

MAŁGORZATA NAZARKIEWICZ, JANINA KANIUCZAK

Katedra Gleboznawstwa, Chemii Środowiska i Hydrologii, Uniwersytet Rzeszowski

WPLYW WAPNOWANIA I NAWOŻENIA MINERALNEGO NA ODCZYN, Kwasowość hydrolityczną, wymienną ORAZ ZAWARTOŚĆ GLINU WYMIENNEGO W GLEBIE PŁOWEJ

THE EFFECT OF LIMING AND MINERAL FERTILIZATION ON THE REACTION, HYDROLITIC ACIDITY, EXCHANGEABLE ACIDITY AND CONTENT OF EXCHANGEABLE ALUMINIUM IN HAPLIC LUVISOLS

Abstract: The research was carried out on a permanent fertilised field in the area of the Rzeszów Foothills in 1998–2001 with Haplic Luvisols developed from loess. Pasture sunflower, winter wheat, potatoes and spring barley were cultivated in a 4-year cropping system. Different mineral fertilizers NPK with constant Mg fertilization and different mineral fertilization NPK with constant Mg and Ca fertilization were applied in the experiment. Liming was applied in the form of CaO (at the dose of 2.86 t Ca-ha⁻¹). The experiment included 14 fertilizer objects, in 4 repetitions according to the random sub-blocks method. Analysis of variance (ANOVA) was applied in statistic processing for double classification: liming (A) and mineral fertilization (B) independently of liming. The tests showed that liming decreased the hydrolytic and exchangeable acidity and decreased the exchangeable Al content in the Ap (0–25 cm) and Bt (26–50 cm) horizons. Mineral fertilization without liming raised the hydrolytic acidity in the Ap and Bt horizons, and also increased the exchangeable acidity and the exchangeable Al content in the Ap horizons. The combined effect of liming and mineral fertilization decreased the exchangeable Al content in the Ap horizon.

Słowa kluczowe: gleba płowa, wapnowanie, nawożenie mineralne, kwasowość hydrolityczna, kwasowość wymienna, glin wymienny

Key words: Haplic Luvisols, liming, mineral fertilization, hydrolytic acidity, exchangeable acidity, exchangeable aluminium

WSTĘP

Jednym z poważniejszych problemów występujących w produkcji rolnej jest nadmierne i stale utrzymujące się zakwaszenie gleb, które ogranicza plon roślin i pogarsza jego jakość [Filipek 1998; Strączyński 1999]. Przyczynami zakwaszenia gleb są czynniki przyrodnicze i antropogeniczne [Siuta 1993; Turski 1993].

Nadmierne zakwaszenie gleby to poważny czynnik degradacji i znaczne zagrożenie dla jej wartości ekologicznych. Związane jest to z wieloma niekorzystnymi przemianami składników pokarmowych w glebach, z czym wiąże się z jednej strony ograniczenie pobierania fosforu, magnezu, wapnia, molibdenu [Kaczor 1998; Kaniuczak 1995; Kaniuczak i in. 2000; Mercik 1997], a z drugiej nadmierne pobieranie cynku, manganu, kadmu, ołowiu, niklu, glinu lub siarki [Kaczor 1998; Kaniuczak 1996, 1997].

Wieloletnie stosowanie wyłącznie nawożenia mineralnego, z pominięciem zabiegu wapnowania, powodowało zakwaszenie gleby lessowej: obniżenie wartości pH, wzrost kwasowości hydrolitycznej [Kaniuczak 1998; Mazur i in. 1998; Strączyńska 1998] i wzrost stężenia glinu ruchomego [Stanisławska-Głubiak, Wróbel 1999; Kuszelewski i in. 1995; Wiater, Wesółowski 1998; Kaniuczak i in. 2003].

Celem badań było określenie wpływu wapnowania i zróżnicowanego nawożenia mineralnego NPK na tle stałego nawożenia magnezem, w warunkach uprawy roślin w czteroletnim zmianowaniu, na odczyn, kwasowość hydrolityczną i wymienną oraz zawartość glinu wymiennego w glebie płowej wytworzonej z lessu.

