

MINERALIZACJA ORGANICZNYCH ZWIĄZKÓW AZOTU W GLEBIE W ŚWIETLE DŁUGOLETNIICH DOŚWIADCZEŃ ŁĄKOWYCH IMUZ

Barbara SAPEK, Danuta KALIŃSKA

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

Słowa kluczowe: łąki torfowo-murszowe, mineralizacja, mineralna gleba łąkowa, nawożenie azotem, organiczne związki azotu, stężenie składników, warunki glebowe, wody gruntowe

Streszczenie

Na podstawie wyników długoletnich doświadczeń łąkowych na glebach mineralnych, w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia, odczynu oraz dawki i formy nawozu azotowego, dokonano oceny jakościowej i ilościowej wydajności mineralizacji organicznych związków azotu oraz dynamiki i zmian jego mineralnych form – amonowej i azotanowej w glebie łąki kośnej. Badania wykonywano w warunkach inkubacji izolowanych próbek gleby *in situ* oraz w glebie pobranej spod roślinności. Ponadto wstępnie oceniono wpływ zaniechania użytkowania łąki kośnej na zasobność gleby w azot mineralny. Stwierdzono, że przebieg i wydajność mineralizacji związków azotu w glebie zależą od właściwości gleby i warunków w niej panujących, zwłaszcza wilgotnościowych, od pogody w danym roku i okresie wegetacyjnym oraz od dawki i postaci nawozu azotowego. Mineralizacja przebiega najintensywniej w okresie od maja do końca lipca, a jej wydajność istotnie się różni od wydajności w pozostałym czasie. Nawożenie deszczowanej łąki kośnej mineralną formą azotu zwiększa wydajność mineralizacji w porównaniu z wydajnością po stosowaniu formy organicznej – gnojówki. Zaniechanie użytkowania i nawożenia łąki powoduje nagromadzenie się azotu, zwłaszcza N-NH₄, co w warunkach sprzyjających nitryfikacji może być źródłem azotanów wymywanych do wód gruntowych.

Adres do korespondencji: prof. dr hab. B. Sapek, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Chemii Gleby i Wody; 05-090 Raszyn; tel.+48 (22) 720-05-31 w. 220, e-mail: B.Sapek@imuz.edu.pl

WSTĘP

Znajomość ilości azotu uwolnionego w procesie mineralizacji materii organicznej gleby oraz dynamiki tego procesu jest pomocna w prawidłowej interpretacji wyników bilansu azotu, a także w ocenie jego plonotwórczej wydajności oraz rozproszenia do środowiska, a więc umożliwia zrównoważone gospodarowanie tym składnikiem [ADISCOTT, WHITMORE, POWLSON, 1991; DEBOSZ, VINTHER, 1989; HATCH, GOULDING, MURPHY, 2002]. Długoletnie doświadczenia łąkowe, założone w Zakładzie Chemii Gleby i Wody Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych z myślą o badaniu następczego wpływu wapnowania łąki trwałej oraz doświadczenie nad wymywaniem azotu spod użytku zielonego, z biegiem lat stały się obiektami badań procesu mineralizacji organicznych związków azotu w mineralnej glebie łąkowej [SAPEK, 1995; 1996a,b,c; 1997; 1998; 1999; SAPEK, ESTAVILLO, CORRE, 2000; SAPEK, SAPEK, 1993; SAPEK, SAPEK, BARSZCZEWSKI, 2002].

Celem pracy była ocena, jakościowa i ilościowa, wydajności mineralizacji organicznych związków azotu w mineralnej glebie łąki kośnej oraz dynamiki tego procesu i zmian mineralnych form azotu – amonowej i azotanowej, na podstawie wyników długoletnich doświadczeń łąkowych w zróżnicowanych warunkach uwilgotnienia i odczynu gleby oraz nawożenia. Ponadto wstępnie oceniono wpływ zaniechania użytkowania łąki kośnej na zasobność gleby w azot mineralny.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania wydajności mineralizacji organicznych związków azotu w glebach mineralnych z długoletnich doświadczeń łąkowych Zakładu Chemii Gleby i Wody IMUZ, usytuowanych w województwie mazowieckim, w miejscowościach Janki (doświadczenie J) i Laszczki (doświadczenie L), założonych w 1981 r. oraz z doświadczenia w Falentach (doświadczenie F) założonego w 1986 r., wykonuje się począwszy od 1991 r. Z doświadczeń J i L do badań wybrano obiekty nawozowe niewapnowane (Ca_0) i wapnowane jednorazowo, na początku doświadczeń, dawką węglanu wapnia według 2Hh (Ca_2) nawożone azotem w ilości $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ w postaci saletry amonowej (AN), a w następnych latach równolegle w postaci saletry wapniowej (CN). Badania na doświadczeniu F wykonywano na obiektach nawożonych saletrą amonową w dawkach 120, 240 i $360 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (N-120, N-240, N-360) oraz gnojówką uzupełnianą saletrą amonową (NG-240, NG-360). Szczegółowy opis doświadczeń zawierają wcześniejsze prace [SAPEK, BARSZCZEWSKI, 2000; SAPEK, SAPEK, 1993]. Prezentowane wyniki badań obejmują lata 1995–2000 (doświadczenie F) i lata 1995–2001 (doświadczenia J i L).

Do badań zastosowano metodę inkubacji *in situ*, szczególnie przydatną, bowiem umożliwiającą badanie procesu mineralizacji w warunkach zbliżonych do naturalnych [ADAMS, POLGLASE, ATTIVIL, 1989; DEBOSZ, VINTHER, 1989; RA-

ISON, CONNELL, KHANNA, 1987]. Opis metody inkubacji *in situ*, polegającej na pobieraniu próbek gleby odizolowanej od wpływu pobierania azotu przez rośliny oraz wymywania przez opady z plastikowych rurek instalowanych w wierzchniej (0–10 cm) warstwie, zawierają wcześniejsze publikacje [SAPEK, 1999; SAPEK, SAPEK, BARSZCZEWSKI, 2002]. Począwszy od 1995 r., równolegle pobierano próbki gleby z miejsc obok instalowanych rurek, bezpośrednio spod roślinności.

Zawartość mineralnych form azotu (N-NO₃ i N-NH₄) oznaczano metodą spektrofotometryczną, za pomocą automatycznego analizatora przepływowego SKALAR w wyciągu 1% roztworu K₂SO₄ z próbek gleby po inkubacji *in situ* (próbki R) oraz z próbek pobranych spod roślinności (próbki T). Na pojedynczy wynik składają się oznaczenia w 16 próbkach gleby (4 próbki na każdym obiekcie nawozowym w 4 powtórzeniach). Oznaczenia wykonywano w świeżej masie gleby. Z różnicy zawartości azotu mineralnego w próbkach po inkubacji i w próbkach spod roślinności (R – T) wyznaczono tzw. wydajność różnicowej mineralizacji związków azotu. Całkowitą zawartość azotu mineralnego (N-min) obliczono jako sumę N-NO₃ i N-NH₄.

