

EFEKTYWNOŚĆ NAWOŻENIA SALETRĄ AMONOWĄ I WAPNIOWĄ W PLOWANIU UŻYTKU ZIELONEGO NA GLEBIE MINERALNEJ – WYNIKI WIELOLETNICH DOŚWIADCZEŃ

Barbara SAPEK

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Ochrony Jakości Wody

Słowa kluczowe: doświadczenia wieloletnie, efektywność nawożenia, gleba mineralna, pH gleby, plonowanie, saletra amonowa, saletra wapniowa, użytek zielony, właściwości fizyczno-wodne

Streszczenie

W ocenie efektywności działania czynnika nawozowego oraz jego dynamiki należałoby brać pod uwagę nie tylko ilość uzyskiwanych plonów, lecz również jego oddziaływanie na środowisko przyrodnicze. Celem pracy była ocena plonowania użytków zielonych w wieloletniu na glebach mineralnych o zróżnicowanych właściwościach fizyczno-wodnych pod wpływem nawożenia saletrą amonową (AN) oraz saletrą wapniową (CN) na tle następczego wpływu wapnowania i zróżnicowanej dawki azotu, a także w warunkach zaniechania nawożenia fosforem. Oszacowano efektywność działania dwóch nawozów azotowych na przykładzie wyników dwóch długoletnich doświadczeń łąkowych (doświadczenie J, 1981–2007; doświadczenie L, 1982–2003) użytkowanych kośnie, założonych na kwaśnej glebie mineralnej, usytuowanych w województwie mazowieckim. Obserwowane zróżnicowanie plonowania rozważono w świetle ochrony gleby i kosztów nawożenia. W warunkach silnie kwaśnej gleby, ubogiej w C_{org} i stosowania większych dawek azotu ($240 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) można oczekiwać większego efektu plonotwórczego nawożenia saletrą wapniową w porównaniu z saletrą amonową, również po zaniechaniu nawożenia jej fosforem. Bez względu na właściwości fizyczno-wodne gleby, nawożenie saletrą wapniową gwarantuje większą stabilność uzyskiwanych plonów w wieloletniu. Większy koszt azotu w tej samej dawce saletry wapniowej w porównaniu z saletrą amonową jest rekompensowany jego zwiększoną plonotwórczą efektywnością oraz działaniem próśrodowiskowym, tj. przeciwdziałaniem zakwaszeniu gleby i stabilizacją jej odczynu.

Adres do korespondencji: prof. dr hab. B. Sapek, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Ochrony Jakości Wody, al Hrabaska 3, 05-090 Raszyn; tel. +48 (22) 720-05-31 w. 220, e-mail: b.sapek@itep.edu.pl

WSTĘP

Plonowanie użytku zielonego jest funkcją wielu zmiennych, między innymi takich, jak właściwości fizyczno-wodne i chemiczne gleby kształtujące jej żyzność, czynniki atmosferyczne, tj. opad i temperatura, a także nawożenie [ABASSI i in. 2005; DOBOSZYŃSKI 1988; DRUPKA 2004]. Ostatni z wymienionych czynników może w głównej mierze kształtować ilość uzyskiwanych plonów. Wśród podstawowych składników nawozowych, oprócz fosforu i potasu, nawożenie azotem powszechnie uznaje się za najefektywniejszy czynnik plonotwórczy [ABASSI i in. 2005; DOBOSZYŃSKI 1996; DOBOSZYŃSKI 1988; FALKOWSKI, NOWAK 1975; HARRISON i in. 1994; WASILEWSKI 1997].

W przypadku plonotwórczego działania fosforu, CRAINE i JACKSON [2010] wykazali współograniczenie (colimitation) wpływu nawożenia azotem i fosforem na wzrost roślin i plonowanie użytków zielonych w zależności od zasobności gleb w fosfor na tle jej uwilgotnienia i temperatury. Nawozy saletrane, a wśród nich saletra amonowa (NH_4NO_3), są łatwo dostępną formą azotu dla roślinności łąkowej [GORLACH, MAZUR 2002]. Zawierają jednak azotany, które mogą być źródłem nadmiernego ich pobierania przez roślinność, co jest niekorzystne ze względu na jakość paszy łąkowej [FALKOWSKI, KUKUŁKA 1978; WASILEWSKI 1997]. Ponadto, saletra amonowa zakwasza glebę, zawiera bowiem kation amonowy, który w procesie nityfikacji w reakcji utlenienia tworzy anion azotanowy (NO_3^-) z jednoczesnym uwolnieniem kationów wodorowych ($\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \Rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$) [FALKOWSKI, KUKUŁKA 1978; GORLACH, MAZUR 2002; SAPEK 1995]. Natomiast saletra wapniowa ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), ze względu na obecność kationu wapnia (Ca^{2+}), przeciwdziała zakwaszeniu gleby i sprzyja zwiększeniu zawartości tego składnika w roślinności [SAPEK i in. 1986; SAPEK 2008; WESOŁOWSKI i in. 1998.], a także przeciwdziała degradacji runi łąkowej i wpływa korzystnie na jej skład botaniczny [BARSZCZEWSKI, SAPEK 2010]. Jednak zawartość azotu w tym nawozie jest około dwukrotnie mniejsza w porównaniu z saletrą amonową, co przy zastosowaniu takiej samej dawki azotu zwiększa koszty nawożenia [WESOŁOWSKI i in. 2002; SAPEK 2008].

Oceniając efektywność działania czynnika nawozowego oraz jego dynamikę należałoby brać pod uwagę nie tylko ilość uzyskiwanych plonów, ale również ich jakość oraz, co obecnie jest bardzo ważne, oddziaływanie na środowisko przyrodnicze [GOLIŃSKI 2006; MAZUR i in. 2005; SAPEK 1997; SAPEK 2008; VAN-CAMP i in. 2004]. Długoletnie obserwacje i wyniki badań pozwalają na możliwie wiarygodną ocenę tak złożonych zjawisk. Potwierdzają to, między innymi, jedne z najbardziej znanych wieloletnich doświadczeń rolniczych w Rothamsted w Wielkiej Brytanii. Założone tam w 1856 r. doświadczenia łąkowe Park Grass, są kontynuowane [MARTINDALE, HORST 2004]. Wyniki wieloletnich doświadczeń polowych są pomocne w weryfikacji prognozowania przebiegu zjawisk przyrodniczych za pomocą symulacji komputerowych, czego przykładem mogą być, między innymi,

wieloletnie doświadczenia rolnicze nad plonowaniem upraw zbożowych w rotacji, z wykorzystaniem pastwiskowym i odłogowaniem, prowadzone w Longerenong w Australii od 1916 r. [NORTON i in. 2010]. Również wyniki badań ponad 20-letnich doświadczeń łąkowych, założonych w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych w latach 1981/82 są, między innymi, podstawą do oceny zmian plonowania roślinności łąkowej, zachodzących w efekcie następczego wpływu wapnowania oraz pod wpływem zróżnicowanego nawożenia azotem, a także zaniechania nawożenia fosforem [BARSZCZEWSKI 2006; SAPEK i in. 1986; SAPEK i in. 2000].

Celem pracy była ocena plonowania w wieloletnim użytku zielonych na glebach mineralnych o zróżnicowanych właściwościach fizyczno-wodnych pod wpływem nawożenia saletrą amonową oraz saletrą wapniową na tle następczego wpływu wapnowania i zróżnicowanej dawki azotu, a także w warunkach zaniechania nawożenia fosforem. Na tej podstawie oszacowano efektywność działania dwóch nawozów azotowych. Obserwowane zróżnicowanie plonowania rozważono w świetle ochrony gleby i kosztów nawożenia.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Przedstawione w pracy zagadnienia rozpatrzono na przykładzie wyników dwóch ścisłych, wieloletnich doświadczeń łąkowych użytkowanych kośnie (3 pokosy) nad następczym wpływem wapnowania na tle nawożenia azotem, założonych na kwaśnej glebie mineralnej – czarnej ziemi zdegradowanej, usytuowanych w województwie mazowieckim w miejscowościach Janki (doświadczenie J, lata – 1981–2007) i Laszczki (doświadczenie L, lata 1982–2003). W omawianiu pominięto wyniki badań z 1993 r., które nie zachowały się. Gleby doświadczeń różniły się zawartością węgla organicznego (J – 19,0; L – 38,0 g·kg⁻¹) części <0,02 mm (J – 18,4; L – 22,4%) oraz uwilgotnieniem (J – 22,1, L – 26,7% obj.).

Doświadczenia założono metodą bloków losowanych w czterech powtórzeniach. Wydzielono 6 obiektów nawozowych nawożonych stałą dawką fosforu (34,9 kg P·ha⁻¹) i potasu (125 kg K·ha⁻¹):

Ca₀ N₁, Ca₁ N₁, Ca₂ N₁,

Ca₀ N₂, Ca₁ N₂, Ca₂ N₂,

gdzie: Ca₀ – objekty niewapnowane, Ca₁, Ca₂ – objekty wapnowane jednorazowo na początku doświadczeń węglanową formą wapna, pojedynczą i podwójną dawką, obliczoną według kryterium kwasowości hydrolitycznej 1Hh i 2Hh, N₁, N₂ – objekty nawożone azotem w ilości 120 i 240 kg N·ha⁻¹, w trzech dawkach pod każdy pokos, w formie saletry amonowej (AN) i od 1992 r. równoległe na połowie poletka nawożone saletrą wapniową (CN). Jesienią 1990 r. na obu doświadczeniach zastosowano jednorazowo nawożenie mikroelementami: manganem, cynkiem i miedzią – doświadczenie J, manganem i miedzią – doświadczenie L. Od 2000 r. obydwie doświadczenia zaprzestano nawozić fosforem. Doświadczenia

prowadzone według opisanego powyżej schematu zakończono: w Jankach w 2007 r., a w Laszczkach, z uwagi na zmianę jego programu, w 2003 r. Szczegółowy ich opis zawiera opracowanie SAPEK [2006].

Do podjętej w pracy oceny plonowania i jego dynamiki wykorzystano wyniki oznaczeń plonów suchej masy roślinności łąkowej pochodzących: z obiektów nawozowych niewapnowanych (Ca_0) i wapnowanych (Ca_1 , Ca_2) nawożonych azotem (N_1 , N_2) w formie saletry amonowej (AN) i saletry wapniowej (CN). Prezentowane wyniki obejmują lata 1992–2007 (J) i 1992–2003 (L) z wydzieleniem okresu nawożenia fosforem i zaniechania tego zabiegu. Obliczono wartości średnie, współczynniki zmienności ($W\%$) oraz współczynniki korelacji liniowej Pearsona (r) między ilością plonów oraz latami badań, wielkością opadu, temperaturą powietrza i poziomem wody gruntowej.

