A., SAPEK B., BARSZCZEWSKI J., 2000. Plon i zawartość wybranych składników mineralnych w roślinności łąki trwałej na tle nawożenia saletrą amonową i wapniową. *Wiad. IMUZ* t. 21 z. 1 s. 676–87.
- SAPEK B., 1993. Studia nad wapnowaniem trwałego użytku zielonego na glebie mineralnej. *Rozpr. Habil. Falenty: Wydaw. IMUZ* ss. 93.
- SAPEK B., 2006. Przedmowa. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* t. 6 z. specj. (17) s. 5–6.
- SAPEK B., BURZYŃSKA I., 1996. Effect of liming on organic carbon content in the mineral soil of permanent grassland. *Pol. J. Soil Sci.* t. 29/2 s. 113–120.
- SAPEK B., KALIŃSKA D., 1996. Modelowanie przebiegu zmian odczynu gleby oraz zawartości i pobrania składników mineralnych przez rośliny w wieloletnich doświadczeniach łąkowych. *Wiad. IMUZ* t. 19 z. 1 s. 173–194.
- SAPEK B., SAPEK A., 1999. Oznaczanie węgla organicznego w glebach łąkowych. W: *Przewodnik metodyczny do badań materii organicznej gleb.* Pr. zbior. Red. H. Dziadowiec, S. Gonet. Pr. Kom. Nauk. PTG 120 s. 5–57.
- SCHUMAN G., 2000. Effect of CaCl₂ on the kinetics of dissolved organic matter release from sandy soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163 s. 523–529.

- SMITH P., 2004. How long before a change in soil organic carbon be detected? *Global Change Biol.* 10 s. 1878–1883.
- WEIL R.R., MAGDOFF F., 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. W: Soil organic matter in sustainable agriculture. Pr. zbior. Red. F. Magdoff, R.R. Weil. London: CRC Press.
- ZAUJEC A., 2001. Soil organic matter as indicator of soil quality and human influences on agroecosystem and natural forest ecosystem. W: Soil anthropization. Pr. zbior. Red. J. Sobocka. 6 Proc. Intern. Workshop Bratislava, Slovakia s. 165–174.
- ZSOLNAY A., 2001. The prediction of the environmental function of the dissolved organic matter (DOM) in ecosystems. ESF Exploratory Workshop. Beilngries, Germany. Sci. Report s. 1–18.

Barbara SAPEK, Irena BURZYŃSKA

**ORGANIC CARBON IN A MEADOW SOIL
IN RELATION TO MEADOW UTILISATION, FERTILISATION AND HUMIDITY**

Key words: dissolved organic carbon (DOC), fertilization, groundwater level, mineral meadow soil, oxidizable organic carbon (C-org), utilisation

S u m m a r y

The changes of oxidizable organic carbon (C-org) content and of dissolved organic carbon (DOC) extracted with 0.01 M $\text{CaCl}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ from mineral soils of two meadow experiments were estimated during more than 20 years study period when meadows were mown and after abandonment of their utilisation. The changes of carbon content were confronted with doses and forms of nitrogen fertilizer and soil pH resulting from liming and calcium nitrate fertilization. Observed changes of organic carbon content and their direction depended chiefly on soil richness in carbon and clay particles and on soil humidity determined by groundwater level. Organic carbon in C-poor meadow soils was observed to accumulate with time. The loss of carbon was possible from C-rich meadow soil containing much clay particles under conditions favouring the mineralization of organic matter.

The decrease of DOC content in the soil was confirmed after abandonment of agricultural use of mown meadows, which was further enhanced by the presence of calcium ions, particularly in the case of previous fertilization with calcium nitrate. This mobile form of carbon could be a good and simple to determine indicator of the carbon dynamics in the environment.

Recenzenci:

prof. dr hab. Jerzy Drozd

prof. dr hab. Jan Gliński

Praca wpłynęła do Redakcji 17.03.2008 r.