Wyznaczono średnie ilości badanych form azotu uwalnianych w procesie mineralizacji w kolejnych latach badań i wybranych terminach – między kolejnymi odrostami (terminy I–IV na doświadczeniach J i L oraz I–V – na doświadczeniu F), w zależności od pH oraz dawki i postaci nawozu azotowego. Oceniono przebieg zmian średniej różnicowej wydajności mineralizacji w skali roku i w latach badań. Do statystycznej oceny wpływu badanych czynników na wydajność mineralizacji zastosowano analizę wielowymiarową. Różnicę między wynikami dla dwóch średnich oceniono za pomocą statystyki *F*, a dla więcej niż dwóch średnich – za pomocą testu Tukeya.

Do wstępnej oceny wpływu zaniechania użytkowania łąki na zachowanie się mineralnych form azotu w glebie posłużyło doświadczenie łąkowe w Baniosze (doświadczenie B), usytuowane w województwie mazowieckim, założone również w 1981 r. według takiego samego schematu jak doświadczenia J i L, z przyczyn organizacyjno-ekonomicznych zakończone w 1995 r. W tym celu z obiektów nawozowych doświadczenia, począwszy od 1996 r., wiosną i jesienią pobierano próbki gleby z warstwy 0–10 cm, w których oznaczano zawartość N-NO₃ i N-NH₄. Obliczono średnią roczną zawartość obu mineralnych form azotu w latach 1996–2001.

Doświadczenia usytuowano na glebach lekkich – na czarnej ziemi zdegradowanej, bardzo kwaśnej (doświadczenie B, J i L) i kwaśnej (doświadczenie F), o zróżnicowanej zawartości części <0,02 mm (od 9,0% – doświadczenie B do 22,4% – doświadczenie L) oraz węgla organicznego (od 1,47% – doświadczenie F do 3,8% – doświadczenie L), i co z tym związane, różniących się pojemnością wymienną kompleksu sorpcyjnego w stosunku do kationów. Największa zawartość azotu ogólnego – 0,31% s.m. wystąpiła w glebie z doświadczenia w Laszczkach, najżyźniejszej spośród badanych gleb (tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka gleby (warstwy 0–10 cm) przed założeniem doświadczeń¹⁾**Table 1.** Soil characteristic (0–10 cm soil layer) before the start of experiments¹⁾

Właściwości gleb Soil properties	Doświadczenie Experiment			
	w Jankach in Janki	w Laszczkach in Laszczki	w Baniosze in Baniocha	w Falentach in Falenty
Tekstura gleby Soil texture	piasek gliniasty mocny heavy loamy sand	glina lekka pylasta light silty loam	piasek słabo gliniasty light loamy sand	piasek gliniasty mocny heavy loamy sand
pH _{KCl}	4,5	4,3	4,5	4,9
Części <0,02 mm, % Particles <0.02 mm, %	18,4	22,4	9,0	17,5
C _{org} , C _{tot} , %	1,90	3,80	2,50	1,47
Gęstość objętościowa, g·cm ⁻³ Bulk density, g·cm ⁻³	1,48	1,27	1,40	1,57
Pojemność wymienna, katio- nowa PWK _c , cmol (+)·kg ⁻¹ CEC, cmol (+)·kg ⁻¹	7,8	23,8	14,5	–
N _{og} , N _{tot} , %	0,15	0,31	0,17	0,19

¹⁾ W Jankach, Laszczkach i Baniosze w 1981 r.; w Falentach w 1987 r.

¹⁾ In Janki, Laszczki and Baniocha in 1981, in Falenty in 1987.

W latach 1996–2001, roczne opady wynosiły 534–662 mm, a w okresie wegetacyjnym (od kwietnia do września) 288–480 mm. Począwszy od 1999 r. obserwowano, zwłaszcza w okresie wegetacyjnym, niekorzystne zmniejszenie opadu, któremu towarzyszył wzrost średniej temperatury. Na deszczowanym doświadczeniu F ten niedostatek wody był uzupełniany nawodnieniem dawką polewową wynoszącą 100–180 mm w skali rocznej (tab. 2). Skrajnie mały opad w okresie wegetacyjnym wystąpił w 2000 r. (288 mm).

Odczyn gleby wapnowanej jednorazowo w 1981 r. na obiektach nawozowych doświadczeń J i L, oznaczony w 1999 r., wskazał na długoletnie działanie zabiegu zobojętniającego nadmiar kwasoty gleby trwałego użytku zielonego nawożonego saletrą amonową. Po prawie 20 latach od wykonania wapnowania węglanem wapnia, pH gleby wynosiło od 5,1 w przypadku większej dawki AN do 5,7 w przypadku dawki mniejszej. Tymczasem gleby z obiektów niewapnowanych, zwłaszcza uboga w próchnicę gleba z doświadczenia J, nawożone dawką azotu 240 kg N·ha⁻¹, uległy zakwaszeniu. Stosowanie saletry wapniowej skutecznie przeciwdziało procesowi zakwaszenia gleby (tab. 3).

Tabela 3. Średnie wartości pH_{KCl} warstwy gleby 0–10 cm z obiektów nawozowych doświadczeń w Jankach, Laszczkach w 1999 r. i Falentach w 1998 r.

Table 3. Average pH_{KCl} values of 0–10 cm soil layer from fertilized objects in Janki and Laszczki experiments in 1999 and in Falenty experiment in 1998

Doświadczenie Experiment	Dawka N N dose kg·ha ⁻¹	Obiekty niewapnowane Not limed objects		Obiekty wapnowane Limed objects	
		AN	CN	AN	CN
Janki	120	3,6	4,6	5,7	6,9
	240	3,3	5,0	5,1	6,8
Laszczki	120	4,3	5,0	7,0	7,2
	240	4,0	5,2	6,2	7,3
Falenty	120	5,7	–	–	–
	240	5,4	–	–	–
	360	4,5	–	–	–
	120 ¹⁾	–	–	–	–
	240 ¹⁾	5,9	–	–	–
	360 ¹⁾	5,4	–	–	–

AN – saletra amonowa, CN – saletra wapniowa.

¹⁾ Nawożenie mineralno-organiczne.

Obiekty wapnowane jednorazowo dawką wg 2Hh na początku doświadczeń w 1981 r.: w Jankach – 4,6 t CaO·ha⁻¹, w Laszczkach – 7,4 t CaO·ha⁻¹ (węglanowa forma wapna).

AN – ammonium nitrate, CN – calcium nitrate.

¹⁾ Mineral-organic fertilization.

Objects limed once at the start of experiments in 1981 with a dose according to 2Hh (hydrolytic acidity): Janki – 4.6 t CaO·ha⁻¹, Laszczki – 7.4 t CaO·ha⁻¹ (as calcium carbonate).

