

MIROSLAWA GILEWSKA, ANNA PŁÓCINICZAK *

AKTYWNOŚĆ FOSFATAZY ZASADOWEJ W GLEBACH ROZWIJAJĄCYCH SIĘ Z GRUNTÓW POGÓRNICZYCH

Słowa kluczowe: fosfataza alkaliczna, grunt pogórniczy, gleba, system użytkowania

Streszczenie

Najbardziej dynamiczny rozkład organicznych połączeń fosforu, mierzony aktywnością fosfatazy zasadowej, zachodzi w glebie objętej paszowo-zbożowym systemem użytkowania, którego podstawą jest uprawa lucerny. Aktywność fosfatazy kształtowała się, w zależności od poziomu nawożenia w przedziale 87 do 132 mmol PNP kg⁻¹ h⁻¹. Znacznie wolniej przebiegał rozkład organicznych związków fosforu w glebie, na której przemiennie uprawiano rzepak i pszenicę. Różnice były istotne. Badania wykazały pozytywny wpływ nawożenia mineralnego na aktywność fosfatazy. Wystąpił jednak brak zależności pomiędzy aktywnością fosfatazy, a zawartością przyswajalnych form fosforu ($r=0,21$). Zasadowy odczyn i duża ilość węglanów modyfikują gospodarkę fosforem. Fosfor w takich glebach ulega procesom retrogradacji.

Wstęp

Mineralizacja organicznych form fosforu ma charakter egzotroficzny i odbywa się przy udziale enzymów wydzielanych do gleby przez komórki roślinne i mikroorganizmy. Wśród nich szczególną rolę odgrywają fosfatazy-enzymy z grupy esteraz. Katalizują one rozkład monoestrów kwasu fosforowego do mineralnych form fosforu HPO_4^{2-} i H_2PO_4^- .

W niniejszej pracy przedstawiamy aktywność fosfatazy alkalicznej w glebach, których materiałem macierzystym są grunty pogórnicze Konińskiego Zagłębia Węgla Brunatnego. Ich rolnicza rekultywacja jest realizowana zgodnie z koncepcją gatunków docelowych Bendera [Bender 1995].

Dominującą formą fosforu (59%) w tych glebach są połączenia fosforu z wapniem; z reguły mało dostępne dla roślin. Fosfor w połączeniach organicz-

* Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu; Katedra Gleboznawstwa i Rekultywacji; Zakład Rekultywacji w Koninie

nych stanowi średnio około 22% ogólnych form [Spsychalski i in. 2005]. Poznanie aktywności fosfatazy umożliwi bowiem ocenę stopnia mineralizacji organicznych form fosforu oraz potencjalnego zabezpieczenia roślin w jego dostępne formy, a także wpływu systemu użytkowania oraz zabiegów rekultywacyjnych na te procesy.

Material i metody

Badania przeprowadzono na polu doświadczalnym Zakładu Rekultywacji Akademii Rolniczej w Poznaniu, zlokalizowanym na wewnętrznym zwałowisku odkrywki Pałnów. Podstawą tych badań jest doświadczenie, założone w 1978 roku, reprezentujące dwa różne systemy rolniczego użytkowania gruntów pogórnich: system rzepakowo-zbożowy oraz system paszowo-zbożowy. Te systemy różnicuje intensywność oddziaływania czynnika antropogenicznego na grunt-glebę, gatunek uprawianych roślin oraz rodzaj wprowadzanej do gleby substancji organicznej. W systemie rzepakowo-zbożowym, którego podstawą jest przemienna uprawa rzepaku ozimego i pszenicy ozimej, zabiegi uprawowe są wykonywane każdego roku. Słoma, resztki roślinne i korzeniowe są corocznie przyorywane. W systemie paszowym, polegającym na czteroletniej uprawie lucerny w mieszance z trawami i następnie dwuletniej uprawie pszenicy ozimej, ilość zabiegów agrotechnicznych jest ograniczona. W tym systemie znaczący dopływ do gleby resztek roślinnych lucerny odbywa się raz na cztery lata po likwidacji uprawy tej rośliny. Przez pozostałe dwa lata tego płodozmianu słoma i resztki poźniwe pszenicy przyorywane są corocznie. W każdym z powyższych systemów analizowano trzy poziomy nawożenia mineralnego: 0 NPK (bez nawożenia mineralnego), 1 NPK i 2 NPK.

