

Wiesław BEDNAREK, Ignacy DECHNIK

**Przemiany fosforu w glebie
oraz pobranie tego składnika przez żyto ozime z gleb nawożonych
osadami ściekowymi**

Transformations of Phosphorus in the Soil and the Uptake of this Element by Winter Rye from the Soils
Fertilized by Sludge

Związki fosforowe zawarte w nawozach podlegają w glebie przemianom, których kierunek i zakres zależą od wielu czynników, między innymi od typu gleby, jej właściwości chemicznych, fizycznych i biologicznych, czasu reakcji nawozu z glebą, rodzaju i dawki stosowanych nawozów (1-8). Szczurek (17) badając wpływ wieloletniego nawożenia mineralnego i organicznego na zawartość związków fosforowych w glebie pod monokulturą żyta i ziemniaków stwierdził, że w warstwie ornopróchnicznej przeważająca ilość P została zatrzymana w formie fosforanów glinowych. Stanowią one w badanej glebie (obok fosforu luźno związanego) najbardziej labilną formę mineralnych związków fosforu. Podobnego zdania jest również Kolar (7). Staunes i Nilsson (16) rozpatrując przemiany fosforu w glebie nawożonej osadem ściekowym wykazali, że zawartość ruchomych form i jego adsorpcja przez glebę istotnie korelowały z ilością fosforantów glinowych i żelazowych.

Wielu autorów stwierdziło występowanie istotnych związków pomiędzy zawartością w glebie mineralnych form fosforu a pobraniem tego składnika przez rośliny (2, 4-6, 9, 11, 15). Pobranie fosforu przez życie z gleby pyłowej było uzależnione przede wszystkim od zawartości fosforu przyswajalnego i frakcji fosforanów łatwo rozpuszczalnych oraz glinowych ($r = 0,775; 0,840; 0,794$) (2). Moskal (9, 10) stwierdził zależność pobrania P przez owies i kukurydzę od zawartości fosforu przyswajalnego, którą można określić wysokim współczynnikiem korelacji ($0,894; 0,848$). Interesujące badania na temat pobierania fosforu z mineralnych frakcji tego składnika prowadził także Kęsik i Smith (6, 15).

Osady ze ścieków komunalnych są wartościowym nawozem i na glebach piaszczystych (dawka 40-60 t/ha) dają plony równe uzyskiwanym przy pełnym nawożeniu mineralnym lub nawożeniu obornikiem (8). Zawierają stosunkowo duże ilości fosforu. Wykorzystanie tego składnika przez rośliny jest jednak bardzo niewielkie (8).

Ponieważ rośliny w niejednakowy sposób pobierają fosfor z różnych jego związków, stąd celem badań było określenie wpływu osadu ściekowego w porównaniu z obornikiem na przemiany mineralnych form P w glebie oraz ich oddziaływanie na pobranie fosforu przez żyto ozime.

METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono w oparciu o czteroletnie doświadczenie polowe oraz analizę chemiczną gleby i roślin. Doświadczenia te założono na glebie bielcowej wytworzonej z piasku słabo gliniastego oraz brunatnej wytworzonej z gliny ciężkiej niecałkowitej, podścielonej piaskiem wodnego pochodzenia (tab. 1).

Tab. 1. Charakterystyka gleb użytych w doświadczeniach
Characteristics of the soils used in the experiments

Wyszczególnienie	Gleba bielcowa	Gleba brunatna
% frakcji granulometrycznych	77	35
średnica w mm	15	23
	8	42
	3	20
pH w 1 mol KCl/dm ³	4,2	6,3
pH w H ₂ O	4,8	6,7
Próchnica (%)	1,274	2,196
P, mg/100 g gleby	4,32	6,51
K, mg/100 g gleby	3,32	18,53
Mg, mg/100 g gleby	0,33	8,40
P-łatwo rozpuszczalny, mg P/100 g gleby	1,00	1,20
P-Al, mg P/100 g gleby	14,22	11,33
P-Fe, mg P/100 g gleby	14,51	8,49
P-Ca, mg P/100 g gleby	3,02	9,85
Hh, me/100 g gleby	1,87	1,46
S, me/100 g gleby	0,621	15,647
T, me/100 g gleby	2,49	17,05
V, %	24,9	91,8

Osady i obornik jako nawóz porównawczy stosowano w trzech terminach:

- 1) pełną dawkę (60 t/ha) jednorazowo na cały okres doświadczenia,
- 2) 1/2 dawki (30 t/ha) w pierwszym i drugim roku,
- 3) 1/3 dawki (20 t/ha) w trzech kolejnych latach.

