

WPŁYW ZALESIENIA GLEB POROLNYCH SOSNĄ ZWYCZAJNĄ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) NA ICH AKTYWNOŚĆ ENZYMATYCZNĄ

Halina Smal, Marta Olszewska, Sławomir Ligęza, Danuta Urban

Instytut Gleboznawstwa, Inżynierii i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin
e-mail: halina.smal@up.lublin.pl

Streszczenie. Celem badań było określenie wpływu zalesienia gleb lekkich porolnych sosną na aktywność enzymatyczną gleby. Badania przeprowadzono na terenie Wysoczyzny Lubartowskiej (SE Polska). Wyznaczono dziesięć par stanowisk gleb zalesionych (5 z drzewostanami 14-17-letnimi oraz 5 z drzewostanami 32-36-letnimi) i sąsiadujących z nimi pól uprawnych, a także pięć stanowisk lasów naturalnych z drzewostanami ok. 130-150-letnimi. Próbkę gleby pobierano z poziomu próchnicznego A i wzbogacenia Bv, z całej ich miąższości, przy czym z poziomu A gleb zalesionych z trzech kolejnych warstw: 0-5 (AI), 5-10 (AII) i 10-20 cm (AIII). Oznaczono aktywność dehydrogenaz, fosfataz, ureazy oraz proteazy. Stwierdzono, że drzewostany sosnowe po trzydziestu kilku latach wzrostu wywołały zmniejszenie aktywności ureazy i fosfataz oraz zwiększenie aktywności dehydrogenaz. W glebach pod drzewostanami ponad trzydziestoletnimi aktywność ureazy wykazała poziom bardziej zbliżony dla gleb naturalnych borów świeżych niż gleb uprawnych, a aktywność dehydrogenaz odwrotnie – bardziej podobny do gleb uprawnych niż leśnych. W przypadku fosfataz i proteazy nie stwierdzono wyraźnej prawidłowości. Wyniki wskazują, że aktywność enzymatyczna gleby może być przydatnym wskaźnikiem do oceny zmiany właściwości gleb porolnych po ich zalesieniu.

Słowa kluczowe: zalesienia, gleby porolne, aktywność enzymatyczna

WSTĘP

W ostatnich dekadach w Europie i na świecie wyłączenie gruntów z produkcji rolnej i ich zalesianie jest jednym z głównych kierunków zmian użytkowania ziemi (Vesterdal i in. 2002, Uri i in. 2007, Olszewska i Smal 2008, Berber i in. 2014). W związku z szeroką skalą zjawiska, problemy związane ze zmianami sposobu użytkowania gleb i ich skutkami przyrodniczymi są przedmiotem zainteresowania wielu badaczy. Literatura z tego zakresu jest obszerna i ogólnie wykazuje, że zalesienie gleb porolnych zmienia jej właściwości fizyczne (wodne, gęstość i porowatość), fizykochemiczne (pH, właściwości sorpcyjne), chemiczne

(zawartość węgla organicznego, azotu, fosforu), a także biologiczne, w tym aktywność enzymatyczną gleby (Brożek 1993, Paul i in. 2002, Wall i Hytönen 2005, Smal i Olszewska 2008, Berber i in. 2014). Wśród wymienionych właściwości dane dotyczące tych ostatnich są stosunkowo mało liczne i zróżnicowane.

Aktywność enzymatyczna odzwierciedla przemiany środowiska glebowego wywołane różnymi procesami. Jest bowiem jednym z bardziej czułych wskaźników funkcjonowania ekosystemów. Zależy m.in. od zawartości mineralnych i organicznych koloidów, odczynu, temperatury, właściwości wodno-powietrznych gleb, zawartości pierwiastków biogennych, liczebności i stanu gatunkowego mikroorganizmów (Kobus 1995).

Badania wykazują, że zalesienie gleb porolnych przekształca je w gleby typowo leśne. Jednak nie wiadomo dokładnie, czy zmiany właściwości, w tym aktywności enzymatycznej gleb, przebiegają w tym samym kierunku i przez cały czas w jednakowym tempie oraz, jak długo trwa wytworzenie się warunków charakterystycznych dla ustabilizowanego ekosystemu leśnego.

