

roby. Nieorganiczne związki fosforu stanowią w glebach mineralnych od 70 do 95% fosforu całkowitego. Wchodzą one w skład skały macierzystej i występują głównie w formie bardzo trudno rozpuszczalnych minerałów [Sądej 2000]. Biorąc pod uwagę rodzaj i charakter występujących w litosferze połączeń fosforu, można ogólnie przyjąć, że najliczniej reprezentowane są związki: P z glinem (około 30%), następnie z żelazem i manganem (po około 18%) oraz z wapniem (około 35%) [Borowiec 1988]. Przy wysokim potencjale plonotwórczym naturalna zasobność gleby w fosfor nie jest w stanie zaspokoić potrzeb pokarmowych roślin uprawnych. Jednocześnie jego niewielkie wykorzystanie z nawozów mineralnych (15–30%) skłania do podejmowania prac mających na celu poprawę zaopatrzenia roślin w ten pierwiastek [Lipiński 1997b; Tkaczyk 2002].

Celem pracy było określenie oddziaływania nawozów mineralnych i obornika na występowanie przyswajalnych form i mineralnych frakcji fosforu, będących źródłem tego pierwiastka dla roślin uprawnych.

METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 1999–2001 na glebie płowej bardzo kwaśnej. Doświadczenie obejmowało pięć poziomów nawożenia doglebowego. Na poletkach o powierzchni 48 m² zastosowano następujące warianty nawożenia: 1. Obiekt kontrolny (bez nawożenia). 2. Nawożenie NPK. 3. Nawożenie NPK+MgSO₄·7H₂O. 4. Nawożenie NPK+MgO+CaO. 5. Nawożenie NPK+obornik. Rośliny uprawiano w trójpolowym ogniwie zmianowania: rzepak ozimy, pszenica ozima i owies. Siarczan magnezu stosowano co roku przed siewem w dawce 24 kg Mg ha⁻¹ pod rzepak i 19 kg Mg ha⁻¹ pod zboża. Bezpośrednio po zbiorze przedplonu w pierwszym roku doświadczenia zastosowano obornik w dawce 25 t ha⁻¹ oraz nawóz tlenkowy wapniowo-magnezowy o stosunku CaO : MgO równym 3 : 1, według 1 kwasowości hydrolitycznej w dawce 3 t CaO ha⁻¹. Nawożenie mineralne zastosowano w dawkach obliczonych za pomocą programu komputerowego NAW-2 dla poszczególnych gatunków roślin: rzepak ozimy 120 kg N ha⁻¹, 43 kg P ha⁻¹, 95 kg K ha⁻¹, pszenica ozima 102 kg N ha⁻¹, 28 kg P ha⁻¹, 62 kg K ha⁻¹, owies 90 kg N ha⁻¹, 38 kg P ha⁻¹, 108 kg K ha⁻¹. Pod rzepak ozimy stosowano: jesienią 26 kg N ha⁻¹, wiosną w dwóch dawkach 60 kg i 34 kg N ha⁻¹, pod pszenicę ozimą: jesienią 16 kg N ha⁻¹, wiosną w dwóch dawkach 60 kg i 36 kg N ha⁻¹, pod owies: dawka wiosną 90 kg N ha⁻¹.

Po zbiorze roślin w ostatnim roku doświadczenia pobrano do analizy laboratoryjnej glebę w trzech powtórzeniach z trzech warstw: 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm. W próbkach glebowych wykonano następujące oznaczenia: 1) fosfor

przyswajalny ekstrahowany wg metody Egnera-Riehma (DL), 2) mineralne frakcje fosforu, według metody Changa i Jacksona w modyfikacji Askinazi, Ginzburg i Lebedewej: P łatwo rozpuszczalny w 1 mol dm⁻³ NH₄Cl; P-Al w 0,5 mol dm⁻³ NH₄F; P-Fe w 0,1 mol dm⁻³ NaOH; P-Ca w 0,25 mol dm⁻³ H₂SO₄; Obliczono sumę mineralnych frakcji fosforu.

Zależność pomiędzy zastosowanymi czynnikami eksperymentalnymi a wybranymi cechami gleby określono metodą analizy wariancji z zastosowaniem półprzedziałów ufności Tukeya ($p=0,05$).

