

Tamara Jadczyszyn¹, Wojciech Lipiński²

¹ *Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

² *Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza w Warszawie*

OPTIMALIZACJA NAWOŻENIA AZOTEM PRZY POMOCY TESTU $N_{\min}$ *

Słowa kluczowe: nawożenie azotem, test glebowy, azot mineralny, zasobność gleby

Wprowadzenie

Azot jest składnikiem pokarmowym o najsilniejszym działaniu plonotwórczym (1, 12). W produkcji roślinnej jego głównym źródłem są obecnie nawozy mineralne. Nawożenie jest istotnym składnikiem kosztów, dlatego z punktu widzenia opłacalności produkcji duże znaczenie ma efektywne wykorzystanie składników nawozowych przez rośliny. Wysoka efektywność nawożenia azotem jest także bardzo ważna ze względów środowiskowych, bowiem niewykorzystany przez rośliny azot przyczynia się do eutrofizacji środowiska wodnego i jest źródłem emisji gazów do atmosfery (7). Podstawowym warunkiem dobrego wykorzystania składników pokarmowych przez rośliny jest prawidłowe dawkowanie nawozów (2). Powinny być one stosowane w takiej ilości, aby wraz z pulą składnika dostępnego w glebie pokryły potrzeby pokarmowe roślin. Formami azotu przyswajalnymi przez rośliny wyższe są jego związki mineralne, tj. azotany (NO_3^-) i jony amonowe (NH_4^+) (4). Stanowią one niewielki udział w ogólnej ilości azotu w glebie, bowiem dominują w niej związki organiczne (80-90%) oraz azot związany w biomasie mikroorganizmów glebowych (10-15%) (3, 6). Azot w glebie ulega ciągłym przemianom, w wyniku których związki organiczne ulegają mineralizacji, a związki mineralne są asymilowane przez mikroflorę glebową i rośliny wyższe.

Do oceny aktualnej zawartości azotu mineralnego w glebie stosuje się test $N_{\min}$ (5).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.6 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Ocena zasobności gleby w azot mineralny

Azotany jako związki dobrze rozpuszczalne w wodzie łatwo przemieszczają się w glebie w kierunku pionowym, dlatego ważne jest określenie ich zawartości nie tylko w warstwie ornej, ale także w głębszych warstwach profilu glebowego. Dla potrzeb doradztwa nawozowego najbardziej istotna jest ocena zawartości składnika w strefie zasięgu systemu korzeniowego roślin uprawnych, tj. do głębokości 60 cm. W celu oszacowania potencjalnego ryzyka dla wód, wynikającego z nadmiaru azotu w glebie, konieczna jest analiza profilu glebowego do głębokości 90 cm. W obu przypadkach istotne znaczenie ma sposób rozmieszczenia związków azotu, dlatego analizy wykonywane są w próbkach pobranych z poszczególnych warstw gleby: 0-30, 30-60 i 60-90 cm, ręcznie, przy pomocy lasek o różnej średnicy i długości (fot. 1) lub w sposób zautomatyzowany – przy pomocy próbników pneumatycznych, najczęściej pozycjonowanych przy pomocy GPS (fot. 2).



Fot. 1. Przykładowe laski glebowe do pobierania próbek do głębokości 90 cm

Źródło: Jadczyszyn T.

Analizy wykonywane są w świeżych próbkach. Do momentu rozpoczęcia analiz glebę przechowuje się w pojemnikach lub woreczkach zabezpieczających przed wysychaniem, w temp. 2-5°C (nie dłużej niż przez trzy dni).



Fot. 2. Pobieranie próbek glebowych przy pomocy próbnika pneumatycznego

Źródło: Ochal P.

