

<sup>1</sup>Katedra Biochemii, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy  
ul. Bernardyńska 6-8, 85-029 Bydgoszcz, Poland

<sup>2</sup>Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa

Jan Koper<sup>1</sup>, Joanna Lemanowicz<sup>1</sup>, Janusz Igras<sup>2</sup>

Wpływ nawożenia na aktywność fosfatazy i zawartość wybranych  
frakcji fosforu

---

The effect of fertilization on the phosphatase activity and the content of some phosphorus forms

ABSTRACT. Effects of organic-mineral fertilization and crop rotation (spring barley, clover with grass as companion crop, potato, winter wheat) depleting the soil from organic matter on alkaline phosphatase [E.C.3.1.3.1] activity as well as on the content of total and available phosphorus were studied. The experiment was carried out on typical brown podzolic soil at the Grabowo Experimental Station of the Pulawy Institute of Tillage, Fertilization and Soil Science. Several variants of manure fertilization (control, 20 t ha<sup>-1</sup>, 40 t ha<sup>-1</sup>, 60 t ha<sup>-1</sup>, 80 t ha<sup>-1</sup>) and mineral nitrogen fertilization (control, 40 kg N ha<sup>-1</sup>, 80 kg N ha<sup>-1</sup>, 120 N kg ha<sup>-1</sup>) were used. Soil samples were taken in 2002 over the vegetation period of winter wheat three times from interrows and twice from the rhizosphere zone. Phosphatase activity was assayed according to Tabatabai and Bremner, total phosphorus concentration as described by Mehta, while available phosphorus by Egner-Riehma method. Alkaline phosphatase activity and the content of phosphorus fractions under study were higher in soil samples from plots fertilized with higher doses of manure. Fertilization with ammonium nitrate caused negligible changes in the enzyme activity and phosphorus concentration in the soil. An increased activity of the enzyme was noted in samples of the rhizosphere zone. Both phosphatase activity and the content of specific phosphorus forms were significantly affected by the timing of sampling. A statistical analysis of the differences between the studied factors in the rhizosphere zone gave a significant correlation between P<sub>og</sub> and F<sub>AL</sub> (r=0.37) and P<sub>E-R</sub> and F<sub>AL</sub> (r=0.37).

KEY WORDS: alkaline phosphatase, total phosphorus, available phosphorus, fertilization

Enzymy glebowe odgrywają podstawową rolę w katalizowaniu reakcji prowadzących do rozkładu materii organicznej [Tabatabai 1994]. W literaturze naukowej są one coraz częściej określane jako wskaźnik biochemicznej i mikrobiologicznej aktywności gleb. Różnorodne wykonywanie zabiegów agrotechnicznych, takich jak prawidłowy płodozmian, poziom i rodzaj nawożenia, gatunek uprawianych roślin, to również czynniki, które mają znamienity wpływ na aktywność enzymatyczną, a tym samym na żyzność gleby [Tabatabai 1994]. Rośliny charakteryzują się wrażliwością bezpośredniego wykorzystania fosforu nieorganicznego. Fosfor związków organicznych w tym celu musi ulec hydrolizie przy udziale fosfataz glebowych. Głównymi producentami fosfatazy alkalicznej są mikroorganizmy glebowe oraz grzyby [Tarafdar, Classen 1988]. Rośliny pobierają fosfor przyswajalny przez system korzeniowy. Zwykle aktywność fosfataz glebowych znacznie obniża się wraz ze zwiększaniem się zawartości fosforu mineralnego.

Celem pracy było określenie zmian aktywności fosfatazy alkalicznej, zawartości fosforu ogółem oraz fosforu przyswajalnego w glebie nawożonej różnymi dawkami obornika i azotu mineralnego.

