

WPLYW SPOSOBU STOSOWANIA NAWOZÓW AZOTOWYCH
I NAWOZU WIELOSKŁADNIKOWEGO NA GROMADZENIE
SKŁADNIKÓW MINERALNYCH W POCZĄTKOWYM OKRESIE
WZROSTU KUKURYDZY *

Andrzej Kruczek, Hanna Sulewska

Katedra Uprawy Roli i Roślin, Akademia Rolnicza
ul. Mazowiecka 45/46, 60-623 Poznań
e-mail: kruczek@au.poznan.pl

Streszczenie. Badania przeprowadzono w Stacji Doświadczalno-Dydaktycznej w Swadzimiu koło Poznania, w latach 2000-2003. Celem badań było określenie wpływu poziomu nawożenia azotowego, rodzaju nawozu i sposobu jego stosowania na stymulację wzrostu początkowego kukurydzy, wyrażoną gromadzeniem składników mineralnych. Nawożenie startowe zwiększało zawartość azotu o 0,64% i zawartość fosforu o 0,02% oraz zmniejszało zawartość potasu o 0,36% i wapnia o 0,05% w suchej masie młodych roślin kukurydzy, niezależnie od warunków pogodowych, zasobności gleby w azot i rodzaj nawozu. Nawożenie startowe korzystnie wpływało na pobieranie przez kukurydzę w początkowym okresie rozwoju azotu, fosforu i magnezu, natomiast ograniczało pobieranie potasu i wapnia w porównaniu do tradycyjnego nawożenia rzutowego.

Słowa kluczowe: nawożenie rzędowe, azot, nawóz wieloskładnikowy

WSTĘP

Temperatura gleby ma wpływ na pobieranie składników pokarmowych przez rośliny [4,14,15,20]. W niskich temperaturach zwiększa się lepkość roztworu glebowego oraz obniża tempo dyfuzji, co zmniejsza ilość składników mineralnych docierających do korzeni w celu ich zaabsorbowania [3,17], co z kolei ogranicza pobieranie szeregu ważnych jonów [2,14]. Ograniczone pobieranie azotu przez kukurydzę w temperaturach poniżej 5°C, powoduje zółknięcie roślin i zahamowanie ich wzrostu [10]. W Polsce zjawisko to często występuje w okresie wczesnowiosennym, podczas znacznych spadków temperatura powietrza, zwłaszcza nocą. Słabo rozwinięty w początkowym okresie wzrostu system korzeniowy, składa-

*Pracę wykonano w ramach projektu badawczego nr 5 PO6B 050 20 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2001-2003.

jący się przede wszystkim z korzeni zarodkowych, jest w stanie zaopatrywać rośliny w składniki mineralne jedynie przy odpowiednio dużej ich koncentracji w roztworze glebowym [23]. Z kolei, jak podają Mollier i Pellerin [12] oraz Scroeder i in. [18], szybki wzrost systemu korzeniowego jest możliwy przy odpowiednim stężeniu azotu i fosforu w roztworze glebowym, co można osiągnąć poprzez nawożenie rzędowe, w którym nawóz lokalizowany jest w bezpośredniej bliskości korzeni [6,8,19,21,22]. Nawożenie zlokalizowane, wykonywane łącznie z siewem ziarna, nazywamy nawożeniem startowym. Jest ono rutynową praktyką w wielu krajach [1], natomiast w warunkach Polski jest praktycznie nie rozpoznane. Przeprowadzone badania są fragmentaryczne, a technika równoczesnego wysiewu nasion i nawozów imitowana z braku odpowiednich siewników [5,7,9]. W związku z powyższym podjęto badania mające na celu porównanie wpływu dwóch technik stosowania nawozów azotowych i nawozu wieloskładnikowego, na gromadzenie składników mineralnych przez kukurydzę w początkowym okresie wzrostu, w zależności od poziomu nawożenia azotowego.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe wykonano w Zakładzie Dydaktyczno-Doświadczalnym w Swadzimiu koło Poznania w latach 2000-2003. Doświadczenia prowadzono w układzie „split-plot” z 3 czynnikami, w 4 powtórzeniach. Czynnikiem 1-go rzędu były 4 dawki azotu: 25, 60, 95 i 130 kg·ha⁻¹; 2-go rzędu 2 formy nawozu azotowego i 1 nawóz wieloskładnikowy: mocznik (46% N), saletra amonowa (34% N) i hydrofoska 21 (21% N, 8% P₂O₅, 11% K₂O, 2% MgO); 3-go rzędu 2 sposoby wysiewu nawozu: rzutowo na całą powierzchnię przed siewem nasion i rzędowo (startowo) jednocześnie z siewem nasion. Zapotrzebowanie na azot w całości pokryto na poszczególnych obiektach doświadczenia w ramach czynników badawczych, natomiast nawożenie P i K wykonano przedsięwzięcie w następujących dawkach: 80 kg P₂O₅·ha⁻¹ czyli 34,9 kg P·ha⁻¹ (superfosfat potrójny 46% P₂O₅) i 140 kg K₂O·ha⁻¹ czyli 116,2 kg K·ha⁻¹ (60% sól potasowa). Przedsięwzięcia dawkę fosforu i potasu na obiektach z hydrofoską, zmniejszono o ilości fosforu i potasu wnoszone w tym nawozie. Dzięki temu całkowite dawki nie przekraczały dawek założonych.