Próbki gleby do badań nad aktywnością fosfatazy pobierano z poziomu orno-próchnicznego – Ap (0-25 cm) w 2003 i 2004 roku w dwóch okresach czasowych: na początku okresu wegetacji roślin (kwiecień) i po zbiorze roślin (sierpień). System rzepakowo-zbożowy reprezentowały próbki gleby pobrane spod uprawy rzepaku i pszenicy, a system paszowy próbki pobrane spod lucerny (czwarty rok uprawy) i pszenicy (drugi rok uprawy). Próby kontrolne stanowiły: świeże grunty pogórnice pobrane z dwóch zwałowisk wewnętrznych; O/Józwin oraz O/Adamów.

Aktywność fosfatazy zasadowej oznaczono metodą Tabatabai i Brennera [1969] przy użyciu substratu pod postacią 0,8% roztworu p-nitrofenylofosforanu sodu, a jej aktywność wyrażona w milimolach p-nitrofenolu na kilogram na godz. – $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Dodatkowo oznaczono metodami ogólnie przyjętymi w gleboznawstwie: skład granulometryczny, odczyn, zawartość węglanów wapnia, węgla organicznego, azotu ogólnego oraz przyswajalnych form fosforu

i potasu. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie przy użyciu testu Tukeya. Obliczono również współczynniki korelacji pomiędzy aktywnością fosfatazy, a podstawowymi właściwościami chemicznymi badanych gleb.

Wyniki badań i dyskusja

Grunty pogórnice Konińskiego Zagłębia Węgla Brunatnego są zbudowane z czwartorzędowych glin zwałowych szarych zlodowacenia Warty, żółtych zlodowacenia Wisły, piasków czwartorzędowych i ilów poznańskich zmieszanych w różnych ilościach i proporcjach. W ciągu 27 letniej rolniczej rekultywacji i zagospodarowania rolniczego ten swoisty materiał macierzysty został przekształcony w gleby o uproszczonej budowie profilowej A_{pan} , C_{anca} lub A_{pan} , I C_{anca} , II C_{anca} . Poziom orno-próchniczny ma uziarnienie gliny piaszczystej bądź lekkiej (tab. 1) oraz zasadowy odczyn uwarunkowany obecnością węglanów wapnia. Zawartość próchnicy kształtuje się w granicach 0,89-1,55% i jest uzależniona od systemu użytkowania i poziomu nawożenia mineralnego, zwanego w terminologii rekultywacyjnej naprawą chemizmu. Wartości wyższe są charakterystyczne dla systemu paszowo-zbożowego. Na kombinacji bez nawożenia (0 NPK) ilość próchnicy mieści się w przedziale 1,10-1,20%, a na kombinacji nawozowej 2 NPK przekracza nawet 1,55%. Jest to wyraźny wpływ lucerny stanowiącej podstawę tego systemu. Zaletą tej rośliny jest zdolność wiązania azotu atmosferycznego poprzez symbiozę z bakteriami brodawkowymi z rodzaju *Rhizobium meliloti*. Resztki roślinne lucerny [Czuba i in. 1991] zawierają bowiem około 153 kg azotu na hektar.

System użytkowania i poziom nawożenia mineralnego jest także wyznacznikiem zasobności gleb w przyswajalne związki fosforu i potasu (tab. 1). Większą zawartością obu tych składników – odwrotnie niż w przypadku węgla i azotu – odznacza się gleba z przemienną uprawą rzepaku i pszenicy. W obu systemach użytkowania zawartość tych składników wzrasta wraz z poziomem nawożenia mineralnego i wartość najwyższą osiąga na kombinacji 2 NPK.

