

RELACJA ZAWARTOŚCI POTASU DO MAGNEZU W ROŚLINNOŚCI ŁĄKOWEJ I W GLEBIE JAKO WSKAŹNIK ŚRODOWISKOWYCH PRZEMIAN NA UŻYTKACH ZIELONYCH

Barbara SAPEK

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

Słowa kluczowe: K/Mg, gleba łąkowa, roślinność łąkowa, równowaga jonowa, użytki zielone, zawartość potasu i magnezu

Streszczenie

Na podstawie dostępnych wyników badań na dwóch długoletnich, ścisłych doświadczeniach łąkowych na glebie mineralnej przedstawiono propozycję wykorzystania ilorazu zawartości potasu i magnezu (K/Mg) w roślinności łąkowej i glebie jako wskaźnika przemian, jakie mogą zachodzić z upływem lat na użytku zielonym w warunkach stałego poziomu nawożenia mineralnego. Wyniki oznaczeń zawartości potasu i magnezu w roślinności i glebie oraz odczynu gleby w ciągu ponad 20 lat badań umożliwiły ocenę dynamiki zmian tego wskaźnika. Mimo stałego poziomu nawożenia, w tym również potasem, wykazane zmiany wartości K/Mg z upływem lat świadczą o braku równowagi jonowej w pobieraniu składników przez roślinność łąkową. W warunkach stwierdzonego niedoboru potasu oraz magnezu w polskich glebach, zwłaszcza zakwaszonych, duże i wzrastające w czasie wartości K/Mg wskazują na potrzebę wzbogacania takich gleb w magnez oraz ograniczania możliwości jego wymywania, a także na konieczność zrównoważonego nawożenia potasem użytków zielonych.

WSTĘP

Naruszenie równowagi składników nawozowych w glebie, w tym potasu i magnezu, spowodowane niezrównoważonym jej składem jonowym będącym wynikiem intensywnie-

go oddziaływania człowieka na środowisko, może skutkować nadmiernym pobieraniem przez roślinność łąkową jednego z nich lub niedoborem drugiego. Konkurencyjne pobieranie potasu i magnezu przez rośliny, które zależy od nawożenia, warunków glebowych, wilgotnościowych i klimatycznych, spowodowane zjawiskiem antagonizmu jonów, stwarza możliwość zakłócenia tej równowagi [DING, LUO, XU, 2006; GORLACH, MAZUR, 2002; SAPEK, BARSZCZEWSKI, URBANIAK, 2006; VOISIN, 1963; ZALEWSKA, 2005]. Konsekwencją tego jest, między innymi, niepełna wartość pokarmowa paszy zielonej oraz możliwość rozpraszania wymienionych składników w środowisku [DOBOSZYŃSKI, 1988; FALKOWSKI, KUKUŁKA, KOZŁOWSKI, 2000; SAPEK B., 2007]. Już VOISIN [1963] wykazał, iż systematyczne i ciągle nawożenie potasem powoduje powolne, lecz nasilające się zubożenie gleby w magnez w wyniku wypierania jego wymiennej formy, która jest wmywana z gleby. Stabilna wartość relacji składników pokarmowych w roślinności w określonych warunkach wskazuje na ustalony stan równowagi i zrównoważone ich pobieranie z gleby.

Obecnie poszukuje się różnego rodzaju wskaźników – ilościowych kryteriów, które mogłyby być pomocne w gospodarowaniu składnikami nawozowymi w sposób zrównoważony [Dyrektywa..., 2006]. Takim wskaźnikiem, ze względu na żywienie przeżuwaczy, jest optymalna wartość ilorazu zawartości potasu do sumy zawartości wapnia i magnezu ($K/(Ca + Mg)$) w paszy łąkowej, obliczanych równoważnikowo, w odniesieniu do ilości dodatniego ładunku kationów o różnej wartościowości, wyrażanego w $mmol(+)\cdot kg^{-1}$, bądź wagowo, w odniesieniu do zawartości każdego ze składników w $g\cdot kg^{-1}$ [DING, LUO, XU, 2006; JANUKOWICZ, 2007; SAPEK B., 2007; VOISIN, 1963; WASILEWSKI, 2008]. Wskaźnik ten jest szeroko dyskutowany i stosowany od dawna, lecz nadal aktualny. [DOBOSZYŃSKI, 1988; GRUNER, WELCH, 1989; LEWIS, SPAROW, 1991; VOISIN, 1963; WASILEWSKI, 2008]. JANUKOWICZ [2007] podjął, między innymi, próbę wyznaczenia wskaźników równowagi jonowej, jako stosunku sumy kationów do sumy anionów, w celu prognozowania ilości i wartości żywieniowej paszy z użytków zielonych.

Niedobór magnezu oraz potasu stwierdzany w glebach polskich, wykazany za pomocą bilansów w rolnictwie, jak również znaczne wzbogacenie w te składniki płytkich wód gruntowych w obszarach wiejskich inspirują do rozpatrzenia zmian ilorazu zawartości tych dwóch składników (K/Mg), jakie mogą zachodzić z upływem lat w zmieniających się obecnie warunkach nawożenia i użytkowania łąk [ŁABĘTOWICZ i in., 2004; ŁABĘTOWICZ i in., 2005; SAPEK, KALIŃSKA, 2000; SAPEK, BARSZCZEWSKI, URBANIAK, 2006; SAPEK, SAPEK, 2007]. Iloraz zawartości K/Mg w roślinności, a także w glebie i wodzie oraz jego zmiany w aspekcie wpływu na równowagę tych składników działalności rolniczej, czynników glebowych oraz nawożenia i użytkowania omawiali, między innymi, DING, LUO i XU [2006], MASTALARCZUK [2006], SAPEK [2007], VOISIN [1963] oraz ZALEWSKA [2005]. Brakuje natomiast informacji dotyczących dynamiki zmian K/Mg z upływem czasu. Wartość tego ilorazu i jej zmiany mogą być przydatne w ocenie przemian zachodzących na użytkach zielonych.