Do siewu wykorzystano siewnik punktowy Monosem, wyposażony w rozsiewacz do rzędowego (startowego) stosowania nawozów jednocześnie z siewem nasion. Redlice nawozowe ustawiono w ten sposób, aby nawóz był umieszczony w glebie 5 cm z boku i 5 cm poniżej nasion. Siew nasion kukurydzy wykonywano na głębokość 5-6 cm. W doświadczeniu wysiano mieszańca Costella (FAO 240) hodowli Pioneer.

W fazie 4-5 liści pobierano z każdego poletka próbki składające się z 20 roślin kukurydzy. Analizy na zawartość składników mineralnych wykonywano na próbkach zbiorczych z kombinacji nawozowych. Wyniki poddano analizie wariancji, a istotność różnic szacowano na poziomie $\alpha = 0,05$.

Doświadczenie prowadzono na glebie płowej, wytworzonej z piasków gliniastych lekkich, płytko zalegających na glinie lekkiej, kompleks żytni dobry. Zasobność gleby w składniki pokarmowe i jej kwasowość przedstawia tabela 1.

Warunki termiczne w latach prowadzenia badań były sprzyjające dla początkowego wzrostu kukurydzy (tab. 2). Natomiast względnie korzystne warunki wilgotnościowe w początkowym okresie wegetacji kukurydzy wystąpiły jedynie w 2002 r. W pozostałych latach okresy suszy wystąpiły w III dekadzie kwietnia, w I dekadzie maja i w czerwcu (2000 r.), lub na początku maja (2001 r.) oraz od kwietnia do czerwca (2003 r.).

Tabela 1. Warunki glebowe w Swadzimiu

Table 1. Soil conditions at Swadzim

Lata Years	Zawartość – Content					pH w KCl pH in KCl
	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Mg	
	mg·100 g ⁻¹ gleby – mg·100 g ⁻¹ of soil					
2000	0,14	0,34	6,6	8,5	3,5	6,15
2001	0,16	0,32	12,3	15,3	4,6	6,80
2002	0,12	0,28	9,8	10,0	5,1	6,80
2003	0,14	0,23	5,1	8,0	5,8	5,90

Tabela 2. Warunki pogodowe w Swadzimiu

Table 2. Weather conditions at Swadzim

Lata Years	Temperatura Temperature (°C)			Opady Rainfall (mm)			Współ. hydrotermiczny Hydrothermal coefficient		
	IV	V	VI	IV	V	VI	IV	V	VI
	2000	12,1	15,7	17,5	15,7	47,4	29,9	0,43	0,97
2001	8,3	15,2	15,3	33,1	10,4	67,8	1,33	0,22	1,48
2002	8,9	16,8	18,1	34,2	45,7	38,1	1,28	0,87	0,71
2003	8,6	15,7	19,2	16,2	24,0	40,4	0,56	0,49	0,70
1958-2003	7,8	13,3	16,5	33,2	51,4	58,7	1,42	1,25	1,19

WYNIKI I DYSKUSJA

Poziomy nawożenia azotowego wpływały istotnie jedynie na zawartość azotu i potasu w suchej masie części nadziemnej roślin kukurydzy (tab. 3). Najniższą zawartość azotu oraz najwyższą zawartość potasu uzyskano stosując najniższą dawkę azotu (25 kg N·ha⁻¹). Rośliny rosące na obiektach nawożonych dawkami 60, 95 i 130 kg N·ha⁻¹ zawierały istotnie więcej azotu i istotnie mniej potasu, a różnice między nimi były nieistotne. Z kolei rodzaj nawozu różnicował istotnie jedynie zawartość fosforu i potasu w suchej masie roślin. Zastosowanie mocznika ograniczało pobieranie fosforu i potasu, co przejawiało się najniższą zawartością tych składników