Surowe grunty pogórnice wykazują skład granulometryczny gliny lub gliny piaszczystej, odczyn zasadowy i ubogie są w związki fosforu, średnio zasobne w potas. Obecna w tych gruntach substancja organiczna reprezentowana jest przez domieszkę węgla brunatnego. Rozproszona substancja węglowa jest charakterystyczna dla gliny zwałowej szarej. Najbardziej dynamiczny przebieg hydrolizy związków fosforu, mierzonych aktywnością fosfatazy alkalicznej, ma miejsce w glebach objętych paszowo-zbożowym systemie użytkowania (tab. 2) Aktywność fosfatazy, w zależności od kombinacji nawozowej, wynosi średnio od 87 do 132 $mmol\ PNP \cdot kg^{-1}\ gleby \cdot h^{-1}$. W systemie polegającym na przemienniej uprawie rzepaku i pszenicy aktywność fosfatazy jest niższa i kształtuje się

od 59 do 95 $\text{mmol} \cdot \text{PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ gleby} \cdot \text{h}^{-1}$. Opisane różnice są istotne statystycznie. Wyższą aktywność fosfatazy w obrębie paszowo-zbożowego systemu użytkowania należy wiązać z obecnością bakterii brodawkowych na korzeniach lucerny oraz z ilością i jakością wprowadzanej do gleby substancji organicznej. Według Szmigła [1986] przy wprowadzeniu około 7 Mg suchej masy resztek poźniwnych lucerny dostarcza się do gleby około 35 kg fosforu na hektar w postaci połączeń organicznych. Dodatkowe wprowadzenie do gleby około 4 Mg na hektar słomy pszenicznej wzbogaca ją tylko w około 6 kg fosforu, a słomy rzepakowej około 10 kg tego składnika. Są to ilości od 3,5 do 5,8 krotnie mniejsze niż w systemie paszowo-zbożowym. Dodać jednak należy, że w systemie paszowo-zbożowym znaczący dopływ substancji organicznej do gleby nie jest tak systematyczny jak w przypadku systemu rzepakowo-zbożowego, co związane jest ze specyfiką tego systemu użytkowania.

Rozkład monoestrów kwasu ortofosforowego uzależniony jest również od dostępności w glebie łatwo przyswajalnego azotu. Przeprowadzone badania ujawniły nie tylko ścisłą korelację aktywności fosfatazy zasadowej z zawartością azotu ogółem ($r=0,94$), ale również z zawartością węgla organicznego ($r=0,83$). Zawartość azotu ogółem oraz węgla organicznego na poletkach z systemem paszowym przewyższa zawartość tego składnika w systemie rzepakowo-zbożowym. Większa zasobność gleby w azot w tym systemie użytkowania jest związana z obecnością i następczym działaniem uprawy lucerny. To oddziaływanie jest zauważalne w szczególności w próbkach pobranych spod pszenicy uprawianej po lucernie. Wyróżniają się one nie tylko wyższą zawartością węgla organicznego i azotu ogółem, ale również znacznie szybszym tempem rozkładu organicznych związków fosforu. Aktywność fosfatazy zasadowej w tym układzie waha się, w zależności od poziomu nawożenia mineralnego, w przedziale od 95 do 132 $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Wpływ na aktywność fosfatazową badanych gleb wywiera także, jak wynika z przeprowadzonych badań, poziom zastosowanego nawożenia mineralnego. Hydrolityczny rozkład fosforanów przebiega najwolniej na poletkach z pominięciem nawożenia mineralnego – kombinacje 0 NPK (tab. 2). Aktywność fosfatazy na tych kombinacjach kształtuje się w systemie rzepakowo-zbożowym w przedziale od 59 do 61 $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ gleby} \cdot \text{h}^{-1}$, a w przypadku systemu paszowego od 87 do 95 $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ gleby} \cdot \text{h}^{-1}$.