W niniejszej pracy przedstawiono propozycję wykorzystania ilorazu zawartości potasu i magnezu (K/Mg) w roślinności łąkowej i w glebie jako wskaźnika przemian, jakie mogą zachodzić z upływem lat na użytku zielonym w warunkach ustalonego poziomu nawożenia potasem. W tym celu wykorzystano dostępne wyniki badań na dwóch długoletnich, ściślych doświadczeniach łąkowych. Wyniki oznaczeń zawartości potasu i magnezu w roślin-

ności i częściowo w glebie oraz odczynu gleby w ciągu ponad 20 lat badań umożliwiły ocenę dynamiki zmian proponowanego wskaźnika.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Zagadnienie opracowano na przykładzie wyników oznaczeń zawartości K i Mg w suchej masie roślinności łąkowej I pokosu oraz w glebie z dwóch długoletnich, ścisłych doświadczeń łąkowych, usytuowanych na czarnej ziemi zdegradowanej, w miejscowościach Janki (J) i Laszczki (L), w województwie mazowieckim. Doświadczenia założono na łąkach, w których runi dominowały trawy (w 90% – J i 87% – L). W pracy wykorzystano wyniki analizy chemicznej roślinności w wybranych latach z okresów 1981–2006 (J) i 1982–2003 (L) z 4 obiektów nawozowych, uprzednio niewapnowanych – Ca₀ i wapnowanych na starcie doświadczeń węglanem wapnia, dawką wg 2Hh – Ca₂, nawożonych 120 (N₁) i 240 (N₂) kg azotu w formie saletry amonowej (AN). Począwszy od 2004 r., na doświadczeniu L okresowo zaniechano użytkowania rolniczego. Na obu doświadczeniach stosowano nawożenie fosforem w ilości 34,9 kg P·ha⁻¹ (od 2000 r. zaniechano nawożenia tym składnikiem) i potasem w ilości 125 kg K·ha⁻¹, a od 1991 r. 150 kg K·ha⁻¹. Skład botaniczny runi z obiektów nawozowych doświadczeń różnicował się z upływem lat. Udział roślinności trawiastej w runi był zwykle mniejszy na obiektach zwapnowanych [KILISZCZYK, 2006; SAPEK, 2008]. Szczegółowy opis doświadczeń zawiera „Przedmowa” do Zeszytu specjalnego „Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie” [SAPEK, 2006].

Do opracowania posłużyły również wyniki oznaczeń potasu i magnezu w 0–10 cm warstwie gleby z doświadczeń po ekstrakcji roztworem 0,5 mol HCl·dm⁻³ próbek pobranych w latach 1995 i 2007 oraz wyniki oznaczeń pH-KCl gleby w latach 1982–2007 na doświadczeniu J i 1983–2007 na doświadczeniu L. Charakterystykę właściwości fizyczno-chemicznych gleb z doświadczeń podano w pracy SAPEK [1993]. Należy zaznaczyć, iż zawartość potasu oznaczonego po trawieniu próbki w stężonych kwasach – HNO₃ i HClO₄, była w tych glebach podobna (1,05 i 1,07 g K·kg⁻¹), natomiast różniły się one znacznie zawartością magnezu – odpowiednio 0,47 i 0,89 g Mg·kg⁻¹ na doświadczeniu J i L. Ponadto, gleba z doświadczenia L zawierała więcej węgla organicznego niż gleba z doświadczenia J (C_{org} – 38,0 i 19,0 g·kg⁻¹) [SAPEK, 1993].

Zawartość potasu i magnezu w roślinności, po jej mineralizacji w mieszaninie stężonych kwasów, oraz w wyciągu z gleby oznaczono metodą spektrometryczną płomieniową, a pH-KCl – metodą potencjometryczną [SAPEK, 1979].

Obliczono ilorazy wyrażonych wagowo (w g·kg⁻¹) zawartości potasu i magnezu (K/Mg) w roślinności i glebie. Wykreślono linie trendu zmian zawartości K i Mg oraz K/Mg w roślinności z upływem lat badań. W celu wykazania istotności wpływu oznaczanych wielkości na wartość i kierunek zmian K/Mg, obliczono współczynniki korelacji Pearsona między badanymi wielkościami i latami badań, a ponadto między zawartością K, Mg i pH gleby oraz między K/Mg i pH gleby, w odniesieniu do roślinności i gleby.