w roślinach. Rośliny nawożone nawozem wieloskładnikowym zawierały najwięcej fosforu i potasu w suchej masie. Różnice pomiędzy wszystkimi badanymi rodzajami nawozów, pod względem zawartości fosforu w roślinach, były statystycznie istotne. Pod względem zawartości potasu, istotna różnica wystąpiła jedynie pomiędzy roślinami nawożonymi mocznikiem i hydrofoską. Sposób wysiewu nawozu najsilniej różnicował zawartość makroskładników w częściach nadziemnych roślin. Rzędowy wysiew nawozu istotnie zwiększał w roślinach zawartość azotu (o $6,43 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sm}$) i fosforu (o $0,15 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sm}$) oraz zmniejszał zawartość potasu (o $3,64 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sm}$), wapnia (o $0,46 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sm}$) i sodu (o $0,016 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sm}$), w porównaniu do wysiewu rzutowego. Zbieżny wynik, lecz dotyczący jedynie fosforu, uzyskali Dubas i Duhr [5]. Autorzy ci stosując między innymi nawóz wieloskładnikowy, podobnie jak w badaniach własnych, uzyskali większą zawartość fosforu w suchej masie młodych roślin przy stosowaniu nawożenia rzędowego, w porównaniu z nawożeniem rzutowym.

Tabela 3. Zawartość składników mineralnych w częściach nadziemnych kukurydzy (2000-2003)

Table 3. Content of nutrients in the overground parts of maize (2000-2003)

Wyszczególnienie Specification		Zawartość składników w $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej masy Content of nutrients in $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ of dry mass					
		N	P	K	Mg	Ca	Na
Dawka N w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N dose in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	25	38,93	3,54	39,26	1,51	5,48	0,243
	60	40,35	3,47	37,63	1,59	5,40	0,166
	95	40,29	3,44	38,30	1,48	5,44	0,199
	130	40,73	3,48	37,70	1,59	5,48	0,204
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	1,195	r.n.	0,926	r.n.	r.n.	r.n.
Rodzaj nawozu Kind of fertilizer	mocznik – urea	39,97	3,25	37,38	1,57	5,43	0,194
	saletra amonowa ammonium nitrate	40,15	3,49	38,16	1,54	5,50	0,220
	Hydrofoska	40,11	3,71	39,20	1,53	5,43	0,195
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n.	0,111	1,397	r.n.	r.n.	r.n.
Sposób nawożenia Method of fertilization	rzutowy – broadcast	36,86	3,41	40,07	1,56	5,68	0,211
	rzędowy – in rows	43,29	3,56	36,43	1,53	5,22	0,195
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	1,066	0,065	0,648	r.n.	0,101	0,015

r.n. – różnice nieistotne – no significant differences

Rzutowy wysiew wszystkich dawek azotu spowodował obniżenie zawartości potasu i wapnia w suchej masie roślin w fazie 4-5 liści, w porównaniu do wysiewu rzędowego (tabela 4). Różnica w zawartości potasu w roślinach wywołana różnymi sposobami stosowania nawozu, powiększała się w miarę wzrostu poziomu nawożenia azotowego. Wynosiła ona przy dawce $25 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ – $2,22 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej masy, przy dawce $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ – $3,07 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej masy, przy dawce $95 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ – $3,74 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej masy i przy dawce $130 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ – $5,54 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej masy. Natomiast różnica

w zawartości wapnia, spowodowana dwoma techniką nawożenia, układała się różnie na porównywanych poziomach nawożenia azotowego. Przy dawce 25 kg N·ha⁻¹ wynosiła ona – 0,66 g·kg⁻¹ suchej masy, przy dawce 60 kg N·ha⁻¹ – 0,24 g·kg⁻¹ suchej masy, przy dawkach 95 i 130 kg N·ha⁻¹ – 0,46 g·kg⁻¹ suchej masy.

Tabela 4. Zawartość K i Ca w częściach nadziemnych kukurydzy w zależności od dawek azotu i sposobu nawożenia (2000-2003)

Table 4. Content of K and Ca in the overground parts of maize in dependence on the doses of nitrogen and the method of fertilization (2000-2003)

Składnik Mineralny Component	Dawka N N dose kg·ha ⁻¹	Sposób nawożenia – Method of fertilization	
		rzutowy – broadcast g·kg ⁻¹ sm	rzędowy – in rows g kg ⁻¹ dm
Potas Potassium	25	40,37	38,15
	60	39,16	36,09
	95	40,27	36,53
	130	40,47	34,93
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}		I/II = 1,296; II/I = 1,298	
Wapń Calcium	25	5,81	5,15
	60	5,52	5,28
	95	5,67	5,21
	130	5,71	5,25
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}		I/II = 0,203; II/I = 0,530	

Jedynie rzędowy wysiew nawozu wieloskładnikowego istotnie zwiększał zawartość fosforu w suchej masie części nadziemnych roślin w fazie 4-5 liści, w odniesieniu do nawożenia rzutowego (tab. 5). W przypadku mocznika i saletry amonowej technika stosowania nawozów nie miała wpływu na zawartość fosforu w roślinach. Rzutowy wysiew mocznika istotnie obniżał zawartość fosforu w roślinach w porównaniu do saletry amonowej i hydrofoski stosowanych w ten sam sposób. W przypadku nawożenia rzędowego, najniższą zawartość fosforu stwierdzono u roślin nawożonych mocznikiem a najwyższą u roślin nawożonych hydrofoską. Różnice w zawartości tego składnika wywołane trzema formami nawozów były istotne.