W czwartym roku doświadczeń nawożenia nie stosowano. Powierzchnia poletek wynosiła 40m². Rośliną testową było żyto ozime odmiany Dańkowskie Złote uprawiane w monokulturze.

Osady ściekowe, pochodzące z osadników miejskich Lublina (Hajdów), zawierały 45,8% sm. oraz w suchej masie 1,30% N, 0,65% P, 0,25% K, 0,07% Mg i 3,00% Ca. Obornik charakteryzował się następującym składem: - 27% sm, a w suchej masie - 2,30% N, 0,44% P, 1,24% K, 0,11% Mg i 1,00% Ca.

W mineralie roślinnym pobranym z każdego poletka wykonano oznaczenie zawartości suchej masy i fosforu metodą wanadyniano-molibdenową. W próbkach glebowych pobranych w terminie sprzętu roślin z warstwy ornej poletka oznaczono pH w 1 mol KCl/dm³, fosfor przyswajalny wg Egnera-Riehma oraz frakcje fosforu mineralnego metodą Changa i Jacksona w modyfikacji Askinazi, Ginzburg i Lebedewej (P-łatwo rozpuszczalny w 1 N NH₄Cl, P-Al w 0,5 N NH₄F, P-Fe w 0,1 N NaOH i P-Ca w 0,5 N H₂SO₄).

Badano również wpływ testowanych nawozów na pobranie i wykorzystanie fosforu oraz plonowanie roślin, a także wzajemne związki pomiędzy frakcjami P-nieorganicznego i fosforem przyswajalnym. Oceniono też oddziaływanie oznaczanych form fosforu w glebie na zawartość i pobranie fosforu oraz plonowanie żyta.

Zależność pomiędzy wymienionymi czynnikami określono metodą analizy regresji wielokrotnej. Obliczono też współczynnik korelacji, regresji, determinacji, korelacji wielokrotnej i równania regresji. Zmiennymi niezależnymi były frakcje fosforu łatwo rozpuszczalnego (x_1), P-Al (x_2), P-Fe (x_3), P-Ca (x_4), suma frakcji P (x_5) oraz P oznaczony wg metody Egnera-Riehma (x_6); zmiennymi zależnymi kolejno - zawartość fosforu w roślinach, pobranie fosforu, plonowanie roślin, a także zawartość P-przyswajalnego w glebie.

Zawartość form fosforu w glebie, pH, pobranie i wykorzystanie fosforu oraz plonowanie roślin oceniono metodą analizy wariancji z zastosowaniem półprzedziałów ufności Tukey'a.

Wyniki zebrane z doświadczeń przedstawiają średnie wartości z okresu prowadzonych badań.

Ponieważ zawartość fosforu w życie nie zależała istotnie od zastosowanych nawozów organicznych oraz pobranie tego składnika nie było uzależnione od ilości w glebie oznaczonych form fosforu, zrezygnowano z zamieszczenia w tekście odpowiednich tabel, jedynie krótko komentując otrzymane rezultaty w rozdziale "wyniki badań".