WYNIKI I DYSKUSJA

ZMIANY ROCZNEJ WYDAJNOŚCI MINERALIZACJI

Roczna suma azotu uwolnionego w procesie mineralizacji (N-min), w warunkach inkubacji *in situ* (R) w glebie z doświadczenia J, wskazuje na większą wydajność tego procesu w glebie uboższej w próchnicę i minerały ilaste, o mniej korzystnych warunkach wilgotnościowych w porównaniu z glebą doświadczenia L, co stwierdzono już we wcześniejszych badaniach [SAPEK, 1999]. Średnia wartość sumy azotu uwolnionego w procesie mineralizacji (N-min) w glebie niewapnowanej doświadczenia J wyniosła 186,6 kg·ha⁻¹·rok⁻¹, a w tych warunkach w glebie z doświadczenia L – 164,1 kg·ha⁻¹·rok⁻¹. Podobną różnicę wydajności mineralizacji w tych doświadczeniach obserwowano w przypadku porównania nawożenia AN i CN (tab. 4). Ilości N-min w glebie spod roślinności (T), na które wpływa zarówno intensywność pobierania azotu mineralnego przez rośliny jak i oddziaływanie opadu (możliwość wymycia) były również mniejsze na doświadczeniu L, lecz obliczone w procentach ilości azotu uwolnionego w warunkach inkubacji *in situ* były

zbliżone do siebie (Ca_0 : doświadczenie J – 78%, doświadczenie L – 71,9%; Ca_2 : doświadczenie J – 78,3%, doświadczenie L – 77,9%). Mniejszą wydajność mineralizacji w glebie zasobniejszej w próchnicę można tłumaczyć większą w tych warunkach immobilizacją azotu w wyniku zwiększonej aktywności mikroorganizmów glebowych, na co zwracają uwagę ALBREHT, DOUGLAS i RASMUSSEN [1996] oraz HATCH, GOULDING i MORPHY [2002].

Podobnie jak w przypadku N-min mniejsze ilości azotu azotanowego uwolnionego w glebie z doświadczenia L wskazują na mniej intensywny w tych warunkach proces nityfikacji. Wyjątek stanowią średnie wartości z obiektów niewapnowanych, zwłaszcza nawożonych saletrą amonową, gdzie wydajność nityfikacji jest podobna na obu doświadczeniach (tab. 4). W warunkach lepszego uwilgotnienia, jak na doświadczeniu L, nityfikacji mogą towarzyszyć emisje gazowych związków azotu (NO , N_2O) zmniejszające zawartość azotanów w glebie [OENEMA, SAPEK, 2000].

Wykazano tendencję zwiększenia wydajności nityfikacji w warunkach mniej kwaśnej gleby, tj. na obiektach wapnowanych oraz nawożonych CN, lecz różnice te nie były statystycznie udowodnione. Jest to wynikiem znacznej zmienności występowania $N-NO_3$ w glebie. Jak wykazano we wcześniejszej pracy, w zależności od warunków glebowych współczynnik zmienności obliczony dla jednego roku doświadczeń (1996) mieścił się w przedziale od około 30 do 90% [SAPEK, 1999]. Obecność $N-NO_3$ w glebie, mimo że jest to końcowy produkt reakcji utlenienia związków azotu, jest uwarunkowana, a nawet „uwikłana”, wieloma zmiennymi czynnikami, takimi jak uwilgotnienie, temperatura, obecność innych jonów ulegających utlenieniu (np. Fe^{2+}). To oddziaływanie może być nie tylko długotrwałe, lecz chwilowe i to zarówno w większej masie gleby, jak i w małych jej centrach, a skutkiem tego będą zmiany kierunku i szybkości reakcji: $N-org \rightarrow N-NH_4 \rightarrow N-NO_2 \rightarrow N-NO_3$. Jak wykazano w pracy SAPEK, ESTAVILLO i CORRE [2000], wpływ pH na proces uwalniania mineralnych form azotu w glebie zależy od rodzaju gleby, a także od dawki i formy nawozu azotowego. Autorzy stwierdzili ponadto, że odczyn jest dominującym czynnikiem w procesie nityfikacji.

W przeciwieństwie do azotu azotanowego, w obu doświadczeniach wykazano istotność wpływu badanych czynników, tj. wapnowania i formy stosowanego nawozu azotowego, na zawartość w glebie azotu amonowego – kationowej formy azotu mineralnego związanej przez kompleks sorpcyjny gleby i mniej ruchliwej, na co należałoby zwrócić szczególną uwagę. Na doświadczeniu J wszystkie działania zmniejszające zakwaszenie gleby sprzyjają obecności w niej mniejszej ilości $N-NH_4$. Zależność ta ujawniła się szczególnie wyraźnie w glebie z obiektów niewapnowanych (Ca_0), nawożonych saletrą amonową, gdzie zawartość $N-NH_4$ jest o około 50% większa niż w glebie uprzednio wapnowanej (Ca_2) (tab. 4). W glebie zasobniejszej w próchnicę i minerały ilaste z doświadczenia L ta zależność występuje głównie w przypadku porównania obiektów nawożonych dwiema postaciami saletry. Mniejsza kwasota gleby uprzednio wapnowanej oraz zwiększona podaż

wapnia w wyniku nawożenia CN, sprzyjały mniejszej ilości N-NH₄ w glebie, co pośrednio potwierdza, wprawdzie statystycznie nieudowodnioną, większą w tych warunkach wydajność nitrifikacji i zawartość N-NO₃.

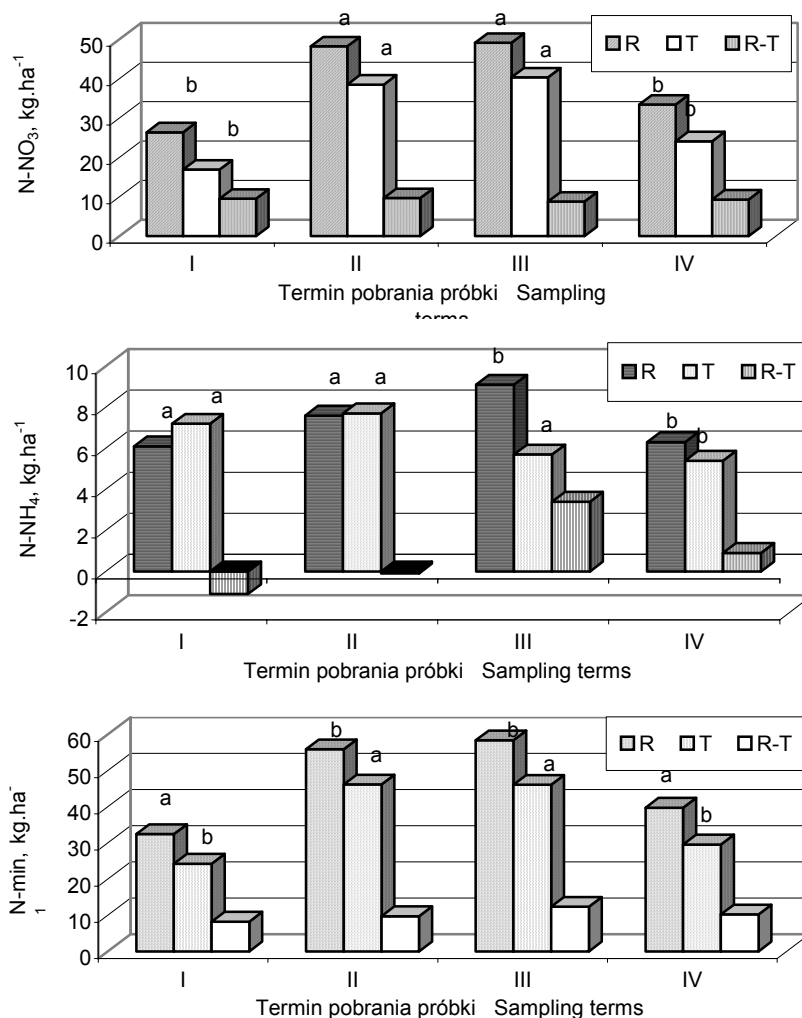
Większą intensywność amonifikacji w warunkach kwaśnego odczynu gleby i wynikające stąd zwiększenie zawartości N-NH₄ w glebie wraz ze zmniejszeniem wartości pH wykazano również we wcześniejszych badaniach [SAPEK, 1999; SAPEK, ESTAVILLO, CORRE, 2000]