WYNIKI I DYSKUSJA

PLONY ROŚLINNOŚCI ŁAKOWEJ NAWOŻONEJ SALETRĄ AMONOWĄ (AN) I SALETRĄ WAPNIOWĄ (CN) W WIELOLECIU NA TLE NASTĘPCZEGO WPŁYWU WAPNOWANIA I DAWKI AZOTU

Jak już wykazano, w ciągu wielolecia uzyskiwano z reguły większe plony z łąki doświadczenia L, o korzystniejszych warunkach fizyczno-wodnych niż z łąki doświadczenia J [BARSZCZEWSKI 2006; SAPEK i in. 1986; SAPEK i in. 2000]. Średnie roczne plony suchej masy po nawożeniu dwoma rodzajami saletry (AN i CN), lecz mniejszą dawką azotu (N_1) nie różniły się na dwóch doświadczeniach (tab. 1). Większe działanie plonotwórcze CN obserwowano po nawożeniu azotem w dawce N_2 (J: 8,1–8,9 t·ha⁻¹, L: 9,6–10,1 t·ha⁻¹). To lepsze działanie plonotwórcze CN wystąpiło przede wszystkim w warunkach bardzo kwaśnej gleby obiektu niewapnowanego (Ca_0) (J: 7,3–8,8 t·ha⁻¹, L: 9,3–10,4 t·ha⁻¹). Ponadto, w warunkach doświadczenia J, zmienność plonowania na tym obiekcie w okresie badanego wielolecia była wyraźnie mniejsza po nawożeniu CN, co wykazały obliczone współczynniki zmienności wartości średnich ($W\%$) (AN – 31,5%, CN – 17,0%) (tab. 1). Wskazuje to na korzystny wpływ saletry wapniowej zubożający nadmiar kwasowości gleby, co jednocześnie polepszało plonowanie i działało na nie stabilizująco [SAPEK 2008].

Większe plony suchej masy roślinności z tych doświadczeń po nawożeniu CN, w porównaniu z AN, wykazano już we wcześniejszych badaniach [SAPEK i in. 2000; SAPEK 2008]. Również WESOŁOWSKI i in. [2002] stwierdzili lepsze, w porównaniu z saletrą amonową, działanie plonotwórcze saletry wapniowej, a także saletry wapniowo-amonowej w warunkach łąki na glebie torfowo-murszowej. Cytowani autorzy zwracają uwagę na koszt azotu w obu rodzajach nawozu, większy w przypadku saletry wapniowej, co należy brać pod uwagę. We wcześniejszych pracach SAPEK i in. [2000] oraz SAPEK [2008] wykazali, iż można zmniejszyć koszt

Tabela 1. Średnie roczne plony suchej masy roślinności łąkowej z obiektów nawozowych doświadczonych w Jankach i Laszczkach na tle dawki i rodzaju nawozu azotowego oraz następczego wpływu wapnowania

Table 1. Mean annual dry matter yields of meadow vegetation from the fertilisation objects in Janki and Laszczki experiments in relation to the dose and kind of nitrogen fertiliser and secondary effect of liming

Dawka azotu Nitrogen dose	Obiekt nawozowy Fertilisation object	Rodzaj nawozu Kind of fertiliser	Średnie roczne plony roślinności, t s.m.·ha ⁻¹ Mean annual yields, t DM·ha ⁻¹			
			Janki – 15 lat (1992–2007) Janki – 15 years (1992–2007)		Laszczki – 11 lat (1992–2003) Laszczki – 11 years (1992–2003)	
			średnie mean	W%	średnie mean	W%
N ₁	Ca ₀	AN	6,7	20,8	8,4	14,3
		CN	7,1	16,9	8,5	12,9
	Ca ₁	AN	7,7	19,5	9,0	13,3
		CN	7,7	16,9	8,7	12,6
	Ca ₂	AN	8,0	15,0	8,2	14,6
		CN	7,5	14,7	8,2	13,4
N ₂	Ca ₀	AN	7,3	31,5	9,3	12,9
		CN	8,8	17,0	10,4	13,5
	Ca ₁	AN	8,5	23,5	9,5	13,7
		CN	9,0	17,8	9,9	15,1
	Ca ₂	AN	8,9	19,1	9,9	13,1
		CN	8,7	16,1	10,1	14,8
N ₁	średnio mean	AN	7,4	17,6	8,5	12,9
		CN	7,5	16,0	8,5	12,9
N ₂	średnio mean	AN	8,1	25,9	9,6	12,5
		CN	8,9	16,8	10,1	13,9

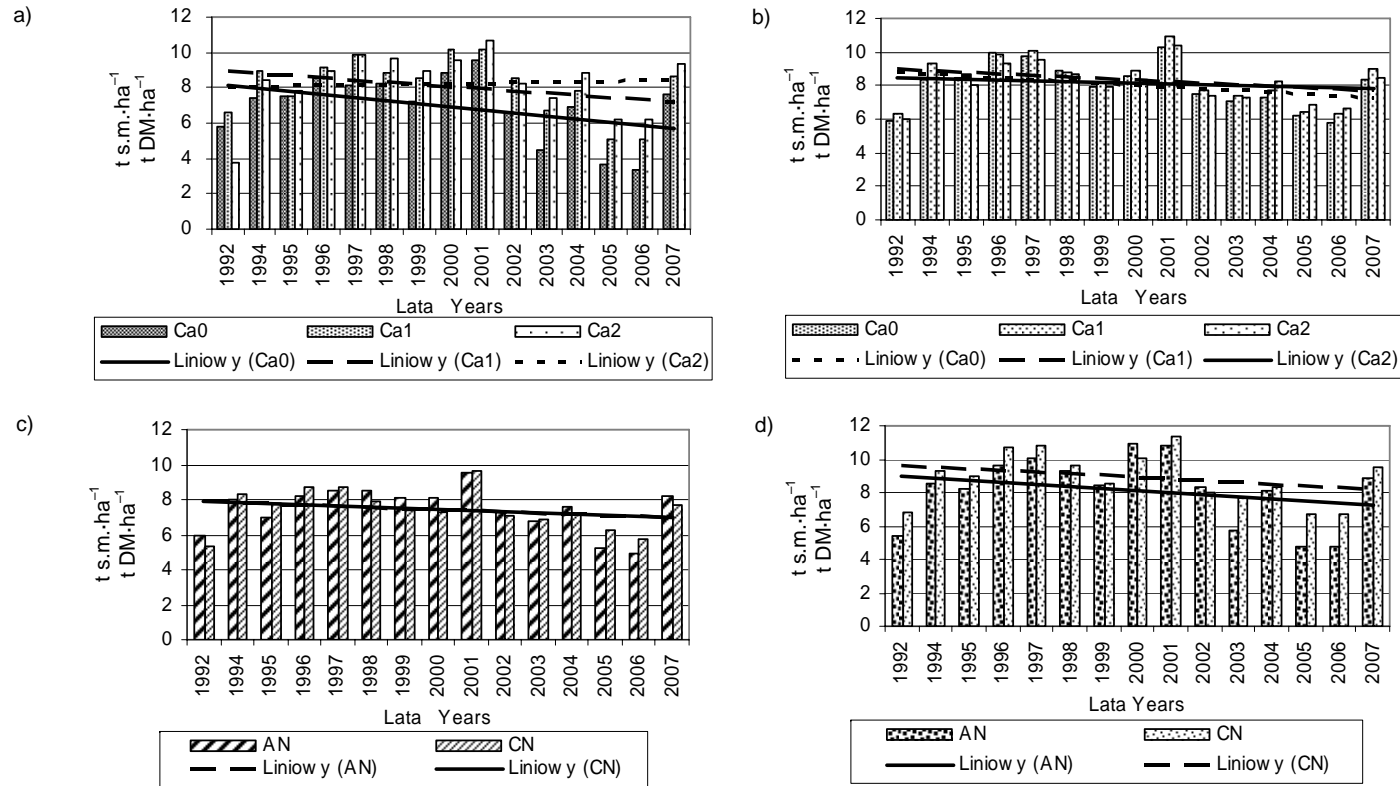
Objaśnienia: AN – saletra amonowa, CN – saletra wapniowa; N₁ – 120 kg N·ha⁻¹, N₂ – 240 kg N·ha⁻¹; Ca₀ – obiekty niewapnowane, Ca₁ i Ca₂ – obiekty wapnowane dawką wg 1 i 2 Hh, W% – współczynnik zmienności.

Explanations: AN – ammonium nitrate, CN – calcium nitrate; N₁ – 120 N kg·ha⁻¹, N₂ – 240 N kg·ha⁻¹; Ca₀ – not limed objects, Ca₁ and Ca₂ – objects limed with the dose according to 1 and 2 Hh, W% – variability coefficient.

Źródło: wyniki własne.

Source: own studies.

nawożenia CN stosując o połowę mniejszą dawkę azotu, co skutkowało wprawdzie pewnym zmniejszeniem plonowania łąki, lecz rekompensatą tego, poza polepszeniem jakości paszy (większa zawartość Ca w roślinności oraz korzystniejszy stosunek Ca:P), jest przeciwdziałanie odwapnieniu gleby i stabilizacja jej odczynu, tj. działanie próśrodowiskowe [COM(2006)232 2006; VAN-CAMP i in. 2004]. Przedstawione w niniejszej pracy średnie z wielolecia plony suchej masy roślinności nawożonej CN w dawce N₁ z plonami uzyskanymi na dawce N₂ po nawożeniu AN potwierdzają wcześniejsze obserwacje oraz propozycje (tab. 1).



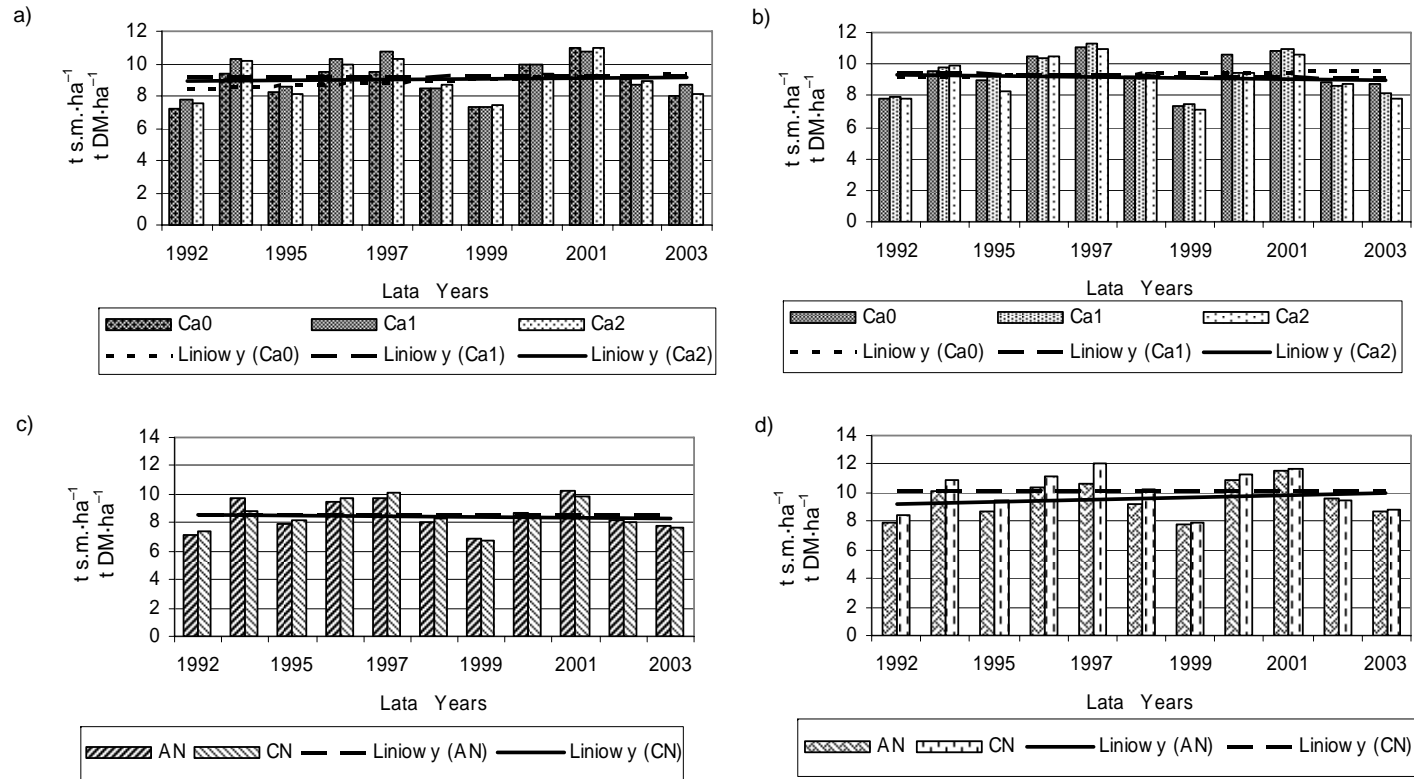
Rys. 1. Przebieg zmian rocznych plonów suchej masy roślinności łąkowej z obiektów nawozowych niewapnowanych (Ca₀) i wapnowanych (Ca₁, Ca₂) na doświadczeniu w Jankach w latach 1992–2007: a – nawożonych saletrą amonową (AN), b – saletrą wapniową (CN), c – w ilości 120 kg N·ha⁻¹ (N₁), d – w ilości 240 kg N·ha⁻¹ (N₂); źródło: wyniki własne

