

gleby. Działalność rolnicza może w znacznym stopniu wpływać na procesy mobilizacji i immobilizacji glinu. Intensywne nawożenie mineralne najczęściej powoduje wzrost kwasowości gleby, zaś wapnowanie i nawożenie organiczne odkwasza ją [Bednarek 2002, Haynes 1984]. Wiedza dotycząca wpływu nawożenia na zawartość glinu wymiennego i rozpuszczalnego w glebie oparta jest na niezależnym badaniu poszczególnych czynników. Niewiele jest natomiast badań kompleksowych obejmujących współdziałanie czynników.

Celem badań było określenie wpływu nawożenia mineralnego i organicznego oraz wapnowania na zawartość glinu wymiennego i rozpuszczalnego w glebie.

METODY

Badania wykonano opierając się na wieloletnim statycznym doświadczeniu polowym w Łyczynie, założonym w roku 1960. Doświadczenie prowadzone jest na glebie płowej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego, zalegającego na glinie zwałowej lekkiej. Obejmuje szesnaście obiektów nawozowych, stanowiących rozłosoowanie głównych składników pokarmowych: azotu, potasu, fosforu i wapnia w warunkach bez obornika i z obornikiem [Kuszelewski, Łabętowicz 1992]. Łącznie doświadczenie obejmuje 32 obiekty nawozowe (2^5) w czterech powtórzeniach. Doświadczenie prowadzone jest w zmianowaniu czteropolowym: ziemniaki, jęczmień jary, rzepak i żyto. Nawożenie mineralne stosowane jest w dawkach wynoszących rocznie średnio: 140 kg N ha^{-1} w postaci mocznika lub saletry amonowej, 50 kg P ha^{-1} w postaci superfosfatu potrójnego, 140 kg K ha^{-1} w postaci soli potasowej. Wapnowanie stosuje się co 4 lata w dawce $1,6 \text{ t CaO ha}^{-1}$. Obornik stosuje się pod ziemniaki i rzepak w dawce odpowiednio 30 i 20 t ha^{-1} w każdej rotacji. Próby glebowe do badań pobrano jesienią 1999 roku z poziomu $0\text{--}25 \text{ cm}$ z trzech powtórzeń doświadczenia. Po wysuszeniu próby poddano analizie. Zmierzono zawartość glinu wymiennego metodą Sokołowa oraz zawartość glinu rozpuszczalnego w $0,02 \text{ mol dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$ – metodą ASA, przy użyciu kuwety grafitowej.

Otrzymane wyniki badań poddano analizie wariancyjnej. Szczegółowego porównania średnich dokonano przy pomocy testu Tukeya na poziomie istotności $p=0,05$. W celu opisanego zależności pomiędzy zawartością glinu wymiennego a zawartością glinu rozpuszczalnego w glebie zastosowano metodę regresji prostej. Kryterium dopasowania modelu zależności pomiędzy zmiennymi stanowił współczynnik R-kwadrat. Obliczenia wykonano przy użyciu programu Statgraphics Plus.

WYNIKI

Badane systemy nawożenia spowodowały istotne zmiany w zawartości glinu wymiennego. Wyniki zostały przedstawione w tabeli 1. System wyłącznego nawożenia mineralnego (M) charakteryzował się najwyższą zawartością glinu wymiennego, wynosiła ona 3,2 mmol (+) kg⁻¹. Istotnie mniej Al wymiennego stwierdzono w systemie nawożenia mineralnego połączonego z obornikiem (M+O) (1,5 mmol (+) kg⁻¹). Wpływ nawożenia obornikiem na zmniejszenie zawartości dostępnych form glinu mógł być związany z silnym wiązaniem glinu przez substancję organiczną. Na zjawisko to zwracają uwagę m.in. Badora i Filipek [1999].