ZMIANY WYDAJNOŚCI MINERALIZACJI W CIĄGU ROKU

Oceniając wpływ terminu (I–IV) na wydajność mineralizacji związków azotu w glebie wykazano istotnie większą wydajność, zwłaszcza nitrifikacji, od początku maja do końca lipca, tj. w czasie pierwszego i drugiego odrostu roślinności (termin II i III) na łące trzykośnej, co ilustruje przykład doświadczenia J (rys. 1). Suma azotu mineralnego w próbkach pobranych po pierwszym i drugim odroście, w warunkach inkubacji *in situ* (R) oraz w glebie spod roślinności (T) była istotnie większa niż w próbkach pobranych w pozostałych dwóch terminach (I i III). Najwięcej azotu amonowego w warunkach inkubacji *in situ* uwolniło się w czasie drugiego odrostu runi (około 9 kg N-NH₄·ha⁻¹), natomiast w glebie spod roślinności ilość tej formy azotu była w tym czasie znacznie mniejsza niż w terminach I i II oraz podobna do ilości w czasie trzeciego odrostu runi (około 5 kg N-NH₄·ha⁻¹) (rys. 1). Zwiększoną mineralizację związków azotu w okresie wzrostu runi łąkowej, zwłaszcza w czasie od czerwca do września, w lekkiej glebie mineralnej zarówno nienawożonej azotem, jak i nawożonej gnojowicą, wykazali między innymi DEBOSZ i VINTHER [1989]. Zbliżone wartości obliczonej różnicowej wydajności mineralizacji (R – T), sumarycznie dla N-min oraz N-NO₃, przy jednoczesnym zróżnicowaniu tej wartości w terminach I–IV dla N-NH₄, wskazują na pewien stan dynamicznej równowagi w procesie przemian organicznych związków azotu w glebie łąkowej (tab. 5, rys. 1).

Podobny jak na doświadczeniach J i L wpływ terminu na wydajność mineralizacji związków azotu wykazano na deszczowanym doświadczeniu F, w warunkach zbioru czterech odrostów runi [SAPEK, SAPEK, BARSZCZEWSKI, 2002]. Największa ilość azotu związanego z materią organiczną gleby z obiektu N-240 uległa mineralizacji w maju (około 0,9 kg N-min·ha⁻¹·dzień⁻¹), poczym ilość ta malała systematycznie do października. Najmniej N-min stwierdzono po okresie jesienno-zimowym, w marcu (około 0,1 kg N-min·ha⁻¹·dzień⁻¹). Jednak, na co między innymi zwraca uwagę BJÖRNSSON [2003], proces mineralizacji przebiega również w okresie zimy i to dość intensywnie, zwłaszcza gdy wzrasta temperatura.

Nie udowodniono wpływu badanych czynników na ilość azotanów uwolnionych w glebie w wydzielonych terminach, a jedynie tendencję większej zawartości N-NO₃ w glebie z obiektów uprzednio wapnowanych (Ca₂) oraz nawożonych saletrą wapniową.



Rys. 1. Średnie zawartości azotu azotanowego (N-NO₃), amonowego, (N-NH₄) i sumy azotu mineralnego (N-min) w 0–10 cm warstwie gleby z obiektów nawozowych doświadczenia w Jankach w latach 1995–2001. Próbkę gleby pobrane w czterech terminach: I – wiosną przed ruszeniem wegetacji, II – po pierwszym odroście runi, III – po drugim odroście runi, IV – po trzecim odroście runi. R – wydajność mineralizacji w warunkach inkubacji *in situ*, T – zawartość azotu w glebie spod roślinności, (R – T) – różnicowa wydajność mineralizacji; jednakowe litery (*a*, *b*) dla R i T oznaczają brak istotnych różnic w wynikach

Fig. 1. Mean nitrate (N-NO₃), ammonium (N-NH₄) and sum of mineral nitrogen (N-min) contents in 0–10 cm soil layer from the fertilizer objects in Janki and Laszczki experiments in 1995–2001. Soil sampled in four terms: I – in the spring before the start of vegetation, II – after the first regrowth of sward, III – after the second regrowth of sward; IV – after the third regrowth of sward; R – mineralization efficiency in the case of *in situ* incubation, T nitrogen content in the soil under the herbage, (R – T) – differential efficiency of mineralization; common letters (*a*, *b*) for R and T lack the significant differences between the results

Tabela 5. Średnie różnice zawartości azotu azotanowego (N-NO₃), amonowego (N-NH₄) i sumy azotu mineralnego (N-min) w 0–10 cm warstwie gleby między trzecim odrostem runi (termin IV) i w okresie jesienno-zimowym (termin I) z doświadczeń w Jankach i Laszczkach w latach 1995–2001

Table 5. Mean differences of nitrate (N-NO₃), ammonium (N-NH₄) and sum of mineral nitrogen contents (N-min) in 0–10 cm soil layer between the third regrowth (term IV) and the autumn-winter season (term I) in Janki and Laszczki experiments in 1995–2001

Forma N N form	Rodzaj próbki gleby Kind of soil sample	Różnice zawartości Differences kg·ha ⁻¹	
		Janki	Laszczki
N-NO ₃	R	7,0	3,0
	T	7,2	2,3
N-NH ₄	R	0,2	3,1
	T	-1,5	1,1
N-min	R	7,2	6,1
	T	5,3	3,4

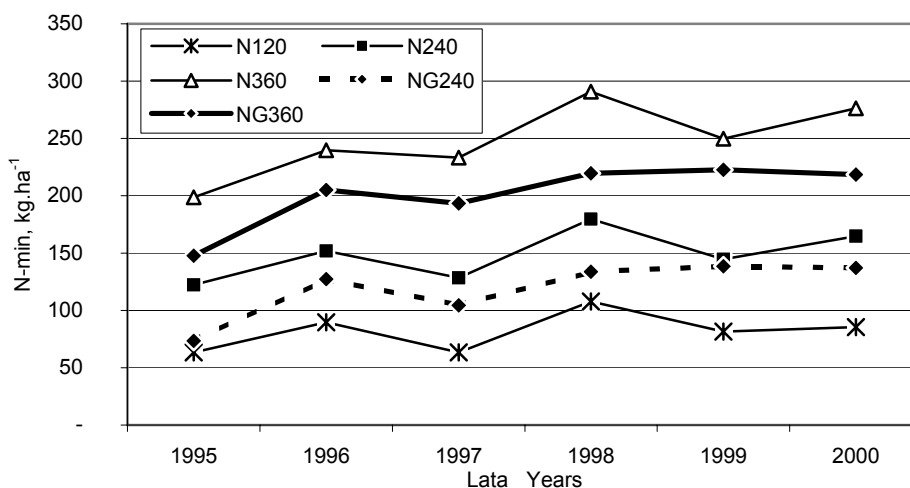
Objaśnienia: R – próbki gleby po inkubacji *in situ*, T – próbki gleby spod roślinności.

