

## FRAKCJE FOSFORU MINERALNEGO WYDZIELONE Z POZIOMU PRÓCHNICZNEGO GLEBY PO ZASTOSOWANIU NAWOZOWYM PODŁOŻA POPIECZARKOWEGO

ANNA MAJCHROWSKA-SAFARYAN<sup>1</sup>, DAWID JAREMKO<sup>2</sup>, CEZARY TKACZUK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zakład Ochrony i Hodowli Roślin, <sup>2</sup>Zakład Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej,  
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce

Synopsis. Celem pracy było określenie wpływu zastosowania podłoża popieczarkowego (grzybnia pochodząca z hodowli pieczarek) na tle zróżnicowanego nawożenia na zawartość fosforu w wydzielonych frakcjach gleb uprawnych. Doświadczenie wegetacyjne przeprowadzono na polu produkcyjnym indywidualnego gospodarstwa rolnego, w miejscowości Zajac (52°33' N, 24°05' E, Wysoczyzna Siedlecka), w latach 2008 i 2009. Eksperyment obejmował obiekty: kontrolny (bez nawożenia); nawożony nawozami mineralnymi NPK; nawożony obornikiem trzody chlewnej; nawożony obornikiem trzody chlewnej + NPK; z zastosowanym podłożem po uprawie pieczarki; z zastosowanym podłożem po uprawie pieczarki + NPK. W wyniku analizy sekwencyjnej fosforu wydzielono frakcje: F1 – łatwo rozpuszczalną, F2 – wymienną, F3 – organiczną, F4 – węglanową, F5 – stabilnych połączeń organiczno-mineralnych, F6 – rezydualną. Przeprowadzona analiza frakcjonowania fosforu, w poziomie próchnicznym gleby poszczególnych obiektów doświadczenia wykazała, że pierwiastek ten był związany z różnymi związkami w glebie, mniej lub bardziej biodostępnymi. Analiza statystyczna wykazała, iż zawartość fosforu w wydzielonych frakcjach F1, F2, F4 i F5, istotnie zależała od lat trwania doświadczenia, a we frakcjach F3, F5 i F6 – od zastosowanego nawożenia. Nawozowe zastosowanie podłoża popieczarkowego, w obydwu latach badań, wpłynęło istotnie na zwiększenie zawartości fosforu we frakcji organicznej F3.

**Słowa kluczowe:** gleba uprawna, frakcje fosforu, metoda Hedley'a w modyfikacji Tiessena i Moira, podłoże popieczarkowe

### WSTĘP

Fosfor jest pierwiastkiem silnie związanym z większością procesów zachodzących w organizmach żywych [Whalen i in. 2001]. Odpowiednia zasobność gleb w fosfor warunkuje nie tylko wzrost roślin, lecz także zwiększ ich odporność na stresy abiotyczne i biotyczne. W środowisku glebowym przemieszcza się w bardzo słabo.

Nieorganiczne związki fosforu w glebach, to najczęściej trudno rozpuszczalne minerały fosforanowe, świeżo wytrącone fosforany wapnia dominujące w glebach o odczynie obojętnym i zasadowym oraz żelaza i glinu wytrącane w środowisku kwaśnym, które stanowią w glebach mineralnych od 70 do 95% fosforu całkowitego [Pakuła i Kalembasa 2008, Sądej 2000]. Fosforany zaadsorbowane na powierzchni uwodnionych tlenków żelaza, glinu, minerałów ilastych i węglanu wapnia występują w niewielkich ilościach. Identyfikacja związków fosforu polega na wydzieleniu odpowiednich połączeń chemicznych (frakcji) o zróżnicowanej rozpuszczalności, z wykorzystaniem różnych odczynników przy zastosowaniu ekstrakcji pojedynczej lub sekwencyjnej [Cross i Schlessinger 1995, Tiessen i Moir 1993]. Stosowana w analizach gleboznaw-

<sup>1</sup> Adres do korespondencji – *Corresponding address*: anna.majchrowska-safaryan@uph.edu.pl

czych i środowiskowych metoda Hedley'a pozwala na rozróżnienie organicznych związków fosforu pochodzenia biologicznego i jego związków nieorganicznych [Fotyma i Fotyma 2004, Tujaka i in. 2011]. Analizy zawartości fosforu całkowitego, a także poszczególnych jego frakcji w glebie, mogą być prowadzone w kontekście zagrożenia eutrofizacją środowiska, gdyż każda z frakcji tego pierwiastka odznacza się innym potencjałem do uruchamiania i włączania w cykl biogeochemiczny [Pakuła i Kalembasa 2008].

