

WPLYW CZĘŚCIOWO ROZŁOŻONEGO FOSFORYTU NA PLONOWANIE KUKURYDZY UPRAWIANEJ W MONOKULTURZE

Jarosław Potarzycki

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. Kukurydzę uprawiano w latach 2003-2007 w monokulturze w gospodarstwie zlokalizowanym w Nowej Wsi Królewskiej (52°26' N; 17°57' E). Dwuczynnikowe doświadczenie założono na glebie lekko kwaśnej, średnio zasobnej w przyswajalny fosfor. Czynniki doświadczalnymi były: 1) formułacja chemiczna nawozu (superfosfat prosty – SSP, superfosfat potrójny – TSP, częściowo rozłożony fosforyt – PAPR oraz kontrola – bez P), 2) dawka azotu (80 i 140 kg N·ha⁻¹). Plonotwórcze działanie TSP i PAPR (w dawce 26,4 kg P·ha⁻¹) niezależnie od poziomu nawożenia azotem było takie samo. Średnie efektywności agronomiczne fosforu (EA-P) dla TSP wynosiły 13,2 i 19,1 kg·kg⁻¹ (odpowiednio dla 80 i 140 kg N·ha⁻¹), a dla PAPR 14,4 i 17,8 kg·kg⁻¹. Częściowo rozłożony fosforyt może być więc alternatywnym źródłem fosforu dla kukurydzy uprawianej na ziarno. Wpływ siarki z SSP na plon kukurydzy był większy po zastosowaniu mniejszej dawki azotu. Brak fosforu w dawce nawozowej (kontrola bez P) wiązał się z obniżeniem plonu ziarna w zakresie 9-15%. Brak nawożenia fosforem skutkowało mniejszą liczbą ziarniaków w kolbie i mniejszą masą 1000 ziarniaków.

Słowa kluczowe: częściowo rozłożony fosforyt, kukurydza, nawożenie fosforem

WSTĘP

Spośród roślin uprawianych w klimacie umiarkowanym największą reakcją na nawożenie fosforem wykazuje kukurydza [Grzebisz i in. 2003]. Podczas rozwoju kukurydzy, podobnie jak większości roślin uprawnych, występują dwie oddalone w czasie fazy krytyczne pobierania fosforu, w których potrzeby roślin względem tego składnika są szczególnie duże [Mengel 1991]. Pierwsza przypada na początek wegetacji, gdy roślina buduje system korzeniowy, natomiast drugi okres krytyczny dotyczy fazy generatywnej. Ze względu na różną dynamikę pobierania fosforu w fazach krytycznych poszukuje się nawozów o zróżnicowanej szybkości działania, tak aby zapewnić roślinom dobre zaopatrzenie w ten składnik w całym okresie wegetacji.

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr Jarosław Potarzycki, Katedra Chemii Rolnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71f, 60-625 Poznań, e-mail: jarekpo@up.poznan.pl

Obok klasycznych, dobrze rozpuszczalnych w wodzie nawozów fosforowych, takich jak dwuwodorofosforan wapnia (superfosfaty) czy fosforan amonu, nośnikiem fosforu może być także częściowo rozłożony fosforyt, w którym fosfor występuje w połączeniach o różnej rozpuszczalności, czyli szybkości działania. Z danych literaturowych wynika, że reakcja kukurydzy na nawożenie fosforem w formie zmielonych fosforytów lub tylko częściowo przetworzonych minerałów zawierających fosfor może być zróżnicowana. W pracy Adedirana i in. [1998] stwierdzono, że efektywność częściowo rozłożonych fosforytów (PAPR) jest mniejsza niż superfosfatu prostego, lecz zwiększa się w kolejnych latach po zastosowaniu. Odmienne wyniki uzyskali McLay i in. [2000]; PAPR działał efektywniej niż superfosfat prosty, mimo że badania prowadzono na glebie obojętnej. W tym kontekście weryfikacji wymaga hipoteza o możliwości stosowania częściowo przetworzonych minerałów fosforowych jako nośnika tego składnika dla kukurydzy.