Na kombinacjach 1 NPK i 2 NPK intensywność omawianych procesów wzrasta i wynosi odpowiednio: dla systemu rzepakowo-zbożowego od 76 do 80 $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ gleby} \cdot \text{h}^{-1}$ – kombinacja 1 NPK i od 92 do 95 $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ gleby} \cdot \text{h}^{-1}$ – kombinacja 2 NPK. W systemie paszowym aktywność fosfatazy na tych kombinacjach nawozowych jest wyższa i dla 1 NPK waha się w granicach od 105 do 112 $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ gleby} \cdot \text{h}^{-1}$, a dla kombinacji 2 NPK od 121 do 132 $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ gleby} \cdot \text{h}^{-1}$.

Z badań Barana i in. [1996] oraz Cieśli i Kopera [1990], dotyczących jednak gleb uprawnych, wynika, iż wysoka zawartość przyswajalnych form fosforu w glebie hamuje syntezę i wytwarzanie fosfataz glebowych. Jest to zjawisko represji enzymatycznej, a więc zahamowania wytwarzania i aktywności danego enzymu przez nadmiar końcowego produktu reakcji enzymatycznej [Murray i in. 1995]. Tego zjawiska nie odnotowano w analizowanych badaniach. Wysoka lub bardzo wysoka zasobność tych gleb w przyswajalne związki fosforu na kombinacjach nawozowych 1 NPK i 2 NPK (tab. 1), nie powoduje jednak inhibicji aktywności fosfatazy zasadowej. Aktywność tego enzymu nie jest jednak, dodatkowo skorelowana z zasobnością badanych gleb w przyswajalne związki fosforu ($r=0,21$).

Zasadowy odczyn gleb oraz duża zawartość węglanów wapnia modyfikują gospodarkę fosforową w badanych glebach. Aniony fosforowe, wprowadzane do gleby w formie nawozów mineralnych, ulegają procesom retrogradacji, przechodząc w trudno rozpuszczalne fosforany trójwapniowe – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ [Spychalski i in. 2005]. Deficyt dostępnego fosforu w glebie - według niektórych Autorów [Schneider i in. 2001; Gibczyńska i Lewandowska 2004] – stymuluje aktywność producentów tego enzymu, a głównie korzeni roślin.

Z danych zawartych w tabeli 2 wynika również, iż aktywność fosfatazy odznacza się zmiennością w ciągu sezonu wegetacyjnego. Wyższą aktywność fosfatazy odnotowano bowiem w próbkach gleby pobranych po zbiorze uprawianych roślin. Ta zależność jest widoczna w szczególności na kombinacjach bez nawożenia mineralnego – 0 NPK. Znacznie szybsze tempo mineralizacji organicznych połączeń fosforu odnotowano również w próbkach gleby pobranych w drugim roku badań – rok 2004.

Za interesujące należy uznać obecność i aktywność fosfatazy zasadowej w surowych gruntach pogórnicych. Aktywność tego biokatalizatora glebowego w gruncie pobranym z odkrywki KWB „Konin” wynosi $15 \text{ mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ gleby} \cdot \text{h}^{-1}$, a z odkrywki KWB „Adamów” $18 \text{ mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ gleby} \cdot \text{h}^{-1}$ (tab. 2). Te dane sugerują, że grunt-skała, budująca nowe tworzywo glebowe posiada właściwości, które ułatwiają zapoczątkowanie i następnie stymulację zabiegami rekultywacyjnymi procesów biogeochemicznych w rekultywowanym gruncie.

Obecność i aktywność fosfatazy w analizowanych glebach wskazuje na uwalnianie z organicznych połączeń fosforu przyswajalnych dla roślin anionów H_2PO_4 i HPO_4^{2-} . Jest to ważne dla roślin źródło zaopatrzenia w fosfor, szczególnie na kombinacji z wyeliminowaną naprawą chemizmu – kombinacja 0 NPK. Na tempo tego procesu wpływa zespół zabiegów rekultywacyjnych obejmujący dobór gatunków uprawianych roślin oraz naprawę chemizmu realizowana poprzez nawożenie mineralne.

