

## PHOSPHORUS AND SULPHUR ACCUMULATION AND MOBILITY IN MAIZE CULTIVATED FOR SILAGE AS DEPENDENT ON FARMYARD MANURE AND NITROGEN RATE

### Summary

*The aim of the research was to assess the content of total phosphorus and total sulphur as well as to evaluate the mobility of these elements in the above-ground and underground parts of maize cultivated for silage and fertilized with farmyard manure and nitrogen. The samples of maize were collected from long-term, static field experiment founded at Agriculture Experiment Station at Grabowo on the Vistula. The first experimental factor was farmyard manure fertilization applied at following rates: 0, 20, 40, 60 and 80 t ha<sup>-1</sup>, while the second was ammonium nitrate applied at the rates: 0, 45, 90 and 135 kg N ha<sup>-1</sup>. It was found that both total phosphorus and total sulphur contents significantly depended on applied farmyard manure and nitrogen fertilization. The highest total phosphorus accumulation was noted both in above-ground and underground parts of maize taken from objects fertilized with FYM at the rate 45 kg N ha<sup>-1</sup>. The highest total sulphur uptake of maize was observed from objects fertilized by manure at the rate of 60 t ha<sup>-1</sup>.*

## AKUMULACJA ORAZ MOBILNOŚĆ FOSFORU I SIARKI W KUKURYDZY UPRAWIANEJ NA KISZONKĘ W ZALEŻNOŚCI OD DAWKI OBORNIKA I AZOTU

### Streszczenie

*Celem badań była ocena zawartości fosforu ogółem, oraz siarki ogółem jak i mobilności tych pierwiastków w części nadziemnej i podziemnej kukurydzy (*Zea mays* L.) uprawianej na kiszonkę nawożonej obornikiem i azotem. Kukurydzę do analiz chemicznych pobrano z wieloletniego, statycznego doświadczenia polowego założonego na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego w Grabowie nad Wisłą. Pierwszym czynnikiem doświadczalnym było nawożenie obornikiem w dawkach: 0, 20, 40, 60 i 80 t ha<sup>-1</sup>, natomiast drugim – nawożenie saletrą amonową w dawkach: 0, 45, 90 i 135 kg N ha<sup>-1</sup>. Stwierdzono, że zawartość fosforu ogółem jak i siarki ogółem w istotny sposób zależała od zastosowanego w doświadczeniu nawożenia obornikiem i azotem. Największą akumulację fosforu ogółem w zarówno w części nadziemnej, jak i podziemnej stwierdzono w kukurydzy zebranej z obiektów nawożonych obornikiem w dawce 60 t ha<sup>-1</sup> i azotem w dawce 45 kg ha<sup>-1</sup>. Pobranie siarki przez kukurydzę było największe na obiektach nawożonych obornikiem w dawce 60 t ha<sup>-1</sup>.*

### 1. Wprowadzenie

Stan zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe zależy zarówno od ich zdolności do absorpcji pierwiastków, jak i zdolności gleby do zabezpieczenia ich dopływu do korzeni roślin [13]. Kukurydza, z racji ilości i jakości wytwarzanej biomasy, jest gatunkiem mającym wysokie potrzeby pokarmowe [19], dlatego warunkiem powodzenia jej uprawy jest dostarczenie roślinom wystarczających dla prawidłowego rozwoju ilości składników pokarmowych [24]. Wymagany z tych względów wysoki poziom nakładów kwalifikuje ją do gatunków intensywnych. Duże wymagania pokarmowe kukurydzy zaspakajane są głównie składnikami mineralnymi pochodzącymi z naturalnych zasobów gleby oraz dostarczonymi w postaci nawozów mineralnych [21]. Jednak w ostatnich latach w warunkach intensywnej produkcji roślinnej pojawiły się tendencje do zwiększania poziomu nawożenia azotem, bez zachowania właściwych proporcji do pozostałych składników pokarmowych. Wymagania pokarmowe roślin w stosunku do siarki, która silnie wpływa na wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych i indukację systemu odporności roślin na choroby grzybowe, zbliżone są jak w stosunku do fosforu [22].

Podjęte badania miały na celu określenie efektów nawożenia kukurydzy uprawianej na kiszonkę wzrastającymi

dawkami obornika i azotu na zawartości oraz mobilności fosforu i siarki w części nadziemnej i podziemnej tego gatunku.

### 2. Materiał i metody

Za podstawę badań przyjęto wieloletnie, statyczne doświadczenie polowe, które założono w 1980 roku przez Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia Instytutu Uprawy i Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Doświadczenie prowadzono na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego w Grabowie nad Wisłą, woj. mazowieckie, powiat zwoleński, gmina Przyłęk (szerokość geograficzna północna 51°21'8'', długość geograficzna wschodnia 21°40'8'', klimat nizinny umiarkowanych szerokości geograficznych). Gleby, na których przeprowadzono doświadczenie zakwalifikowano jako gleby płowe typowe, zaliczane do klasy IVa użytków rolnych i kompleksu żyniego bardzo dobrego.

