

Najważniejszym źródłem azotu dla roślin uprawnych w Polsce są nawozy mineralne. Wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych uzależnione jest od wielu czynników, a przede wszystkim od gatunku roślin, wielkości dawek i techniki nawożenia, warunków glebowych i meteorologicznych i in. Uważa się, że rośliny tym gorzej wykorzystują azot nawozów mineralnych, im więcej dostaje się go do gleby z nawozami naturalnymi, z resztkami poźniwnymi, związania N przez mikroorganizmy i z opadem atmosferycznym [Fotyma, Pietruch 1999]. Niepobrane przez rośliny azot ulega wielu procesom, w których wyniku nawet znaczna jego część może być tracona z gleby. Dokładna ocena losów azotu nawozowego możliwa jest przy wykorzystaniu zaawansowanych technik pomiarowych, pozwalających na określenie gazowych strat tego składnika z gleby do atmosfery oraz wymywania poza system korzeniowy [Spychaj-Fabisiak 2001; Thomas i in. 2001]. Ilość N nawozowego niepobrany przez rośliny i pozostająca w obiegu w agroekosystemie można również dość dokładnie skwantyfikować, wykorzystując metodę bilansową. W dotychczasowej literaturze dużo jest pozycji poświęconych zagadnieniu bilansowania azotu nawozowego w różnych warunkach glebowo-agrotechnicznych [Körschens, Müller 1995; Oenema i in. 1999; Sapek 1999; Fotyma i in. 2000; Mercik i in. 2002]. Jednak ze względu na dobór różnych metod kalkulacji bilansów (bilans „na powierzchni pola”, „u wrót gospodarstwa”, w doświadczeniach ścisłych i lizymetrycznych) i różnych warunków, w jakich prowadzono badania, wyniki tych wyliczeń były bardzo różne.

Autorzy niniejszej publikacji dysponują wynikami wieloletnich doświadczeń, w których kontrolowane były najważniejsze elementy bilansu (dawki i pobranie N przez rośliny, zmiany zawartości tego składnika w glebie). Dlatego na podstawie zebranego materiału wydawało się zasadne opracowanie bilansu azotu na poziomie pola. Celem niniejszej pracy jest zatem przedstawienie i porównanie bilansu azotu nawozowego, sporządzonego „na powierzchni pola” w trzech systemach nawożenia roślin.

METODY

Dane do kalkulacji bilansu azotu pozyskano, prowadząc badania na trwałych doświadczeniach nawozowych prowadzonych na Polu Doświadczalnym SGGW w Skierniewicach od roku 1923. Wyniki badań zamieszczone w niniejszej publikacji pochodzą z lat 1997-2001. Doświadczenia te prowadzone są na glebie płowej zaliczonej do kompleksu przydatności rolniczej – żytniego bardzo dobrego, klasy bonitacyjnej IVa, o zawartości części spławialnych w poziomie Ap (0–25 cm) 15–17%, Et (26–45 cm) – 10–12%, oraz Bt i C (poniżej 45 cm) –

25% [Mercik i in. 1999]. W niniejszej publikacji zamieszczono wyniki z wybranych obiektów poszczególnych zmianowań, które odpowiadają trzem następującym systemom nawożenia: system nawożenia wyłącznie mineralnego (M) w zmianowaniu dowolnym bez rośliny motylkowej i bez obornika (pole A), oraz monokultura żyta (pole D) – nawożenie CaNPK i CaPK, system nawożenia wyłącznie obornikiem (Ob) monokultura żyta (pole D), nawożenie Ca + 20 t ha⁻¹ obornika (co rok), system nawożenia mineralno-organicznego (M + Ob) na polu E ze zmianowaniem pięciopolowym (ziemniaki + 30 t obornika ha⁻¹, jęczmień j., roślina motylkowa, pszenica oz., żyto) oraz w monokulturze żyta (pole D), obiekty obornik + CaNPK. W opisywanych doświadczeniach stosowane są nawozy mineralne w dawkach: 90 kg N, 26 kg P i 91 kg K ha⁻¹. Na wybranych kombinacjach wapnuje się glebę co 4 lata w ilości 1,6 t CaO ha⁻¹ (pole A i D) lub co 5 lat w ilości 2 t CaO ha⁻¹ (pole E). Azot stosuje się wiosną, w formie saletry amonowej w dawce jednorazowej przed ruszeniem wegetacji. W czasie badań obornik na polu z monokulturą żyta stosowano w r. 1998.

