

ZMIANY ZAWARTOŚCI FOSFORU I AKTYWNOŚCI FOSFATAZ
W GLEBIE W WYNIKU NAWOZOWEGO ZASTOSOWANIA PODŁOŻA
POPIECZARKOWEGO

Anna Majchrowska-Safaryan, Cezary Tkaczuk

Zakład Ochrony i Hodowli Roślin
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach
e-mail: anna.majchrowska-safaryan@uph.edu.pl

Streszczenie. Celem pracy było określenie wpływu zastosowania podłoża popieczarkowego (grzybni pochodzącej z hodowli pieczarek) w nawożeniu gleb uprawnych na zawartość fosforu przyswajalnego oraz aktywność fosfatazy kwaśnej i alkalicznej. Doświadczenie vegetacyjne przeprowadzono na polu produkcyjnym indywidualnego gospodarstwa rolnego, w miejscowości Zajac (Wysoczyzna Siedlecka), w latach 2008 i 2009. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, iż zastosowanie podłoża popieczarkowego w nawożeniu gleb wpłynęło na zwiększenie udziału fosforu w formach przyswajalnych, w stosunku do obiektu bez nawożenia, a aktywność fosfatazy kwaśnej w poziomie próchnicznym gleby poszczególnych obiektów doświadczenia była większa od aktywności fosfatazy alkalicznej i zależała istotnie od lat trwania doświadczenia oraz zastosowanego nawożenia.

Słowa kluczowe: gleba, fosfor przyswajalny, fosfataza kwaśna, fosfataza alkaliczna, podłoże popieczarkowe

WSTĘP

Fosfor jest pierwiastkiem, który obok azotu i potasu należy do najważniejszych składników w żywieniu roślin. W glebach występuje on zarówno w połączeniach organicznych, jak i nieorganicznych. Bez względu na źródło pochodzenia (nawozy mineralne i organiczne lub resztki roślinne) fosfor wprowadzony do gleby ulega zróżnicowanym przemianom (Potarzycki 2006). Akumulacja biologiczna fosforu odbywa się głównie w poziomach powierzchniowych, a zubożenie poziomów próchnicznych w ten pierwiastek zachodzi pod wpływem przemieszczania w głąb profilu glebowego oraz w wyniku pobierania jonów fosforanowych przez rośliny (Okołowicz i in. 2003). W większości gleb uprawnych fosfor

organiczny stanowi 25-50% jego zawartości całkowitej (Withers i Sharpley 1995). Nieorganiczne związki fosforu stanowią w glebach mineralnych od 70 do 95% fosforu całkowitego (Tkaczyk i Chwil 2004). Wchodzą one w skład skały macierzystej gleby i występują głównie w formie bardzo trudno rozpuszczalnych minerałów (Sądej 2000).

Enzymy glebowe odgrywają bardzo ważną rolę w katalizowaniu reakcji biochemicznych prowadzących do rozkładu materii organicznej, która to decyduje o żyzności gleb (Tabatabai 1994). Zmiany aktywności enzymatycznej w glebach są najczęściej odzwierciedleniem zmian intensywności procesów życiowych w środowisku (Schulten i in. 1995, Gostkowska i in. 1998, Parham i in. 2002, Lemanowicz 2011, Kuziemska i in. 2014). Najczęściej badanymi enzymami w glebie są fosfatazy, gdyż reagują one najszybciej na stresy środowiskowe spowodowane intensywnością użytkowania rolniczego (Adams 1992, Bielińska i Pranagal 2006). W środowisku glebowym głównym źródłem fosfataz są mikroorganizmy, a także korzenie roślin i fauna glebowa, a ich aktywność uzależniona jest zarówno od oddziaływania czynników abiotycznych, jak i biotycznych (Aon i Colaneri 2001, Koper i Lemanowicz 2006). Czynniki te w znacznym stopniu kształtowane są przez systemy uprawy gleby. Fosfatazy zatem mogą być dobrym wskaźnikiem potencjału mineralizacji fosforu związków organicznych oraz aktywności biologicznej gleby (Bielińska i Pranagal 2006). Podłoże popieczarkowe stanowi masę organiczną, która w glebie przekształcana jest w próchnicę. Jordan i in. (2008), Majchrowska-Safaryan i Tkaczuk (2013) podają, że zużyte podłoże popieczarkowe charakteryzuje się dużą zawartością materii organicznej, przyswajalnych form składników pokarmowych, odczynem obojętnym, korzystnym stosunkiem C:N, niską zawartością metali ciężkich, a stosunek N:P:K wynosi 1,2:1:1,1. Stosowanie podłoża popieczarkowego w praktyce powinno uwzględniać potrzeby nawozowe uprawianych roślin, dotyczące głównie azotu i fosforu, a także zawartości tych makroelementów w glebie Majchrowska-Safaryan i Tkaczuk (2013).