Analiza składu granulometrycznego wykazała, że na badanych obiektach występują piaski gliniaste mocne. Gleba charakteryzowała się odczynem lekko kwaśnym, pH w H<sub>2</sub>O mieściło się w zależności o obiektu nawozowego w przedziale od 5,93 do 6,25, a mierzone 1 mol·dm<sup>-3</sup> w KCl – od 5,63 do 5,85. Zawartość związków węgla organicznego wynosiła średnio dla wszystkich obiektów 10,09 g·kg<sup>-1</sup>,

a azotu ogółem – 0,995 g·kg<sup>-1</sup>. Zawartość fosforu przyswajalnego w glebie wynosiła średnio 90,0 mg·kg<sup>-1</sup>, co według kryteriów zawartych w PN-R-04023 [1996] klasyfikuje do klasy I o wysokiej zawartości fosforu przyswajalnego dla roślin. Natomiast zawartość siarki siarczanowej wynosiła 14,41 mg·kg<sup>-1</sup>. Doświadczenie prowadzono jako dwuczynnikowe, metodą split-plot. Pierwszym czynnikiem było nawożenie obornikiem bydlęcym w dawkach: 0, 20, 40, 60 i 80 t·ha<sup>-1</sup>, drugim natomiast – nawożenie azotem w dawkach: N<sub>0</sub> – 0, N<sub>1</sub> – 45, N<sub>2</sub> – 90 i N<sub>3</sub> – 135 kg N·ha<sup>-1</sup>.. Nawożenie fosforem (superfosfat potrójny granulowany – 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) i potasem (60% sól potasowa) na wszystkich obiektach doświadczalnych było jednakowe i wynosiło 24 kg P·ha<sup>-1</sup> oraz 132 kg K·ha<sup>-1</sup>.

Kukurydzę (odmiana Nimba FAO 260) uprawiano w czteroletnim zmianowaniu: ziemniak, pszenica ozima, jęczmień jary, kukurydza. W trakcie zbioru była ona w pełnej dojrzałości woskowej (BBCH 85 – wrzesień). Kukurydza zebrano w 2004 roku, czyli w 24. roku trwania doświadczenia polowego.

W roku badań przebieg pogody charakteryzował się zmiennymi warunkami hydrotermicznymi. Na ogół bilans wody gleby układał się korzystnie dla rozwoju kukurydzy. Jedynie w maju wystąpiły chwilowe niedobory deszczu. Lipiec z wyższymi temperaturami i znacznymi opadami deszczu umożliwił roślinom wzrost i rozwój. Wszystkie zabiegi uprawowe i pielęgnacyjne przeprowadzono zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami prawidłowej agrotechniki dla kukurydzy.

Po zbiorze kukurydzy oddzielono część nadziemną od części podziemnej i na próbach z kombinacji wykonano następujące analizy chemiczne:

- zawartość fosforu ogółem metodą Mehta i in. [11],
- zawartość siarki ogółem [2].

Na podstawie otrzymanych wartości obliczono wartość indeksu translokacji fosforu (IT<sub>P</sub>) i siarki (IT<sub>S</sub>) w kukurydzy [5].

Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji, a istotność różnic między średnimi weryfikowano testem Tukey'a na poziomie ufności p=0,05. Do obliczeń wykorzystano program FR-ANALWAR na bazie Microsoft Excel.

