

IMPACT OF LONG-TERM PLANT CULTIVATION WITHOUT PARTICIPATION OF CEREALS ON CONCENTRATIONS OF NITROGEN FORMS IN SOIL HUMUS HORIZONS

Summary

The distribution of nitrogen in the soil in different chemical associations is a resultant of action of many factors of which three deserve mention: plants, nitrogen fertilization and sprinkling. The main objective of this research project was to analyze the impact of these factors, acting separately as well as jointly, in conditions of long-term plant cultivation without cereals, on the content of individual soil nitrogen forms. Sequential nitrogen determination of soil nitrogen forms was applied in the experiments which allowed identification of mineral nitrogen as well as its easily-, poorly-hydrolyzed and non hydrolyzable forms. It was found that sprinkling exerted the strongest, significant influence on the concentration of all examined nitrogen forms with the exception of the easily hydrolyzable nitrogen fraction. This impact was also noticeable in the interaction with nitrogen doses, primarily in the content of mineral nitrogen forms and easily hydrolyzable nitrogen. Irrespective of the experimental treatment, no significant effect of nitrogen applied in different doses on the examined forms of the component was recorded. On the other hand, the percentage proportion of nitrogen forms in total nitrogen depended significantly, primarily, on sprinkling irrigation and only in relation to mineral nitrogen forms.

WPLYW WIELOLETNIEJ UPRAWY ROŚLIN BEZ UDZIAŁU ZBÓŻ NA ZAWARTOŚĆ FORM AZOTU W POZIOMIE PRÓCHNICZNYM GLEBY

Streszczenie

Rozmieszczenie azotu w różnych połączeniach chemicznych w glebie, jest wypadkową działania wielu czynników. Spośród nich wymienić należy rośliny, nawożenie azotem i deszczowanie. Działanie tych czynników niezależnie od siebie, jaki i we współdziałaniu w warunkach wieloletniej uprawy roślin bez udziału zbóż na zawartość poszczególnych form azotu glebowego stanowiło główny cel badań. W badaniach zastosowano sekwencyjne oznaczanie form azotu gleby, wyodrębniając azot mineralny, łatwo- i trudno hydrolizujący oraz niehydrolizujący. Stwierdzono, że najsilniej, istotnie działającym czynnikiem było deszczowanie, którego wpływ ujawnił się w kształtowaniu zawartości wszystkich badanych form azotu, z wyjątkiem frakcji azotu łatwo hydrolizującego. Wpływ ten miał miejsce również we współdziałaniu z dawkami azotu, głównie w zawartości mineralnych form azotu i azotu łatwo hydrolizującego. Niezależnie od obiektu doświadczenia nie stwierdzono istotnego działania azotu stosowanego w zróżnicowanych dawkach na badane formy składnika. Z kolei udział procentowy form azotu w azocie ogólnym zależał istotnie głównie od deszczowania i to tylko w odniesieniu do mineralnych połączeń azotu.

1. Wstęp

Węgiel organiczny i azot ogólny są często wskaźnikami żywności gleby. Dlatego tak ważne są zabiegi uprawowe, które, jeżeli nie sprzyjają zwiększaniu zawartości obu składników, to przynajmniej stabilizują ich zawartość. Ponieważ między węglem i azotem występuje na ogół dodatnia współzależność korelacyjna, dlatego pierwiastki te kształtują także ilość próchnicy glebowej. Ma to z kolei znaczenie w akumulacji azotu w glebie, który w wyniku procesów mineralizacji materii organicznej staje się istotnym źródłem dla roślin. Współzależność tę podkreśla się we wszystkich modelach cyklu azotu w przyrodzie [8, 11, 16].

Azot w glebach występuje w około 90% w połączeniach z materią organiczną, a pozostałe 10% przypada między innymi na masę mikrobiologiczną, korzenie roślin czy formy mineralne [16]. Przeważający udział azotu organicznego w glebach wskazuje na występowanie pierwiastka w różnych formach połączeń, spośród których wymienia się aminokwasy (do 60%), aminocukry (5-15%), azot amidowy (do 15%) oraz azot niehydrolizujący (do 30%) [3]. W związku z tym od wielu lat prowadzone są badania nad poznaniem czynników wpływających na zmiany form połączeń chemicznych azotu w glebach. Podkreśla się szczególną

rolę obornika [5, 10], roślin [12] oraz nawozów mineralnych [15] w gromadzeniu azotu ogólnego w glebie.