Tabela 1. Zawartość Al wymiennego, mmol (+) kg⁻¹
Table 1. Content of exchangeable aluminium, mmol (+) kg⁻¹

Systemy nawożenia Systems of fertilization	Obiekty nawożenia mineralnego Objects of mineral fertilization								Średnio Mean
	0	N	P	K	PK	PN	KN	NPK	
M	0,3	8,0	0,6	0,9	0,2	1,8	8,5	5,0	3,2
M+Ca	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1
M+O	0,5	5,8	0,4	0,5	0,2	1,3	2,6	1,0	1,5
M+Ca+O	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2
Średnio Mean	0,3	3,6	0,3	0,4	0,2	0,8	3,0	1,6	

M – nawożenie mineralne mineral fertilization; Ca – wapnowanie liming; O – obornik, manure; NIR_{0,05} dla oceny różnic między systemami nawożenia średnio z obiektów nawożenia mineralnego for evaluation of differences between systems of fertilization mean for objects of mineral fertilization – 0,20; NIR_{0,05} dla oceny różnic między obiektami nawożenia średnio z systemów nawożenia for evaluation of differences between objects of mineral fertilization mean for objects of systems fertilization – 0,34; NIR_{0,05} dla oceny różnic między obiektami nawożenia mineralnego zależnie od systemu nawożenia i między systemami nawożenia zależnie od obiektów nawożenia for evaluation of differences between objects of mineral fertilization depend on systems of fertilization and between systems of fertilization depend on objects of mineral fertilization – 0,86

Systemy nawożenia M+Ca i M+Ca+O charakteryzowały się śladową ilością glinu wymiennego. Stosowanie obornika nie modyfikowało w sposób istotny wpływu wapnowania na zawartość glinu wymiennego – w systemie M+Ca wynosiła ona 0,1 mmol (+) kg⁻¹, a w systemie M+Ca+O 0,2 mmol (+) kg⁻¹. Po wszechnie wiadomo, że najskuteczniejszym sposobem immobilizacji glinu jest wapnowanie [Haynes 1984; Blake i in. 1999].

Analizą zmienności udowodniono istotność współdziałania systemów nawożenia i obiektów nawożenia mineralnego na zawartość glinu wymiennego. Efekt wpływu badanych systemów nawożenia na zawartość glinu wymiennego był zależny od obiektów nawożenia mineralnego. W obiektach 0, P, K i PK nie udowodniono wpływu systemu nawożenia na zawartość Al wymiennego. W pozostałych obiektach (N, PN, KN, NPK) zawartość Al wymiennego była zależna od systemów nawożenia. Na obiektach tych najwyższe zawartości glinu wymiennego stwierdzono w systemie wyłącznego nawożenia mineralnego (M), najniższe zaś w systemach nawożenia mineralnego połączonego z wapnowaniem (M+Ca) oraz z wapnowaniem i stosowaniem obornika (M+Ca+O).

Istotne zmiany w zawartości glinu wymiennego w glebie spowodowały również obiekty nawożenia mineralnego. Rozpatrując różnice pomiędzy obiektami nawożenia mineralnego średnio z systemów nawożenia, należy stwierdzić, że najwyższą zawartością Al wymiennego cechował się obiekt o wyłącznym nawożeniu azotowym (N). Wpływ nawożenia azotowego na zwiększenie dostępności glinu stwierdzili m.in. Kopeć [1992], Malhi i in. [1999]. Filipek i Dechnik [1995] twierdzą, że zmiany składu mineralnego roślin i wzmożone pobieranie przez nie K i Mn zachodzą przy zawartości glinu wymiennego w glebie powyżej 2,2 mmol (+) kg⁻¹. W warunkach doświadczenia zawartość taką wykazywały obiekty N, KN i NPK przy wyłącznym nawożeniu mineralnym oraz N i NK na obiektach nawożonych nawozami mineralnymi i obornikiem.

Obiekty, na których stosowane było, oprócz nawożenia azotowego, nawożenie fosforowe i potasowe (PN, KN, NPK) charakteryzowała istotnie niższa zawartość glinu wymiennego w stosunku do obiektu N, ale wyższa od obiektów nienawożonych azotem (0, P, K). W obrębie obiektów 0, P i K nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości glinu wymiennego.

