

HENRYK PONDEL, JANINA GAŁCZYŃSKA

WPŁYW POZIOMU NAWOŻENIA FOSFOROWEGO  
NA ZAWARTOŚĆ RÓŻNYCH FORM FOSFORU W GLEBIEZakład Chemii Gleb i Nawożenia Roślin  
Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach

Zużycie nawozów fosforowych w kraju na przełomie lat 1973/74 według danych GUS wyniosło 44,2 kg  $P_2O_5$  na 1 ha użytków rolnych. Do ilości wnoszonej do gleby w formie nawozów mineralnych doliczyć należy około 18 kg tego składnika dostarczanego w postaci obornika [6]. Biorąc za podstawę powyższe wartości można stwierdzić, że już obecnie ilość P dostarczana do gleby przewyższa średnie jego roczne pobranie z plonami roślin. Na najbliższe lata przewiduje się dalszy wzrost produkcji i zużycia nawozów fosforowych.

Ogólnie przyjmuje się, że powstałe nadwyżki fosforu glebowego nie są przemieszczane do warstw głębszych ze względu na specyficzną sorpcję jonu fosforanowego [2, 5, 7, 9, 10]. W naszym kraju przeprowadzono fragmentaryczne badania nad wpływem wieloletniego zróżnicowania nawożenia fosforem, głównie na zawartość jego form przyswajalnych w glebie [1]. Stwierdzono, że wielkość zmian zawartości tego składnika zależała od dawek fosforu, natomiast wyjściowa zawartość  $P_2O_5$  w glebie odgrywa mało istotną rolę. Najbardziej dynamiczny wzrost zawartości przyswajalnego fosforu następuje w ciągu pierwszych pięciu lat stosowania zróżnicowanych dawek nawozów fosforowych. W następnych latach stan zasobności stabilizuje się i zmienia nieznacznie [1]. Bardziej szczegółowe badania w tym zakresie przeprowadzono na polu doświadczalnym w Skierniewicach [11].

Uzyskane wyniki wskazują, że po 44 latach kontrolowanego nawożenia monokultur wyraźnie wzrastała ogólna zawartość fosforu w glebie poletek nawożonych tym składnikiem. Po dokonaniu bilansu fosforu dodanego do gleby w nawozach i pobranego z plonem roślin nie odnaleziono jednak znacznej jego ilości [11].

Wyniki badań nad wpływem poziomu nawożenia fosforowego na zasobność gleb nie prowadzą do jednoznacznych wniosków. Mając na uwadze powyższe przesłanki przeprowadzono badania, których celem było

stwierdzenie wpływu wieloletniego zróżnicowanego nawożenia fosforowego na zawartość form fosforu w kilku rodzajach gleb zakładów doświadczalnych IUNG, zlokalizowanych w odmiennych regionach glebowo-klimatycznych.

#### ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono w oparciu o wieloletnie doświadczenia IUNG założone w dziewięciu zakładach doświadczalnych w latach 1963—1965 [3]. W odpowiednio dostosowanych płodozmianach bada się reakcję roślin na poziom nawożenia fosforowego bądź sprzężone działanie tego składnika ze zróżnicowanym działaniem potasu. W schemacie ze wzrastającym nawożeniem fosforowym uwzględniono cztery warianty: P<sub>0</sub>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>4-3</sub> (P<sub>1</sub>=36 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na ha). W wariantcie P<sub>4-3</sub> do roku 1969 stosowano 144 kg, a w następnych latach 108 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha w postaci superfosfatu. W zależności od czasu trwania doświadczenia na wszystkie obiekty zastosowano dwa lub trzy razy obornik, w którym dodatkowo wprowadzono do gleby odpowiednią ilość P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (tab. 4). Po zbiorze roślin jesienią 1973 r. pobrano za pomocą łaski średnie próby gleby z poszczególnych obiektów doświadczenia na głębokości 0—20 cm oraz około 21—40 cm. W próbkach glebowych oznaczono:

- skład mechaniczny (procent frakcji <0,02 mm i <0,002 mm) metodą areometryczną Bouyoucosa w modyfikacji Prószyńskiego,
- zawartość próchnicy metodą Tiurina,
- fosfor przyswajalny dla roślin metodą Egnera-Riehma,
- całkowitą zawartość fosforu według metody podanej przez Kurmiesa [8], uwzględniając: fosfor połączeń organicznych (P<sub>org</sub>), związki fosforu z glinem i żelazem (P—Al, Fe) oraz wapniem (P—Ca).

#### WYNIKI BADAŃ

Spośród 9 punktów doświadczalnych dwa reprezentują gleby brunatne wytworzone z piasków słabo gliniastych (Wierzbno, Wielichowo), jeden — małą brunatną (Borusowa), jeden — brunatną glebę lessową (Antopol) oraz pięć — gleby wytworzone z glin. W ostatnio wymienionej grupie rodzajowej przeważają gleby pseudobielicowe lekkie (Grabów, Topola-Błonie, Małyszyn). Obiekt doświadczalny w Baborówku zlokalizowano na glebie brunatnej lekkiej, a w Dobrogostowie na glebie ciężkiej typu czarne ziemie.

