

Andrzej Kruczek

Katedra Uprawy Roli i Roślin Akademii Rolniczej w Poznaniu

Zmiany zawartości różnych form azotu w częściach nadziemnych kukurydzy w zależności od nawożenia azotowego i fazy rozwojowej

Wstęp

Zawartość składników mineralnych w roślinach zależy jest od wielu czynników, a przede wszystkim od warunków pogodowych i glebowych oraz nawożenia. Zawartość azotu dostępnego dla roślin związana jest z jego dostępnością w glebie, ponieważ w glebach zasobniejszych w ten składnik większa jego ilość przechodzi w formy przyswajalne [5]. Jako kryterium diagnostyczne oceny zaopatrzenia roślin w azot przyjmuje się ogólną zawartość azotu w suchej masie roślin lub jego formy azotanowej w świeżej masie, biorąc do analizy przeważnie wybrane części wskaźnikowe rośliny.

Niniejsza praca stanowi próbę odpowiedzi na następujące pytania:

- jak zmienia się zawartość różnych form azotu w całych roślinach oraz wybranych organach w zależności od poziomu nawożenia azotem i fazy rozwojowej,
- jaką część rośliny kukurydzy można uznać za wskaźnikową, najlepiej ilustrującą stan zaopatrzenia rośliny w azot w określonej fazie wzrostu,
- jaka forma azotu stanowi najlepsze kryterium diagnostyczne dla potrzeb kontroli stanu zaopatrzenia kukurydzy w azot.

Materiał i metody

Doświadczenia polowe, stanowiące podstawę badań, przeprowadzono w ZDD Swadzim koło Poznania w latach 1986–1991. Przerwę w badaniach stanowił rok 1987, w którym na skutek gwałtownych opadów doświadczenie uległo zniszczeniu. Badanym czynnikiem, w układzie bloków losowanych, było 10 poziomów nawożenia azotowego, od 0 do 270 kg N/ha, z podziałem co 30 kg. Nawozy azotowe w formie saletry amonowej wysiano jednorazowo przed siewem. Na wszystkich obiektach stosowano jednakowy poziom nawożenia fosforem – 120 kg P₂O₅/ha i potasem – 180 kg K₂O/ha, wczesną wiosną pod kultywator.

Tabela 1. Warunki klimatyczno-glebowe w ZZD Swadzim i średnie plony

Miesiące	Lata					
	1986	1988	1989	1990	1991	1958–1991
Temperatura powietrza [°C]						
IV	7,4	8,0	8,7	8,0	8,0	7,5
V	14,8	15,4	14,5	14,3	9,7	13,0
VI	16,2	16,5	16,1	16,5	14,0	16,4
VII	18,0	18,7	18,4	17,0	19,3	18,0
VIII	17,1	18,1	17,9	17,7	18,1	17,4
IX	11,5	13,5	15,1	11,3	14,7	13,4
Średnio	14,2	15,0	15,1	14,1	14,0	14,3
Opady [mm]						
IV	32,6	28,3	25,9	49,9	47,0	34,3
V	60,3	23,3	8,8	21,8	55,5	50,4
VI	88,7	151,5	47,5	109,1	73,0	60,3
VII	51,1	103,3	75,4	45,6	36,2	69,3
VIII	68,2	35,3	56,3	45,5	38,6	57,6
IX	27,5	49,4	15,5	61,8	26,0	42,9
IV–IX	328,4	391,4	229,4	333,7	276,3	314,8
Warunki glebowe						
Klasa bonitacyjna	IVa	IVb	IVb	IVa	IVb	—
Przedplon	jęczmień ozimy	żyto	jęczmień ozimy	pszenica ozima	jęczmień ozimy	—
pH w KCl	4,9	5,0	5,0	5,2	5,3	—
P ₂ O ₅ [mg/100 g gleby]	13,7	13,1	12,2	16,3	16,8	—
K ₂ O [mg/100 g gleby]	13,5	12,4	13,2	17,9	18,3	—
Plony [t/ha]						
Plon ziarna	8,28	8,47	4,68	7,36	2,99	—
Plon suchej masy	16,21	16,74	11,52	16,21	7,60	—