Poziomy nawożenia azotowego wpływały na zawartość azotu, potasu, magnezu i sodu w suchej masie korzeni kukurydzy (tab. 6). Zwiększanie dawek azotu od 25 do 130 kg N·ha⁻¹ powodowało stopniowy wzrost zawartości azotu w korzeniach od 18,86 g·kg⁻¹ suchej masy do 21,46 g·kg⁻¹ suchej masy. Zmiany w zawartości potasu, magnezu i sodu wywołane różnymi dawkami azotu układały się różnie. Najwięcej tych pierwiastków w korzeniach stwierdzono po zastosowaniu 25 kg N·ha⁻¹. Istotnie niższą zawartość potasu i magnezu uzyskano stosując nawożenie w ilości 60 do 130 kg N·ha⁻¹. Najniższą zawartość sodu stwierdzono w korzeniach na obiekcie nawożonym dawką 95 kg N·ha⁻¹. Zawartość fosforu i potasu w suchej masie korzeni zależała od rodzaju stosowanych nawozów. Najniższą

zawartość obu tych pierwiastków w korzeniach stwierdzono po zastosowaniu saletry amonowej (P – 2,05 g·kg⁻¹ sm i K – 16,94 g·kg⁻¹ sm). W przypadku fosforu najwyższą zawartość tego pierwiastka uzyskano na obiektach nawożonych hydrofoską (2,19 g·kg⁻¹ sm). Użycie mocznika ukształtowało średnią zawartość fosforu w korzeniach (2,11 g·kg⁻¹ sm).

Tabela 5. Zawartość fosforu w częściach nadziemnych kukurydzy w zależności od rodzaju nawozu i sposobu nawożenia (2000-2003)

Table 5. Content of phosphorus in the overground parts of maize in dependence on the kind of fertilizer and the method of fertilization (2000-2003)

Część rośliny Part of plant	Rodzaj nawozu Kind of fertilizer	Sposób nawożenia – Method of fertilization	
		rzutowy – broadcast	rzędowy – in rows
		g·kg ⁻¹ sm – g kg ⁻¹ dm	
Część nadziemna Overground parts	mocznik – urna	3,29	3,21
	saletra amonowa ammonium nitrate	3,46	3,51
	hydrofoska	3,46	3,95
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	I/II = 0,112; II/I = 0,137	
Korzenie Roots	mocznik – urna	2,13	2,08
	saletra amonowa ammonium nitrate	2,09	2,01
	hydrofoska	2,09	2,30
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	I/II = 0,143; II/I = 0,132	

Tabela 6. Zawartość składników mineralnych w korzeniach kukurydzy (2000-2003)

Table 6. Content of nutrients in the roots of maize (2000-2003)

Wyszczególnienie Specification		Zawartość składników w g·kg ⁻¹ suchej masy Content of nutrients in g kg ⁻¹ of dry mass					
		N	P	K	Mg	Ca	Na
Dawka N w kg·ha ⁻¹ N dose in kg ha ⁻¹	25	18,86	2,14	19,23	2,62	7,88	0,703
	60	19,58	2,17	16,85	2,35	7,58	0,647
	95	21,38	2,07	17,28	2,45	7,89	0,598
	130	21,46	2,08	16,52	2,48	8,12	0,665
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}		2,037	r.n.	1,066	0,072	r.n.	0,055
Rodzaj nawozu Kind of fertilizer	mocznik – urna	20,03	2,11	17,72	2,45	7,70	0,649
	saletra amonowa ammonium nitrate	20,44	2,05	16,94	2,46	7,82	0,640
	Hydrofoska	20,50	2,19	17,75	2,51	7,92	0,670
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n.	0,084	0,586	r.n.	r.n.	r.n.
Sposób nawożenia Method of fertilization	rzutowy – broadcast	17,88	2,10	17,84	2,51	7,50	0,676
	rzędowy – in rows	22,76	2,13	17,10	2,44	8,13	0,631
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	0,752	r.n.	0,714	r.n.	0,215	0,038

r.n. – różnice nieistotne – no significant differences.