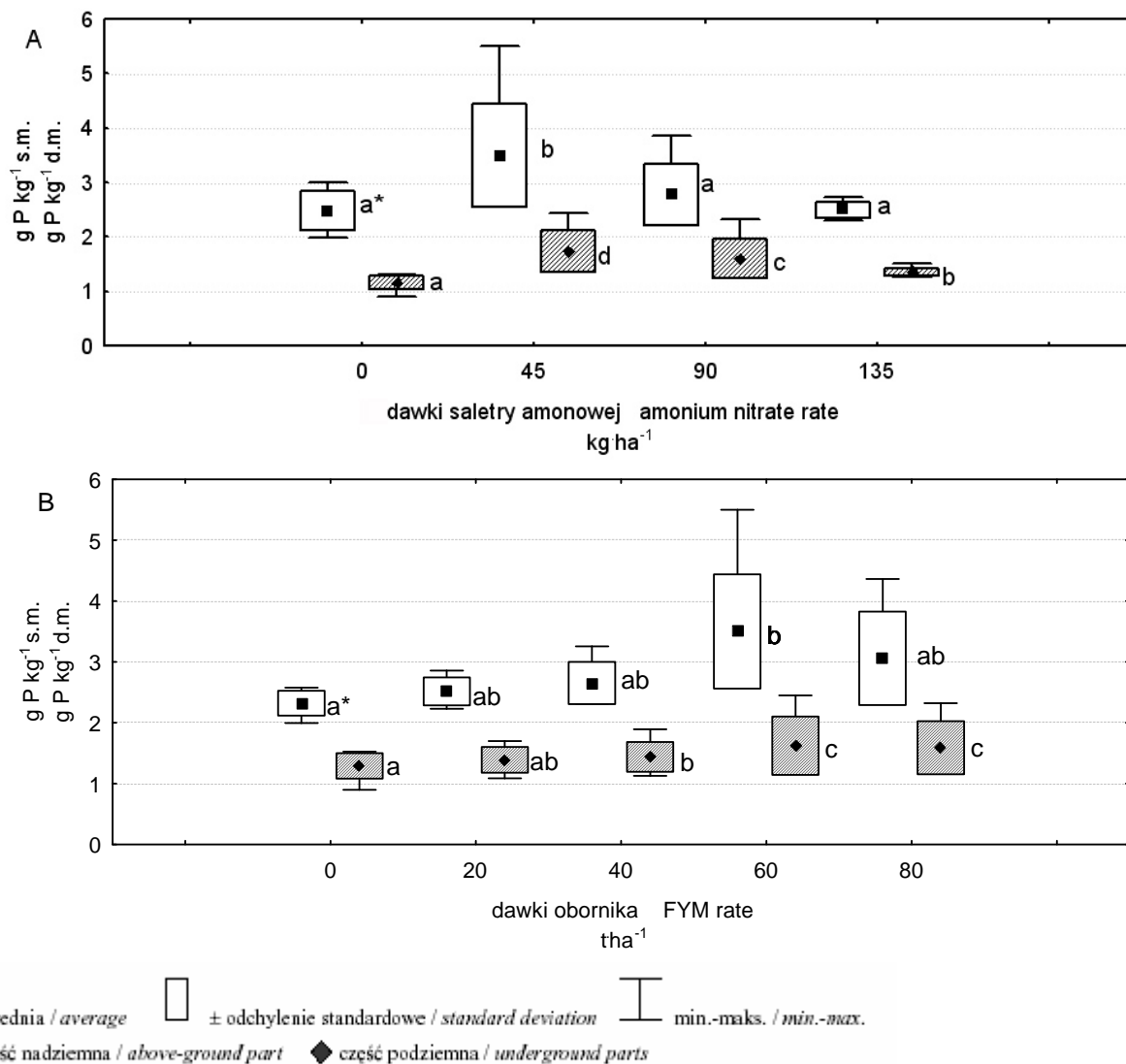
### 3. Wyniki i dyskusja

Zawartość fosforu w całej kukurydzy mieściła się w zakresie od 3,03 do 6,94 kgP·ha<sup>-1</sup> (tab. 1). Stosowane poziomy nawożenia obornikiem i azotem wywierały istotny wpływ na akumulację fosforu ogółem w części nadziemnej i korzeniach kukurydzy uprawianej na kiszonkę. Istotnie największą zawartość P<sub>og</sub> stwierdzono w kukurydzy nawożonej obornikiem w dawce 60 t·ha<sup>-1</sup> (3,501 g·kg<sup>-1</sup> w części nadziemnej i 1,622 g·kg<sup>-1</sup> w korzeniach średnio dla dawek azotu) (rys. 1 A i B). Sądej [13] stwierdziła, że rośliny nawożone obornikiem charakteryzowały się z reguły wyższą zawartością fosforu, niż te, które nawożono tylko mineralnie. Natomiast Stępień i in. [20] uważają, że obornik tylko w niewielki sposób wpływa na zawartość fosforu w roślinach (ziemniak, pszenżyto jare, żyto) w porównaniu do wieloletniego nawożenia superfosfatem, na skutek tak zwanego „efektu rozcieńczenia” fosforu w roślinie przy wyższym plonowaniu na poletkach nawożonych obornikiem.