Tab. 1. Wybrane właściwości gleb rozwijających się z gruntów pogórnicznych
 Table 1. Some properties of soils originating from post mining grounds

Nawożenie numeralne Fertilization treatment	Roślina Plant	% zawartość frakcji % content of fraction (mm)		pH		CaCO ₃ g kg ⁻¹	C org g kg ⁻¹	Prochownia Humus %	N g kg ⁻¹	C/N	P mg kg ⁻¹ wg Egnera-Ruhna	K mg kg ⁻¹
		1,0-0,05	0,05-0,002	H ₂ O	1M KCL							
System rzepakowo-zbożowy - Rape - cereal system												
0 NPK	rzepak rapeseed	69	18	8,15	7,56	59	5,2	0,89	0,45	11,5	30,52	73,87
	pszenica winter wheat	65	17	8,35	7,68	71	4,9	0,84	0,45	10,9	25,72	80,51
	rzepak rapeseed	68	19	8,19	7,66	62	7,3	1,26	0,63	11,6	126,44	123,67
1 NPK	pszenica winter wheat	64	21	8,15	7,69	70	7,5	1,29	0,65	11,5	117,28	124,50
	rzepak rapeseed	64	22	8,28	7,52	70	8,4	1,45	0,76	11,1	144,32	172,64
2 NPK	pszenica winter wheat	68	17	8,12	7,64	61	8,3	1,43	0,72	11,5	134,72	190,07
System paszowo-zbożowy - Fodder - cereal system												
0 NPK	lucerne lucerne	68	19	8,11	7,66	65	6,5	1,12	0,66	9,8	26,16	64,74
	pszenica winter wheat	70	17	8,18	7,69	75	7,0	1,21	0,71	9,8	29,21	70,55
1 NPK	lucerne lucerne	65	20	8,25	7,59	67	7,9	1,36	0,74	10,7	57,55	47,76
	pszenica winter wheat	68	19	8,28	7,48	74	8,3	1,43	0,80	10,4	64,52	53,55
2 NPK	lucerne lucerne	68	18	8,30	7,68	61	8,6	1,48	0,84	10,2	76,30	98,77
	pszenica winter wheat	69	18	8,20	7,63	69	9,0	1,55	0,89	10,1	79,52	107,90
Grunt pogórnicy - Post mining ground												
Kopalnia Węgla Brumatego „Konit” Brown Coal Mine „Konit”		51	32	8,41	7,76	100	3,3	-	0,21	15,7	4,36	43,99
Kopalnia Węgla Brumatego „Adamów” Brown Coal Mine „Adamów”		79	11	8,20	7,65	26	4,3	-	0,18	23,8	30,52	91,30

Tab. 2 Aktywność fosfatazy zasadowej w warstwie ornej gleb rozwijających się z gruntów pogórnicych ($\text{mmol PNP kg}^{-1} \text{gleby} \cdot \text{h}^{-1}$)

Table 2 The alkaline phosphatase activity in soils originating from post mining grounds ($\text{mmol PNP kg}^{-1} \text{soil} \cdot \text{h}^{-1}$)

Nawożenie mineralne Fertilization treatment	Roślina Plant	Początek okresu wegetacji Beginning of vegetation pe- riod		Koniec okresu wegetacji Finish of vegeta- tion period		Średnia z dwóch lat Mean
		2003	2004	2003	2004	
System rzepakowo-zbożowy – Rape –cereal system						
0 NPK	rzepak rape	43	61	65	75	61
	pszenica winter wheat	45	59	63	69	59
1 NPK	rzepak rape	57	78	87	97	80
	pszenica winter wheat	56	71	84	94	76
2 NPK	rzepak rape	80	97	95	109	95
	pszenica winter wheat	79	90	92	107	92
System paszowo-zbożowy – Fodder – cereal system						
0 NPK	lucerna lucerne	71	92	81	103	87
	pszenica winter wheat	80	97	92	110	95
1 NPK	lucerna lucerne	93	106	101	120	105
	pszenica winter wheat	99	114	107	126	112
2 NPK	lucerna lucerne	109	120	126	131	121
	pszenica winter wheat	112	136	134	145	132
Grunt pogórnicy –Post mining ground						
Kopalnia Węgla Brunatnego „Konin” Brown Coal Mine „Konin”		15				
Kopalnia Węgla Brunatnego „Adamów” Brown Coal Mine „Adamów”		18				