Celem pracy było określenie wpływu zalesienia gleb lekkich porolnych sosną na aktywność enzymatyczną gleby, na podstawie badań porównawczych tych gleb z sąsiadującymi z nimi glebami nadal uprawianymi i naturalnych siedlisk borowych, a także analiza wpływu wieku drzewostanu na badane właściwości.

TEREN I METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono na obszarze województwa lubelskiego, w rejonie między 51°30' i 51°37' szerokości geograficznej północnej (N) i od 22°20' do 22°35' długości geograficznej wschodniej (E).

Wybór stanowisk badawczych umożliwił wykazanie wpływu zalesień gruntów porolnych na właściwości gleby. Wyznaczono pięć par stanowisk gleb zalesionych pod drzewostanami 14-17-letnimi (kilkunastoletnimi, klasa Ib) i pięć par pod drzewostanami 32-36-letnimi (trzydziestokilkuletnimi, klasa IIb) oraz przylegającymi do nich glebami uprawnymi. Do badań włączono również pięć stanowisk w lasach naturalnych (obecny wiek drzewostanu 130-150 lat), znajdujących się w odległości od około stu do kilkuset metrów od pozostałych miejsc poboru próbek.

Cechy obiektów badawczych oraz niewielka odległość (od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów) między profilami w lasach i na polach, podobny skład granulometryczny i morfologia gleb, pozwoliły założyć, że przed zalesieniem ich właściwości były podobne. Stąd odkrywka na polu uprawnym pełniła rolę „odkrywki kontrolnej”, a różnice między glebami można było przypisywać oddziaływaniu drzewostanów. Stanowiska w lasach naturalnych stanowiły także punkt odniesienia i mogły wskazywać kierunek zmian właściwości gleb porolnych po zasadzeniu drzew.

Zgodnie z Systematyką Gleb Polski (PTG 2011) wszystkie gleby zaliczono do typu gleby rdzawe, podtypu gleby rdzawe typowe. Próbkę gleby pobierano z poziomu próchnicznego A i wzbogacenia Bv, z całej ich miąższości, przy czym z poziomu próchnicznego gleb zalesionych z trzech kolejnych warstw: 0-5 (A_I), 5-10 (A_{II}) i 10-20 cm (A_{III}). Pozwoliło to na zaobserwowanie zmian właściwości gleb po zalesieniu, zachodzących od poziomu najbardziej powierzchniowego. Natomiast w przypadku pól uprawnych pobierano próbki z całej miąższości poziomu próchnicznego, zakładając, że właściwości gleby w poziomie Ap są wyrównane wskutek corocznej orki.

Próbki zostały przygotowane do analiz zgodnie z zasadami określonymi w normie ISO 11464 (Drzymała i Mocek 2001).

Po przywiezieniu do laboratorium każdą próbkę dokładnie wymieszano. Następnie odpowiednie porcje gleby przeznaczone do oznaczenia aktywności enzymatycznej przesiewano w stanie naturalnej wilgotności i niezwłocznie poddawano analizom.

Szczegółowy opis terenu badań oraz wyniki dotyczące właściwości fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych zamieszczono w pracach: Olszewska i Smal (2008) oraz Smal i Olszewska (2008).

Badano aktywność dehydrogenaz, proteazy, ureazy oraz fosfataz. Oznaczono je następującymi metodami:

- dehydrogenaz (ADh) – metodą Thalmanna (1968), z użyciem 1% roztworu TTC (chlorek trójfenylotetrazolu) jako substratu (96 godzin inkubacji w temperaturze 30°C). Wyniki wyrażono w µg TFF na 1 kg gleby w ciągu 1 godziny,
- ureazy (AU) – metodą Zantua i Bremnera (1975), z użyciem 2,5% roztworu mocznika jako substratu (18 godzin inkubacji w temperaturze 37°C). Wyniki podano w mg N-NH₄ na 1 kg gleby w ciągu 1 godziny,
- proteazy (AP) – metodą Ladda i Butlera (1972), z użyciem 1% roztworu kazeinianu sodu jako substratu (1-godzinna inkubacja w temperaturze 50°C). Aktywność enzymu wyrażono w mg tyrozyny na 1 kg gleby w ciągu 1 godziny,
- fosfatazy obojętnej (AF) – metodą Tabatabai i Bremnera (1969), z użyciem 0,8% roztworu p-nitrofenylofosforanu sodu jako substratu (1-godzinna inkubacja w temperaturze 37°C). Aktywność enzymów wyrażono w mg p-nitrofenolu na 1 kg gleby w ciągu 1 godziny.

