

OCENA ZMIAN STĘŻENIA MINERALNYCH FORM AZOTU W ROZTWORACH GLEBOWYCH I ICH WYMYWANIA

Stefan PIETRZAK, Marek URBANIAK, Barbara SAPEK

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

Słowa kluczowe: aparaty ssące z ceramicznymi i silikonowymi kubkami porowatymi, roztwór glebowy, stężenie i wymycie azotu mineralnego, użytek zielony

Streszczenie

Przeprowadzono badania, mające na celu ocenę wpływu zróżnicowanych dawek i form nawozów azotowych oraz odczynu gleby na stężenie azotu azotanowego i amonowego w roztworach glebowych spod trwałych użytków zielonych oraz oszacowanie możliwych strat azotu przez wymycie poza strefę korzeniową roślinności łąkowej. Badania realizowano w latach 1999–2001, na dwóch ściśłych doświadczeniach łąkowych, dotyczących bilansowania azotu (ze stosowaniem deszczowania obiektów nawozowych) oraz efektów wapnowania, zlokalizowanych w miejscowościach Falenty i Janki k. Warszawy. Próbkę roztworu glebowego do analiz pozyskiwano za pomocą aparatów ssących z kubkami ceramicznymi i silikonowymi, zainstalowanych na obiektach badawczych na głębokości 75 cm. Stwierdzono, że stężenie mineralnych form azotu w roztworach glebowych i ich wymycie na doświadczeniach w Falentach i Jankach zależało od: dawki i formy nawozu azotowego, stanu uwilgotnienia gleby i jej odczynu. Wartości stężenia $N-NH_4$ i $N-NO_3$ w roztworach glebowych pozyskiwanych za pomocą ceramicznych i silikonowych kubków porowatych znacznie się różniły.

WSTĘP

Straty azotu powstające w wyniku jego wymycia poza strefę korzeniową roślin są ściśle związane z poziomem nawożenia, sposobem gospodarowania oraz użytkowania gleby, przebiegiem i nasileniem procesu mineralizacji materii organicznej oraz dynamiką azotu mineralnego w układzie gleba–woda gruntowa [SAPEK B.,

Adres do korespondencji: dr inż. S. Pietrzak, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Zakład Chemii Gleby i Wody, al. Hrabstwa 3, Falenty, 05-090 Raszyn; tel. +48 (22) 720-05-31, w. 224, e-mail: s.pietrzak@imuz.edu.pl

1996]. Straty te pogarszają wyniki ekonomiczne produkcji rolnej oraz stanowią poważne zagrożenie dla jakości wód podziemnych.

W badaniach nad wymywaniem mineralnych form azotu oraz innych składników nawozowych stosuje się między innymi aparaty ssące z ceramicznymi lub silikonowymi kubkami porowatymi, instalowane w strefie nienasyconej gleby w celu pozyskiwania roztworu glebowego do analiz chemicznych [ADISCOTT, WHITMORE, POWLSON, 1991; BALLIF, MULLER, 1990; DJURHUUS, JACOBSEN, 1995; FROMENT, CHALMERS, SMITH, 1992; HANSEN, 1991; HATCH i in., 1997; MOUTONNET, FARDEAU, 1997; POSS i in., 1995].

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu zróżnicowanych dawek i form nawozów azotowych oraz odczynu gleby na stężenie azotu azotanowego i amonowego w roztworach glebowych pozyskiwanych spod trwałych użytków zielonych za pomocą aparatów ssących z kubkami ceramicznymi i silikonowymi oraz oszacowanie możliwych strat azotu przez wymycie poza strefę korzeniową roślinności łąkowej. Ponadto wstępnie porównano wyniki uzyskane za pomocą dwóch rodzajów aparatów ssących. Badania te stanowiły kontynuację wcześniejszych prac [PIETRZAK, SAPEK B., 1997; SAPEK B., PIETRZAK, 1996; 2002].

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania prowadzono w latach 1999–2001 na dwóch ścisłych doświadczeniach łąkowych zlokalizowanych w miejscowościach Falenty i Janki. Na każdym z czterech poletek wchodzących w skład wybranych obiektów nawozowych obydwóch doświadczeń, na głębokości 75 cm zainstalowano aparaty ssące z ceramicznymi (w 1993 r.) i silikonowymi (w 2000 r.) kubkami porowatymi [PIETRZAK, 1995]. Roztwór glebowy do analiz chemicznych pobierano raz w miesiącu w okresie wegetacyjnym. W próbkach roztworów glebowych oznaczano stężenie azotu azotanowego (N-NO₃) i amonowego (N-NH₄) metodą kolorymetryczną za pomocą auto-analizera przepływowego firmy SKALAR. Wymycie N-NO₃ obliczono na podstawie wzoru [HANSEN, 1994]:

$$U = (A \times C) / 100$$

gdzie:

U – wymycie N-NO₃ z warstwy 75 cm, w kg·ha⁻¹;

A – przesiąk wody (perkolacja) z badanej warstwy, mm;

C – stężenie N-NO₃ w roztworze glebowym z badanej warstwy, mg·dm⁻³.

Miesięczne wartości przesiąków z warstwy 0–80 cm obliczono za pomocą symulacyjnego modelu CREAMS [KNISEL, 1980; SAPEK B., SAPEK A., 1993].