Mając na uwadze, że w badaniach na ogół uwzględnia się wpływ jednego czynnika podjęto prace, których celem było wyjaśnienie współdziałania deszczowania z azotem mineralnym stosowanym w zróżnicowanych dawkach na zawartość frakcji azotu w glebie w warunkach uprawy roślin w płodozmianie bez udziału zbóż.

2. Materiał i metody badań

Materiał badawczy pochodził z wieloletniego doświadczenia polowego zlokalizowanego w Złotniakach k/Poznań (52°29' szer. geogr. i 16°50' dł. geogr.) należącego do Katedry Agronomii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Założone ono zostało metodą bloków losowanych w 4 powtórzeniach na glebie płowej (klasyfikacja FAO - Albic Luvisols) wytworzonej z piasków gliniastych, zalegających płytko lub średnio głęboko na glinie lekkiej. Gleba w poziomie próchnicznym zawierała 13-14% części spławianych, w tym od 3 do 4% iłu. Wartość pH gleby (1 mol KCl·dm³) z poszczególnych poletek wynosiła od 5,7 do 6,5. Tak duża rozbieżność wartości pH wynikała z naturalnej zmienności gleb, na terenie których zlokalizowane

jest doświadczenie. Próbki glebowe pobrano z poziomu próchnicznego (20 cm) po 26 latach doświadczenia płodozmianowego bez udziału zbóż, w zmianowaniu: ziemniak, burak cukrowy (nasienny), dynia oraz marchew pastewna.

Czynnikiem pierwszego rzędu było deszczowanie (warianty: nie deszczowane (ND) i deszczowane (D), drugiego rzędu – azot stosowany w zróżnicowanych dawkach. Wynosiły one średnio w roku za okres badań ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$): $N_0 - 0,0$; $N_1 - 50,0$; $N_2 - 100,0$; $N_3 - 150,0$. Średnie dawki fosforu (P_2O_5) kształtowały się na poziomie $80,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a potasu (K_2O) – $100,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Doświadczenie przeprowadzono w czterech powtórzeniach. Po wysuszeniu i roztrączeniu, materiał glebowy przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm i poddano analizie sekwencyjnej wydzielając następujące frakcje azotu:

- wodnorozpuszczalny i wymienny - glebę wytrząsano roztworem 1 M NaCl przez 2 h, przy stosunku gleba: roztwór 1:5. Całość odwirowano i przesączono do kolbek miarowych na 100 cm^3 . Azot mineralny oznaczono metodą Bremnera [2]: azot amonowy z MgO, azot azotanowy ze stopem Devardy,
- łatwo hydrolizujący (N-ŁH) - pozostałość gleby po odwirowaniu hydrolizowano roztworem 0,25 M H_2SO_4 przez 3 h na łaźni wodnej w temperaturze 60°C , odwirowano i roztwór przesączono do kolbek miarowych o objętości 250 cm^3 . Pozostałość przemyto dwukrotnie gorącą wodą destylowaną, a przesącz po odwirowaniu przeniesiono do kolbek miarowych z wyciągiem kwaśnym,
- trudno hydrolizujący (N-TH) - pozostałość gleby po odwirowaniu frakcji N-ŁH hydrolizowano roztworem 2,50 M H_2SO_4 przez 3 h na łaźni wodnej w temperaturze 60°C , odwirowano, a roztwór przesączono do kolbek miarowych na 250 cm^3 . Pozostałość przemyto dwukrotnie gorącą wodą destylowaną, a przesącz po odwirowaniu przeniesiono do kolbek miarowych z wyciągiem kwaśnym,
- niehydrolizujący (N-NH) – wyliczono z różnicy między zawartością azotu ogólnego (N_{og}) a sumą wydzielonych trzech frakcji.

Azot ogólny gleby (N_{og}) oraz azot ogólny frakcji ($N_{og}F$) oznaczono metodą Kjeldahla na aparacie typu 2300 Kjeltac Analyzer Unit.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji, stosując do określenia istotności różnic test Duncana, przy poziomie istotności $p \leq 0,05$ z wykorzystaniem programu STAT.