Zawartość fosforu w części nadziemnej rośliny testowej pod wpływem nawożenia azotem mieściła się w zakresie od 2,474 g·kg<sup>-1</sup> do 3,488 g·kg<sup>-1</sup>. Natomiast w części podziemnej zawartość P<sub>og</sub> była mniejsza i kształtowała się w zakresie od 1,169 g·kg<sup>-1</sup> do 1,737 g·kg<sup>-1</sup> (rys. 1 A i B). Zwiększanie dawki azotu z 0 do 45 kg N·ha<sup>-1</sup> powodowało zwiększenie zawartości fosforu w badanych częściach kukurydzy. Największą istotną zawartość P<sub>og</sub> (3,488 g·kg<sup>-1</sup> w części nadziemnej oraz 1,737 g·kg<sup>-1</sup> w części podziemnej) stwierdzono przy dawce 45 kg N·ha<sup>-1</sup> azotu. Nawożenie azotem w dawkach 90 i 135 kg N·ha<sup>-1</sup> w istotny sposób zmniejszało zawartość P<sub>og</sub> w części nadziemnej i podziemnej kukurydzy. W badaniach Zimnego i Kuca [25] zwiększanie dawek azotu powyżej 100 kg N·ha<sup>-1</sup> skutkowało zmniejszeniem zawartości fosforu zarówno w korzeniach, jak i liściach buraka. Knapowski i in. [7] uważają, że brak równowagi przy nawożeniu mineralnym, szczególnie poprzez stosowanie wysokich dawek azotu, może przyczynić się do obniżenia zawartości fosforu w roślinach i zakłócić równowagę między składnikami mineralnymi.

Tab. 1. Zawartość fosforu i siarki oraz pobranie tych składników i indeks translokacji (IT) dla kukurydzy  
Table 1. Phosphorus and sulphur content and uptake of the minerals and their translocation index (TI) for maize

Obornik / FYM [t ha <sup>-1</sup> ]	Azot / Nitrogen [kg ha <sup>-1</sup> ]	Plon / Yield t sm·ha <sup>-1</sup>	Zawartość / Content		Pobranie / Uptake		IT / TI	
			P g·kg <sup>-1</sup>	S g·kg <sup>-1</sup>	P kg·ha <sup>-1</sup>	S kg·ha <sup>-1</sup>	P	S
0	0	9,48	3,03	1,07	28,7	16,0	2,07	2,18
	45	11,44	4,05	1,10	46,3	20,0	1,73	1,57
	90	13,43	3,77	0,92	50,6	36,3	1,66	3,51
	135	13,08	3,60	1,20	47,1	33,1	1,79	3,50
20	0	10,97	3,40	1,05	37,2	17,3	1,97	2,09
	45	13,94	4,52	1,00	62,9	24,6	1,70	1,68
	90	14,50	3,94	0,93	57,1	26,3	1,75	3,38
	135	16,17	3,76	1,06	60,8	25,8	1,86	3,94
40	0	12,40	3,54	0,88	43,8	19,3	1,94	2,33
	45	13,85	4,97	0,66	68,8	18,5	1,78	2,15
	90	14,49	4,02	1,68	58,3	46,4	1,77	2,88
	135	15,16	3,83	0,99	58,0	43,6	1,90	2,21
60	0	13,89	4,6	1,04	59,1	28,4	2,37	1,13
	45	15,31	6,94	1,26	106	26,4	1,90	0,89
	90	14,90	5,27	1,06	78,5	42,2	1,61	3,14
	135	15,58	4,03	1,17	62,7	47,1	1,92	3,41
80	0	12,96	3,99	1,75	51,7	39,8	2,19	2,99
	45	15,92	5,65	2,01	90,0	43,7	3,14	1,71
	90	16,00	4,90	1,42	78,4	48,5	1,15	6,70
	135	16,12	4,02	1,49	64,8	46,8	1,76	5,25



\* grupy jednorodne według testu Tuckey'a przy  $p < 0,05$  / homogeneous groups according to the Tuckey's test,  $p < 0,05$

Rys. 1. Zawartość fosforu ogółem w kukurydzy w zależności od nawożenia  
 Fig. 1. Content of total phosphorus in corn according to the fertilization

Zawartość siarki ogółem w kukurydzy mieściła się w przedziale od  $0,828 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  do  $2,812 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  w części nadziemnej i od  $0,286 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  do  $1,704 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  w korzeniach (rys. 2 A i B). Zawartość siarki w całej roślinie kukurydzy zawierała się od  $1,34 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  do  $3,20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (tab. 1). Jest to ilość mniejsza od tej, jaką oznaczyli Szulc i Rutkowska [23], gdzie ilość S w kukurydzy odmiany PR 39D23 wynosiła od  $2,36 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  do  $3,58 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Według Motowickiej-Terelak i Terlak [12] zawartość siarki w kukurydzy zawiera się w przedziale od  $1,00$  do  $8,00 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m., z tym, że wartością progową jest  $5,00 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a wartości powyżej niej są wartościami ekstremalnymi, uzyskanymi w rejonach uprzemysłowionych. Zawartość siarki w kukurydzy w warunkach prowadzonego doświadczenia zależała od zastosowanego nawożenia. Wysokie dawki azotu (90 i  $135 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) powodowały nagromadzenie się siarki w organach nadziemnych (grupa jednorodna – b) i mniejszą jej kumulację w korzeniach w porównaniu do niższych dawek tego składnika (rys. 2 A i B). Nawożenie obornikiem także modyfikowało zawartość tego pierwiastka w uprawianym gatunku. Najmniejszą ilość siarki zarówno w części nadziemnej, jak i podziemnej, stwierdzono w kukurydzy nienawożonej (kontrola). Zawartość siarki z tych obiektów była od-

