

Ocena przydatności metody Hedleya do oznaczania zmian zawartości frakcji fosforu w glebie

¹Arkadiusz Tujaka, ¹Stanisław Gosek, ²Rafał Gałzka

¹Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia, ²Zakład Gleboznawstwa, Erozji i Ochrony Gruntów
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy, Polska

Abstrakt. Na podstawie wyników trzyletnich ścisłych doświadczeń polowych, przeprowadzonych w latach 2005–2007 w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym Grabów, na glebie kompleksu pszennego dobrego, z pszenicą ozimą, pszenżytem ozimym i kukurydzą na kiszonkę określono zmiany zawartości frakcji fosforu oznaczonych metodą Hedleya w warstwie gleby 0–90 cm. Zmiany te porównano ze zmianami zawartości fosforu przyswajalnego oznaczonego metodą Egnera-Riehma DL na tle pobrania fosforu przez rośliny i bilansu P.

Pobranie fosforu w trzyletnim cyklu badań nie zależało ani od formy nawozu, ani od wielkości dawki P. Przy średniej zasobności gleby w fosfor przyswajalny rośliny są dobrze zaopatrzone w P nawet bez nawożenia tym składnikiem. Również bilans fosforu był wyrównany już przy dawce 21,7 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹. Zawartość frakcji P-H₂O była najmniejsza i wahała się od 5,4 do 10,8 kg P·ha⁻¹. Zawartość frakcji P-Dowex była niemal identyczna z zawartością fosforu przyswajalnego oznaczonego metodą Egnera-Riehma DL i wahała się od 184,5 do 287,5 kg P·ha⁻¹, co przekraczało niemal dziesięciokrotnie ilości P pobierane rocznie przez rośliny. Frakcje P-H₂O i P-Dowex najwyraźniej były związane z poziomem nawożenia fosforem i bilansem tego składnika. Frakcje te przeważają w warstwie ornej gleby 0–30 cm.

Stwierdzono niedoszacowanie zawartości fosforu oznaczonego metodą Egnera-Riehma DL w stosunku do sumy frakcji P-H₂O i P-Dowex oznaczonych metodą Hedleya.

Średnia zasobność gleby w fosfor zapewnia dobre zaopatrzenie roślin w ten pierwiastek przez 6–7 lat. Zawartość frakcji P-NaHCO₃, potencjalnie dostępnej dla roślin, wskazuje na głębokie rezerwy fosforu zabezpieczające zaopatrywanie roślin w ten składnik nawet przez okres 16–19 lat.

słowa kluczowe – frakcjonowanie fosforu metodą Hedleya, dostępność fosforu dla roślin, nawożenie fosforem

WSTĘP

Podstawowym celem nawożenia roślin uprawnych fosforem jest zaspokojenie ich potrzeb pokarmowych w stosunku do tego składnika, przy uwzględnieniu aktualnej zasobności gleby w przyswajalny fosfor. W Polsce od szeregu lat do równoległego oznaczania zasobności gleby w przyswajalny dla roślin fosfor i potas jest stosowana metoda Egnera-Riehma DL (Fotyma, Kęsik, 1984). Metoda ta jednak często okazuje się niewystarczająco precyzyjna dla dokładnego wyznaczenia optymalnych dla roślin dawek fosforu zabezpieczających wysoką efektywność nawożenia i utrzymywanie co najmniej średniej zasobności gleby w fosfor przyswajalny dla roślin. Dlatego testuje się inne, bardziej skomplikowane metody, pozwalające określić zasobność gleby w różne frakcje fosforu (Fixen, Grove, 1990).

Celem badań była ocena przydatności metody Hedleya do oznaczania frakcji fosforu na tle zawartości przyswajalnego fosforu oznaczonej standardową metodą Egnera-Riehma DL (P-DL). Uwzględniono ilości fosforu pobrane przez rośliny i bilans P oraz rozkład poszczególnych frakcji fosforu w warstwach gleby 0–30, 30–60 i 60–90 cm.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Prezentowane wyniki badań dotyczą przeprowadzonej w latach 2005–2007 serii ścisłych doświadczeń polowych ze zróżnicowanymi formami i dawkami nawozów fosforowych, przedstawionymi w tabeli 1.