Podłoże popieczarkowe (grzybnia pochodząca z hodowli pieczarek) [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 stycznia 2015 roku w sprawie procesu odzysku R10] stanowi materiał organiczny, który charakteryzuje się dużą zawartością materii organicznej, przyswajalnych form składników pokarmowych, odczynem obojętnym, korzystnym stosunkiem C:N wynoszącym 13:1, niską zawartością metali ciężkich, a stosunek N:P:K wynosi 1,2:1,0:1,1 [Jordan i in. 2008, Kalembasa i Majchrowska-Safaryan 2006, Majchrowska-Safaryan i Tkaczuk 2013]. Jak wynika z literatury przedmiotu zastosowanie podłoża popieczarkowego może przyczynić się do poprawy właściwości fizycznych, a także fizykochemicznych gleb uprawnych [Majchrowska-Safaryan i Tkaczuk 2013, Wiśniewska-Kadzajon 2012].

Celem pracy było określenie wpływu zastosowania podłoża popieczarkowego na tle zróżnicowanego nawożenia na zawartość mineralnych frakcji fosforu w poziomie próchnicznym gleby użytkowanej rolniczo.

## MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono na terenie Wysoczyzny Siedleckiej, w środkowo-wschodniej części województwa mazowieckiego, na polu produkcyjnym indywidualnego gospodarstwa rolnego, w miejscowości Zając (52°33' N, 24°05' E), w latach 2008–2009. Wiosną, przed założeniem doświadczenia wykonano odkrywkę glebową do głębokości 150 cm. Opisano ją morfologicznie i zakwalifikowano jako glebę płową opadowo-glejową o składzie granulometrycznym poziomu próchniczego gliny piaszczystej i zawartości frakcji piasku, pyłu oraz łu wynoszącym odpowiednio 74; 19 i 7%.

Eksperyment założono metodą losowanych bloków, w czterech powtórzeniach i wielkości poletek do zbioru 7×7 m. Doświadczenie obejmowało obiekty: kontrolny (bez nawożenia); nawożony nawozami mineralnymi NPK (NPK); nawożony obornikiem trzody chlewnej (25 t·ha<sup>-1</sup>) (Obornik); nawożony obornikiem trzody chlewnej (25 t·ha<sup>-1</sup>) + NPK (Obornik+NPK); z zastosowanym podłożem po uprawie pieczarki (20 t·ha<sup>-1</sup>) (Podł. pop.); z zastosowanym podłożem po uprawie pieczarki (20 t·ha<sup>-1</sup>) + NPK (Podł. pop.+NPK). Rośliną testową w pierwszym roku uprawy był ziemniak (*Solanum tuberosum* L.) – odmiana skrobiowa Pasat, a w drugim roku pszenica ozima (*Triticum aestivum* L.) – odmiana Finezja. Wiosną zastosowano nawożenie materiałami organicznymi, (z którymi wprowadzono) w postaci obornika 25 t św.m.·ha<sup>-1</sup>, w kg·ha<sup>-1</sup>: (N – 141, P – 68, K – 114) oraz podłoża popieczarkowego 20 t św.m.·ha<sup>-1</sup>, w kg·ha<sup>-1</sup>: (N – 144, P – 36, K – 61).

Nawożenie mineralne NPK zastosowano wiosną (przed sadzeniem ziemniaka) w ilości: P – 17,5 kg·ha<sup>-1</sup>, K – 50 kg·ha<sup>-1</sup> (nawóz wieloskładnikowy Polifoska M); nawozy azotowe zastosowano w ilości 112 kg N·ha<sup>-1</sup>; w tym 12 kg N·ha<sup>-1</sup> przed wysadzeniem ziemniaka, doglebowo (Polifoska M) i 100 kg·ha<sup>-1</sup> (RSM 32%).

Nawożenie mineralne fosforowo-potasowe pod pszenicę ozimą zastosowano w ilości: 10,6 kg P·ha<sup>-1</sup> i 53,1 kg K·ha<sup>-1</sup> (nawóz wieloskładnikowy Polifoska 4); nawożenie azotowe zastosowano przedsięwzięcie w ilości 8 kg·ha<sup>-1</sup> N (Polifoska 4), a wiosną w dwóch dawkach: 70 kg·ha<sup>-1</sup> N przed ruszeniem wegetacji i 50 kg·ha<sup>-1</sup> N w fazie strzelania w źdźbło (saletra amonowa). W okresie wegetacji dwukrotnie wykonano aplikację siarczanem magnezu w dawce 5 kg·ha<sup>-1</sup>.