Celem badań było określenie reakcji plonotwórczej kukurydzy uprawianej w warunkach monokultury na nawożenie częściowo rozłożonym fosforytem (PAPR) na tle superfosfatu.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono w latach 2003-2007 w województwie wielkopolskim, w gospodarstwie zlokalizowanym w Nowej Wsi Królewskiej (52°26' N; 17°57' E). Doświadczenie założono na glebie brunatnej właściwej, wykształconej z gliny zwałowej, klasy bonitacyjnej IIIb, o odczynie lekko kwaśnym, charakteryzującej się średnią zasobnością w przyswajalny fosfor, potas i magnez oraz zawartością węgla organicznego wynoszącą 19,0 g·kg⁻¹ gleby (tab. 1). Warunki wilgotnościowe w okresie prowadzenia badań zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 1. Właściwości agrochemiczne warstwy ornej (warstwa 0-30 cm)

Table 1. Chemical properties of topsoil (depth 0-30 cm)

Wyszczególnienie – Specification	Wartość – Value
Odczyn – Soil reaction, 1 M KCl	5,80
C organiczny – Organic carbon, g·kg ⁻¹ gl.***	19,00
Fosfor przyswajalny – Available phosphorus, mg P·kg ⁻¹ *	57,20
Potas przyswajalny – Available potassium, mg K·kg ⁻¹ *	116,20
Magnez przyswajalny – Available magnesium, mg Mg·kg ⁻¹ **	50,00
Cynk przyswajalny – Available zinc, mg·kg ⁻¹ ****	6,00

* metoda Egnera-Riehma – Egner-Riehm method

** metoda Schachtschabela – Schachtschabel method

*** metoda Tiurina – Tiurin method

**** ekstrahowany 1 M HCl – extracted in 1 M HCl

Kukurydzę odmiany Eurostar uprawiano w monokulturze, bilansując dawki fosforu i potasu na poziomie 26,4 kg P·ha⁻¹ i 99,6 kg K·ha⁻¹.

Dwuczynnikowe doświadczenie prowadzono w układzie czterech bloków. Badano następujące czynniki:

1) formulację chemiczną fosforu w nawozie:

– SSP (superfosfat prosty granulowany – granulated simple superphosphate 20% P₂O₅; 12% S + KCl),

- TSP (superfosfat potrójny – triple superphosphate 46% P₂O₅ + KCl),
 - PAPR (Lubofos PK zawierający częściowo rozłożony fosforyt – partially acidulated phosphate rock 14% P₂O₅, 24% K₂O + KCl),
 - kontrola bez P;
- 2) dawkę azotu:
- 80 kg N·ha⁻¹,
 - 140 kg N·ha⁻¹.

Tabela 2. Opady w latach 2003-2007
Table 2. Rainfalls for 2003-2007

Rok Year	Suma opadów w sezonie wegetacyjnym Total rainfall in growth season mm*	Odchylenie w stosunku do wielolecia Deviation from the multiyear mean, %	Odchylenie w stosunku do wielolecia Deviation from the multiyear mean, %		
			czerwiec June	lipiec July	sierpień August
2003	199	-40	-58	+8	-75
2004	273	-18	-24	-53	+15
2005	311	-7	-55	-1	-2
2006	422	+27	-33	-80	+227
2007	444	+33	+45	+96	+21

* wielolecie – multiyear mean = 333

Wszystkie nawozy stosowano przedsięwzięcie około 2 tygodnie przed siewem kukurydzy. Azot wniesiono do gleby w formie saletry amonowej. Plon określono z powierzchni 24 m². Ocenie poddano następujące elementy struktury plonu: liczbę ziarniaków w kolbie, liczbę rzędów na kolbie, liczbę ziarniaków w rzędzie i masę 1000 ziarniaków.

Efektywność agronomiczną fosforu wyliczono z równania:

$$EA = (P_n - P_k) / D \text{ (kg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$$

gdzie:

- P_n – plon roślin nawożonych, kg,
- P_k – plon roślin kontrolnych (nienawożonych), kg,
- D – dawka składnika, kg.

Wyniki poddano analizie wariancji, a różnice oszacowano testem Tukeya. W pracy posłużono się ponadto metodą analizy współczynników ścieżki [Konys i Wiśniewski 1991].