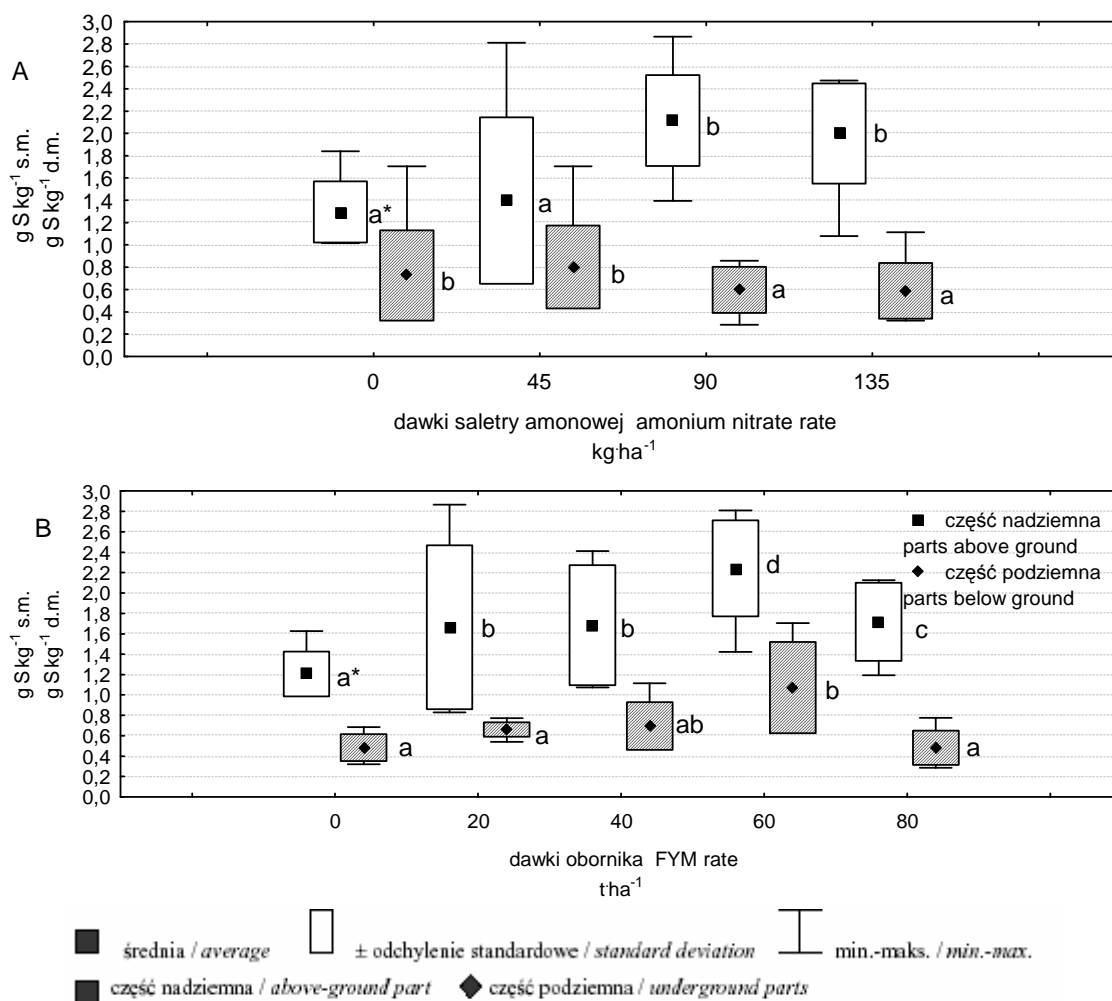
powiednio o 35% mniejsza w części nadziemnej i o 55% części poziomej w stosunku do obiektu z  $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  dawką nawozu naturalnego, gdzie stwierdzono największą kumulację tego pierwiastka w kukurydzy. Zwiększenie wielkości dawki obornika z  $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  na  $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  nie wpływało na zawartość siarki w kukurydzy, a często powodowało spadek tego pierwiastka (rys. 2B). Podobne tendencje, ale odnośnie plonu uprawianych roślin w tym zmianowaniu, zaobserwowali Maćkowiak i Żebrowski [10] tłumacząc te zmiany innym niż w pozostałych obiektach kierunkiem przemian substancji organicznej w glebie.