3. Wyniki i dyskusja

Działanie obu czynników doświadczenia niezależnie od siebie na zawartość form azotu w glebie było zróżnicowane. W warunkach deszczowania nastąpiło istotne zmniejszenie zawartości azotu mineralnego na poziomie próchnicznym gleby w porównaniu z obiektami nie deszczowanymi (tab. 1). Średnio dla doświadczenia spadek ten wyniósł 25,9% w stosunku do zawartości azotu w glebie wariantu bez deszczowania ($33,03 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). W przypadku pozostałych form azotu, z wyjątkiem łatwo hydrolizującego, deszczowanie przyczyniło się do istotnego wzrostu ich zawartości, średnio w granicach od 11,5% dla N-TH do 38,0% dla N-NH. Na tle powyższych tendencji trzeba uwzględnić również istotny wzrost zawartości azotu ogólnego w glebie na obiektach deszczowanych, średnio o $63,33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, czyli o blisko 12% w porównaniu z zawartością na obiektach bez deszczowania.

Dane te świadczą o korzystnym działaniu wody w okresie wielolecia na gromadzenie zapasowych połączeń azotu. Tym bardziej, że miało to miejsce w warunkach wymagających intensywnej uprawy gleby ze względu na uprawiane rośliny (ziemniak, burak cukrowy (nasienny), dynia oraz marchew pastewna).

Zdecydowanie mniejszy wpływ na badane formy azotu miał azot, rozpatrywany niezależnie od deszczowania (tab. 1). Mimo, że tylko w przypadku niehydrolizujących form azotu średnie zawartości wyodrębniły się w trzech grupach jednorodnych, to jednak różnice te były na granicy istotności. Oznacza to, że spośród czynników doświadczenia istotne działanie ($p < 0,05$), jak wspomniano wcześniej, miało deszczowanie ($F = 7,41^*$).

Z kolei istotne współdziałanie obu czynników stwierdzono tylko dla form mineralnych azotu ($F = 10,86^{**}$, $p < 0,05$), i we frakcji N łatwo hydrolizującego ($F = 3,69^*$, $p < 0,05$).

W przypadku mineralnych połączeń N ujawniła się wyraźna tendencja zmniejszania się zawartości tych form w warunkach braku deszczowania wraz ze zwiększonymi dawkami azotu. Przy braku nawożenia azotem i deszczowania średnia zawartość N_{min} wynosiła $42,60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, obniżając się przy dawce N_3 do $28,40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Oznacza to spadek o 33,3%. Z kolei deszczowanie gleby zmniejszyło w największym stopniu zawartość omawianych form azotu, przy braku nawożenia N – średnio o 62% w porównaniu z obiektem nie deszczowanym (tab. 2).

Tab. 1. Zawartość form azotu w glebie niezależnie od deszczowania i nawożenia azotem ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 1. Content of nitrogen forms in soil ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) independently of sprinkling irrigation and nitrogen fertilization

Wariant wodny <i>Watering variant</i>	Formy azotu; <i>Nitrogen of forms</i>				
	N_{min}^1	ŁH-NEH ²	TH-NDH ³	NH-NNH ⁴	Ogólna; <i>Total</i>
ND; NS ⁵	33,03b*	169,80a	211,44a	112,53a	526,67a
D; S ⁶	24,48a	174,38a	235,77b	155,37b	590,00b
Dawki azotu; <i>Nitrogen doses</i>					
N_0	29,38a	170,71a	215,46a	156,40b	571,67a
N_1	25,45a	179,88a	217,58a	137,08ab	560,00a
N_2	29,17a	156,02a	225,61a	137,53ab	548,33a
N_3	31,03a	181,77a	235,75a	104,78a	553,33a

* literami oznaczono grupy jednorodne wg testu Duncana; *homogenous groups by Duncan test marked with letters*

Formy azotu: N_{min} -N nieorganiczny; ŁH-łatwo hydrolizujący; TH- trudno hydrolizujący; NH- nie hydrolizujący

¹- N_{min} (Inorganic) N; ²- Easily hydrolysable N; ³- Hard hydrolysable N; ⁴ Non-hydrolysable N