Charakterystykę zastosowanych materiałów organicznych użytych nawozowo przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane właściwości obornika trzody chlewnej i podłoża popieczarkowego użytych w nawożeniu gleb

Table 1. The selected properties of swine manure and spent mushroom substrate used to fertilize the soil

Materiał organiczny Organic material	Sucha masa w 105°C DM in 105°C	$C_{org}$ OrgC	$N_{og}$ $N_{tot}$	$P_{og}$ $P_{tot}$	C:N	$pH_{KCl}$
	%	$g \cdot kg^{-1}$				
Obornik trzody chlewnej Swine manure	25,0	383	22,6	10,8	16,9	6,97
Podłoże popieczarkowe Spent mushroom substrate	30,9	278	23,3	5,8	11,9	7,15

Próbki gleby pobrano po zbiorze uprawianych roślin z warstwy powierzchniowej o miąższości 25 cm. W poziomie próchnicznym gleby po I i II roku uprawy oznaczono: pH w 1 mol  $KCl \cdot dm^{-3}$  – potencjometrycznie; węgiel w związkach organicznych ( $C_{org}$ ) – metodą oksydacyjno-miareczkową [Kalembasa i Kalembasa 1992]; zawartość ogólną azotu ( $N_{og}$ ) – metodą Kjeldahla; zawartość ogólną fosforu ( $P_{og}$ ) po uprzedniej mineralizacji badanego materiału, w mieszaninie stężonych kwasów  $HCl+HNO_3$  w stosunku 3:1– zawartość pierwiastka w wyciągu oznaczono metodą ICP-AES; mineralne frakcje fosforu wydzielono, według metody Hedley'a w modyfikacji Tiessena i Moira (tab. 2). Na podstawie uzyskanych wyników obliczono w badanych glebach wartość stosunku C:N. Wybrane właściwości w poziomach próchnicznych gleb poszczególnych obiektów doświadczalnych przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Charakterystyka frakcji fosforu oznaczonych metodą Hedley'a w modyfikacji Tiessena i Moira

Table 2. Hedley's in modification Tiessen and Moir phosphorus fractions – specification

Frakcja – Fraction	Odczynnik ekstrakcyjny – Extraction reagent
F1 – łatwo rozpuszczalna/easily soluble	$H_2O$ dejonizowana – deionized
F2 – wymienna/exchangeable	$0,5 \text{ mol NaHCO}_3 \cdot dm^{-3}$
F3 – organiczna/bound to organic matter	$0,1 \text{ mol NaOH} \cdot dm^{-3}$
F4 – węglanowa/bound to carbonats	$1 \text{ mol HCl} \cdot dm^{-3}$
F5 – stabilne połączenia organiczno-mineralne i mineralne/bound to stable organic-mineral and mineral compounds	stężony HCl – concentrated HCl
F6 – rezydualna/residual*	

\* Obliczono z różnicy pomiędzy zawartością w stężonym  $HNO_3$ , a sumą oznaczonych frakcji  
Calculation as difference between total amount of phosphorus and sum above determined fractions

Tabela 3. Wybrane właściwości w poziomach próchnicznych gleb poszczególnych obiektów doświadczalnych

Table 3. The selected properties in the humus horizon of individual objects of the experiment

Obiekt doświadczalny Experimental object	T=CEC	pH <sub>KCl</sub>	C <sub>org</sub>	N <sub>og</sub>	P <sub>og</sub>
	mmol(+) $\cdot$ kg <sup>-1</sup>		Org C	N <sub>tot</sub>	P <sub>tot</sub>
g $\cdot$ kg <sup>-1</sup>					
I rok uprawy (po uprawie ziemniaka) – First year of cultivation (after the potato cultivation)					
Obiekt kontrolny – Control object	67,6	4,79	6,02	0,61	0,42
NPK	76,9	5,18	7,00	0,71	0,42
Obornik – Swine manure	71,4	5,07	7,40	0,74	0,45
Obornik + NPK – Swine manure + NPK	68,4	4,44	7,72	0,76	0,39
Podł. pop. – SMS	90,3	5,11	7,65	0,79	0,48
Podł. pop.+ NPK –SMS + NPK	87,8	4,92	7,67	0,75	0,46
Średnia – Mean	77,1	–	7,24	0,73	0,44
II rok uprawy (po uprawie pszenicy) – Second year of cultivation (after the wheat cultivation)					
Obiekt kontrolny – Control object	64,5	4,61	6,09	0,58	0,41
NPK	67,6	4,58	6,40	0,65	0,44
Obornik– Swine manure	77,1	4,69	8,30	0,70	0,42
Obornik + NPK – Swine manure + NPK	75,7	4,90	6,75	0,72	0,45
Podł. pop. – SMS	79,2	4,59	7,65	0,63	0,35
Podł. pop.+ NPK – SMS + NPK	81,3	4,27	8,00	0,74	0,39
Średnia – Mean	74,2	–	7,20	0,67	0,41
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub>					
A (lata – years)					0,01
B (nawożenie – fertilization)					r.n.
B/A					0,04
A/B					0,02

Podł.pop. – podłoże popieczarkowe/SMS – spent mushroom substrate  
r.n. – różnica nieistotna/not significant difference

W podłożu popieczarkowym (grzybni pochodzącej z hodowli pieczarek) i oborniku trzody chlewnej oznaczono: suchą masę, metodą suszarkowo-wagową (w 105°C), a pozostałe analizy metodami jak wyżej.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie, wykorzystując analizę wariancji dla doświadczenia dwuczynnikowego. O istotności wpływu czynników doświadczalnych na wartość badanych cech wnioskowano na podstawie testu F Fishera-Snedecora, a wartość NIR<sub>0,05</sub> wyliczono testem Tukeya. Do obliczeń wykorzystano program Analwar-5FR. Obliczono współczynniki korelacji prostej metodą Pearsona, wykorzystując program statystyczny Statistica 12.