WYNIKI I DISKUSJA

Średnie plony ziarna kukurydzy uzyskane w okresie 5-letnich badań zależały od dawki azotu i nawożenia fosforem (nie rodzaju nawozu), wykazując zmienność w latach badań (tab. 3). Istotne zmniejszenie plonu ziarna nastąpiło w dwóch ostatnich latach. Mimo bardzo korzystnych warunków wilgotnościowych w 2007 roku średni plon ziarna był aż 28% mniejszy w porównaniu z rokiem 2005, w którym plony były największe. Stwierdzona depresja plonu w ostatnim roku badań może wynikać z negatywnego oddziaływania systemu uprawy (monokultury) na wielkość plonu. Składową plonu

względnie stałą w latach i niezależną od czynników doświadczalnych okazała się liczba rzędów na kolbie. Wpływ dawki nawozu azotowego na plon ziarna był największy w 2001 i 2003 roku (tab. 4). W tych latach największy niedobór opadów wystąpił w czerwcu i sierpniu.

Tabela 3. Plon i struktura plonu kukurydzy
Table 3. Grain yield and yield structure of maize

Rok – Year Czynnik doświadczalny Experimental factor	Plon Yield t·ha ⁻¹	Liczba rzędów na kolbie – Number of rows on the cob	Liczba ziarniaków w rzędzie – Number of kernels in the row	Liczba ziarniaków w kolbie – Number of kernels in the cob	MTZ TKW g
Rok – Year					
2003	10,26	16,7	30,0	500	307
2004	9,99	15,7	29,4	453	313
2005	11,11	15,4	30,2	455	300
2006	9,54	16,0	30,7	484	296
2007	7,99	16,2	27,0	430	259
NIR – LSD	0,30**	0,4**	1,2**	22**	8**
Dawka N – N rate kg N·ha ⁻¹					
80	9,39	15,9	28,9	452	290
140	10,16	16,0	30,1	477	300
NIR – LSD	0,19**	ni – ns	0,8**	14**	5**
Rodzaj nawozu Fertilizer type					
SSP	10,15	16,2	29,7	471	300
TSP	9,98	16,1	29,5	468	295
PAPR	9,93	15,9	30,2	473	297
kontrola – control	9,05	15,8	28,5	446	288
NIR – LSD	0,27**	ni – ns	1,1*	19*	7**

* P < 0,05 – 0.05

** P < 0,01 – 0.01

ni – ns – różnica nieistotna – non-significant difference

Tabela 4. Reakcja plonotwórcza kukurydzy na wzrost poziomu nawożenia azotem z 80 do 140 kg·ha⁻¹ (80 kg N·ha⁻¹ = 100%)

Table 4. Yield response of maize to increasing nitrogen fertilization within the rates 80-140 kg·ha⁻¹ (80 kg N·ha⁻¹ = 100%)

Rodzaj nawozu Fertilizer type	Rok – Year					Średnia Mean
	2003	2004	2005	2006	2007	
SSP	111	101	110	109	103	107
TSP	114	102	115	109	105	109
PAPR	111	106	114	110	103	109
Kontrola – Control	113	104	112	106	102	107
Średnia – Mean	112	103	112	108	103	108

SSP – superfosfat prosty granulowany – granulated simple superphosphate

TSP – superfosfat potrójny – triple superphosphate

PAPR – częściowo rozłożony fosforyt – partially acidulated phosphate rock

Jednym z elementów oceny testowanych nawozów było porównanie superfosfatu pojedynczego (SSP) i potrójnego (TSP). Mimo takiego samego nośnika fosforu oba nawozy różnią się zawartością siarki, składnika, który w coraz szerszym zakresie staje się czynnikiem minimum produkcji roślinnej w Polsce i na świecie. Wpływ składu chemicznego nawozu (odniesiony do zawartości siarki) na uzyskane efekty plonotwórcze był większy po zastosowaniu mniejszej dawki azotu, a zanotowana zwyżka plonu w wariancie SSP względem TSP wynosiła 0,1-0,5 t·ha⁻¹ w zależności od roku badań. Niewielkie różnice należy tłumaczyć dużą produktywnością stanowiska i zasobami siarki organicznej, które były uruchamiane w latach wilgotnych, zwłaszcza w roku 2007. Szybkość mineralizacji materii organicznej w glebie jest bowiem funkcją nie tylko temperatury, lecz także dostępności wody [Honeycutt i in. 1994]. Wśród badanych elementów struktury plonu najsilniejsze działanie siarki z superfosfatu prostego zanotowano w odniesieniu do masy 1000 ziarniaków (MTZ). Według Mallarino i in. [1999] nawożenie kukurydzy siarką w okresie 5-letnich badań powodowało niewielkie różnice w plonie w porównaniu z obiektem kontrolnym. Autorzy wskazują jednak na dużą zmienność reakcji kukurydzy na nawożenie siarką w poszczególnych latach badań.