Celem niniejszych badań było określenie wpływu zastosowania podłoża popieczarkowego (grzybni pochodzącej z hodowli pieczarek) w nawożeniu gleb uprawnych na zawartość fosforu przyswajalnego oraz aktywność fosfatazy kwasnej i alkalicznej.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie wegetacyjne przeprowadzono na terenie Wysoczyzny Siedleckiej, w środkowo-wschodniej części województwa mazowieckiego, w obrębie gminy Liw, na polu produkcyjnym indywidualnego gospodarstwa rolnego,

w miejscowości Zając, w latach 2008 i 2009. W latach prowadzenia doświadczenia polowego panowały zróżnicowane warunki pogodowe (tab. 1).

Tabela 1. Warunki pogodowe panujące w trakcie prowadzenia doświadczenia (wartość średnia)
Table 1. Weather conditions at the site throughout the experiment (mean value)

Miesiąc Month	2008		2009	
	Temperatura Temperature °C	Opady Precipitation mm	Temperatura Temperature °C	Opady Precipitation mm
I	-1,40	20,6	-3,20	7,03
II	2,46	7,00	-1,16	7,70
III	3,27	13,8	1,63	22,9
IV	8,76	14,5	10,0	2,70
V	12,5	24,2	12,8	19,9
VI	17,0	18,9	15,8	54,5
VII	18,0	36,3	19,3	18,8
VIII	18,4	28,6	17,3	31,9
IX	12,2	15,5	14,2	4,47
X	9,80	8,43	6,30	32,5
XI	4,87	8,76	4,90	14,6
XII	0,76	9,13	-1,86	15,6

Wiosną, przed założeniem doświadczenia, wykonano odkrywkę glebową do głębokości 150 cm. Opisano ją morfologicznie i zakwalifikowano jako glebę płową opadowo-glejową. Czas trwania doświadczenia podyktowany był założeniem, iż podłoże po uprawie pieczarki zastosowane do nawożenia wpływa korzystnie na plon roślin, głównie w dwóch pierwszych latach po zastosowaniu do gleby. Wiosną wdrożono nawożenie materiałami organicznymi, z którymi wprowadzono w postaci obornika 25 t św. m t·ha⁻¹ w kg·ha⁻¹: (N-141, P-68, K-114) oraz podłoża popieczarkowego 20 t św. m t·ha⁻¹ w kg·ha⁻¹: (N-144, P-36, K-61). Dawki obornika i podłoża popieczarkowego ustalono na podstawie zawartości w nich azotu. Badane materiały nawozowe charakteryzowały się następującymi właściwościami (tab. 2). Zastosowano kalibrację uzupełniającą podłoża popieczarkowego nawożeniem fosforowo-potasowym. Eksperyment założono metodą losowanych bloków, w czterech powtórzeniach, o wielkości poletek do zbioru 7×7 m. Doświadczenie obejmowało obiekty: kontrolny (bez nawożenia); nawożony nawozami mineralnymi NPK; nawożony obornikiem trzody chlewnej (25 t·ha⁻¹) (zastosowany ze względu na tuczarnię w gospodarstwie); nawożony obornikiem trzody chlewnej (25 t·ha⁻¹) + NPK; z zastosowanym podłożem po uprawie pieczarki (20 t·ha⁻¹); z zastosowanym podłożem po uprawie pieczarki (20 t·ha⁻¹) + 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. Materiały organiczne zastosowano wiosną, a ich dawki ustalono na podstawie zawartości w nich azotu. Nawożenie mineralne NPK zastosowano wiosną, przed sadzeniem ziemniaka i jesienią pod pszenicę ozimą. Po zbiorze uprawianych roślin, z powierzchniowego (ornego) poziomu próchnicznego (0-25 cm) pobrano do analizy próbki gleby, które przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm.