#### METODY

Do oznaczeń laboratoryjnych pobrano próbki glebowe z doświadczenia założonego na glebie płowej typowej, na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego w Grabowie, woj. lubelskie, prowadzonego przez Zakład Żywnienia i Nawożenia Roślin Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Analizowaną glebę charakteryzuje skład granulometryczny piasku gliniastego, kompleks przydatności rolniczej żytni bardzo dobry. Próbkę glebową pobrano w roku 2002 trzykrotnie z międzyrzędzi z głębokości 0–20 cm maj – w fazie widocznego nabrzmienia pochwy, lipiec – w fazie dojrzałości pełnej do 20% wilgotności, październik – po zbiorze pszenicy ozimej oraz dwukrotnie (w maju i lipcu) ze strefy rizosferowej. Doświadczenie było prowadzone metodą losowanych bloków. W zmianowaniu „zubożającym” glebę z materii organicznej uwzględniony jest następujący dobór roślin: jęczmień jary, kukurydza, ziemniaki, pszenica ozima. W doświadczeniu zastosowano następujące warianty nawożeniowe: nawożenie obornikiem: bez nawożenia, 20 t ha<sup>-1</sup>, 40 t ha<sup>-1</sup>, 60 t ha<sup>-1</sup>, 80 t ha<sup>-1</sup>, nawożenie azotem mineralnym w postaci saletry amonowej: bez nawożenia, 40 kg N ha<sup>-1</sup>, 80 kg N ha<sup>-1</sup>, 120 N kg ha<sup>-1</sup>.

W badanej glebie oznaczono: aktywność fosfatazy alkalicznej ( $F_{AL}$ ) metodą Tabatabai i Bremnera [1969], zawartość fosforu ogółem ( $P_{og}$ ) metodą Mehty [Dalal 1977], zawartość fosforu przyswajalnego ( $P_{E-R}$ ) metodą Egnera-Riehma

(DL) [Lityński i in. 1976], zawartość węgla organicznego za pomocą analizatora TOC Primas firmy Scalar, pH w H<sub>2</sub>O i w 1 mol KCl dm<sup>-3</sup> oznaczono metodą potencjometryczną [Lityński i in. 1976].

#### WYNIKI

Zastosowane nawożenie mineralno-organiczne nie spowodowało wyraźnych zmian w odczynie badanej gleby. Poszczególne próbki glebowe miały wartość odczynu od kwaśnego do lekko kwaśnego. Wartość pH w H<sub>2</sub>O mieściła się w zakresie 5,1–6,5, natomiast pH w 1 mol KCl dm<sup>-3</sup> 3,9–5,4 (tab. 1). Najniższą wartość pH, mierzoną zarówno w H<sub>2</sub>O, jak i 1 mol KCl dm<sup>-3</sup>, stwierdzono w próbkach glebowych pobranych z obiektów, na których nie zastosowano nawożenia organicznego. Potwierdza to fakt, że nawożenie azotowe powoduje nieznaczne obniżenie wartości odczynu gleby. Podobne wyniki uzyskali wcześniej Nowak i in. [2000].

Nawożenie organiczne w dawce 60 t ha<sup>-1</sup> przyczyniło się do zwiększenia zawartości węgla organicznego w badanej glebie. Maćkowiak i Żebrowski [1999] również stwierdzili, że ilość C<sub>org</sub> pozostającego w glebie nawożonej obornikiem

Tabela 1. Odczyn badanej gleby oraz zawartość węgla organicznego, g kg<sup>-1</sup>  
Table 1. Soil reaction and organic carbon content, g kg<sup>-1</sup>

Dawka obornika FYM dose t ha <sup>-1</sup>	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization kg ha <sup>-1</sup>	pH w H <sub>2</sub> O	pH w 1 mol KCl dm <sup>-3</sup>	Węgiel organiczny Organic carbon
0	0	5,1	4,9	7,8
	40	5,1	3,9	6,5
	80	5,7	5,2	6,6
	120	5,9	4,9	7,8
20	0	6,1	5,3	6,2
	40	6,3	5,2	6,9
	80	6,3	5,3	6,4
	120	6,2	5,1	7,2
40	0	6,3	5,1	7,6
	40	6,2	5,1	7,2
	80	6,2	5,0	7,1
	120	6,1	5,0	7,4
60	0	6,3	5,3	8,7
	40	6,4	5,3	8,2
	80	6,4	5,2	7,8
	120	6,3	5,1	8,1
80	0	6,5	5,4	7,4
	40	6,4	5,3	7,8
	80	6,4	5,2	8,0
	120	6,2	4,9	8,5

zależała od wielkości zastosowanej dawki. Największa zawartość  $C_{org}$  ( $8,7 \text{ g kg}^{-1}$ ) wystąpiła w glebie nawożonej obornikiem w dawce  $60 \text{ t ha}^{-1}$  (tab. 1). Łabuda i in. [2003] stwierdzili, że największa zawartość  $C_{org}$  ( $8,1 \text{ g kg}^{-1}$ ) była w próbkach glebowych pobranych z poletek nawożonych obornikiem w dawce  $80 \text{ t ha}^{-1}$ . Podobne wnioski przedstawili Gonet i Dębska [2002]. Podkreślili oni jednocześnie, że wyniki oznaczeń węgla organicznego za pomocą analizatora TOC PRIMAS są 1,3-krotnie wyższe, niż otrzymane metodą Tiurina.