WYNIKI

Spośród zastosowanych czynników doświadczalnych największy wpływ na odczyn gleby wywierało nawożenie NPK+CaO+MgO (tab. 1). Wapnowanie gleby bardzo kwaśnej doprowadziło do wzrostu pH średnio o 1,5. Pozostałe czynniki doświadczalne nie miały znaczącego wpływu na odczyn badanej gleby.

Tabela 1. Wartość pH w 1 mol KCl dm⁻³ i H₂O oraz zawartość fosforu przyswajalnego ekstrahowanego wg metody Egnera-Riehma (mg P kg⁻¹) z warstwy 0–20 cm
Table 1. Values of pH in 1 mol KCl dm⁻³ and H₂O, as well as the content of available phosphorus extracted by Egner-Riehm method (mg P kg⁻¹) in soil layer 0–20 cm

Nawożenie Fertilization	pH (KCl)	pH (H ₂ O)	P według Egnera-Riehma P by Egner-Riehm method
0	4,27	5,42	12,67
NPK	4,27	5,32	16,67
NPK+MgSO ₄	4,29	5,40	21,50
NPK+CaO+MgO	5,95	6,76	25,83
NPK+obornik	4,25	5,30	15,07
NIR ($p=0,05$)	–	–	6,68

Oznaczanie fosforu przyswajalnego według metody Egnera-Riehma wykazało wzrost jego zawartości w warstwie ornej gleby pod wpływem zastosowanych czynników doświadczalnych. W przeprowadzonym doświadczeniu istotny wzrost fosforu przyswajalnego powodowało nawożenie NPK z CaO i MgO, a następnie NPK z MgSO₄. Najmniejszy przyrost wystąpił w obiekcie nawożonym tylko NPK. Liczne badania wykazały, że wapnowanie zwiększa aktywność biologiczną gleby, która może przyczynić się do wzrostu mineralizacji fosforu organicznego. Motowicka-Terelak [1974] w warunkach gleby bardzo kwaśnej i ubogiej w fosfor zaobserwowała wzrost ilości P przyswajalnego na skutek wapnowania, co zdaniem autorki było spowodowane mineralizacją substancji

organicznej. Bednarek, Lipiński [1996], oraz Hamad i Andrzejewski [1984] podają, że jeżeli w wyniku wapnowania w glebie nie następują znaczące zmiany odczynu, to przyswajalność fosforu może się zwiększyć tylko w wyniku ograniczenia jego uwstecznienia. Nawożenie NPK z obornikiem powodowało najmniejszy przyrost zawartości fosforu przyswajalnego. Według Łoginowa i in. [1991] pod wpływem nawożenia obornikiem wzrastała zawartość przyswajalnych form fosforu, przy czym w doświadczeniach trwających krótko różnice na korzyść obornika były niewielkie. Wenglikowska [1986] stwierdziła największy wzrost zawartości fosforu przyswajalnego w glebie przy łącznym stosowaniu obornika z nawozami mineralnymi.

Tabela 2. Zawartość mineralnych frakcji fosforu w glebie (mg P kg⁻¹)
 Table 2. The content of minerals fraction of phosphorus in soil (mg P kg⁻¹)