Warunki pogodowe w latach, w których prowadzono badania, były zróżnicowane (tab. 1). Lata 1989 i 1991 były szczególnie niekorzystne dla wzrostu i plonowania kukurydzy, głównie ze względu na suszę. W bardzo ciepłym 1989 r. niedobory wody występowały prawie przez cały okres wegetacji, natomiast w 1991 r. posuszny był okres rozwoju generatywnego (kwitnienie i zawiązywanie ziarna) oraz chłodny okres rozwoju wegetatywnego. Krótkotrwałe niedobory wody wystąpiły również w latach sprzyjających plonowaniu kukurydzy, a mianowicie w 1986 r. sucho było w lipcu, w 1988 r. w maju i sierpniu, a w 1990 r. w maju. Bliższe informacje dotyczące plonowania kukurydzy w niniejszym doświadczeniu przedstawiono w artykule będą-

cym w druku w Rocznikach Nauk Rolniczych (1996), s.A, t.12, z.3–4, pt: Efektywność nawożenia azotem kukurydzy w warunkach Wielkopolski. Doświadczenie zakładano na stanowisku po roślinach zbożowych, na glebie płowej, gatunku piasków gliniastych lekkich, płytko zalegających na glinie lekkiej, należących do kompleksu żytznego dobrego (tab. 1).

Do analiz chemicznych pobrano: całą nadziemną masę roślin, nerwy najniższego w pełni zielonego liścia oraz nerwy liścia flagowego. Próby pobrano w trzech fazach rozwojowych: 3–4 liści kukurydzy, początku kwitnienia wiech i dojrzałości pełnej. W fazie pełnej dojrzałości próby rozdzielono na kolby właściwe (rdzenie i ziarno) i pozostałą masę roślinną (liście, łodygi, liście okrywające kolby), które analizowano oddzielnie. Wartości liczbowe dla całej masy nadziemnej roślin wyliczono jako średnie ważone. Analizy laboratoryjne przeprowadzono standardowymi metodami, oznaczając w suchej masie – N-ogólny metodą Kjeldahla i N-azotanowy kolorymetrycznie z kwasem fenolodwusulfonowym. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie, stosując analizę wariancji oraz rachunek korelacji i regresji.

Wyniki i dyskusja

Zawartość azotu ogólnego i azotanowego uzależniona była od przebiegu pogody w poszczególnych latach badań, jak również od części wskaźnikowej rośliny oraz fazy rozwojowej kukurydzy (tab. 2). Wyniki badań przedstawione przez Chojnackiego i Boguszewskiego [2], Jonesa [3], Kamińską i in. [4] oraz Kusia [6] wskazują, że czynniki siedliskowe i agrotechniczne najczęściej powodują zmiany zawartości azotu ogólnego w roślinach. Cała nadziemna masa roślin, w badaniach własnych, bardziej wiarygodnie odzwierciedlała zaopatrzenie kukurydzy w azot, w porównaniu z częściami wskaźnikowymi (nerwy liści dolnego i flagowego). Świadczą o tym niższe dla całych roślin współczynniki zmienności zarówno dla N-ogólnego, jak i N-azotanowego (tab. 2).

Rozpatrując z kolei formy azotu, można stwierdzić, że zawartość azotu ogólnego okazała się lepszym wskaźnikiem stanu odżywienia roślin azotem aniżeli forma azotanowa, ulegając mniejszym wahaniom pod wpływem warunków środowiskowych (tab. 2). Wskazują na to niższe niż dla N-NO₃ współczynniki zmienności oraz wysoka kumulacja tej formy azotu w roślinach. Prawidłowość ta dotyczy wszystkich badanych faz rozwojowych i części roślin. Zawartość N-ogólnego w całych nadziemnych częściach roślin najsilniej zmieniała się pod wpływem warunków pogodowych i glebowych, w początkowym okresie rozwoju kukurydzy (współczynnik zmienności = 18,77%), podlegając zdecydowanej stabilizacji w miarę postępu wegetacji (współczynniki zmienności: w fazie kwitnienia = 15,38% i w fazie dojrzewania = 6,08%).