Analizując system wyłącznego nawożenia mineralnego, najwyższą zawartość jonów glinowych stwierdzono na obiektach KN (8,5 mmol (+) kg⁻¹) i N (8,0 mmol (+) kg⁻¹). Nawożenie fosforowe istotnie zmniejszyło zawartość glinu wymiennego na obiektach nawożonych azotem. Obiekt NPK cechował się istotnie niższą zawartością Al wymiennego (5,0 mmol (+) kg⁻¹) od obiektu KN (8,5 mmol (+) kg⁻¹), a obiekt PN (1,8 mmol (+) kg⁻¹) od obiektu N (8,0 mmol (+) kg⁻¹). Wyniki te odbiegają od wyników otrzymanych przez Bednarka [2002], który wykazał, że szczególnie współrzędne stosowanie azotu, fosforu i potasu zwiększa zawartość glinu ruchomego. Stosowanie fosforu na glebach zawierających glin wymienny powoduje wytrącanie się fosforanów glinu i zmniejszanie wolnych jonów Al³⁺ [Filipek 1989].

Analiza systemu wyłącznego nawożenia mineralnego nie wykazała istotnego wpływu nawożenia potasowego na zawartość glinu wymiennego. Tym samym

nie potwierdzono opinii Filipka (1989), że nawożenie potasowe zwiększa zawartość jonów glinowych poprzez wzrost zakwaszenia. Najniższą zawartością glinu wymiennego charakteryzowały się obiekty 0, P, K i PK. Różnice pomiędzy tymi obiektami nie były istotne.

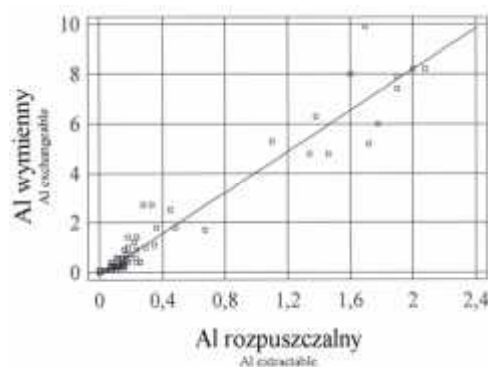
Rozpatrując system nawożenia M+O, należy stwierdzić, że głównym czynnikiem modyfikującym oddziaływanie obornika na zawartość Al wymiennego było nawożenie azotowe. Zdecydowanie najwyższą zawartość jonów glinowych stwierdzono na obiekcie N. Negatywny wpływ nawożenia azotowego, polegający na zwiększaniu zawartości glinu wymiennego, łagodziło stosowanie nawożenia fosforowego i potasowego, a w szczególności jednoczesne stosowanie takiego nawożenia – obiekt NPK wykazywał istotnie niższą zawartość Al wymiennego w stosunku do obiektu N. Nawożenie mineralne nie spowodowało istotnych zmian w zawartości glinu wymiennego na obiektach wapnowanych (M+Ca i M+Ca+O).

Tabela 2. Zawartość Al rozpuszczalnego, mmol (+) kg⁻¹
Table 2. Content of extractable Al, mmol (+) kg⁻¹

Systemy nawożenia Systems of fertilization	Obiekty nawożenia mineralnego Objects of mineral fertilization								Średnio Mean
	0	N	P	K	PK	PN	KN	NPK	
M	0,10	1,83	0,16	0,21	0,12	0,50	1,89	1,30	0,76
M+Ca	0,07	0,10	0,00	0,05	0,00	0,00	0,15	0,05	0,05
M+O	0,15	1,63	0,14	0,21	0,10	0,26	0,35	0,21	0,38
M+Ca+O	0,12	0,11	0,08	0,11	0,09	0,10	0,19	0,12	0,11
Średnio Mean	0,11	0,92	0,09	0,15	0,08	0,21	0,65	0,42	

M – nawożenie mineralne mineral fertilization; Ca – wapnowanie liming; O – obornik manure; NIR_{0,05} dla oceny różnic między systemami nawożenia średnio z obiektów nawożenia mineralnego for evaluation of differences between systems of fertilization mean for objects of mineral fertilization – 0,063; NIR_{0,05} dla oceny różnic między obiektami nawożenia średnio z systemów nawożenia for evaluation of differences between objects of mineral fertilization mean for objects of systems fertilization – 0,107; NIR_{0,05} dla oceny różnic między obiektami nawożenia mineralnego zależnie od systemu nawożenia i między systemami nawożenia zależnie od obiektów nawożenia for evaluation of differences between objects of mineral fertilization depend on systems of fertilization and between systems of fertilization depend on objects of mineral fertilization – 0,271