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Oceny zmian stężenia mineralnych form azotu w roztworach glebowych i ich wymywania w wariantcie doświadczenia z ceramicznymi kubkami porowatymi dokonano za lata 1999–2001, natomiast w wariantcie z kubkami silikonowych za 2001 r. (wyniki z 2000 r., w którym je zainstalowano, uznano bowiem za wstępne z uwagi na okres stabilizowania się utworu glebowego po ingerencji spowodowanej umieszczeniem kubków w strefie nienasyconej, poza tym w 2000 r. na doświadczeniu w Falentach kubki silikonowe umieszczono tylko na części obiektów, a okres pobierania roztworów za ich pomocą był krótki).

W latach 1999–2001 najmniejsze opady zanotowano w 2000 r. (tab. 1). W okresie, w którym pobierano próbki roztworów glebowych do analiz, tj. od marca do października, opady w 2000 r. były o 85,6 mm mniejsze niż w 1999 r. i o 107,4 mm mniejsze niż w 2001 r. Różnic tych nie zniwelowały stosowane dawki nawodnień deszczownianych na doświadczeniu w Falentach. Z ilością wody dostarczoną z opadami i nawodnieniami należy wiązać dynamikę zmian stężenia azotu amonowego (N-NH_4) i azotanowego (N-NO_3) w roztworach glebowych pozyskiwanych za pomocą aparatów ssących z ceramicznymi kubkami porowatymi na obydwóch doświadczeniach [SAPEK B., PIETRZAK, 1996; PIETRZAK, SAPEK B., 1997, SAPEK B., PIETRZAK, 2002].

Na większości kombinacji nawozowych doświadczenia w Falentach w 2000 r. notowano większe stężenie N-NO_3 , a mniejsze N-NH_4 w porównaniu z 1999 r. Na doświadczeniu w Jankach występowała odwrotna relacja (tab. 2). Można przypuszczać, że na różnice stężenia azotu azotanowego w pozyskiwanych roztworach rzutowały warunki transportu azotanów (V) w profilach glebowych na doświadczeniach w Falentach i Jankach. Prędkość przemieszczania się jonów NO_3^- (których źródłem były zastosowane nawozy azotowe oraz azot ze zmineralizowanych związków organicznych) w glebie na doświadczeniu w Jankach w suchym roku 2000 była zapewne niewielka, niewątpliwie mniejsza niż w glebie na doświadczeniu w Falentach, w której ruch azotanów (V) był stymulowany deszczowaniem. Tym też można tłumaczyć odmienne kierunki zmian stężenia N-NO_3 w roztworach glebowych na obydwóch doświadczeniach w 2000 r. niż w 1999 r.

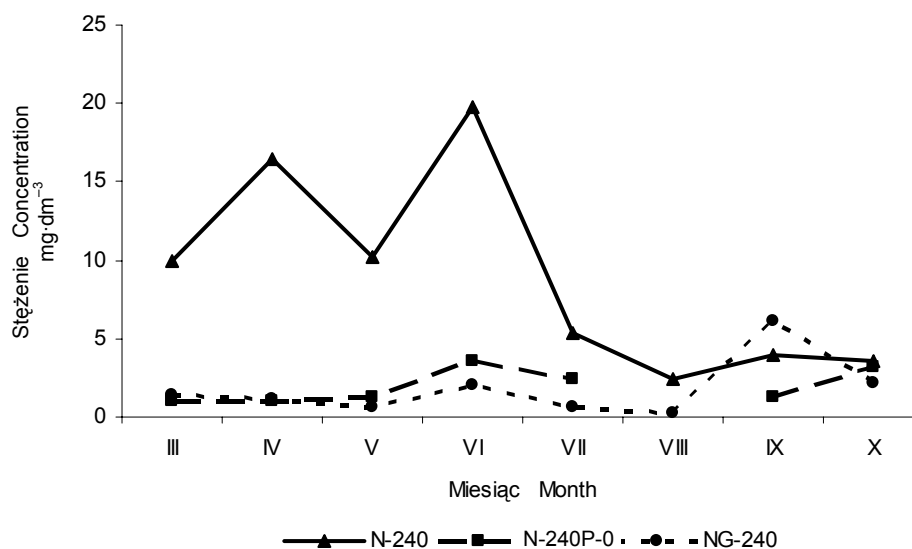
Na doświadczeniu w Falentach największe stężenie N-NO_3 stwierdzono na kombinacji nawozowej NG-360, a najmniejsze – na kombinacji N-120. Na kombinacjach N-240, N-240P-0 i NG-240 wartości te często znacznie się różniły (z wyjątkiem 1999 r.). Na doświadczeniu w Jankach, z wyjątkiem 2000 r., występowały duże różnice między wartościami stężenia N-NO_3 w roztworach pozyskiwanych ceramicznymi kubkami porowatymi z poletek wapnowanych i niewapnowanych (tj. z kombinacji Ca_2AN , Ca_2CN i Ca_0AN , Ca_0CN). Stężenie azotu azotanowego w roztworach z tych pierwszych poletek było większe. Można to tłumaczyć stwierdzanym w literaturze [SAPEK B., 1993] zwiększaniem się aktywności biologicznej

gleb łąkowych w wyniku wapnowania. W takich glebach rozkład materii organiczej i nagromadzanie się mineralnych jego form odbywa się szybciej. W związku z tym można sądzić, że również w glebie na kombinacjach Ca_2AN i Ca_2CN zawartość azotu azotanowego była większa, co wpłynęło na jego większe wymycie. Stężenie N-NH_4 w roztworach z obydwóch doświadczeń (poza pojedynczymi przypadkami) było małe.