Analizy przeprowadzono w trzech powtórzeniach, w glebie o naturalnej wilgotności, a wyniki przeliczano na absolutnie suchą masę gleby, oznaczając każdorazowo wilgotność badanej gleby.

WYNIKI

Aktywność enzymatyczna w analizowanych glebach była zróżnicowana w zależności od poziomu genetycznego i sposobu użytkowania (tab. 1-3).

Tabela 1. Aktywność enzymatyczna gleb stanowisk lasów 14-17-letnich
Table 1. Enzymatic activity of soils in the 14- to 17-year old stand sites

Użytkowanie Use	Poziom/ liczebność Horizon/ number	Statystyki opisowe Descriptive statistics	Dehydrogenazy	Fosfatazy	Ureaza	Proteaza
			Dehydrogenases	Phosphatases	Urease	Protease
			$\mu\text{g TFF}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{mg PNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{mg N-NH}_4^+\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{mg tyrozyny}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
Pole Field	Ap n=5	Zakres / Range	3,67-6,13	69,37-113,82	10,12-16,44	9,77-12,18
		\bar{x}	5,25	91,23	12,44	11,20
		CV% ^a	20,3	19,6	20,9	10,3
	Bv n=5	Zakres / Range	0,83-1,50	11,78-17,85	0,43-0,69	3,38-7,69
		\bar{x}	1,08	14,03	0,58	6,45
		CV%	23,1	16,4	17,2	27,8
Las Forest	A _I n=5	Zakres / Range	5,33-7,96	44,90-63,99	11,10-12,82	12,13-16,78
		\bar{x}	6,92	57,55	11,85	14,24
		CV%	18,1	13,0	5,5	12,5
	A _{II} n=5	Zakres / Range	2,33-3,96	30,56-38,39	3,14-3,73	7,63-12,31
		\bar{x}	3,21	34,99	3,39	11,08
		CV%	20,8	8,7	7,7	17,5
A _{III} n=5	Zakres / Range	1,96-2,71	28,90-33,18	1,31-2,30	7,01-11,90	
	\bar{x}	2,38	30,99	1,83	10,77	
	CV%	12,3	5,5	21,9	19,6	
A _{sr} :A _{avg} n=15	Zakres / Range		1,96-7,96	28,90-63,99	1,31-12,82	7,01-16,78
		\bar{x}	4,17	41,17	5,69	12,03
		CV%	52,0	31,3	80,5	20,2
	Bv n=5	Zakres / Range	0,96-1,58	10,66-15,77	0,30-0,58	3,99-8,71
		\bar{x}	1,25	13,29	0,46	6,14
		CV%	20,0	14,9	21,7	31,4
Zmiany (stosunek wartości średnich) Changes (ratio of the mean values)						
A _I :Ap			1,30	0,63	0,95	1,27
A _{II} :Ap			0,60	0,38	0,27	0,99
A _{III} :Ap			0,45	0,34	0,15	0,96
A _{sr} :Ap			0,78	0,45	0,46	1,07

^aCV – współczynnik zmienności / coefficient of variation

W glebach wszystkich stanowisk badawczych zaobserwowano stopniowy spadek aktywności dehydrogenaz, fosfataz, ureazy i proteazy wraz z głębokością profilu.