MATERIAŁ I METODY

Ścisłe badania polowe przeprowadzono na stałym polu nawozowym w miejscowości Krasne k. Rzeszowa, położonej na Podgórzu Rzeszowskim. Było to czwarte zmianowanie w ścisłym doświadczeniu. Dwuczynnikowe doświadczenie, które założono metodą podbloków losowanych w 4 powtórzeniach, obejmowało 4-letnie zmianowanie roślin: słonecznik pastewny, pszenica ozima, ziemniaki, jęczmień jary. Pierwszym czynnikiem zmiennym było wapnowanie (A), a drugim nawożenie mineralne (B) (niezależnie od wapnowania). Nawożenie obejmowało 14 obiektów nawozowych w czterech powtórzeniach. Podstawowy poziom nawożenia mineralnego ($N_1P_1K_1$) zastosowany pod poszczególne rośliny wynosił: 80–120 kg N·ha⁻¹, 34,9–43,6 kg P·ha⁻¹, 83–132,8 kg K·ha⁻¹.

Rośliny uprawiane w zmianowaniu nawożono corocznie magnezem w formie siarczanu magnezu, w ilości 24,12 kg Mg·ha⁻¹. Wapnowanie w formie CaO (60%) zastosowano pod słonecznik pastewny w ilości 2,86 t Ca·ha⁻¹ (wg 1 Hh). Nawozy fosforowe i potasowe zastosowano przedsięwzięcie pod wszystkie rośliny w zmianowaniu, fosforowe w postaci superfosfatu potrójnego granulowanego, nawozy potasowe w postaci soli potasowej KCl. Nawozy fosforo-potasowe w całości zastosowano jesienią, przed uprawą gleby. Nawozy azotowe w postaci saletry amonowej, wysiano wiosną: pod słonecznik w dwóch równych dawkach – przedsięwzięcie i pogłównie (2 tygodnie po wschodach); pod pszenicę ozimą w fazie krzewienia; pod ziemniaki w całości przed sadzeniem; pod jęczmień jary w całości przed siewem rośliny.

Próbki glebowe pobierano z poziomu próchniczego Ap (0–25 cm) oraz ze stropowej części poziomu wzbogacania Bt (26–50 cm) w każdym roku badań, po zbiorze rośliny uprawnej.

Wartości pH oznaczono potencjometrycznie w roztworze 1 mol KCl i w wodzie, kwasowość hydrolytyczną (Hh) metodą Kappena, kwasowość wymienną (Hw) oraz zawartość glinu wymiennego (Alw) – metodą Sokołowa. Do statystycznego opracowania wyników badań zastosowano analizę wariancji dla klasyfikacji podwójnej (wapnowanie, nawożenie mineralne NPK), obliczając NIR wg Tukey'a. W przypadku stwierdzenia istotnego wpływu nawożenia mineralnego (B), w celu porównania średnich z kontrolą (gleba wyjściowa), obliczono NIR wg Dunneta.

WYNIKI I DYSKUSJA

Wapnowanie korzystnie wpłynęło na odczyn gleby płowej wytworzonej z lessu, przyczyniając się do wzrostu wartości pH (w H₂O i KCl) w poziomach próchnicznych i wzbogacania (tab. 1). Podobne rezultaty osiągnęli, w wyniku zastosowania tego zabiegu, inni autorzy [Kaniuczak 1998] na glebie płowej oraz Szwedo i Żmuda [1994] na glebie kwaśnej.

Jednocześnie zabieg ten obniżył kwasowość hydrolytyczną (Hh) w sposób statystycznie istotny, zarówno w poziomie Ap (średnio ponad 5-krotnie) oraz w stropowej części poziomu wzbogacania (Bt) (średnio prawie 3-krotnie) (tab. 2). Ruskowska i in. [1996] po przeprowadzeniu badań na glebach: piaskowej, gliniastej i lessowej stwierdzili korzystny wpływ wapnowania na obniżenie Hh. Istotny wpływ wapnowania uwidocznił

TABELA 1. Wartości pH w glebie w zależności od wapnowania (A) i nawożenia mineralnego, (B) – zakresy
TABLE 1. Values, of pH in depending of liming (A) and mineral fertilization (B) – ranges