#### FORMY FOSFORU W GLEBACH PIASKOWYCH

Brunatne gleby piaskowe z Wierzbna i Wielichowa zawierają w poziomie ornopróchnicznym około 0,1% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ogółem (tabl. 1). W wyniku

Tabela 1

Formy fosforu w glebach wytworzonych z piasku  
Phosphorus forms in soils developed from sand

Objekt Treatment	Głębokość Depth cm	Procent frakcji o średnicy w mm % of fractions in mm		Próchnica % Humus %	pH ln KCl pH 1 N KCl	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> w 100 g gleby mg of P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per 100 g of soil		Procent w stosunku do P ogółem % in relation to total P				
		<0,02	0,02-0,075			ogółem total	przyswajalny available	P-org.	P-Al,Fe	P-Ca	P-nieoznaczo- nony x P-not de- termined	P-przyswa- jalny P-availa- ble
ZD - Wierzbno - /Kotlina Gorzowska/												
P <sub>0</sub>	0-20	7	3	1,27	4,7	106	9,0	10	72	12	6	8
P <sub>1</sub>						102	8,7	13	72	11	4	9
P <sub>2</sub>						102	9,1	14	71	10	5	9
P <sub>4-3</sub>						125	15,5	9	71	10	10	12
P <sub>0</sub>	21-40	6	2	0,33	5,0	43	1,8	6	65	26	2	4
P <sub>1</sub>						42	1,8	10	67	23	0	4
P <sub>2</sub>						50	3,4	3	68	20	9	7
P <sub>4-3</sub>						43	2,0	6	62	27	5	6
ZD - Wielichowo - /Równina Kościańska/												
P <sub>0</sub>	0-20	9	3	0,98	5,0	91	6,5	8	62	11	13	7
P <sub>1</sub>						97	9,6	10	63	12	15	10
P <sub>2</sub>						100	10,4	10	65	13	13	10
P <sub>4-3</sub>						111	15,3	10	72	12	6	14
P <sub>0</sub>	21-40	12	4	0,24	5,9	51	4,3	9	64	20	6	8
P <sub>1</sub>						53	6,4	8	70	18	3	12
P <sub>2</sub>						54	6,3	8	71	17	5	12
P <sub>4-3</sub>						48	6,3	11	63	21	4	13
x - Fosfor ogółem - /org.-P + P-Al,Fe + P-Ca/ - Total phosphorus content - /org.-P + P-Al,Fe + P-Ca/												

zróżnicowanego nawożenia fosforowego nastąpiło wzbogacenie gleb w fosfor równoległe do wzrastających dawek P. Szczególnie uwidoczniło się to na polu doświadczalnym w Wielichowie, gdzie przyrost fosforu w obiektach  $P_{4-3}$  w porównaniu z  $P_0$  za okres 8 lat wynosi około 20 mg  $P_2O_5$  w przeliczeniu na 100 g gleby w 20-centymetrowej warstwie orno-próchnicznej. Gleby obiektów  $P_0$  były również wyczerpywane z fosforu, stąd wymienionej wartości nie można uznać wyłącznie za wynik wzrostu zasobności. Istotne ustalenie stopnia wzbogacenia gleby w ten składnik jest niemożliwe z powodu braku wyjściowych prób glebowych. Zmiany w zasobności gleby uwidoczniły się w warstwie 0—20 cm, co wskazywałoby na nieprzemieszczanie się fosforu nawozowego poza poziom orno-próchniczny. Wieloletnie zróżnicowanie nawożenia fosforowego wpłynęło również na poziom fosforu przyswajalnego oznaczonego metodą Egnera-Riehma. Zwraca uwagę fakt, że pomijanie mineralnego nawożenia fosforowego nie wpłynęło radykalnie na zubożenie ilości tej formy składnika. Istotny wzrost zawartości fosforu przyswajalnego do wysokości 15 mg/100 g gleby wystąpił na obiektach nawożonych dawką 144 i 108 kg  $P_2O_5$ /ha. Maksymalny przyrost zasobności wynosi dla gleby z Wierzbna 6,5, a z Wielichowa 8,8 mg  $P_2O_5$  na 100 g gleby. Uwzględniając okres prowadzenia doświadczeń można stwierdzić, że nawet przy najwyższym poziomie nawożenia średnie roczne wzbogacenie gleby w przyswajalną formę fosforu dla Wierzbna wyniosło około 0,5 mg, a dla Wielichowa 1,1 mg  $P_2O_5$ /100 g.

W analizowanym układzie doświadczeń nagromadzenie fosforu ogółem jest o wiele większe, co świadczy, że znaczna jego część wnoszona do gleby z nawozami przechodzi w formy nie ulegające ekstrakcji według metody Egnera-Riehma. Wyniki analiz w tab. 1 wskazują, że w porównaniu do obiektów kontrolnych gleby poletek intensywniej nawożonych zawierają nieco więcej fosforu przyswajalnego w warstwie 21—40 cm.

Ogólne zasoby fosforu glebowego w przeważającej części związane są w połączeniach z glinem i żelazem. Związki tego pierwiastka z wapniem i substancją organiczną stanowią tylko po około 10%. Wprowadzany do gleby fosfor w zróżnicowanych dawkach wchodzi proporcjonalnie w wymienione związki. W obu badanych glebach piaskowych na głębokości 21—40 cm w porównaniu do poziomu orno-próchnicznego istnieje tendencja wzrostu udziału formy fosforu związanego z wapniem.