Fig. 1. Annual changes of dry matter yields of meadow vegetation from not limed (Ca₀) and limed (Ca₁, Ca₂) fertilisation objects in Janki experiment in the years 1992–2007: a – fertilised with ammonium nitrate (AN), b – calcium nitrate (CN), c – at a rate of 120 kg N·ha⁻¹ (N₁), d – at a rate of 240 kg N·ha⁻¹ (N₂); source: own studies

Przebieg zmian w wieloleciu średnich rocznych plonów suchej masy roślinności nawożonej AN z obiektów niewapnowanych (Ca_0) oraz wapnowanych (Ca_1 , Ca_2) na doświadczeniu J potwierdził stabilizujący plonowanie wpływ zobojętnienia nadmiaru zakwaszenia gleby [MARTINDALE, HORST 2004; FYSTRO, BAKKEN 2005]. Linie trendu zmian wskazały na zmniejszanie, wprawdzie nieistotne statystycznie, ilości plonów z obiektu Ca_0 wraz z upływem lat, wykazały natomiast ich stabilność z obiektów uprzednio wapnowanych, zwłaszcza Ca_2 , w latach 1992–2007 (rys. 1a). Stabilizujący plonowanie wpływ nawożenia CN ilustruje przebieg zmian średnich rocznych plonów z obiektów zarówno niewapnowanych, jak i wapnowanych, bez względu na stosowaną dawkę azotu (rys. 1b). Stosowanie CN poprawiało natomiast plonotwórczy wpływ większej dawki azotu (N_2) (rys. 1c, d). Dynamika plonowania na doświadczeniu L wykazała większą stabilność niż na doświadczeniu J. Przebieg zmian średnich rocznych plonów był podobny w warunkach nawożenia dwoma rodzajami saletry z niewielką tendencją ich zwiększenia po stosowaniu CN na obiekcie niewapnowanym (Ca_0) (rys. 2a, b). Na tym doświadczeniu nie obserwowano również wpływu rodzaju saletry na dynamikę plonowania po nawożeniu mniejszą dawką azotu (N_1). Zaznaczyła się natomiast, podobnie jak na doświadczeniu J, tendencja większych plonów suchej masy na dawce azotu N_2 po nawożeniu CN (rys. 2c, d).

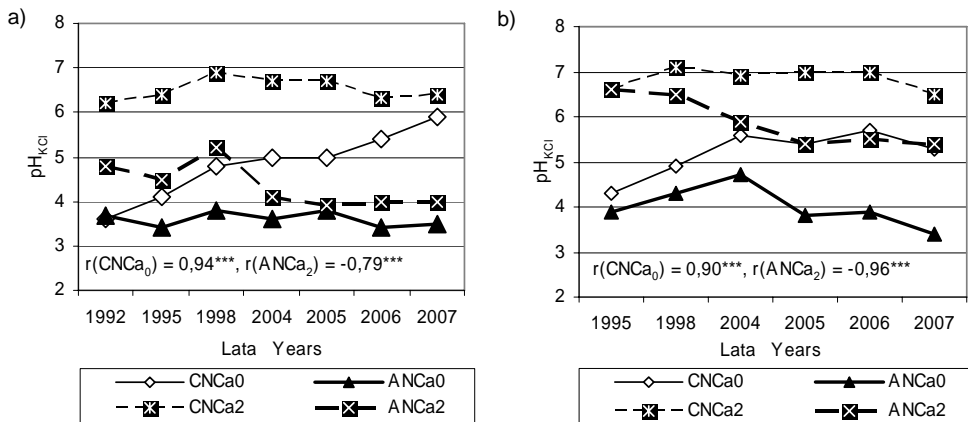
ZMIANY pH_{KCl} GLEBY W WIELOLECIU I ICH WPŁYW NA PLONOWANIE

Skutkiem nawożenia gleb doświadczeń J i L dwoma rodzajami saletry były znaczące różnice w odczynie między glebą obiektów uprzednio niewapnowanych ($ANCa_0$ i $CNCa_0$). Wapnowanie gleby, zwłaszcza podwójną dawką wapna (Ca_2), najbardziej różnicowało działanie dwóch rodzajów nawozu azotowego (rys. 3a, b). W warunkach doświadczenia J, odczyn 0–10 cm warstwy gleby niewapnowanej i nawożonej AN utrzymywał się w badanym wieloleciu poniżej pH 4, a wapnowanej dawką Ca_2 i nawożonej CN – w zakresie pH 6–7. Przebieg zmian pH gleby uprzednio wapnowanej i nawożonej AN w badanym wieloleciu ilustruje i potwierdza zakwaszające działanie tego nawozu (reacydyfikację) [SAPEK 1993]. Wykazano istotne zmniejszanie się pH gleby wraz z upływem lat ($r = -0,79^{***}$). Statystycznie istotne zwiększanie pH gleby niewapnowanej, nawożonej saletrą wapniową ($CNCa_0$) wraz z upływem lat ($r = 0,94^{***}$) wskazuje na możliwość uzyskania, a dalej zachowania optymalnego dla użytków zielonych odczynu (pH 5,5–6,5) (rys. 3a) [FALKOWSKI, KUKUŁKA 1978]. To oddziaływanie CN na odczyn gleby ($r = 0,90^{***}$) oraz reacydyfikację uprzednio wapnowanej gleby i nawożonej AN ($r = -0,96^{***}$) obserwowano również w warunkach doświadczenia L na glebie o korzystniejszych warunkach fizyczno-wodnych i mniej kwaśnej w porównaniu z glebą doświadczenia J (rys. 3b). Znaczące zmniejszanie się pH gleby nawożonej AN (zwłaszcza z obiektu niewapnowanego) i jego mniejsza stabilność może być związana z zaniechaniem zbioru runi łąkowej począwszy od 2004 r.



Rys. 2. Przebieg zmian rocznych plonów suchej masy roślinności łąkowej z obiektów nawozowych niewapnowanych (Ca₀) i wapnowanych (Ca₁, Ca₂) na doświadczeniu w Laszczkach w latach 1992–2003: a – nawożonych saletrą amonową (AN), b – saletrą wapniową (CN), c – w ilości 120 kg N·ha⁻¹ (N₁), d – 240 kg N·ha⁻¹ (N₂); źródło: wyniki własne

Fig. 2. Annual changes of dry matter yield of meadow vegetation from not limed (Ca₀) and limed (Ca₁, Ca₂) fertilisation objects in Laszczki experiment in the years 1992–2003: a – fertilised with ammonium nitrate (AN), b – calcium nitrate (CN), c – at a rate of 120 kg N·ha⁻¹ (N₁), d – 240 kg N·ha⁻¹ (N₂)

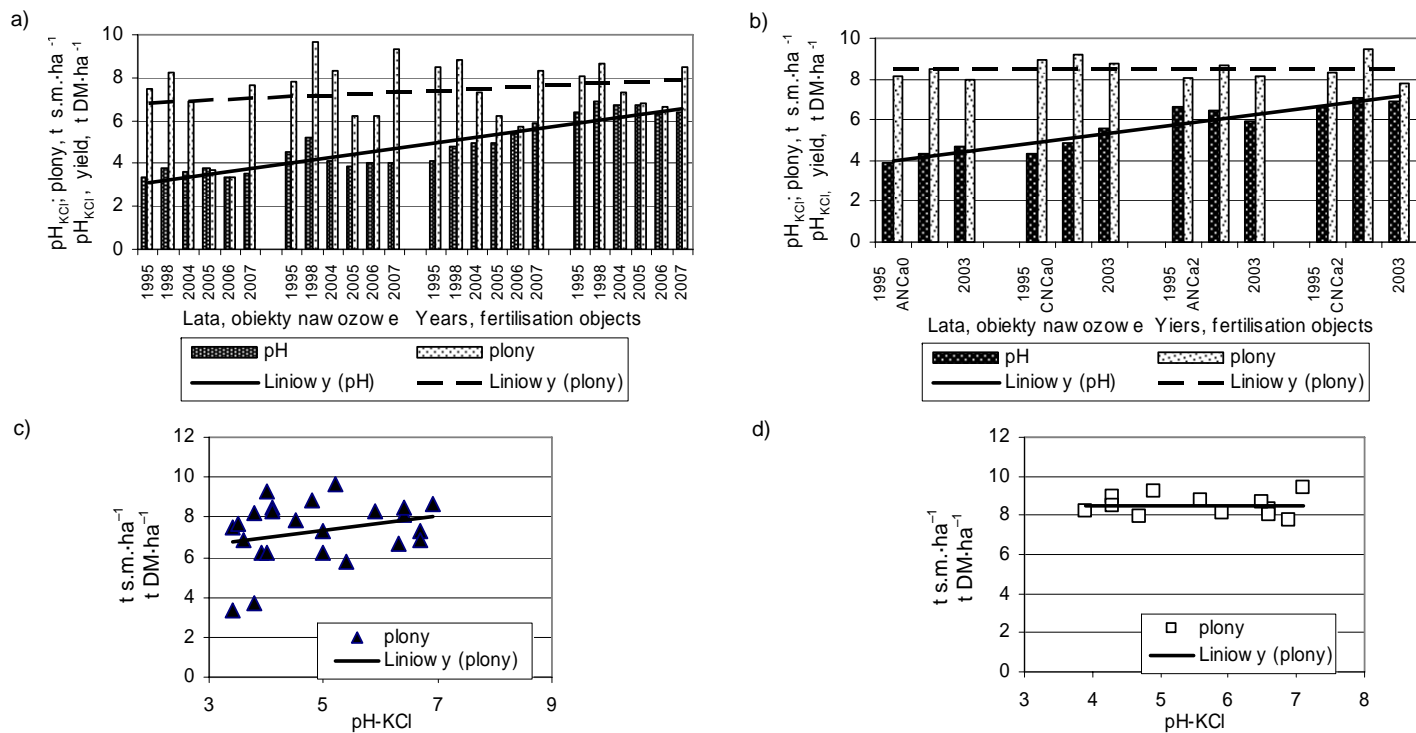


Rys. 3. Zmiany pH_{KCl} 0–10 cm warstwy gleby z doświadczeń łąkowych nawożonych saletrą amonową (AN) i saletrą wapniową (CN) z obiektów nawozowych niewapnowanych (Ca_0) i wapnowanych (Ca_2): a – w Jankach w latach 1992–2007, b – w Laszczkach w latach 1995–2007; źródło: wyniki własne

Fig. 3. Changes of pH_{KCl} in 0–10 cm soil layer from meadow experiments fertilised with ammonium nitrate (AN) and calcium nitrate (CN), from fertilisation objects not limed (Ca_0) and limed (Ca_2): a – in Janki in the years 1992–2007, b – in Laszczki in the years 1995–2007; source: own studies

Na podstawie wykazanego, zwiększającego plony wpływu saletry wapniowej z jednej strony oraz jej działania zobojętniającego kwasowość gleby z drugiej, badano współzależność ilości plonu od pH gleby. Wykazano, iż uprzednie wapnowanie oraz nawożenie CN zmniejszyło kwasowość gleby obu doświadczeń, lecz wpływ tych dwóch zabiegów różnił się. Na doświadczeniu J zobojętniający kwasowość wpływ CN był silniejszy od następczego wpływu wapnowania. Natomiast w warunkach doświadczenia L uprzednie wapnowanie intensywniej przeciwdziało reacydyfikacji gleby (ANCa_2) (rys. 4a, b). Zwiększeniu pH gleby kolejnych obiektów nawozowych towarzyszyła tendencja zwiększenia plonowania na doświadczeniu J, co ilustrują linie trendu zmian. Na doświadczeniu L, na którym już nie zbierano plonu po 2003 r., nie obserwowano podobnej tendencji (rys. 4b). Badane korelacje proste między pH oraz ilością plonu nie wykazały istotnej współzależności między nimi (rys. 4c, d).