Nawożenie azotem i potasem było stosowane wg zaleceń nawozowych w jednakowych dawkach na wszystkich obiektach fosforowych i wynosiło :

- pod pszenicę ozimą – N – 110 kg·ha⁻¹, K – 108 kg·ha⁻¹,
- pod pszenżyto ozime – N – 140 kg·ha⁻¹, K – 108 kg·ha⁻¹,
- pod kukurydzę na kiszonkę – N – 140 kg·ha⁻¹, K – 116 kg·ha⁻¹.

Autor do kontaktu:

Arkadiusz Tujaka
e-mail: atujaka@iung.pulawy.pl
tel. +48 81 8863421 w. 286

Praca wpłynęła do redakcji 28 marca 2011 r.

Tabela 1. Nawożenie roślin fosforem [kg P·ha⁻¹·rok⁻¹] w latach 2005–2007Table 1. Phosphorus fertilization [kg P ha⁻¹ yr⁻¹] in years 2005–2007.

Obiekt Treatment	Pszenica ozima Winter wheat	Pszenżyto ozime Winter triticale	Kukurydza na kiszonkę Silage ma- ize	Średnio Mean
P ₀ K ₂ S ₀	-	-	-	-
P ₁ K ₂ S ₀ [#]	10,9	8,7	13,1	10,9
P ₂ K ₂ S ₀ [#]	21,4	17,4	26,2	21,7
P ₃ K ₂ S ₀ [#]	42,7	26,2	52,3	40,4
P ₁ K ₂ S ₂ ^{##}	10,9	8,7	13,1	10,9
P ₂ K ₂ S ₂ ^{##}	21,4	17,4	26,2	21,7
P ₃ K ₂ S ₃ ^{##}	42,7	26,2	52,3	40,4

Forma nawozu: Form of fertilizer:

superfosfat potrójny; triple superphosphate – 46% P₂O₅## superfosfat pojedynczy; single superphosphate – 18% P₂O₅

Doświadczenia przeprowadzono w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym IUNG-PIB w Grabowie, na glebie płowej wytworzonej na glinie lekkiej, zaliczonej do kompleksu pszennego dobrego, o średniej wyjściowej zawartości przyswajalnego fosforu. W latach 2005–2007 na 3 polach uprawiano równolegle pszenicę ozimą, pszenżyto i kukurydzę na kiszonkę na poletkach o powierzchni 60 m², w układzie kompletnie zrandomizowanym, w 4 powtórzeniach.

Próbki glebowe pobierano corocznie po sprzęcie zbóż i kukurydzy z warstw 0–30, 30–60 i 60–90 cm gleby i po ich wysuszeniu oznaczono zawartość przyswajalnego fosforu metodą Egnera-Riehma i 5 frakcji fosforu – metodą Hedleya (tab. 2).

W metodzie Hedleya konieczne jest stosowanie kilku roztworów ekstrakcyjnych, co zwiększa pracochłonność analiz.

W doświadczeniu tym nie stosowano obornika, a wapnowanie oraz nawożenie azotem i potasem stosowano wg

zaleceń doradztwa nawozowego, co zapewniało optymalny dla uprawianych gatunków roślin odczyn gleby oraz optymalne zaopatrzenie w N i K.

Do opracowania przyjęto wyniki analiz z lat 2005 i 2007. Porównano zmiany zawartości frakcji fosforu oznaczonych metodą Hedleya ze zmianami zawartości przyswajalnego fosforu oznaczonego metodą Egnera-Riehma DL.

Zmiany zawartości form fosforu rozpatrywano na tle pobrania fosforu przez uprawiane rośliny oraz bilansu tego składnika, czyli różnicy pomiędzy nawożeniem i pobraniem fosforu przez rośliny w trzyletniej rotacji badań.

WYNIKI BADAŃ

W trzyletnim członie zmianowania pobranie fosforu wahało się od 19,7 do 24,0 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹ i nie było wyraźnie zależne ani od formy nawozu, ani od wielkości dawki fosforu (tab. 3). Pobranie fosforu w obiekcie kontrolnym było zbliżone do pobrania tego składnika w obiektach z nawożeniem fosforem.