## WYNIKI I DYSKUSJA

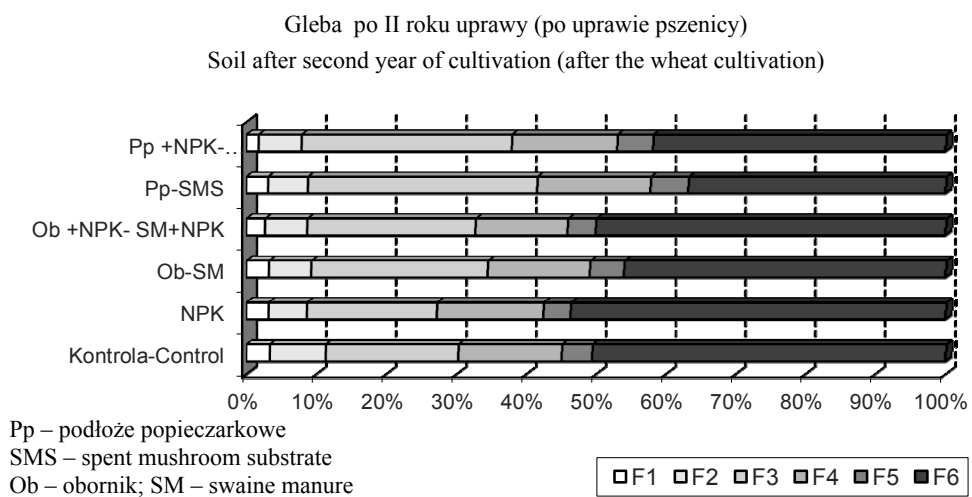
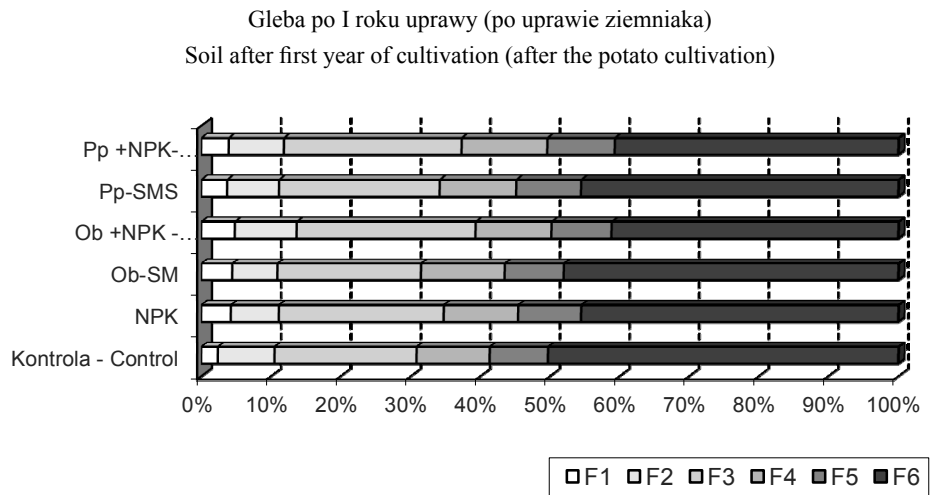
Analiza sekwencyjna frakcjonowania fosforu metodą Hedley'a w modyfikacji Tiessena i Moira, w poziomie próchnicznym gleby poszczególnych obiektów doświadczenia wykazała, że pierwiastek ten był związany z różnymi związkami w glebie, o różnej biodostępności (tab. 4., rys.1). Zawartość fosforu w wydzielonych sekwencyjnie frakcjach oraz jego udział, w  $P_{og}$  układały się w następującym szeregu malejących wartości:  $F6 > F3 > F4 > F5 \leftrightarrow F2 > F1$ .