Stosowane poziomy nawożenia azotowego od 0 do 270 kg N/ha wywarły istotny wpływ na zawartość azotu ogólnego i azotanowego w całych nadziemnych częściach

Tabela 2. Zmienność za wartości azotu ogólnego i azotu azotanowego w kukurydzy w zależności od części wskaźnikowej rośliny i fazy rozwojowej

Część wskaźnikowa	Faza rozwojowa	Składnik	Zawartość [%]		maksymalna	średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
			minimalna					
Całe nadziemne części rośliny	3–4 liście	N-ogólny	2,66	4,33	3,69	0,693	18,77	
		N – NO ₃	0,410	0,817	0,605	0,145	24,77	
	kwitnienie wiech	N-ogólny	1,40	2,13	1,80	0,283	15,38	
		N – NO ₃	0,215	0,313	0,256	0,039	15,72	
		dojrzałość	1,18	1,37	1,27	0,077	6,08	
		pełna	0,060	0,115	0,086	0,024	28,58	
Nerw liścia dolnego	kwitnienie wiech	N-ogólny	1,09	2,21	1,83	0,437	23,91	
		N – NO ₃	0,202	1,119	0,671	0,335	49,92	
	dojrzałość pełna	N-ogólny	0,61	1,32	0,88	0,305	34,91	
		N – NO ₃	0,031	1,301	0,748	0,487	65,13	
		kwitnienie wiech	1,11	1,98	1,56	0,392	25,05	
		dojrzałość pełna	0,013	0,030	0,022	0,009	39,80	
Nerw liścia flagowego	dojrzałość	0,74	1,14	0,94	0,223	23,80		
	pełna	0,007	0,023	0,015	0,007	43,13		

Tabela 3. Zawartość azotu ogólnego i azotu azotanowego w całych roślinach w % (średnie z lat)

Dawka N [kg/ha]	Faza rozwojowa					
	3–4 liście		kwitnienie wiech		dojrzałość pełna	
	N-ogólny	N-azotanowy	N-ogólny	N-azotanowy	N-ogólny	N-azotanowy
0	3,12	0,339	1,48	0,082	1,03	0,020
30	3,43	0,423	1,62	0,110	1,06	0,023
60	3,54	0,516	1,68	0,142	1,13	0,031
90	3,69	0,605	1,71	0,174	1,25	0,058
120	3,70	0,618	1,80	0,234	1,31	0,071
150	3,73	0,639	1,90	0,272	1,30	0,084
180	3,79	0,666	1,91	0,347	1,38	0,126
210	3,88	0,702	1,96	0,380	1,36	0,129
240	3,95	0,743	1,97	0,404	1,44	0,136
270	4,11	0,800	1,98	0,417	1,47	0,180
NIR-LSD	0,308	0,1027	0,260	0,0539	0,126	0,0411

roślin oraz z części wskaźnikowych w nerwach liści dolnych we wszystkich terminach pobierania prób (tab. 3 i 4). Zawartość N-ogólnego i N-azotanowego – zarówno w całych roślinach, jak i w liściu dolnym – zwiększała się wraz ze wzrostem dawki azotu. Zmiany zawartości obu określanych form azotu, pod wpływem stosowanych dawek N, w całych roślinach i nerwach liści dolnych, najlepiej opisuje model funkcji potęgowej o następującej postaci:

$$y = a \cdot x^b$$

gdzie: y – procentowa zawartość określonej formy azotu,

x – dawka azotu [kg N/ha],

a, b – współczynniki równania.

Współczynniki równania tej funkcji dla poszczególnych form azotu w badanych fazach rozwojowych przedstawiono w tab. 5, a krzywe odpowiadające równaniom regresji na rys. 1 i 2. Należy podkreślić, że uzyskano stosunkowo wysokie korelacje pomiędzy procentową zawartością obu badanych form azotu a jego dawką nawozową we wszystkich terminach pobierania prób.