Średnie stężenie azotu azotanowego w roztworach glebowych pozyskiwanych za pomocą aparatów ssących z ceramicznymi kubkami porowatymi z doświadczenia w Jankach, na którym poziom nawożenia azotem był stały i wynosił $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, w rozpatrywanym okresie na ogół było mniejsze (min. $0,05 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, max. $2,84 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ N-NO_3) niż na doświadczeniu w Falentach na obiektach nawożonych dawką $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (min. $0,59 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, max. $7,96 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ N-NO_3). Analogiczne różnice stwierdzono w odniesieniu do wymywania azotu azotanowego – Janki: min. $0,06 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$; max. $2,52 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$; Falenty: min. $1,06 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$; max. $5,32 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Była to sytuacja odwrotna do zaobserwowanej w okresie od października 1993 r. do września 1995 r. [PIETRZAK, SAPEK B., 1997].

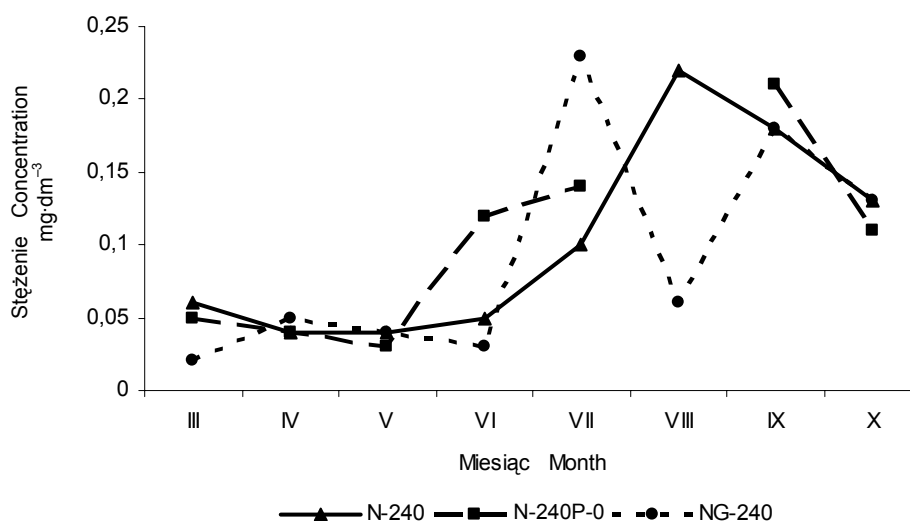
Wartości stężeń mineralnych form azotu w roztworach pozyskiwanych w 2001 r. ceramicznymi i silikonowymi kubkami porowatymi na ogół się różniły (tab. 2). Można mówić o podobieństwie stężenia N-NH_4 i N-NO_3 w roztworach uzyskiwanych dwoma rodzajami aparatów jedynie na kombinacji NG-240 doświadczenia w Falentach w 2001 r. Na doświadczeniu w Jankach stężenie N-NO_3 w 2001 r. w roztworach pozyskiwanych silikonowymi kubkami porowatymi było większe niż w pozyskiwanych kubkami ceramicznymi. Z kolei stężenie N-NH_4 było zazwyczaj większe w roztworach pozyskiwanych kubkami ceramicznymi. Do przypuszczalnych przyczyn wpływających na powstawanie tych różnic można zaliczyć kilkudniowe niekiedy przesunięcie w czasie pobierania roztworów ceramicznymi oraz silikonowymi kubkami porowatymi, dłuższy okres napełniania się silikonowych kubków w porównaniu z ceramicznymi, szczególnie na doświadczeniu w Falentach, mniejszą reprezentatywność wyników uzyskiwanych za pomocą kubków silikonowych na doświadczeniu w Falentach, które częściej niż ceramiczne nie napełniały się roztworem glebowym (po wytworzeniu podciśnienia) oraz zmienność warunków glebowych.

Stwierdzono również występowanie wielu różnic wartości i przebiegu zmian stężenia N-NH_4 i N-NO_3 oraz okresów występowania wartości maksymalnych i minimalnych w okresach miesięcznych 2001 r. w zależności od rodzaju kubków. Analizę utrudnia fakt, że w niektórych miesiącach nie udało się pozyskać roztworów (częściej w przypadku użycia kubków silikonowych). W wariancie z ceramicznymi kubkami porowatymi zwiększone stężenie azotu azotanowego na doświadczeniu w Falentach na obiektach nawożonych dawką azotu $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ występowało w czerwcu (rys. 1), natomiast w Jankach w kwietniu, niezależnie od rodzaju kubków (rys. 2). Stężenie azotu amonowego w roztworach pozyskiwanych kubkami ceramicznymi na obiektach z nawożeniem $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ na doświadcze-