Tabela 4. Zawartość fosforu ( $g \cdot kg^{-1}$ ) w wydzielonych frakcjach, z poziomu próchnicznego gleby poszczególnych obiektów doświadczalnych

Table 4. The content of phosphorus ( $g \cdot kg^{-1}$ ) in separated fraction in the humus horizon of individual objects of the experiment

Obiekt doświadczalny Experimental object	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	g·kg <sup>-1</sup>					
I rok uprawy (po uprawie ziemniaka) – First year of cultivation (after the potato cultivation)						
Obiekt kontrolny – Control object	0,010	0,034	0,085	0,044	0,035	0,210
NPK	0,018	0,029	0,099	0,045	0,038	0,191
Obornik – Swine manure	0,020	0,029	0,092	0,054	0,038	0,215
Obornik + NPK – Swine manure + NPK	0,019	0,035	0,101	0,043	0,034	0,162
Podł. pop. – SMS	0,018	0,036	0,111	0,053	0,045	0,220
Podł. pop.+ NPK – SMS + NPK	0,018	0,036	0,116	0,056	0,044	0,185
Średnia – Mean	0,017	0,033	0,101	0,049	0,039	0,197
II rok uprawy (po uprawie pszenicy) – Second year of cultivation (after the wheat cultivation)						
Obiekt kontrolny – Control object	0,014	0,033	0,078	0,061	0,018	0,208
NPK	0,014	0,024	0,081	0,067	0,017	0,240
Obornik – Swine manure	0,014	0,026	0,108	0,063	0,021	0,183
Obornik + NPK – Swine manure + NPK	0,012	0,027	0,107	0,059	0,018	0,223
Podł. pop. – SMS	0,011	0,020	0,115	0,057	0,019	0,129
Podł. pop.+ NPK – SMS + NPK	0,007	0,024	0,117	0,059	0,020	0,163
Średnia – Mean	0,012	0,026	0,101	0,061	0,019	0,191
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub>						
A (lata – years)	0,002	0,002	r.n.	0,004	0,003	r.n.
B (nawożenie – fertilization)	r.n.	r.n.	0,015	r.n.	0,007	0,017
B/A	0,008	0,009	r.n.	0,014	r.n.	0,025
A/B	0,005	0,006	r.n.	0,009	r.n.	0,016

F1–F6 – objaśnienia w tabeli 1/explanation in table 1  
r.n. – różnica nieistotna/not significant difference



F1-F6 – frakcje fosforu według tabeli 1/phosphorus fraction according to table 1

Rys. 1. Udział fosforu (%) w P<sub>org</sub> w poziomie próchnicznym gleby poszczególnych obiektów doświadczenia polowego

Fig. 1. The share of phosphorus (%) of P<sub>tot</sub> in the humus horizon of soil in the individual objects of field experiment

Przeprowadzone badania wykazały, iż udział fosforu we frakcji rozpuszczalnej F1 w badanej glebie był (średnio dla obiektów nawozowych) większy po I (3,93%) niż po II roku uprawy (2,89%). Większy udział fosforu w F1 stwierdzono w glebie obiektów nawożonych samym obornikiem trzody chlewnej i z dodatkiem NPK (średnio 4,41% po I roku i 3,01% po II roku uprawy), niż nawożonym samym podłożem popieczarkowym i dodatkiem NPK (odpowiednio średnio 3,84 i 2,46%). Bednarek i in. [1999] stwierdzili zwiększenie zawartości fosforanów łatwo rozpuszczalnych w glebie pod wpływem nawożenia obornikiem. Potarzycki [2006] podaje w glebach od 0,9 do 2,5% fosforu we frakcjach labilnych. Niewielki udział tej frakcji fosforu w glebie poszczególnych obiektów potwierdza dużą rolę procesów, zachodzących na granicy fazy stałej i ciekłej, które decydują o utrzymaniu odpowiedniego stężenia fosforanów, w roztworze glebowym [Grzebisz i Potarzycki 2003]. Kęsik i in. [1981] wykazali, że w glebach o odczynie kwaśnym i lekko kwaśnym rośliny najlepiej wykorzystują fosfor zakumulowany we frakcjach labilnych.

We frakcji wymiennej F2 stwierdzono prawie 2-krotnie więcej fosforu (średnio 7,62 i 5,18% odpowiednio dla lat), niż we frakcji F1. W glebie obiektów nawożonych podłożem popieczarkowym, po I roku uprawy, zanotowano większy udział fosforu tej frakcji, niż nawożonych obornikiem i NPK, a w II roku – nieco mniejszy. Tujaka i in. [2011] badając zawartość frakcji fosforu w glebach uprawnych nawożonych nawozami mineralnymi stwierdzili, iż udział fosforu dostępnego dla roślin w stosunku do wszystkich wydzielonych frakcji metodą Hedley'a stanowił od 10,2 do 13,8%.