Jednym z problemów badawczych trwałego doświadczenia Park Grass w Rothamsted były badania nad zależnością między pH gleby i produkcją biomasy, związane z zagadnieniem współdziałania składników nawozowych i wapnowania, co przedstawili MARTINDALE i HORST [2004] w przeglądowej publikacji wyników badań tamtejszej stacji badawczej. Autorzy wskazali, iż najkorzystniejsze warunki do uzyskania dobrych plonów występowały, gdy odczyn gleby ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) wyniósł ok. 6. Jednak najważniejszym czynnikiem w produkcji biomasy roślinności było nawożenie, co nie znaczy, iż pH gleby jest czynnikiem mniej ważnym. Od niego bowiem zależy dostępność dla roślinności składników pokarmowych oraz związa-



Rys. 4. Zmiany pH_{KCl} 0–10 cm warstwy gleby i rocznych plonów suchej masy z doświadczeń łąkowych nawożonych saletrą amonową (AN) i saletrą wapniową (CN) z obiektów nawozowych niewapnowanych (Ca_0) i wapnowanych (Ca_2): a – w Jankach latach 1995–2007 b – w Laszczkach w latach 1995–2003; współzależność między pH_{KCl} i średnimi, rocznymi plonami suchej masy z obiektów AN i CN: c – w Jankach (lata 1995, 1998, 2004), d – w Laszczkach (lata 1995, 1998, 2003); źródło: wyniki własne

Fig. 4. Changes of pH_{KCl} in 0–10 cm soil layer and of annual dry matter yields from meadow experiments fertilised with ammonium nitrate (AN) and calcium nitrate (CN) from the fertilisation objects not limed (Ca_0) and limed (Ca_2): a – in Janki in the years 1995–2007, b – in Laszczki in the years 1995–2003; and the correlation between pH_{KCl} and mean annual dry matter yields from the objects AN and CN: c – in Janki (the years 1995, 1998, 2004), d – in Laszczki (the years 1995, 1998, 2003); source: own studies

ny z tym, między innymi, skład gatunkowy runi kształtujący plonowanie. Pozytywny wpływ zobojętnienia gleby o $\text{pH} < 5,3$ na plon suchej masy roślinności łąkowej, większy niż na pobranie makroskładników, stwierdzili również FYSTRO i BAKKEN [2005] w badaniach nad wpływem odczynu w wyniku wapnowania.

WPLYW OPADU, TEMPERATURY I POZIOMU WODY GRUNTOWEJ NA PLONOWANIE

Uwilgotnienie gleby jest czynnikiem, który oprócz nawożenia kształtuje wielkość plonowania użytku zielonego [FALKOWSKI 1978]. Jego istotny wpływ na produkcję suchej masy roślinności łąkowej wykazali również ABBASI i in. [2005] w badaniach nad wydajnością azotu stosowanego w nawożeniu. KETTLEWELL i in. [2006], oceniając zależność między wilgotnością gleby oraz zimową Oscylacją Północno-Atlantycką (North Atlantic Oscillation), a wzrostem roślinności łąkowej w okresie letnim na doświadczeniu Park Grass w latach 1960–1999 stwierdzili, iż szybkość wzrostu roślin zależy najbardziej od potencjalnego deficytu wilgotności gleby.

W niniejszej pracy badano wpływ opadu, temperatury oraz poziomu wody gruntowej na plony suchej masy roślinności, które to parametry kształtują uwilgotnienie gleby [FALKOWSKI 1978]. Wykazano, iż w większości badanych przypadków, miały one istotny wpływ na plonowanie łąk na doświadczeniach w badanym wieloleciu. Bez względu na rodzaj saletry, zwiększenie opadu rocznego i w okresie wegetacyjnym (IV–IX) wpływało dodatkowo na ilość uzyskiwanych plonów suchej masy roślinności. Natomiast wzrost temperatury powietrza w okresie wegetacyjnym, jak i obniżanie poziomu wody gruntowej, zarówno granicznie najwyższego (pwg_{max}) oraz najniższego (pwg_{min}) wpływały ujemnie na plonowanie. Jak wykazano, taki wpływ opadu oraz temperatury jest normalny i uzasadniony [FALKOWSKI 1978]. Na doświadczeniach wpływ ten jednak różnił się w warunkach nawożenia dwoma rodzajami saletry na tle następczego wpływu wapnowania oraz stosowanej dawki azotu (tab. 2).

Na doświadczeniu J, istotna dodatnia reakcja plonu na działanie opadu w warunkach nawożenia CN nie była zależna od pH gleby, wynikającego z następczego wpływu wapnowania oraz od stosowanej dawki azotu. Po nawożeniu AN ten dodatni wpływ wystąpił tylko na glebie obiektu Ca_2 o pH 6–7. Na tym doświadczeniu istotne zwiększenie plonu suchej masy wraz z większym opadem, bez względu na dawkę azotu, obserwowano tylko w okresie wegetacyjnym (tab. 2, rys 3a). Istotny, ujemny wpływ wzrostu temperatury oraz poziomu wody gruntowej na plonowanie, i to bez względu na odczyn gleby oraz stosowaną dawkę azotu stwierdzono, poza dwoma przypadkami, po nawożeniu CN. Natomiast w warunkach stosowania w nawożeniu AN, wpływ temperatury powietrza był również ujemny, lecz nieistotny statystycznie. Wraz z obniżeniem poziomu wody gruntowej wykazano

Tabela 2. Zależność ilości plonów suchej masy roślinności ($t \cdot ha^{-1}$) od opadu atmosferycznego, temperatury powietrza oraz poziomu wody gruntowej na doświadczeniach Janki i Laszczki w latach 1992–2006

Table 2. The dependence of the dry matter yield of vegetation ($t \cdot ha^{-1}$) on atmospheric precipitation, air temperature and ground water table in Janki and Laszczki experiments in the years 1992–2006

Doświadczenie Experiment	Rodzaj nawozu Kind of fertiliser	Objekt nawozowy Fertilisation object	Współczynniki korelacji liniowej Pearsona r				Coefficient of Pearson's correlation r		
			opad, mm precipitation, mm		temperatura, °C temperature, °C		poziom wody gruntowej w miesiącach IV–IX, cm ground water table in month IV–IX, cm		
			roczny annual	IV–IX	IV–IX	max	min	średnio mean	
Janki	AN	Ca ₀	0,31	0,43	–0,41	–0,315	0,76***	–0,55*	
		Ca ₁	0,44	0,50	–0,32	–0,43	–0,75**	–0,62*	
		Ca ₂	0,67**	0,679**	–0,50	–0,54*	–0,79***	–0,72**	
	CN	Ca ₀	0,55*	0,71**	–0,59*	–0,39	–0,77***	–0,60*	
		Ca ₁	0,58*	0,69**	–0,52*	0,58**	0,69**	–0,52	
		Ca ₂	0,63*	0,72**	–0,60*	–0,52*	–0,76***	–0,69**	
	AN	N ₁	0,50	0,59*	–0,38	–0,47	–0,84***	–0,69**	
		N ₂	0,44	0,51*	–0,44	–0,40	–0,78***	–0,62*	
	CN	N ₁	0,63**	0,72**	–0,54*	–0,47	–0,72**	–0,64**	
		N ₂	0,53*	0,69**	–0,58*	–0,43	–0,78***	–0,64**	
	Laszczki	AN	Ca ₀	0,35	0,38	–0,46	–0,64*	–0,40	–0,40
			Ca ₁	0,45	0,49	–0,58	–0,68*	–0,54	–0,54
Ca ₂			0,50	0,55	–0,47	–0,69*	–0,54	–0,54	
CN		Ca ₀	0,43	0,52	–0,74**	–0,67*	–0,56	–0,56	
		Ca ₁	0,50	0,62*	–0,72**	–0,73**	–0,69*	–0,69*	
		Ca ₂	0,50	0,60*	–0,65*	–0,61*	–0,59*	–0,59*	
AN		N ₁	0,49	0,53	–0,51	–0,62*	–0,57	–0,57	
		N ₂	0,39	0,42	–0,51	–0,64*	–0,43	–0,43	
CN		N ₁	0,44	0,61*	–0,73**	–0,69*	–0,63*	–0,63*	
		N ₂	0,51	0,55	–0,67*	–0,65*	–0,59*	–0,59*	

Objaśnienia: * istotne, gdy $\alpha = 0,05$, ** istotne, gdy $\alpha = 0,01$; *** istotne, gdy $\alpha = 0,001$; pozostałe, jak w tabeli 1.

Explanations: * significance at $\alpha = 0.05$, ** significance at $\alpha = 0.01$; *** significance at $\alpha = 0.001$; other as in Table 1.