Nieco większe było pobranie P w obiektach z superfosfatem pojedynczym, co można wiązać z dodatnim wpływem siarki na pobieranie fosforu przez rośliny.

Przy średniej zasobności gleby z reguły rośliny nie cierpią na niedobór fosforu nawet przy braku nawożenia tym składnikiem i pobranie P nie wzrasta znacząco pod wpływem zastosowanego nawożenia fosforem.

Bilans fosforu był wyrównany przy drugiej, optymalnej dawce 21,7 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹. W obiekcie kontrolnym rośliny pobrały w ciągu 3 lat 60,9 kg P, czyli saldo bilansu w ciągu 3 lat wyniosło -60,9 kg P·ha⁻¹. Zastosowanie średnio 40,4 kg P na hektar rocznie zabezpieczało dodatni bilans fosforu na poziomie przekraczającym 20 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹. W tabeli 4 zestawiono zawartości badanych form fosforu po 3 latach badań na tle zawartości wyjściowej oznaczonej po zbiorze roślin w 2005 roku w warstwie ornej 0–30 cm.

Tabela 2. Charakterystyka frakcji fosforu oznaczonych metodą Hedleya (Cross, Schesinger, 1995)

Table 2. Hedley's phosphorus fractions – specification (Cross, Schesinger, 1995).

Frakcja Fraction	Roztwór ekstrakcyjny Extractive dilution	Charakterystyka Specification
F1 P-H ₂ O	woda redestylowana redistilled water	P aktywny – labilne formy fosforu w roztworze glebowym reactive P – labile forms of phosphorus in soil solution
F2 P-Dowex	10% NaHCO ₃ + Dowex (żywica jonowymienna)	łatwo dostępne dla roślin rozpuszczalne związki fosforu easily plant available forms of phosphorus
F3 P-NaHCO ₃	0,5 mol NaHCO ₃ dm ⁻³ (pH 8,5)	wymienne i luźno zasorbowane związki fosforu exchangeable and slightly absorbed phosphorus compounds in equilibrium with P-H ₂ O
F4 P-NaOH	0,1 mol NaOH dm ⁻³	związki fosforu związane z hydroksytlenkami żelaza, glinu i materią organiczną phosphorus compounds connected with hydrated ferric, aluminium oxides and organic matter
F5 P-H ₂ SO ₄	1 mol H ₂ SO ₄ dm ⁻³	trudno rozpuszczalne związki fosforu – apatyty hardly soluble phosphorus compounds – apatites

Tabela 3. Pobranie i bilans fosforu w latach 2005–2007 [kg P·ha⁻¹·rok⁻¹] (średnio dla 3 pól)Table 3. Plant uptake and balance of phosphorus in period of 2005–2007 year [kg P ha⁻¹ yr⁻¹] (mean for 3 experimental fields).

Obiekt Treatment	Pobranie fosforu Plant phosphorus uptake	Bilans fosforu Phosphorus balance
P ₀ K ₂ S ₀	20,3	- 20,3
P ₁ K ₂ S ₀	22,0	- 11,1
P ₂ K ₂ S ₀	20,6	1,1
P ₃ K ₂ S ₀	19,7	20,7
P ₁ K ₂ S ₁	24,0	-13,1
P ₂ K ₂ S ₂	24,0	-2,3
P ₃ K ₂ S ₃	20,3	20,1

Tabela 4. Zawartości frakcji fosforu [mg P·kg⁻¹] oznaczone w 2007 roku (średnie dla 3 pól) w warstwie 0–30 cmTable 4. The content of phosphorus fractions [mg P kg⁻¹] determined in 0–30 cm soil layer in year 2007 (mean for 3 experimental fields).