W porównaniu z I rokiem badań, udział fosforu we frakcji organicznej (F3) po zbirze roślin w II roku uprawy był większy. W glebie obiektów nawożonych samym podłożem popieczarkowym i z dodatkiem NPK, po II roku uprawy, stwierdzono znacznie większy udział fosforu tej frakcji (odpowiednio 32,7 i 30,0%), niż po I roku (odpowiednio 23,0 i 25,4%) oraz nawożonych samym obornikiem i z dodatkiem NPK. Pewna część fosforu glebowego związana jest z związkami próchnicznymi, z której część jest bardzo odporna na procesy mineralizacji. Uwalnianie fosforu z połączeń organicznych oraz wiązanie go przez materię organiczną (immobilizacja) zależy od stosunku C:P w resztkach roślinnych i glebie. Im mniej fosforu jest w glebie, tym większe jest prawdopodobieństwo jego unieruchomienia w połączeniach organicznych. Cross i Schlessinger [1995] podają, że przyswajalne frakcje fosforu stanowią najczęściej poniżej 14%, a organiczne od 5 do 35% jego zawartości ogólnej, w zależności od typu gleby i poziomu genetycznego.

W glebach pobranych ze wszystkich obiektów doświadczalnych średnio więcej fosforu we frakcji węglanowej (F4) stwierdzono po II roku uprawy, niż po I. Wartości te wynosiły odpowiednio 11,2 i 14,8%. Przeprowadzone badania wykazały, iż w drugim roku badań, a więc po zbiorze pszenicy ozimej większy udział fosforu tej frakcji zanotowano w glebach obiektów nawożonych samym podłożem popieczarkowym, a także podłożem popieczarkowym z dodatkiem NPK zarówno w stosunku do roku poprzedniego jak i obiektu kontrolnego. Różnice te jednak były stosunkowo niewielkie, co wynika z tego, iż fosforany wapnia w glebach uprawnych są związkami stosunkowo stabilnymi [Grzebisz i in. 1993].

We frakcji F5 (stabilne połączenia organiczno-mineralne) stwierdzono prawie 2-krotnie większy udział fosforu w I, niż w II roku badań (średnio, odpow. 8,9 i 4,6%). W glebie nawożonej samym podłożem popieczarkowym i z dodatkiem NPK, po I i II roku uprawy, zanotowano większy udział fosforu tej frakcji, niż nawożonej samym obornikiem i z dodatkiem NPK. W glebach badanych przez Potarzyckiego [2000] suma frakcji P-Al i P-Fe stanowiła łącznie około 80% fosforu mineralnego. Grzywnowicz [1998] podaj, że wzrost ilości fosforanów żelazowych w glebach uprawnych spowodowany jest sprzyjającymi przemianami fosforu w fosforany żelazowe jak i tym, że fosfor z wymienionej formy nie jest pobierany przez rośliny.

Największy procentowy udział fosforu w  $P_{og}$  stwierdzono we frakcji rezydualnej F6; więcej po II roku uprawy (46,2%), niż po I roku (45,1%). Li i Thornton [2001] podają, że dominującą frakcją fosforu w glebach jest frakcja rezydualna, która może stanowić 85% jego zawartości ogólnej.

W przeprowadzonych badaniach własnych stwierdzono istotną zależność między zawartością fosforu we frakcji łatwo rozpuszczalnej (F1), a wartością pH badanej gleby. Zawartość frakcji łatwo rozpuszczalnej istotnie dodatnio korelowała z odczynem badanej gleby przy poziomie istotności  $\alpha < 0,05$ , a wartość współczynnika korelacji wynosiła  $r = 0,59$ . Dostępność form fosforu w głównej mierze uzależniona jest od odczynu gleby i wzrasta w warunkach niskiego pH. Grzebisz [2009] donosi, że najwyższa zawartość fosforu dostępnego dla roślin występuje w glebie przy wartości pH wynoszącej od 5,5 do 7,2. Fosfor związany w związkach organicznych (F3) istotnie korelował z ogólną zawartością azotu, zawartością węgla w związkach organicznych i pojemnością sorpcyjną poziomów próchnicznych badanej gleby. Zawartość fosforu w stabilnych połączeniach organiczno – mineralnych i mineralnych (F5) wykazywała istotne korelacje z odczynem, a frakcja rezydualna (F6) istotnie korelowała z zawartością ogólną fosforu (tab. 5). Tkaczyk i Chwil [2004] stwierdzili, iż spośród różnych kombinacji nawozowych zastosowanych w doświadczeniu, największy wpływ na występowanie w glebach mineralnych frakcji fosforu wywierało łączne nawożenie NPK z obornikiem. Według autorów stosowanie takiego nawożenia prowadziło do wzrostu frakcji fosforanów glinowych i żelazowych oraz obniżenia ilości fosforanów łatwo rozpuszczalnych i wapniowych. Kalbasi i Karthikeyan [2004] podają, że w wyniku wieloletniego stosowania nawozów naturalnych i mineralnych na glebach lekko kwaśnych, fosfor akumulował się głównie w połączeniach z glinem. Tripathi i Minhas [1991] wskazują na pierwotną akumulację fosforu nawozowego we frakcji (P-Al), a następnie transformację składnika w formy związane z żelazem (P-Fe).