Explanations: R – soil samples after *in situ* incubation, T – soil samples under the herbage.

DYNAMIKA WYDAJNOŚCI MINERALIZACJI W LATACH 1995–2001

Wpływ dawki i postaci nawozu azotowego na dynamikę i wydajność mineralizacji związków azotu w warunkach inkubacji gleby *in situ* w ciągu sześciu lat badań wykazano na przykładzie deszczowanego doświadczenia F. Stwierdzono, że w przypadku dostatku wody w glebie, nawożonej tą samą dawką i postacią nawozu azotowego, ta wydajność jest dość stabilna. Nawożenie mineralno-organiczne w porównaniu z mineralnym sprzyja mniejszej wydajności mineralizacji (rys. 2). Ilość N-min uwalnianego w glebie nawożonej gnojówką w sześcioletnim okresie badań była zawsze mniejsza w porównaniu z glebą nawożoną tą samą dawką azotu wyłącznie w postaci saletry amonowej (rys. 2). HATCH, GOULDING i MORPHY [2002] tłumaczą to wzmożoną aktywnością mikroorganizmów w glebie po zastosowaniu nawozu naturalnego i stąd immobilizacją mineralnego azotu przez materię organiczną, a także możliwością przebiegu procesu denitryfikacji i strat gazowych związków azotu w tych warunkach. Stwierdzono także, że wydajność mineralizacji zmienia się prawie proporcjonalnie do zastosowanej dawki nawozu, zarówno w przypadku saletry amonowej jak i gnojówki [SAPEK, SAPEK, BARSZCZEWSKI, 2002].

Wpływ uwilgotnienia gleby na wydajność mineralizacji związków azotu w warunkach inkubacji gleby *in situ* oceniono na przykładzie doświadczenia J, głównie o opadowej gospodarce wodą oraz doświadczenia F, gdzie niedobór wody uzupełniano nawodnieniem deszczownianym (rys. 3, tab. 2). Porównanie wykonano na przykładzie obiektów nawożonych dawką 240 kg N·ha⁻¹. Eliminacja stresu suszy

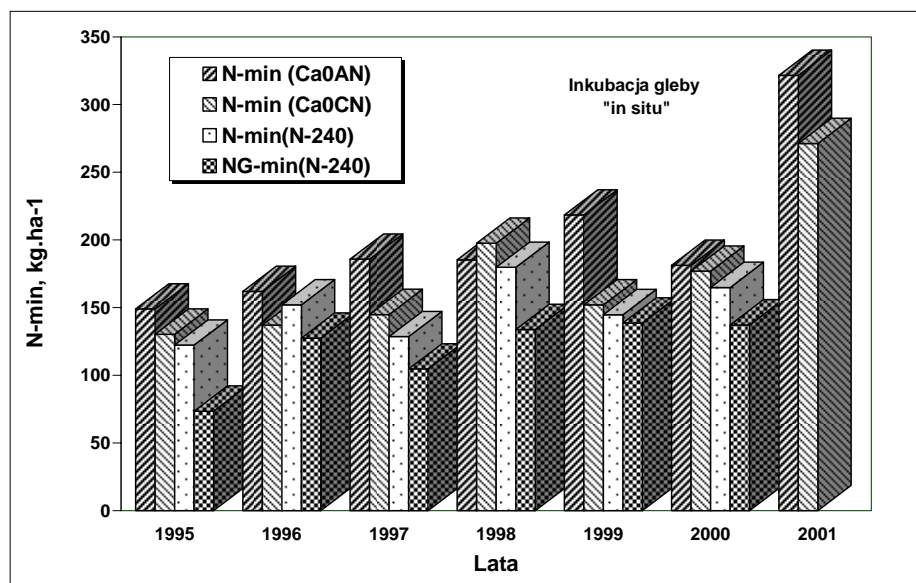


Rys. 2. Sumaryczna ilość N-min ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) uwolnionego w ciągu roku podczas inkubacji *in situ* w glebie z doświadczenia w Falentach w zależności od formy i dawki nawozu azotowego ($\text{kg}\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$) – nawożenie mineralne: N120, N240, N360; nawożenie mineralno-organiczne: NG240, NG360

Fig. 2. Summarized N-min content ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) released in the year during *in situ* soil incubation in Falenty experiment in relation to forms and doses of nitrogen fertilizer ($\text{kg}\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$) – mineral fertilization: N120, N240, N360; organic-mineral fertilization: NG240, NG360

w glebie, a także nawożenie organiczno-mineralne ze stosowaniem gnojówki na doświadczeniu F sprzyjały, jak to już wykazano poprzednio, zmniejszeniu wydajności mineralizacji mimo znacznie mniej kwaśnego odczynu gleby niż na doświadczeniu J (tab. 3). Większa wilgotność gleby na doświadczeniu deszczowanym oraz nawożenie gnojówką stwarza korzystniejsze warunki dla denitryfikacji, a także immobilizacji azotu [HATCH, JARVIS, PARKINSON, 1998; OENEMA, SAPEK, 2000]. Na uwagę zasługuje tendencja zwiększania wydajności mineralizacji w glebie w okresie badań 1995–2001, zwłaszcza z doświadczenia J, o najmniej korzystnych, w porównaniu z pozostałymi doświadczeniami, warunkach wilgotnościowych. Wyjątek stanowi rok 2000, który cechował się najmniejszym opadem w okresie wegetacji (rys. 3). Może to świadczyć o tym, że w warunkach dużego niedoboru wody w glebie ubogiej w próchnicę proces mineralizacji jest również mniej intensywny.

Zmiany różnicowej wydajności mineralizacji ($R - T$) w omawianym okresie badań świadczą o pewnym ustabilizowaniu tego procesu w warunkach doświadczenia deszczowanego i jednocześnie o tendencji zwiększania tej ilości azotu w glebie nawożonej gnojówką (rys. 4). Wskazywało by to na powolne zwiększanie zapasu azotu mineralnego w glebie, w warunkach dostatku wody dla roślin. Nawożenie saletrą amonową bardzo kwaśnej i mało zasobnej w węgiel organiczny gleby