Tabela 2. Wybrane właściwości obornika trzody chlewnej i podłoża popieczarkowego użytych w nawożeniu gleb

Table 2. 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 _t	P _{og} P _t	C:N	pH _{KCl}
	g·kg ⁻¹					
Obornik trzody chlewnej Swine manure	250	383	22,6	10,8	16,9	6,97
Podłoże popieczarkowe Spent mushroom substrate	309	278	23,3	5,76	11,9	7,15

W poziomie próchnicznym gleby po I i II roku uprawy oznaczono: pH w 1 mol KCl dm⁻³ – potencjometrycznie; węgiel w związkach organicznych (C_{org}) – metodą oksydacyjno-miareczkową (Kalembasa i Kalembasa 1992); zawartość azotu – metodą Kjeldahla; zawartość fosforu po uprzedniej mineralizacji badanego materiału, w mieszaninie stężonych kwasów HCl + HNO₃ w stosunku 3:1; formy przyswajalne fosforu w ekstraktach mleczanu wapnia o stężeniu 0,0275 mol dm⁻³ – zawartość pierwiastków w wyciągu oznaczono metodą ICP-AES; aktywność fosfatazy kwaśnej i alkalicznej metodą Tabatabai i Bremnera (1969) opartą na kolorymetrycznym oznaczaniu p-nitrofenolu powstałego w wyniku hydrolizy hydroksydwusodowego fosforanu p-nitrofenolu.

Podłoże (faza III – przerośnięte grzybnia w masie podłoża fazy II) pochodziło z zakładu produkcyjnego, gdzie przez 6 tygodni uprawiano na nim pieczarki, a okrywa składała się głównie z torfu wysokiego i dodatków; obornik trzody chlewnej pochodził z chlewni głębokiej. W podłożu popieczarkowym i oborniku trzody chlewnej (jako standard, do porównania) oznaczono: suchą masę, metodą suszarkowo-wagową (w 105°C), azot (N_t) metodą Kjeldahla – 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_{0,05} wyliczono testem Tukey'a. Do obliczeń wykorzystano program Analwar-5FR. Obliczono współczynniki korelacji prostej metodą Pearsona, wykorzystując program statystyczny Statistica 9.1.

WYNIKI I DYSKUSJA

W glebie pobranej z poziomu próchnicznego poszczególnych obiektów doświadczenia, po zbiorze ziemniaka w I roku badań, stwierdzono większą zawartość ogólną fosforu (średnio $0,436 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), niż po zbiorze pszenicy w roku II (średnio $0,409 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) (tab. 3).

Tabela 3. Wybrane właściwości oraz zawartość ogólna i fosfor w formach przyswajalnych w poziomach próchnicznych poszczególnych obiektów doświadczalnych

Table 3. The selected properties and the total content of phosphorus and available phosphorus in the humus horizon of individual objects of the experiment

Obiekt doświadczalny Experimental object	pH _{KCl}	C _{org} OrgC	N _{og} N _t	P _{og} P _t	P _{przyswajalny} P _{available}
		g·kg ⁻¹			mg·kg ⁻¹
I rok uprawy (po uprawie ziemniaka) / first year of cultivation (after the potato cultivation)					
Obiekt kontrolny / Control object	4,79	6,02	0,61	0,418	45
NPK	5,18	7,00	0,71	0,420	53
Obornik / Swine manure	5,07	7,40	0,74	0,448	56
Obornik + NPK / Swine manure + NPK	4,44	7,72	0,76	0,394	49
Podł. pop. / SMS	5,11	7,65	0,79	0,483	62
Podł. pop.+ NPK / SMS + NPK	4,92	7,67	0,75	0,455	66
średnia / mean	–	7,24	0,73	0,436	55
II rok uprawy (po uprawie pszenicy) / second year of cultivation (after the wheat cultivation)					
Obiekt kontrolny / Control object	4,61	6,09	0,58	0,412	63
NPK	4,58	6,40	0,65	0,443	69
Obornik / Swine manure	4,69	8,30	0,70	0,415	72
Obornik + NPK / Swine manure + NPK	4,90	6,75	0,72	0,446	75
Podł. pop. / SMS	4,59	7,65	0,63	0,351	57
Podł. pop.+ NPK / SMS + NPK	4,27	8,00	0,74	0,390	63
średnia / mean	–	7,20	0,67	0,409	67
NIR _{0,05} / LSD _{0,05}					
A (lata / years)				0,010	2,06
B (nawożenie / fertilization)				n.i.	5,36
B/A				0,036	7,57
A/B				0,024	5,06