W przypadku liścia flagowego wzrastające dawki nawozów azotowych istotnie zwiększały jedynie procentową zawartość azotu ogólnego w nerwach, i to tylko w dojrzałości pełnej (tab. 4). Zależności takiej dla tej części wskaźnikowej kukurydzy nie stwierdzono w odniesieniu do azotu azotanowego, jak również w fazie kwitnienia w odniesieniu do obu badanych form azotu.

Kumulacja N-ogólnego i N-azotanowego malała w miarę postępowania wegetacji roślin zarówno w całych roślinach, jak i w nerwach liści dolnego i flagowego (tab. 2, 3 i 4, rys. 1 i 2). Średnio dla lat i stosowanego nawożenia azotowego zawartość azotu

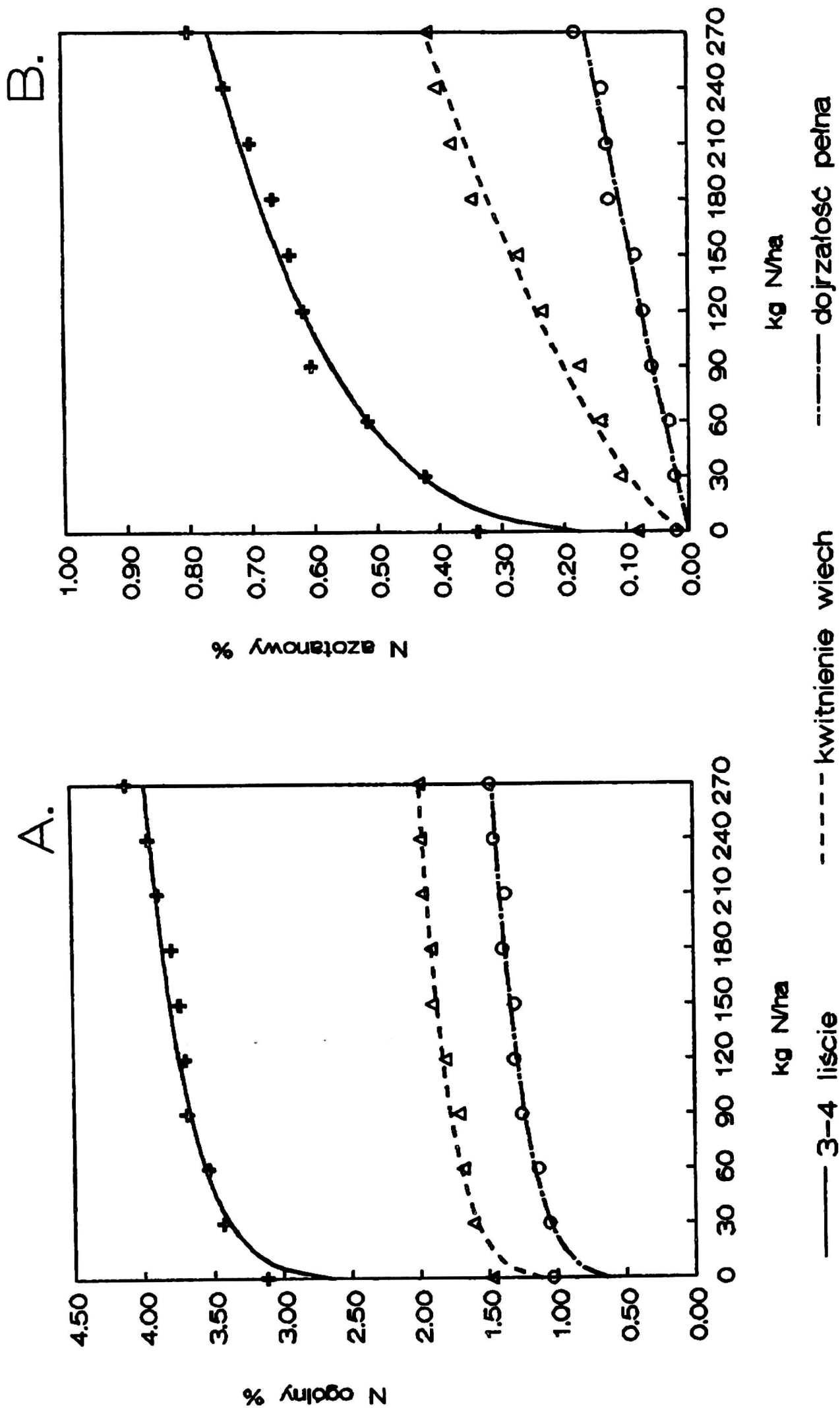
Tabela 4. Zawartość azotu ogólnego i azotu azotanowego w nerwach liści w % (średnie z lat)