Do celów doradztwa nawozowego próbki pobiera się wczesną wiosną, przed zastosowaniem nawozów. Zawartość jonów amonowych i azotanowych oznacza się po ich ekstrakcji 1% roztworem siarczanu potasu. Wyniki oznaczeń wyrażone w mg $N-NO_3$ i $N-NH_4$ na 1 kg suchej masy gleby, na potrzeby planowania nawożenia, przelicza się na $kg \cdot ha^{-1}$. W tym celu wynik z laboratorium (sumę $N-NO_3$ i $N-NH_4$) mnoży się przez współczynnik przeliczeniowy z tabeli 1, odpowiedni dla kategorii agronomicznej badanej gleby. Ze względów praktycznych zakłada się, że w całym profilu właściwości gleby odpowiadają właściwościom warstwy 0-30 cm i dlatego dla wszystkich warstw przyjmowany jest taki współczynnik przeliczeniowy, jaki odpowiada kategorii agronomicznej warstwy ornej gleby.

Tabela 1

Współczynniki do przeliczania zawartości N_{min} z $mg \cdot kg^{-1}$ gleby na $kg \cdot ha^{-1}$

Kategoria agronomiczna gleby	Współczynnik dla warstwy 0-30 cm warstwy gleby
Bardzo lekka	4,6
Lekka	4,5
Średnia	4,3
Ciężka	3,9

Źródło: Fotyma i in., 1998 (9)

Po zsumowaniu ilości azotu mineralnego w warstwach 0-60 lub 0-90 cm uzyskuje się ilość składnika dostępnego dla roślin w glebie na początku okresu wegetacji. Zestawienie uzyskanych wyników z wartościami z tabel 2 lub 3 (zależnie od tego do jakiej głębokości pobrano próbki glebowe) umożliwia ocenę aktualnych zasobów azotu w badanej glebie w okresie wiosennym.

Tabela 2

Ocena zasobności gleby w azot mineralny ($\text{N-NO}_3 + \text{N-NH}_4$) w warstwie 0-60 cm

Kategoria agronomiczna gleby	Zawartość $\text{N}_{\min}$ w warstwie 0-60 cm w kg/ha				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Bardzo lekka	do 30	31-50	51-70	71-90	od 90
Lekka	do 40	41-60	61-80	81-100	od 100
Średnia, ciężka	do 50	51-70	71-90	91-100	od 100

Źródło: Fotyma i in., 1998 (9)

Tabela 3

Ocena zasobności gleby w azot mineralny ($\text{N-NO}_3 + \text{NH}_4$) w warstwie 0-90 cm

Kategoria agronomiczna gleby	Zawartość $\text{N}_{\min}$ w warstwie 0-90 cm w kg/ha				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Bardzo lekka	<40	41-65	66-85	86-120	>120
Lekka	<50	51-80	81-105	106-130	>130
Średnia, ciężka	<60	61-70	91-115	116-140	>140

Źródło: Fotyma i in., 1998 (8)

Korekta nawożenia azotem w oparciu o test $\text{N}_{\min}$

Jeśli zasoby azotu w analizowanej glebie należą do przedziału zawartości średniej, to zaleca się przeciętne dla danego siedliska dawki nawozów azotowych, np. określone w oparciu o program doradztwa nawozowego lub tabelaryczne zalecenia nawozowe. W przypadku stwierdzenia niskiej lub bardzo niskiej zawartości składnika, w celu uzyskania zakładanych plonów roślin zaleca się bardziej intensywne nawożenie azotem. Wysoka lub bardzo wysoka zawartość $\text{N}_{\min}$ w glebie wskazuje, że dawki nawozów można zmniejszyć bez szkody dla plonowania roślin, a z korzyścią dla efektów ekonomicznych i środowiskowych.

Z powodu dużej dynamiki zmian różnych form azotu (organiczny ↔ mineralny) oraz zachodzących w okresie wegetacji zjawisk wymywania, przemieszczania czy

ulatniania, w stosunkowo krótkim czasie zasoby składnika w glebie mogą ulegać istotnym zmianom. Dlatego w polskim doradztwie nawozowym test N_{min} wykorzystuje się jako podstawę korekty dawki azotu określonej (*ex-ante*) za pomocą komputerowego systemu doradztwa nawozowego lub tabelarycznych zaleceń nawozowych (8).