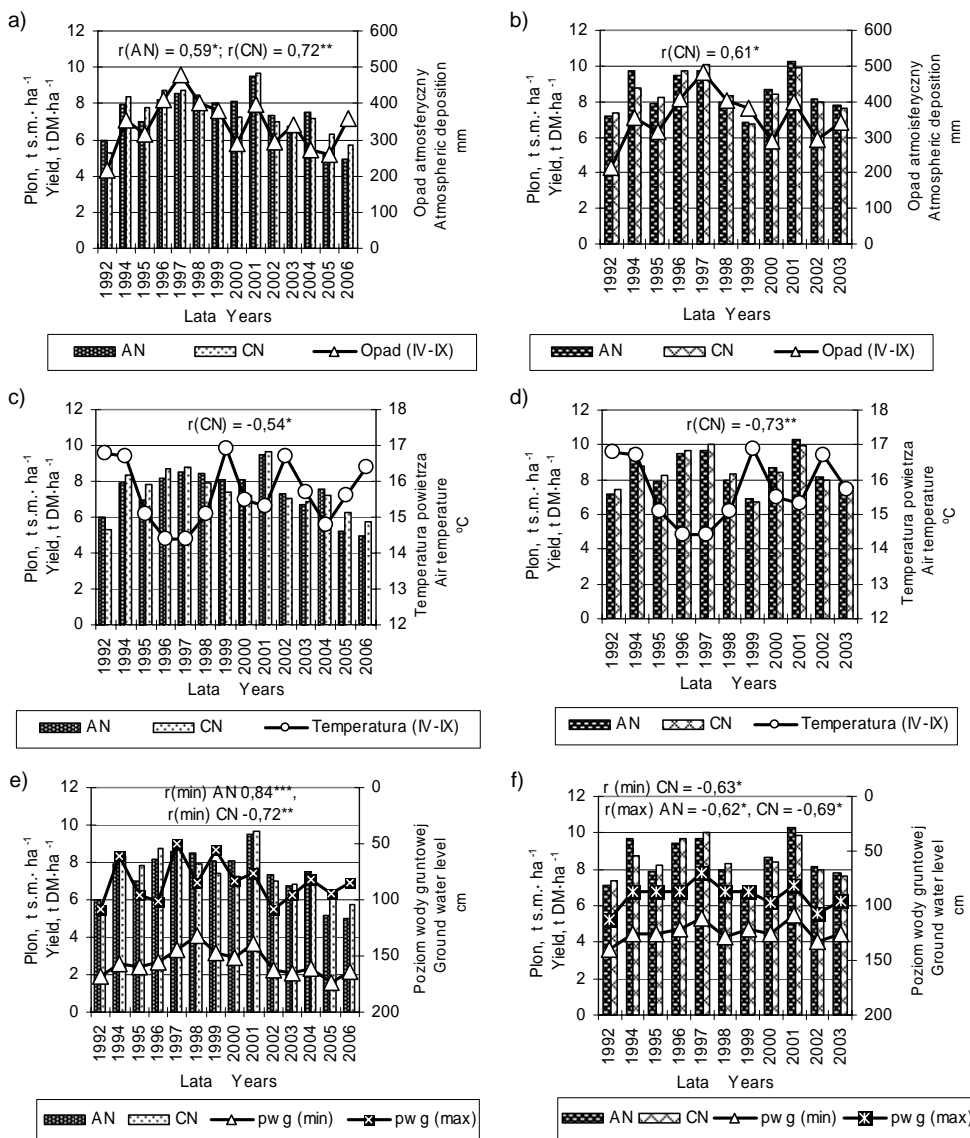
Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

istotne zmniejszenie plonowania, jednak w przypadku pwg_{max} był on udowodniony tylko, gdy $\text{pH} > 4$ na obiekcie Ca_2 (tab. 2, rys. 3a).

Na doświadczeniu L, o korzystniejszych warunkach glebowo-wodnych, nie obserwowano tak znacznego wpływ opadu na plonowanie, jak na doświadczeniu J. Jednak większe opady w okresie wegetacyjnym istotnie zwiększały plony suchej masy roślinności nawozonej CN, lecz mniejszą dawką azotu (N_1) i z obiektów na uprzednio wapnowanej glebie o $\text{pH} > 5,5$ (tab. 2, rys. 3b). Podobnie jak na doświadczeniu J wykazano, bez względu na odczyn gleby i dawkę azotu, istotne zmniejszenie plonów wraz ze wzrostem temperatury powietrza oraz obniżeniem poziomu wody gruntowej. Na tym doświadczeniu, po nawożeniu gleby AN, wpływ temperatury na plonowanie był podobny jak po nawożeniu CN, lecz nieistotny statystycznie. Tylko obniżenie pwg_{max} istotnie zmniejszało plonowanie bez względu na odczyn i dawkę azotu (tab. 2, rys. 3b).

Przebieg zmian plonowania łąki na dwóch doświadczeniach w zależności od zmian opadu, temperatury powietrza i poziomu wody gruntowej w okresie wegetacyjnym w badanym wieloleciu przedstawiono na przykładzie średnich rocznych plonów suchej masy po nawożeniu $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ w formie AN i CN, bez uwzględnienia następczego wpływu wapnowania (wartości średnie z obiektów Ca_0 , Ca_1 , Ca_2). Wykazał on, w większości przypadków, korzystny wpływ nawożenia saletrą wapniową na plony roślinności łąkowej (rys. 5). Na doświadczeniu J, na glebie o mniej korzystnych warunkach glebowo-wodnych, bez względu na stosowany w nawożeniu rodzaj saletry, zwiększenie opadu w istotny sposób stymulowało plonowanie, co jest uzasadnione [FALKOWSKI 1978]. Tymczasem na doświadczeniu L, na glebie zasobniejszej w C_{org} i silniej uwilgotnionej, ten pozytywny wpływ opadu udowodniono tylko po nawożeniu saletrą wapniową, co może być związane z intensywniejszą, w tych warunkach, mineralizacją glebowej materii organicznej (rys. 5a, d) [SAPEK 2010]. Mimo różnic w ilości plonów na dwóch doświadczeniach ich dynamika w badanym wieloleciu potwierdza ścisły związek plonowania z ilością opadów, na co już zwrócili uwagę we wcześniejszej pracy SAPEK i in. [2002].

Jak wiadomo, zbyt wysoka temperatura powietrza wpływa niekorzystnie na wzrost traw łąkowych w klimacie umiarkowanym [FALKOWSKI 1978]. W niniejszych badaniach wykazano istotne zmniejszenie plonów w obu doświadczeniach wraz z podwyższeniem temperatury powietrza (rys. 5b, e). Natomiast istotność zależności zmian plonowania od poziomu wody gruntowej i jego skrajnych wartości na tle nawożenia AN i CN różniła się na dwóch doświadczeniach, co mogło być skutkiem występujących tam różnic we właściwościach glebowo-wodnych. Znaczący wpływ tych właściwości na plonowanie łąk porównywanych doświadczeń wykazał również BARSZCZEWSKI [2006]. W glebie doświadczenia L, poza większą zawartością C_{org} oraz części ilastych, średni poziom wody gruntowej wyniósł 107 cm, w warunkach skrajnych wartości: $\text{pwg}_{\text{max}} = 91 \text{ cm}$ i $\text{pwg}_{\text{min}} = 124 \text{ cm}$, a w glebie doświadczenia J wyniósł odpowiednio: średni – 120 cm, $\text{pwg}_{\text{max}} = 85 \text{ cm}$



Rys. 5. Współzależność między średnimi, rocznymi plonami suchej masy z doświadczeń łąkowych nawożonych saletrą amonową (AN) i saletrą wapniową (CN) w dawce 120 kg N·ha⁻¹ (N₁) oraz opadem i temperaturą powietrza w okresie wegetacyjnym, a także między poziomem wody gruntowej – minimalnym – pw_{gmin} i maksymalnym – pw_{gmax} ; a, b, c – w Jankach w latach 1992–2006, d, e, f – w Laszczkach w latach 1992–2003; źródło: wyniki własne

Fig. 5. Correlation between mean annual dry matter yields from meadow experiments fertilised with ammonium nitrate (AN) and calcium nitrate (CN) at a rate of 120 kg N·ha⁻¹ (N₁) and precipitation and air temperature during the vegetation season and between minimum (pw_{gmin}) and maximum (pw_{gmax}) ground water table: a, b, c – in Janki in the years 1992–2006, d, e, f – in Laszczki in the years 1992–2003; source: own studies

i $pwg_{\min} = 156$ cm. Na tym ostatnim, obniżenie granicznie najwyższego poziomu wody gruntowej (pwg_{\max}) nie miało istotnego wpływu na zmniejszenie uzyskiwanych plonów, natomiast istotnie je zmniejszało w warunkach doświadczenia L, zarówno po nawożeniu AN, jak i CN (rys. 5c, f). Ponieważ poziom wody gruntowej w glebie tego doświadczenia jest wyższy niż na doświadczeniu J, można sądzić, iż na plonowanie wpływają zmiany pwg_{\max} . Obniżanie poziomu granicznie najniższego (pwg_{\min}) miało, bez względu na rodzaj stosowanej saletry, wysoce istotny, ujemny wpływ na plonowanie łąki doświadczenia J (rys. 5c). Na doświadczeniu L taki wpływ obserwowano po nawożeniu saletrą wapniową (rys. 5f).

WPŁYW ZANIECHANIA NAWOŻENIA FOSFOREM NA PLONY ROŚLINNOŚCI ŁĄKOWEJ

Od dawna stwierdzany, dodatni wpływ nawożenia fosforem na plonowanie roślinności łąkowej był warunkowany odczynem gleby (najkorzystniejszy około pH 5–6), od niego bowiem zależy dostępność tego składnika pokarmowego dla roślin [ADDISCOTT i in. 1991; DOBOSZYŃSKI 1996; FALKOWSKI, KUKUŁKA 1978]. Już wtedy obserwowano brak reakcji plonów na nawożenie tym składnikiem gleb zasobnych w fosfor [DOBOSZYŃSKI 1996; OSTROWSKI 1972]. Obecnie, w związku z wykazywanym wymywaniem związków fosforu z gleb nadmiernie w niego wzbogaconych, istnieje zagrożenie zanieczyszczenia tym pierwiastkiem środowiska. Z tego powodu proponuje się, a także podejmuje działania w celu ograniczenia nawożenia fosforem, również użytków zielonych [SALM VAN DER i in. 2005; SAPEK 2007]. Z badań SCHARERA i in. [2007] wynika, iż zawartości fosforu w glebie wzbogacanej w ten składnik w ciągu wielu lat nie można zmniejszyć po krótkotrwałych zabiegach remediacji. Jak wykazali w swoich badaniach SALM VAN DER i in. [2005], mimo znacznego ograniczenia nawożenia fosforem i związanego z tym zmniejszenia ilości dostępnego fosforu w glebie, produkcja traw pozostała stabilna. W nawiązaniu do wymienionego problemu na doświadczeniach J i L badano również reakcję plonów w warunkach zaniechania nawożenia fosforem na tle dawki i rodzaju nawozu azotowego stosowanego w nawożeniu (AN, CN) oraz następczego wpływu wapnowania gleby (tab. 3). Wpływ nawożenia fosforem i jego braku na plonowanie, wykazany za pomocą obliczonych średnich wartości plonów suchej masy z obu doświadczeń, dopełnia ilustracja dynamiki plonowania w tych latach (rys. 6 i 7).