Dawka N [kg/ha]	Liść dolny		Liść flagowy							
	faza rozwojowa			faza rozwojowa						
	kwitnienie wiech		dojrzałość pełna		kwitnienie wiech		dojrzałość pełna			
	N-ogólny	N-azotanowy	N-ogólny	N-azotanowy	N-ogólny	N-azotanowy	N-ogólny	N-azotanowy	N-ogólny	N-azotanowy
0	1,33	0,116	0,65	0,563	1,32	0,013	0,013	0,83	0,015	0,015
30	1,45	0,200	0,70	0,625	1,46	0,013	0,013	0,80	0,017	0,017
60	1,47	0,319	0,71	0,605	1,55	0,015	0,015	0,89	0,013	0,013
90	1,68	0,618	0,87	0,752	1,60	0,019	0,019	0,92	0,014	0,014
120	1,80	0,642	0,90	0,777	1,45	0,017	0,017	0,90	0,015	0,015
150	1,92	0,707	0,94	0,813	1,65	0,021	0,021	0,99	0,016	0,016
180	1,96	0,848	0,95	0,809	1,64	0,025	0,025	0,92	0,016	0,016
210	2,18	0,874	0,96	0,799	1,64	0,020	0,020	1,04	0,015	0,015
240	2,24	1,153	0,98	0,828	1,74	0,035	0,035	1,03	0,017	0,017
270	2,25	1,232	1,08	0,905	1,60	0,023	0,023	1,05	0,016	0,016
NIR-LSD	0,373	0,2410	0,166	0,1818	r.n.	r.n.	r.n.	0,129	r.n.	r.n.