Wynikającą z zaleceń dawkę azotu należy zmniejszyć lub zwiększyć, jeśli zasoby azotu mineralnego w glebie odbiegają od zawartości średniej. Wielkość korekty wyznacza się jako różnicę pomiędzy granicą przedziału zawartości średniej z tabeli 2 lub 3 i stwierdzoną w glebie zawartością N_{min} . Ujemna wartość różnicy wskazuje na możliwość zmniejszenia dawki N, a wartość dodatnia – na potrzebę jej zwiększenia.

Na przykład, jeśli test N_{min} wskazuje na obecność $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w warstwie 0-60 cm gleby lekkiej, to zgodnie z tabelą 2, jest to o $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ powyżej przedziału zawartości średniej. Oznacza to, że zaplanowaną dawkę azotu należy zmniejszyć o $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Korekta dotyczy na ogół pierwszej dawki azotu. Jeśli jednak wielkość dawki po korekcie jest zbyt mała do rozsiewu, można z niej zrezygnować lub dokonać odpowiedniego zwiększenia drugiej planowanej dawki nawozów. Decydują o tym względy techniczne, dotyczące możliwości wysiewu małych ilości nawozu, równomierności zastosowania lub nieskuteczności jego mieszania z innym nawozem.

W sytuacji gdy ilość N_{min} w glebie jest na tyle duża, że po uwzględnieniu korekty pierwszej dawki azotu uzyskuje się wartość ujemną, należy pominąć jej stosowanie. Skorygowaną całkowitą dawkę azotu należy zastosować w drugim zalecanym terminie.

Wykorzystanie jesiennego pomiaru N_{min} w doradztwie nawozowym

Ocena zawartości azotu mineralnego w glebie jesienią, po zbiorach roślin, jest wskaźnikiem potencjalnego zagrożenia wymywaniem składnika z profilu glebowego do wód gruntowych (10, 12). Azot pozostający w glebie, szczególnie w dolnych warstwach profilu (60-90 cm), jest narażony na wymywanie przez wody drenujące wertykalnie w okresie od jesieni do wczesnej wiosny. Na skutek wymywania pewnej ilości azotu, a także zachodzących procesów jego przemian, zawartość mineralnych form składnika w glebie jesienią jest zwykle większa niż wiosną. Straty w okresie jesienno-zimowym są zróżnicowane i zależą od wielu czynników, a głównie od: składu granulometrycznego gleby, jej pojemności wodnej, sumy opadów atmosferycznych. Próby dynamicznego modelowania procesów, z uwzględnieniem wszystkich wymienionych czynników, dotychczas nie przynoszą rozwiązań, które znalazłyby zastosowanie w praktyce rolniczej.

Analiza wyników kilkuletnich badań monitoringowych pozwoliła na ustalenie matematycznej zależności pomiędzy wynikami pomiaru N_{min} w glebie jesienią i wiosną. Dzięki temu wyznaczono współczynniki przeliczeniowe umożliwiające oszacowanie zawartości N_{min} w glebie wiosną na podstawie wyniku pomiaru jesiennego (tab. 4).

Tabela 4

Współczynniki do szacowania ilości azotu mineralnego w glebie wiosną

Kategoria agronomiczna gleby	Wartość współczynnika
Bardzo lekkie	0,6
Lekkie	0,7
Średnie i ciężkie	0,8

Źródło: opracowanie własne

Aby oszacować zawartość azotu mineralnego wiosną, należy wynik pomiaru jesiennego pomnożyć przez odpowiedni współczynnik z tabeli 4. Dalsze postępowanie w kierunku uściślenia dawki azotu jest takie samo jak opisano powyżej.