Tabela 5. Współczynniki korelacji pomiędzy zawartością fosforu w wydzielonych sekwencyjnie frakcjach (F1–F6), a wybranymi właściwościami poziomu próchniczego gleby doświadczenia polowego

Table 5. The correlation coefficients between the phosphorus content in separate sequential fractions (F1–F6), and selected properties in the humus horizon of soil of the field experiment

Parametr Parameter	F1	F2	F3	F4	F5	F6
$P_{og} - P_{tot}$	0,50	0,53	-0,12	0,08	0,51	0,71*
$N_{og} - N_{tot}$	0,54	0,27	0,61*	-0,21	0,55	-0,03
$C_{org} - Org\ C$	0,14	-0,18	0,81*	0,04	0,16	-0,51
pH <sub>KCl</sub>	0,59*	0,36	-0,02	-0,29	0,65*	0,39
T=CEC	0,09	0,07	0,85*	0,04	0,43	-0,17

F1–F6 – objaśnienia w tabeli 1/explanation in table 1

\* istotność na poziomie  $\alpha < 0,05$ /significant at  $\alpha < 0,05$

Na podstawie analizy wariancji (tab. 4) stwierdzono, iż zawartość fosforu w wydzielonych frakcjach metodą Hedleya F1, F2, F4 i F5, wykazywała istotną zależność od lat trwania doświadczenia, a we frakcjach F3, F5 i F6 – od typu zastosowanego nawożenia. Whalen i in.



[2001] oraz He i in. [2006] podają, że dynamika przemian mineralnych i organicznych związków fosforu, w glebach, zależy od właściwości gleby, kształtowanych przez nawożenie, w latach poprzednich.

## WNIOSKI

1. Analiza sekwencyjnego frakcjonowania fosforu metodą Hedley'a w modyfikacji Tiessena i Moira wykazała, że jego zawartość (w wydzielonych frakcjach) była zróżnicowana ze względu na możliwość tworzenia różnych związków w środowisku glebowym, a udział, w zawartości ogólnej, układał się w następującym szeregu malejących wartości:  $F_6 > F_3 > F_4 > F_5 \leftrightarrow F_2 > F_1$ .
2. Przeprowadzona analiza wariancji pokazała, iż zawartość fosforu w wydzielonych frakcjach  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_4$  i  $F_5$ , wykazywała istotną zależność od lat trwania doświadczenia, a we frakcjach  $F_3$ ,  $F_5$  i  $F_6$  od zastosowanego nawożenia.
3. Nawozowe zastosowanie podłoża popieczarkowego (grzybni pochodzącej z hodowli pieczarek), w obydwu latach prowadzonych badań, wpłynęło istotnie na zwiększenie zawartości fosforu we frakcji organicznej  $F_3$ .

## PIŚMIENNICTWO

- Bednarek W., Maćkowiak Cz., Tkaczuk P. 1999. Wpływ nawożenia na występowanie mineralnych frakcji fosforu w glebie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 467: 331–337.
- Cross A.F., Schlesinger W.H. 1995. A literature review and evolution of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma* 64: 197–214.
- Fotyma M., Fotyma E. 2004. Podstawy zrównoważonego nawożenia fosforem i potasem. W: *Diagnostyka gleb i roślin w rolnictwie zrównoważonym*. Kalembsa S. (red.). Wydawnictwa AP, Siedlce. Monografie 54: 49–58.
- Grzebisz W. 2009. Nawożenie roślin uprawnych. Wyd. PWRiL Warszawa: 88–93.
- Grzebisz W., Bleharczyk A., Maj M. 1993. Wpływ wieloletniego nawożenia organicznego i mineralnego na formy fosforu w glebie pod monokulturą żyta i ugorem czarnym. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 227, Sesja Nauk. 37: 27–37.
- Grzebisz W., Potarzycki J. 2003. Czynniki kształtujące pobieranie fosforu przez rośliny. *J. Elementol.* 8(3): 47–59.
- Grzywnowicz I. 1998. Możliwość zwiększenia dostępności fosforu dla roślin w wyniku wapnowania i nawożenia magnezem. *Prace Nauk. AE Wrocław* 792: 242–258.
- He Z., Griffin T.S., Honeycutt C.W. 2006. Soil phosphorus dynamics in response to dairy manure and inorganic fertilizer applications. *Soil Sci.* 171: 598–609.
- Jordan S.N., Mullen G.J., Murphy M.C. 2008. Composition variability of spent mushroom compost in Ireland. *Bioreosource Technol.* 99: 411–418.
- Kalbasi M., Karthikeyan K.G. 2004. Phosphorus dynamics in soils response to dairy manure and inorganic fertilizer applications. *Soil Sci.* 161: 436–443.
- Kalembsa D., Majchrowska-Safaryan A. 2006. Wpływ uprawy pieczarki na skład chemiczny podłoża. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 512: 247–254.
- Kalembsa S., Kalembsa D. 1992. The quick method for the determination of C:N ratio in mineral soils. *Pol. J. Soil Sci.* 25(1): 41–46.
- Kęsik K., Pietrzak-Kęsik G. 1981. Utilization of mineral phosphorus fractions from phosphorus fertilized soils. *Rocz. Glebozn.* 33(3): 123–130.
- Li X., Thornton I. 2001. Chemical partitioning of trace and major elements in soils contaminated by mining and smelting activities. *Appl. Geochem.* 16: 1693–1706