Obiekt Treatment	Frakcje wg Hedleya Hedley's fractions					P-DL
	P-H ₂ O	P-Dowex	P-NaHCO ₃	P-NaOH	P-H ₂ SO ₄	
Wyjściowa [#] Initial [#]	1,2	41,0	76,5	153,3	133,1	49,2
P ₀ K ₂ S ₀	2,3	49,9	87,1	155,6	124,6	43,0
P ₁ K ₂ S ₀	2,4	53,4	86,4	155,3	134,7	50,6
P ₂ K ₂ S ₀	2,1	49,5	85,8	128,7	131,0	47,8
P ₃ K ₂ S ₀	1,5	63,9	86,5	137,1	133,0	48,7
P ₁ K ₂ S ₁	1,5	53,9	77,9	114,1	139,3	46,7
P ₂ K ₂ S ₂	1,8	51,2	98,5	125,6	134,3	46,9
P ₃ K ₂ S ₃	1,6	59,8	88,6	124,3	129,0	55,7

oznaczona w 2005 roku; determined in 2005

Zawartość frakcji P-H₂O, obejmującej najłatwiej dostępne dla roślin formy fosforu, była najmniejsza. Jej ilość w przeliczeniu na hektar wynosiła od 5,4 do 10,8 kg P. Zawartość frakcji P-Dowex była bardzo podobna jak fosforu przyswajalnego oznaczona metodą Egnera-Riehma. Ilość frakcji P-Dowex wahała się od 184,5 do 287,5 kg P·ha⁻¹, czyli była ok. 10 razy większa od średniego rocznego pobrania fosforu przez rośliny.

Wymienna i luźno związana z glebą frakcja fosforu oznaczona w 0,5 M NaHCO₃, pozostająca w równowadze z P-H₂O, stanowiła znaczną rezerwę fosforu dostępnego dla roślin, od 340 do 443 kg P·ha⁻¹ w warstwie 0–30 cm gleby. Trudno dostępne frakcje fosforu oznaczone w NaOH pozwalają ocenić ewentualne rezerwy fosforu dla roślin, które w przeprowadzonym doświadczeniu wahały się od 513 do 700 kg P·ha⁻¹. Frakcje P-H₂O i P-Dowex były najwyraźniej związane z poziomem nawożenia fosforem i bilansem tego składnika, podobnie jak frakcja P NaHCO₃. Dwie ostatnie frakcje: P-NaOH i P-H₂SO₄, wskazują na zasobność naturalną gleby w silnie związane z glebą formy fosforu.

Rośliny korzystają nie tylko z fosforu znajdującego się w warstwie ornej gleby, lecz także z jego form znajdujących się głębiej, w zasięgu ich

korzeni. W tabeli 5 przedstawiono udział zawartości różnych frakcji fosforu w warstwie 0–30 cm w puli oznaczonej do głębokości 90 cm. Przyjęto, że o równomiernym rozkładzie form fosforu w warstwie ornej i podglebiu świadczy 30–40% udział w warstwie 0–30 cm. Okazało się, że frakcje labilne, łatwo dostępne i szybko pobierane przez rośliny, skupione są głównie w warstwie 0–30 cm.

W tabeli 6 przedstawiono procentowy udział poszczególnych frakcji w sumie 5 frakcji fosforu oznaczonych metodą Hedleya. Niemal połowę sumy oznaczonego fosforu stanowiła frakcja P-H₂SO₄, praktycznie niedostępna dla roślin.

Udział frakcji P-H₂O wahał się od 0,3 do 0,8% całkowitej ilości fosforu. Frakcja P-Dowex stanowiła od 9,6 do 12,0% całkowitej ilości P. Udział trudniej udostępnianej frakcji NaHCO₃ wahał się od 15,0 do 17,8% całkowitej ilości fosforu oznaczonego metodą Hedleya.

W tabeli 7 zawartości frakcji fosforu i ich sumy w warstwie 0–30 cm przedstawiono w % zawartości przyswajalnego fosforu oznaczonego metodą Egnera-Riehma DL.

Frakcja P-H₂O stanowiła od 2,8 do 8,3% ilości fosforu przyswajalnego dla roślin (P-DL). Frakcja P-Dowex była najbardziej zbliżona do P-DL i jej udział wynosił od 104 do 131% w relacji do przyswajalnego fosforu. Fosfor przyswajalny jest sumą bezpośrednio przyswajalnych i wymiennych form glebowych P, dlatego do P-Dowex należy dodać P-H₂O. Relacje pomiędzy sumą P-H₂O + P-Dowex a fosforem przyswajalnym P-DL rozszerzają się wtedy do 108–134%.