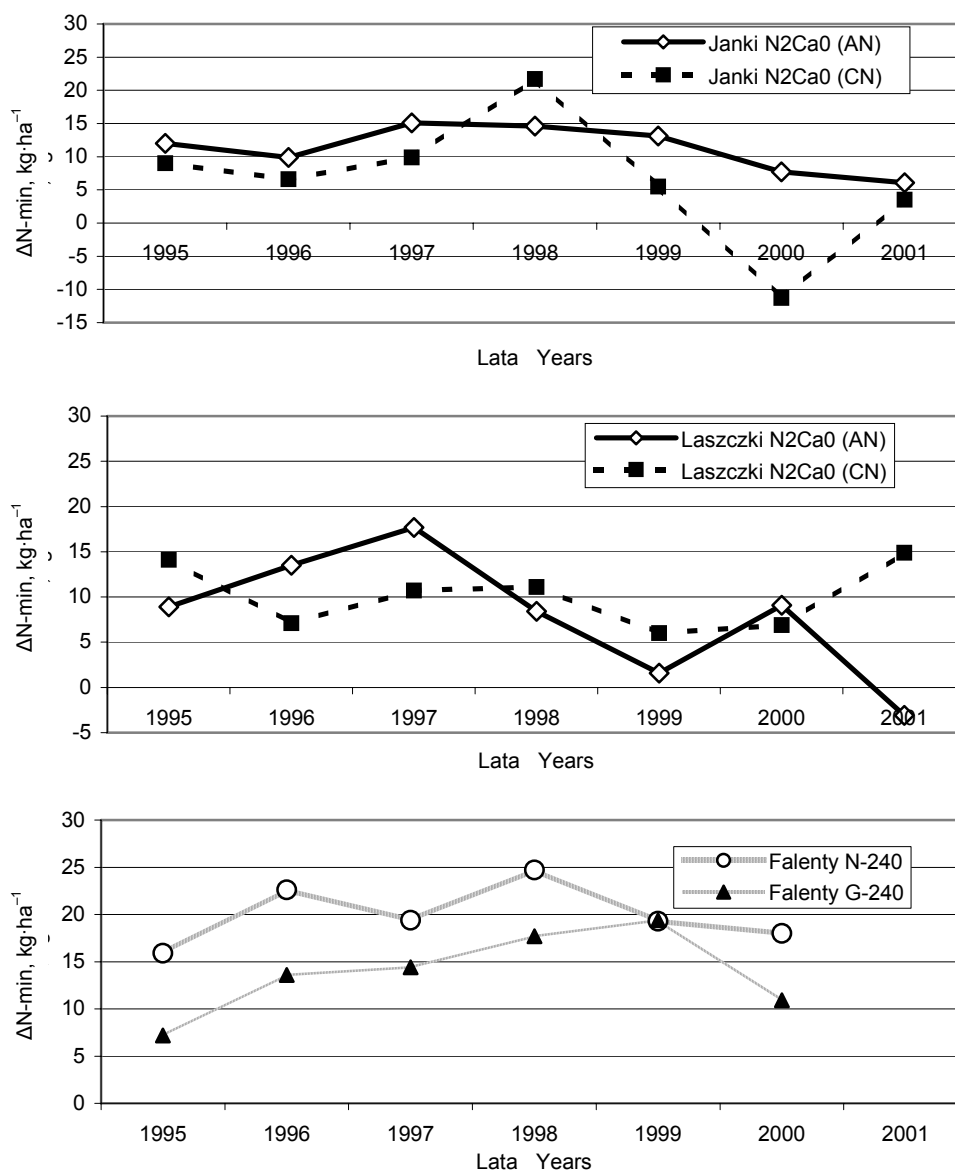
Rys. 3. Sumaryczna ilość N-min ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) uwolnionego w ciągu roku podczas inkubacji *in situ* w glebie z doświadczenia w Jankach (N-min – Ca_0AN , Ca_0CN) i w Falentach (N-min – 240, NG-min – 240)

Fig. 3. Summarized N-min content ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) released in the year during *in situ* soil incubation in Janki experiment (N-min – Ca_0AN , Ca_0CN) and in Falenty experiment (N-min – 240, NG – 240)

z doświadczenia J sprzyjało również stabilizacji różnicowej wydajności mineralizacji. Po nawożeniu saletrą wapniową obserwowano większą zmienność różnicowej wydajności mineralizacji na doświadczeniu J (rys. 4).

WPLYW ZANIECHANIA UŻYTKOWANIA ŁĄKI KOŚNEJ NA ZASOBNOŚĆ GLEBY W MINERALNE FORMY AZOTU

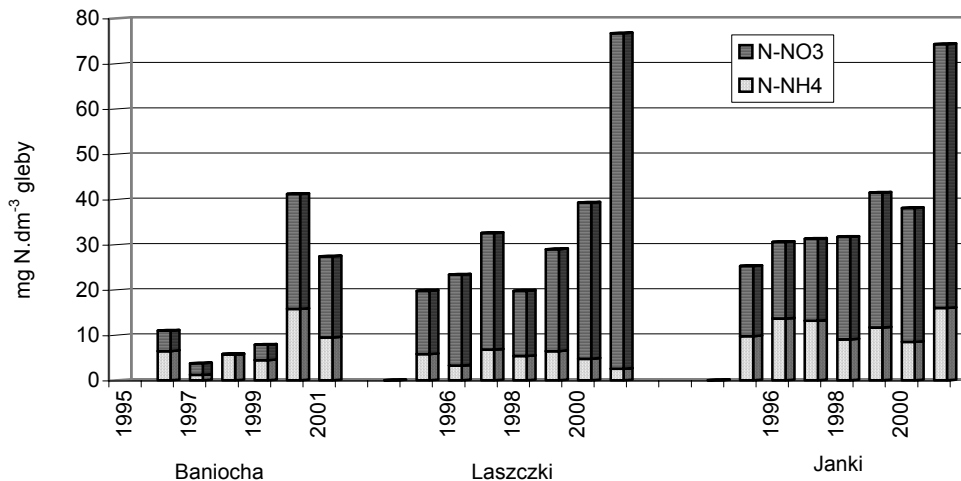
Dokonano wstępnej oceny wpływu zaniechania użytkowania łąki na zawartość w glebie N-NO_3 i N-NH_4 porównując średnie roczne zawartości tych składników w glebie z obiektu nawozowego niewapnowanego, nawożonego $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (N_2Ca_0) doświadczenia B, zakończonego w 1995 r. i kontynuowanych doświadczeń J i L (rys. 5). Z porównania wyników zawartości dwóch form azotu mineralnego wynika, że proces mineralizacji w nieużytkowanej glebie z doświadczenia B, zwłaszcza w pierwszych czterech latach po zakończeniu doświadczenia i zaniechaniu użytkowania łąki jest mniej intensywny. DEBOSZ i VINTHER [1989], na przykładzie wyników dwuletnich badań, wykazali większą wydajność mineralizacji w glebie ugorowanej w porównaniu z nawożoną łąką. W doświadczeniu B na uwa-



Rys. 4. Przebieg zmian średniej różnicowej wydajności mineralizacji ($\Delta N\text{-min}$) w latach badań, obliczonej z różnicy zawartości badanych form azotu w próbkach gleby po inkubacji *in situ* (R) i w próbkach pobranych bezpośrednio spod roślinności (T) z doświadczeń w Jankach, Laszczkach i Falentach

Fig. 4. Changes of the average differential mineralization efficiency ($\Delta N\text{-min}$) in the study period calculated from the difference between the content of mineral nitrogen forms in samples after *in situ* soil incubation (R) and under the herbage (T) in Janki, Laszczki and Falenty experiments

gę zasługuje dość znaczny udział amonowej formy azotu, w latach 2000 i 2001 podobny jak na kontynuowanym doświadczeniu w Jankach (rys. 5). Może to świadczyć o możliwości nagromadzenia się $N-NH_4$ w glebie. W warunkach sprzyjających nitryfikacji tak nagromadzony azot amonowy może być potencjalnym źródłem zanieczyszczenia wody gruntowej azotanami.