⁵ D- Deszczowany; S- Sprinkled; ⁶ND- Nie deszczowany; NS-Non sprinkled

Tab. 2. Wpływ deszczowania i nawożenia azotem mineralnym na zawartość form azotu w glebie ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
 Table 2. Influence of sprinkling irrigation and mineral nitrogen fertilization on the content of nitrogen forms in soil ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Wariant wodny <i>Watering variant</i>	Nawożenie azotowe; <i>Nitrogen fertilization</i>			
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃
N mineralny; <i>Inorganic N</i>				
Nie deszczowany; <i>Non-sprinkled</i>	42,60d	28,70bc	32,43c	28,40bc
Deszczowany; <i>Sprinkled</i>	16,17a	22,20ab	25,90bc	33,67c
łatwo hydrolizujący; <i>Easily hydrolysable N</i>				
Nie deszczowany; <i>Non-sprinkled</i>	184,93ab	157,97ab	134,77a	201,60b
Deszczowany; <i>Sprinkled N</i>	156,50ab	201,83b	177,27ab	161,93ab
trudno hydrolizujący; <i>Hard hydrolysable N</i>				
Nie deszczowany; <i>Non-sprinkled</i>	214,67abc	191,97a	195,53ab	239,60bc
Deszczowany; <i>Sprinkled N</i>	214,27abc	243,20bc	251,70c	231,90abc
niehydrolizujący; <i>Non-hydrolysable N</i>				
Nie deszczowany; <i>Non-sprinkled</i>	118,40ab	121,40abc	143,27bc	67,07a
Deszczowany; <i>Sprinkled N</i>	194,40c	152,77bc	131,80abc	142,50bc
N ogólny; <i>Total N</i>				
Nie deszczowany; <i>Non-sprinkled</i>	560,00ab	500,00a	510,00a	536,67ab
Deszczowany; <i>Sprinkled</i>	583,33ab	620,00b	586,67ab	570,00ab

Tab. 3. Udział form azotu w azocie ogólnym gleb niezależnie od deszczowania i nawożenia azotem (%)
 Table 3. Share of nitrogen forms in soil total nitrogen irrespective of sprinkling and nitrogen fertilization (%)

Wariant wodny <i>Watering variant</i>	Formy azotu; <i>Nitrogen of forms</i>			
	N _{min} ¹	LH-NEH ²	TH-NDH ³	NH-NNH ⁴
ND; NS ⁵	6,2b	32,2a	40,1a	21,4a
D; S ⁶	4,1a	29,5a	40,1a	26,3a
Dawki azotu; <i>Nitrogen doses</i>				
N ₀	5,1a	29,9a	37,7a	29,3a
N ₁	4,5a	32,1a	38,8a	24,6ab
N ₂	5,3a	28,4a	41,2ab	25,1ab
N ₃	5,6a	32,9a	42,6b	18,9a

* literami oznaczono grupy jednorodne wg testu Duncana; *homogenous groups by Duncan test marked with letters*

Formy azotu: N_{min}-N nieorganiczny; LH-łatwo hydrolizujący; TH- trudno hydrolizujący; NH- nie hydrolizujący

¹- N_{min} (*Inorganic N*); ²- *Easily hydrolysable N*; ³- *Hard hydrolysable N*; ⁴ *Non-hydrolysable N*

⁵ D- Deszczowany; S- *Sprinkled*; ⁶ND- Nie deszczowany; NS-*Non sprinkled*

Tab. 4. Współdziałanie deszczowania i nawożenia azotem na udział mineralnych form N w azocie ogólnym (%)
 Table 4. Interaction of sprinkling irrigation and nitrogen fertilization on proportions of mineral N forms in total nitrogen (%)

Wariant wodny <i>Watering variant</i>	Nawożenie azotowe; <i>Nitrogen fertilization</i>			
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃
Nie deszczowany; <i>Non-sprinkled</i>	7,6e	5,7cd	6,4de	5,3cd
Deszczowany; <i>Sprinkled</i>	2,8a	3,6ab	4,4bc	5,9d

Jednak ze zwiększonymi dawkami składnika różnice te zmniejszały się na tyle istotnie, żeby przy dawce najwyższej N osiągnąć poziom wyższy w porównaniu z obiektem nie deszczowanym, średnio o 18% (odpowiednio 28,40 i 33,67 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Taki układ przemian azotu mineralnych form azotu wynikał z faktu, że w warunkach deszczowania ze zwiększaniem dawek azotu istotnie wzrastała zawartość N_{min} w glebie. Wzrost ten wynosił średnio dla dawek: N₁ 37,3%; N₂ 60,0% i N₃ 211,8% w stosunku do zawartości w obiekcie kontrolnym (N₀).