Rola poszczególnych elementów struktury plonu w kształtowaniu plonu ziarna była dość złożona, gdyż zależała od obu czynników doświadczalnych. Jednak, jak wynika z tabeli 5, niezależnie od rodzaju nawozu fosforowego i dawki tego składnika wielkość plonu była zawsze związana z masą 1000 ziarniaków (MTZ), choć w wariancie TSP ujawniło się także istotne działanie pozostałych składowych plonu (z wyjątkiem liczby rzędów na kolbie).

Tabela 5. Zależności korelacyjne między elementami struktury plonu a plonem na różnych poziomach nawożenia azotem

Table 5. Correlation relationships between the yield structure components and yield depending on nitrogen rate

Element struktury plonu – Yield structure component	Rodzaj nawozu / Dawka azotu Fertilizer type / Nitrogen rate			
	SSP	TSP	PAPR	kontrola control
80 kg N·ha ⁻¹				
Liczba rzędów na kolbie – Number of rows on the cob	-0,18	-0,10	-0,25	-0,16
Liczba ziarniaków w rzędzie – Number of kernels in the row	0,33	0,71***	0,33	0,20
Liczba ziarniaków w kolbie – Number of kernels in the cob	0,20	0,69***	0,23	0,08
Masa 1000 ziarniaków (MTZ) – Thousand kernel weight (TKW)	0,55**	0,57**	0,70***	0,59**
140 kg N·ha ⁻¹				
Liczba rzędów na kolbie – Number of rows on the cob	-0,31	-0,04	-0,01	-0,13
Liczba ziarniaków w rzędzie – Number of kernels in the row	0,56**	0,57**	0,36	0,58**
Liczba ziarniaków w kolbie – Number of kernels in the cob	0,25	0,38	0,33	0,35
Masa 1000 ziarniaków (MTZ) – Thousand kernel weight (TKW)	0,55**	0,58**	0,75***	0,86***

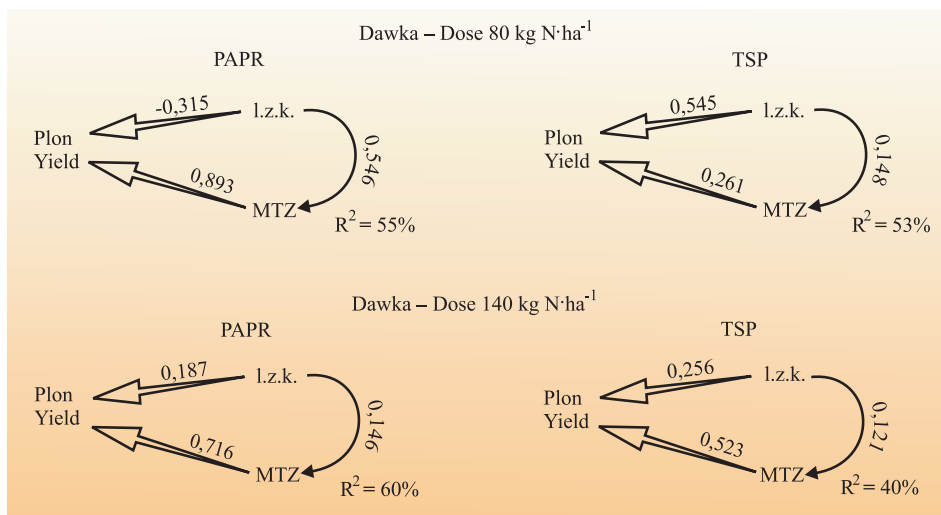
** P < 0,01 – 0.01

*** P < 0,001 – 0.001

n = 20

Wykorzystując analizę współczynników ścieżki, opisującą wpływ bezpośredni i pośredni zmiennych niezależnych (elementy struktury plonu) na zmienną zależną (plon), potwierdzono specyficzną rolę składowych plonu w kształtowaniu plonu ziarna kukurydzy, odniesioną do nośnika fosforu w nawozie (rys. 1). W warunkach mniejszej dostęp-