WYNIKI I DYSKUSJA

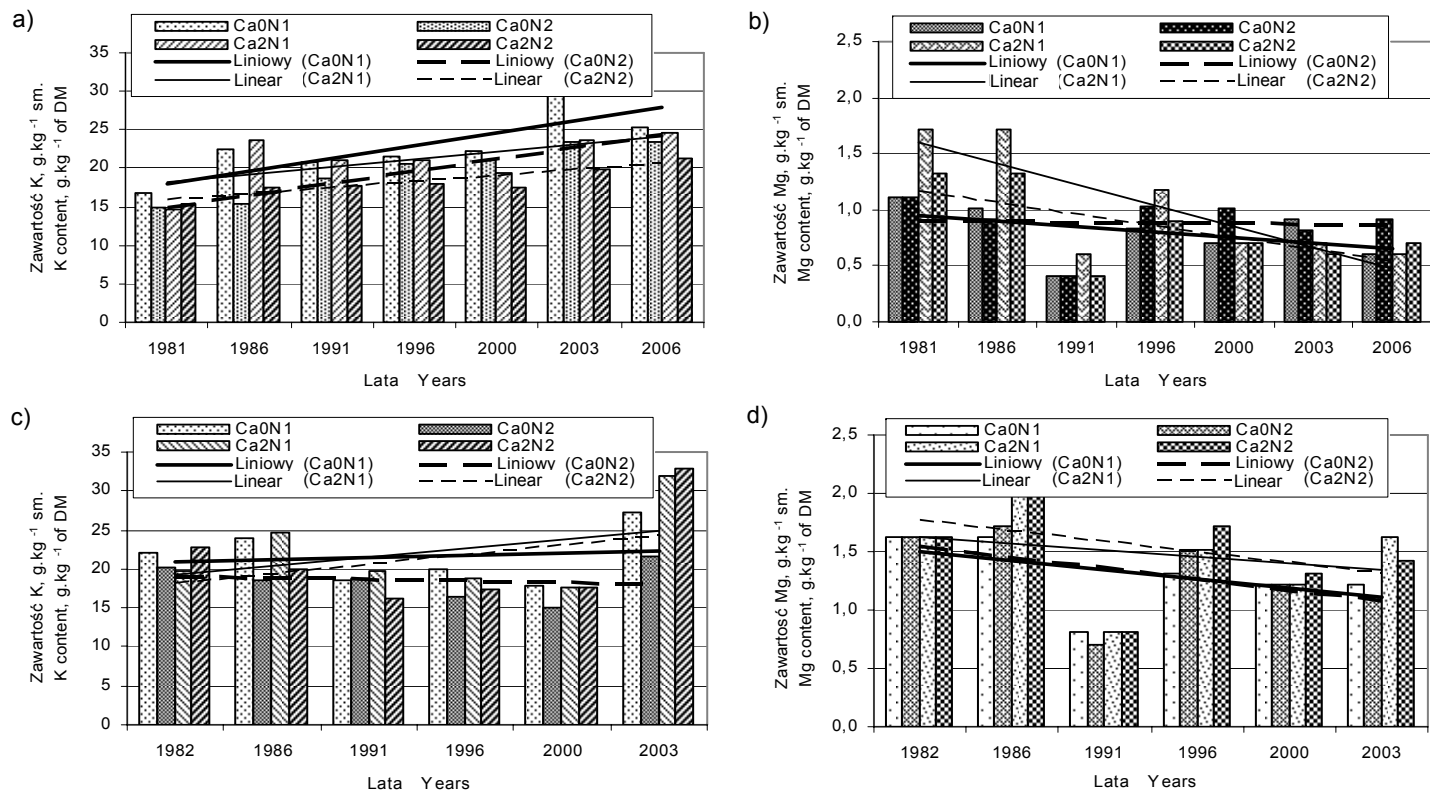
RELACJA ZAWARTOŚCI POTASU DO MAGNEZU W ROŚLINNOŚCI

Zmiany zawartości potasu i magnezu

Zawartość potasu w roślinności z obu doświadczeń zwiększała się z upływem lat badań, na co wskazują linie trendu zmian dla kolejnych obiektów nawozowych (rys. 1a,c). Znacznie intensywniejsze jej zmiany wystąpiły na doświadczeniu J, gdzie zawartość tego składnika w roślinności obiektów niewapnowanych (Ca_0N_1 , Ca_0N_2) była największa i najbardziej zwiększała się z upływem lat (rys. 1a). Silnie kwaśny odczyn gleby na tych obiektach nawozowych sprzyjał większemu udziałowi traw w runi, które, w porównaniu z roślinami dwuliściennymi, pobierają potas intensywniej (rys. 2a) [DOBOSZYŃSKI, 1988; GORLACH, MAZUR, 2002; SAPEK, 2008; VOISIN, 1963]. Zwiększanie zawartości potasu w roślinności wraz z zakwaszeniem gleby potwierdził ujemny współczynnik korelacji Pearsona między pH gleby i zawartością tego składnika w roślinności ($r = -0,36^*$) istotny tylko na doświadczeniu J (tab. 1). Zwiększenie zawartości potasu w roślinności z upływem lat badań na doświadczeniu J, poza obiektem Ca_2N_1 , potwierdzają dodatnie, istotne współczynniki korelacji Pearsona (tab. 2). Na doświadczeniu L stwierdzono względną stabilność zawartości potasu w roślinności z tych samych obiektów nawozowych. Zwiększeniu zawartości potasu, znacznie mniej intensywnemu w porównaniu z doświadczeniem J, sprzyjały warunki na obiektach wapnowanych (Ca_2N_1 , Ca_2N_2) (rys. 1c). Na tym doświadczeniu zmiany zawartości tego składnika w roślinności z upływem lat badań nie były statystycznie uodwodnione (tab. 2). Mimo zwiększenia dawki nawozu potasowego począwszy od 1991 r., nie obserwowano w tym roku wyróżniającego się wzrostu zawartości potasu w roślinności z obu doświadczeń (rys. 1a,c).

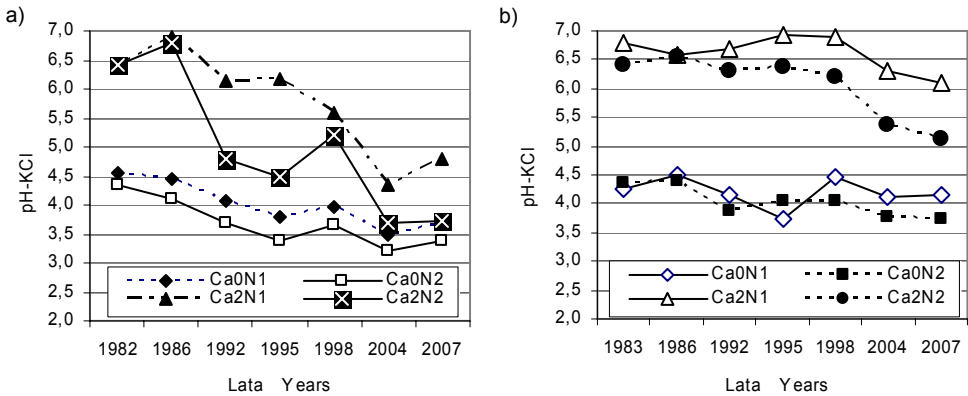
Zawartość magnezu w roślinności z obu doświadczeń zmniejszała się z upływem lat, co mogło być skutkiem nawożenia potasem. Jak wskazuje VOISIN [1963], systematyczne i intensywne nawożenie tym składnikiem powoduje niedobór magnezu w roślinach, zwłaszcza w trawach. Znaczne zmniejszenie zawartości tego składnika, które wystąpiło w 1991 r. (rys. 1b,d), kiedy to zwiększono nawożenie potasem, mogło być spowodowane chwilowym ograniczeniem dostępności magnezu zawartego w glebie i jego pobrania przez rośliny [BARSZCZEWSKI, 2002; DOBOSZYŃSKI, 1988; GORLACH, MAZUR, 2002; ZALEWSKA, 2005]. Najintensywniejsze zubożenie roślinności w magnez z upływem lat stwierdzono na ubogiej w ten składnik glebie wapnowanego obiektu Ca_2N_1 na doświadczeniu J, na którym jednocześnie stwierdzono znaczny spadek wartości pH gleby (rys. 1b, rys. 2a). Natomiast najmniejszą zawartość magnezu obserwowano w roślinności niewapnowanego obiektu Ca_0N_1 , co potwierdza antagonizm pobierania jonów magnezu i potasu. Istotne zwiększenie zawartości magnezu w roślinności wraz ze zmniejszeniem kwasowości gleby (większe wartości pH) wykazano na doświadczeniu J ($r = 0,58^{**}$ – tab. 1). Zawartość magnezu była najbardziej stabilna w silnie kwaśnej glebie obiektu Ca_0N_2 (rys. 1b, rys. 2a) [GORLACH, MAZUR, 2002; VOISIN, 1963].