W przypadku form azotu łatwo hydrolizującego różnice między średnimi były istotne, ale nie wykazały zdecydowanie jednoznacznego kierunku zmian. Przykładowo na obiektach bez nawożenia N deszczowanie obniżyło ilość tych form azotu średnio o 25,4%, przy N₁ i N₂ zwiększyło odpowiednio o 27,8 i 31,55%, ale przy najwyższym poziomie nawożenia azotem zanotowano ponowny spadek za-

wartości rzędu 19,7%. Na obiektach niedeszczowanych następował spadek zawartości N tej frakcji do dawki 100,0 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, ale przy dawce 150,0 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ nastąpił wzrost ilościowy rzędu 49,5% w porównaniu do dawki poprzedniej.

Z kolei na obiektach deszczowanych omawiane tendencje były jeszcze bardziej niejednoznaczne. Zmiany ilościowe poszczególnych form azotu w glebie nie zawsze odzwierciedlały rzeczywisty trend, ponieważ nie odnoszą się do zmian zawartości ogólnych pierwiastka, które również podlegały zmianom ilościowym, głównie pod wpływem czynnika wodnego ($F = 11,88^{**}$, $p < 0,05$).

Wykazano, że spośród czynników doświadczenia deszczowanie najsilniej i istotnie różnicowało udział N_{min} w azocie ogólnym gleby ($p < 0,05$; $F = 40,91^{**}$). Średni udział tej formy N w glebach nie deszczowanych wynosił 6,2%, a na deszczowanych 4,1% (tab. 3). Dla pozostałych form azotu różnice były nieistotne. Poza tym istotny wpływ deszczowania ujawnił się

również we współdziałaniu z azotem w kształtowaniu zawartości form N_{\min} ($p < 0,05$; $F = 11,65^{**}$). Wpływ ten dotyczył głównie obiektów deszczowanych, w których wraz ze zwiększonymi dawkami N zwiększał się udział N_{\min} w azocie ogólnym (tab. 4). Dla pozostałych form azotu kierunki tego udziału były różnicowane, nie wykazując istotnie jednoznacznych zmian. Działanie deszczowania należy rozpatrywać pod kątem wpływu na plony roślin, jak i na właściwości gleby. Złożoność tych relacji wzmagają się przy wprowadzeniu dodatkowych czynników, np. nawożenia azotem. Z badań Trybały i Chylińskiej [19] wynika, że samo deszczowanie, jak i we współdziałaniu z azotem mineralnym istotnie zwiększało plony roślin, a co za tym idzie miało wpływ m.in. na gospodarkę azotową. Wskazują na to wcześniejsze badania Borówcza i Szukały [1]. Z procesami tymi korespondują przemiany mineralnych form azotu w glebie, których ilości podlegają dużym wahaniom zarówno w okresie wegetacji, jak i w przypadku pobrania przez rośliny [9]. Na ogół w glebach nie deszczowanych spotyka się większe zawartości mineralnych form azotu, co w świetle badań autorów spowodowane jest między innymi możliwością ich migracji do głębszych poziomów gleby w warunkach większego uwilgotnienia gleby. Według Herbst i in. [6] 1 mm opadów powoduje przemieszczanie się azotanów do niższych poziomów gleby od 0,70 cm w piasku do 0,25 cm w ile. Poza tym wiadomo, że azot pobierany jest głównie z masowym transportem wody, co w warunkach mniejszej wilgotności gleby jest utrudnione. I tym m.in. można tłumaczyć wykazane w badaniach różnice w zawartości N_{\min} między obiektami nie deszczowanymi i deszczowanymi. Ale nie można pominąć roli roślin w kształtowaniu ilości i form połączeń azotu glebowego. Wskazuje się [7], że w warunkach uprawy buraka i ziemniaka w glebie występują na ogół większe ilości azotu mineralnego niż przy uprawie zbóż. Jednocześnie autorzy wykazali, że nawozy azotowe nie miały istotnego wpływu na ilość N_{\min} pozostającego w glebie po sprzęcie roślin. Potwierdzają to wyniki przedstawione w pracy odnośnie nie tylko omawianej formy N, ale i pozostałych jego połączeń. Świadczy to o transformacji azotu wprowadzonego do gleby - bez względu na jego źródła - w połączenia organiczne przy udziale glebowej substancji organicznej. Wskazuje się też na znaczenie rozpuszczalnego azotu organicznego gleby (SON – *soluble organic nitrogen*) w żywieniu roślin [14].