W każdym roku badań mierzono wielkość plonów roślin i w czasie zbioru pobierano ich próbki do analiz chemicznych. Próby glebowe zebrano w latach 1997 i 2001, a próby obornika w latach jego stosowania. W próbkach tych oznaczono zawartość N całkowitego zmodyfikowaną metodą Kjeldahla przy użyciu aparatu Vapodest firmy Gerhard.

Podstawą wyliczenia bilansu azotu w doświadczeniach polowych było: określenie dopływu azotu do gleby z nawozami mineralnymi i z obornikiem, określenie dopływu azotu do gleby z opadem atmosferycznym. W okresie badań w Stacji Klimatycznej Pola Doświadczalnego rejestrowano wielkość opadu atmosferycznego i pobierano próbki wody do analiz. Zawartość azotu w wodzie opadowej oznaczono przy użyciu przepływowego spektrofotometru Skalar San Plus, poprzez wyliczenie wielkości ogólnego pobrania azotu przez rośliny na podstawie uzyskiwanych plonów i zawartości azotu całkowitego w roślinach; wyliczenie pobrania azotu z nawozów metodą różnicową; od pobrania azotu z obiektów CaNPK; odejmowano wielkość pobrania azotu na obiektach kontrolnych – CaPK, wyliczenie zmian ilości N ogólnego w profilach glebowych (0–65 cm) metodą różnicową, uwzględniając zawartość N całkowitego w glebie do głębokości 65 cm, oznaczone w latach 1997 i 2001.

WYNIKI

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na to, że ilości azotu pobranego przez rośliny były bardzo uzależnione od systemu nawożenia roślin. Najwięcej azotu pobierały rośliny w systemie nawożenia mineralno-organicznym na polu

ze zmianowaniem pięciopolowym z rośliną motylkową i z obornikiem – E. Zgodnie z oczekiwaniem, na wszystkich polach na obiektach bez azotu (CaPK) rośliny pobierały znacznie mniej tego pierwiastka niż na obiektach nawożonych CaNPK. Przy tym na poletkach kontrolnych (CaPK) w systemie mineralno-organicznym, a w dodatku z rośliną motylkową na polu E rośliny pobierały aż 4,4 lub 5,3 razy więcej azotu niż przy nawożeniu CaPK bez obornika odpowiednio na polach D i A. W trakcie jednej pięcioletniej rotacji na obiektach CaPK rośliny niemotylkowe pobierały od 114 na polu A do 600 kg N ha⁻¹ na polu E, to jest od ok. 23 do blisko 120 kg N ha⁻¹ rocznie. Zdaniem autorów niniejszej pracy tak znaczące różnice w pobraniu azotu na obiektach CaPK badanych pól wynikały najprawdopodobniej z różnej zasobności gleb w związki N łatwo ulegające mineralizacji. Dotychczasowy stan wiedzy pozwala twierdzić, że zapotrzebowanie roślin na azot na poletkach nienawożonych tym składnikiem jest pokrywane w dużej mierze z zasobów glebowych i z opadów atmosferycznych. Körschens [1994] podaje, że rośliny nienawożone azotem, uprawiane na czarnej ziemi wytworzonej z gliny w Bad Lauchstädt, są w stanie pobierać z tych źródeł 56 kg N, na podobnej glebie w Halle 65 kg N, na glinie średniej o mniejszej zawartości próchnicy w Rothamsted – 50 kg N i tylko 21 kg N ha⁻¹ na glebie piaszczystej w Askov. W naszych badaniach rośliny pobrały rocznie 120 kg N ha⁻¹ przy nawożeniu CaPK na polu E z rośliną motylkową i obornikiem, co było porównywalne z łączną ilością azotu, jaką pobierały rośliny w ciągu jednej rotacji na polach bez obornika i bez motylkowych (A i D). Tak duże pobranie azotu przez rośliny nienawożone saletrą amonową na polu E wynikało z wcześniejszego nagromadzenia N w glebie z obornika i resztek roślin motylkowych. Znaczącą pozycję wśród źródeł azotu w glebie może stanowić również N z opadu atmosferycznego. Ilość azotu wnoszonego do gleby z opadami może sięgać nawet 50 kg N ha⁻¹ [Körschens, Müller 1995]. Wyniki naszych analiz składu chemicznego wody opadowej umożliwiły określenie wielkości przychodu azotu do gleby z opadami na poziomie blisko 18 kg N ha⁻¹ rocznie. Ilość ta była zbliżona do wartości podawanych najczęściej w naszej literaturze [Igras, Kopiński 2001; Sapek i in. 2002]. Można więc przyjąć, że ilość azotu, jaka dostawała się do gleby na obiekcie nienawożonym azotem (CaPK) na polu E z roślin motylkowych, obornika i opadów atmosferycznych, w pełni pokrywała potrzeby pokarmowe uprawianych tam roślin.