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

Więcej fosforu po I roku uprawy (po zbiorze ziemniaka) stwierdzono w glebie większości obiektów nawozowych, w stosunku do obiektu kontrolnego. Zastosowanie w nawożeniu grzybni pochodzącej z hodowli pieczarek (Rozporządzenie... 2015) – samego podłoża popieczarkowego oraz z dodatkiem NPK po I roku uprawy wpłynęło na zwiększenie P_{og} w badanej glebie w stosunku do wszystkich obiektów nawozowych i wynosiło odpowiednio $0,483$ i $0,455 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Po zbiorze

pszenicy (II rok) większą zawartość tego makroelementu oznaczono tylko w glebie obiektów nawożonych obornikiem z dodatkiem NPK oraz nawożonych mineralnie NPK. Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji nie stwierdzono wpływu zastosowanego nawożenia na zwiększenie się zawartości fosforu w badanej glebie. Song i Siu-Wei (2007) badając wpływ podłoża popieczarkowego na plon pszenicy i zawartość w glebie makroelementów, stwierdzili znaczne zwiększenie zawartości fosforu po zastosowaniu tego materiału odpadowego. Najmniej fosforu zanotowano po II roku uprawy, w glebie obiektów nawożonych samym podłożem popieczarkowym ($0,351 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) oraz z dodatkiem NPK ($0,390 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Zmniejszenie zawartości fosforu w II roku eksperymentu na tych obiektach związane było prawdopodobnie z pobraniem tego składnika przez pszenicę. Podobne zależności zmiany zawartości fosforu w latach prowadzonych badań w glebach po zastosowaniu podłoża popieczarkowego stwierdziły Kalembasa i Wiśniewska (2004, 2006). Przemiany fosforu zależą od właściwości gleby, które mogą być kształtowane przez nawozy naturalne stosowane w latach poprzednich (Koper i in. 2001, Whalen i in. 2001, He i in. 2006).

Zawartość fosforu przyswajalnego w poziomie próchnicznym poszczególnych obiektów doświadczalnych kształtowała się w przedziale ($45,0 - 66,0 \text{ mg P}\cdot\text{kg}^{-1}$) po I roku uprawy i ($57,0-75,0 \text{ mg P}\cdot\text{kg}^{-1}$) po II roku uprawy, co według PN-R-04023 klasyfikuje je do gleb o średniej zasobności w ten składnik (III klasa). Foltyma i in. (1996) twierdzą, że optymalna zawartość fosforu przyswajalnego w glebach uprawnych powinna wynosić $105-108 \text{ mg P}\cdot\text{kg}^{-1}$. Na podstawie analizy wariancji w badaniach własnych stwierdzono, iż zawartość ta zależała od zastosowanego nawożenia oraz lat trwania doświadczenia (tab. 3). Po pierwszym roku uprawy (po zbiorze ziemniaka) największą zawartość fosforu przyswajalnego stwierdzono na obiekcie, na którym zastosowano samo podłoże popieczarkowe ($62,0 \text{ mg P}\cdot\text{kg}^{-1}$) i podłoże popieczarkowe + NPK ($66,0 \text{ mg P}\cdot\text{kg}^{-1}$). Po drugim roku uprawy (po zbiorze pszenicy) w glebie obiektu nawożonego obornikiem zawartość $P_{\text{przysw.}}$ zwiększyła się, w stosunku do I roku o 28,6%, a nawożonego podłożem popieczarkowym uległa zmniejszeniu o około 8%. W warunkach trwałego doświadczenia nawozowego Szulc (1998) stwierdził, że udział fosforu przyswajalnego w stosunku do ogólnego pozostaje szerszy, przy łącznym nawożeniu mineralnym i obornikiem, w porównaniu z wyłącznym nawożeniem mineralnym. Spychaj-Fabisiak i in. (2007), stosując w nawożeniu różne odpady organiczne i obornik, stwierdzili zwiększenie zawartości fosforu w formach przyswajalnych na wszystkich obiektach nawozowych, w każdym z lat badań. Koper i in. (2004) oraz Koper i Lemanowicz (2008) podają, że zwiększające się dawki obornika przyczyniają się do zwiększania zawartości przyswajalnego fosforu w glebie.