Lp.	Obiekty nawozowe Treatment of fertilizer (B)			A ₁		A ₂		A ₁		A ₂	
				pH (H ₂ O)				pH (KCl)			
				0–25 cm*		26–50 cm**		0–25 cm*		26–50 cm**	
1	N ₀	P ₀	K ₀	5,0–5,8	5,8–6,9	5,4–5,6	5,7–6,6	4,0–4,4	4,7–6,4	4,1–4,6	4,6–5,5
2	N ₀	P ₁	K ₁	4,7–5,8	6,9–7,0	5,3–6,0	6,4–7,1	3,9–4,3	6,5–6,9	4,2–4,4	5,7–6,3
3	N _{0,5}	P ₁	K ₁	4,7–5,4	7,0–7,3	5,0–6,0	6,3–6,6	3,8–4,8	6,5–6,7	4,1–4,6	5,3–5,9
4	N ₁	P ₁	K ₁	4,7–5,6	6,6–7,3	4,9–6,3	6,3–7,1	3,9–4,6	6,2–6,7	4,3–5,1	5,1–6,2
5	N _{1,5}	P ₁	K ₁	4,3–5,4	6,7–7,2	5,2–5,7	6,1–6,7	3,7–4,4	6,2–6,7	4,3–4,7	5,1–5,8
6	N ₁	P ₀	K ₁	4,4–6,2	7,0–7,4	5,0–6,4	5,3–7,1	3,8–5,3	6,5–6,9	4,3–5,5	5,4–6,5
7	N ₁	P _{0,5}	K ₁	4,3–6,5	7,2–7,3	4,7–6,4	6,5–7,2	3,7–5,3	6,9–7,0	4,0–4,9	6,0–6,7
8	N ₁	P _{1,5}	K ₁	4,7–5,4	6,8–7,4	5,1–5,8	6,0–7,0	3,9–4,7	6,4–6,9	4,2–4,4	5,1–5,7
9	N ₁	P ₁	K ₀	4,5–5,9	6,8–7,2	4,9–6,1	6,1–6,8	3,8–4,6	6,5–6,7	4,0–4,6	5,2–6,0
10	N ₁	P ₁	K _{0,5}	4,8–5,7	6,9–7,3	5,3–5,9	5,8–6,9	3,9–5,2	6,5–6,8	4,3–4,8	4,8–5,9
11	N ₁	P ₁	K _{1,5}	4,5–5,6	6,5–7,1	4,6–6,0	6,0–6,6	3,7–5,0	6,0–6,7	3,9–5,0	5,3–5,6
12	N _{0,5}	P _{0,5}	K _{0,5}	4,7–5,4	6,9–7,4	5,3–5,7	6,2–6,8	3,9–4,5	6,4–6,9	4,3–4,5	5,3–5,9
13	N _{1,5}	P _{1,5}	K _{1,5}	4,7–5,6	6,1–7,1	4,9–6,0	6,0–6,5	3,7–4,8	5,4–6,8	4,1–4,6	5,0–6,1
14	N ₂	P ₂	K ₂	4,4–5,4	6,2–6,6	4,9–5,9	5,7–6,7	3,7–4,5	5,5–6,2	4,0–4,5	4,7–5,4

Objaśnienia – Explanations: A₁ – nawożenie/fertilization NPK Mg, A₂ – nawożenie/fertilization NPK Mg Ca; * poziom Ap, Ap horizon, ** poziom Bt, Bt horizon.

TABELA 2. Kwasowość hydrolityczna w glebie w zależności od wapnowania (A) i nawożenia mineralnego (B) (mmol (+)·kg⁻¹)
 TABLE 2. Hydrolitic acidity in soil, in depending of liming(A) and mineral fertilization(B) (in mmol (+)·kg⁻¹)

Lp.	Objekty nawozowe Treatment of fertilizer (B)			Kwasowość hydrolityczna – Hydrolitic acidity					
				A ₁			A ₂		
				0–25 cm		średnia z nawożenia mean of fertilization B		26–50 cm	
1	N ₀	P ₀	K ₀	42,27	8,01	25,14	31,88	10,92	21,40
2	N ₀	P ₁	K ₁	46,25	7,22	26,74	29,96	9,76	19,86
3	N _{0,5}	P ₁	K ₁	50,07	7,68	28,88	31,47	12,28	21,88
4	N ₁	P ₁	K ₁	51,99	6,92	29,46	29,84	11,53	20,69
5	N _{1,5}	P ₁	K ₁	55,10	9,76	32,43	36,96	12,76	24,86
6	N ₁	P ₀	K ₁	37,68	8,17	22,93	41,83	11,08	26,46
7	N ₁	P _{0,5}	K ₁	39,93	9,45	24,69	31,60	10,03	20,82
8	N ₁	P _{1,5}	K ₁	46,08	8,15	27,12	33,21	15,56	24,39
9	N ₁	P ₁	K ₀	49,68	8,04	28,86	37,50	11,63	24,57
10	N ₁	P ₁	K _{0,5}	53,42	7,58	30,50	36,20	14,91	25,55
11	N ₁	P ₁	K _{1,5}	52,96	10,62	31,79	36,61	16,97	26,79
12	N _{0,5}	P _{0,5}	K _{0,5}	58,75	9,36	34,06	34,36	9,55	21,96
13	N _{1,5}	P _{1,5}	K _{1,5}	60,08	12,75	36,42	32,68	15,08	23,88
14	N ₂	P ₂	K ₂	51,51	15,03	33,27	45,20	15,66	30,43
Średnia/Mean A				49,70	9,20	–	34,95	12,69	–
NIR _T A** = 13,00				B***=9,00	AB = n.i./n.s.		A* = 17,82	B* = 9,54	AB = n.i./n.s.
Rok/Year 1986				48,70	NIR _D /LSD = 1,74		36,00	NIR _D /LSD = 1,84	