Zgodnie z oczekiwaniem rośliny uprawiane w systemie nawożenia mineralnego z azotem (CaNPK pola D i A) pobierały 3–3,5 razy więcej azotu niż przy nawożeniu CaPK. Saletra amonowa stosowana w systemie mineralno-organicznym (CaNPK na polu E) zwiększyła pobranie azotu tylko o 20% więcej niż na poletkach bez azotu (CaPK). Pobranie azotu na obiektach nawożonych CaNPK

było o 80–85% większe na polu E niż przy takim samym nawożeniu na polach A i D. Łączne nawożenie monokultury żyta (D) w systemie mineralno-organicznym (CaNPK + obornik) powodowało niewielki wzrost pobrania azotu w stosunku do systemu nawożenia mineralnego (CaNPK). Pobranie azotu przez rośliny niemotylkowe w systemie mineralno-organicznym (CaNPK + Ob na polu E) było tylko o 18,% większe niż w takim samym systemie nawożenia monokultury żyta (pole D). Różnica ta wynika najprawdopodobniej z następczego działania azotu z resztek poźniwnych roślin motylkowych. Dawka azotu na polkach nawożonych wyłącznie obornikiem (20 t ha^{-1} co rok) na polu D była o ok. 16% większa niż przy wyłącznym nawożeniu mineralnym (CaNPK), a mimo to pobranie azotu z saletry amonowej (CaNPK) było aż o 60% większe niż z obornika. Na tym polu żyto pobierało średnio o ok. 73% mniej azotu przy nawożeniu CaPK niż przy corocznym nawożeniu obornikiem (tab. 1). Potwierdza to znany z literatury pogląd, że żyto pomimo iż charakteryzuje się stosunkowo długim okresem wegetacji, bardzo słabo wykorzystuje azot z obornika [Fotyła i in. 1992; Mercik i in. 2002]. Obserwacje prowadzone na przełomie października i listopada pozwalają autorom stwierdzić, że żyto nawożone co rok obornikiem jest znacznie lepiej rozkrzewione i ciemniej wybarwione niż na polkach CaNPK. Wskazuje to na lepsze odżywienie roślin azotem w tej fazie ich wzrostu i rozwoju. Mniejsze nagromadzenie tego składnika w plonie ziarna i słomy żyta z poletek nawożonych obornikiem w porównaniu z CaNPK wskazuje na niedostateczne tempo mineralizacji nawozu naturalnego, zwłaszcza w okresie największego zapotrzebowania roślin na azot. Rozminięcie się w czasie okresów szczytowego zapotrzebowania zbóż na azot i mineralizacji obornika jest najprawdopodobniej główną przyczyną bardzo małego wykorzystania N z tego nawozu. Na obiektach corocznie nawożonych obornikiem żyto wykorzystało zaledwie 19% dawki azotu, to jest aż o 38% mniej niż z nawozów mineralnych – CaNPK.