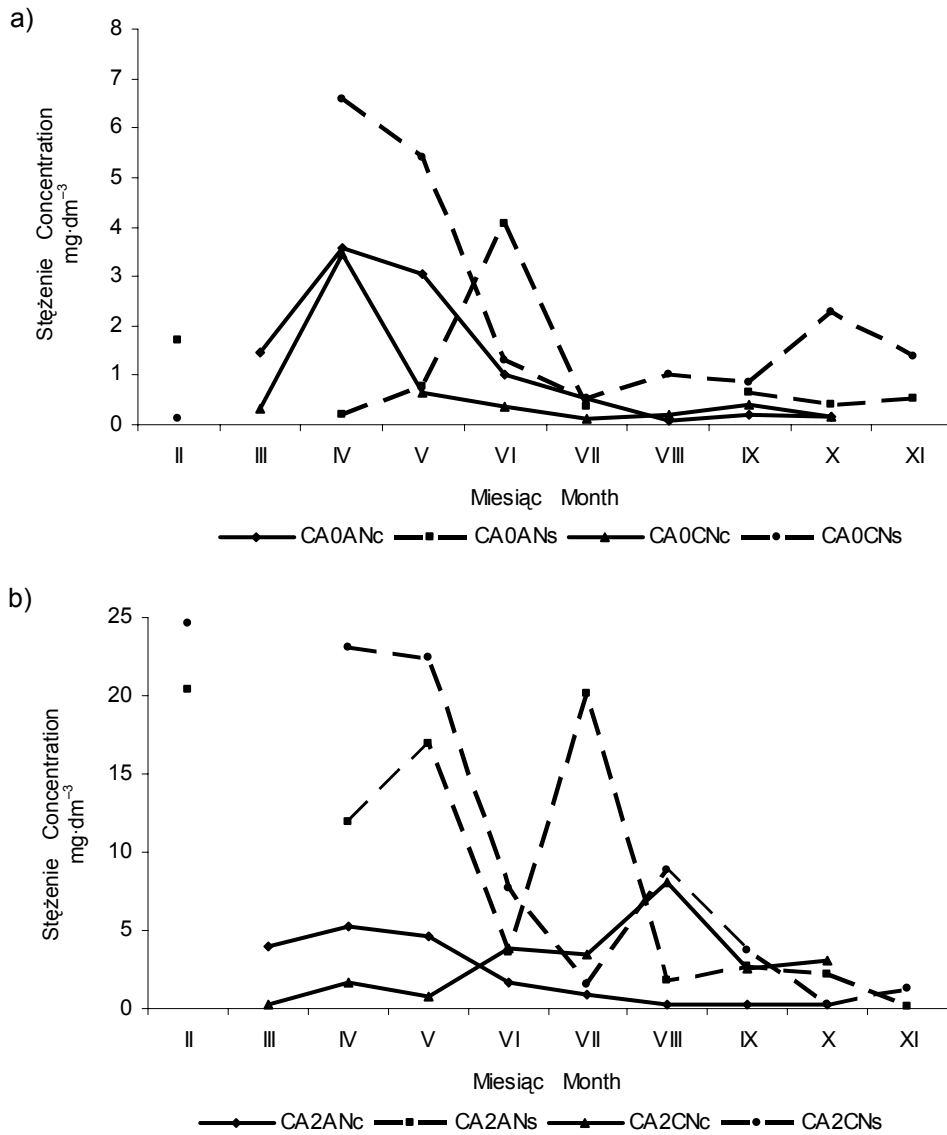
Rys. 1. Dynamika zmian stężenia N-NO₃ w 2001 r. na doświadczeniu w Falentach (kubki ceramiczne) na obiektach N-240, N-240P-0, NG-240 (jak pod tab. 2)

Fig. 1. The dynamics of N-NO₃ changes in 2001 in experiment in Falenty (ceramic cups) at fertilisation treatments N-240, N-240P-0, NG-240 (as in Tab. 2)



Rys. 2. Dynamika zmian stężenia N-NH₄ w 2001 r. na doświadczeniu w Falentach (kubki ceramiczne) na obiektach N-240, N-240P-0, NG-240 (jak pod tab. 2)