Rys. 5. Porównanie przebiegu zmian średniej rocznej zawartości azotu mineralnego w glebie zaniechanego, będącego nieużytkiem, doświadczenia w Baniocze oraz w glebie z obiektu nawozowego N_2Ca_0 doświadczeń kontynuowanych w Jankach i Laszczkach, w latach 1996–2001

Fig. 5. Comparison of changes of average mineral nitrogen content in the soil from the “abandoned” Baniocza experiment and from the N_2Ca_0 fertilizer objects in the continuous Janki and Laszczki experiments in 1996–2001

WNIOSKI

1. Przebieg i wydajność mineralizacji związków azotu w glebie zależą od właściwości gleby i warunków, zwłaszcza wilgotnościowych w niej panujących, od pogody w danym roku i okresie wegetacyjnym oraz od dawki i postaci nawozu azotowego.

2. Bardziej kwaśny odczyn gleby sprzyja amonifikacji i zwiększeniu ilości amonowej formy azotu uwolnionego w procesie mineralizacji organicznych związków azotu.

3. Okresy suszy i podwyższonych temperatur oraz nawożenie saletrą amonową sprzyjają zwiększeniu wydajności mineralizacji.

4. Mineralizacja przebiega najintensywniej w okresie od początku maja do końca lipca, a jej wydajność istotnie się różni od wydajności w pozostałym czasie.

5. Nawożenie deszczowanej łąki kośnej mineralną formą azotu zwiększa wydajność mineralizacji w porównaniu ze stosowaniem formy organicznej – gnojówki.

6. Zmiany różnicowej wydajności mineralizacji organicznych związków azotu, obserwowane w latach 1995–2001, wskazują na pewną stabilność tego procesu w warunkach łąki deszczowanej, a także po nawożeniu saletrą amonową.

7. Zaniechanie użytkowania i nawożenia łąki powoduje nagromadzenie się w glebie azotu, zwłaszcza N-NH₄, co w warunkach sprzyjających nityfikacji może być źródłem azotanów, wymywanych do wód gruntowych.

Długoletnie doświadczenia łąkowe są realizowane w Zakładzie Chemii Gleby i Wody IMUZ w ramach prac statutowych, przy współpracy Zakładu Doświadczalnego MUZ w Falentach pod kierunkiem dra inż. Jerzego Barszczewskiego oraz przy czynnym udziale całego zespołu Zakładu ChGW.

LITERATURA

- ADAMS M.A., POLGLASE P.J., ATTIVIL P.M., 1989. In situ studies of nitrogen mineralization and uptake in forest soils; some comments on methodology. *Soil Biol. Biochem.* 21 3 s. 423–420.
- ADISCOTT T.M., WHITMORE A.P., POWLSON D.S., 1991. Farming, fertilizers and the nitrate problem. Wallingford UK: C.A.B International.
- ALBREHT S.L., DOUGLAS C.L., Ir., RASMUSSEN P.E., 1996. Effect of liming on nitrogen transportation in soils of the Pacific Northwest. *Trans. 9th Nitrogen Workshop. Braunschweig, September 1996. Braunschweig Technische Universität* s. 177–180.
- BJORNSSON H., 2003. Mineralization of nitrogen to climatic variation and soil. W: *Controlling N flows and losses. Abstract 12th N Workshop. 21st–24th September, 2003, Exeter, Devon, UK: IGER. Theme 2.*
- DEBOSZ K.K., VINTHER F.P., 1989. An *in situ* technique for simultaneous measurement of mineralization, leaching and plant uptake of nitrogen applied to agricultural soils. W: *Nitrogen in organic wastes applied to soils. Red. J.A. Hansen, K. Henriksen, London: Academic Press* s. 3–10.
- HATCH D.J., JARVIS S.C., PARKINSON R.J., 1998. Concurrent measurements of net mineralization, nitrification, denitrification and leaching from field incubation soil cores. *Biol. Fertil. Soils* 26 s. 323–330.
- HATCH D.J., GOULDING K., MORPHY D., 2002. Nitrogen. W: *Agriculture, hydrology and water quality. Red. P.M. Haygarth, S.C. Jarvis. Wallingford UK: CABI Publishing.* s. 2–28.
- OENEMA O., SAPEK A., 2000. Effect of soil acidity and nitrogen fertilizer application on gaseous nitrogen oxide emissions from mown grassland. Some concluding remarks. W: *Effect of liming and nitrogen fertilizer application on soil acidity and gaseous nitrogen oxide emissions in grassland systems. Pr. zbior. Red. O. Oenema, A. Sapek. Falenty: Wydaw. IMUZ* s. 96–102.
- RAISON R.J., CONNELL M.J., KHANNA P.K., 1987. Methodology for studying fluxes of soil mineral – N *in situ*. *Soil Biol. Biochem.* 1 5 s. 521–530.
- SAPEK B., SAPEK A., 1993. Wpływ wapnowania na zawartość azotu mineralnego w glebie łąkowej. W: *Problemy wapnowania użytków zielonych. Mater. Semin. 32. Falenty: Wydaw. IMUZ* s. 74–79.
- SAPEK B., 1995. Mineralizacja azotu w glebie łąki trwałej w zależności od odczynu i nawożenia azotem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 421a* s. 323–330.

- SAPEK B., 1996a. Potencjalne wymycie azotanów na tle dynamiki mineralizacji azotu w glebach użytków zielonych. W: Azotany w ekosystemach rolniczych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 440 s. 331–341.
- SAPEK B., 1996b. Mineralizacja materii organicznej w glebach łąkowych jako źródło azotu. Zesz. Edukac. 1/96 s. 75–86.
- SAPEK B., 1996c. Impact of soil pH on nitrogen mineralization in grassland soils. W: Progress in nitrogen cycling studies. Red. O. Van Cleemput, G. Hofman, A. Vermoesen Dordrecht. The Netherlands: Kluwer Academic Publisher. s. 265–270.
- SAPEK B., 1997. Potential nitrate leaching resulted from the nitrogen mineralization dynamic in grassland soils. W: Gaseous nitrogen emission from grassland. Red. S.C. Jarvis, B.F. Pain. Wallingford UK: C.A.B International s. 419–422.
- SAPEK B., 1998. Dynamic of the pH of limed and unlimed soil on the background of mineralization of nitrogen compounds in long-term meadow experiments. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. z. 456 s. 129–135.
- SAPEK B., 1999. Ocena dynamiki mineralizacji związków azotu metodą inkubacji *in situ* i jego bilans w mineralnej glebie łąkowej. Wiad. IMUZ t. 20 z. 1 s. 39–57.
- SAPEK B., ESTAVILLO J.M., CORRE W.J., 2000. Amounts of ammonium and nitrate in grassland soil as a function of soil pH and fertiliser nitrogen application. W: Effects of liming and nitrogen fertilizer application on soil acidity and gaseous nitrogen oxide emissions in grassland systems. Pr. zbior. Red. O. Oenema, A. Sapek. Falenty: Wydaw. IMUZ s. 25–37.
- SAPEK B., SAPEK A., BARSZCZEWSKI J., 2000. Plon i zawartość wybranych składników mineralnych w roślinności łąki trwałej na tle nawożenia saletrą amonową i wapniową. Wiad. IMUZ t. 21 z. 1 s. 67–87.
- SAPEK B., BARSZCZEWSKI J., 2000. Characteristic of the long-term meadow experiments in Janki and Laszczki; a description of the sites, soils, treatment and some results. W: Effects of liming and nitrogen fertilizer application on soil acidity and gaseous nitrogen oxide emissions in grassland systems. Pr. zbior. Red. O. Oenema, A. Sapek. Falenty: Wydaw. IMUZ s. 14–24.
- SAPEK A., SAPEK B., BARSZCZEWSKI J., 2002. Mineralizacja azotu w glebie łąki trwałej deszczowanej. Nawozy i Nawożenie z. 4 s. 238–246.