Zawartość magnezu w bogatszej w ten składnik roślinności z doświadczenia L zmniejszała się z upływem lat na wszystkich obiektach nawozowych. Uboższa w magnez była roślinność z obiektów niewapnowanych, czemu towarzyszył kwaśny odczyn gleby (rys. 1d, 2b). Wynika stąd, co wykazali inni autorzy, iż kwaśny odczyn gleby wpływa ujemnie na



Rys. 1. Zmiany zawartości potasu i magnezu w roślinności I pokosu z doświadczenia łąkowego w Jankach w latach 1981–2006 (a, b) i Laszczkach w latach 1982–2003 (c, d) z obiektów nawozowych niewapnowanych, nawożonych azotem w ilości 120 i 240 kg·ha⁻¹ (Ca₀N₁, Ca₀N₂) i wapnowanych, nawożonych taką samą dawką azotu (Ca₂N₁, Ca₂N₂)

Fig. 1. The changes of potassium and magnesium content in the I-st regrowth of plants from grassland experiment in Janki in 1981–2006 (a, b) and Laszczki in 1982–2003 (c, d) in fertilization objects, not limed, fertilized with nitrogen dose of 120 and 240 kg·ha⁻¹(Ca₀N₁, Ca₀N₂) and limed, fertilized with the same nitrogen doses (Ca₂N₁, Ca₂N₂)



Rys. 2. Zmiany pH-KCl 0–10 cm warstwy gleby na doświadczeniu łąkowym w Jankach w latach 1982–2007 (a) i Laszczkach w latach 1983–2007 (b); oznaczenia jak na rysunku 1

Fig. 2. The changes of pH-KCl in 0–10 cm soil layer in grassland experiment in Janki in 1982–2007 (a) and Laszczki in 1983–2007 (b); descriptions as in Fig. 1

Tabela 1. Współczynniki korelacji Pearsona r między pH-KCl gleby, zawartością potasu, magnezu, ilorazem tych zawartości K/Mg w roślinności łąkowej I pokosu oraz w wyciągu $0,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl z gleby; doświadczenie w Jankach i Laszczkach

Table 1. Coefficients of Pearson's correlation r between soil pH-KCL, potassium, magnesium content, K/Mg ratio in the 1-st regrowth of plants and in $0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl soil extract from Janki and Laszczki grassland experiment

Doświadczenie Experiment	Liczebność Number	Czynnik Factor	Współczynnik korelacji r Coefficient of correlation r		
			K	Mg	K/Mg
			$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DM	
Roślinność¹⁾ Plants¹⁾					
Janki	28	pH-KCl	-0,36*	0,58**	-0,47*
	28	K	–	-0,23	–
Laszczki	24	pH-KCl	0,06	0,30	-0,21
	24	K	–	0,25	–
Gleba²⁾ Soil²⁾					
Janki	8	pH-KCl ¹⁾	-0,31	0,33	0,53
	8	K	–	0,03	–
Laszczki	8	pH-KCl ¹⁾	0,37	-0,30	-0,71*
	8	K		0,87**	

¹⁾ r – obliczono dla wszystkich obiektów nawozowych z 6 lat badań na doświadczeniu w Laszczkach i 7 na doświadczeniu w Jankach.

²⁾ r – obliczono dla wszystkich obiektów nawozowych z 2 lat badań na doświadczeniach w Laszczkach i Jankach.

¹⁾ r – calculated for all fertilization objects from 6 years of studies in Laszczki experiment and for 7 years in Janki experiment.

²⁾ r – calculated for all fertilization objects from 2 years of studies in Laszczki and Janki experiments.

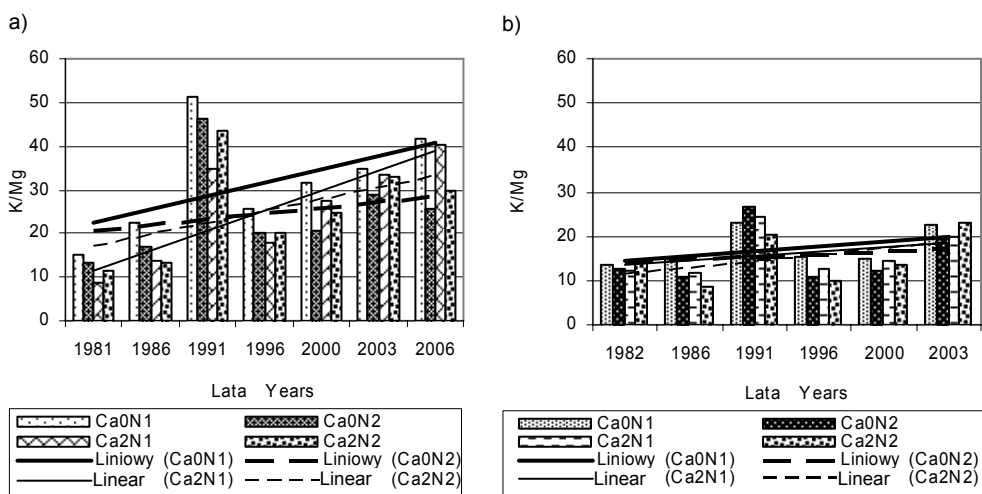
Tabela 2. Współczynniki korelacji Pearsona r między latami badań¹⁾ a zawartością potasu, magnezu, ilorazem tych zawartości (K/Mg) w roślinności łąkowej I pokosu, pH-KCl gleby; doświadczenie w Jankach i Laszczkach