#### FORMY FOSFORU W GLEBACH WYTWORZONYCH Z GLIN

Powierzchniowe poziomy gleb: Baborówko, Topola-Błonie, Grabów, Małyszyn wykazują skład mechaniczny piasków gliniastych, w porównaniu jednak z glebami lżejszymi z Wierzbna i Wielichowa są wyraźnie uboższe w fosfor ogółem (tab. 2). Szczególnie ubogie pod tym wzglę-

dem są gleby Baborówka i Topoli-Błonia, w których całkowita zawartość fosforu osiąga zaledwie 50% ilości stwierdzonej dla poprzednio omówionych gleb o składzie mechanicznym piasków słabo gliniastych. Ciężka próchniczna gleba w Dobrogostowie zawiera około 130 mg  $P_2O_5/100$  g, i jest tylko nieznacznie zasobniejsza od piasków słabo gliniastych. Istnieje jednak zasadnicza różnica w pionowym rozmieszczeniu fosforu w glebach piaskowych i wytworzonych z glin; polega ona na tym, że w tych ostatnich nie występuje tak duże zróżnicowanie w zawartości tego składnika na głębokości 0—20 cm oraz 21—40 cm. Wieloletnie stosowanie zróżnicowanych dawek nawozów fosforowych wpłynęło na wzrost ogólnej jego zawartości wyłącznie w poziomie 0—20 cm. We wszystkich badanych glebach już najniższa dawka w ilości 36 kg  $P_2O_5/ha$  wpływała na utrzymanie zawartości fosforu ogółem na wyższym poziomie niż aktualnie na obiektach  $P_0$ . Różnice te wyjaśnić można nie wzrostem zasobności gleb poletek  $P_1$ , lecz wyczerpywaniem fosforu z obiektów  $P_0$ . Ogólny przyrost  $P_2O_5$  na glebach z wprowadzoną najwyższą dawką nawozu w stosunku do wariantu kontrolnego wynosi od kilkunastu do dwudziestu kilku mg/100 g. W przeliczeniu na liczby względne stanowi to od 11% dla gleb Dobrogostowa do 34% w Baborówku.

Równoległe z nagromadzeniem się całkowitego fosforu w warstwie 0—20 cm daje się zaobserwować wzbogacenie gleby w przyswajalne formy tego składnika. Podobnie jak w glebach piaskowych wzrost zawartości fosforu przyswajalnego jest tylko częścią uwidocznionego przyrostu dla fosforu ogółem. Na głębokości poniżej poziomu ornego nie stwierdza się wyraźnej tendencji zmian omawianych form fosforu w nawiązaniu do zastosowanej dawki.

Globalna ilość  $P_2O_5$  w wierzchnich poziomach gleb wytworzonych z glin w około 50% stanowi połączenia z glinem i żelazem. W glebach lekkich bez względu na ich przynależność typologiczną kilkanaście procent fosforu ogółem wchodzi w związki z wapniem, natomiast w glebie ciężkiej (czarna ziemia) P—Ca przekracza nieco 20%. W większości analizowanych gleb fosfor połączeń organicznych waha się w przedziale od 10 do 20%. Przy przyjętej metodzie frakcjonowania fosforu glebowego znaczna jego część pozostaje niezidentyfikowana. Wyniki analiz tabeli 2 wskazują, że — z wyjątkiem gleby ciężkiej — dodany do gleby fosfor z nawozów wchodzi głównie w połączenia z żelazem i glinem. Formy fosforu z wapniem bez względu na wariant nawożenia rozmieszczone są w poziomie ornopróchnicznym dość równomiernie. W glebach tych na głębokości 21—40 cm w porównaniu z poziomem ornopróchnicznym zaznacza się wyraźna tendencja wzrostu udziału P—Ca kosztem P—Al, Fe bądź jego związków nie zidentyfikowanych. Zróżnicowane nawożenie fosforem gleby ciężkiej (czarna ziemia) nie spowodowało bardziej istotnych różnic w procentowym udziale frakcji fosforu związanej z wapniem oraz z glinem i żelazem. W porównaniu do brunatnych

Formy fosforu w glebach wytworzonych z glin  
Phosphorus forms in soil developed from loams