Stopień rozpuszczalności form azotu glebowego zależy niewątpliwie od połączeń składnika ze związkami organicznymi. Dotyczy to szczególnie azotu nie hydrolizującego, który występuje głównie z związkami heterocyklicznymi [17] o charakterze połączeń białkowo-huminowych, odpornych na działanie mikroorganizmów. Można uważać te związki za swoiste formy zapasowe azotu, biorące udział raczej w przemianach długofalowych. Wyniki badań dowodzą, że w warunkach wieloletnia powyższe połączenia podlegały pewnym przemianom, związanymi prawdopodobnie z różną dynamiką procesów mineralizacji i immobilizacji uwarunkowanych nie tylko uwilgotnieniem i obecnością azotu, ale i prawdopodobnie różną ilością i jakością masy resztek pozostawianych przez poszczególne rośliny [12]. Tym samym rośliny mogły w większym lub mniejszym stopniu determinować kształtowanie się form rozpuszczalnego azotu. We wcześniejszych badaniach wykazano [4] dobrze skorelowaną zależność między zawartością N-łatwo hydrolizującego gleby a zawartością materii organicznej gleby. Do frakcji tej przechodzi głównie azot amidowy,

oraz część amin, część niewymiennego azotu amonowego oraz łatwo hydrolizujące grupy białek. Z kolei frakcja trudno hydrolizującego azotu składa się również z części amin i amidów glebowych, niewymiennego amoniaku oraz części humin. Według Stevensona [18] w wyniku hydrolizy gleby roztworem 6 mol-dm⁻³ HCl, do hydrolizatu przechodzą białka, aminokwasy oraz aminocukry. Ponieważ przedstawione wyniki odzwierciedlają układ frakcji azotu z badań wieloletnich, tym samym dają podstawę do wnioskowania o względnie ustabilizowanym układzie dynamicznej równowagi między frakcjami.

4. Wnioski

1. Deszczowanie miało istotny wpływ na zawartość badanych form azotu w poziomie próchnicznym gleby, przyczyniając się do zmniejszenia ilości mineralnych form azotu i wzrostu zawartości pozostałych badanych połączeń pierwiastka.
2. Współdziałanie deszczowania z azotem nawozowym stosowanym w zróżnicowanych dawkach ujawniło się tylko w kształtowaniu zawartości mineralnych form pierwiastka oraz azotu łatwo hydrolizującego w poziomie próchnicznym gleby.
3. Stwierdzono niewielki wpływ deszczowania i azotu zastosowanego w zróżnicowanych dawkach na kształtowanie się udziału form azotu w jego zawartości ogólnej. W istotnym stopniu wyraziło się to tylko w odniesieniu do mineralnych form azotu, których udział istotnie determinowany był deszczowaniem i współdziałaniem tego czynnika z azotem, jak również dla azotu mającego istotny wpływ w udziale azotu trudno hydrolizującego.