Taka różnica świadczy o niedoszacowaniu zasobności gleby w przyswajalny dla roślin fosfor przy metodzie Egnera-Riehma DL, tym bardziej że frakcja P-NaHCO₃, której zawartość waha się od 159 do 210% w stosunku do przyswajalnego fosforu, uzupełnia rezerwy tego składnika dostępne dla roślin.

W tabeli 8 przedstawiono roczne pobranie fosforu przez rośliny w % zawartości frakcji P oznaczonych metodą Hedleya i Egnera-Riehma DL. Oczywiście frakcja P-H₂O w stosunku do pobrania P nie może być miernikiem zasobności gleby w fosfor

Tabela 5. Procentowy udział frakcji fosforu w warstwie ornej (0–30 cm) w stosunku do zawartości w badanym profilu 0–90 cm (średni dla 3 pól)

Table 5. The percentage share of phosphorus fractions in 0–30 cm surface soil layer in relation to the content in the whole analyzed soil profile 0–90 cm (mean for 3 experimental fields).

Obiekt Treatment	2005					2007						
	P H ₂ O	P-Do- wex	P-Na- HCO ₃	P- NaOH	P- H ₂ SO ₄	P-DL	P H ₂ O	P-Do- wex	P-Na- HCO ₃	P-Na- OH	P- H ₂ SO ₄	P-DL
P ₀ K ₂ S ₀	31,6	48,3	60,4	58,6	30,7	65,7	44,9	50,7	59,8	54,7	28,9	55,7
P ₁ K ₂ S ₀	43,6	43,8	52,3	58,5	33,6	53,4	57,0	50,9	60,8	68,5	31,8	59,3
P ₂ K ₂ S ₀	31,6	47,9	61,9	54,8	25,3	61,0	70,2	49,9	57,4	50,3	32,3	53,5
P ₃ K ₂ S ₀	28,1	47,8	60,8	56,3	26,2	42,5	51,4	56,9	61,9	56,9	30,3	55,3
P ₁ K ₂ S ₁	41,6	43,1	40,7	51,6	32,2	55,3	26,5	54,3	61,8	56,6	34,6	47,1
P ₂ K ₂ S ₂	33,5	52,7	59,8	57,4	27,3	50,1	42,1	55,7	61,0	55,1	28,4	56,8
P ₃ K ₂ S ₃	30,1	49,5	55,8	57,2	30,0	52,0	37,1	60,5	50,3	52,3	31,3	56,7

Tabela 6. Procentowy udział frakcji fosforu w sumie 5 frakcji oznaczony w próbkach gleby pobranych w 2007 roku (średnie dla 3 pól)

Table 6. The percentage share of phosphorus fractions in sum of five fractions determined in soil samples from 2007 year (mean for 3 experimental fields).

Obiekt Treatment	Frakcje wg Hedleya Hedley's fractions				
	P H ₂ O	P-Dowex	P-NaHCO ₃	P-NaOH	P-H ₂ SO ₄
P ₀ K ₂ S ₀	0,5	10,2	15,1	29,5	44,7
P ₁ K ₂ S ₀	0,8	11,6	15,7	25,1	46,8
P ₂ K ₂ S ₀	0,3	10,9	16,4	28,0	44,4
P ₃ K ₂ S ₀	0,3	12,0	15,0	25,8	46,9
P ₁ K ₂ S ₁	0,7	11,5	15,2	24,3	48,3
P ₂ K ₂ S ₂	0,4	9,6	16,8	23,8	49,4
P ₃ K ₂ S ₃	0,4	10,0	17,8	24,0	47,8

Tabela 7. Procentowa zawartość frakcji fosforu i ich sum w stosunku do zawartości P DL w warstwie 0–30 cm gleby po zakończeniu badań w 2007 roku

Table 7. The percentage content of phosphorus fractions and their sum in relation to the P-DL content in 0–30 cm soil layer after termination of experiment in 2007 year.