Wyniki naszych badań wskazują na to, że przy takiej samej dawce N w saletrze amonowej rośliny uprawiane w systemie nawożenia mineralno-organicznym (pole E) wykorzystywały znacznie mniej N z nawozów mineralnych (33% pola E) niż w systemie nawożenia mineralnego (56–63% pola A i D). Potwierdza to dotychczasowy pogląd, że zastosowanie obornika zmniejsza wykorzystanie N z nawozów mineralnych [Fotyła i in. 1992; Mazur, Szukała 1992]. Jest to oczywiście spowodowane zwiększeniem zasobności gleby w przyswajalne formy azotu, uwalniane na drodze mineralizacji obornika.

Występuje duża intensywność różnych przemian, jakim ulega niepobraną przez rośliny azot, co powoduje, że może on być łatwo tracony z gleby. Bilans azotu jest rachunkiem przychodów oraz rozchodów składnika na polu i nie wy-

Tabela 1. Bilans azotu w trzech systemach nawożenia (kg N ha⁻¹) za okres 5 lat 1997–2001
 Table 1. Balance of nitrogen in three fertilization systems (kg N ha⁻¹) for 5 years 1997–2001

Elementy bilansu Balance elements	System nawożenia Fertilization system	System nawożenia Fertilization system							
		D - M		D - M + Ob		D - Ob			
		CaNPK	CaPK	CaNPK + obornik (*)	Ca + obornik	CaNPK	CaPK		
Dawki azotu Nitrogen doses	kg N ha ⁻¹	450	-	450	-	360	-	450	-
Dopływ N z atmosfery N supply from atmosphere	kg N ha ⁻¹	-	-	162	520	162	162	-	-
Dopływ N z atmosfery w opadzie depozycji wiazanie symbiotyczne fixation	kg N ha ⁻¹	89	89	89	89	89	89	89	89
Całkowity przychód azotu do gleby Total N supply into the soil	kg N ha ⁻¹	539	89	701	609	851,2	503,3	539	89
Pobranie N przez rośliny N uptake by plants	kg N ha ⁻¹	389,8	135,5	406,2	234	721,4	600,7	398,6	113,8
Przychód - pobranie supply - uptake	kg N ha ⁻¹	149,2	-46,5	294,8 (145,6)	355	129,8	-97,4	140,4	-24,8
Zawartości N całkowitego w glebie (0-65 cm)	kg N ha ⁻¹	15,9	-5,9	22,4 (7,4)	81,3	18,9	0,8	11	-3,1
Utrudnienie straty N z nawozów N losses from fertilizers	kg N ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
straty całkowite N z gleby	kg N ha ⁻¹	-180,7	52,4	-183,4 (-138,2)	-340,2	-220,4	96,6	-154,2	27,9
Bilans azotu Nitrogen balance	kg N ha ⁻¹	40,2	-134,2	44,2 (85,3)	65,4	61,2	-	34,3	-129,4
	%	24,9	-84,2	28,9	48,2	13	13	24	-41,2

(*) w nawiasach podano elementy bilansu wyliczone dla obornika stosowanego systemie mineralno-organicznym na polu D.

Systemy nawożenia: M- mineralny, w zmięszaniu dowolnym bez obornika i bez motylkowych (A) oraz w monokulturze żyta (D),

Ob - wyłączone organiczny w monokulturze żyta (D),

M-Ob - mineralno organiczny, w zmięszaniu 5-cio polowym z obornikiem i rośliną motylkową (E) oraz w monokulturze żyta (D).