Zastosowanie tego nawozu oraz hydrofoski zwiększało istotnie zawartość potasu w korzeniach (odpowiednio $17,72 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sm}$ i $17,75 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sm}$), w porównaniu do saletry amonowej. Technika stosowania nawozów wpływała na zawartość w korzeniach azotu, potasu wapnia i sodu. Ich rzędowy wysiew istotnie zwiększał zawartość azotu (o $4,88 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sm}$) i wapnia (o $0,63 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sm}$), w porównaniu do nawożenia rzutowego. Z kolei zawartość potasu i sodu zmniejszała się pod wpływem rzędowej aplikacji nawozu (odpowiednio o $0,074 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sm}$ i $0,045 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sm}$), w stosunku do aplikacji rzutowej na całą powierzchnię.

Rzędowy wysiew nawozu wieloskładnikowego powodował istotny wzrost zawartości fosforu w korzeniach, w porównaniu do wysiewu rzutowego oraz w porównaniu do rzędowego wysiewu mocznika i hydrofoski (tab. 5). W przypadku mocznika i saletry amonowej technika ich stosowania nie różnicowała zawartości fosforu w korzeniach.

Poziomy nawożenia azotowego nie różnicowały pobierania przez kukurydzę żadnego z analizowanych składników mineralnych (tab. 7). Wynika to z małych potrzeb pokarmowych kukurydzy w początkowym okresie wzrostu. Dotyczyło to również azotu, czyli składnika, którego zmian w pobieraniu, pod wpływem wzrastających dawek azotu należało najbardziej oczekiwać. Pobieranie fosforu i potasu zależało od rodzaju nawozu. Najwięcej tych składników pobrały rośliny nawożone nawozem wieloskładnikowym, natomiast najmniej nawożone mocznikiem. Różnice w pobieraniu fosforu wywołane formami nawozów były istotne. Natomiast pobieranie potasu na obiektach nawożonych mocznikiem i saletrą amonową było takie samo.

Tabela 7. Pobieranie składników mineralnych przez kukurydzę (2000-2003)

Table 7. Uptake of mineral components by maize (2000-2003)

Wyszczególnienie Specification		Pobieranie w mg/roślinę – Uptake in mg/plant					
		N	P	K	Mg	Ca	Na
Dawka N w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N dose in kg ha^{-1}	25	28,266	2,529	27,746	1,072	3,849	0,165
	60	30,134	2,558	27,475	1,157	3,901	0,117
	95	28,309	2,350	26,055	1,008	3,685	0,137
	130	28,836	2,489	26,913	1,130	3,903	0,146
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
mocznik – urna		28,625	2,283	26,135	1,101	3,788	0,132
Rodzaj nawozu Kind of fertilizer	saletra amonowa ammonium nitrate	29,092	2,457	26,703	1,077	3,828	0,152
	hydrofoska	29,685	2,704	28,304	1,098	3,887	0,139
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n.	0,1432	1,5451	r.n.	r.n.	r.n.
Sposób nawożenia Method of fertilization	rzutowy – broadcast	26,075	2,343	27,474	1,067	3,878	0,142
	rzędowy – in rows	32,192	2,620	26,620	1,117	3,791	0,140
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	0,5857	0,0475	0,5326	0,0216	0,0772	r.n.

r.n. – różnice nieistotne – no significant differences.

Korzystny wpływ nawozu wieloskładnikowego na pobieranie składników mineralnych, zwłaszcza fosforu, potwierdzają Moskal [13] i Murphy [15]. Według tych autorów pobieranie fosforu przez rośliny uzależnione jest od pobrania nieorganicznych związków azotowych, jako rezultat wzajemnych powiązań fizjologicznych w metabolizmie rośliny.

Największy wpływ na pobieranie składników mineralnych przez rośliny kukurydzy, w fazie 4-5 liści, wywierała technika stosowania nawozów. Niezależnie od poziomu nawożenia azotowego i rodzaju nawozu istotnie więcej azotu, fosforu i magnezu pobrały rośliny nawożone rzędowo, w porównaniu do nawożenia rzutowego. Różnice te wynosiły odpowiednio 6,117 mg/roślinę, 0,277 mg/roślinę i 0,05 mg/roślinę. Większe pobieranie fosforu, w 41 dniu od daty siewu, w wyniku nawożenia rzędowego, zarówno odmian reagujących jak i nie reagujących na sposób nawożenia, wykazali Rhoads i Wright [16]. Nawożenie rzędowe ograniczało natomiast pobieranie potasu i wapnia w porównaniu do nawożenia na całą powierzchnię, odpowiednio o 0,854 mg/roślinę i o 0,087 mg/roślinę. Wielu autorów wskazuje, że największy wpływ na skuteczność nawożenia startowego, wyrażoną między innymi zwiększonym pobieraniem składników mineralnych, mają warunki meteorologiczne, głównie termiczne [11,14,15,21,22]. Nie znalazło to potwierdzenia w badaniach własnych, ponieważ pomimo korzystnych warunków termicznych we wszystkich latach badań, największy wpływ na zawartość składników mineralnych w częściach nadziemnych roślin i w korzeniach oraz na ich pobieranie przez rośliny wywierał sposób nawożenia. Przeprowadzone badania wskazują jednak, że pomimo panujących we wszystkich latach niedoborów wody w glebie, przy stosunkowo wysokich temperaturach, pobieranie azotu i fosforu (czyli składników mineralnych których pobieranie jest najbardziej uzależnione od warunków termicznych) było zdecydowanie wyższe przy nawożeniu startowym w porównaniu do nawożenia rzutowego. Dane literaturowe wskazują, że w optymalnych warunkach termicznych sposoby nawożenia nie powinny różnicować pobierania tych składników. Zjawisko to można tłumaczyć korzystniejszym umiejscowieniem nawozu, podczas nawożenia startowego, a więc w warstwie gleby penetrowanej przez korzenie kukurydzy. Przy nawożeniu rzutowym nawóz pozostaje w spulchnionej wierzchniej warstwie, stąd jego wykorzystanie zależy w dużym stopniu od wilgotności gleby. Natomiast nawożąc kukurydzę metodą startową nawóz jest umieszczany w nie rozluźnionej, wilgotnej warstwie gleby, stąd jego wykorzystanie w mniejszym stopniu zależy od okresowych braków wody.