Tabela 2 Aktywność fosfatazy alkalicznej ( $\text{mmol PNP kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) w glebie pobranej z międzyrzędzi i rizosfery w różnych terminach pobierania prób

Table 2. Activities of alkaline phosphatase ( $\text{mmol PNP kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) in dry soil sampled from interrows and the rhizosphere as dependent on the sampling date

Dawka obornika FYM dose I czynnik I factor $\text{t ha}^{-1}$	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization II czynnik II factor $\text{kg ha}^{-1}$	Fosfataza alkaliczna Alkaline phosphatase				
		Międzyrzędzia Interrows			Rizosfera Rhizosphere	
		Termin pobierania prób glebowych III czynnik Sampling date III factor				
		Maj May	Lipiec July	Październik October	Maj May	Lipiec July
0	0	0,481	0,370	0,660	0,438	0,328
	40	0,472	0,450	0,537	0,472	0,390
	80	0,397	0,429	0,578	0,375	0,417
	120	0,423	0,437	0,540	0,394	0,343
20	0	0,445	0,450	0,618	0,446	0,479
	40	0,380	0,450	0,628	0,546	0,515
	80	0,419	0,494	0,598	0,525	0,452
	120	0,452	0,437	0,528	0,474	0,481
40	0	0,517	0,439	0,785	0,559	0,476
	40	0,496	0,501	0,702	0,644	0,607
	80	0,355	0,499	0,768	0,477	0,495
	120	0,340	0,436	0,712	0,392	0,501
60	0	0,552	0,562	0,968	0,581	0,493
	40	0,511	0,724	0,950	0,600	0,497
	80	0,498	0,616	0,952	0,550	0,95
	120	0,479	0,627	0,926	0,479	0,541
80	0	0,561	0,562	0,912	0,617	0,548
	40	0,500	0,554	0,824	0,546	0,563
	80	0,482	0,621	0,793	0,496	0,487
	120	0,493	0,686	1,202	0,457	0,464
Średnio Mean		0,463	0,516	0,760	0,504	0,479
NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub> I czynnik I factor			0,025			0,008
II czynnik II factor			0,019			0,007
III czynnik III factor			0,016			0,005
Interakcje Interactions I/II			0,044			0,015
I/III			0,036			0,010
II/III			0,032			0,009
I/II/III			0,073			0,020

Aktywność fosfatazy alkalicznej była najniższa w maju w próbkach glebowych pobranych z obiektów nawożonych dawką obornika  $20 \text{ t ha}^{-1}$  i wynosiła średnio  $0,424 \text{ mmol PNP kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  dla wszystkich dawek azotu. Aktywność badanego enzymu zwykle wzrastała wraz ze wzrostem dawek obornika (tab. 2). Dawki azotu mineralnego ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  oraz  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) powodowały na ogół spadek aktywności fosfatazy alkalicznej. Stwierdzono istotny wpływ terminu pobierania prób glebowych na aktywność badanego enzymu. Najwyższą aktywność fosfatazy alkalicznej (średnio  $0,760 \text{ mmol PNP kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) stwierdzono w próbkach glebowych pobranych w październiku. Aktywność fosfatazy alkalicznej była wyższa w próbkach glebowych pobranych w październiku o 39% w porównaniu z aktywnością oznaczoną w próbach glebowych pobranych w maju. Stwierdzono wyższą aktywność fosfatazy alkalicznej w próbkach gleby pobranej ze strefy rizosferowej niż z międzyrzędzi. Spadek aktywności fosfatazy egzokomórkowej w glebie w zależności od odległości od systemu korzeniowego jęczmienia jarego stwierdził Asmar i in. [1995]. Wpływ odległości od korzenia rośliny przy pobieraniu próbek glebowych na aktywność fosfatazy alkalicznej stwierdził również Joner i in. [1995].