Table 2. Coefficients of Pearson's correlation r between years of study¹⁾ and potassium, magnesium content, K/Mg ratio in the I-st regrowth of plants, soil pH-KCl; Janki and Laszczki grassland experiment

Obiekt nawozowy Fertilization object		Liczebność Number	Współczynnik korelacji r Coefficient of correlation r			
			roślinność plants		gleba soil	
			K	Mg	K/Mg	pH-KCl
			$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DM		
Janki	wszystkie all	28	0,67***	-0,54**	0,53**	-0,54**
	Ca ₀ N ₁	7	0,76*	-0,47	0,55	-0,93***
	Ca ₀ N ₂	7	0,98***	-0,08	0,28	-0,91***
	Ca ₂ N ₁	7	0,63	-0,82*	0,81*	-0,86**
	Ca ₂ N ₂	7	0,89**	-0,67	0,53	-0,85**
Laszczki	wszystkie all	24	0,18	-0,37	0,33	-0,12
	Ca ₀ N ₁	6	0,07	-0,50	0,43	-0,25
	Ca ₀ N ₂	6	-0,21	-0,46	0,18	-0,81*
	Ca ₂ N ₁	6	0,32	-0,28	0,35	-0,24
	Ca ₂ N ₂	6	0,31	-0,35	0,43	-0,73

¹⁾ r – obliczono: dla 6 lat badań na doświadczeniu w Laszczkach, dla 7 lat badań na doświadczeniu w Jankach.

¹⁾ r – calculated for 6 years of studies in Laszczki experiment, for 7 years in Janki experiment.



Rys. 3. Zmiany ilorazu K/Mg w roślinności I pokosu z doświadczenia łąkowego w Jankach w latach 1981–2006 (a) i Laszczkach w latach 1982–2003 (b); oznaczenia jak na rysunku 1

Fig. 3. The changes of K/Mg ratio in the I-st regrowth of plants from grassland experiment in Janki in 1981–2006 (a) and in Laszczki in 1982–2003 (b); descriptions as in Fig. 1

pobieranie tego składnika przez roślinność łąkową [CHOROMAŃSKA, 1995; GORLACH, MAZUR, 2002]. Takiej zależności na tym doświadczeniu nie udowodniono statystycznie (tab. 1).

Zmiany ilorazu zawartości potasu do magnezu

Wartości K/Mg obliczone dla roślinności I pokosu z dwóch doświadczeń znacznie się różniły w zależności od obiektu nawozowego i lat badań. Pomijając rok 1991, mieściły się w zakresie około 15–40 na doświadczeniu J i około 12–22 na doświadczeniu L (rys. 3a,b). Jak podano w metodach badań, w wyróżniającym się roku 1991 na obu doświadczeniach zwiększono dawkę stosowanego nawozu potasowego, czego skutkiem było znaczne zwiększenie wartości K/Mg w tym roku. Jak wynika z badań VOISINA [1963], zwiększenie dawki potasu ze 152 do 381 kg·ha⁻¹ K spowodowało wzrost wartości K/Mg, wyrażonego równoważnikowo z 2,25 do 3,71, co odpowiada wartościom ilorazu wyrażonego wagowo – 6,32 i 10,42. Zwiększenie stosunku jonowego potasu do magnezu (średnio dla części nadziemnych roślin –1,71–2,80) wraz z intensywnością użytkowania łąki (dawki azotu i krotności koszenia) wykazał, między innymi, MASTALARCZUK [2006]. Wartości te, wyrażone wagowo, wynoszą 4,80–7,86.

Wartość K/Mg zwiększała się wraz z upływem lat, a intensywność zmian, w zależności od doświadczenia i obiektu nawozowego, ilustrują nachylenia linii trendu (rys. 3). Zwiększanie wartości ilorazu z upływem lat potwierdza istotny dodatni współczynnik korelacji Pearsona ($r = 0,81^*$) na obiekcie nawozowym Ca₂N₁ w Jankach, również istotny dla wartości ilorazów z wszystkich obiektów nawozowych tego doświadczenia ($r = 0,53^{**}$) (tab. 2).

Największą zmianę i zwiększenie wartości ilorazu po upływie 25 lat stwierdzono w roślinności zebranej z wapnowanego obiektu Ca₂N₁ z doświadczenia J (8,5 w 1981 r., 40 w 2006). W glebie tego obiektu nawozowego zmiana pH z upływem lat wykazała jej intensywny, ponowne zakwaszenie – reacydyfikację (rys. 2a), na co zwrócono uwagę w pracy SAPEK [1993]. Zwiększenie wartości K/Mg w roślinności wraz z zakwaszeniem gleby (zmniejszenie pH) potwierdza ujemny, istotny współczynnik korelacji Pearson ($r = -0,47^*$) (tab. 1). W warunkach doświadczenia J, największą stabilność tego ilorazu stwierdzono w roślinności z niewapnowanego obiektu Ca₀N₂ (rys. 3a).

Znacznie mniej intensywne zmiany K/Mg w ciągu 21 lat badań (12,2 w 1982 r., 23,1 w 2003 r.), a także mniejsze różnice jego wartości między obiektami nawozowymi obserwowano w roślinności doświadczenia L. Mniejsze, w porównaniu z pozostałymi, wartości ilorazu otrzymano w przypadku roślinności z obiektów wapnowanych (Ca₂) (rys. 1b). Wartości te w roślinności obu obiektów były najbliższe optymalnemu zakresowi wyrażonych wagowo wartości wskaźnika K/Mg (22–25) w analizie liściowej ryżu [DING, LUO, XU, 2006]. Na doświadczeniu L nie wykazano istotności (przyjętej w pracy jako graniczna dla $\alpha = 0,05$) korelacji między zmianami ilorazu K/Mg w roślinności, a latami badań, jednakże dodatnie wartości współczynników korelacji potwierdzają tendencje zwiększenia tego wskaźnika z upływem lat (tab. 2). Nie wykazano również istotnego wpływu pH gleby na wartość ilorazu K/Mg, lecz ujemny znak współczynnika korelacji wskazuje tendencję kierunku zmian, jak na doświadczeniu J (tab. 1).