5. Literatura

- [1] Borówcza F., Szukała J.: Wpływ deszczowania na pobranie składników pokarmowych przez rośliny uprawiane w dwóch płodozmianach czteropolowych. Roczn. AR w Poznaniu, CCIII, 3-16, 1988.
- [2] Bremner J.M.: Inorganic forms of nitrogen. In: C.A. Black (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, Agronomy, 1965, 9, 1179-1237. Amer. Sci. Soc. Agr. Inc., Madison, USA.
- [3] Bremner J.M.: Nitrogenous compounds, In: Soil biochemistry, (Eds) Mac Laren A.D., Peterson G.H., M. Dekker, Inc. New York, 19-66, 1967.
- [4] Bronner H., Bachler W.: Der hydrolysierbare Stickstoff als Hilfsmittel für Schätzung des Stickstoffnachlieferungs vermögens von Zuckerübenböden. Landwirtsch. Forsch., 32,3, 255-261, 1979.
- [5] Czekala J., Jakubus M., Barłóg P.: Influence of long-term manure and nitrogen application on quantitative changes of nitrogen and sulphur forms in the soil. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 465, 363-371, 1999.
- [6] Herbst F., Buße J., Garz J., Hageman O.: Einfache Verfahren zur Schätzung des Nitratverlustes im Boden durch Verlagerung während des Winters. Arch. Acker Pflbau., 26, 10, 665-672, 1982.
- [7] Fotyma M., Fotyma E.: Zawartość azotu mineralnego w glebie jako wskaźnik środowiskowych skutków nawożenia. W: Nadmiar azotu w rolnictwie czynnikiem zagrożenia zdrowia człowieka. Między. Konf., Warszawa, 9- 10.01.1997.
- [8] Jansson S.L.: Role of humus formation and decomposition in the terrestrial nitrogen cycles. Proc. Intern. Meet. Humic Substances, Nieuwersluis, Pudoc, Wageningen, 123-135, 1972.
- [9] Koćmit A., Tomaszewicz T., Raczkowski B., Chudecka J., Podlasiński M., Sokołowska-Antoszek M.: Wpływ nawożenia mineralnego i deszczowania na właściwości chemiczne gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 438, 325-338, 1996.

- [10] Krzywy E., Wenglikowska E., Krupa J.: Wpływ wieloletniego nawożenia na zawartość N - ogółem w glebie lekkiej i plonowanie roślin. *Rocz. Gleb.*, XL, 1, 155-163, 1989.
- [11] Kundler P.: Ausnutzung, Festlegung und Verluste von Düngemittelstickstoff. *Albrecht-Thaer-Archiv*, 14, 3, 191-210, 1970.
- [12] Kusińska A.: Wpływ systemu uprawy żyta i ziemniaków na zawartość i skład frakcyjny próchnicy glebowej. *Rocz. Gleb.*, XLVII, supl., 85-96, 1996.
- [13] Rimovsky K.: Resztki poźniwne roślin uprawnych i ich wpływ na bilans masy organicznych w glebie. *Acta Acad. Agricult. Techn. Olst., Agricultura*, 44, 163-170, 1987.
- [14] Murphy D.V., Macdonald A.J., Stokdale E.A., Goulding K.W.T., Fortune S., Gaunt J.L., Poluton P.R., Wakefield J.A., Webster C.P., Wilmer W.S.: Soluble organic nitrogen in agricultural soils. *Boil. Fertil. Soils*, 30, 374-387, 2000.
- [15] Scharf H.: Der Einfluss verschiedener N-Formen und N-Mengen auf den C- und N-Gehalt des Bodens in einem langjährigen Düngungsversuch. *Albrecht-Thaer-Archiv*, 11, 2, 121-132, 1967.
- [16] Smith J.L.: Cycling of nitrogen through microbial activity. In: *Soil biology: Effects on soil quality* (Eds. Hatfield J.L., Stewart B.A.), CRC Press, Inc, 91-120, 1994.
- [17] Schulten h.R., Sorge-Lewin C., Schnitzer M.: Structure of „unknown“ soil nitrogen investigated by analytical pyrolysis. *Boil Fertile Soils*, 24, 249-254, 1997.
- [18] Stevenson F.J.: Nitrogen-Organic forms. In: *Methods of soil analysis. Part 2*(A.L. Page et al., ed.). *Agron. Monogr. 9*, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI., pp 625-641, 1982.
- [19] Trybała M., Chylińska E.: Nawadnianie jako czynnik kształtowania produkcji roślinnej na glebie kompleksu żyznego dobrego. *Zesz. Prob. Post. Nauk. Roln.*, 438, 155-164, 1996.