Obiekt Treatment	Głębokość Depth cm	Procent frakcji o średnicy w mm % of fractions in mm		Próchnica % Humus %	pH ln KCl pH 1 N KCl	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> w 100 g gleby mg of P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per 100 g of soil		Procent w stosunku do P ogółem % in relation to total P content				
		< 0,02	< 0,002			ogółem total	przyswajalny available	P-org.	P-Al,Fe	P-Ca	P-nieozna- czony <sup>x</sup> P-not de- termined	P-przyswa- jalny P-availa - ble
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ZD - Baborówko /Pojezierze Poznańskie/												
P <sub>0</sub>	0-20	15	5	1,16	6,5	54	6,2	15	53	22	10	12
P <sub>1</sub>						62	8,6	10	52	18	20	14
P <sub>2</sub>						70	13,2	10	57	19	14	19
P <sub>4-3</sub>						72	12,9	8	56	18	19	18
P <sub>0</sub>	21-40	20	9	0,51	6,0	42	2,5	4	50	28	18	6
P <sub>1</sub>						42	3,9	6	52	28	15	9
P <sub>2</sub>						38	2,9	7	47	30	15	8
P <sub>4-3</sub>						45	3,3	5	48	28	19	7
ZD - Topola-Błonie /Równina Łowicko-Błońska/												
P <sub>0</sub>	0-20	15	6	1,14	5,8	57	7,8	21	55	19	4	14
P <sub>1</sub>						64	10,0	15	58	18	9	15
P <sub>2</sub>						66	11,2	13	60	18	9	17
P <sub>4-3</sub>						74	15,4	14	64	17	5	21
P <sub>0</sub>	21-40	29	18	0,30	5,1	47	1,4	24	36	25	16	3
P <sub>1</sub>						37	0,8	20	34	30	16	2
P <sub>2</sub>						46	3,3	14	47	26	13	7
P <sub>4-3</sub>						37	2,3	15	46	30	9	6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ZD - Grabów /Równina Radomska/												
P <sub>0</sub>	0-20	17	4	1,58	6,0	75	5,1	17	53	12	13	7
P <sub>1</sub>						77	7,8	12	57	13	17	10
P <sub>2</sub>						82	12,5	12	56	15	17	15
P <sub>4-3</sub>						89	14,0	15	61	12	12	16
P <sub>0</sub>	21-40	18	5	0,32	5,3	47	2,5	8	63	25	4	5
P <sub>1</sub>						53	5,9	9	68	18	5	11
P <sub>2</sub>						50	3,4	11	66	18	5	7
P <sub>4-3</sub>						41	2,4	11	58	29	2	6
ZD - Małyszyn /Kotlina Gorzowska/												
P <sub>0</sub>	0-20	17	5	1,11	6,2	74	6,4	11	49	14	26	9
P <sub>1</sub>						83	8,2	10	52	13	26	10
P <sub>2</sub>						92	11,3	11	53	13	23	12
P <sub>4-3</sub>						98	15,0	8	52	14	26	15
P <sub>0</sub>	21-40	18	5	0,34	5,4	52	4,0	12	55	18	15	8
P <sub>1</sub>						47	2,5	9	57	17	17	5
P <sub>2</sub>						56	3,2	7	56	16	21	6
P <sub>4-3</sub>						52	4,2	9	56	18	17	8
ZD - Dobrogostów /Równina Wrocławska/												
P <sub>0</sub>	0-20	37	13	2,22	6,6	128	27,9	13	47	22	17	22
P <sub>1</sub>						142	34,0	11	42	24	23	24
P <sub>2</sub>						131	31,0	12	53	24	11	24
P <sub>4-3</sub>						142	32,6	13	46	22	19	23
P <sub>0</sub>	21-40	39	13	1,50	6,7	97	9,3	14	42	18	26	10
P <sub>1</sub>						94	8,1	15	40	17	27	9
P <sub>2</sub>						92	6,5	10	38	16	35	7
P <sub>4-3</sub>						93	12,4	14	46	19	21	13
<p>x - Fosfor ogółem - /P-org. + P-Al,Fe + P-Ca/      -      Total phosphorus content - /P-org. + P-Al,Fe + P-Ca/</p>												

W pseudobielicowych glebach lekkich wytworzonych z glin w poziomie orno-próchnicznym tej gleby stwierdza się wyższy udział form fosforu związanego z wapniem. Przyczynę tego zróżnicowania należy wiązać prawdopodobnie nie tyle z obojętnym odczynem gleby ciężkiej, ile przede wszystkim z dużą zawartością substancji organicznej chelatującej jony żelaza i glinu. Przy analogicznym bowiem odczynie gleby na głębokości 21—40 cm, gdzie maleje zawartość próchnicy, udział form P—Ca jest znacznie niższy.

#### FORMY FOSFORU W GLEBIE WYTWORZONEJ Z LESSU

Brunatna gleba lessowa w Antopolu zawiera w poziomie akumulacyjnym około 100 mg całkowitego  $P_2O_5/100$  g, co pod tym względem stawia ją na równi z badanymi piaskami słabo gliniastymi, a ponad glebami lekkimi wytworzonymi z glin (tab. 3). Analogiczną do poziomu orno-próchnicznego całkowitą zawartość fosforu wykazują również poziomy głębsze. Na przykładzie tego obiektu nie można stwierdzić wyraźnego gromadzenia się fosforu w glebie równoległe do wzrastającej dawki nawozu. Wprawdzie gleba obiektu  $P_{4-3}$  w porównaniu do  $P_0$  jest zasobniejsza o około 5 mg  $P_2O_5/100$  g w przeliczeniu na fosfor ogółem, jak też i jego formy przyswajalne, trudny do wyjaśnienia jest jednak fakt największego wzrostu zasobności na obiekcie  $P_2$ . Duża zasobność głębszych warstw wskazuje na możliwość przemieszczania się w głąb połączeń fosforowych. Argumentem przemawiającym za tym może być to, że przy tak dużej ilości przyswajalnych form fosforu glebowe „centra sorpcyjne” w stosunku do tego pierwiastka są wysyczone, co sprzyja zwiększonej ruchliwości jonów fosforanowych. Brak jest w tym zakresie innych dowodów, zwłaszcza że użyta do doświadczenia gleba ze względu na dużą wyjściową zasobność w fosfor oraz alkaliczny odczyn nie jest reprezentatywna dla ogółu brunatnych gleb lessowych. W glebie tej — podobnie jak w gliniastej ciężkiej — około jedna czwarta część fosforu ogółem związana jest w połączeniach z wapniem, a 50% z żelazem i glinem. Na głębokości 21—40 cm wyraźnie wzrasta ilość P—Al, Fe.