Szacowanie zasobów azotu wiosną, na podstawie wyników pomiarów wykonanych jesienią jest z pewnością obarczone pewnym błędem, ale stanowi rozwiązanie w sytuacjach, kiedy wykonanie analiz w okresie wiosny nie jest możliwe ze względów organizacyjnych. W uprawach ozimin pierwszą dawkę azotu stosuje się na początku ruszenia wegetacji roślin, gdy tylko możliwy jest wjazd maszynami rolniczymi na pole. W praktyce rolnicy starają się rozsiewać nawozy w momencie, gdy po nocnych przymrozkach gleba bywa jeszcze powierzchniowo zamarznięta i rozmarza w ciągu dnia. Głębsze warstwy gleby mogą być jeszcze wówczas zamarznięte, co uniemożliwia pobranie próbek w celu oznaczenia zawartości azotu mineralnego. Od momentu pobrania próbki do uzyskania wyników analiz z laboratorium mija na ogół kilka dni. Oczekiwanie na wynik testu mogłoby opóźniać wysiew nawozów, dlatego rolnicy często rezygnują z jego wykorzystania.

Korekta nawożenia na podstawie pomiaru zawartości azotu azotanowego w glebie

Rozwiązaniem logistycznych problemów utrudniających szersze stosowanie testu $N_{\min}$ w rolnictwie może być wykorzystanie komercyjnego zestawu do pomiaru stężenia jonów z zastosowaniem elektrod jonoselektywnych. Zestaw zawiera wszystkie materiały i odczynniki niezbędne do wykonania analizy oraz elektrodę jonoselektywną, umożliwiającą pomiar aktywności jonów azotanowych (fot. 3). Uzyskaną wartość przelicza się na stężenie azotanów w roztworze ekstrakcyjnym wg formuły podanej przez producenta w instrukcji wykonania analizy.

Dodatkowym sprzętem potrzebnym do pracy jest waga oraz wytrząsarka (próbka gleby z roztworem ekstrakcyjnym musi być wytrząsana przez ok. 30 min.).

W IUNG-PIB przeprowadzono prace porównawcze polegające na analizie próbek gleby metodą laboratoryjną i z wykorzystaniem zestawu Nitrat 2000.



Fot. 3. Zestaw do pomiaru aktywności jonów azotanowych w glebie

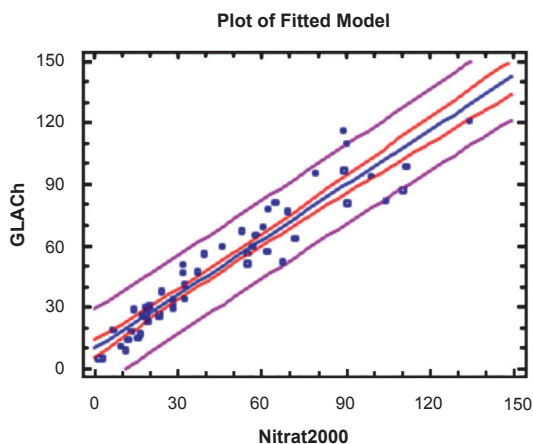
Źródło: Jadczyśzyn T.

Wyniki oznaczeń wykonanych obiema metodami były dobrze skorelowane (rys. 1). Współczynnik korelacji obu metod wynosił 0.953, a współczynnik determinacji 90.8%. Zależność opisano równaniem:

$$GLCh = 9.584 + 0.888 * \text{Nitrat 2000}$$

Pozwala to wnioskować, że ta „szybka” metoda oznaczania zawartości składnika może być wykorzystywana dla potrzeb doradztwa nawozowego. Podstawiając do powyższego równania wynik pomiaru uzyskany przy pomocy elektrody jonoselektywnej (Nitrat 2000), uzyskujemy wartość, jakiej należałoby oczekiwać, gdyby analiza wykonana została w laboratorium zgodnie z Polską Normą: PN-R-04028:1997 (11).

Wykorzystanie tak oszacowanej zawartości azotu azotanowego w glebie, dla potrzeb optymalizacji nawożenia azotem, jest możliwe, dzięki ocenie zasobów azotu azotanowego z wykorzystaniem przedziałów zawartości $N-NO_3$ w glebach z tabel 5 lub 6 (zależnie od głębokości poboru próbek).