Najwyższą zawartość fosforu ogółem, wynoszącą  $0,826 \text{ g kg}^{-1}$ , stwierdzono w próbkach glebowych nawożonych obornikiem w dawce  $60 \text{ t ha}^{-1}$  i azotem w dawce  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  (tab. 3). Stosowanie zwiększonych dawek obornika spowodowało wzrost zawartości fosforu ogółem w badanych próbkach glebowych. Koper i in. [1999] w swoich badaniach stwierdzili, że pełne nawożenie mineralno-organiczne powodowało wyraźny wzrost zawartości  $P_{og}$  w glebie. Szulc [1998] stwierdził również, że nawożenie mineralne z obornikiem powoduje wzrost zasobności gleby w fosfor kolejno aż do klasy bardzo wysokiej. Stwierdzono istotny wpływ terminu pobierania próbek glebowych na zawartość fosforu ogółem. Największa zawartość  $P_{og}$  (średnio  $0,687 \text{ g kg}^{-1}$ ) była w próbkach glebowych pobranych w październiku, po zbiorze pszenicy ozimej. Zaobserwowano 22% wzrost zawartości  $P_{og}$  w próbkach glebowych pobranych w październiku w stosunku do zawartości  $P_{og}$  w próbkach glebowych pobranych w lipcu. Wyższą zawartość fosforu ogółem stwierdzono w próbkach glebowych pobranych z rizosfery ( $0,477\text{--}0,694 \text{ g kg}^{-1}$ ) niż w próbkach gleby pobranych z międzyrzędzi ( $0,301\text{--}0,495 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Stwierdzono istotny wpływ nawożenia obornikiem na zawartość fosforu przyswajalnego w badanej glebie. Największa zawartość fosforu przyswajalnego dla roślin w glebie pobranej w maju z międzyrzędzi (średnio  $229,1 \text{ mg kg}^{-1}$  dla dawek azotu) w październiku (średnio  $220,0 \text{ mg kg}^{-1}$  dla dawek azotu) była w próbkach pobranych z poletek nawożonych obornikiem w dawce  $60 \text{ t ha}^{-1}$  (tab. 3). Natomiast w próbkach glebowych pobranych w lipcu zawartość badanej

Tabela 3. Zawartość fosforu ogółem (g kg<sup>-1</sup>) i fosforu przyswajalnego (mg kg<sup>-1</sup>) w suchej glebie pobranej z rzedzyczdzi i rizosfery w róznych terminach pobierania prób  
 Table 3. The content of total phosphorus (g kg<sup>-1</sup>) and available phosphorus (mg kg<sup>-1</sup>) in dry soil sampled from interrows and the rhizosphere as dependent on the sampling date