#### FORMY FOSFORU W MADZIE

Badana brunatna gleba madowa o składzie mechanicznym utworu pyłowego na całej głębokości profilu, zawiera w poziomie akumulacyjnym około 0,12%  $P_2O_5$  ogółem (tab. 3). Najwyższa dawka nawozów fosforowych wzbogaciła glebę poziomu orno-próchnicznego o 10%  $P_2O_5$ . Na uwagę zasługuje fakt, że jedynie dla tej gleby stwierdzono wyraźne gromadzenie się fosforu ogółem proporcjonalnie do wysokości dawki także i na głębokości 21—40 cm. Również charakterystyczną cechą tej gleby



Tabela 3

Formy fosforu w glebie wytworzonej z lessu i w madzie  
Phosphorus forms in soil developed from loess and in alluvial soil

Obiekt Treatment	Głębokość Depth cm	Procent frakcji o średnicy w mm % of fractions in mm		Próchnica % Humus %	pH ln KCl pH 1 N KCl	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> w 100 g gleby mg of P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per 100 g of soil		Procent w stosunku do P ogółem % in relation to total P content				
		< 0,02	< 0,002			ogółem total	przeswajalny available	P-org.	P-Al,Fe	P-Ca	P-nieoznaczo- nony * P-not de- termined	P-przyswa- jalny P-available
ZD - Antopol /Piaskowyż Nałęczowski/												
P <sub>0</sub>	0-20	34	8	1,40	7,2	109	15,2	11	45	26	17	14
P <sub>1</sub>						114	17,9	10	47	26	17	16
P <sub>2</sub>						118	24,0	9	51	24	15	20
P <sub>4-3</sub>						114	20,0	10	51	25	14	18
P <sub>0</sub>	21-40	37	12	0,34	7,0	104	17,0	5	65	29	1	16
P <sub>1</sub>						109	16,8	7	59	27	7	15
P <sub>2</sub>						115	16,7	7	62	27	3	14
P <sub>4-3</sub>						104	17,8	6	64	28	2	17
ZD - Borusowa /Dolina Wiszy/												
P <sub>0</sub>	0-20	33	14	1,62	7,2	116	4,8	11	14	49	26	4
P <sub>1</sub>						123	7,6	13	16	47	24	6
P <sub>2</sub>						123	11,1	8	22	48	22	9
P <sub>4-3</sub>						127	13,0	8	25	46	20	11
P <sub>0</sub>	21-40	22	14	1,39	7,5	111	3,9	8	15	51	26	4
P <sub>1</sub>						114	5,7	7	21	49	22	5
P <sub>2</sub>						120	7,3	8	17	48	27	6
P <sub>4-3</sub>						123	7,9	8	20	48	25	6
* - Fosfor ogółem /P-org. + P-Al,Fe + P-Ca/ - Total phosphorus content - / P-org. + P-Al,Fe + P-Ca/												

jest przewaga związków P—Ca nad pozostałymi frakcjami tego pierwiastka. Procentowy udział połączeń fosforu z wapniem osiąga prawie wartość 50<sup>0</sup>%, podczas gdy frakcje P—Al, Fe w większości mieszczą się w przedziale 15—20<sup>0</sup>%. Około 25<sup>0</sup>% fosforu gleby madowej nie daje się zidentyfikować przyjętą metodą frakcjonowania. Z gleby tej — podobnie zresztą jak i z poprzednio omówionych — wydzielono małą ilość fosforu organicznego. Należy sądzić, że ta frakcja fosforu kryje się również w niezidentyfikowanych trudno hydrolizujących połączeniach organiczno-mineralnych. Proporcjonalnie do wzrostu zawartości fosforu ogółem stwierdza się wyraźne nagromadzenie jego form oznaczonych metodą Egnera-Riehma.

#### DYSKUSJA

Okres prowadzenia doświadczeń wynoszący w większości lub przekraczający 10 lat jest dostatecznie długi do etapowego podsumowania wpływu zróżnicowanego nawożenia fosforowego na poziom i formy tego składnika w glebach. Analizując dane zestawione w tab. 4 należy stwierdzić, że na obiektach P<sub>0</sub>, gdzie wprowadzono tylko niewielką ilość fosforu w postaci obornika, rośliny pobrały w zależności od miejsca i czasu trwania doświadczenia od 124 do 611 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha z dawnych rezerw glebowych. Przy uwzględnieniu 20-centymetrowej warstwy gleby powinno to wpłynąć na ich zubożenie od około 4 do 20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g. Już najniższa dawka fosforu w ilości 36 kg, nie licząc obornika w doświadczeniach na glebach piaszkowych i wytworzonych z glin, ze znacznym nadmiarem równoważyła pobranie tego składnika z plonem. Tylko na glebie lessowej i madzie pobranie było wyższe od ilości P wniesionego z nawozem.

W obiektach z najwyższą dawką fosforu w zależności od okresu trwania doświadczenia wniesiono do gleby od 1314 do 1899 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Pobranie fosforu z plonami roślin jest tu ograniczane nie tylko okresem, lecz głównie intensywnością zmianowań. Wynosiło ono co najwyżej 50<sup>0</sup>% ilości wprowadzonej z nawozami. Wynikająca z bilansu różnica fosforu pozostającego w glebie w zależności od podanych czynników stanowi pokazną ilość od około 700 do 1300 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Ilości te powinny spowodować wzbogacenie 20-centymetrowej warstwy gleby od dwudziestu kilku do 44 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g.