Aktywność fosfatazy kwaśnej w poziomie próchnicznym gleby poszczególnych obiektów doświadczalnych była większa od aktywności fosfatazy alkalicznej;

większa (średnio dla obiektów) po II roku uprawy (1,172 mmol PNP kg⁻¹·h⁻¹), niż po roku I (0,918 mmol PNP kg⁻¹·h⁻¹) (tab. 4). Koper i Lemanowicz (2008) większą aktywność fosfatazy kwaśnej tłumaczą tym, że fosfomonoesterazy są enzymami najbardziej wrażliwymi na zmianę odczynu gleby (optimum pH gleby dla aktywności fosfatazy alkalicznej wynosi 9,0-11,0, a dla fosfatazy kwaśnej 4,0- 6,5). Największą aktywność fosfatazy kwaśnej, po I i II roku uprawy, stwierdzono w glebie obiektów nawożonych obornikiem (odpowiednio 1,186 i 1,348 mmol PNP kg⁻¹·h⁻¹).

Tabela 4. Aktywność fosfatazy kwaśnej i alkalicznej oraz wartość stosunku AIP:AcP w poziomach próchnicznych poszczególnych obiektów doświadczalnych

Table 4. The activity of acid and alkaline phosphatases and the values of the ratio AIP:AcP in the humus horizon of individual objects of the experiment

Obiekt doświadczalny Experimental object	Fosfataza kwaśna Acid phosphatase	Fosfataza alkaliczna Alkaline phosphatase	AIP:AcP
	mmol PNP kg ⁻¹ ·h ⁻¹		
I rok uprawy (po uprawie ziemniaka) / first year of cultivation (after the potato cultivation)			
Obiekt kontrolny / Control object	0,997	0,492	0,493
NPK	0,997	0,415	0,416
Obornik / Swine manure	1,186	0,703	0,592
Obornik + NPK / Swine manure + NPK	1,104	0,642	0,581
Podł. pop. / SMS	1,118	0,681	0,609
Podł. pop.+ NPK / SMS + NPK	1,005	0,623	0,619
średnia / mean	0,918	0,592	
II rok uprawy (po uprawie pszenicy) / second year of cultivation (after the wheat cultivation)			
Obiekt kontrolny / Control object	1,097	0,501	0,457
NPK	1,039	0,413	0,397
Obornik / Swine manure	1,348	0,705	0,523
Obornik + NPK / Swine manure + NPK	1,109	0,633	0,570
Podł. pop. / SMS	1,234	0,667	0,540
Podł. pop.+ NPK / SMS + NPK	1,205	0,652	0,541
średnia / mean	1,172	0,595	
NIR _{0,05} / LSD _{0,05}			
A (lata / years)	0,017	n.i.	
B (nawożenie / fertilization)	0,043	0,017	
B/A	0,061	0,024	
A/B	0,041	0,016	

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

Kuziemska (2009) w glebie z doświadczenia wazonowego, w którym uprawiano rośliny bobowate, stwierdziła prawie dwukrotnie większą aktywność fosfatazy kwaśnej. O dodatnim wpływie obornika na aktywność fosfataz w swoich

pracach donoszą Dick (1992), Parham (2002), Lemanowicz i Siwik-Ziomek (2010). O dużym wpływie nawozów organicznych na zwiększenie aktywności fosfatazy kwaśnej w glebach, w stosunku do obiektu kontrolnego, informują Koper i in. (1999, 2004). Jak wynikało z badań własnych, nawożenie samym podłożem popieczarkowym i z dodatkiem NPK, po I i II roku uprawy, spowodowało zwiększenie aktywności tego enzymu, w stosunku do obiektów kontrolnych oraz nawożonych samym NPK. Na podstawie analizy wariancji (tab. 4) stwierdzono, iż aktywność fosfatazy kwaśnej istotnie zależała od lat trwania doświadczenia i zastosowanego nawożenia. Aktywność fosfatazy alkalicznej (średnio po I i II roku uprawy wynosiła 0,592 i 0,595 mmol PNP kg⁻¹·h⁻¹) i niewiele różniła się między latami. Największą aktywność tego enzymu stwierdzono w glebie obiektów nawożonych obornikiem (odpow. 0,703 i 0,705 mmol PNP kg⁻¹·h⁻¹) i podłożem popieczarkowym (odpow. 0,681; 0,667 mmol PNP kg⁻¹·h⁻¹). Najmniejszą aktywność w obydwu latach zanotowano na obiektach nawożonych mineralnie NPK. Koper i in. (2004) podają, że aktywność fosfatazy alkalicznej zwykle zwiększa się wraz z większą dawką obornika, a nawożenie azotem powoduje zmniejszenie tej aktywności. Zastosowanie azotu w dawce 90 kg N·ha⁻¹, powoduje zmniejszenie aktywności fosfatazy alkalicznej, w wyniku zakwaszającego działania na glebę dużych dawek azotu mineralnego (Koper i Lemanowicz 2008). Kuziemska i in. (2014) badając wpływ materii organicznej na aktywność fosfataz w glebach zanieczyszczonych niklem, stwierdzili istotne zwiększenie ich aktywności w wyniku zastosowania słomy oraz węgla brunatnego. Przeprowadzona w naszych badaniach analiza wariancji wykazała, że aktywność fosfatazy alkalicznej istotnie zależała od zastosowanego nawożenia (tab. 4).