Pobranie fosforu przez kukurydzę kształtowało się w zakresie  $28,7\text{-}106 \text{ kg}\cdot\text{P}\cdot\text{ha}^{-1}$  i było uzależnione zarówno od nawożenia obornikiem, jak i azotem. Pobranie P wzrosło wraz ze wzrostem dawki obornika do  $60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Również Rabikowska i Piszcz [17] stwierdziły największe pobranie tego składnika pokarmowego z obiektów nawożonych obornikiem w dawce  $60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  co 4 lata. Natomiast wzrastające dawki zastosowanego w doświadczeniu azotu ( $90$  i  $135 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) powodowały zmniejszenie pobrania tego makroskładnika. Największy przyrost pobrania P otrzymano po zastosowaniu nawożenia obornikiem w dawce  $60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  i azotem w dawce  $45 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (średnio  $160 \text{ kg}$

P·ha<sup>-1</sup>) (tab. 1). Przy braku nawożenia obornikiem, pobranie fosforu było najmniejsze (43,19 kg P·ha<sup>-1</sup> średnio dla dawek azotu). Nawozy naturalne, do których należy obornik, są łatwo dostępnym źródłem fosforu dla roślin, gdyż w zależności od stopnia mineralizacji 50–70% całego fosforu zawartego w tych nawozach występuje w związkach mineralnych, głównie jako fosforany wapnia [16]. Średnie różnice pobrania fosforu między skrajnymi poziomami nawożenia azotem (0 i 135 kg N·ha<sup>-1</sup>) wyniosły od 3,6 do 26,6 kg P·ha<sup>-1</sup>, przy czym największą średnią różnicę pobrania fosforu stwierdzono przy nawożeniu obornikiem w dawce 20 t·ha<sup>-1</sup>. Oddziaływanie azotu na pobranie fosforu przez rośliny może wynikać z dodatniego wpływu azotu na produkcję biomasy kukurydzy oraz ujemną koncentrację fosforu w tkankach roślinnych [17].

Najmniejsze pobranie siarki przez kukurydzę stwierdzono na obiekcie bez nawożenia, gdzie wynosiło ono 16,0 kg S·ha<sup>-1</sup>. Największe natomiast (od 39,8 kg S·ha<sup>-1</sup> do 48,5 kg S·ha<sup>-1</sup>) odnotowano na obiektach nawożonych dawką nawozu naturalnego w ilości 40 t·ha<sup>-1</sup> i azotem N<sub>2</sub>, a także dawką obornika 60 t·ha<sup>-1</sup> i azotu N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub> oraz największą dawką obornika z wszystkimi dawkami nawożenia azotem (tab. 1). Fotyma [3] w doświadczeniu ze zróżnicowanymi dawkami nawożenia azotowego uzyskała podobny zakres przeciętnego pobrania siarki przez kukurydzę i wynosiło

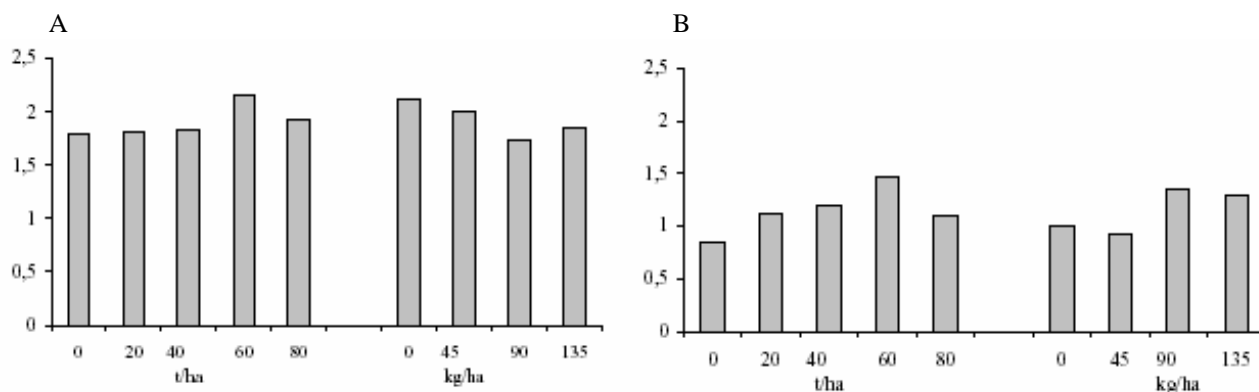
ono 20–40 kg S·ha<sup>-1</sup>. Według Lipińskiego i in [8] pobranie siarki przez statystyczny plon kukurydzy wynosił 35 kg S·ha<sup>-1</sup>, a wyższy od przeciętnego nawet 55 kg S·ha<sup>-1</sup>. Według Grzebisza i Przygockiej-Cyny [4] dla wydania plonu o odpowiedniej jakości (pobranie jednostkowe) kukurydza pobiera średnio 5,00 kg S na jedną tonę plonu. Obornik zawiera od 0,9 do 1,2 kg S·t<sup>-1</sup>. Zawarta w nim siarka występuje w postaci różnych związków. Ocenia się, że przeciętnie ok. 20% siarki całkowitej występuje w postaci siarczków, 40% stanowią organiczne połączenia węgla i siarki, a pozostałe 40%, to organiczne i nieorganiczne siarczany. Z uwagi na przeważającą ilość organicznych połączeń tego pierwiastka, wykorzystanie siarki z nawozów naturalnych jest stosunkowo małe [6]. W warunkach prowadzonego doświadczenia dawka obornika w ilości 80 t·ha<sup>-1</sup> dostarcza do gleby ok. 30–40 kg S·ha<sup>-1</sup>. Ilość wprowadzonej do gleby z obornikiem siarki może być czynnikiem limitującym plonowanie kukurydzy. Gatunek ten, ze względu na dużą ilość biomasy, ma większe od pozostałych zbóż wymagania względem zapotrzebowania na siarkę [19]. Zawartość siarki siarczanowej (średnio dla wszystkich obiektów nawozowych ok. 14,41 mg S·kg<sup>-1</sup>) klasyfikuje analizowaną glebę do średniej zasobności w ten pierwiastek i dla uprawy kukurydzy wymaga uzupełnienia zawartości tego składnika w ilości średnio 55 kg S·ha<sup>-1</sup> [8].