Obiekt Treatment	Frakcje wg Hedleya Hedley's fractions					Sumy frakcji Sum of fractions			
	P-H ₂ O	P-Dowex	P-NaHCO ₃	P-NaOH	P-H ₂ SO ₄	1+2	1+2+3	1+2+3+4	1+2+3+4+5
	1	2	3	4	5				
P ₀ K ₂ S ₀	5,3	116	202	362	290	121	324	685	975
P ₁ K ₂ S ₀	8,3	105	171	307	266	114	285	592	858
P ₂ K ₂ S ₀	4,3	104	179	269	274	108	287	557	831
P ₃ K ₂ S ₀	3,1	131	178	282	273	134	312	594	867
P ₁ K ₂ S ₁	3,3	115	167	245	299	119	286	530	829
P ₂ K ₂ S ₂	3,8	109	210	267	286	113	323	590	876
P ₃ K ₂ S ₃	2,8	107	159	223	232	110	269	493	724

ze względu na jej labilność i stałe uzupełnianie z frakcji wymiennych. Ograniczając się tylko do fosforu przyswajalnego można by założyć utrzymywanie się plonów bez nawożenia fosforem przez okres 6–7 lat, co świadczy o dobrym aktualnym zaopatrzeniu i wyjaśnia brak różnic

w pobraniu fosforu przez rośliny. Uwzględniając sumę 3 frakcji, czyli fosfor aktualnie i potencjalnie dostępny dla roślin, można stwierdzić, że rezerwy tego składnika w badanej glebie ze Stacji Doświadczalnej w Grabowie wystarczają na zaopatrywanie roślin w fosfor przez okres 16–19 lat.

Tabela 8. Pobranie fosforu przez rośliny wyrażone w % zawartości frakcji fosforu w glebie (0–30 cm) średnio dla lat 2005–2007
 Table 8. Phosphorus uptake by plants in % of the content of phosphorus fractions in soil (0–30 cm), mean for years 2005–2007.

Obiekt Treatment	Frakcje wg Hedleya Hedley's fractions					Sumy frakcji Sum of fractions				P-DL
	P-H ₂ O 1	P-Dowex 2	P-NaHCO ₃ 3	P-NaOH 4	P-H ₂ SO ₄ 5	1+2	1+2+3	1+2+3+4	1+2+3+4+5	
P ₀ K ₂ S ₀	390,4	14,9	8,3	4,4	5,3	14,3	5,3	2,4	1,6	14,7
P ₁ K ₂ S ₀	258,8	16,3	8,3	5,0	5,4	15,4	5,4	2,6	1,7	15,2
P ₂ K ₂ S ₀	470,5	16,3	5,7	5,4	5,5	15,7	4,2	2,4	1,7	14,6
P ₃ K ₂ S ₀	750,0	15,0	6,1	5,4	5,7	14,7	4,3	2,4	1,7	17,0
P ₁ K ₂ S ₁	545,5	18,5	9,9	6,3	5,9	17,9	6,4	3,2	2,1	16,6
P ₂ K ₂ S ₂	472,5	16,7	9,1	5,3	6,7	16,2	5,8	2,8	2,0	18,4
P ₃ K ₂ S ₃	471,4	13,9	9,4	5,1	6,2	13,5	5,5	2,7	1,9	14,3

DYSKUSJA

Trzyletni okres badań przy rozpatrywaniu zmian zawartości glebowego fosforu jest zbyt krótki dla porównania przydatności metody Hedleya i metody Egnera-Riehma DL, ale pozwala na ocenę celowości stosowania metody Hedleya do wyjaśniania znaczenia kolejno oznaczanych frakcji w zaopatrywaniu roślin w fosfor i ich rozkładu w profilu gleby.