Poziom aktywności fosfataz w glebach determinowany jest głównie zawartością węgla organicznego (Shulten i in. 1995, Koper, Lemanowicz 2006, Lemanowicz i Siwik-Ziomek 2010). Aon i Colaneri (2001) wykazali silne współzależności pomiędzy zawartością węgla związków organicznych a aktywnością fosfatazy kwaśnej i zasadowej, w glebie użytkowanej rolniczo. W badaniach własnych stwierdzono, iż aktywność enzymatyczna badanej gleby istotnie korelowała z zawartością węgla związków organicznych (tab. 5).

Na podstawie aktywności fosfatazy alkalicznej i fosfatazy kwaśnej obliczono wartości stosunku AIP:AcP, określanego jako enzymatyczny wskaźnik poziomu pH. Dick i in. (2000) podają, iż za odpowiednią do wzrostu i rozwoju roślin można uznać taką wartość pH gleby, przy której występuje właściwy stosunek AIP:AcP. Wartość tego stosunku mniejsza niż 0,50 świadczy o kwaśnym odczynie gleby i wskazane jest jej wapnowanie. Wartość stosunku AIP:AcP w badanych glebach poszczególnych obiektów doświadczalnych kształtowała się od 0,397 do 0,619. Zarówno po I, jak i po II roku badań najniższą wartość badanego wskaźnika stwierdzono w glebie z zastosowanym nawożeniem mineralnym NPK.

Na obiektach, na których zastosowano podłoże popieczarkowe samo i z dodatkiem NPK, po I roku uprawy wartość tego stosunku była najwyższa i wynosiła (odpowiednio 0,609; 0,619). Po drugim roku uprawy wartość ta uległa zmniejszeniu. Lemanowicz i Koper (2010) badając zmiany aktywności fosfataz glebowych pod wpływem nawożenia mineralnego, stwierdzili, iż dawki azotu powyżej 100 kg N·ha⁻¹ wpływają na zmniejszenie badanego wskaźnika poniżej 0,5, co świadczy o ich zakwaszającym wpływie na gleby.

Tabela 5. Współczynniki korelacji pomiędzy aktywnością fosfatazy kwaśnej i alkalicznej oraz wybranymi właściwościami gleb

Table 5. The correlation coefficients between activity of acid and alkaline phosphatases and the selected soil properties

Parametr Parameter	P _{og} P _t	C _{org} OrgC	pH _{KCl}	N _{og} N _t
Fosfataza kwaśna Acid phosphatase	-0,24	0,67*	-0,33	0,10
Fosfataza alkaliczna Alkaline phosphatase	-0,03	0,77*	-0,06	0,54

* istotność na poziomie $\alpha < 0,05$ / significant at $\alpha < 0.05$

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania wykazały, iż zastosowanie podłoża popieczarkowego (grzybni pochodzącej z hodowli pieczarek) w nawożeniu nie wpłynęło w sposób istotny na zwiększenie zawartości ogólnej fosforu w glebie poszczególnych obiektów doświadczalnych. Zawartość fosforu zależała natomiast od roku trwania doświadczenia.

2. Badana gleba pod względem zawartości fosforu w formach przyswajalnych została zakwalifikowana do gleb o średniej zasobności w ten składniki (III klasa). Zastosowanie podłoża popieczarkowego w nawożeniu, wpłynęło na zwiększenie udziału fosforu w formach przyswajalnych, w stosunku do obiektu bez nawożenia.

3. Aktywność fosfatazy kwaśnej w poziomie próchnicznym gleby poszczególnych obiektów doświadczenia była większa od aktywności fosfatazy alkalicznej i zależała istotnie od roku trwania doświadczenia oraz zastosowanego nawożenia. Nawożenie podłożem popieczarkowym wpłynęło na zwiększenie aktywności tych enzymów w stosunku do gleby nienawożonej oraz nawożonej mineralnie NPK.