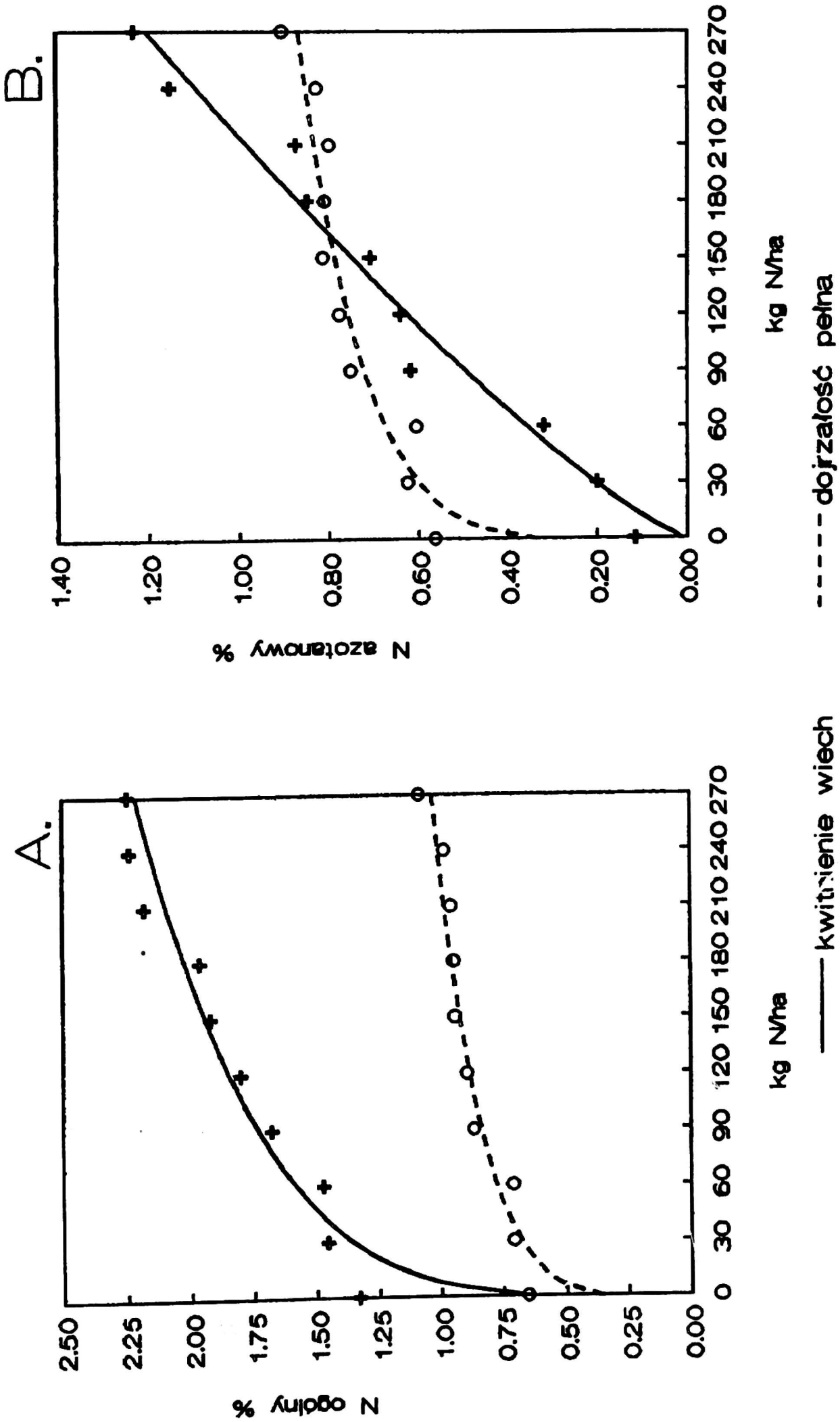
r.n. – różnice nieistotne.

Tabela 5. Współczynniki równań regresji dla zależności pomiędzy procentową zawartością składnika a dawkami azotu w kg N/ha

Część wskaźnikowa	Składnik	Współczynniki równania	Faza rozwojowa		
			3-4 liście	kwitnienie wiech	dojrzałość pełna
Całe nadziemne części rośliny	N-ogólny	a	2,64655	1,11267	0,63072
		b	0,07238	0,10340	0,14899
	współczynnik determinacji	$R^2 = 90,7\%$	$R^2 = 94,8\%$	$R^2 = 97,1\%$	
	N-azotanowy	a	0,17368	0,00987	0,00073
		b	0,26536	0,67019	0,96706
	współczynnik determinacji	$R^2 = 97,6\%$	$R^2 = 96,9\%$	$R^2 = 97,1\%$	
Nerw liścia dolnego	N-ogólny	a	—	0,62931	0,35647
		b	—	0,22482	0,18995
	współczynnik determinacji	—	$R^2 = 92,9\%$	$R^2 = 90,8\%$	
	N-azotanowy	a	—	0,01292	0,33699
		b	—	0,81008	0,16925
	współczynnik determinacji	—	$R^2 = 97,0\%$	$R^2 = 85,0\%$	



Rysunek 1. Zmiany zawartości N-ogólnego (A) i N-azotanowego (B) w całych nadziemnych częściach kukurydzy w zależności od dawek azotu