WYNIKI BADAŃ

Analiza danych zamieszczonych w tabeli 2 wskazuje, że zastosowanie nawozów organicznych, szczególnie osadów, spowodowało istotny wzrost pH gleb w porównaniu z obiektem kontrolnym. Podział dawki na części nie przyczynił się do wyraźniejszych zmian

Tab. 2. Wartość pH w KCl oraz zasobność gleby w fosfor przyswajalny po zbiorze żyta
The value of pH in KCL and the abundance of available phosphorus in the soil after rye gathering

Obiekt	pH 1 mol/dm ³ KCl						P-przyswajalny (mg P/100 g)					
	gleba bielnicowa			gleba brunatna			gleba bielnicowa			gleba brunatna		
	Dawka											
	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3
Kontrola	4,2	4,2	4,2	6,3	6,3	6,3	4,08	3,86	4,10	6,09	6,17	5,98
Obornik	4,4	4,4	4,4	6,5	6,4	6,4	4,93	4,63	5,33	7,83	7,98	6,77
Osady	4,8	4,8	4,6	6,7	6,6	6,6	5,08	4,69	4,94	7,91	7,39	8,11
Ściekowe												

NIR, $p=0,05$ pH w KCl (w nawiasie dotyczy P oznaczonego metodą Egnera-Riehma):
gleby x dawki x obiekty - 0,2 (1,03); gleby x obiekty - 0,1 (0,51); gleby x dawki - 0,1 (0,4); gleby - 0,03 (0,16); dawki - 0,05 (0,24); obiekty - 0,1 (0,30)

Tab. 3. Zawartość fosforanów łatwo rozpuszczalnych i glinowych w glebie po zbiorze żyta (mg P/100g)
The content of easily soluble and clays phosphates in the soil after rye gathering (mg P/100g)

Obiekt	Fosforany łatwo rozpuszczalne						Fosforany glinowe					
	gleba bielnicowa			gleba brunatna			gleba bielnicowa			gleba brunatna		
	Dawka											
	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3
Kontrola	0,98	0,99	1,06	0,94	0,93	0,87	14,1	14,2	14,5	10,8	10,8	11,3
Obornik	1,63	1,54	1,94	1,57	1,38	1,15	15,3	14,2	17,6	9,5	9,7	9,1
Osady	1,65	1,45	1,49	1,48	1,49	1,42	16,2	14,9	15,9	10,9	10,1	11,3
Ściekowe												

NIR, $p=0,05$, P-łatwo rozpuszczalnych (w nawiasie dotyczy P-Al): gleby x dawki x obiekty - 0,36 (2,0);
gleby x obiekty - 0,18 (1,0); gleby x dawki - (0,8); dawki x obiekty - 0,14 (1,3); gleby - 0,06 (0,3); dawki - 0,08 (0,5); obiekty - 0,11 (0,6)

pH, zarówno lekkiej gleby bielcowej, jak i ciężkiej - brunatnej. Nawożenie tych gleb obornikiem oraz osadami ściekowymi przyczyniło się do istotnego wzrostu zawartości fosforu dostępnego dla roślin oraz fosforanów łatwo rozpuszczalnych w porównaniu z obiektem kontrolnym. Stwierdzono również, iż gleby nawożone obornikiem i osadami

Tab. 4. Zawartość fosforanów żelazowych i wapniowych w glebie po zbiorze żyta (mg P/100 g)
The content of ferrous and calcium phosphates in the soil after rye gathering (mg P/100 g)

Obiekt	Fosforany żelazowe						Fosforany wapniowe					
	gleba bielcowa			gleba brunatna			gleba bielcowa			gleba brunatna		
	Dawka											
	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3
Kontrola	14,4	14,1	14,4	8,3	9,1	8,8	2,80	2,87	2,72	9,79	9,52	9,58
Obornik	14,6	15,4	15,2	10,4	10,1	10,8	4,37	4,13	4,14	11,22	11,21	9,85
Osady ściekowe	15,7	15,1	15,7	10,2	9,8	8,7	4,35	4,11	3,79	11,91	11,47	11,32

NIR, $p = 0,05$, P - Fe (w nawiasie dotyczy P-Ca);

gleba x obiekty - (0,75); gleby - 0,6 (0,24); dawki - (0,35); obiekty - 1,1 (0,45)

zawierały podobne ilości tych składników. Podziały dawki podstawowej (60 t/ha) na części i zastosowanie ich w różnych terminach praktycznie nie miało wpływu na akumulację fosforu przyswajalnego i łatwo rozpuszczalnego (tab. 2 i 3). W glebie bielcowej było istotnie więcej fosforanów glinowych niż w glebie brunatnej (tab. 3). Rodzaj zastosowanego nawozu organicznego (obornik, osady) nie wpłynął na zróżnicowanie zawartości tych