RELACJA ZAWARTOŚCI POTASU DO MAGNEZU W GLEBIE

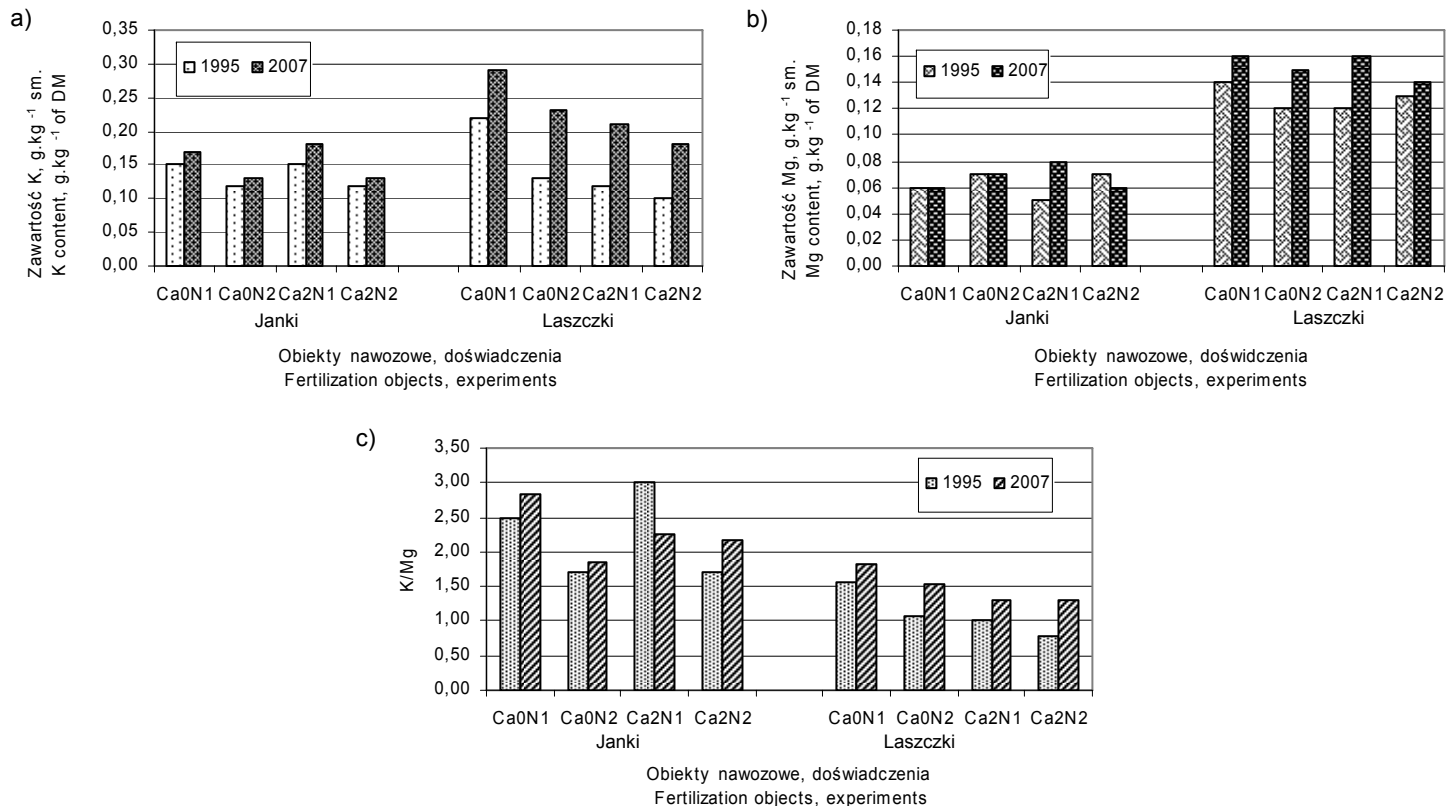
Mimo stałego poziomu nawożenia obu doświadczeń, zawartość potasu w glebie zwiększyła się po 12 latach, w większym stopniu na doświadczeniu L (rys. 4a). W zasobniejszej w magnez glebie doświadczenia L zawartość tego składnika po 12 latach (1995–2007) również się zwiększyła, zwłaszcza na obiektach nawożonych mniejszą dawką azotu ($120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (rys. 4b). Wskazywałyoby to na uwalnianie z gleby ruchliwych form magnezu, a także na mniejsze jego pobranie z plonem i mniejsze wymywanie z gleby. Ponadto, w glebie z tego doświadczenia stwierdzono istotną, dodatnią korelację między zawartością potasu i magnezu ($r = 0,87^{**}$) (tab. 1). Można z tego wnioskować, że w warunkach tego doświadczenia systematycznie wprowadzany z nawozem do gleby potas (którego promień jonowy jest znacznie większy od promienia jonowego magnezu) wypiera magnez z kompleksu sorpcyjnego i zwiększa dostępny zasób tego składnika w glebie [CHOROMAŃSKA, 1995; GORLACH, MAZUR, 2002,].

Prezentowane wartości K/Mg w glebie w latach 1995 i 2007 z dwóch doświadczeń są, podobnie jak w roślinności, znacznie mniejsze na doświadczeniu L. Na tym doświadczeniu, wartości ilorazu zmniejszały się w glebie kolejnych obiektów nawozowych: $\text{Ca}_0\text{N}_1 > \text{Ca}_0\text{N}_2 > \text{Ca}_2\text{N}_1 > \text{Ca}_2\text{N}_2$ (rys. 4c). Kolejność zmian pH gleby: $\text{Ca}_0\text{N}_2 > \text{Ca}_0\text{N}_1 > \text{Ca}_2\text{N}_2 > \text{Ca}_2\text{N}_1$ wskazuje na bardziej kwaśny odczyn gleby obiektów nawożonych większą dawką azotu (rys. 2a i b). Po 12 latach wartości K/Mg były większe na wszystkich obiektach nawozowych tego doświadczenia. Istotny, ujemny współczynnik korelacji Pearsona między pH i K/Mg wskazuje, iż mniejszej kwasowości gleby (większej wartości pH) sprzyja mniejsza wartość K/Mg ($r = -0,71^*$). Takiej zależności, także między pH i zawartością potasu oraz magnezu w glebie, nie stwierdzono na doświadczeniu J (nieistotny współczynnik korelacji) (tab. 1). Na tym doświadczeniu, wartość K/Mg w glebie obiektu Ca_0N_2 zwiększyła się w najmniejszym stopniu, a w glebie z wapnowanego obiektu Ca_2N_1 , o mniejszej kwasowości wykazano znaczne jej zmniejszenie (rys. 4c).