Dawka obornika FYM dose (t ha ) I czynnik I factor	Nawozenie azotem Nitrogen fertilization (kg ha ) II czynnik II factor	Fosfor ogółem Total phosphorus						Fosfor przyswajalny Available phosphorus					
		Międzyrzędzia Interrows			Rizosfera Rhizosphere			Międzyrzędzia Interrows			Rizosfera Rhizosphere		
		Lipiec July		Październik October		Lipiec July		Październik October		Lipiec July		Październik October	
		Maj May	Lipiec July	Październik October	Maj May	Lipiec July	Październik October	Maj May	Lipiec July	Październik October	Maj May	Lipiec July	Październik October
0	0	0,301	0,429	0,477	0,523	0,526	190,1	140,7	180,4	200,0	134,8	144,3	
	40	0,510	0,502	0,590	0,533	0,487	133,2	134,8	181,5	181,1	144,3	114,9	
	80	0,435	0,436	0,569	0,498	0,491	168,2	124,4	206,9	169,2	114,9	167,4	
20	0	0,415	0,353	0,582	0,458	0,491	170,4	135,6	189,9	173,9	167,4	140,4	
	40	0,445	0,424	0,680	0,510	0,527	175,4	126,8	177,5	178,5	140,4	137,9	
	80	0,338	0,415	0,696	0,540	0,512	161,3	143,1	189,5	176,9	137,9	136,8	
40	0	0,315	0,430	0,665	0,580	0,507	149,8	123,6	159,9	172,0	136,8	132,1	
	40	0,433	0,495	0,598	0,533	0,486	166,3	126,7	177,2	149,2	132,1	200,4	
	80	0,382	0,484	0,546	0,503	0,527	172,5	121,7	174,3	210,9	174,4	174,4	
60	0	0,464	0,405	0,629	0,624	0,542	183,2	144,2	159,0	223,0	188,1	136,4	
	40	0,396	0,375	0,786	0,604	0,489	142,3	137,0	201,6	188,1	136,4	88,9	
	80	0,394	0,496	0,791	0,624	0,502	189,2	140,4	222,6	182,4	88,9	112,1	
80	0	0,436	0,482	0,765	0,533	0,490	280,2	141,5	245,7	289,2	180,1	115,8	
	40	0,455	0,479	0,814	0,645	0,480	243,5	143,4	198,9	180,1	115,8	131,3	
	80	0,546	0,444	0,826	0,557	0,575	199,6	133,4	232,6	206,0	131,3	78,8	
Srednio Mean	0	0,500	0,463	0,784	0,626	0,479	213,4	113,9	203,1	226,2	120,8	144,5	
	40	0,465	0,470	0,722	0,694	0,463	241,6	148,3	215,8	238,2	182,5	182,5	
	80	0,486	0,506	0,814	0,562	0,444	170,9	165,1	220,0	237,8	173,2	136,0	
NIR, ...LSD, ... I czynnik I factor	0,017	0,014	0,011	0,007	0,011	0,007	1,765	1,471	1,715	3,948	3,834	3,429	
	0,014	0,011	0,011	0,007	0,011	0,007	1,765	1,471	1,715	3,948	3,834	3,429	
	0,011	0,011	0,011	0,007	0,011	0,007	1,765	1,471	1,715	3,948	3,834	3,429	
Interakcje Interactions I/II	0,031	0,026	0,023	0,016	0,015	0,015	3,948	3,942	6,580	5,631	3,834	3,429	
	0,026	0,023	0,023	0,016	0,015	0,015	3,948	3,942	6,580	5,631	3,834	3,429	
	0,023	0,023	0,023	0,016	0,015	0,015	3,948	3,942	6,580	5,631	3,834	3,429	
I/III	0,031	0,026	0,023	0,016	0,015	0,015	3,948	3,942	6,580	5,631	3,834	3,429	
	0,026	0,023	0,023	0,016	0,015	0,015	3,948	3,942	6,580	5,631	3,834	3,429	
	0,023	0,023	0,023	0,016	0,015	0,015	3,948	3,942	6,580	5,631	3,834	3,429	
I/II/III	0,031	0,026	0,023	0,016	0,015	0,015	3,948	3,942	6,580	5,631	3,834	3,429	
	0,026	0,023	0,023	0,016	0,015	0,015	3,948	3,942	6,580	5,631	3,834	3,429	
	0,023	0,023	0,023	0,016	0,015	0,015	3,948	3,942	6,580	5,631	3,834	3,429	

frakcji fosforu była największa (średnio  $148,8 \text{ mg kg}^{-1}$  dla dawek azotu) na obiektach nawożonych dawką obornika w wysokości  $80 \text{ t ha}^{-1}$ . Nawożenie azotem mineralnym przyczyniło się w niewielkim stopniu do zwiększenia zawartości  $P_{E-R}$  w badanej glebie. Wyraźnie widać zróżnicowanie zawartości fosforu przyswajalnego w zależności od miejsca pobierania próbek glebowych. Stwierdzono większą zawartość  $P_{E-R}$  w próbkach glebowych pobranych z rizosfery. We wcześniejszych badaniach także Koper i Piotrowska [1998] uzyskali podobne rezultaty. Największą zawartość  $P_{E-R}$  (średnio  $193,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) stwierdzono w próbkach glebowych pobranych w październiku. Ma to związek ze zwiększoną aktywnością fosfatazy alkalicznej, która w tym okresie osiągnęła najwyższą aktywność (średnio  $0,760 \text{ mmol PNP kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), i z brakiem wynoszenia fosforu przez rośliny. Podobne wyniki uzyskali we wcześniejszych badaniach Koper i Lemanowicz [2002].

Na podstawie wyników korelacji stwierdzono istotną zależność między zawartością węgla organicznego w glebie a aktywnością fosfatazy alkalicznej, oznaczonej w próbkach glebowych pobranych z międzyrzędzi ( $r=0,51$ ). We wcześniejszych badaniach Deng i Tabatabai [1997] wykazali, że materia organiczna gleby pełni istotną rolę w utrzymaniu odpowiedniej aktywności enzymu. Istotne współczynniki korelacji uzyskano również dla zależności  $C_{org}$  i  $P_{E-R}$  ( $r=0,36$ ), oznaczonych w próbkach glebowych pobranych z międzyrzędzi. Istotność stwierdzono dla wartości  $P_{og}$  i  $F_{AL}$  ( $r=0,37$ ) oraz  $P_{E-R}$  i  $F_{AL}$  ( $r=0,37$ ), oznaczonych w próbkach glebowych pobranych ze strefy rizosferowej.