Nawożenie Fertilization	Głębokość Depth									
	P-lr. P water-soluble					P-Al				
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	\bar{x}	NIR B (p=0,05)	0 - 20	20 - 40	40 - 60	\bar{x}	NIR B (p=0,05)
0	13,06	6,65	12,00	10,57		57,54	87,03	74,79	73,12	
NPK	18,56	3,04	14,17	11,92		66,92	92,70	72,27	77,30	
NPK + MgSO ₄	12,99	16,76	11,03	13,59	~	60,83	77,31	68,64	68,92	27,93
NPK + CaO + MgO	11,08	19,54	4,05	11,56		91,94	70,48	79,46	80,63	
NPK + obornik	9,90	5,80	4,62	6,77		107,49	108,90	97,22	104,54	
\bar{x}	13,12	10,36	9,17		NIR AB (p=0,05)	76,94	87,28	78,48		NIR AB (p=0,05)
NIR A (p=0,05)	ni ns			15,07		ni ns			ni ns	
	P-Fe					P-Ca				
0	98,58	130,42	47,53	92,18		46,09	62,22	81,26	63,19	
NPK	48,21	111,32	92,31	83,95		52,94	48,48	59,77	53,73	
NPK + MgSO ₄	48,23	82,18	47,18	59,20	75,66	45,03	51,34	58,43	51,60	~
NPK + CaO + MgO	124,83	52,93	131,36	103,04		52,14	69,00	34,97	52,04	
NPK + obornik	197,50	144,20	164,90	168,87		53,71	51,80	59,60	55,04	
\bar{x}	103,47	104,21	96,66		NIR AB (p=0,05)	49,98	56,57	58,8		NIR AB (p=0,05)
NIR A (p=0,05)	ni ns			ni ns		ni ns			ni ns	
	Suma frakcji Sum of fractions									
0	215,27	286,31	215,59	239,06						
NPK	186,64	255,21	238,52	226,79						
NPK + MgSO ₄	167,08	227,60	185,28	193,32	88,24					
NPK + CaO + MgO	280,00	211,96	249,85	247,27						
NPK + obornik	368,61	310,71	326,01	335,11						
\bar{x}	243,52	258,36	243,05		NIR AB (p=0,05)					
NIR A (p=0,05)	ni ns			ni ns						

ni nieistotne ns not significant

Spośród zastosowanych czynników doświadczalnych największy wpływ na występowanie mineralnych frakcji fosforu wywierało nawożenie NPK z obornikiem (tab. 2). Stosowanie takiego nawożenia prowadziło do wzrostu frakcji fosforanów glinowych i żelazowych oraz obniżenia ilości fosforanów łatwo rozpuszczalnych i wapniowych. Bednarek i in. [1999] stwierdzili, że fosfor pochodzący ze zmineralizowanego obornika przechodzi we frakcje fosforanów żelazowych i glinowych. Zaobserwowali także pewne zmniejszenie ilości frakcji fosforanów wapniowych, lecz nie na tyle duże, aby uznać je za udowodnione statystycznie. Natomiast uzyskali wzrost zawartości fosforanów łatwo rozpuszczalnych w glebie pod wpływem nawożenia obornikiem, czego potwierdzenia nie dają omawiane wyniki. Suma frakcji fosforu mineralnego istotnie wzrosła zarówno w badaniach własnych, jak i w badaniach Bednarka i innych [1999].

Zastosowanie nawożenia i głębokość nie miały istotnego wpływu na występowanie w glebie fosforanów łatwo rozpuszczalnych. Z zastosowanych czynników doświadczalnych istotny wpływ na występowanie frakcji fosforanów glinowych wywierało nawożenie NPK stosowane z obornikiem. Ilość fosforanów glinowych w tym przypadku była o 43% większa w porównaniu z obiektem kontrolnym. Istotne różnice w zawartości fosforanów glinowych występowały pomiędzy obiektem nawożonym NPK z $MgSO_4$ a obiektem nawożonym NPK z obornikiem. Ilość P-Al była o 52% mniejsza w obiekcie nawożonym NPK+ $MgSO_4$ aniżeli w obiekcie NPK+obornik. Nawożenie NPK i współdziałanie nawożenia NPK, CaO i MgO nie spowodowały istotnych zmian. Nie stwierdzono również istotnych różnic w ilości fosforanów glinowych w poszczególnych warstwach gleby.

Na ilość fosforanów żelazowych wpływ miało nawożenie NPK z obornikiem. Ilość ich była o 83% wyższa w porównaniu z kontrolą. Największa różnica występowała pomiędzy obiektem NPK+obornik, a obiektem NPK+ $MgSO_4$. W obiekcie z obornikiem ilość P-Fe była prawie trzykrotnie wyższa niż w obiekcie nawożonym siarczanem magnezowym. Wysoka różnica występowała także pomiędzy obiektem NPK+obornik a obiektem nawożonym tylko NPK. Nie stwierdzono istotnych różnic w ilości P-Fe w warstwach gleby objętych badaniami, jak również w interakcyjnym oddziaływaniu zastosowanych czynników doświadczalnych.