\* grupy jednorodne według testu Tuckey'a przy p<0,05 / homogeneous groups according to the Tuckey's test, p<0,05

Rys. 2. Zawartość siarki ogółem w kukurydzy w zależności od nawożenia  
Fig. 2. Content of total sulphur in corn according to the fertilization

Miarą ruchliwości składników pokarmowych dla roślin jest indeks translokacji, oceniający kierunek przemieszczania się składników pokarmowych w badanych roślinach, który zależy od gatunku rośliny i właściwości gleby [1]. Na podstawie otrzymanych wartości zawartości fosforu ogółem w części nadziemnej i podziemnej kukurydzy obliczono indeks translokacji fosforu i siarki, określający mobilności tych pierwiastków w badanej roślinie. Wartość IT dla fosforu mieściła się w zakresie od 1,15 do 3,14 (średnio dla dawek obornika i azotu) (tab. 1). Wysoki stopień przemieszczania się fosforu z części podziemnych kukurydzy do części nadziemnych świadczy o dużej mobilności tego pierwiastka, a jego tempo było uzależnione od ilości wprowadzonego obornika. Wraz ze wzrostem poziomu nawożenia obornikiem do 60 t·ha<sup>-1</sup> kukurydza w największym stopniu gromadziła fosfor w części nadziemnej (wartość IT<sub>P</sub> był największy 2,160) (rys. 3A).



Rys. 3. Wartość indeksu translokacji fosforu (A) oraz wartość indeksu translokacji siarki dla kukurydzy (B)  
Fig. 3. Total phosphorus translocation index (A) and total sulphur translocation index for maize (B)

#### 4. Wnioski

1. Poziomy nawożenia obornikiem różnicowały pobranie fosforu i siarki przez kukurydzę. Największe pobranie tych pierwiastków stwierdzono na obiektach nawożonych obornikiem w dawce 60 t·ha<sup>-1</sup>.
2. Zastosowane poziomy nawożenia azotem wywierały istotny wpływ na akumulację fosforu i siarki w kukurydzy. Zwiększenie dawki azotu stosowanej przedsięwzięcie od 0 do 45 kg N·ha<sup>-1</sup> powodowało istotne zwiększenie fosforu ogółem w części nadziemnej i podziemnej kukurydzy oraz nagromadzenie siarki w części nadziemnej uprawianej rośliny.
3. Zawartość siarki siarczanowej klasyfikuje analizowaną glebę do średniej zasobności w ten pierwiastek i dla uprawy kukurydzy, która wytwarza dużą ilość biomasy, wymaga uzupełnienia zawartości tego składnika w postaci nawozów mineralnych.