Pobieranie azotu, fosforu, potasu, magnezu i wapnia zależało od współdziałania dawek azotu i sposobu nawożenia (tab. 8). Nawożenie rzędowe zwiększało, w porównaniu do nawożenia rzutowego, pobieranie azotu przez rośliny na wszystkich poziomach nawożenia azotowego. Różnica w ilości pobranego azotu,

na korzyść nawożenia startowego, zmniejszała się stopniowo w miarę wzrostu dawki azotu od 8,487 mg/roślinę przy dawce 25 kg N·ha⁻¹ do 3,859 mg/roślinę przy dawce 130 kg N·ha⁻¹. Pobieranie fosforu przebiegało podobnie jak azotu, jednakże więcej tego składnika pobierały rośliny nawożone rzutowo w granicach dawek 25 do 95 kg N·ha⁻¹. Sposób wysiewu dawki 130 kg N·ha⁻¹ nie różnicował ilości pobranego fosforu. Nawożenie rzędowe zwiększało ilość pobranego potasu i magnezu jedynie na obiektach nawożonych najniższą dawką azotu (25 kg N·ha⁻¹).

Tabela 8. Pobieranie składników mineralnych przez rośliny kukurydzy w zależności od dawek azotu i sposobu nawożenia (2000-2003)

Table 8. Uptake of mineral components by maize plants in dependence on the doses of nitrogen and the method of fertilization (2000-2003)

Składnik Mineralny Component	Dawka N N dose kg·ha ⁻¹	Sposób nawożenia - Method of fertilization	
		rzutowy – broadcast	rzędowy – in rows
		mg na roślinę – mg per plant	
Azot Nitrogen	25	24,02	32,51
	60	26,49	33,75
	95	25,88	30,74
	130	27,91	31,77
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	I/II = 1,171; II/I = 5,066	
Fosfor Phosphorus	25	2,25	2,81
	60	2,40	2,71
	95	2,22	2,48
	130	2,50	2,48
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	I/II = 0,095; II/I = 0,417	
Potas Potassium	25	26,63	28,86
	60	27,43	27,52
	95	26,94	25,17
	130	28,90	24,93
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	I/II = 1,065; II/I = 4,574	
Magnez Magnesium	25	0,98	1,16
	60	1,11	1,20
	95	1,02	0,99
	130	1,15	1,11
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	I/II = 0,123; II/I = 0,208	
Wapń Calcium	25	3,82	3,88
	60	3,83	3,97
	95	3,79	3,59
	130	4,07	3,73
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	I/II = 0,154; II/I = 0,651	

Przy dawce 60 kg N·ha⁻¹ ilości pobranego K, wywołane sposobami nawożenia, były podobne. Natomiast przy wyższych dawkach azotu, stosowanych rzędowo, pobieranie potasu zmniejszało się, w porównaniu do nawożenia rzutowego, o 1,776 mg/roślinę

przy dawce 95 kg N·ha⁻¹ do 3,97 mg/roślinę przy dawce 130 kg N·ha⁻¹. Sposób aplikacji nawozu nie determinował pobierania magnezu przy nawożeniu azotowym powyżej 60 kg N·ha⁻¹. Rzędowy sposób wysiewu nawozów ograniczał pobieranie wapnia, w stosunku do nawożenia rzutowego, jedynie przy wysokim poziomie nawożenia azotowego wynoszącym 95 i 130 kg N·ha⁻¹. Sposób wysiewu niższych dawek azotu nie różnicował pobierania wapnia przez kukurydzę.