NIR: $p=0,05$ dla systemów użytkowania 2,69 dla kombinacji nawozowej 2,12

LSP: $p=0,05$ for utilization systems 2,69 for fertilization combination 2,12

Wnioski

- 1) W badanych glebach natężenie organicznych związków fosforu, mierzone aktywnością fosfatazy alkalicznej, uzależnione jest od zabiegów rekultywacyjnych obejmujących, płodozmian rekultywacyjny i naprawę chemizmu realizowaną poprzez nawożenie mineralne.
- 2) Skuteczniejszy w oddziaływaniu na skałę macierzystą – grunt pogórnicy jest system paszowo-zbożowy. Gleba objęta tym systemem użytkowania cechuje się korzystniejszymi właściwościami biologicznymi i chemicznymi. Jest to efekt obecności w tym systemie lucerny i jej następczego oddziaływania.
- 3) Aktywność fosfatazy zasadowej może być przydatna nie tylko jako wskaźnik stopnia mineralizacji organicznych połączeń fosforu, ale także do oceny systemów użytkowania gruntów pogórnicych i właściwości gleb rozwijających się procesie rekultywacji tych gruntów.

Literatura

1. BARAN S., FURCZAK J., GOSTKOWSKA K.: *Aktywność enzymatyczna gleby lekkiej użyźnianej odpadami organicznymi*. Zesz. Prob.. Post. Nauk Roln. Z. 437: 69-77, 1996
2. BENDER J.: *Rekultywacja terenów pogórnicych w Polsce*. Zesz. Prob.. Post. Nauk Roln. Z. 418: 75-86, 1995
3. CIEŚLA W., KOPER J.: *Wpływ wieloletniego nawożenia mineralno-organicznego na kształtowanie się poziomu fosforu organicznego i przyswajalnego oraz aktywności enzymatycznej gleby*. Roczn. Glebozn. T. 41, 3/4:73-83, 1990
4. CZUBA R., GORLACH E., KALEMBASA S., LOGINÓW W., MAZUR T. (red.): *Azot w glebach uprawnych*. PWN:239, Warszawa 1991
5. GIBCYŃSKA M., LEWANDOWSKA L.: *Zależność między aktywnością fosfatazy, a zawartością różnych frakcji fosforu w glebach różniących się zawartością próchnicy*. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. Z. 501:127-133, 2004
6. SCHNEIDER K., TURRION M.B. GRIERSON P.F., GALLARDO J.F.: *Phosphatase activity, microbial phosphorus, and fine root growth in forest soils in the Sierra de Gata, western central Spain*. Biol. Fertil. Soils 34:151-155, 2001
7. SPYCHAŁSKI W., MOCEK A., GILEWSKA M.: *Zawartość form fosforu w glebach wytworzonych z gruntów pogórnicych*. Instytut Ochrony Środowiska. Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia Tom III pod redakcją Barbary Gworek.: 120-125, Warszawa 2005

8. TABATABAI M.A., BRENNER J.M.: *Use of p-nitrophenyl phosphate for assai of soil phosphatase activity*. Soil Biol. Biochem. 1: 301-307, 1969

THE ALKALINE PHOSPHATASE ACTIVITY IN SOILS ORIGINATING FROM POST MINING GROUNDS

Key words: alkaline phosphates, post mining grounds, soil, usage system

S u m m a r y

The most dynamic decomposition of phosphorus organic combination measured by the activity of phosphates base takes place in the soil which undergoes fodder-cereal usage system and Lucerne is the basis for cultivation. The phosphates activity varied depending on the level of fertilization from 87-132 mmol PNP.kg⁻¹ soil ha⁻¹. The decomposition of phosphorus components in the soil on which rape and wheat was cultivated alternately was considerably slower. The differences were substantial. The research showed the positive influence of mineral fertilization on phosphates activity. But, however, there was lack of relationship between phosphates activity and the contents of assimilate forms of phosphorus ($r=0,21$). Alkaline reaction and large amount of carbohydrate modify the phosphorus economy. Phosphorus undergoes gradation processes in such soils.