Na doświadczeniu J porównano wartości średnie plonu z 8 lat po nawożeniu fosforem (1992–1999) i po zaniechaniu tego zabiegu (2000–20007). Ujemny wpływ braku nawożenia tym składnikiem na plony, wykazany na tym doświadczeniu dla AN i CN, obserwowano głównie w warunkach gleby bardziej zakwaszonej (Ca_0 , Ca_1) oraz nawożonej $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (N_2) (tab. 3). Jednak stosowanie saletry wapniowej (CN) na silnie kwaśnej glebie (Ca_0) oraz nawożonej większą dawką

Tabela 3. Średnie roczne plony suchej masy roślinności łąkowej z obiektów nawozowych doświadczeń w Jankach i Laszczkach na tle dawki i rodzaju nawozu azotowego oraz następczego wpływu wapnowania w warunkach nawożenia fosforem i po jego zaniechaniu

Table 3. Mean annual dry matter yields of meadow vegetation from the fertilisation objects in Janki and Laszczki experiments in relation to the dose and kind of nitrogen fertiliser and the secondary effect of liming with phosphorus fertilisation and after its abandonment

Obiekt nawozowy Fertilisation object	Rodzaj nawozu Kind of fertiliser	Średnie roczne plony roślinności, t s.m. · ha ⁻¹ Mean annual yields, t DM · ha ⁻¹									
		Janki						Laszczki			
		1992–1999 ¹⁾		2000–2007 ²⁾		2000–2003 ²⁾		1992–1999 ¹⁾		2000–2003 ²⁾	
		średnia mean	W%	średnia mean	W%	średnia mean	W%	średnia mean	W%	średnia mean	W%
Ca ₀	AN	7,5	12,0	6,2	40,3	7,4	31,1	8,5	11,8	9,5	15,8
	CN	8,5	16,5	7,5	20,0	8,4	16,7	9,2	14,1	9,8	11,2
Ca ₁	AN	8,5	12,9	7,7	28,5	8,9	19,1	9,1	14,2	9,5	10,5
	CN	8,7	14,9	7,9	20,2	8,7	18,4	9,3	14,0	9,3	12,9
Ca ₂	AN	8,2	25,6	8,2	20,7	9,0	15,5	8,9	14,6	9,3	12,9
	CN	8,3	14,4	7,9	16,4	8,4	16,7	9,1	15,4	9,1	13,2
N ₁	AN	7,7	11,7	7,2	20,8	7,9	15,2	8,4	14,3	8,7	13,6
	CN	7,7	15,6	7,2	16,7	7,7	16,9	8,4	14,3	8,5	11,8
N ₂	AN	8,5	17,6	7,8	32,0	8,9	28,1	9,2	13,0	10,2	12,6
	CN	9,3	15,0	8,5	18,8	9,3	18,3	10,0	15,0	10,3	13,6
Średnio	AN	8,1	14,8	7,3	28,8	8,4	21,4	9,1	13,2	9,5	12,6
Mean	CN	8,5	15,3	7,9	17,7	8,5	17,6	9,3	12,9	9,4	11,7

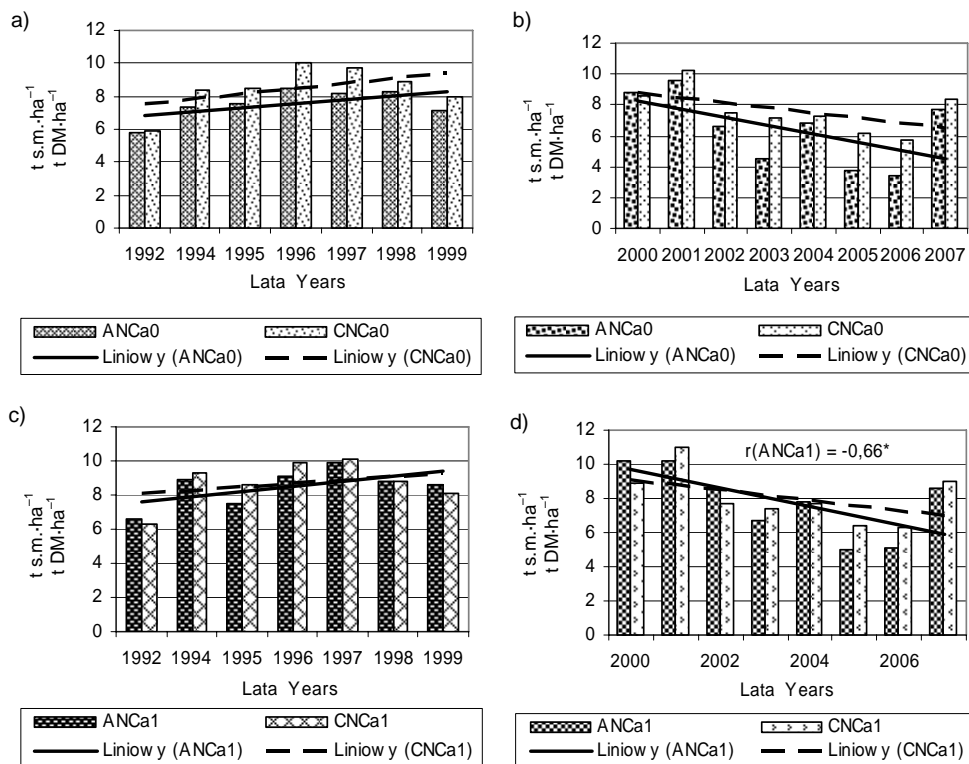
¹⁾ lata nawożenia fosforem, ²⁾ lata zaniechania nawożenia fosforem.

Objaśnienia: jak pod tabelą 1.

¹⁾ years of phosphorus fertilisation, ²⁾ years of abandoned phosphorus fertilisation.

Explanations: as in Table 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

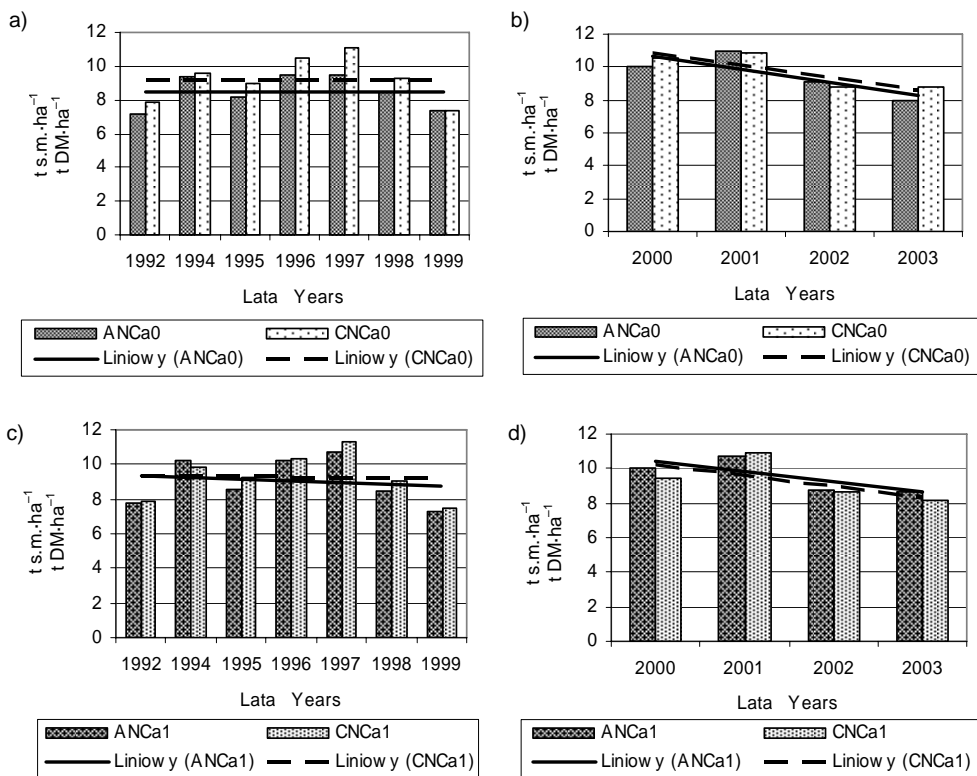


Rys. 6. Przebieg zmian średnich rocznych plonów suchej masy roślinności łąkowej na doświadczeniu w Jankach, z obiektów nawozowych niewapnowanych nawożonych saletrą amonową (ANCa₀) i saletrą wapniową (CNCa₀) oraz z obiektów wapnowanych pojedynczą dawką wapna (ANCa₁) i (CNCa₁): a, c – w latach nawożenia fosforem, b, d – po zaniechaniu tego zabiegu; źródło: wyniki własne

Fig. 6. Changes of the mean annual dry matter yields of meadow vegetation in Janki experiment from not limed objects fertilised with ammonium nitrate (ANCa₀) and calcium nitrate (CNCa₀), and from the objects limed with single dose of lime (ANCa₁) and (CNCa₁): a, c – in the years with phosphorus fertilisation; b, d – after abandonment of this fertilisation; source: own studies

azotu (N₂) zwiększało plonowanie zarówno w okresie nawożenia fosforem, jak i jego braku. Ponieważ na doświadczeniu L okres zaniechania nawożenia fosforem obejmował tylko 4 lata (2000–2004), dla porównania obliczono również wartości średnie plonów z tych lat. Uwagę zwraca brak znaczących zmian plonowania w pierwszych 4 latach po zaniechaniu nawożenia CN. W obu przypadkach plonowanie po nawożeniu CN było bardziej ustabilizowane, na co wskazują współczynniki zmienności wartości średnich ($W\%$ – średnio AN: 28,8–21,4, CN: 17,7–17,6) (tab. 3).

Dynamika plonowania w latach nawożenia fosforem (1992–1999) wykazała tendencję, wprawdzie nieistotną statystycznie, zwiększenia ilości plonów suchej



Rys. 7. Przebieg zmian średnich rocznych plonów suchej masy roślinności łąkowej na doświadczeniu w Laszczkach, z obiektów nawozowych niewapnowanych nawożonych saletrą amonową (ANCa₀) i saletrą wapniową (CNCa₀) oraz z obiektów wapnowanych pojedynczą dawką wapna (ANCa₁) i (CNCa₁): a, c – w latach nawożenia fosforem, b, d – po zaniechaniu tego zabiegu; źródło: wyniki własne

Fig. 7. Changes of the mean annual dry matter yields of meadow vegetation in Laszczki experiment from not limed objects fertilised with ammonium nitrate (ANCa₀) and calcium nitrate (CNCa₀), and from the objects limed with single dose of lime (ANCa₁) and (CNCa₁): a, c – in the years with phosphorus fertilisation; b, d – after abandonment of this fertilisation; source: own studies

masy wraz z upływem lat, zarówno po nawożeniu AN, jak i CN. Linie trendu wskazały na korzystny wpływ CN na plonowanie w warunkach silnie kwaśnej gleby z obiektu Ca₀ (rys. 6a, c). Po zaniechaniu nawożenia fosforem obserwowano zmniejszanie plonowania, statystycznie udowodnione na obiekcie uprzednio wapnowanym (Ca₁), lecz po nawożeniu AN. Tutaj również ujawnił się dodatni, zmniejszający zakwaszenie gleby, wpływ CN na plony (rys. 6b, d). Z przebiegu zmian plonowania wynika, iż brak ujemnej reakcji plonów po zaniechaniu nawożenia fosforem utrzymał się tylko ok. 2 lat, tymczasem z średniej ilości plonów, obliczonej z 4 lat badań (2000–2003), wynika dwukrotnie dłuższy okres działania nawożenia fosforem (rys. 6b, d, tab. 3). Obliczone współczynniki korelacji między zmianą

plonowania w ciągu tych 4 lat były istotnie ujemne tylko w przypadku nawożenia AN ($r = -0,90^*$ dla Ca_0 i $r = -0,94$ dla Ca_1). Natomiast po nawożeniu CN korelacje były wprawdzie też ujemne, lecz nieistotne statystycznie ($r = -0,66$ dla Ca_0 i $r = -0,61$ dla Ca_1), co wskazywałoby, iż stosowanie saletry wapniowej pozwalało stabilizować plonowanie po zaniechaniu nawożenia fosforem jeszcze przez 4 lata. Jest to potwierdzeniem wyników badań, które wskazują na możliwość ograniczenia, a nawet zaniechania na pewien czas stosowania fosforu w nawożeniu użytków zielonych na glebach o wystarczającym zapasie fosforu [SALM VAN DER i in. 2005], Zawartość P w wyciągu 0,5 mol HCl·dm⁻³ w warstwie gleby 0–25 cm z doświadczenia J w 2007 r. wynosiła 0,11 g·kg⁻¹, co odpowiada średniej zasobności tej gleby w fosfor (0,08–0,16 g P·kg⁻¹) [SAPEK, SAPEK 1992].