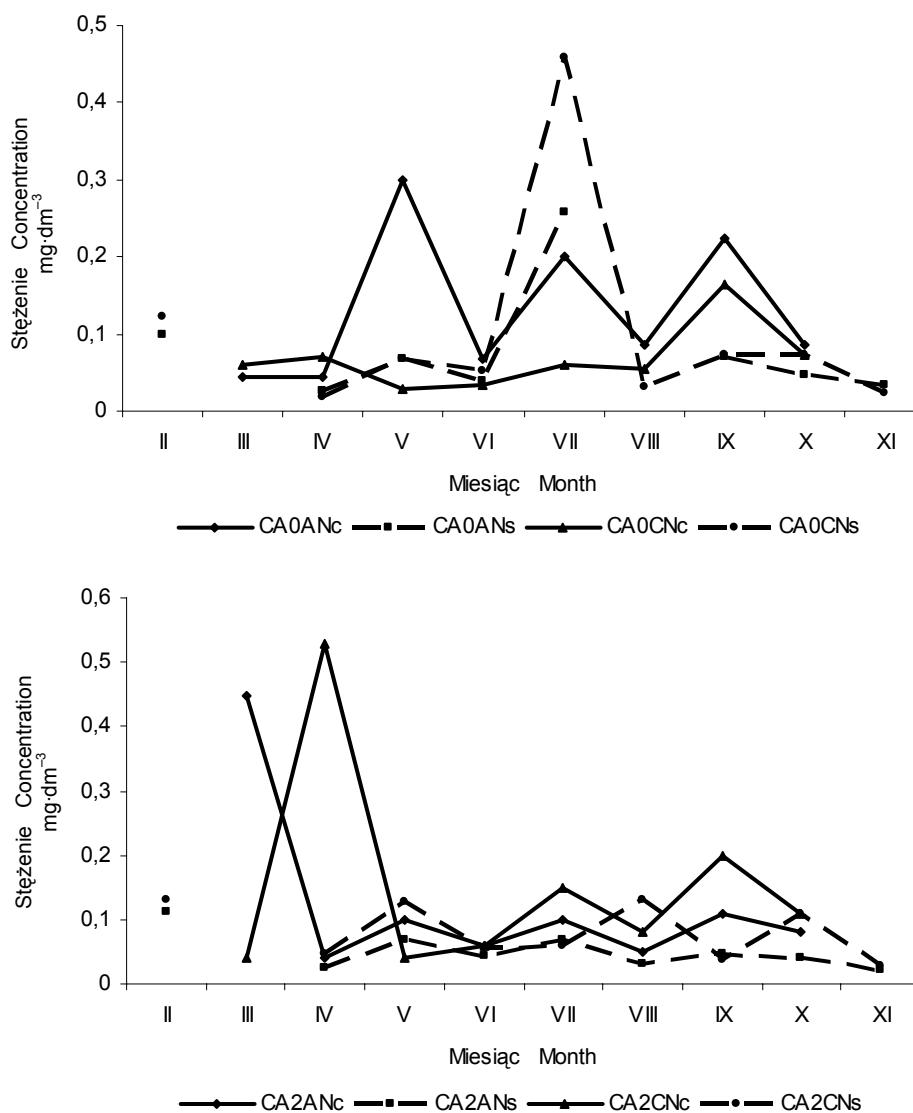
Fig. 2. The dynamics of N-NH₄ changes in 2001 in experiment in Falenty (ceramic cups) at fertilisation treatments N-240, N-240P-0, NG-240 (as in Tab. 2)



Rys. 3. Dynamika zmian stężenia N-NO₃ na doświadczeniu w Jankach w 2001 r.; a) kombinacje Ca₀AN i Ca₀CN, b) kombinacje Ca₂AN i Ca₂CN; Ca₀ – obiekty niewapnowane, Ca₂ – obiekty wapnowane wg 2Hh, An – saletra amonowa, CN – saletra wapniowa, c – kubki ceramiczne, s – kubki silikonowe

Fig. 3. The dynamics of N-NO₃ changes in experiment in Janki in 2001; a) combination Ca₀AN and Ca₀CN, b) combination Ca₂AN and Ca₂CN; Ca₀ – objects without liming, Ca₂ – objects limed acc. to 2Hh, An – ammonium nitrate, CN – calcium nitrate, c – ceramic cups, s – silicone cups

niu w Falentach na ogół było największe w miesiącach lipiec-wrzesień (rys. 3). Na doświadczeniu w Jankach wystąpiła podobna i dość regularna amplituda zmian stężenia azotu amonowego w roztworach pozyskiwanych obydwoma rodzajami kubków, z wartościami maksymalnymi w maju, lipcu i wrześniu (rys. 4). Ogólnie



Rys. 4. Dynamika zmian stężenia $N-NH_4$ na doświadczeniu w Jankach w 2001 r.: a) kombinacje Ca_0AN i Ca_0CN , b) kombinacje Ca_2AN i Ca_2CN ; oznaczenia, jak na rysunku 3.

Fig. 4. The dynamics of $N-NH_4$ changes in experiment in Janki in 2001: a) combination Ca_0AN and Ca_0CN , b) combination Ca_2AN i Ca_2CN ; symbols as in Fig. 3

większą zgodność przebiegu miały krzywe stężenia N-NH₄ i N-NO₃ w roztworach pobranych ceramicznymi kubkami porowatymi na różnych kombinacjach nawozowych. Odchylenia standardowe średnich stężeń N-NH₄ i N-NO₃ w większości przypadków miały relatywnie duże wartości (tab. 2), co wskazuje na znaczną zmienność wyników z tej samej kombinacji nawozowej.

Przebieg zmian wymycia N-NO₃ i częściowo N-NH₄ wykazywał dużą analogię do przebiegu zmian stężenia tych form azotu (tab. 2, 3). Ilość wymywanych mineralnych form azotu łącznie na doświadczeniu w Falentach wynosiła od 0,33 kg·ha⁻¹·rok⁻¹ (obiekt N-120, kubki ceramiczne; 1999 r.) do 11,11 kg·ha⁻¹·rok⁻¹ (obiekt NG-360, kubki ceramiczne; 2001 r.) – tabela 3.

Suma wymytej ilości N-NH₄ i N-NO₃ z poszczególnych obiektów nawozowych doświadczenia w Jankach, poza dwoma przypadkami, wynosiła od 0,59 kg·ha⁻¹·rok⁻¹ na obiekcie Ca₀CN w wariancie z kubkami ceramicznymi w 2001 r. do 2,62 kg·ha⁻¹·rok⁻¹ na obiekcie Ca₂CN w wariancie z kubkami ceramicznymi w 1999 r. W dwóch przypadkach wartości te odbiegały zasadniczo od pozostałych i wynosiły 16,99 i 18,46 kg·ha⁻¹·rok⁻¹ odpowiednio na obiektach Ca₂AN i Ca₂CN w wariancie z kubkami silikonowymi w 2001 r. (tab. 3).