Objaśnienia – Explanations: A₁ – nawożenie/fertilization NPK Mg, A₂ – nawożenie/fertilization NPK Mg Ca, n.i. różnice nieistotne/n.s. non significant differences, *** poziom istotności/significance level ≤0,001, ** 0,001 < poziom istotności/significance level ≤0,01, * 0,01 < poziom istotności/significance level ≤0,05.

się również w badaniach przeprowadzonych w glebach lessowych [Kaniuczak 1994; Wiater, Wesolowski 1998].

Stwierdzono także udowodniony statystycznie, korzystny wpływ na badane właściwości nawożenia mineralnego (B) w obydwu poziomach badanej gleby. W poziomie Ap miało to miejsce w następujących obiektach nawozowych: N_{1,5}P₁K₁, N_{0,5}P_{0,5}K_{0,5}, N_{1,5}P_{1,5}K_{1,5} i N₂P₂K₂ w porównaniu do obiektu N₁P₀K₁ oraz N_{0,5}P_{0,5}K_{0,5} i N_{1,5}P_{1,5}K_{1,5} w stosunku do obiektu N₁P_{0,5}K₁. W poziomie Bt nawożenie mineralne zwiększyło wartość Hh tylko w obiekcie z podwójną dawką NPK w porównaniu z obiektami: N₀P₁K₁, N₁P₁K₁ oraz N₁P_{0,5}K₁. Stosowanie wzrastających dawek azotu i potasu spowodowało wzrost Hh, tak jak we wcześniej prowadzonych badaniach na tej glebie przez Kaniuczak [1998]. Rosnące dawki azotu spowodowały ten sam efekt na glebie brunatnej kwaśnej wytworzonej z gliny [Nowak, Wołoszyk 1994] oraz na glebie płowej wytworzonej z gliny [Rabikowska i in. 1993].

Współdziałanie wapnowania z nawożeniem mineralnym nie było statystycznie istotne, zarówno w poziomach Ap, jak i Bt gleby płowej.

W badanym okresie stwierdzono istotny wzrost średnich wartości Hh w poziomie Ap gleby niewapnowanej (obiekty N₁P₁K₁, N_{1,5}P₁K₁, N₁P₁K_{0,5}, N₁P₁K_{1,5}, N_{0,5}P_{0,5}K_{0,5}, N_{1,5}P_{1,5}K_{1,5}, N₂P₂K₂), a ich obniżenie we wszystkich obiektach nawozowych gle-

by wapnowanej w porównaniu z wartością Hh z okresu założenia doświadczenia (tab. 2). W poziomie Bt stwierdzono wzrost średnich wartości Hh w nielicznych obiektach niewapnowanych (obiekty N₁P₀K₁ i N₂P₂K₂) oraz istotny spadek we wszystkich obiektach pola wapnowanego – w stosunku do wartości Hh w glebie wyjściowej. Z tych badań wynika, że zastosowane w tym okresie dawki wapna, zneutralizowały zakwaszenie poziomu próchnicznego i stropowej części poziomu wzbogacania.

Wapnowanie znacząco obniżyło kwasowość wymienną w poziomach Ap (23-krotnie) i Bt (10-krotnie) (tab. 3). Zabieg ten obniżył w jeszcze większym stopniu w tych poziomach zawartość glinu wymiennego (w poziomie Ap 38-krotnie, w Bt 20-krotnie) (tab. 4). We wcześniejszych badaniach, przeprowadzonych przez Kuszelewskiego i in. [1995] oraz Kaniuczak i in. [2003], także stwierdzono bardzo korzystny wpływ wapnowania na obniżenie się zawartości wymiennych form glinu w glebach. Wapnowanie to czynnik skutecznie zmniejszający zawartość glinu wymiennego w glebie [Brzeziński, Barszczak 2009]. Przez zmianę odczynu, w wyniku wapnowania, uzyskuje się trwałą detoksykację glinu [Filipek, Dechnik 1995].