ności azotu zastosowanie szybciej działającego superfosfatu potrójnego (TSP) spowodowało, że plon ziarna zależał od liczby ziarniaków w kolbie (zdecydowanie większy bezpośredni współczynnik ścieżki). W przypadku nawożenia częściowo rozłożonym fosforytem (PAPR) głównym determinantem plonu okazała się MTZ, która pośrednio była kształtowana także przez liczbę ziarniaków w kolbie. W sytuacji luksusowego odżywienia azotem (dawką $140 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) rola produktywności kolb, wyrażona liczbą ziarniaków, była niewielka, lecz także w tym przypadku wartości współczynników ścieżki dla MTZ były większe po zastosowaniu PAPR. Wyjaśnieniem tej zależności jest „późniejsze” uruchomienie fosforu z nawozu zawierającego częściowo rozłożony fosforyt. Nie zmienia to jednak faktu, że efekt plonotwórczy w obu wariantach (TSP i PAPR) był taki sam, co świadczy o dużej kompensacji składowych plonu ziarna kukurydzy.



PAPR – Częściowo rozłożony fosforyt – Partially acidulated phosphate rock
 TSP – Superfosfat potrójny – Triple superphosphate
 l.z.k. – Liczba ziarniaków w kolbie – Number of kernels in the cob
 MTZ – Masa 1000 ziarniaków – Thousand kernel weight (TKW)

Rys. 1. Analiza współczynników ścieżki między plonem ziarna kukurydzy a elementami struktury plonu ($n = 20$)

Fig. 1. Analysis of coefficients of a path between grain yield of maize and yield structure components ($n = 20$)

Głównym celem prowadzonych badań była ocena plonotwórczego działania częściowo rozłożonego fosforytu. Pierwsze prace na temat możliwości stosowania fosforytów w nawożeniu kukurydzy prowadzono już w latach 60. ubiegłego stulecia [Terman i Allen 1967], lecz uzyskane wyniki nie były jednoznaczne. Według Menon i Chien [1990] w glebie kwaśnej fosfor z fosforytów zmieszanych z superfosfatem potrójnym w stosunku 1:1 może wykazywać podobną efektywność jak superfosfat potrójny, lecz stopień reakcji rośliny zależy od reaktywności fosforytu użytego do produkcji mieszanki. Doświadczenia McLay i in. [2000] wskazują, że sucha masa kukurydzy i pobieranie fosforu przez rośliny zwiększało się liniowo do poziomu 66% zawartości fosforu rozpuszczalnego w wodzie w stosunku do ogólnej zawartości składnika w nawozie. W konkluzji autorzy wskazali na częściowo rozłożony fosforyt jako efektywniejsze

źródło fosforu dla kukurydzy niż superfosfat prosty. Analizując plony uzyskane w badaniach własnych z wariantów z częściowo rozłożonym fosforytem (PAPR) na tle superfosfatu potrójnego (TSP), nawozu określanego jako klasyczny nośnik fosforu, należy stwierdzić, że plonotwórcze działanie obu nawozów było takie samo. Podobne zależności dotyczą efektywności agronomicznej fosforu (EA-P), gdyż średnie wartości EA-P dla TSP wynosiły 13,2 i 19,1 kg·kg⁻¹ (odpowiednio dla 80 i 140 kg N·ha⁻¹), a dla PAPR 14,4 i 17,8 kg·kg⁻¹ (tab. 6). Oznacza to, że w warunkach prowadzonego doświadczenia częściowo rozłożony fosforyt (PAPR) można uznać za alternatywne źródło fosforu dla kukurydzy uprawianej na ziarno. W tym kontekście istotne jest wyjaśnienie mechanizmu pobierania fosforu przez kukurydżę. O ile w literaturze przedmiotu dobrze udokumentowano możliwości absorpcji fosforanów przez korzenie rzepaku ozimego ze związków o mniejszej rozpuszczalności, będące efektem zakwaszenia rizosfery [Hoffland i in. 1989], to w przypadku kukurydzy mechanizm ten nie jest do końca wyjaśniony. Badania prowadzone przez Ström i in. [2002] wskazują na znaczne zwiększenie akumulacji fosforu ze źródeł trudno rozpuszczalnych przez korzenie kukurydzy w warunkach wzmożonego wydzielania kwasu szczawiowego. Reakcją rośliny na stosowanie częściowo rozłożonego fosforytu mogą być nie tylko zmiany funkcjonalne, lecz także inne rozmieszczenie systemu korzeniowego w glebie [Grzebisz i Potarzycki 2004].