Łączne średnie wymycie N-NH₄ i N-NO₃ z wariantu z kubkami ceramicznymi spod wszystkich obiektów nawozowych w poszczególnych latach w Falentach było od 1,5 do 4,3 razy większe niż w Jankach (tab. 4), co należy tłumaczyć dostarczaniem większej ilości wody (w wyniku deszczowania) na poletka w Falentach.

Tabela 4. Średnie roczne wymycie azotu mineralnego (N_{min}) z obiektów nawozowych w Falentach i Jankach w latach 1999–2001 w wariancie doświadczeń z ceramicznymi kubkami porowatymi

Table 4. Mean annual leaching of mineral nitrogen (N_{min}) from fertilisation objects in Falenty and Janki in the years 1999–2001 in experimental variant with ceramic pours cups

Lokalizacja doświadczenia Location of experiment	Liczba kombinacji nawozowych Number of fertiliser combinations	Wymycie N _{min} , kg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹ Leaching N _{min} , kg·ha ⁻¹ ·year ⁻¹		
		1999	2000	2001
Falenty	6	2,06	2,91	4,39
Janki	4	1,37	0,90	1,03

WNIOSKI

1. Stężenie mineralnych form azotu w roztworach glebowych pozyskiwanych za pomocą aparatów ssących z ceramicznymi kubkami porowatymi i ich wymycie na doświadczeniach w Falentach i Jankach zależało od uwilgotnienia gleby. Większe stężenie N-NH₄ i N-NO₃ w roztworach glebowych oraz większe ich wymycie notowano na ogół na doświadczeniu w Falentach, gdzie poletka były deszczowane.

Na obiektach porównywalnych pod względem nawożenia azotem (dawka 240 kg N·ha⁻¹) średnie stężenie N-NH₄ i N-NO₃ w roztworach glebowych z doświadczenia w Falentach w trzyletnim okresie było odpowiednio ok. 3 i 2,5 razy większe niż na doświadczeniu w Jankach. Analogicznie kształtowało się wymycie tych składników.

2. Odczyn gleby wpływał na stężenie mineralnych form azotu (N-NH₄ i N-NO₃) w roztworach glebowych i ich wymycie na doświadczeniu w Jankach. Stężenie i ilość wymytych składników były większe z poletek wapnowanych. Średnie z trzech lat stężenie N-NH₄ i N-NO₃ w roztworach pozyskiwanych za pomocą aparatów ssących z ceramicznymi kubkami porowatymi z poletek wapnowanych było odpowiednio ok. 1,8 i 2,5 razy większe niż z niewapnowanych, natomiast wymycie tych składników – stosownie ok. 1,4 i 3,3 razy.

3. Występują różnice stężenia N-NH₄ i N-NO₃ w roztworach glebowych pozyskiwanych za pomocą ceramicznych i silikonowych kubków porowatych, jednak ze względu na krótki okres porównawczy trudno je ocenić.

LITERATURA

- ADISCOTT T.M., WHITMORE A.P., POWLSON D.S., 1991. Farming, fertilizers and the nitrate problem. Wallingford: CAB International ss. 176.
- BALLIF, MULLER, 1990. Les bougles poreuses et les lysimetres. Perspectives Agricoles nr 144–145 s. 24–33.
- DIJURHUS J., JACOBSEN O.H., 1995. Comparison of ceramic suction cups and KCl extraction for the determination of nitrate in soil. Eur. J. Soil Sci. 46 s. 387–395.
- FROMENT M.A., CHALMERS A.G., SMITH K.A., 1992. Nitrate leaching from autumn and winter application of animal manures to grassland. Nitrate and farming system. Aspects Applied Biol. 30 s. 153–156.
- HANSEN E.M., 1991. Comparison of porous ceramic cups and drainage lysimetres for sampling soil water N-NO₃ concentration. Tidsskr. Planteavl. 95 s. 51–63 (w j. duńskim, streszcz. ang.).
- HANSEN E.M., 1994. Effect of catch crops on nitrate leaching. An outline of some field experiments the Danish Institut of Plant and Soil Science. W: The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion. NJF Seminar no. 245.
- HATCH D.J., JARVIS S.C., ROOK A.J., BRISTOW A.W., 1997. Ionic contents of leachate from grassland soils: a comparison between ceramic suction cup samples and drainage. Soil Use Man. 13 s. 68–74.
- KNISEL W.G., 1980. CREAMS: A field scale model for chemical, runoff, and erosion from agricultural management systems. U.S. Dep. Agricult. Sci. Educ. Admin. Cons. Res. Rep. 26 ss. 643.
- MOUTONNET P., FARDEAU J.C., 1997. Inorganic nitrogen in soil solution collected with tensionic samplers. Soil Sci. Soc. Am. J. 61 3 s. 822–825.
- PIETRZAK S., 1995. Zastosowanie aparatów z ceramicznymi kubkami porowatymi do pobierania próbek roztworu glebowego ze strefy nienasyconej. Wiad. Melior. nr 4 s. 178–179.
- PIETRZAK S., SAPEK B., 1997. The influence of soil pH and the form of nitrogen fertilizer on the content of nitrate – nitrogen and ammonium – nitrogen in soil solutions. J. Water Land Dev. no. 1 s. 83–91.
- POSS R., NOBLE A.D., DUNIN F.X., REYENGA W., 1995. Evaluation of ceramic cup samplers to measure nitrate leaching in the field. Eur. J. Soil Sci. 46 s. 667–674.