W niniejszej pracy nie rozpatrywano wzajemnego oddziaływania relacji potasu i magnezu oraz jej zmian z upływem lat w glebie i w roślinności, a także wpływu na tę relację poziomu nawożenia azotem, co wymaga oddzielnego opracowania. ZALEWSKA [2005], w badaniach nad wpływem wysycenia potasem i magnezem kompleksu sorpcyjnego gleby na skład mineralny zielonki owsa, wykazała wysoki stopień zależności między K/Mg w tym kompleksie a zawartością K ($R^2\cdot 100 = 99,2^{**}$) i Mg ($R^2\cdot 100 = 97,3^{**}$) w badanej roślinie. Podobną tendencję zależności obserwowano w niniejszej pracy, lecz tylko w przypadku potasu. Zwiększeniu wartości K/Mg w glebie po 12 latach towarzyszyły, w podobnym przedziale czasu, większe zawartości potasu w roślinności, zwłaszcza na doświadczeniu J (rys. 1a,c, rys. 4c).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Jako optymalną dla dobrej jakości paszy łąkowej, uznaje się zawartość potasu w zakresie $17\text{--}25 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., a magnezu – w zakresie $2\text{--}4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. [FALKOWSKI i in., 2000; DOBOSZYŃSKI, 1988; WASILEWSKI, 2008]. Jeżeli, w dobrym sianie, zawartość K jest równa $25 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. i Mg – $3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., to wyrażona wagowo wartość K/Mg wynosi 8,3.



Rys. 4. Zawartość potasu (a) i magnezu (b) w wyciągu z gleby po ekstrakcji 0,5 mol HCl·dm⁻³ na doświadczeniu łąkowym w Jankach i Laszczkach oraz wartości K/Mg (c) w glebach z tych doświadczeń w latach 1995 i 2007; oznaczenia jak na rysunku 1.

Fig. 4. The content of potassium (a) and magnesium (b) in 0.5 mol HCl·dm⁻³ soil extract in Janki (a) and Laszczki (b) grassland experiment and K/Mg ratios (c) in soils of experiments in 1995 and 2007; descriptions as in Fig. 1.

Wszystkie obliczone ilorazy zawartości K i Mg w roślinności łąkowej z obu doświadczeń znacznie przewyższały tę wartość (rys. 3a,b). Dlatego nasuwa się pytanie, który z dwóch omawianych składników roślinności o tym decydował w największym stopniu, a także jakie właściwości gleby i zachodzące w niej procesy wpływały na wartość ilorazu K/Mg i jego zmiany z upływem czasu. Z dwóch możliwości zwiększania wartości K/Mg, tj. zwiększania zawartości K lub zmniejszania zawartości Mg, obydwie, chociaż w różnym stopniu, wpłynęły na zmiany badanego ilorazu w roślinności z obu doświadczeń (rys. 1, rys. 3a,b).

Analiza prezentowanych w pracy wyników wskazuje, iż to głównie zawartość potasu i jej zwiększenie decyduje o wartości K/Mg w roślinności łąkowej na kwaśnej, ubogiej w węgiel organiczny i magnez glebie doświadczenia J. Mimo stałego poziomu nawożenia potasem, wzrastające z upływem lat wartości K/Mg wskazują na znaczną zmienność równowagi obu jonów z upływem lat, czemu towarzyszą dynamiczne zmiany pH gleby.

W warunkach zasobnej w węgiel organiczny oraz magnez gleby doświadczenia L, wartości K/Mg w roślinności kształtuje, przede wszystkim, zawartość magnezu. Zmniejszenie zawartości tego składnika powoduje zwiększenie wartości omawianego ilorazu, lecz w znacznie mniejszym stopniu niż na doświadczeniu J. Świadczy to o tendencji względnej stabilności równowagi jonowej rozpatrywanych składników w tych warunkach, mimo zróżnicowanego pH gleb, którego zmiany są jednak coraz mniej dynamiczne z upływem lat. Brak statystycznej istotności wykazanych zależności w warunkach tego doświadczenia wymaga dalszych badań w tym zakresie.

Na podstawie rozpatrzonych w pracy dostępnych wyników długoletnich badań przedstawiono poniższe wnioski.

1. Iloraz zawartości potasu i magnezu (K/Mg) w roślinności i glebie łąkowej jest wielkością dynamiczną. Zmiany jego wartości z upływem lat, mimo stałego poziomu nawożenia potasem, świadczą o braku równowagi jonowej w pobieraniu składników przez roślinność łąkową.

2. W warunkach stwierdzanego niedoboru potasu oraz magnezu w polskich glebach, zwłaszcza zakwaszonych, duże i wzrastające w czasie wartości K/Mg wskazywałyby na potrzebę wzbogacania takich gleb w magnez oraz ograniczanie możliwości jego wymywania, a także na konieczność zrównoważonego nawożenia potasem użytków zielonych.

3. Iloraz K/Mg może służyć jako wskaźnik zmian środowiskowych na trwałym użytku zielonym.

LITERATURA

- BARSZCZEWSKI J., 2002. Wpływ zróżnicowanego nawożenia na plon i jakość runi łąki trwale deszczowanej. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* t. 2 z. 1 (4) s. 29–55.
- DING Y., LUO W., XU G., 2006. Characterization of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. *Ann. Applied Biology* 149(2) s. 111–123.
- DOBOSZYŃSKI L., 1988. Nawożenie i pielęgnowanie użytków zielonych. W: Przewodnik łąkarski. Warszawa: PWRiL s. 364–417.
- Dyrektywa (COM(2006) 233).
- CHOROMAŃSKA D., 1995. Możliwość zwiększenia zawartości magnezu w paszy z użytków zielonych na glebach mineralnych. *Wiad. IMUZ* t. 18 z. 3 s. 69–82.