Tab. 5 Plon ziarna i słomy żytniej (t/ha)
The yields of grain and rye straw (t/ha)

Obiekt	Ziarno						Słoma					
	gleba bielcowa			gleba brunatna			gleba bielcowa			gleba brunatna		
	Dawka											
	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3	1	1/2	1/3
Kontrola	1,40	1,41	1,41	2,06	2,27	2,27	3,16	3,01	3,12	4,57	4,95	4,47
Obornik	1,92	1,86	1,62	2,79	2,67	2,43	4,07	3,74	3,52	5,42	5,14	5,15
Osady ściekowe	1,76	1,88	1,57	2,80	2,72	2,40	3,99	3,91	3,42	5,62	5,59	5,22

NIR, $p = 0,05$, ziarno (w nawiasie dotyczy słomy);

dawki x obiekty - 0,42; gleby - 0,10 (0,14); dawki - (0,20); obiekty - 0,19 (0,25)

frakcji P w glebie bielcowej. W brunatnej natomiast nawożonej osadami było istotnie więcej P-Al niż w nawożonej obornikiem (o 0,36 mg P/100 g). Nie stwierdzono natomiast statystycznie udowodnionego wpływu ocenianych nawozów organicznych na zawartość fosforanów żelazowych. W glebie bielcowej było ich istotnie więcej niż w brunatnej (niższe pH). Zastosowanie obornika i osadów w różnych terminach nie miało istotnego wpływu na zawartość P-Fe (tab. 4). Wydaje się to być oczywiste i związane przede wszystkim z odczynem gleby. Zastosowanie nawożenia organicznego spowodowało istotny

Przemiany fosforu w glebie...

137

wzrost ilości tej frakcji P w glebach w porównaniu z obiektami kontrolnymi. Osady powodowały podobny jak obornik przyrost zawartości fosforanów wapniowych. Podział dawki nawozów organicznych i zastosowanie jej w różnych terminach praktycznie nie miały wpływu na koncentrację P-Ca w glebie.

Plon ziarna oraz słomy żytniej zebranej z gleby brunatnej był istotnie większy od pochodzącego z gleby biellicowej (tab. 5). Zastosowanie nawozów organicznych w różnych terminach nie miało wpływu na przyrost plonu masy ziarna i słomy zarówno w glebie biellicowej, jak i brunatnej. Osady ściekowe powodowały podobne jak obornik przyrosty plonu roślin.

Zawartość fosforu w ziarnie i słomie nie zależała istotnie od zastosowanego nawożenia organicznego i utrzymywała się na poziomie 0,36-0,38 i 0,13-0,14% P. Była natomiast większa w roślinach pochodzących z gleby biellicowej niż z brunatnej (szybsza mineralizacja nawozów organicznych). Pobranie fosforu przez ziarno oraz słomę a także łączny plon żyta nie było istotnie uzależnione od rodzaju i terminu zastosowanego nawozu organicznego. Więcej P pobrały rośliny z gleby brunatnej (większy plon) niż z gleby biellicowej. Wykorzystanie przez żyto fosforu z osadu ścieków komunalnych było niewielkie (tab. 6). Z reguły zmniejszało się wraz ze wzrostem dawki zastosowanego nawozu. Na glebie biellicowej wynosiło 1,8-4,2 i brunatnej 3,2-5,2% P. Analogiczne wykorzystanie obornika przedstawiało się następująco: 6,4-11,5 ; 7,7-13,0% P.

Wielkość obliczonych współczynników korelacji i regresji wskazuje, że akumulacja fosforu w roślinie, pobranie P oraz plon zebrany z obiektów nawożonych obornikiem i osadami nie był w większości przypadków istotnie uzależniony od zawartości w glebie mineralnych form fosforu. Ilość fosforu oznaczonego metodą Egnera-Riehma wykazywała dodatnie korelacje z frakcjami tego składnika, zwłaszcza w glebach nawożonych obornikiem.