#### 5. Literatura

- [1] Baran A., Jasiewicz Cz.: Toksyczna zawartość cynku i kadmu w glebie dla różnych gatunków roślin. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.*, 2009, 40, s. 157-164.
- [2] Bardsley C.E., Lancaster J.D.: Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soil. *Soil Soc. Am. Proc.*, 1960, 24, s. 265-268.
- [3] Fotyma E.: Wpływ nawożenia siarką na wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez rośliny w uprawie polowej. *Nawozy i nawożenie*, 2003, 4, s. 117-136.
- [4] Grzebisz W., Przygocka-Cyna K.: Aktualne problemy gospodarowania siarką w rolnictwie polskim. *Nawozy i Nawożenie*, 2003, nr 4, s. 64-75.
- [5] Jasiewicz Cz., Antonkiewicz J.: Ekstrakcja metali ciężkich przez rośliny z gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Cz. 2. Konopie siewne. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, 472, s. 331-339.
- [6] Kaczor A., Zuzanska J.: Znaczenie siarki w rolnictwie. *Chemia, Didaktyka, ekologia, meteorologia*, 2009, 14, 1-2, s. 69-78.
- [7] Knapowski T., Murawska B., Klupczyński Z., Ralcewicz M.: Uproszczony bilans fosforu w zależności od zróżnicowanego nawożenia azotem pszenicy ozimej. *Prace Nauk. AE Wrocław, Chemia*, 2001, 888, s. 238-245.
- [8] Lipiński W., Terlak H., Motowicka-Terlak T.: Propozycja liczb granicznych zawartości siarki siarczanowej w glebach mineralnych na potrzeby doradztwa nawozowego. *Roczn. Glebozn.*, 2003, 54, 3, s. 79-84.
- [9] Lityński T., Jurkowska H., Gorlach E.: *Analiza chemiczno-rolnicza*. Warszawa: PWN, 1976, s. 149.
- [10] Maćkowiak C., Żebrowski J.: Wpływ nawożenia obornikiem i doboru roślin w zmianowaniu na zawartość w glebie węgla organicznego i azotu ogólnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 1999, 465, s. 341-351.
- [11] Mehta N.C., Legg J.O., Goring C.A., Black C.A.: Determination of organic phosphorus in soils. *Soil Sci Soc. Amer. Proc.*, 1954, 44, s. 443-449.
- [12] Motowicka-Terlak T., Terelak H.: Siarka glebach i Polski - stan i zagrożenie. 1998, Biblioteka Monitoringu Środ., s. 44-52.
- [13] Piszcz U.: Działanie nawozów fosforowych na glebach o zróżnicowanej zasobności w ten składnik. *Nawozy i nawożenie*, 2002, 4, s. 198-209.
- [14] PN-R-04023. 1996. *Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych*. Warszawa: PKN.
- [15] PN-R-04033. 1998. *Gleby i utwory mineralne. Podział na frakcje i grupy granulometryczne*. Warszawa: PKN.

- [16] Potarzycki J.: Przemiany związków fosforu w glebie w zależności od systemu nawożenia w przeszłości. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 2006, 512: 465-473.
- [17] Rabikowska B., Piszcz U.: Bilans fosforu w warunkach długoletniego zróżnicowanego nawożenia obornikiem i azotem mineralnym. Nawozy i Nawożenie, 2002, 4, s. 149-159.
- [18] Sądej W.: Badania nad przemianami fosforu w glebach i jego wykorzystanie przez rośliny uprawne w warunkach zróżnicowanego nawożenia. Rozprawy i Monografie, ART Olsztyn, 2000, 33, s. 1-78.
- [19] Sądej W., Mazur Z.: Ocena wpływu różnych systemów wieloletniego nawożenia na wysokość i jakość plonu kukurydzy. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 2003, 494, s. 391-398.
- [20] Stępień M., Mercik S., Stępień W.: Regeneracja gleb ubogich w próchnicę oraz bardzo kwaśnych i wyczerpanych z fosforu przy pomocy obornika. Nawozy i Nawożenie, 2002, 4, s. 211-219.
- [21] Sulewska H., Koziara W., Panasiewicz K., Jazic P.: Efekty stosowania nawozów naturalnych w uprawie kukurydzy na ziarno i kiszonkę. J. Res. Appl. Agric. Engng., 2007, Vol. 52(4), s. 75-79.
- [22] Scherer H.W.: Sulphur in crop production - invited paper. Europ. J. Agron., 2001, 14, s. 81-111.
- [23] Szulc W., Rutkowska B.: Nawozy mineralne jako źródło siarki w świetle trwałych doświadczeń nawozowych. Zesz. Post. Nauk Rol., 2009, 538, s. 271-282.
- [24] Waligóra H., Szulc P., Skrzypczak W.: Plonowanie kukurydzy cukrowej w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem. J. Res. Appl. Agric. Engng., 2008, Vol. 53(4), s. 133-136.
- [25] Zimny L., Kuc P.: Zawartość podstawowych składników pokarmowych w buraku cukrowym w różnych systemach nawożenia w drugiej rotacji płodozmianu. Ann. UMCS, 2005, 60, s. 185-194.