Tabela 6. Efektywność agronomiczna fosforu (EA-P), kg·kg⁻¹
Table 6. Agronomical efficiency of phosphorus (EA-P), kg·kg⁻¹

Dawka azotu Nitrogen rate	Rodzaj nawozu Fertilizer type	Rok – Year					Średnia Mean
		2003	2004	2005	2006	2007	
80 kg N·ha ⁻¹	SSP	23,3	13,8	20,7	24,6	7,2	17,9
	TSP	18,3	12,7	11,5	18,7	5,0	13,2
	PAPR	22,0	6,2	11,5	26,8	5,5	14,6
Średnia – Mean		21,2	10,9	14,6	23,4	5,9	–
140 kg N·ha ⁻¹	SSP	23,3	9,7	16,4	31,1	8,9	17,9
	TSP	23,3	10,8	21,1	25,2	10,0	18,1
	PAPR	22,2	10,6	24,2	23,6	8,0	17,8
Średnia – Mean		22,9	10,4	20,6	26,6	9,0	–

Według Ibriki i in. [2005] zasoby fosforu glebowego są jednym z podstawowych czynników produkcji kukurydzy. Badania będące przedmiotem tej pracy prowadzono na glebie średnio zasobnej w przyswajalny fosfor, a mimo to brak tego składnika w dawce nawozowej (obiekt kontrolny bez P) wiązał się z obniżeniem plonu ziarna w zakresie 9-15% w zależności od rodzaju nawozu i dawki azotu. Z danych zawartych w tabeli 6 wynika, że efektywność agronomiczna fosforu była najmniejsza w roku 2007. Pomijając negatywny wpływ monokultury, z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że słabsze działanie fosforu wynikało z korzystnych warunków wilgotnościowych w roku 2007. Fosfor jako składnik stymulujący rozwój systemu korzeniowego w pewnym stopniu uniezależnia rośliny od przebiegu warunków pogodowych w sezonie wegetacyjnym, a więc działa szczególnie efektywnie w latach suchych [Potarzycki i Biber 2004].

WNIOSKI

1. Częściowo rozłożony fosforyt może być alternatywnym źródłem fosforu dla kukurydzy uprawianej na ziarno.

2. Formulacja chemiczna fosforu różnicowała strukturę plonu ziarna kukurydzy, lecz ze względu na kompensację składowych plonu ostateczny efekt plonotwórczy nie zależał od nośnika fosforu w nawozie.

3. W glebie średnio zasobnej w przyswajalny fosfor brak tego składnika w dawce nawozowej prowadził do zmniejszenia plonu ziarna o 9-15%.

4. Plonotwórcze znaczenie fosforu z nawozów zależało od warunków wilgotnościowych panujących w lipcu i sierpniu. Pozytywna rola fosforu ujawniła się szczególnie w latach z niedoborem opadów.