Ocena równań regresji oraz współczynników korelacji wielokrotnej i determinacji pozwala stwierdzić, że pobranie P przez żyto z gleb nawożonych obornikiem i osadami nie było w sposób istotny uzależnione od zawartości większości mineralnych form tego składnika w glebie. Wielkość tych współczynników sugeruje również, iż pozostałe cechy plonu żyta były kształtowane w niewielkim stopniu przez zawartość w glebach oznaczanych form P.

DYSKUSJA

Nawożenie obornikiem oraz osadami ściekowymi spowodowało wzrost pH gleby w porównaniu z obiektem kontrolnym. B o r a t y ŋ s k i i w s p. (3) oceniając wpływ wieloletniego nawożenia mineralnego i organicznego na właściwości gleby lekkiej stwierdzili, że obornik powodował wzrost pH o 0,5 do 1 jednostki. Natomiast R o s z y k i w s p. (13) informują o korzystnym wpływie osadu ściekowego na odczyn podłoża, który zmienił się z kwaśnego na lekko kwaśny przy niższej dawce i na obojętny przy dawce wyższej. Wydaje się, że w przeprowadzonym doświadczeniu wzrost pH był spowodowany dużą ilością wapnia wprowadzonego do gleby z osadami.

Nawożenie gleb obornikiem i osadami ściekowymi powodowało podobne przyrosty mineralnych form fosforu. K o l a r (7) twierdzi, że nawożenie organiczne, zastosowane zwłaszcza na tle wapnowania, przyczyniało się do obniżenia zawartości fosforanów glinowych i żelazowych oraz wzrostu fosforanów wapniowych. O ' C o n n o r i wsp. (12) są podobnego zdania na temat wpływu osadów ściekowych i fosforu rozpuszczalnego w wodzie i NaHCO_3 .

Osady ściekowe oddziaływały, podobnie jak obornik, na pobranie fosforu oraz plonowanie żyta. Wykorzystanie P było natomiast wyraźnie mniejsze. Podobny pogląd można znaleźć w pracach innych autorów (8,14). Stwierdzili oni mianowicie korzystne oddziaływanie osadów na plon uprawianych roślin, a także niewielkie wykorzystanie fosforu, wynoszące kilka procent P_2O_5 . Zależało ono głównie od wielkości dawki osadu i właściwości nawożonej gleby oraz gatunku uprawianej rośliny.

Pobranie fosforu przez rośliny z mineralnych frakcji tego składnika oraz ich oddziaływanie na plon było przedmiotem badań wielu autorów (2, 5, 6, 9, 10, 15). Stwierdza się, (2) że plonowanie życicy oraz pobranie przez nią fosforu było w pierwszej kolejności dodatnio uzależnione od zawartości w glebie fosforu przyswajalnego oraz frakcji fosforanów łatwo rozpuszczalnych i glinowych. H o n o t i e u x (5) donosi, iż fosforany wymienne i glinowe są najlepiej dostępne dla roślin, a z kolei żelazowe stanowią najbardziej trwałe źródło fosforu. K ę s i k (6) również wskazuje, że przyswajalność fosforu z jego poszczególnych frakcji malała w następującej kolejności: P-łatwo rozpuszczalny, P-Al, P-Fe, P-Ca. M o s k a l (9-11) także stwierdził istotną dodatnią zależność pomiędzy zawartością w glebie fosforu oznaczonego met. Egnera-Riehma a pobraniem tego składnika przez owies i kukurydzę. Wyraził pogląd, iż na glebach obojętnych i zasadowych fosforany glinowe są lepszym źródłem fosforu niż fosforany wapniowe.

WNIOSKI

1. Osady ściekowe powodowały podobny do obornika przyrost zawartości w glebach mineralnych form fosforu, tzn. P-oznaczonego metodą Egnera-Riehma, fosforanów łatwo rozpuszczalnych, glinowych, żelazowych i wapniowych.

2. Osady ściekowe i obornik podobnie oddziaływały na plonowanie roślin, zawartość w ziarnie i słomie fosforu oraz pobranie przez nie tego składnika. Wykorzystanie P przez żyto było mniejsze z osadów niż z obornika i z reguły zmniejszało się wraz ze wzrostem dawki zastosowanego nawozu.