W przeprowadzonych badaniach — z powodu braku odniesienia do prób wyjściowych — wzrost zasobności rozpatrywano na tle obiektów nie nawożonych, gdzie nastąpiło wyczerpanie fosforu z dawnych rezerw. W takim ujęciu różnice w zawartości fosforu między obiektem kontrolnym a wariantami nawożonymi należałoby traktować odpowiednio niżej. Szczegółowe wyniki opracowania świadczą, że dla większości gleb w poziomie ornopróchnicznym nastąpiło wyraźne wzbogacenie w fosfor,

proporcjonalnie do zastosowanej dawki nawozów. Spostrzeżenia te dotyczą szczególnie gleb lekkich wytworzonych z piasku. Ustalony doświadczalnie wzrost zasobności gleb nie osiąga jednak hipotetycznie założonego poziomu, na co może się składać wiele przyczyn. Jedną z zasadniczych jest to, że wprowadzany do gleby fosfor wskutek uprawy rozpraszany jest do głębokości poziomu ornego osiagającego często miąższość ponad 20 cm. Należy przy tym wyjaśnić, że w metodyce podano sposób pobrania prób na określonej głębokości, co jest całkowicie zgodne tylko dla poziomu 0—20 cm. Pobranie prób z drugiej głębokości napotyka w praktyce na trudności, bowiem w przypadku gleb o większej miąższości warstwy ornopróchnicznej dokładne odmierzenie powodować może łączenie materiału glebowego dwóch poziomów. Aby tego uniknąć, dla gleb brunatnych i pseudobielicowych próby z „podglebia” pobierane były z poziomów podpróchnicznych zalegających niekiedy poniżej 21 cm.

Przy założeniu całkowitej poprawności techniki prowadzenia doświadczeń przez tak długi okres inną niekiedy przyczyną braku w pełni logicznych prawidłowości spodziewanych zmian w gromadzeniu fosforu są trudności metodyczne z pobraniem średnich prób w pełni reprezentatywnych dla danych obiektów. Stąd też analizę uzyskanych wyników badań traktowano jako szukanie ogólnego kierunku zmian.

W syntetycznym ujęciu bilansu fosforu (tab. 4) uwzględniono jedynie miąższość 0—20 cm, głównie dlatego, że z wyjątkiem gleby madowej nie stwierdzono wyraźnego wpływu nawożenia na poziom fosforu w warstwie 21—40 cm. Fakt ten nie wyklucza możliwości przemieszczania się tego składnika w głąb profilu, uzyskane bowiem w badaniach nadwyżki fosforu tylko w pewnym stopniu rekompensują teoretycznie wyliczony z bilansu wzrost zasobności gleb. Uwzględniając przedstawione zastrzeżenia należy stwierdzić, że dla większości badanych gleb część fosforu wprowadzana do gleby nie została odnaleziona do głębokości 20 cm.

Wraz z ustalonym wzrostem fosforu ogółem idzie w parze wzbogacenie gleb w przyswajalne jego formy. Wprawdzie różnice między obiektami dla tych frakcji fosforu są proporcjonalnie niższe niż przy P ogółem, jednak w oparciu o uzyskane dane można stwierdzić, że metoda Egnera-Riehma jest w pełni przydatna do śledzenia zmian zasobności gleb w przyswajalny fosfor. Ocena ta nie jest zresztą odosobniona, ustalenia bowiem innych autorów zajmujących się zbliżoną problematyką badań prowadzą do podobnych wniosków [2, 5].

Największy udział w całkowitej zawartości fosforu w badanych glebach wytworzonych z piasków i glin stanowią połączenia fosforu z glinem i żelazem (od około 50% w glinie ciężkiej do ponad 70% w glebach piaskowych).

Zupełnie odmiennie kształtuje się proporcja badanych form fosforu w glebie madowej, gdzie ilość związków P—Al, Fe spada do około 20%, a zdecydowaną przewagę zajmują frakcje P—Ca. Fakt ten trudny jest

Bilans fosforu w glebach poletek doświadczalnych

Phosphorus balance in soils of experimental plots

Zakład doświadczalny Experimental Station	Objekt Treatment	Okres doświadczalny w latach Period of experiments in years	Łączna ilość $P_2O_5$ w kg/ha Total amount of $P_2O_5$ in kg/ha		Wzrost +/- lub ubytek -/+ fosforu w glebie <sup>x</sup> Increase +/- or decrease +/- of phosphorus in soil		Rzeczywisty wzrost +/- lub spadek -/+ $P_2O_5$ ogółem mg/100 g gleby w stosunku do obiektu $P_0$ /wg danych tab. 1,2,3/ Actual increase +/- or decrease +/- of total $P_2O_5$ content in mg/100 g soil in relation to $P_0$ treatment /according to Tables 1, 2, 3/
			wniesiona z nawozami brought into soil with fertilizers	pobrana przez rośliny <sup>xxx</sup> taken up by plants	kg $P_2O_5$ /ha	mg $P_2O_5$ /100 w warstwie 0-20 cm mg $P_2O_5$ /100 in 0-20 cm layer	
1	2	3	4	5	6	7	8
Wierzbno	$P_0$	11 1963-1973	210 <sup>xx</sup>	334	- 124	- 4,1	
	$P_1$		606	355	+ 251	+ 8,4	- 4
	$P_2$		1002	379	+ 623	+ 20,8	- 4
	$P_{4-3}$		1686	366	+ 1320	+ 44,0	+ 19
Wislichowo	$P_0$	8 1965-1973	165	293	- 128	- 4,3	
	$P_1$		489	329	+ 160	+ 5,3	+ 6
	$P_2$		813	329	+ 484	+ 16,1	+ 9
	$P_{4-3}$		1353	334	+ 1019	+ 34,0	+ 20
Baborówko	$P_0$	12 1962-1973	120	491	- 371	- 12,4	
	$P_1$		552	574	- 22	- 0,7	+ 8
	$P_2$		984	661	+ 323	+ 10,8	+ 16
	$P_{4-3}$		1740	684	+ 1056	+ 35,2	+ 18
Topola - Błonie	$P_0$	9 1965-1973	210	399	- 189	- 6,3	
	$P_1$		534	406	+ 128	+ 4,3	+ 7
	$P_2$		858	438	+ 420	+ 14,0	+ 9
	$P_{4-3}$		1398	449	+ 949	+ 31,6	+ 17