Na konieczność uzupełnienia wyników oznaczeń fosforu przyswajalnego metodą Egnera-Riehma DL oznaczaniem różnych frakcji P zwracała uwagę Gaj (Gaj, 2008). Zasobność gleb Polski w fosfor przyswajalny dla roślin wg badań Stacji Chemiczno-Rolniczych (Lipiński, 2005) wymaga stałej kontroli, ponieważ aż 40% gleb wykazuje bardzo niską i niską zawartość fosforu. Zwiększenie efektywności nawożenia fosforem można uzyskać poprzez doskonalenie metod aplikacji i recyklingu fosforu ze ścięków z produkcji zwierzęcej i przemysłowej (Johnston, Dawson, 2005). W wieloletnich badaniach polowych potwierdzono działanie następcze nawozów fosforowych (Kęsik, Fotyła, 1991; Mendel, 1997). Nadmierne nawożenie fosforem, szczególnie na glebach z bardzo niską naturalną zawartością przyswajalnego fosforu, prowadzi do zagrożenia dla środowiska (Johnston, Dawson, 2005; Gaj, 2008; Sharpley i in., 1981). W przemieszczaniu fosforu do wód gruntowych i powierzchniowych oprócz frakcji mineralnych należy też uwzględnić formy organiczne (Fixen, Grove, 1990; Cross, Schesinger, 1995; Bolan, Hedley, 1990; Amer i in., 1955; Hedley, 1982; Tunney, 2000). Przeprowadzone badania wykazały celowość oznaczania frakcji fosforu metodą Hedleya w ścisłych badaniach naukowych, szczególnie w wieloletnich doświadczeniach polowych. Dla badań rutynowych metoda Hedleya jest zbyt pracochłonna, gdyż wymaga wydzielania pięciu frakcji i stosowania kilku roztworów ekstrakcyjnych (Cross, Schesinger, 1995). W porównaniu z metodą Egnera-Riehma DL nie wnosi zasadniczych elementów pozwalających ocenić ilości fosforu rzeczywiście dostępnego dla roślin.

Rozmieszczenie fosforu w profilu gleby wskazuje na wyraźniej lepszą zasobność warstwy ornej 0–30 cm w stosunku do warstwy podglebia 30–90 cm.

Metoda Hedleya pozwala na oznaczenie frakcji P-NaHCO₃, potencjalnie dostępnej dla roślin. Uwzględnienie tych form fosforu zwiększa szacunkową długość okresu, w którym rośliny powinny być odpowiednio zaopatrzone w P bez nawożenia tym składnikiem, do 16–19 lat.

Obecnie rozważa się zastąpienie metody Egnera-Riehma metodą Mehlich III, ponieważ w jednym roztworze ekstrakcyjnym można równolegle oznaczać kilka makro- i mikroelementów (Ziadi, Sen Tran, 2008).

WNIOSKI

1. Pobranie fosforu przez rośliny w trzyletnim cyklu doświadczeń polowych nie zależało ani od formy nawozu, ani od wielkości dawki P.
2. Bilans fosforu przyjmował wartość bliską zeru już przy dawce 21,7 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹.
3. Zasób frakcji P-H₂O był najmniejszy i wahał się od 5,4 do 10,8 kg P·ha⁻¹.
4. Zasób frakcji P-Dowex był niemal taki sam jak fosforu przyswajalnego oznaczonego metodą Egnera-Riehma DL i wahał się od 184,5 do 287,5 kg P·ha⁻¹.
5. Frakcje P-H₂O i P-Dowex były najwyraźniej związane z poziomem nawożenia fosforem i bilansem tego składnika.
6. Stwierdzono niedoszacowanie ilości fosforu przyswajalnego oznaczonego metodą Egnera-Riehma w stosunku do sumy frakcji P-H₂O i P-Dowex oznaczonych metodą Hedleya.
7. Zarówno fosfor przyswajalny P-DL, jak też frakcje P-H₂O i P-Dowex przeważają w warstwie 0–30 cm w stosunku do warstw głębszych, co potwierdza fakt odporności fosforu na przemieszczanie w głąb profilu glebowego.
8. W stosunku do sumy wszystkich 5 frakcji oznaczonych metodą Hedleya fosfor przyswajalny stanowił od 10,2 do 13,8%.

9. Zastosowanie metody Hedleya, z uwagi na jej dużą pracochłonność, jest ograniczone do badań naukowych, zwłaszcza opartych na wieloletnich doświadczeniach polowych. Do badań rutynowych metoda jest zbyt pracochłonna, a jednocześnie nie stwarza możliwości oceny ilości fosforu dostępnej dla roślin.

Sharpley A.N., Ahuja L.R., Yamamoto M., Menzel R.G., 1981. The kinetics of phosphorus desorption from soil. *Soil Sci. Am. J.*, 45(3): 493-496.

Ziadi N., Sen Tran T., 2008. Mehlich 3-extractable elements. 81-88. Carter M.R., Gregorich E.G., *Soil Sampling and methods of analysis*. Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida.