Ilość mineralnych frakcji fosforu uzależniona była od nawożenia NPK z CaO i MgO. Nawożenie takie przyczyniło się do zwiększenia ilości frakcji fosforanów łatwo rozpuszczalnych, glinowych i żelazowych oraz sumy frakcji fosforu mineralnego.

Zastosowane czynniki doświadczalne nie miały istotnego wpływu na kształtowanie się ilości fosforanów wapniowych. Nie stwierdzono istotnych zależno-

ści pomiędzy poszczególnymi warstwami gleby. Niektórzy autorzy podają, że wapnowanie gleb powoduje zwiększenie ilości frakcji fosforanów wapniowych, a inne frakcje pozostają bez zmian lub ulegają zmniejszeniu [Piasecki, Gibczyńska 1980]. W innych natomiast pracach [Bednarek 1989; Grzywnowicz 1998a] wykazano, że wapnowanie gleb kwaśnych zwiększa w nich liczbę frakcji fosforanów glinowych i żelazowych, co nastąpiło w opisywanym doświadczeniu. Według cytowanych autorów wzrost ilości fosforanów żelazowych spowodowany jest sprzyjającymi przemianami fosforu w fosforany żelazowe jak i tym, że fosfor z wymienionej formy nie jest pobierany przez rośliny. Piasecki i Gibczyńska [1980] podają, że Chang i Jackson, stosując na glebie pyłowej superfosfat łącznie z wapnem, uzyskali tylko zwiększenie liczby frakcji fosforanów glinowych i żelazowych, a frakcji fosforanów wapniowych jedynie przy najwyższym poziomie wapnowania. Stosunkowo mały wzrost frakcji fosforanów wapniowych mógł być spowodowany częściowym pobieraniem P z tej frakcji przez rośliny. Bednarek i Lipiński [1994] oraz Grzywnowicz [1998b], stosując wapnowanie i nawożenie mineralne, zaobserwowali jedynie nieznaczne wahania frakcji fosforanów żelazowych. Wzrost odczynu obniżał ich poziom, co oznaczało, że mogą w takich warunkach być dobrym źródłem fosforu dla roślin. Nastąpił także spadek ilości frakcji, fosforanów glinowych, co mogło świadczyć o wzroście rozpuszczalności tej frakcji głównie poprzez wzrost pH. Zastosowane w doświadczeniu wapnowanie oraz nawożenie magnezem prowadziło do zmiany składu nieorganicznych fosforanów glebowych poprzez obniżenie zawartości szczególnie fosforanów glinowych i w nieco mniejszym stopniu fosforanów żelazowych, a wzrost ilości fosforanów luźno związanych ze stałą fazą gleby. Nawożenie NPK z $MgSO_4$ powodowało obniżenie zawartości wszystkich fosforanów mineralnych, z wyjątkiem fosforanów łatwo rozpuszczalnych. Lipiński [1997a] stosując nawożenie magnezem uzyskał wzrost zawartości wszystkich frakcji z wyjątkiem fosforanów łatwo rozpuszczalnych. Autor tłumaczył powyższy fakt tym, iż w wyniku stosowania magnezu tworzą się połączenia P-Mg i ograniczają występowanie fosforanów łatwo rozpuszczalnych.

WNIOSKI

1. Wszystkie zastosowane w doświadczeniu czynniki (nawożenie NPK, NPK+ $MgSO_4$, NPK+CaO+MgO, NPK+obornik) oddziaływały na zawartość frakcji fosforanów mineralnych.
2. Nawożenie NPK i obornikiem zwiększało zawartość fosforanów glinowych i żelazowych oraz sumy frakcji fosforu mineralnego, stosowanie NPK+CaO+MgO powodowało wzrost ilości wszystkich fosforanów mineral-

nych, za wyjątkiem fosforanów wapniowych, natomiast NPK+MgSO₄ powodowało spadek ilości wszystkich frakcji glebowych za wyjątkiem fosforanów łatwo rozpuszczalnych.