Nawożenie mineralne (niezależnie od wapnowania) zwiększyło wartość kwasowości wymiennej i zawartość glinu wymiennego, szczególnie w obiekcie

TABELA 3. Kwasowość wymienna w glebie w zależności od wapnowania (A) i nawożenia mineralnego ($\text{mmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$)
 TABLE 3. Exchangeable acidity in soil, in depending of liming(A) and mineral fertilization(B) (in $\text{mmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$)

Lp.	Obiekty nawozowe Treatment of fertilizer (B)			Kwasowość wymienna – Exchangeable acidity					
				A ₁		A ₂		średnia z nawożenia mean of fertilization B	
				0–25 cm			26–50 cm		
1	N ₀	P ₀	K ₀	6,68	0,33	3,51	1,36	0,43	0,89
2	N ₀	P ₁	K ₁	7,41	0,13	3,77	1,81	0,23	1,02
3	N _{0,5}	P ₁	K ₁	8,03	0,20	4,12	2,53	0,30	1,42
4	N ₁	P ₁	K ₁	7,25	0,36	3,81	2,04	0,30	1,17
5	N _{1,5}	P ₁	K ₁	8,83	0,35	4,59	4,03	0,24	2,13
6	N ₁	P ₀	K ₁	9,16	0,27	4,72	4,31	0,15	2,23
7	N ₁	P _{0,5}	K ₁	9,68	0,19	4,93	3,61	0,25	1,93
8	N ₁	P _{1,5}	K ₁	7,50	0,32	3,91	2,10	0,32	1,21
9	N ₁	P ₁	K ₀	8,35	0,42	4,38	3,00	0,21	1,61
10	N ₁	P ₁	K _{0,5}	6,62	0,50	3,56	1,85	0,18	1,02
11	N ₁	P ₁	K _{1,5}	8,47	0,65	4,56	2,85	0,31	1,58
12	N _{0,5}	P _{0,5}	K _{0,5}	7,09	0,63	3,86	2,07	0,29	1,18
13	N _{1,5}	P _{1,5}	K _{1,5}	10,25	0,21	5,23	4,93	0,25	2,59
14	N ₂	P ₂	K ₂	8,61	0,33	4,47	4,83	0,33	2,58
Średnia/Mean A				8,14	0,35	–	2,95	–	–
NIR _T /LSD _T = 0,05				A** = 2,81 AB** = 2,29		B** = 1,62		A* = 2,12 AB = n.i./n.s.	
Rok/Year 1986				5,24	NIR _D = 0,33		1,19		

Objaśnienia – Explanations: A₁ – nawożenie/fertilization NPK Mg, A₂ – nawożenie/fertilization NPK Mg Ca, ** 0,001 < poziom istotności/significance level ≤ 0,01, *0,01 < poziom istotności/significance level ≤ 0,05, n.i. różnice nieistotne/n.s. non significant differences.

N_{1,5}P_{1,5}K_{1,5} poziomu Ap, w porównaniu do obiektów bez NPK. W poziomach Bt natomiast nie zauważono istotnego wpływu nawożenia mineralnego na badane parametry. Równie wysokich, czy nawet wyższych wartości, nie zaobserwowano w obiekcie z największymi dawkami nawozów (N₂P₂K₂). Może to wynikać z zastosowania wysokich dawek superfosfatu potrójnego, jako nawożenia fosforowego, które według Brzezińskiego [2000] obniżyło stężenie glinu wymiennego w wyniku tworzenia się trudno rozpuszczalnych fosforanów glinu. Intensywne nawożenie fosforem może być jednym z czynników zapobiegających toksyczności glinu [Brzeziński, Barszczak 2009], gdyż składnik ten zostaje wytracony w glebie oraz na powierzchni korzeni, a nadmiar fosforu transportowany jest do części nadziemnych [Filipek 1989].

Współdziałanie wapnowania i nawożenia mineralnego (AB) w poziomie próchnicznym, ujawniło się niższymi wartościami Hw i Alw w obiektach nawozowych gleby wapnowanej, w odniesieniu do analogicznych obiektów gleby niewapnowanej. W poziomie Bt nie stwierdzono interakcji tych zabiegów w kształtowaniu wymienionych parametrów.