LITERATURA

- Amer F., Bouldin C.A., Duke F.R., 1955.** Characterization of soil phosphorus by an anion exchange resin adsorption and 32 P equilibrium. *Plant Soil*, 6: 381-409.
- Bolan N.S., Hedley M.J., 1990.** Dissolution of phosphate rocks in soils. 2. Effect of pH on dissolution and plant availability of phosphate rock in soil with pH dependent charge. *Fert. Res.*, 24: 125-134.
- Cross A.F., Schesinger W.H., 1995.** A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystem. *Geoderma*, 64: 197-214.
- Fixen P.E., Grove J.H., 1990.** Testing soils for phosphorus. W: *Soil testing and plant analysis*; red.: R.L. Westerman, 2nd Ed, nr 3, SSSA, Madison W.J., ss. 141-180.
- Fotyma M., Kęsik K., 1984.** Stan i perspektywy badań dotyczących przemian fosforu w glebie i nawożenia tym składnikiem. *Prace Nauk. AE Wrocław, Chemia*, 267: 67-89.
- Gaj R., 2008.** Zrównoważona gospodarka fosforem w glebie i roślinie w warunkach intensywnej produkcji roślinnej. *Naw. Nawoż.*, 33: 5-143
- Hedley M.J., 1982.** Changes in organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and laboratory incubation. *Soil Sci. Am. J.*, 46: 970-976.
- Johnston A.E., Dawson C.J., 2005.** Phosphorus in agriculture and relation to water quality. *Agricultural Industries Confederation*, Peterborough UK (ISBN 9780853101994).
- Kęsik K., Fotyma M., 1991.** Działanie następcze nawozów fosforowych. *IUNG, S(74)*, 57 ss.
- Lipiński W., 2005.** Zasobność gleb Polski w fosfor przyswajalny. *Naw. Nawoż.*, 2: 49-54.
- Mendel K., 1997.** Agronomic measures for better utilization of soil and fertilizer phosphates. *Europ. J. Agron.*, 7: 221-233.
- Tunney H., 2000.** Phosphorus loss in overland flow from grassland soil to water. *Proceedings of conference: Scientific basis to mitigate the nutrient dispersion into the environment*. Falenty IMUZ Publisher, 119-125.

A. Tujaka, S. Gosek, R. Gałqzka

ESTIMATION OF HEDLEY'S FRACTIONATION METHOD APPLICABILITY TO THE DETERMINATION OF CHANGES IN PHOSPHORUS FRACTIONS IN SOIL

Summary

Based on three year-long (2005–2007) experiment carried out in the Experimental Station in Grabów the changes of soil phosphorus fractions by means of Hedley's fractionation method were determined in the 0–90 cm soil profile. Above mentioned alterations were compared with variations of Egner-Riehm DL's available phosphorus content against plant phosphorus uptake and phosphorus balance. The phosphorus uptake by plants did depend on neither the form of fertilizer nor the magnitude of phosphorus rate. Plants appeared to be sufficiently provided with phosphorus even without P fertilization on soils with average abundance of available phosphorus. Simultaneously, the balance of phosphorus was already fixed by the rate of 21.7 kg P ha⁻¹ yr⁻¹. The content of P-H₂O fraction was the lowest and oscillated from 5.4 to 10.8 kg P ha⁻¹. The content of P-Dowex fraction was nearly identical as the content of available phosphorus followed by Egner-Riehm DL method and varied from 184.5 to 287.5 kg P ha⁻¹. The P-H₂O and P-Dowex fractions were apparently related to the level of fertilization with phosphorus as well as to the balance of phosphorus. More than two fractions of phosphorus prevailed in 0–30 cm soil layer. The underestimation of Egner-Riehm DL available phosphorus in comparison to the sum of Hedley's P-H₂O and P-Dowex forms of phosphorus was found. The average content of soil phosphorus guarantees the good phosphorus supply for plants within 6–7 years. Allowing the P-NaHCO₃ fraction of potentially available phosphorus for plants points at soil phosphorus reserves protective for plant phosphorus supply even for 16–19 years.

key words: Hedley's method, available phosphorus, phosphorus fertilization