Na doświadczeniu L w warunkach nawożenia fosforem dodatnie działanie saletry wapniowej na plonowanie obserwowano tylko na silnie kwaśnej glebie obiektu Ca_0 oraz po nawożeniu większą dawką azotu (N_2) (tab. 3). Po 4-letnim okresie zaniechania nawożenia fosforem, nie stwierdzono zmniejszenia plonowania na obiekcie Ca_0 , nawet pewien dodatni wpływ braku tego nawożenia. Uzyskano również większy plon po nawożeniu AN większą dawką azotu (tab. 3). Z powyższego wynika, iż ilość nagromadzonego fosforu w ciągu lat nawożenia jest nadal dostateczna do utrzymania plonu na dotychczasowym poziomie, co jest zgodne z obserwacjami SCHARERA i in. [2007]. Bardziej korzystne warunki glebowo-wodne, panujące na tym doświadczeniu stwarzały możliwość większej stabilności plonowania ($W\%$ – średnio AN: 12,6; CN: 11,7) w porównaniu z doświadczeniem J ($W\%$ – średnio AN: 21,4; CN: 17,6) (tab. 3).

Dynamika plonowania na doświadczeniu L w latach nawożenia fosforem potwierdza wykazaną większą stabilność plonowania oraz brak wyraźnego zróżnicowania wpływu dwóch rodzajów saletry, co ilustrują linie trendu (rys. 7a, c). Przebieg plonowania w badanym 4-letnim okresie w warunkach braku nawożenia fosforem gleby wykazał wprawdzie tendencję zmniejszania ilości plonu wraz z upływem lat, lecz nieistotną statystycznie i to bez względu na rodzaj saletry uprzednio stosowanej w nawożeniu oraz związany z tym odczyn gleby, a także wynikający z następczego wpływu wapnowania (rys. 7b, d). Taki obraz zjawiska pozwala rozważać możliwość zaniechania nawożenia fosforem łąki o podobnych warunkach glebowo-wilgotnościowych w ciągu 4 lat bez istotnego zmniejszenia plonów. Jak wynika z badań CRAINA i JACKSONA [2010], na glebie zasobnej w fosfor, a taką jest gleba na doświadczeniu L ($> 0,16$ g P·kg⁻¹) [SAPEK, SAPEK 1992], to azot jest pierwszym czynnikiem ograniczającym plonowanie, a fosfor tylko wtórnym.

Jak już nadmieniono, gleby prezentowanych dwóch doświadczeń różniły się zasobnością fosforu, co zgodnie z badaniami CRAINA i JACKSONA [2010], powinno skutkować odmienną reakcją plonowania po zaniechaniu nawożenia tym składnikiem. W niniejszej pracy wpływ ten rozważono również na tle nawożenia azotem z dwóch rodzajów nawozu – AN i CN. Średnie plony z doświadczenia J na glebie stosunkowo ubogiej w fosfor nie zmniejszyły się w ciągu 4 lat po zaniechaniu na-

wożenia tym składnikiem w stosunku do lat, w których na plony oddziaływały równocześnie azot i fosfor i to w warunkach nawożenia obiema rodzajami nawozu azotowego. Zgodnie ze stwierdzeniem wyżej wymienionych autorów, wzrost roślinności kształtowało zatem współgraniczenie (colimitation) tych dwóch składników nawozowych. Wyniki badań prezentowane w niniejszej pracy, odnoszące się do dłuższego okresu braku nawożenia fosforem (lata 2000–2007), wskazują jednak na wpływ odczynu gleby oraz wapnia z saletry wapniowej na to zjawisko, brak ujemnej reakcji plonów wykazano bowiem tylko na glebie obiektu Ca₂ oraz po nawożeniu mniejszą dawką azotu (N₁) (tab. 3). Wtórne oddziaływanie braku nawożenia fosforem gleb bogatych w ten składnik zależy prawdopodobnie również od pH gleby, na co wskazuje zwiększenie plonu na doświadczeniu L, w warunkach kwaśnej gleby z obiektu Ca₀, zwłaszcza nawożonej AN oraz większą dawką azotu (N₂) (tab. 3, rys 3b). Z uwagi na zmianę programu doświadczenia L, począwszy od 2004 r., nie można było ocenić, podobnie jak na doświadczeniu J, wpływu zaniechania nawożenia fosforem w ciągu dłuższego czasu.

EFEKTYWNOŚĆ NAWOŻENIA AZOTEM W FORMIE SALETRY AMONOWEJ I WAPNIOWEJ

Efektywność nawożenia dwoma rodzajami saletry oceniono w warunkach kwaśnej, niewapnowanej gleby obiektu Ca₀ z obu doświadczeń i wyrażono w kilogramach suchej masy plonu uzyskanej z 1 kg azotu porównywanych nawozów – AN i CN – (kg s.m.·kg·N⁻¹). Podobnie oceniono oraz wyrażono przyrost plonu po nawożeniu podwojoną dawką azotu (N₁ → N₂) (tab. 4). Zaniechanie nawożenia fosforem w 4-letnim okresie nie zmieniło w sposób znaczący efektywności nawożenia azotem. Bez względu na rodzaj nawozu i po zaniechaniu nawożenia fosforem była ona większa na doświadczeniu L o korzystniejszych warunkach glebowo-wodnych, niż na doświadczeniu J, czego można było oczekiwać. Efektywność większej dawki azotu (240 kg N·ha⁻¹) była znacznie mniejsza na obu doświadczeniach, co również niejednokrotnie stwierdzano [FALKOWSKI, KUKUŁKA 1978]. Natomiast zaznaczyło się pewne zróżnicowanie tej efektywności między nawożeniem AN i CN, której sprzyjało stosowanie CN lecz w warunkach nawożenia 240 kg·ha⁻¹ (J – Δ = 4,6 kg s.m.·kg N⁻¹; L – Δ = 5,4 kg s.m.·kg N⁻¹). Tę lepszą efektywność większej dawki azotu CN stwierdzono również po zaniechaniu nawożenia fosforem, zwłaszcza w warunkach doświadczenia J (Δ = 6,7 kg s.m.·kg N⁻¹) (tab. 4). Szczególną uwagę zwracają wartości przyrostu plonów w wyniku stosowania podwojonej dawki azotu z saletry wapniowej, które są około dwukrotnie większe zarówno po nawożeniu fosforem, jak i po zaniechaniu tego zabiegu na obu doświadczeniach (tab. 4). Jest to dowodem na szczególnie korzystny, plonotwórczy wpływ saletry wapniowej w warunkach stosowania większej dawki azotu (240 kg N·ha⁻¹) na glebie kwaśnej.

Tabela 4. Średni plon, efektywność nawożenia azotem z dwóch rodzajów saletry (AN i CN) oraz przyrost plonu suchej masy w warunkach nawożenia z uwzględnieniem fosforu (lata 1992–1999) i po zaniechaniu nawożenia fosforem (lata 2000–2003) na obiekcie Ca₀ doświadczeń w Jankach i Laszczkach

Table 4. Mean yield, the efficiency of nitrogen fertilisation with two kinds of fertilisers (AN and CN) and the increment of dry matter yield under conditions of phosphorus fertilisation (years 1992–1999) and after abandonment of phosphorus fertilisation (years 2000–2003) in the Ca₀ object in Janki and Laszczki experiments

Rodzaj nawozu Kind of fertiliser	Dawka azotu Nitrogen dose kg·ha ⁻¹	Nawożenie z uwzględnieniem fosforu Fertilisation with phosphorus			Po zaniechaniu nawożenia fosforem After abandonment of phosphorus fertilisation		
		plon yield t s.m.·ha ⁻¹ t DM·ha ⁻¹	efektywność nawożenia azotem the efficiency of nitrogen fertilisation	przyrost plonu yield increment	plon yield t s.m.·ha ⁻¹ t DM·ha ⁻¹	efektywność nawożenia azotem the efficiency of nitrogen fertilisation	przyrost plonu yield increment
Janki							
AN	120	7,3	60,8		7,0	58,3	
	240	8,0	33,3	5,8	7,8	32,5	6,7
CN	120	7,4	61,7		7,3	60,8	
	240	9,1	37,9	14,2	9,4	39,2	17,5
Laszczki							
AN	120	8,2	68,3		8,9	74,2	
	240	8,8	36,7	5,0	10,1	42,1	10,0
CN	120	8,4	70,0		8,6	71,7	
	240	10,1	42,1	14,2	10,9	45,4	19,2

Objaśnienia, jak pod tabelą 1.

Explanations as in Table 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Z badań TILMANA [1999] wynika, iż intensyfikacja światowej produkcji rolnej, podwojonej w ostatnich 35 latach, skutkowała ok. 7-krotnym zwiększeniem nawożenia azotem i ok. 3,5-krotnym nawożenia fosforem. Na tej podstawie autor prognozował, iż kolejne podwojenie tej produkcji spowoduje stosowanie w nawożeniu około 3-krotnie większych ilości azotu i fosforu, co zwiększy ryzyko przenikania tych składników nawozowych do ekosystemów lądowych i wodnych. Dlatego poszukiwanie rodzajów nawozów, zwłaszcza azotowych, spełniających oczekiwane efekty plonotwórcze i jednocześnie ograniczających ujemne skutki środowiskowe jest stale aktualne.

W niniejszej pracy oceniono i porównano efektywność nawożenia saletrą amonową i wapniową w plonowaniu użytku zielonego na glebach mineralnych o zróżnicowanych właściwościach fizyczno-wodnych w długoletnich doświadczeniach łąkowych. Ocenę przeprowadzono na tle następczego wpływu wapnowania gleby, wykonanego jednorazowo, na początku doświadczeń (1981/1982) oraz stosowanych w nawożeniu dwóch dawek azotu – 120 i 240 kg N·ha⁻¹. Powyższe zagadnienie rozpatrzono mając na uwadze: ilość uzyskiwanych plonów suchej masy z uwzględnieniem wpływu opadu, temperatury i poziomu wody gruntowej oraz zaniechania nawożenia fosforem, efektywność plonowania 1 kg zastosowanego azotu z omawianych nawozów, skutki środowiskowe, tj. ochronę gleby przed nadmiernym zakwaszeniem i odwapnieniem oraz koszty stosowania tych rodzajów nawozów azotowych. Na tym tle nasuwają się poniższe wnioski.

1. W warunkach silnie kwaśnej gleby, ubogiej w C_{org} i stosowania większych dawek azotu (240 kg N·ha⁻¹) można oczekiwać większego efektu plonotwórczego nawożenia saletrą wapniową (CN) w porównaniu z saletrą amonową (AN). Bez względu na właściwości fizyczno-wodne gleby, nawożenie saletrą wapniową zapewnia większą stabilność uzyskiwanych plonów w wieloleciu.

2. Nawożenie saletrą wapniową stymuluje dodatni wpływ opadu na plony roślinności łąkowej, silniej w warunkach gleby o korzystnych właściwościach fizyczno-wodnych, zasobnej w C_{org}. Przy nawożeniu tym rodzajem saletry, obniżenie granicznie minimalnego poziomu wody gruntowej (p_{wgmin}) wpływa ujemnie na plonowanie łąki. Ujemny wpływ wzrostu temperatury powietrza na plonowanie łąki na glebie niedostatecznie uwilgotnionej i ubogiej w C_{org} może być większy po nawożeniu saletrą wapniową.

3. Efektywność plonotwórcza 1 kg azotu z saletry wapniowej jest większa niż z saletry amonowej, lecz głównie w warunkach stosowania większej dawki azotu (240 kg·ha⁻¹) na silnie kwaśną glebę, również po zaniechaniu nawożenia jej fosforem.