4. Enzymatyczny wskaźnik pH gleb wskazał na kwaśny odczyn gleby na obiekcie kontrolnym oraz obiekcie, na którym zastosowano tylko nawożenie mineralne NPK.

PIŚMIENNICTWO

- Adams M.A., 1992. Phosphatase activity and phosphorus fractions in Karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) forest soils. *Biol. Fertil. Soils*, 14, 200-204.
- Aon M.A., Colaneri A.C., 2001. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physical-chemical properties in an agricultural soil. *Appl. Soil Ecol.*, 18, 155-270.
- Bielińska E.J., Pranagal J., 2006. Aktywność enzymatyczna jako wskaźnik degradacji gleb pyłowych użytkowanych rolniczo. *Rocz. Glebozn.*, 57(1), 41-49.
- Dick R.P. 1992. Long-term effect of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 40, 25-36.
- Dick W.A., Chenge L., Wang P., 2000. Soil acid alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1915-1919.
- Fotyła M., Gosek S., Szewczyk M., 1996. Porównanie różnych metod określania odczynu gleby oraz zawartości przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. *Rocz. Glebozn.* 47(1/2), 65-78.
- Gostkowska K., Furczak J., Domżał H., Bielińska E.J., 1998. Suitability of some biochemical and microbiological testes for the degradation degree of podzolic soil on the black-ground of it differentiated usage. *Polish. J. Soil Sci.*, 30(2), 69-78.
- He Z., Griffin T.S., Honeycutt C.W., 2006. Soil phosphorus dynamics in response to dairy manure and inorganic fertilizer applications. *Soil Sci.*, 171(8), 598-609.
- Jordan S.N., Mullen G.J., Murphy M.C., 2008. Composition variability of spent mushroom compost in Ireland. *Biores Technol.*, 99, 411-418.
- Kalembasa D., Wiśniewska B., 2004. Wykorzystanie podłoża popieczarkowego do rekultywacji gleb. *Rocz. Glebozn.*, 55(2), 209-217.
- Kalembasa D., Wiśniewska B., 2006. Zmiany składu chemicznego gleby i życia wielokwiatowej pod wpływem stosowania podłoża popieczarkowego. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 512, 265-276.
- Kalembasa S., Kalembasa D., 1992. The quick method for the determination of C:N ratio in mineral soils. *Polish J. Soil Sci.*, 25(1), 41-46.
- Koper J., Lemanowicz J., 2006. Kształtowanie się wybranych właściwości biochemiczno-chemicznych gleby płowej pod wpływem wieloletniego nawożenia obornikiem i azotem. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 512, 357-362.
- Koper J., Lemanowicz J., 2008. Dynamika zawartości fosforu przyswajalnego oraz aktywności fosfatazy kwaśnej w glebie nawożonej obornikiem i azotem mineralnym. *Prace Nauk. UE, Wrocław*, 4, 21-29.
- Koper J., Lemanowicz J., Igras J., 2004. Wpływ nawożenia na aktywność fosfatazy i zawartość wybranych frakcji fosforu. *Ann. UMCS. sec. E*, 59(2), 679-686.
- Koper J., Maćkowiak Cz., Lemanowicz J., 2001. Zmiany zawartości frakcji fosforu związków organicznych w glebie nawożonej gnojowicą i obornikiem z różnymi zmianowaniami. *Prace Nauk. AE, Wrocław*, 888, 197-203.
- Koper J., Piotrowska A., Siwek A., 1999. Wpływ zróżnicowanego nawożenia gleby na kształtowanie się jej aktywności enzymatycznej. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 467, 199-206.
- Kuziemska B., 2009. Wpływ wzrastających ilości niklu w glebie na plonowanie i skład chemiczny wybranych gatunków roślin bobowatych. *Rozpr. Nauk.* 102, Wyd. AP, Siedlce, 98 s.
- Kuziemska B., Kalembasa S., Kalembasa D., 2014. Wpływ wapnowania i materii organicznej na aktywność fosfatyz w glebie zanieczyszczonej niklem. *Inż. Ekol.*, 37, 117-127.
- Lemanowicz J., 2011. Phosphatases activity and plant available phosphorus in soil under winter wheat (*Triticum aestive* L.) fertilized minerally. *Polish J. Agron.*, 4, 12-15.