- SAPEK B., 1993. Studia nad wapnowaniem trwałego użytku zielonego na glebie mineralnej. Rozpr. Habil. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 93.
- SAPEK B., 1996. Monitoring azotu mineralnego w gospodarstwie rolnym. W: Nadmiar azotu w rolnictwie czynnikiem zagrożenia zdrowia człowieka. Materiały z międzynarodowej konferencji, Warszawa 9–10.01. 1997 r. Falenty: Wydaw. IMUZ s. 78–87.
- SAPEK B., SAPEK A., 1993. The application of CREAMS model to forecasting the nitrate and chloride leaching from grassland. Water. Sci. Tech. 28 3–5 s. 649–658.
- SAPEK B., PIETRZAK S., 1996. Zastosowanie metody aparatów z ceramicznymi kubkami porowatymi do oceny potencjalnego wymycia azotanów z gleb łąkowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 440 s. 343–352.
- SAPEK B., PIETRZAK S., 2002 The applying of ceramic of ceramic suction cups for the estimation of nutrients leaching on grassland soils. W: Počvovedenie i agrochimija. Sbornik naučných trudov. Vyp. 32. Mińsk (Białoruś) s. 287–297.

Stefan PIETRZAK, Marek URBANIAK, Barbara SAPEK

THE ASSESSMENT OF CHANGES OF THE CONCENTRATION AND LEACHING OF MINERAL FORMS OF NITROGEN IN SOIL SOLUTIONS

Key words: concentration and leaching, grassland, mineral nitrogen, soil solution, suction apparatus with ceramic and silicone porous cups

S u m m a r y

The study was aimed at estimating the influence of diverse doses and forms of nitrogen fertilizers and the reaction of soil on the concentration of nitrate and ammonium nitrogen in soil solutions from under permanent grassland and possible losses of nitrogen by leaching out of the root zone of meadow vegetation. Analyses were performed in the years 1999–2001 in two strict grassland experiments situated in Falenty and Janki near Warsaw on the balance of nitrogen (with sprinkling irrigation) and on the effect of liming. Samples of soil solution were obtained by means of suction apparatus with ceramic and silicone cups installed at a depth of 75 cm.

Concentrations of mineral forms of nitrogen in soil solutions and their leaching were found to depend on doses and forms of nitrogen fertilizers, on soil humidity and pH.

Concentrations of N-NH₄ and N-NO₃ in soil solutions collected from ceramic and silicone porous cups considerably differed between each other.

Praca wpłynęła do Redakcji 22.07.2005 r.

Tabela 1. Opady atmosferyczne i dawki okresowe w nawodnieniach deszczownianych na doświadczeniu w Falentach

Table 1. Atmospheric precipitations and periodical doses in sprinkling irrigation in experiment in Falenty

Rok Year	Źródło wody Source of water	Opady atmosferyczne i deszczowanie, mm Atmospheric precipitations and sprinkling, mm												suma sum
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1999	o	22,3	36,0	26,0	101,3	56,6	142,3	25,6	29,2	26,1	45,5	42,1	25,6	578,6
	d	–	–	–	–	–	20,0	40,0	80,0	40,0	–	–	–	180,0
	Σ	22,3	36,0	26,0	101,3	56,6	162,0	65,6	109,2	66,1	45,5	42,1	25,6	758,6
2000	o	33,0	42,6	48,2	18,5	38,8	22,1	117,5	46,0	46,9	29,0	69,8	41,1	553,5
	d	–	–	–	20,0	20,0	86,0	–	–	–	–	–	–	126,0
	Σ	33,0	42,6	48,2	38,5	58,8	108,0	117,5	46,0	46,9	29,0	69,8	41,1	679,5
2001	o	22,9	25,5	41,3	73,2	38,3	31,5	151,0	34,3	68,2	36,6	33,1	22,6	578,5
	d	–	–	–	–	25,0	25,0	25,0	25,0	–	–	–	–	100,0
	Σ	22,9	25,5	41,3	73,2	63,3	56,5	176,0	59,3	68,2	36,6	33,1	22,6	678,5

Objaśnienia: o – opady atmosferyczne; d – deszczowanie; Σ – suma opadów atmosferycznych i dawki okresowej.

Explanations: o – precipitations; d – sprinkling; Σ – sum of precipitation and periodical dose.