4. Brak nawożenia fosforem łąki, zwłaszcza o korzystnych warunkach glebowo-wilgotnościowych w ciągu ok. 4 lat nie powoduje istotnego zmniejszenia plonów, a nawożenie saletrą wapniową skutkuje większą stabilnością plonowania.

5. Większy koszt azotu w tej samej dawce saletry wapniowej w porównaniu z saletrą amonową można zrekomensować zmniejszeniem stosowanej dawki tego nawozu, co skutkuje pewnym obniżeniem plonu. Zyskiem jest natomiast zwiększona plonotwórcza efektywność azotu w tym nawozie oraz działanie zobojętniające zakwaszenie gleby i stabilizujące jej odczyn, co jest działaniem prośrodowiskowym.

6. Korzystny, w określonych warunkach glebowo-wilgotnościowych, wpływ nawożenia saletrą wapniową na plonowanie łąki wskazuje na ten rodzaj nawozu azotowego, jako spełniający zarówno warunki ochrony gleby, jak i produkcyjne.

LITERATURA

- ABASSI M.K., KAZMI M., HASSAN ul F. 2005. Nitrogen use efficiency and herbage production of an established grass sward in relation to moisture and nitrogen fertilization. *Journal of Plant Nutrition*. Vol. 28 iss. 10 s. 1693–1708.
- ADDISCOTT T.M., WHITMORE A.P., POWLSON D.S. 1991. Farming, fertilizers and nitrate problem. Wallingford. CAB International ss. 170.
- BARSZCZEWSKI J. 2006. Dynamika plonowania wieloletnich doświadczeń łąkowych. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. T. 6 z. specj. s. 119–131.
- BARSZCZEWSKI J., SAPEK B. 2010. Changes in botanical composition of sward of permanent meadow due to liming and ammonium and calcium nitrate fertilization. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*. Vol. 13 iss. 1 s. 236–243.
- CRABINE J. M., JACKSON R. D. 2010. Plant nitrogen and phosphorus limitation in 98 North American grassland soils. *Plant and Soil*. Vol. 334 s. 73–84.
- COM(2006)232. 2006. Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC. Brussels. Commission of the European Communities.
- DOBOSZYŃSKI L. 1988. Nawożenie i pielęgnowanie użytków zielonych. W: *Przewodnik łąkarski*. Pr. zbior. Red. L. Doboszyński. Warszawa. PWRiL ss. 574.
- DOBOSZYŃSKI L. 1996. Nawożenie użytków zielonych w świetle prac polskich. Lata 1945–1990. *Biblioteczka Wiadomości IMUZ*. Falenty. Wydaw. IMUZ ss. 152.
- DRUPKA S. 2004. Plonowanie użytków zielonych – warunki wodne. Możliwość poprawienia gospodarowania wodą na użytkach zielonych przez zastosowanie samoregulujących zastawek melioracyjnych. W: *Perspektywy gospodarowania na trwałych użytkach zielonych w ramach „Wspólnej Polityki Rolnej UE”*. Konf. Nauk-Tech. Falenty 18–19 listopada 2004. Falenty. Wydaw. IMUZ s. 77–90.
- FALKOWSKI M., NOWAK M. 1975. Nawożenie użytków zielonych. Warszawa. PWRiL ss. 115.
- FALKOWSKI M. 1978. VIII. Klimat jako element siedliska, C, D. W: *Łąkarstwo i gospodarka łąkowa*. Pr. zbior. Red. M. Falkowski. Warszawa. PWRiL s.155–162.
- FALKOWSKI M., KUKUŁKA I. 1978. Mineralne żywienie roślin i nawożenie. W: *Łąkarstwo i gospodarka łąkowa*. Pr. zbior. Red. M. Falkowski. Warszawa. PWRiL s. 300–410.
- FYSTRO G., BAKKEN A.K. 2005. Soil reaction, yields and herbage element content as affected by lime applied on established less in a multi-site Fidel troll. *The Journal of Agricultural Science*. Vol. 143 iss. 5 s. 407–420.
- GOŁIŃSKI P. 2006. Produkcyjne i ekologiczne uwarunkowania wapnowania gleb pod użytkami zielonymi. Nawozy i Nawożenie. Nr 2 s. 86–103.

- GORLACH E., MAZUR T. 2002. *Chemia rolna*. Warszawa. Wydaw. Nauk. PWN ss. 347.
- HARRISON A.F., TAYLOR K., HATTON J.C. 1994. Role of nitrogen in herbage production by *Agrostis-Festuca* hill grassland. *Journal of Applied Ecology*. Vol. 31 s. 351–360.
- KETTLEWELL P.S., EASEY J., STEPHENSON D.B., POULTON P.R. 2006. Soil moisture meiates association between the winter North Atlantic Oscillation and summer growth in the Park Grass Experiment. *Proceedings of the Royal Society*. Vol. 273 s. 1149–1154.
- MARTINDALE W., HORST J.J. 2004. The Rothamsted long term agricultural experiments. *Agriculture, food and health. Interface*, MPC Research, UK. September 2004 s. 1–18
- MAZUR K., FILIPEK-MAZUR B., GONDEK K. 2005. Dynamika plonowania i zawartość azotu w runi łąkowej. W: *Zanieczyszczenie środowiska azotem*. Acta Universitatis Masuriensis. Olecko. Wydaw. Wszechnicy Mazurskiej s. 85–98.
- NORTON R., PERRIS R., ARMSTRONG R. 2010. Learning from long-term experiments – what do they teach us. *Better Crops with Plant Food*. No 2 s. 20–22.
- OSTROWSKI R. 1972. Efektywność oraz działanie różnych nawozów azotowych i fosforowych stosowanych na trwałe pastwiska. *Nowe Rolnictwo*. Nr 19 s. 21–23.
- VAN CAMP L., BUJARRABAL B., GENTILE A.R., JONES R.J.A., MONTANARELL L., OLAZABAL C., SELVARADJOU S.K. 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/5. Luxembourg. Office for Official Publications of the European Communities ss. 872.
- SALM VAN DER C., MIDDELKOOP VAN J., EHLERT P.A.I. 2005. The effect of a reduction in phosphate application on soil phosphate pools. W: *Optimisation of nutrient cycling and soil quality for sustainable grasslands*. Pr. zbior. Red. S.C. Jarvis, P.J. Murray, J.A. Roker. *Proceedings of a satellite workshop of the XXth International Grassland Congress, July 2005*. Oxford, England s. 77.
- SAPEK A. 2007. Przyczyny zwiększania się zasobów fosforu w glebach polskich. *Roczniki Gleboznawcze*. T. 58 nr 3/4 s. 5–8.
- SAPEK A., SAPEK B. 1992. Testing of grassland soils in Poland. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Vol. 23 no 17–20 s. 2165–2171.
- SAPEK B. 1993. Studia nad wapnowaniem trwałego użytku zielonego na glebie mineralnej. *Rozprawy Habilitacyjne*. Falenty. IMUZ ss. 93.
- SAPEK B. 1995. Wymywanie azotanów oraz zakwaszenie gleby i wód gruntowych w aspekcie działalności rolniczej. *Materiały Informacyjne 30*. Falenty. Wydaw. IMUZ ss. 31.
- SAPEK B. 1997. Stosowanie nawozów wapniowych na użytki zielone w świetle zrównoważonego rolnictwa. *Materiały Seminaryjne 38*. Falenty. Wydaw. IMUZ s. 245–256.
- SAPEK B. 2006. Przedmowa. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. T. 6 z. specj. s. 5–6.
- SAPEK B. 2008. Nawożenie saletrą wapniową gleby łąkowej w świetle działań proekologicznych. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. T. 8 z. 1 s. 305–322.
- SAPEK B. 2010. Uwalnianie azotu i fosforu z materii organicznej gleby. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. T. 10 z. 3 s. 229–256.
- SAPEK B., BARSZCZEWSKI J., KALIŃSKA D. 1986. Wpływ wapnowania na jakość i plon paszy z łąki trwałej na tle zmian właściwości chemicznych wierzchniej warstwy gleby. W: *Wpływ nawożenia na jakość plonów*. Olsztyn. ART s. 113–118.
- SAPEK B., SAPEK A., BARSZCZEWSKI J. 2000. Plon i zawartość wybranych składników mineralnych w roślinności łąki trwałej na tle nawożenia saletrą amonową i wapniową. *Wiadomości IMUZ*. T. 21 z. 1 s. 67–87.
- SAPEK B., KALIŃSKA D., BARSZCZEWSKI J. 2002. Wpływ węglanu wapnia i saletry wapniowej na dynamikę wynoszenia składników mineralnych z plonem roślinności łąkowej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 484 cz. 2 s. 549–561.
- SCHARER M., STAMM C., VOLLMER T., FROSSARD E., OBERSON H., FLÜCHNER H., SINAJ S. 2007. Reducing phosphorus losses from over-fertilized grassland soils proves difficult in the short term. *Soil Use and Management*. Vol. 23 s. 154–164.

- TILMAN D. 1999. Global Environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. PNAS May 25. Vol. 96 no. 11 s. 5995–6000.
- WASILEWSKI Z. 1997. Produkcja pasz na użytkach zielonych i ochrona jakości wody. Zeszyty Edukacyjne 2/97. Falenty. Wydaw. IMUZ s. 53–66.
- WESOŁOWSKI P., DURKOWSKI T., SAPEK B. 1998. Porównanie działania saletry wapniowej „Hydro” z saletrą amonową na łące torfowo-murszowej. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie. Nr 2 s. 102–104.
- WESOŁOWSKI P., SAPEK B., DURKOWSKI T. 2002. Porównanie działania saletry wapniowej z saletrą amonową na produktywność łąki położonej na glebie torfowo-murszowej. Woda Środowisko Obszary Wiejskie. T. 2 z. 1 s. 57–64.

Barbara SAPEK

**THE EFFICIENCY
OF FERTILISATION WITH AMMONIUM NITRATE AND CALCIUM NITRATE
IN THE YIELDING OF A GRASSLAND ON MINERAL SOIL
– RESULTS OF LONG-TERM EXPERIMENTS**

Key words: ammonium nitrate, calcium nitrate, fertilisation efficiency, grassland, long-term experiments, mineral soil, physical and water properties, soil pH, yielding

S u m m a r y

Estimation of the efficiency of fertilisation and its dynamic should involve both the yield and environmental effects. The aim of this paper was to estimate long-term yield in grasslands on mineral soils of different physical and water properties fertilised with ammonium nitrate (AN) and calcium nitrate (CN) in relation to the secondary effect of liming and different dose of nitrogen and abandoned phosphorus fertilisation. The efficiency of the two nitrogen fertilisers was estimated from results of two long-term experiments set up on mown meadows (in Janki, 1981–2007; in Laszczki, 1982–2003) situated on acid mineral soil in Mazowieckie province. Observed yield differentiation was considered in the light of soil protection and the cost of fertilisation. In very acid soil, poor in C_{org} and at a higher dose of nitrogen ($240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) one may expect higher yields with calcium than with ammonium nitrate fertilisation even after the abandonment of phosphorus fertilisation. Regardless of physical and water properties of soil, fertilization with calcium nitrate guarantees higher long-term stability of yields. The higher cost of nitrogen in calcium nitrate than in ammonium nitrogen is compensated by increased yield-forming efficiency and environmental-friendly effect of counteracting soil acidity and stabilising its pH.

Recenzenci:

prof. dr hab. Kazimierz Mazur

prof. dr hab. Piotr Wesołowski

Praca wpłynęła do Redakcji 03.11.2010 r.