Rysunek 2. Zmiany zawartości N-ogólnego (A) i N-azotanowego (B) w nerwie dolnego liścia kukurydzy w zależności od dawek azotu

ogólnego w suchej masie całych roślin zmniejszała się z 3,69% w fazie 3–4 liści do 1,80% na początku kwitnienia wiech i 1,27% w fazie dojrzałości pełnej ziarna, natomiast azotu azotanowego odpowiednio z 0,605 do 0,256 i 0,086%. Podobną zależność dotyczącą zmniejszania się zawartości N, jak i P, K, Ca i Mg w suchej masie kukurydzy wraz z wiekiem stwierdził Bruździak (1988). Jeszcze większemu obniżeniu w badaniach własnych ulegała zawartość azotu ogólnego w nerwach liściowych z 1,83% w fazie kwitnienia do 0,88% w dojrzałości pełnej w liściu dolnym oraz odpowiednio z 1,56 do 0,94% w liściu flagowym. Zmiany dotyczące formy azotanowej w nerwach liściowych, w miarę starzenia się roślin, były mniej wyraźne.

Wnioski

1. Stosowane dawki nawozów azotowych od 0 do 270 kg N/ha miały istotny wpływ na zawartość azotu ogólnego i azotanowego w całych nadziemnych częściach roślin oraz w nerwach liści dolnych w fazie 3–4 liści, w początku kwitnienia wiech i w dojrzałości pełnej ziarna.
2. Zawartość N-ogólnego i N-azotanowego w kukurydzy – zarówno w całej nadziemnej masie roślin, jak i w nerwie liścia dolnego – wzrasta ze wzrostem dawek N oraz maleje w miarę postępu wegetacji roślin.
3. Krzywe najlepiej opisujące zawartość N-ogólnego i N-azotanowego w nadziemnej masie kukurydzy i w nerwach liści dolnych, jako funkcji wzrastających dawek nawozów azotowych, mają postać potęgową.
4. Zawartość azotu ogólnego w całych roślinach oraz w nerwach liści dolnego i flagowego ulegała mniejszym wahaniom pod wpływem warunków środowiskowych niż forma azotanowa.

Literatura

- [1] Bruździak M. 1988. Dynamika narastania masy i gromadzenia składników pokarmowych w częściach nadziemnych roślin oraz wpływ niektórych czynników agrotechnicznych na plonowanie kukurydzy. *Zeszyty Naukowe AR Wrocław z. 70*.
- [2] Chojnacki A., Boguszewski W. 1971. Zawartość azotu, fosforu i potasu w głównych roślinach uprawnych w Polsce. *Pam. Puł.* 50: 5–27.
- [3] Jones J.B. 1974. Plant Analysis, Handbook for Georgia, Bull. nr 735.
- [4] Kamińska W., Kardasz T., Strahl A., Szymborska H. 1976. Skład chemiczny roślin uprawnych i niektórych pasz pochodzenia roślinnego. Wyd. IUNG.
- [5] Koter Z. 1980. Azot mineralny w glebie i roślinie. *Gospodarka azotowa roślin uprawnych*. PWRiL, rozdz. 5, 116–164.
- [6] Kuś J. 1983. Produkcyjność różnych gleb w doświadczeniach mikroplotkowych. II. Zawartość składników mineralnych w roślinach i glebach. *Pam. Puł.*, 79: 27–43.
- [7] Seidler M., Majewska M. 1993. Wybór części wskaźnikowej rośliny dla określenia stanu zaopatrzenia w podstawowe składniki mineralne na przykładzie rzepaku ozimego odmiany Bolko. *Postępy Nauk Rolniczych* 6: 25–32.

Changes in content of different forms of nitrogen in overground parts of maize as related to nitrogen fertilization and development stages

Summary

The field experiments, which were the base of the study, were conducted by Exp. Agric. Station at Swadzim near Poznań, in 1986–1991. The effect of nitrogen rates, on concentration of total N and nitrate N, in indicator parts of plant, was investigated. Nitrogen fertilizers were applied from 0 to 270 kg N/ha, with split every 30 kg. Nitrogen fertilization caused an essential increase of content of total N and nitrate N, in whole overground parts of plants and in ribs of bottom leaves, in stages of 3–4 leaves, in beginning of tassels flowering and full maturity of grain. The relation between content of both study nitrogen forms and nitrogen rates, in whole plants and in indicator part, are described by power function.