Tabela 2. Stężenie azotu amonowego (N-NH₄) i azotanowego (N-NO₃) w roztworach glebowych pozyskiwanych za pomocą aparatów ssących z ceramicznymi i z silikonowymi kubkami porowatymi na doświadczeniu w Falentach i Jankach

Table 2. Concentration of ammonium nitrogen (N-NH₄) and nitrate nitrogen (N-NO₃) in soil solution collected with suction apparatus with ceramic and silicone porous cups in experiment in Falenty and Janki

Obiekt nawozowy Fertilisation object	Stężenie składnika, mg·dm ⁻³ Concentration, mg·dm ⁻³															
	kubki ceramiczne ceramic cups												kubki silikonowe silicone cups			
	1999				2000				2001				2001			
	N-NH ₄		N-NO ₃		N-NH ₄		N-NO ₃		N-NH ₄		N-NO ₃		N-NH ₄		N-NO ₃	
	\bar{x}	<i>SD</i>	\bar{x}	<i>SD</i>	\bar{x}	<i>SD</i>	\bar{x}	<i>SD</i>	\bar{x}	<i>SD</i>	\bar{x}	<i>SD</i>	\bar{x}	<i>SD</i>	\bar{x}	<i>SD</i>
	Doświadczenie w Falentach Experiment in Falenty															
N-120	0,08	0,07	0,20	0,23	0,06	0,06	1,08	1,51	0,11	0,10	0,89	0,87	–	–	–	–
N-240	0,37	0,85	1,41	1,83	2,06	7,66	5,23	8,97	0,11	0,12	7,96	14,28	0,08	0,10	2,69	2,56
N-240P-0	0,15	0,16	1,47	1,58	0,11	0,11	2,55	3,00	0,08	0,08	1,77	1,71	0,14	0,27	3,07	2,40
NG-240	0,10	0,07	0,59	0,50	0,11	0,13	0,67	0,86	0,09	0,10	1,63	2,37	0,11	0,08	1,31	0,90
N-360	0,13	0,24	1,08	1,20	0,08	0,08	6,69	6,93	0,11	0,13	2,84	3,48	0,39	1,25	4,73	2,81
NG-360	0,09	0,07	1,49	2,43	0,07	0,08	5,38	7,24	0,24	0,50	10,91	8,92	0,46	1,20	4,21	4,80
	Doświadczenie w Jankach (dawka azotu 240 kg N·ha ⁻¹) Experiment in Janki (dose of nitrogen 240 kg N·ha ⁻¹)															
Ca ₀ AN	0,09	0,05	0,52	1,05	0,08	0,07	0,05	0,04	0,10	0,12	1,32	3,42	0,08	0,16	1,11	2,34
Ca ₀ CN	0,09	0,06	0,61	0,69	0,08	0,08	0,19	0,27	0,07	0,06	0,79	1,74	0,11	0,22	2,27	3,66
Ca ₂ AN	0,09	0,10	1,38	1,70	0,37	1,29	0,44	0,64	0,12	0,22	2,08	5,09	0,05	0,04	9,25	14,30
Ca ₂ CN	0,08	0,08	1,60	2,53	0,14	0,23	0,26	0,57	0,16	0,37	2,84	5,38	0,08	0,07	10,37	12,03

Objaśnienia: \bar{x} – wartość średnia, *SD* – odchylenie standardowe; obiekty nawozowe: N – forma mineralna nawozu, NG – forma organiczno-mineralna nawozu, P-0 – obiekt bez nawożenia fosforem, AN – saletra amonowa, CN – saletra wapniowa, Ca₀ – obiekty niewapnowane, Ca₂ – obiekty wapnowane wg 2Hh, liczby w oznaczeniach obiektów – dawka zastosowanego azotu, kg N·ha⁻¹.

Explanations: \bar{x} – mean, *SD* – standard deviation; fertiliser objects: N – mineral form of fertiliser, NG – organic-mineral form of fertiliser, P-0 – object without phosphorus fertilisation, AN – ammonium nitrate, CN – calcium nitrate, Ca₀ – objects without liming, Ca₂ – objects limed acc. to 2Hh, number in the symbol of objects – fertilisation rate, kg N·ha⁻¹.

Tabela 3. Wymycie mineralnych form azotu z obiektów nawozowych na doświadczeniu w Falentach i Jankach

Table 3. Leaching of mineral forms of nitrogen from fertilisation objects in experiments in Falenty and Janki

Obiekt nawozowy Fertilisation object	Wymycie składnika, kg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹ Leaching component, kg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹							
	kubki ceramiczne ceramic cups						kubki silikonowe silicon cups	
	1999		2000		2001		2001	
	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃
	Doświadczenie w Falentach Experiment in Falenty							
N-120	0,09	0,24	0,07	0,97	0,09	0,61	–	–
N-240	1,29	2,60	0,10	1,60	0,06	5,32	0,20	2,90
N-240P-0	0,76	2,34	0,11	3,52	0,05	3,93	0,12	1,67
NG-240	0,09	1,18	0,11	1,06	0,09	1,15	0,03	0,43
N-360	0,11	1,34	0,10	5,00	0,09	3,86	0,06	2,22
NG-360	0,08	2,22	0,08	4,71	0,14	10,97	0,11	0,93
	Doświadczenie w Jankach (dawka azotu 240 kg N·ha ⁻¹) Experiment in Janki (nitrogen dose 240 kg N·ha ⁻¹)							
Ca ₀ AN	0,09	0,52	0,08	0,06	0,05	0,73	0,10	1,21
Ca ₀ CN	0,12	0,70	0,06	0,26	0,04	0,55	0,14	0,82
Ca ₂ AN	0,10	1,42	0,08	0,77	0,13	1,67	0,08	16,91
Ca ₂ CN	0,10	2,52	0,09	2,20	0,09	0,85	0,10	18,36

Objaśnienia: obiekty nawozowe, jak pod tabelą 2.

Explanations: fertilisation treatments as in Tab. 2.