- Lemanowicz J., Koper J., 2010. Zmiany zawartości fosforu przyswajalnego i aktywności fosfataz glebowych w wyniku nawożenia mineralnego. *Rocz. Glebozn.*, 69(4), 140-145.
- Lemanowicz J., Siwik-Ziomek A., 2010. Concentrations of available phosphorus and sulphur and activities of some hydrolytic enzymes in a luvisol fertilized with farmyard manure and nitrogen. *Polish J. Soil Sci.*, 63(1), 37-47.
- 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.
- Okołowicz M., Czepińska-Kamimińska D., Janowska E., Konecka-Betley K., 2003. Rozmieszczenie fosforu w glebach Rezerwatu Biosfery „Puszcza Kampinoska”. *Rocz. Glebozn.*, 54(3), 39-48.
- Parham J.A., Deng S.P., Raum W.R., Johanson G.V., 2002. Long-term cattle manure application in soil. *Biol. Fertil. Soils*, 35(5), 328-337.
- Potarzycki J., 2006. Przemiany związków fosforu w glebie w zależności od systemu nawożenia w przeszłości. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 512, 465-473.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 stycznia 2015 roku w sprawie procesu odzysku R10. *Dz.U.* 2015 poz. 132.
- Sądej W., 2000. Badania nad przemianami fosforu w glebach i jego wykorzystanie przez rośliny uprawne w warunkach zróżnicowanego nawożenia. *Rozprawy i monografie AR-T, Olsztyn*, 1-78.
- Schulten H.R., Monreal C.M., Schnitzer M., 1995. Effect of long-term cultivation on the chemical structure of soil organic matter. *Naturwissenschaften*, 82(1), 42-44.
- Song L., Siu-Wai Ch., 2007. Dual roles of spent mushroom substrate on soil improvement and enhanced drought tolerance of wheat *Triticum aestivum*. *International Conferences, 3rd QLIF Congress. Crop production, soil management. Germany, 20-23. March.*
- Spychaj-Fabisiak E., Kozera W., Majcherczyk E., Ralcewicz M., Knapowski T., 2007. Oddziaływanie odpadów organicznych i obornika na żyzność gleby lekkiej. *Acta Sci. Pol., Agric.*, 6(3), 69-76.
- Szulc W., 1998. Wpływ współdziałania nawożenia obornikiem i nawozami mineralnymi na zawartość fosforu w roślinach i w glebie w trwałym statystycznym doświadczeniu na glebie lekkiej. *Prace Nauk. AE Wrocław*, 792, 268-275.
- Tabatabai M. A., 1994. Enzymem. In: R. I. Weaver, S. Agle P. J. Bottomly, D. Bezdieck, S. Smith, M. A. Tabatabai, A. Wollum (eds.). *Methodes of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties. Soil Sci. Soc. Am.*, 775-833.
- Tabatabai M.A., Brenner J.M., 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphate activity. *Soil Biol. Biochem.*, 1, 301-307.
- Tkaczyk P., Chwil S., 2004. Formy i frakcje fosforu mineralnego w glebie nawożonej nawozami mineralnymi i obornikiem. *Annales UMCS sec. E, Lublin*, 59(4), 1723-1730.
- Whalen J.K., Chang Chi, Osen B.M., 2001. Nitrogen and phosphorus mineralization potentials of soils receiving repeated annual cattle manure applications. *Biol. Fertil. Soils*, 34(5), 334-341.
- Withers P.J., Sharpley A.N., 1995. *Phosphorus Fertilizers. Soil Amendments and Environmental Quality*, CRS Press. Inc, 65-107.

CHANGES IN PHOSPHORUS CONTENT AND PHOSPHATASES ACTIVITY IN SOIL FERTILIZED WITH SPENT MUSHROOM SUBSTRATE

Anna Majchrowska-Safaryan, Cezary Tkaczuk

Department Plant Protection and Breeding
Siedlce University of Natural Science and Humanities
anna.majchrowska-safaryan@uph.edu.pl

Abstract. The aim of this study was to determine the effect of use of spent mushroom substrate in fertilisation of arable soils on the content of available phosphorus and on the activity of acid and alkaline phosphatase. The vegetation experiment was carried out in 2008 and 2009 on the production field of an individual farm in the village Zając (Siedlce Upland). On the basis of the analyses it was found that the use of spent mushroom substrate in soil fertilisation increased the share of available forms of phosphorus in relation to the treatment without fertilisation. Moreover, it was found that the acid phosphatase activity in the humus horizon of soil of the individual experimental treatments was higher than alkaline phosphatase activity, and depended significantly on the years of experiment and on the applied fertilization.

Key words: soil, available phosphorus, acid phosphatase, alkaline phosphatase, spent mushroom substrate