Rys. 1. Zależność pomiędzy zawartością $N-NO_3$ oznaczoną „szybką” metodą (Nitrat 2000) i metodą laboratoryjną wg Polskiej Normy 04028:1997 (GLACh)

Źródło: Ochal P. (materiały niepublikowane)

Tabela 5

Ocena zasobności gleby w azot azotanowy ($N-NO_3$) w warstwie 0-60 cm

Kategoria agronomiczna gleby	Zawartość $N-NO_3$ w warstwie 0-60 cm w kg/ha				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Bardzo lekka	do 12	13-20	21-31	32-49	od 50
Lekka	do 19	20-30	31-44	45-68	od 69
Średnia, ciężka	do 25	26-40	41-56	56-80	od 81

Źródło: opracowanie własne na podstawie Fotyma i in., 2010 (9)

Tabela 6

Ocena zasobności gleby w azot azotanowy ($N-NO_3$) w warstwie 0-90 cm

Kategoria agronomiczna gleby	Zawartość $N-NO_3$ w warstwie 0-60 cm w kg/ha				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Bardzo lekka	do 17	18-28	29-44	45-69	od 70
Lekka	do 26	27-43	44-63	64-96	od 97
Średnia, ciężka	do 35	36-55	56-78	79-114	od 115

Źródło: opracowanie własne na podstawie Fotyma i in., 2010 (9)

Pełna ocena zasobów azotu mineralnego jest możliwa w przypadku zastosowania dodatkowej elektrody selektywnej w stosunku do jonów amonowych.

Wyposażenie doradców w tego rodzaju sprzęt umożliwia bardziej racjonalne gospodarowanie azotem. Jest to szczególnie ważne na obszarach zwiększonego ryzyka emisji azotu z rolnictwa do wód.

Literatura

1. Czarnocki Sz., Garwacka A., Starczewski J.: Architektura łanu i plonowanie wybranych odmian pszenicy jarej w zależności od zastosowanych technologii uprawy. *Fragm. Agron.*, 2009, **26(3)**: 34-41.
2. Czyżyk F.: Ocena zużycia nawozów mineralnych w gospodarstwach rolnych w aspekcie ochrony środowiska. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2011, **19(3)**: 69-76.
3. Essington M. E.: Soil and water chemistry. An integrative approach. CRC Press LLC, USA, Boca Raton, 2004, ss. 534.
4. Fageria N. K.: The use of nutrients in crop plants. CRC Press Taylor & Francis Group, USA, Boca Raton, 2009, ss. 430.
5. Fotyma E.: Zasady nawożenia azotem z wykorzystaniem testów glebowych i roślinnych. *Nawozy i Nawożenie*, 2000, **3a**: 17-37
6. Handbook of soil sciences. Resource management and environmental impacts. Second edition. Red. Pan Ming Huang, Yuncong Li, Malcolm E Sumner. CRC Press Taylor & Francis Group, USA, Boca Raton, 2012, ss. 80.
7. Jadczyzyn T., Kopiński J.: Produkcyjne i środowiskowe aspekty nawożenia azotem. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **34(8)**: 27-45.
8. Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Zalecenia nawozowe. Nawożenie mineralne na gruntach ornych i trwałych użytkach zielonych. Instrukcja upowszechnieniowa, nr 207, Puławy, 2015, ss. 24.
9. Fotyma E., Wilkos G., Pietruch Cz.: Test glebowy azotu mineralnego. Materiały szkoleniowe, IUNG, Puławy, 1998, **69/98**, ss. 48.
10. Fotyma M., Kęsik K., Pietruch Cz.: Azot mineralny w glebach jako wskaźnik potrzeb nawozowych roślin i stanu czystości wód glebowo-gruntowych. *Nawozy i Nawożenie*, 2010, **38**: 5-83.
11. PKN: PN-R-04028:1997. Analiza chemiczno-rolnicza gleby, pobieranie próbek i oznaczanie zawartości jonów azotowych i amonowych w glebach mineralnych.
12. Trawczyński C.: Ocena zawartości azotu mineralnego w glebie po zbiorze bulw ziemniaka. *Biul. IHAR*, 2013, **267**: 87-96.

Adres do korespondencji:

dr Tamara Jadczyzyn
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: 81 47 86 832
e-mail: tj@iung.pulawy.pl