Analizując wpływ wapnowania i nawożenia mineralnego na zawartość glinu wymiennego i wartość kwasowości wymiennej, w stosunku do roku wyjściowego (1986), należy stwierdzić, iż na skutek wielo-

letniego nawożenia mineralnego, przy braku regularnego wapnowania rośnie zakwaszenie gleby, objawiające się wzrostem stężenia Alw (tab. 4) i wzrostem wartości Hw (tab. 3). W badaniach Stanisławskiej-Głubiak i Wróbla [1999] odnotowano podobne zależności.

Udział glinu wymiennego, w kształtowaniu kwasowości wymiennej, osiągnął najwyższe wartości w poziomie Ap podbloku niewapnowanego (75–93%), a był wyraźnie mniejszy w obiektach podbloku wapnowanego (30–75%) (tab. 5). Na udział glinu w kwasowości wymiennej, w poszczególnych obiektach nawozowych, modyfikująco wpłynęło nawożenie mineralne (B) (niezależnie od wapnowania). Największy udział glinu wymiennego w Hw odnotowano w obiektach z wysokimi dawkami nawozów azotowych i potasowych, które zwiększyły zakwaszenie gleby.

Podobnie w stropowej części poziomu wzbogacania Bt, udział glinu w kwasowości wymiennej był znacznie większy w poziomie Bt gleby niewapnowanej (58–95%), a mniejszy w glebie wapnowanej (19–76%).

Niekorzystny wpływ nawożenia azotowego i potasowego (szczególnie przy ich wysokich dawkach) na udział glinu w kwasowości wymiennej, jest wyraźnie widoczny w obu poziomach genetycznych gleby w obiektach niewapnowanych. W obiektach na-

TABELA 4. Zawartość glinu wymiennego w glebie w zależności od wapnowania (A) i nawożenia mineralnego (B) (mmol (+)·kg⁻¹)
 TABLE 4. Content of exchangeable aluminium in soil, in depending of liming(A) and mineral fertilization(B) (in mmol(+).kg⁻¹)

Lp.	Obiekty nawozowe Treatment of fertilizer (B)			Glin wymienny – Exchangeable aluminium					
				A ₁		A ₂		średnia z nawożenia mean of fertilization B	
				0–25 cm			26–50 cm		
1	N ₀	P ₀	K ₀	6,10	0,17	3,13	0,79	0,28	0,54
2	N ₀	P ₁	K ₁	6,70	0,07	3,39	1,58	0,09	0,84
3	N _{0,5}	P ₁	K ₁	7,40	0,09	3,74	2,33	0,17	1,25
4	N ₁	P ₁	K ₁	6,60	0,17	3,39	1,80	0,23	1,02
5	N _{1,5}	P ₁	K ₁	8,20	0,22	4,21	3,76	0,13	1,95
6	N ₁	P ₀	K ₁	8,40	0,10	4,25	4,07	0,08	2,07
7	N ₁	P _{0,5}	K ₁	8,80	0,10	4,45	3,40	0,13	1,77
8	N ₁	P _{1,5}	K ₁	6,30	0,19	3,25	1,77	0,10	0,94
9	N ₁	P ₁	K ₀	7,40	0,20	3,80	2,50	0,10	1,30
10	N ₁	P ₁	K _{0,5}	5,80	0,31	3,06	1,67	0,08	0,88
11	N ₁	P ₁	K _{1,5}	7,80	0,49	4,15	2,57	0,06	1,32
12	N _{0,5}	P _{0,5}	K _{0,5}	5,30	0,28	2,79	1,80	0,12	0,96
13	N _{1,5}	P _{1,5}	K _{1,5}	9,40	0,12	4,76	4,60	0,10	2,35
14	N ₂	P ₂	K ₂	7,90	0,10	4,00	4,60	0,21	2,41
Średnia/Mean A				7,29	0,19	–	2,66	0,13	–
NIR _T / LSD _T = 0,05				A** = 2,71 B*** = 1,48		A* = 2,25 B= n.i./n.s.			
				AB*** = 2,10		AB=n.i./n.s.			
Rok/Year 1986				3,30		NIR _D = 0,30		1,05	

Objaśnienia – Explanations: A₁ – nawożenie/fertilization NPK Mg, A₂ – nawożenie/fertilization NPK Mg Ca, *** 0,001 < poziom istotności/significance level ≤0,001, **0,001 < poziom istotności/ significance level ≤0,01, *0,01 < poziom istotności/significance level ≤0,05, n.i. różnice nieistotne/n.s. non significant differences.