#### WNIOSKI

1. Stwierdzono istotny wpływ nawożenia obornikiem na aktywność fosfatazy alkalicznej oraz zawartość fosforu ogółem i przyswajalnego. Nawożenie azotem mineralnym powodowało niewielkie zmiany w aktywności fosfatazy i zawartości badanych frakcji fosforu.
2. Stwierdzono większą akumulację badanych frakcji fosforu oraz zwiększoną aktywność fosfatazy alkalicznej w próbkach glebowych pobranych z rizosfery w stosunku do wielkości tych parametrów, jakie uzyskano w próbach glebowych pobranych z międzyrzędzi.
3. Stwierdzono istotny wpływ terminu pobierania próbek glebowych na zmiany aktywności fosfatazy alkalicznej oraz zawartość oznaczonych frakcji fosforu.

## PIŚMIENNICTWO

- Asmar F., Gahoonia T.S., Nielsen N.E. 1955. Barley genotypes differ in activity of soluble extracellular phosphates and depletion of organic phosphorus in the rhizosphere soil. *Plant and Soil* 172, 117–122.
- Dalal R.C. 1977. Soil organic phosphorus. *Advances in Agronomy* 29, 83–117.
- Deng S.P., Tabatabai M.A. 1997. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III Phosphatases and Arylosulphatase. *Biol. Fertil. Soils* 24, 141–146.
- Dębska B., Gonet S.S. 2002. Wpływ zmianowania oraz nawożenia obornikiem i azotem na zawartość węgla rozpuszczalnego w glebie płowej. *Nawozy i Nawożenie* 1, 209–217.
- Joner E.J., Magid J., Gahoonia T.S., Jacobsen J. 1955. P. depletion and activity of phosphatases in the rhizosphere of mycorrhizal and nonmycorrhizal cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Soil Biol. Biochem.* 27, 1145–1151.
- Koper J., Piotrowska A. 1998. Organic P. and available P. content and phosphatase activity in the rhizosphere and non-rhizosphere soil. *Proc. 16<sup>th</sup> Congress of Soil Sci. Montpellier, Francja*, 1–8.
- Koper J., Piotrowska A., Siwik A. 1999. Wpływ zróżnicowanego nawożenia gleby na kształtowanie się jej aktywności enzymatycznej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 467, 199–206.
- Koper J., Lemanowicz J. 2002. Wpływ systemu uprawy żyta ozimego na aktywność biochemiczną gleby oraz zawartość wybranych form fosforu. *Nawozy i Nawożenie* 4, 182–188.
- Lityński T., Jurkowska H., Gorlach E. 1976. *Analiza chemiczno-rolnicza*. PWN, Warszawa.
- Łabuda S.Z., Mazurkiewicz J., Maćkowiak Cz., 2003. Pierwiastki zmiennowartościowe w glebie pod wpływem nawożenia substancją organiczną i azotem w doświadczeniu polowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 493, 409–420.
- Maćkowiak CZ., Żebrowski J. 1999. Wpływ nawożenia obornikiem i doboru roślin w zmianowaniu na zawartość w glebie węgla organicznego i azotu ogólnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465, 341–351.
- Nowak J., Tyrakowska-Bielec U., Durlej J. 2000. Wpływ zróżnicowanych dawek nawozów azotowych na aktywność fosfomonoesteraz glebowych. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 209, 131–138.
- Szulc W. 1998. Wpływ współdziałania nawożenia obornikiem i nawozami mineralnymi na zawartość fosforu w roślinach i w glebie w trwałym statycznym doświadczeniu na glebie lekkiej. *Prace Nauk AE Wrocław* 792, 268–275.
- Tabatabai M.A., Bremner J.M. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1, 301–307.
- Tabatabai M.A. 1994. Soil enzymes. *Amer. Soc. Agron.* 77–833.
- Tarafdar J.C., Classen N. 1988. Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatase produced by plant roots and microorganisms. *Biol. Fertil. Soils* 5, 308–312.