- FALKOWSKI M., KUKULKA I., KOZŁOWSKI S., 2000. Właściwości chemiczne roślin łąkowych. Poznań: Wydaw. AR ss. 132.
- GORLACH E., MAZUR T., 2002. Chemia rolna. Warszawa: PWN.
- GRUNER D.L., WELCH R.M. 1989. Plant content of magnesium, calcium and potassium In relation to ruminant nutrition. *J. Anim Sci.* 67 3485–3494.
- JANUKOWICZ H., 2007. Stan równowagi jonowej a wartość żywieniowa roślinności lakowej w fazie kłoszenia i kwitnienia *Festuca pratensis* Huds. Rozpr. nauk. monogr. 19. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 81.
- KILISZCZYK D., 2006. Sprawozdanie. Doświadczenie Janki Ca z 2006 roku temat: 2.1/ChGW pt. „Ocena i sposoby przeciwdziałania procesom powodującym zakwaszenie, przemiany węgla oraz wymywanie składników mineralnych w glebach użytkowanych i nieużytkowanych rolniczo”. Falenty: ZDMUZ maszyn.
- LEWIS D.C., SPAROW L.A., 1991. Implication of soil, pasture composition and mineral content of pasture components for the incidence of grass tetany in the South East of South Australia. *J. Experiment. Agricult.* 31(5) s. 609–615.
- LABĘTOWICZ J., MAJEWSKI E., RADECKI A., KACZOR A., 2004. Bilans magnezu w wybranych gospodarstwach rolniczych w Polsce. *J. Elementol.* 9(3) s. 367–376.
- LABĘTOWICZ J., MAJEWSKI E., KALWARA A., RUTKOWSKA B., SZULC W., 2005. Bilans potasu w wybranych gospodarstwach rolniczych w Polsce. *J. Elementol.* 10(4) s. 931–938.
- MASTALARCZUK G., 2006. Zawartość składników pokarmowych w organach roślin łąkowych w warunkach różnej intensywności użytkowania. *Łąkar. Pol.* 9 s. 131–140.
- SAPEK A., 1979. Metody analizy chemicznej roślinności łąkowej, gleby i wody. Cz. 1. ss. 55.
- SAPEK A., SAPEK B., 2007. Zmiany jakości wody i gleby w zagrodzie i jej otoczeniu w zależności od sposobu składowania nawozów naturalnych. Zesz. Edukac. 11 Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 114.
- SAPEK B., 1993. Studia nad wapnowaniem trwałego użytku zielonego na glebie mineralnej. Rozpr. Habil. Falenty: IMUZ ss. 93.
- SAPEK B., 2006. Przedmowa. W: Azot, fosfor i potas w glebie oraz plonowanie trwałego użytku zielonego na długoletnich doświadczeniach łąkowych Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 6 z. specj. (17). s. 65–82.
- SAPEK B., 2007. Potas i magnez w glebie i wodzie z zagrody wiejskiej w aspekcie ich równowagi w środowisku. *Ochr. Środ. Zasob. Natural.* nr 31 s. 170–176.
- SAPEK B., 2008. Nawożenie saletrą wapniową gleby łąkowej w świetle działań proekologicznych. *Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 8 z. 1(22)* s. 305–321.
- SAPEK B., KALIŃSKA D., 2000. Wpływ zróżnicowanego odczynu i dawki azotu na bilans azotu, fosforu i potasu w długoletnich doświadczeniach łąkowych. *Wiad. IMUZ.* t. 21 z. 1 s. 31–50.
- SAPEK B., BARSZCZEWSKI J., URBANIAK M., 2006. Uproszczony bilans potasu na łące trwałej, deszczowanej w warunkach ograniczenia nawożenia tym składnikiem na tle jego zawartości i pobrania przez rośliny oraz wymycia z gleby. *Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 6 z. specj. (17)* s. 103–118.
- VOISIN A., 1963. The causes of grass tetany in retrospect. In: *Grass tetany*. P. 3. Springfield Illinois: Charles Thomas – Publisher Bennerstone House.
- WASILEWSKI Z., 2008. Nawozy naturalne w nawożeniu pastwisk. *Wiś Jutra* 3 (116) s. 18–20.
- ZALEWSKA M. 2005. Wpływ zróżnicowanego wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleby wapniem, magnezem, potasem i wodorem na plonowanie i skład mineralny owsa. *J. Elementol.* 10(4) s. 1137–1149.

Barbara SAPEK

**POTASSIUM TO MAGNESIUM RATIO IN MEADOW VEGETATION AND SOIL
AS AN INDICATOR OF THE ENVIRONMENTAL CHANGES IN GRASSLANDS**

Key words: content of elements, grassland plants, ion equilibrium, K/Mg ratio, meadow soil

S u m m a r y

A proposition was presented to use the potassium to magnesium ratio in plants and soil as an indicator of changes that might occur with time in grassland at constant mineral fertilization. The elaboration was based on results of a study on two long-term exact meadow experiments on mineral soil. Results of potassium and magnesium analyses in plants and soil as well as the determination of soil pH for more than 20 years enabled the estimation of the dynamics of proposed indicator. Despite constant fertilization, including fertilisation with potassium, the temporal changes of K/Mg ratio evidenced the lack of ionic equilibrium of the elements taken up by plants. In view of the recognised deficit of potassium and magnesium in Polish soils, especially in acid soils, high and still increasing K/Mg ratios point to the need of enriching such soils with magnesium and limiting the possibilities of its leaching. In such cases, balanced fertilisation of grasslands with potassium is indispensable.

Recenzenci:

prof. dr hab. Zbigniew Ciećko

doc. dr hab. Zbigniew Wasilewski

Praca wpłynęła do Redakcji 26.05.2008 r.