TABELA 5. Procentowy udział glinu wymiennego w kwasowości wymiennej
 TABLE 5. Participation of Al in exchangeable acidity (%)

Lp.	Obiekty nawozowe Treatment of fertilizer (B)			Glin wymienny – Exchangeable aluminium					
				A ₁		A ₂		średnia z nawożenia mean of fertilization B	
				0–25 cm			26–50 cm		
1	N ₀	P ₀	K ₀	91	52	72	58	65	61
2	N ₀	P ₁	K ₁	90	53	72	87	40	64
3	N _{0,5}	P ₁	K ₁	92	45	69	92	56	74
4	N ₁	P ₁	K ₁	91	47	69	88	76	82
5	N _{1,5}	P ₁	K ₁	93	63	78	93	55	74
6	N ₁	P ₀	K ₁	92	37	64	94	46	70
7	N ₁	P _{0,5}	K ₁	91	52	71	94	52	73
8	N ₁	P _{1,5}	K ₁	84	58	71	84	31	58
9	N ₁	P ₁	K ₀	89	48	68	83	48	65
10	N ₁	P ₁	K _{0,5}	88	62	75	90	44	67
11	N ₁	P ₁	K _{1,5}	92	75	84	90	19	55
12	N _{0,5}	P _{0,5}	K _{0,5}	75	44	59	87	42	64
13	N _{1,5}	P _{1,5}	K _{1,5}	92	57	74	93	40	67
14	N ₂	P ₂	K ₂	92	30	61	95	49	72
Średnia/Mean A				89	52	–	88	47	–

Objaśnienia – Explanations: A₁ – NPK Mg, A₂ – NPK Mg Ca.

wozowych gleby wapnowanej natomiast wpływ ten nie jest już tak jednoznaczny, co wiąże się z neutralizującym działaniem wapnia.

WNIOSKI

1. Wapnowanie gleby zmniejszyło zakwaszenie poziomu próchnicznego (Ap) i stropowej części poziomu wzbogacania (Bt), co uwidoczniło się wzrostem wartości pH w H₂O i KCl oraz bardzo znaczącym obniżeniem średnich wartości kwasowości hydrolytycznej, kwasowości wymiennej i zawartości glinu wymiennego.
2. Nawożenie mineralne (niezależnie od wapnowania), zastosowane w zwiększonych dawkach NPK, spowodowało wzrost kwasowości hydrolytycznej w poziomach Ap i Bt oraz wzrost kwasowości wymiennej i zawartości glinu wymiennego w poziomach Ap.
3. Współdziałanie wapnowania i nawożenia mineralnego, istotnie wpłynęło na obniżenie kwasowości wymiennej i zawartości glinu wymiennego w poziomie Ap gleby wapnowanej.
4. W badanym okresie (1998–2001) nastąpiła bardzo istotna neutralizacja zakwaszenia gleby wapnowanej oraz wzrosło zakwaszenie gleby niewapnowanej, szczególnie w poziomach Ap w porównaniu do stanu przed założeniem doświadczenia (1986 r.).