Barbara SAPEK, Danuta KALIŃSKA

MINERALIZATION OF SOIL ORGANIC NITROGEN COMPOUNDS IN THE LIGHT OF LONG-TERM GRASSLAND EXPERIMENTS IN IMUZ

Key words: ground waters, mineral meadow soil, mineralization, nitrogen fertilization, organic nitrogen compounds, peat-moorsh meadows, soil conditions

S u m m a r y

Qualitative and quantitative estimation of mineralization rate of organic nitrogen compounds and the dynamics of mineral nitrogen forms – ammonium and nitrate in the soil from mown grassland have been studied. The estimation was based on the results from long-term grassland experiments on mineral soils under different conditions of moisture, pH, doses and forms of nitrogen fertilizer. The assessment was performed in the conditions of *in situ* soil incubation and in the soil under herbage. Moreover, the effect of abandoned mowing on mineral nitrogen content in the soil was preliminarily

assessed. The dynamics and mineralization rate of organic soil nitrogen was found to depend on soil properties, especially its humidity, on weather in particular years and vegetative seasons and on the dose and form of nitrogen fertilizer. The most intensive mineralization took place from May to July and its efficiency differed significantly from that during the rest of the season. Fertilization of irrigated mown meadow with mineral forms of nitrogen increased the efficiency of mineralization in comparison with the efficiency after applying organic form of nitrogen – slurry. Abandoned use and mowing resulted in the accumulation of mineral nitrogen, particularly $N-NH_4$, which, under favourable conditions, could be the source of nitrate leaching to ground waters.

Recenzenci:

prof. dr hab. Janusz Gotkiewicz

prof. dr hab. Kazimierz Mazur

Praca wpłynęła do Redakcji 19.12.2003 r.

Tabela 2. Opady, średnie temperatury, uwilgotnienie gleby oraz dawki nawodnień (na doświadczeniu w Falentach) w okresie wegetacyjnym w latach 1996–2001

Table 2. Precipitation, average temperature, soil humidity and irrigation rates (in Falenty experiment) during vegetative seasons in 1996–2001

Lata Years	Opad Precipitation mm		Temperatura, średnia w okresie wegetacyjnym Average temperature during vegetative season °C	Nawadnianie Irrigation mm	Opad + nawadnianie Precipitation + irrigation mm	Uwilgotnienie gleby ¹⁾ Soil humidity ¹⁾ min–max % obj. % vol.			
	roczny yearly	w okresie wegetacyjnym during vegeta- tive season				w Falentach in Falenty		w Jankach in Janki	w Laszczkach in Laszczki
1996	534	408	14,4	120	654	18,0–26,8	14,2–33,1	20,1–41,3	
1997	662	480	14,5	90	752	16,5–28,4	20,3–32,4	22,7–46,5	
1998	614	403	15,1	100	714	15,0–27,8	22,6–31,0	26,1–38,8	
1999	580	381	16,0	180	760	13,3–27,7	10,5–32,3	14,9–39,1	
2000	541	288	15,5	125	666	13,6–27,4	14,2–27,3	12,4–37,3	
2001	578	396	15,3	100	678	21,1–27,6	20,6–27,5	15,1–36,0	

¹⁾ Średnie wartości dla warstwy gleby 0–50 cm z dwóch punktów pomiarowych, w okresie wegetacyjnym (IV–IX).

¹⁾ Average values for soil layer 0–50 cm from two monitoring points during vegetative season (IV–IX).

Tabela 4. Porównanie wpływu wapnowania, postaci nawozu azotowego (saletry amonowej i saletry wapniowej) i współdziałania obu czynników doświadczenia na średnie zawartości azotu azotanowego (N-NO₃), amonowego (N-NH₄) oraz sumy azotu mineralnego (N-min) w 0–10 cm warstwie gleby z doświadczeń w Jankach i Laszczkach w latach 1995–2001

Table 4. Comparison of the effect of liming, nitrogen fertilizer form (ammonium and calcium saltpeter) and interaction of both experimental factors on mean nitrate (N-NO₃), ammonium (N-NH₄) and sum of mineral nitrogen (N-min) contents in 0–10 cm soil layer from the Janki and Laszczki experiments in 1995–2001

Doświadczenie Experiment	Składnik Component	Rodzaj próbki Kind of soil sample	Ca ₀	Ca ₂	AN	CN	AN		CN	
							Ca ₀	Ca ₂	Ca ₀	Ca ₂
							kg·ha ⁻¹			
Janki	N-NO ₃	R	149,1	164,9	156,0	158,1	143,9	168,1	154,4	161,7
	N-NH ₄		37,5 a	20,8 b	42,3 a	16,0 b	56,5 a	28,1 b	18,5 a	13,5 b
	N-min		186,6	185,7	198,3	174,0	200,5	196,2	172,8	175,2
	N-NO ₃	T	112,2	127,3	121,8	117,7	109,4	134,3	115,1	120,4
	N-NH ₄		34,0 a	18,0 b	35,3 a	16,7 b	46,8	23,8	21,2	12,2
	N-min		146,3	145,4	157,2	134,5	156,2	158,2	136,4	132,6
Laszczki	N-NO ₃	R	148,8	140,6	145,4	144,0	149,1	141,7	148,5	139,5
	N-NH ₄		15,4 a	9,9 b	16,7 a	8,5 b	20,7	12,7	10,3	7,0
	N-min		164,1	150,5	162,1	152,5	169,8	154,4	158,5	146,5
	N-NO ₃	T	111,9	110,5	115,0	107,5	117,3	112,6	106,5	108,5
	N-NH ₄		15,9 a	7,4 b	13,6	9,7	20,2 a	7,1 b	11,7 a	7,7 b
	N-min		118,1	116,3	137,6	119,6	137,6	119,6	118,1	116,3

AN – saletra amonowa, CN – saletra wapniowa, Ca₀ – objekty niewapnowane, Ca₂ – objekty wapnowane dawką wg 2Hh, R – próbki gleby po inkubacji *in situ*, T – próbki gleby spod roślinności.

a, b – ocena istotności różnic między AN i CN oraz między Ca₀ i Ca₂ na podstawie testu *F*, dla współdziałania AN, CN x Ca₀Ca₂ na podstawie testu Tukeya.

AN – ammonium nitrate, CN – calcium nitrate, Ca₀ – not limed objects, Ca₂ – objects limed with the dose according to 2Hh, R – soil samples after *in situ* incubation, T – soil samples under herbage.

a, b – significance of differences between AN and CN and between Ca₀ and Ca₂ tested with *F* test; interaction AN, CN x Ca₀, Ca₂ tested with Tukey's test.