Nawożenie rzędowe wszystkich form nawozów zwiększało pobieranie azotu i fosforu, w odniesieniu do nawożenia rzutowego (tab. 9). Różnica w ilości pobranego azotu na korzyść nawożenia rzędowego wynosiła 4,348 mg/roślinę w przypadku mocznika, 6,026 mg/roślinę w przypadku saletry amonowej i 7,977 mg/roślinę w przypadku hydrofoski. Sposób nawożenia nie różnicował ilości pobranego fosforu na obiektach nawożonych mocznikiem. Natomiast nawożenie rzędowe saletrą amonową względnie hydrofoską zwiększało pobieranie tego składnika odpowiednio o 0,197 mg/roślinę i 0,618 mg/roślinę, w porównaniu do nawożenia rzutowego. Sposób nawożenia nie wpływał na pobieranie potasu na obiektach gdzie stosowano nawóz wieloskładnikowy. Natomiast rzędowy wysiew mocznika i saletry amonowej ograniczał pobieranie potasu, w porównaniu do nawożenia rzutowego, odpowiednio o 1,947 mg/roślinę i o 1,236 mg/roślinę.

Tabela 9. Pobieranie N, P i K przez rośliny kukurydzy w zależności od rodzaju nawozu i sposobu nawożenia (2000-2003)

Table 9. Uptake of N, P and K by maize plants in dependence on the kind of fertilizer and the method of fertilization (2000-2003)

Składnik Mineralny Component	Rodzaj nawozu Kind of fertilizer	Sposób nawożenia - Method of fertilization	
		rzutowy – broadcast g·kg ⁻¹ sm	rzędowy – in rows g kg ⁻¹ dm
Azot Nitrogen	mocznik – urna	26,45	30,80
	saletra amonowa ammonium nitrate	26,08	32,11
	hydrofoska	25,70	33,67
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	I/II = 1,143; II/I = 1,840	
Fosfor Phosphorus	mocznik – urna	2,27	2,29
	saletra amonowa ammonium nitrate	2,36	2,56
	hydrofoska	2,39	3,01
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	I/II = 0,082; II/I = 0,153	
Potas Potassium	mocznik – urna	27,11	25,16
	saletra amonowa ammonium nitrate	27,32	26,08
	hydrofoska	28,00	28,61
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	I/II = 0,922; II/I = 1,667	

WNIOSKI

1. Niezależnie od warunków pogodowych, zasobności gleby w azot i rodzaju nawozu startowy sposób nawożenia przyczyniał się do zwiększenia zawartości azotu i fosforu w suchej masie części nadziemnych młodych roślin kukurydzy oraz zmniejszenia zawartości potasu i wapnia.

2. Nawożenie startowe korzystnie wpływało na pobieranie przez kukurydzę w początkowym okresie wzrostu azotu, fosforu i magnezu, natomiast ograniczało pobieranie potasu i wapnia w porównaniu do tradycyjnego nawożenia rzutowego.

3. Poziomy nawożenia azotowego nie różnicowały ilości pobranych składników mineralnych przez pojedynczą roślinę w początkowym okresie wegetacji kukurydzy. Najniższa dawka azotu ($25 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) istotnie obniżała zawartość azotu i zwiększała zawartość potasu w suchej masie roślin w porównaniu do wyższych poziomów nawożenia azotowego ($60\text{-}130 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$).

4. Stosowanie nawozu wieloskładnikowego (hydrofoski) zwiększało pobieranie fosforu i potasu oraz zawartość tych składników w suchej masie roślin w fazie 4-5 liści w stosunku do nawozów azotowych (mocznika i saletry amonowej).

PIŚMIENNICTWO

1. **Arnon I.**: Mineral nutrition of maize. International Potash Institute, Bern-Worblaufen/Switzerland, 1975.
2. **Carey R.W., Berry J.A.**: Effects of low temperature on respiration and uptake of rubidium ions by excised barley and corn roots. *Plant Physiol.*, 61, 858-860, 1978.
3. **Ching P.C., Barber S.A.**: Evaluation of temperature effects on K uptake by corn. *Agronomy J.*, 71, 1040-1044, 1979.
4. **Dibb W.D., Fixen E.P., Murphy S.L.**: Balanced fertilization with particular reference to phosphates: Interaction of phosphorus with other inputs and management practices. Potash & Phosphate Institute, Atlanta, Georgia, 1-27, 1989.
5. **Dubas A., Duhr E.**: Wpływ sposobu nawożenia fosforem na plonowanie kukurydzy. *Pam. Puł.*, 81, 131-139, 1983.
6. **El-Hamdi K.H., Woodard H.J.**: Response of early corn growth to fertilizer phosphorus rates and placement methods. *J. of Plant Nutrition*, 18(6), 1103-1120, 1995.
7. **Fotyma M., Kęsik K.**: Ocena skuteczności rzędowego stosowania superfosfatu przy użyciu siewnika kombinowanego konstrukcji polskiej. *Pam. Puł.*, 82, 179-190, 1984.
8. **Hempler K.**: Anbau und Verwertung von Körnermais. *Der Stickstoff*, 7, 49-58, 1969.
9. **Koter Z., Jeśmanowicz A., Krawczyk Z., Kukula S.**: Wzrost i plonowanie dwu mieszańców kukurydzy w zależności od sposobu stosowania nawozów mineralnych. IUNG Puławy, R(132), 24-36, 1978.
10. **Kruczek A., Księżak J.**: Technologia produkcji kukurydzy – Potrzeby pokarmowe kukurydzy i zasady nawożenia. Wyd. Wieś Jutra, pod red. A.Dubasa, Warszawa, 40-51, 2004.
11. **Mackay A.D., Barber S.A.**: Soil temperature effects on root growth and phosphorus uptake by corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48, 818-823, 1984.
12. **Mollier A., Pellerin S.**: Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. *Journal of Exp. Botany*, 50(333), 487-497, 1999.