LITERATURA

- BRZEZIŃSKI M. 2000. Zawartość glinu wymiennego w glebie w zależności od nawożenia mineralnego i organicznego oraz wapnowania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **472**: 123–128.
- BRZEZIŃSKI M., BARSZCZAK T. 2009. Zawartość glinu wymiennego w glebie w świetle trwałych doświadczeń nawozowych w Skierniewicach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **541**: 67–72.
- FILIPEK T. 1989. Występowanie glinu ruchomego w glebie i jego oddziaływanie na rośliny. *Post. Nauk. Roln.* **4/5/6**: 3–13.
- FILIPEK T. 1998. Dynamika antropogenicznych przyczyn oraz skutków zakwaszenia gleby w Polsce. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **456**: 7–12.
- FILIPEK T., DECHNIK I. 1995. Glin wymienny jako wskaźnik żyzności gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **421**, a: 67–76.
- KACZOR A. 1998. Odżywianie się roślin w warunkach gleb silnie zakwaszonych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **456**: 55–62.
- KANIUCZAK J. 1994. The effect of various systems of mineral fertilization on the acidification of brown soil formed from loes. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **413**: 173–177.
- KANIUCZAK J. 1995. Magnez przyswajalny w glebach centralnej części Obniżenia Podkarpackiego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **421**, a: 181–191.
- KANIUCZAK J. 1996. Elementy bilansu mikroelementów w glebie wytworzonej z lessu w warunkach uprawy roślin w zmianowaniu z uwzględnieniem nawożenia mineralnego NPK Mg Ca. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **434**: 301–306.
- KANIUCZAK J. 1997. Elementy bilansu kadmu i niklu w glebie lessowej w zależności od nawożenia mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **448**, a: 197–205.
- KANIUCZAK J. 1998. Zakwaszenie gleb lessowych w zależności od sposobów użytkowania, wapnowania i nawożenia mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.* **456**: 113–118.
- KANIUCZAK J., HAJDUK E., NOWAK M. 2000. Zawartość rozpuszczalnych form boru i molibdenu w glebie płowej wytworzonej z lessu w zależności od wapnowania i nawożenia mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **471**: 303–311.
- KANIUCZAK J., NOWAK M., KANIUCZAK R. 2003. Wpływ wapnowania i nawożenia mineralnego na zawartość glinu wymiennego w glebie płowej wytworzonej z lessu. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.* **493**: 615–620.
- KUSZELEWSKI L., ŁABĘTOWICZ J., KORC M. 1995. Dynamika plonowania i zmiany w składzie kompleksu sorpcyjnego przy różnych systemach nawożenia na glebie lekkiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **421**, a: 239–243.
- MAZUR T., WOJTAS A., MAZUR Z., SADEJ W. 1998. Porównanie działania nawożenia organicznego z mineralnym na odczyn i kwasowość gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.* **456**: 251–255.
- MERCIK S. 1997. Ujemny wpływ nadmiernego zakwaszenia gleby na rośliny. Symp. Naukowe: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. Lublin: 31–35.
- NOWAK W., WOŁOZYK C. 1994. Wpływ nawożenia azotem i potasem na zmiany właściwości chemicznych gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.* **413**: 247–250.
- RABIKOWSKA B., WILK K., PISZCZ U. 1993. Wpływ 20-letniego zróżnicowanego nawożenia mineralnego na właściwości gleby gliniastej. cz. I. Odczyn, właściwości sorpcyjne oraz zawartość węgla i azotu. *Zesz. Nauk. AR Kraków* **277**, 37 (1): 119–131.
- RUSZKOWSKA M., KUSIO M., SYKUT S., MOTOWICKA-TERELAK T. 1996. Zmiany zawartości pierwiastków śladowych w glebach w warunkach doświadczenia lizymetrycznego (1991–1994). *Rocz. Glebozn.* **47**, 1/2: 23–32.
- SIUTA J. 1993. Przemysłowe czynniki kwasowej degradacji pokrywy glebowo-roślinnej. Symp. Naukowe: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. Lublin: 27–50.
- STANISŁAWSKA-GLUBIAK E., WRÓBEL S. 1999. Kształtowanie się właściwości chemicznych gleby lekkiej w warunkach wieloletniego nawożenia mineralnego lub organicznego. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.* **467**: 225–231.
- STRĄCZYŃSKA S. 1998. Zmiany odczynu i właściwości sorpcyjnych gleby piaszczystej pod wpływem wieloletniego nawożenia mineralnego, organicznego i organiczno-mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.* **456**: 165–168.
- STRĄCZYŃSKI S. 1999. Stan zakwaszenia i potrzeby wapnowania gleb w Polsce. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.* **467**: 527–532.
- SZWEDO J., ŻMUDA E. 1994. Effect of soil management and liming on the changes of chemical properties of acid soils in an orchard. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.* **413**: 301–306.
- TURSKI R. 1993. Przyrodnicze aspekty zakwaszenia gleb w Polsce. Symp. Naukowe: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. Lublin: 9–18.
- WIATER J., WESOŁOWSKI M. 1998. Wpływ różnych nawozów na pH i kwasowość hydrolytyczną w glebie lessowej wieloletnich monokultur zbożowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.* **456**: 509–514.

Dr inż. Małgorzata Nazarkiewicz
Katedra Gleboznawstwa, Chemii Środowiska i Hydrologii
Uniwersytet Rzeszowski
ul. M. Œwiklińskiej 2
35-601 Rzeszów
tel. 17 8721634
e-mail: nazarm@univ.rzeszow.pl