Fertilization systems: M- mineral system, in the arbitrary crop rotation system without FYM and legumes (A) and in the rye monoculture (D),

Ob - only organic system, in the rye monoculture (D),

M-Ob - mineral and organic system, in the 5-crop rotation system with FYM plus legumes and in the rye monoculture (D).

jaśnia mechanizmów i kierunku strat N z gleby. Niemniej jednak wyniki obliczeń bilansu azotu mogą być wykorzystywane do oceny gospodarowania tym składnikiem w agroekosystemach i prognozowania skutków nawożenia [Sapek 1999]. W niektórych krajach UE bilanse są podstawą do naliczania opłat środowiskowych dla gospodarstw rolnych [Oenema i in. 1999]. Z naszych obliczeń wynika, że najwięcej azotu z saletry amonowej było traconego w systemie mineralno-organicznym na polu E (61%) a wyraźnie mniej przy uprawie roślin w systemie wyłącznie mineralnym (34–40% pola A i D). Jednak całkowite straty azotu z gleby uwzględniające, obornik, saletrę amonową i rośliny motylkowe, były znacznie mniejsze (13%) przy uprawie roślin w systemie mineralno-organicznym (CaNPK + obornik pole E) przy nawożeniu CaNPK + obornik w monokulturze żyta (39%) i w systemie nawożenia wyłącznie mineralnego (CaNPK – A i D, 24% i 25%). Przy organicznym systemie nawożenia monokultury żyta (pole D) w ciągu jednej pięcioletniej rotacji nagromadzone zostało w glebie aż 81 kg N ha^{-1} . Mimo to straty tego składnika z gleby były większe (48%) niż w pozostałych badanych systemach nawożenia – mineralno-organicznym (39%) i mineralnym (25%). W dotychczasowej literaturze przeważa pogląd, że azot z obornika podlega daleko większym stratom niż z nawozów mineralnych [Fotyma, Pietruch 1999; Mazur, Sądej 1999; Shepard 2001; Mercik i in. 2002a]. Wyliczenia bilansu azotu wskazują na to, że straty azotu z obornika w organicznym systemie nawożenia (Ca + obornik – pole D) wyniosły 65%, a w systemie mineralno-organicznym (CaNPK + Ob – pole D) aż 85%. Uzyskane wyniki badań pozwalają autorom na stwierdzenie, że straty azotu z gleby w wyłącznie mineralnym systemie nawożenia utrzymywały się na względnie niskim poziomie. Zmiana systemu nawożenia z mineralnego na mineralno-organiczny ograniczała straty N z gleby, ale tylko przy uprawie roślin w zmianowaniu. Natomiast w monokulturze żyta zastosowanie obornika na tle nawożenia mineralnego znacząco powiększało straty azotu z gleby. Najgorszym systemem nawożenia okazał się system wyłącznie organiczny na polu z monokulturą żyta. Świadczą o tym zarówno mniejsze niż w pozostałych systemach plony roślin, jak i największe straty azotu z gleby nawożonej obornikiem. Wskazuje to na konieczność zmniejszenia dopływu azotu do gleby z tym nawozem przy uprawie monokultury zbóż, a w przypadku gospodarstw charakteryzujących się dużą produkcją obornika – wprowadzenia różnych gatunków roślin do zmianowania.

WNIOSKI

1. Z gleby nienawożonej azotem rośliny mogą pobrać rocznie około 25 kg N ha⁻¹. Wprowadzenie do 5-letniego zmianowania rośliny motylkowej i obornika (30 t ha⁻¹) może zwiększać pobranie azotu do ok. 120 kg N ha⁻¹ rocznie.
2. W systemie nawożenia mineralnego saletra amonowa powoduje 3–3,5-krotny wzrost pobrania azotu, a w systemie mineralno-organicznym o ok. 20%.
3. Pobranie azotu przez żyto uprawiane w monokulturze w systemie nawożenia mineralnego jest o około 60% większe niż w systemie organicznym.
4. Wykorzystanie azotu z saletry amonowej jest znacznie większe w mineralnym systemie nawożenia niż w systemie organiczno-mineralnym oraz znacznie większe niż wykorzystanie azotu z obornika w systemie organicznym.
5. Straty azotu z pola w mineralnym systemie nawożenia utrzymują się na względnie niskim poziomie ok. 25%. Straty te można obniżyć poprzez uprawę roślin w zmianowaniu w systemie mineralno-organicznym.
6. Zastosowanie obornika pod zboża (monokultura żyta) zarówno w systemie mineralno-organicznym jak i organicznym, powoduje znaczne straty tego składnika z pola.