3. Pobranie sumaryczne fosforu przez ziarno i słomę żyta nie było w sposób udowodniony statystycznie uzależnione od zawartości w glebach nawożonych osadami i obornikiem mineralnych form tego składnika.

4. Ogólnie należy stwierdzić, że osady ściekowe wykazywały równorzędne z obornikiem oddziaływanie na zawartość fosforu w glebach i roślinach, plonowanie żyta oraz pobranie P.

PIŚMIENNICTWO

1. Adamus M., Kowalińska I., Kozłowska H.: Wpływ wieloletniego nawożenia mineralnego i organicznego na dynamikę składników pokarmowych w glebie lekkiej. Rocz. Gleb., t. 28, z. 1977.

2. Bednarek W.: Phosphorus uptake multiflorous darnel in dependence of the content of mineral forms of this component in the soil. *Pol. J. Soil Sci.*, t. XX/2, 1987.
3. Boratyński K., i in.: Wpływ nawożenia mineralnego i organicznego na plon roślin i właściwości gleby lekkiej w długoletnim doświadczeniu w Laskowicach Oławskich. *Pam. Puł.*, t. 66, 1976.
4. Czuba R.: Badania nad pobieraniem składników pokarmowych przez pszenicę ozimą. *Roczn. Nauk Roln.*, ser. A, t. 96, z. 1, 1969.
5. Honotiaux G.: L'etude de la dynamique du phosphore du sol par la methode du fractionnement. Aberdeen, ISSS, 1967.
6. Kęsik K., Pietrasz-Kęsik G.: Utilization of mineral phosphorus fractions from phosphorus fertilized soils. *Rocz. Glebozn.*, t. 32, z. 3, 1981.
7. Kolar L.: Zmeny frakci organicneho a mineralniho fosforu v hnedych pudach kyselnych po intenzivnim organickem hnojení. *Rost. Vyroba*, t. 33, z. 8, 1987.
8. Kuter I.: Wykorzystanie ścieków w rolnictwie. PWRiL, Warszawa 1978.
9. Moskal S.: Chemiczne i izotopowe metody oznaczania łatwo dostępnych dla roślin fosforanów w glebie. *Rocz. Nauk Roln.*, ser. A, t. 96, z. 1, 1969.
10. Moskal S.: Przemiany nawozów fosforanowych w glebie. *Prac. Nauk. Polit.*, Wrocław, T. 4, 1974.
11. Moskal S., Okruszko H.: Sorpcja fosforu nawozowego i jego dostępność dla traw w różnych glebach torfowych. *Rocz. Nauk Roln.*, ser. F, t. 78, z. 1, 1971.
12. O'Connor G. A., Knudtsen K. L., Connel G. A.: Phosphorus solubility in sludge-amended calcareous soils. *I. Environ Qual.*, t. 15, z. 3, 1986.
13. Roszyk E., Strojek Z., Roszyk S.: Doświadczenia wazonowe nad działaniem osadu ściekowego z Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Częstochowie. *Rocz. Glebozn.*, t. 32, z. 2, 1981.
14. Sikora L. J.: Phosphorus uptake by fescus from soils amended with sewage sludge compost. *Agron. J.*, t. 74, z. 1, 1982.
15. Smith A. N.: The uptake of phosphorus by wheat and clover from four inorganic soil phosphate fractions after the addition of contrasting types of phosphatic fertilizer. *Plant and Soil*, t. 29, z. 1, 1969.
16. Staunes A. O., Nilsson P.: Investigation of soil treatment system for septic tank effluent. The fate of phosphorus. *Vatten*, t. 43, z. 1, 1987.
17. Szczurek J.: Wpływ wieloletniego nawożenia na zawartość związków fosforowych w glebie od monokulturą żyta i ziemniaków. *Rocz. Glebozn.*, t. 24, z. 2, 1973.

SUMMARY

Four years-long field experiments on two soils (podzolic and brown ones) fertilized by sludge and manure estimated transformations of phosphorus and the uptake of this element by winter rye. It was found out that sludge and manure showed parallel effects on the phosphorus content in the soils and plants, the uptake of P as well as the yielding of winter rye.