1	2	3	4	5	6	7	8
Grabów	P <sub>0</sub>	10	225	409	- 184	- 6,1	
	P <sub>1</sub>		585	461	+ 124	+ 4,1	+ 2
	P <sub>2</sub>	1964-1973	945	478	+ 467	+ 15,6	+ 7
	P <sub>4-3</sub>		1593	488	+ 1105	+ 36,8	+ 14
Małyszyn	P <sub>0</sub>	12	243	538	- 295	- 9,8	
	P <sub>1</sub>		675	566	+ 109	+ 3,6	+ 9
	P <sub>2</sub>	1962-1973	1107	596	+ 511	+ 17,0	+ 18
	P <sub>4-3</sub>		1899	716	+ 1183	+ 39,4	+ 24
Dobrogostów	P <sub>0</sub>	9	90	398	- 308	- 10,3	
	P <sub>1</sub>		414	404	+ 10	+ 0,3	+ 14
	P <sub>2</sub>	1965-1973	738	406	+ 332	+ 11,1	+ 3
	P <sub>4-3</sub>		1314	426	+ 888	+ 29,6	+ 14
Antopol	P <sub>0</sub>	10	90	701	611	- 20,4	
	P <sub>1</sub>		450	686	- 236	- 7,9	+ 5
	P <sub>2</sub>	1964-1973	810	717	+ 93	+ 3,1	+ 9
	P <sub>4-3</sub>		1458	745	+ 713	+ 23,8	+ 5
Borusowa	P <sub>0</sub>	10	120	547	427	- 14,2	
	P <sub>1</sub>		480	621	141	4,7	+ 7
	P <sub>2</sub>	1964-1973	840	611	+ 229	+ 7,6	+ 7
	P <sub>4-3</sub>		1452	714	+ 738	+ 24,6	+ 11
<p>x - wyliczenia teoretyczne      Theoretic calculations</p> <p>xx - Fosfor wniesiony w postaci obornika      Phosphorus brought into soil with manure /FYM/</p> <p>xxx - według danych W. Boguszewskiego i S. Goska /3, 4/      According to data given by W. Boguszewski and S. Gosek /3, 4/</p>							

do wyjaśnienia na podstawie uzyskanych wyników badań. Nie można tego wiązać z alkalicznym odczynem gleby madowej, nie wykazujące bowiem również kwaśnej reakcji gleby lessowa oraz ciężka wytworzona z gliny zawierają przewagę form fosforu związanego z glinem i żelazem.

Wszystkie badane gleby wykazują niewielką ilość fosforu organicznego. Porównując otrzymane dane z wynikami zawartości fosforu organicznego oznaczonego innymi metodami można przypuszczać, że są one za niskie. Uzyskane wartości organicznych form fosforu powinny być prawdopodobnie podwyższone o zawartość niezidentyfikowanych frakcji fosforu tkwiących w trudno hydrolizujących połączeniach.

### WNIOSKI

1. Wieloletnie stosowanie zróżnicowanych dawek nawozów fosforowych wpłynęło na wzbogacenie gleb w fosfor ogółem odpowiednio do poziomu wprowadzonego składnika. Różnice we wzroście zasobności między badanymi rodzajami gleb są dość znaczne i kształtują się w przedziale 4—34% w stosunku do ilości P w glebach poletek kontrolnych. Wpływ nawożenia fosforem na poziom tego składnika w większości badanych gleb stwierdzono tylko w warstwie ornopróchnicznej.

2. Równolegle do zmian ogólnej zawartości fosforu w glebach kształtowała się ich zasobność w przyswajalne formy tego składnika oznaczone metodą Engera-Riehma. Należy jednak zaznaczyć, że różnice między poszczególnymi obiektami są tu odpowiednio niższe.

3. Udział fosforu organicznego i jego form mineralnych w glebach nawożonych superfosfatem kształtuje się na takim samym poziomie jak w glebie nie nawożonej. W glebach wytworzonych z piasków i glin plejstocenijskich udział frakcji fosforu związanego z glinem i żelazem przekracza 50% P ogółem, zaś zawartość związków tego pierwiastka z wapniem mieści się najczęściej w granicach 10—20%. Jedynie w madzie występuje przewaga form fosforu związanego z wapniem.

4. Na podstawie bilansu fosforu za okres prowadzenia doświadczeń stwierdzono, że znaczna część fosforu nawozowego wprowadzona do gleby nie została odnaleziona w poziomach na głębokości do 20 cm.

### LITERATURA

- [1] Adamus M. i inni: Zmiany zasobności gleb pod wpływem nawożenia w świetle wieloletnich doświadczeń IUNG. S(17) Puławy 1972, 28—38.
- [2] Bergmann W., Witter B.: Die Wirkung der Phosphorsäure in statischen P-Steigerungsversuchen und der Verbleib der Restphosphorsäure im Boden. A. Thier-Archiv 9/10, 1965, 901—920.
- [3] Boguszewski W., Gosek S., Grześkiewicz H.: Wyniki doświadczeń z wysokimi dawkami fosforu i potasu w Zakładach Doświadczalnych IUNG. Cz. I. Pam. puł. 1971, 42, 55—78.