13. **Moskal S.:** Przemiany nawozów fosforowych w glebie. Prace naukowe Instytutu Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych, Politechnika Wrocław, 4, 33-87, 1972.
14. **Mozafar A., Schreiber P., Oertli J.J.:** Photoperiod and root-zone temperature: Interacting effects on growth and mineral nutrients of maize. *Plant and Soil*, 153, 71-78, 1993.
15. **Murphy L.S.:** Recent developments in fluid fertilizer application techniques. ANDA Fluid Fertilizers Seminar, Sao Paulo, Brazil, October 25-26, 1-27, 1984.
16. **Rhoads F.M., Wright D.L.:** Root mass as a determinant of corn hybrid response to starter fertilizer. *Journal of Plant Nutrition*, 21(8), 1743-1751, 1998.
17. **Schaff B.E., Skogley E.O.:** Diffusion of potassium, calcium and magnesium in Bozeman silt loam as influenced by temperature and moisture. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46, 521-524, 1982.
18. **Scroeder J.J., Groenwold j., Zaharieva T.:** Soil mineral nitrogen availability to young maize plants as related to root density distribution and fertilizer application method. *Netherland Journal. Agric. Sci.*, 44(3), 209-225, 1996.
19. **Sleight D.M., Sander D.H., Peterson G.A.:** Effect of fertilizer phosphorus placement on the availability of phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48, 336-340, 1984.
20. **Sowiński P.:** Wrażliwość kukurydzy na chłód. Cz. II. System korzeniowy, regulacja funkcjonowania rośliny, perspektywy hodowli. *Biuletyn IHAR*, 214, 3-16, 2000.
21. **Tlustos P., Balik J., Pavlikova D., Vanek V.:** Vyuziti dusiku kukurici po lokalni aplikaci siaranu amonneho. *Rostlinna Vyroba*, 43(1), 13-18, 1997.
22. **Van Dijk W., Brouwer G.:** Nitrogen recovery and dry matter production of silage maize as effected by subsurface application of mineral nitrogen fertilizer. *Netherland J. Agric. Sci.*, 46(2), 139-155, 1998.
23. **Yanai J., Linehan D.J., Robinson D., Young I.M., Hackett C.A., Kyuma K., Kosaki T.:** Effect of inorganic nitrogen application on the dynamic of the soil solution composition in the root zone of maize. *Plant and Soil*, 180(1), 1-9, 1996.

EFFECT OF METHOD OF APPLICATION OF NITROGEN FERTILIZERS AND A MULTIPLE FERTILIZER ON ACCUMULATION OF MINERAL COMPONENTS IN INITIAL PERIOD OF MAIZE GROWTH

Andrzej Kruczek, Hanna Sulewska

Department of Plant and Soil Cultivation, University of Agriculture
ul. Mazowiecka 45/46, 60-623 Poznań
e-mail: kruczek@au.poznan.pl

Abstract. The research was carried out at the Experimental Station in Swadzim near Poznań, in the years 2000-2003. The objective was to determine the influence of the level nitrogen fertilization, the kind of fertilizer and the method of its application, on stimulation of maize initial growth, expressed by the accumulation of mineral components. The starter fertilization increased the content of nitrogen by about 0.64% and the content of phosphorus by about 0.02%, and decreased the content of potassium by about 0.36% and that of calcium by about 0.05% in dry mass of young maize plants, independently from weather conditions, level of nitrogen fertilization and the kind fertilizer. Starter fertilization had a positive affect on maize plants uptake, in the initial period of their development, of nitrogen, phosphorus and magnesium, but limited the uptake of potassium and calcium, in comparison to traditional broadcast fertilization.

Key words: in rows fertilization, nitrogen, multiple fertilizer