3. W warunkach gleby silnie zakwaszonej stosowanie wapnowania, nawożenia NPK i magnezem wpływało korzystnie na zawartość fosforu przyswajalnego w glebie.

4. Zawartość frakcji fosforanów glebowych kształtowała się na zbliżonym poziomie niezależnie od głębokości.

PIŚMIENICTWO

- Bednarek W. 1989. Pobranie fosforu przez życie wielokwiatową z gleb nawożonych niekonwencjonalnymi nawozami fosforowymi. *Annales UMCS, Sec. E*, 44, 103–112.
- Bednarek W., Lipiński W. 1994. Kształtowanie zawartości mineralnych frakcji fosforu w glebie poddanej oddziaływaniu wybranych czynników doświadczalnych. *Prace Nauk. AE we Wrocławiu, Chemia 677*, 52–60.
- Bednarek W., Lipiński W. 1996. Następce działania nawożenia mineralnego i wapnowania na występowanie mineralnych frakcji i ruchomych form fosforu w glebie. *Prace Nauk. AE we Wrocławiu, Chemia 727*, 140–146.
- Bednarek W., Maćkowiak Cz., Tkaczyk P. 1999. Wpływ nawożenia na występowanie mineralnych frakcji fosforu w glebie. *Zesz. Probl. Nauk Rol.* 467, 331–337.
- Borowiec J. 1988. Rozmieszczenie związków fosforu w poszczególnych frakcjach mechanicznych utworów glebowych. *Prace Nauk. AE we Wrocławiu, Chemia 426*, 44–52.
- Grzywnowicz I. 1998a. Możliwość zwiększania dostępności fosforu dla roślin w wyniku wapnowania oraz nawożenia magnezem. *Prace Nauk. AE we Wrocławiu, Chemia 792*, 242–258.
- Grzywnowicz I. 1998b. Wpływ wapnowania i nawożenia magnezem na zmiany zawartości różnych form fosforu w górskich glebach łąkowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 456, 581–585.
- Hamad L.A., Andrzejewski M. 1984. Zmiana przyswajalności fosforu w glebie pod wpływem wapnowania. *Prace Nauk. AE we Wrocławiu, Chemia 276*, 144–151.
- Lipiński W. 1997a. Wpływ wapnowania i nawożenia magnezem na przemiany fosforu w glebie oraz pobranie tego składnika przez jęczmień jary. Cz. I. Mineralne frakcje i ruchome formy fosforu. *Annales UMCS, Sec. E*, 52, 233–244.
- Lipiński W. 1997b. Wpływ wapnowania i nawożenia magnezem na przemiany fosforu w glebie oraz pobranie tego składnika przez jęczmień jary. Cz. II. Pobranie i wykorzystanie fosforu. *Annales UMCS, Sec. E*, 52, 245–256.
- Łoginow W., Wiśniewski W., Janowiak J. 1991. Zmienność ogólna zawartości węgla w glebie. *Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz 88, Rolnictwo 13*, 5–15.
- Motowicka-Terelak T. 1974. Badania modelowe nad wpływem wapnowania na dynamikę właściwości chemicznych kwaśnej gleby gliniastej. *Pam. Puł.* 59, 85–100.
- Piasecki J., Gibczyńska M. 1980. Wpływ wapnowania na kształtowanie się zawartości niektórych frakcji fosforu nieorganicznego w glebie bez roślin i pod roślinami. *Prace Nauk. AE we Wrocławiu, Chemia 159/181*, 167–174.

- Sądej W. 2000. Badania nad przemianami fosforu w glebach i jego wykorzystaniem przez rośliny uprawne w warunkach zróżnicowanego nawożenia. Rozprawy i monografie. AR-T w Olsztynie, 1–78.
- Tkaczyk P. 2002. Efekty wapnowania, nawożenia azotem i fosforem gleby bardzo kwaśnej. Cz. I. Mineralne frakcje i ruchome formy fosforu. Acta Sci. Pol., Agricultura 1, 43–55.
- Wenglikowska E. 1986. Porównanie wpływu wieloletniego nawożenia mineralnego i organicznego na zawartość przyswajalnego fosforu w glebie lekkiej. Roczn. Gleb. 37, 4, 151–158.