PIŚMIENNICTWO

- Adediran J.A., Oguntoyinbo F.I., Omonode R., Sobul R.A., 1998. Evaluation of phosphorus availability from three phosphorus sources in Nigeria soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29(17-18), 2659-2673.
- Grzebisz W., Potarzycki J., 2004. Partially acidulated phosphate rocks (PAPRs) as an alternative source of phosphorus in agriculture of Poland. [W:] *New agrochemicals and their safe use for health and environment*, eds. H. Górecki, Z. Dobrzański, P. Kafarski, Czech-Pol Trade, 86-90.
- Grzebisz W., Potarzycki J., Biber M., Szczepaniak W., 2003. Reakcja roślin uprawnych na nawożenie fosforem. *J. Elementol.* 8(3), 83-93.
- Hoffland E., Findenegg G.R., Nelemans J.A., 1989. Solubilization of rock phosphate by rape. *Plant and Soil* 113, 161-165.
- Honeycutt C.W., Clapham W.M., Leach S.S., 1994. A functional approach to the nitrogen use in crop production. *Ecological Modelling* 73, 51-61.
- Ibrikli H., Ryan J., Ulger A.C., Buyuk G., Cakir B., Karkmaz K., Karnez E., Ozgenturk G., Konuskan O., 2005. Maintenance of Phosphorus Fertilizer and Residual Phosphorus Effect on Corn Production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 72(3), 279-286.
- Konys L., Wiśniewski P., 1991. Analiza ścieżkowa w układach przyczynowo-skutkowych. *Rocz. AR w Poznaniu CLIII*, 37-45.
- McLay C.D.A., Rajan S.S.S., Liu Q., 2000. Agronomic effectiveness of partially acidulated phosphate rock fertilizers in an allophanic soil at near-neutral pH. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 31(3-4), 423-435.
- Mallarino A.P., Haden D., Christensen A., 1999. Sulfur Fertilization for Corn. *Annual Progress Reports-1999*, Iowa State Univ. Ames, IA, Northwest Research and Demonstration Farm, ISRF99-29, 31.
- Mengel K., 1991. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. G. Fischer Jena.
- Menon R.G., Chien S.H., 1990. Phosphorus availability to maize from partially acidulated phosphate rocks and phosphate rocks compacted with triple superphosphate. *Plant and Soil* 127(1), 1573-5036.
- Potarzycki J., Biber M., 2004. Response of spring barley to fertilization with single superphosphate nad partially acidulated phosphate rock (PAPR) under conditions of diversified variability of nitrogen. [W:] *New agrochemicals and their safe use for health and environment*, eds. H. Górecki, Z. Dobrzański, P. Kafarski, Czech-Pol Trade, 246-254.
- Ström L., Owen G.A., Godbold D.L., Jones D.L., 2002. Organic acid mediated P mobilization in the rhizosphere and uptake by maize roots. *Soil Biol. Biochem.* 34(5), 703-710.
- Terman G.L., Allen S.E., 1967. Response of corn to phosphorus in underacidulated phosphate rock and rock-superphosphate fertilizers. *J. Agr. Food Chem.* 12, 354.

THE EFFECT OF PARTIALLY ACIDULATED PHOSPHATE ROCK ON MAIZE GRAIN YIELD UNDER MONOCULTURE GROWTH

Abstract. Maize was grown in monoculture throughout the consecutive years 2003-2007 in Nowa Wieś Królewska (52°26' N; 17°57' E). A two factorial field experiment was established on a slightly acidic soil, moderately rich in available phosphorus. Experimental factors were as follows: 1) chemical formulation of the fertilizer (simple superphosphate – SSP, triple superphosphate – TSP, partially acidulated phosphate rock – PAPR), 2) nitrogen rate: 80 and 140 kg N·ha⁻¹. A phosphorus unfertilized treatment (control) was also considered. The yield forming effect of TSP and PAPR (at the rate 26.4 kg P·ha⁻¹) was similar, irrespective of nitrogen fertilization. Mean agronomical efficiencies of phosphorus (AE-P) for TSP amounted to 13.2 and 19.1 kg·kg⁻¹, respectively for 80 and 140 kg N·ha⁻¹, whereas in the case of PAPR, 14.4 and 17.8 kg·kg⁻¹, respectively. In relation to calcium phosphate from superphosphate, the partially acidulated phosphate rock may be considered as an alternative source of phosphorus for maize grown for grain. The influence of sulphur from SSP on maize grain yield was higher after the application of the lowest nitrogen rate. The deficiency of phosphorus in the control treatment has led to a grain yield decrease in the order 9-19% as a result of both the low number of kernels per cob and the weight of 1000 kernels (TKW).

Key words: maize, partially acidulated phosphate rock, phosphorus fertilization

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.11.2008