- [4] Boguszewski W., Gosek S.: Wyniki doświadczeń z wysokimi dawkami fosforu i potasu w Zakładach Doświadczalnych IUNG. Cz. III. Pam. puł. (w druku).
- [5] Boguszewski W., Gosek S.: Rezerwy glebowe fosforu wykorzystanego przez rośliny a zawartość fosforu przyswajalnego według Egnera-Riehma. Pr. nauk. A. Ekon. Wrocław. 1974, nr 58(80) Chemia, 69—80.
- [6] Czuba R., Gaszek K., Włodarczyk Z.: Aktualny bilans fosforu w rolnictwie. Pr. nauk. A. Ekon. Wrocław. 1974, nr 58(80) Chemia, 61—67.
- [7] Delczewa-Walewa D., Moskał S.: Wpływ długoletniego zróżnicowanego nawożenia na zawartość różnych fosforanów w glebie. Roczn. glebozn. 18, 1968, 2, 523—533.
- [8] Kurmies B.: Zur Fraktionierung der Bodenphosphate. Die Phosphorsäure 29, 1972, 2/3, 118—149.
- [9] Moskał S.: Przemiany nawozów fosforowych w glebie. Pr. nauk. Instytutu Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych. Wrocław. 1972, nr 4, Konferencja nr 1, 49—51.
- [10] Moskał S., Petrović M.: What happens to the phosphorus from superphosphate in the soil not absorbed by plants as established on the basis of field experiments carried on for many years. Roczn. glebozn. 14, 1964, dod., 81—89.
- [11] Szczurek J.: Wpływ wieloletniego nawożenia na zawartość związków fosforowych w glebie pod monokulturą żyta i ziemniaków. Roczn. glebozn. 24, 1973, 2, 429—465.

Г. ПОНДЕЛЬ, Я. ГАЛЧИНЬСКА

## ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ФОСФОРНОГО УДОБРЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ РАЗНЫХ ФОРМ ФОСФОРА В ПОЧВЕ

Отделение химии почв и удобрений,  
Институт агротехники, удобрения и почвоведения, Пулавы

### Резюме

Целью работы было исследование влияния многолетнего количества дифференцированного удобрения фосфором на содержание форм фосфора в нескольких видах почвы. Опытных станций размещенных в разных почвенно-климатических районах. В схеме опыта приняли во внимание 4 варианта:  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_{4-3}$  ( $P_1 = 36$  кг  $P_2O_5/га$ ).

Констатировано, что многолетнее дифференцированное удобрение фосфором повлияло на обогащение почв общим фосфором, соответственно уровню введенного удобрения. Разницы в степени обогащения исследованных видов почв значительные и колеблются в пределах 4-34% по отношению к количеству фосфора в почвах контрольных участков. Для большинства почв, влияние удобрения фосфором на уровень этого компонента в почве, обнаруживается только в пахотно-гумусном слое. Параллельно изменениям содержания валового фосфора, меняется содержание его усваиваемых форм по методу Эгнера-Рима. В почвах обогащенных фосфором удобрений, констатировано приблизительно такое же участие его органических и минеральных форм как в контрольной почве без удобрения.

В почвах образованных из песков и плейстоценовских суглинков, участие фракции P — Al, Fe превышает 50% валового фосфора, содержание же соеди-

нений P—Ca колеблется чаще всего в пределах 10–20%. Только в аллювиальной почве имеет место количественное преобладание форм P—Ca. На основании проведенного баланса фосфора за период ведения опытов констатировано, что значительной части фосфора введенного с удобрениями не можно найти в почве на глубине до 20 см.

H. PONDEL, J. GAŁCZYŃSKA

PHOSPHORUS FERTILIZATION EFFECT ON THE CONTENT  
OF VARIOUS PHOSPHORUS FORMS IN SOIL

Department of Soil Chemistry and Plants Fertilization Institute  
of Soil Science and Cultivation of Plants, Puławy

S u m m a r y

The aim of the work was to investigate an effect of the many-year quantitatively differentiated phosphorus fertilization on the content of phosphorus forms in several soil kinds of experimental stations situated in regions with different soil and climate conditions. The respective experiment comprised four treatments, viz.: P<sub>0</sub>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>4-3</sub> (P<sub>1</sub>=36 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per hectare).

It has been proved that the differentiated many-year fertilization resulted in an enrichment of soils in total phosphorus in relation to the phosphorus fertilization level. Differences in the phosphorus content increase between the soil kinds investigated were quite considerable, varying within 4–34% in relation to the phosphorus amount in soil of control plots. In most soils the phosphorus fertilization effect on the phosphorus level in soil was found in the arable layer only. Parallely with the total phosphorus content changes the amount of available phosphorus forms determined after Egner-Riehm was forming. In soils enriched in phosphorus by the fertilization with this element a similar content of its organic and mineral forms in relation to unfertilized control were found.

In soils developed from sands and Pleistocenic loams the P-Al, Fe fraction content was higher more than 50% of the total P content, while the content of P—Ca compounds maintained usually within the limits of 10–20%. Only in alluvial soil a predominance of P—Ca forms was observed.

The set up balance of phosphorus for the period of the experiment allowed to state that a considerable part of the fertilizer phosphorus brought in with fertilization, was not contained in soil at the depth to 20 cm.

*Doc. dr Henryk Pondel*  
*Instytut Uprawy,*  
*Nawożenia i Gleboznawstwa*  
*Puławy*