PIŚMIENNICTWO

- Fotyma E., Fotyma M., Pietrasz-Kęsik G. 1992. Wykorzystanie azotu z nawozów przez rośliny uprawy polowej. *Pam. Puł.* 101, 7–33.
- Fotyma E., Pietruch Cz. 1999. Zawartość azotu mineralnego w glebach gruntów ornych Polski po zbiorach roślin jako wskaźnik stanu środowiska. *Wyd. IUNG Puławy*, 20.
- Fotyma M., Igras J., Kopiński J., Głowacki M. 2000. Bilans azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim. *Pam. Puł.* 120, 1, 91–99.
- Igras J., Kopiński J. 2001. Regionalne zróżnicowanie bilansu składników pokarmowych w rolnictwie polskim. *Pam. Puł.* 124, 187–195.
- Körschens M., 1994: *Der Statische Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 90 Jahren*, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart–Leipzig, 179.
- Körschens M., Müller A. 1995. Yield development as well as carbon and nitrogen balances of long-term experiments in Bad Lauchstädt. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 421 b, 51–60.
- Mazur T., Szukała J. 1992. Wpływ wieloletniego nawożenia organicznego i mineralnego na plon i skład chemiczny roślin. Cz. II. Zawartość azotu, fosforu i potasu w roślinach oraz bilans tych składników. *Roczn. Gleb.* 42, 1/2 89–98.
- Mazur T., Sądej W. 1999. Wymywanie składników pokarmowych z gleby nawożonej gnojowicą trzody chlewnej, obornikiem i nawozami mineralnymi. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* 200 *Agricultura* 77, 257–262.

- Mercik S., Stępień W., Gębski M. 1999. Yields of plants and some chemical properties of soil in 75 – years field experiments in Skierniewice. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 465, 39–49.
- Mercik S., Łabętowicz J., Sosulski T., Stępień W. 2002. Losy azotu z nawozów mineralnych i obornika w doświadczeniach wieloletnich. Nawozy i Nawożenie 1, 228–237.
- Oenema O., Pietrzak S., Sapek A. 1999. Controlling nitrous oxide emission from grassland farming system Poland; preliminary results. Mat. Konf. Nitrogen cycle and balance in Polish Agriculture. Falenty, December 1–2 1998, 126–139.
- Sapek A. 1999. Nitrogen balance and cycling in Polish agriculture. Mat. Konf. Nitrogen cycle and balance in Polish agriculture. Falenty, 1–2 December 1998, 7–24.
- Sapek A., Sapek B., Pietrzak S. 2002. Obieg i bilans azotu w rolnictwie polskim. Nawozy i Nawożenie 1, 100–121.
- Shepherd M. 2001. Factors affecting nutrient losses following manure applications to land. Nawozy i Nawożenie 1, 52–62.
- Spychaj-Fabisiak E., 2001: Modelowanie procesów wymywania przyswajalnych związków azotu w zależności od właściwości gleb. ATR Bydgoszcz, Rozprawy 100.
- Thomas S.M., Clough T.J., Francis G.S., Sherlock R.R. 2001: Denitrification of leached ¹⁵N labelled nitrate in slowly draining subsoil underlying cultivated topsoil. 11th Nitrogen Workshop 9–12 September Reims France, 215–216.
- Mercik S., Mazur T., Łabętowicz J., Urbanowski S., Lenart S., Stępień W., Sądej W. 2003. Ocena trzech systemów nawożenia stosowanego w 5 wieloletnich doświadczeniach polowych na podstawie plonowania zbóż i wykorzystania składników pokarmowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 494, 295–303.