Zawartość glinu rozpuszczalnego w glebie w zależności od obiektów i systemów nawożenia została przedstawiona w tabeli 2. Rozcieńczony roztwór CaCl₂ ekstrahował znacznie mniejsze ilości glinu od roztworu KCl. Generalnie nawożenie wpływało podobnie na zawartość Al rozpuszczalnego, jak na zawartość Al wymiennego.



$$Al_{wym} = -0,094 + 41,147Al_{roz} \quad R^2=0,94 \quad n=96$$

Rycina 1. Zależność pomiędzy zawartością Al wymiennego (mmol (+) kg⁻¹) a zawartością Al rozpuszczalnego (mmol (+) kg⁻¹)

Figure 1. Interaction between content of exchangeable Al (mmol (+) kg⁻¹) and content of extractable Al (mmol (+) kg⁻¹)

Stwierdzono bardzo silną korelację pomiędzy formą wymienną glinu a rozpuszczalną ($R^2=0,94$) – rycina 1. Wynik ten potwierdza opinię, że istnieje dostatecznie wysoki współczynnik korelacji pomiędzy glinem rozpuszczalnym a wymiennym [Jarvis 1986; Kabala 1995; Percival i in., 1996]. Obydwa ekstrakty zapewniają prawidłowe oszacowanie zmian zawartości glinu dostępnego dla roślin, spowodowanych zróżnicowanym nawożeniem.

WNIOSKI

1. Nawożenie azotowe zwiększa, zaś nawożenie fosforowe, nawożenie obornikiem oraz wapnowanie zmniejsza zawartość Al wymiennego i rozpuszczalnego w glebie. Nawożenie potasowe nie wpływa na zawartość dostępnych form Al.

2. Zawartość Al wymiennego (Al-KCl) jest silnie skorelowana z zawartością Al rozpuszczalnego (Al-CaCl₂). Wraz ze wzrostem zawartości Al wymiennego wzrasta zawartość Al rozpuszczalnego.

PIŚMIENNICTWO

Badora A., Filipek T. 1999. Role of nitrogen and potassium fertilizers, liming and organic fertilization in aluminium mobilization. Polish J. Soil Sc. 32, 43–51.

- Bednarek W. 2002. Glin ruchomy w glebie nawożonej azotem, fosforem i potasem. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 482, 47–51
- Blake L., Goulding K.W.T., Mott C.J.B., Johnston A.E. 1999. Changes in soil chemistry accompanying acidification over than 100 years under woodland and grass at Rothamsted Experimental Station, UK. *European J. Soil Sci.* 50, 401–412.
- Filipek T. 1989. Występowanie glinu ruchomego w glebie i jego oddziaływanie na rośliny. *Post. Nauk Rol.* 4/5/6, 4–14.
- Jarvis S.C. 1986. Forms of aluminium in some acid permanent grassland soils. *J. Soil Sci.* 37, 211–222
- Filipek T., Dechnik I. 1995. Glin wymienny jako wskaźnik żyzności gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 421a, 67–76.
- Haynes R.J. 1984. Effect of lime, silicate, and phosphate applications on the concentrations of extractable aluminium and phosphate in a spodosol. *Soil Sci.* 138, 8–14.
- Kabała C. 1995. Glin wymienny i odczyn gleb gór izerskich na obszarze klęski ekologicznej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418, 361–367.
- Kopeć M. 1992. Zmiany kwasowości i udziału glinu wymiennego w glebie łąki górskiej w warunkach długotrwałego nawożenia i wapnowania. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 259, 32, 179–184
- Kuszelewski L., Łabętowicz J. 1992. Trwałe doświadczenie nawozowe w Łyczynie. Cz. I i II. *Rocz. Nauk Rol., Seria A*, 81–106.
- Malhi S.S., Harapiak J.T., Nyborg M., Wiśniowska-Kielian B. 1999. Effect of long term application of different nitrogen forms on soil reaction and some microelement contents in soil and Bromegrass Hay. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465, 551–558.
- Percival H.J., Giddens K.M., Lee R., Whitton. 1996. Relationship between soil solution aluminium and extractable aluminium in some moderately acid New Zealand soils. *Aust. J. Soil Res.* 34, 769–779.