- Majchrowska-Safaryan A., Tkaczuk C. 2013. Możliwość wykorzystania podłoża po produkcji pieczarki w nawożeniu gleb jako jeden ze sposobów jego utylizacji. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 58(4): 57–62.
- Pakuła K., Kalembasa D. 2008. Frakcje fosforu w leśnych glebach płowych Niziny Południowopodlaskiej. *Rocz. Glebozn.* 59(1):161–166.
- Potarzycki J. 2000. Frakcje fosforu nieorganicznego w glebie poddanej wieloletniemu nawożeniu gnojowicą i nawozami mineralnymi. *Rocz. AR Poznań* 320, Rol. 57: 161–170.
- Potarzycki J. 2006. Przemiany związków fosforu w glebie w zależności od systemu nawożenia w przeszłości. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 512: 465–473.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 stycznia 2015 roku w sprawie procesu odzysku R 10. Dz. U. 2015 poz. 132.
- Sądej W. 2000. Badania nad przemianami fosforu w glebach i jego wykorzystaniem przez rośliny uprawne w warunkach zróżnicowanego nawożenia. *Rozprawy i monografie. AR-T Olsztyn, Rozpr. Monogr.* ss. 78.
- Tiessen H., Moir J.O. 1993. Characterization of available P by sequential extraction. In: *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Carter M.R. (ed.). Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, 75–86.
- Tkaczyk P., Chwil S. 2004. Formy i frakcje fosforu mineralnego w glebie nawożonej nawozami mineralnymi i obornikiem. *Ann. UMCS, Sect. E, Agricultura* 59(4): 1723–1730.
- Tripathi D., Minhas R.S. 1991. Influence of fertilizer phosphorus and farmyard manure on transformation of inorganic phosphate. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 39: 472–476.
- Tujaka A., Gosek S., Gałązka R. 2011. Ocena przydatności metody Hedleya do oznaczania zmian zawartości frakcji fosforu w glebie. *Pol. J. Agron.* 6: 52–57.
- Whalen J.K., Chang Ch., Osen B.M. 2001. Nitrogen and phosphorus mineralization potentials of soils receiving repeated annual cattle manure applications. *Biol. Fertil. Soils* 34: 334–341.
- Wiśniewska-Kadżan B. 2012. Ocena przydatności podłoża po uprawie pieczarki do nawożenia roślin. *Ochr. Środ. Zasobów Nat.* 54: 165–176.

A. MAJCHROWSKA-SAFARYAN, D. JAREMKO, C. TKACZUK

#### PHOSPHORUS MINERAL FRACTION SEPARATED FROM HUMUS HORIZON OF SOIL AFTER APPLICATION OF SPENT MUSHROOM SUBSTRATE AS A FERTILIZER

##### Summary

The aim of this study was to determine the effect of use of spent mushroom substrate in fertilization of arable soils on the content phosphorus in separated fractions on the example of varied fertilization. The vegetation experiment was carried out in 2008 and 2009 on the production field of individual farm in the village Zając (Siedlce Upland). The experimental treatments were as follows: control (without fertilization); NPK mineral fertilized; fertilized with swine manure; object fertilized with swine manure + NPK; the spent mushroom substrate; the spent mushroom substrate + NPK. The following phosphorus fractions were separated: F1 – easily soluble, F2 – exchangeable, F3 – bound to organic matter, F4 – bound to carbonates, F5 – bound to stable organic-mineral and mineral compounds, F6 – residual. The sequential fractionation of phosphorus, in humus soil horizon in the level of individual objects demonstrated that this element was associated with various compounds in the soil more or less bioavailability. Statistical analysis showed that the phosphorus content of the separated fractions of F1, F2, F4 and F5, significantly dependent on years of experiment, and in fractions F3, F5 and F6 – from applied fertilizer. The application of spent mushroom substrate as a fertilizer in both years of the study, significantly influenced the increase in the content of phosphorus in the organic fraction F3.

**Key words:** cultivated soil, fractions of phosphorus, Hedley in modification by Tiessen and Moir method, spent mushroom substrate

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 28.03.2017

Do cytowania – *For citation*

Majchrowska-Safaryan A., Jaremko D., Tkaczuk C. 2017. Frakcje fosforu mineralnego wydzielone z poziomu próchnicznego gleby po zastosowaniu nawozowym podłoża popieczarkowego. *Fragm. Agron.* 34(2): 34–44.