Średnia aktywność dehydrogenaz w poziomach próchnicznych gleb ornyczych wynosiła 5,25 i 5,63 $\mu\text{g TFF}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ przy CV% równym 20,3 i 23,0% (odpowiednio dla gleb stanowisk lasów Ib i Iib klasy wieku) (tab. 1, 2). Były to wartości prawie dwukrotnie niższe w porównaniu z przeciętną aktywnością tych enzymów w glebie poziomu Ah lasów naturalnych (tab. 1-3). Odwrotną prawidłowość zaobserwowano w przypadku fosfatazy i ureazy. Gleby uprawne w poziomie Ap charakteryzowały się większą średnią (o 74%) aktywnością ureazy i fosfatazy o 14%, w porównaniu do poziomu Ah gleb starodrzewów (tab. 1-3).

Tabela 2. Aktywność enzymatyczna gleb stanowisk lasów 32-36-letnich
Table 2. Enzymatic activity of soil in the 32- to 36-year-old stand sites

Użytkowanie Use	Poziom/ liczebność Horizon/ number	Statystyki opisowe Descriptive statistics	Dehydrogenazy	Fosfatazy	Ureaza	Proteaza
			Dehydrogenases	Phosphatases	Urease	Protease
			$\mu\text{g TFF}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{mg PNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{mg N-NH}_4^+\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{mg tyrozyny}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
Pole Field	Ap n=5	Zakres/range	4,38-7,71	87,22-102,84	12,34-14,54	11,32-12,58
		\bar{x}	5,63	92,87	13,57	11,90
		CV% ^a	23,0	7,0	7,1	5,3
	Bv n=5	Zakres/range	0,96-1,58	10,87-21,48	0,49-0,68	6,10-9,57
		\bar{x}	1,21	16,95	0,55	8,36
		CV%	24,1	23,7	14,5	17,3
Las Forest	A _I n=5	Zakres/range	8,00-11,54	69,04-99,35	3,92-5,68	12,92-15,84
		\bar{x}	9,46	89,55	4,94	14,52
		CV%	15,0	13,6	14,2	7,2
	A _{II} n=5	Zakres/range	4,71-6,71	32,47-44,40	2,78-3,12	11,83-14,79
		\bar{x}	5,67	38,06	2,98	13,12
		CV%	16,9	11,4	4,7	11,0
	A _{III} n=5	Zakres/range	2,38-5,04	31,77-37,99	1,15-1,92	11,76-14,50
		\bar{x}	4,04	33,44	1,67	12,50
		CV%	29,9	7,8	18,0	9,0
	A _{sr} /A _{avg} n=15	Zakres/range	2,38-5,04	31,77-99,35	1,15-5,68	11,76-15,84
		\bar{x}	4,04	53,68	3,20	13,38
		CV%	40,9	50,8	45,3	10,7
Bv n=5	Zakres/range	1,08-2,04	14,46-19,87	0,34-0,66	8,14-10,40	
	\bar{x}	1,42	16,48	0,49	9,40	
	CV%	26,5	13,2	22,4	9,4	
Zmiany (stosunek wartości średnich)						
Changes (ratio of the mean values)						
A _I :Ap			1,68	0,96	0,36	1,22
A _{II} :Ap			1,01	0,41	0,22	1,10
A _{III} :Ap			0,72	0,36	0,12	1,05
A _{sr} :Ap			1,14	0,58	0,24	1,12

^aCV – współczynnik zmienności / coefficient of variation

Jedynie w przypadku proteazy, sposób użytkowania gruntu nie miał wpływu na jej aktywność. Przeciętna aktywność tego enzymu w poziomie próchnicznym gleb ornym i lasów naturalnych była zbliżona i wynosiła odpowiednio 11,55 i 10,68 mg tyrozyny $\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (tab. 1-3).

Aktywność enzymatyczna w poziomach próchnicznych gleb porolnych zalesionych różniła się od jej wartości w analogicznych poziomach gleb nadal uprawnych.

Średnia aktywność dehydrogenaz w warstwie A_I poziomu A gleb lasów kilkunastoletnich była o 30% wyższa, a w pozostałych warstwach tego poziomu w przybliżeniu o połowę niższa niż w Ap sąsiednich gleb uprawnych. W rezultacie średnia aktywność tych enzymów w całym poziomie próchnicznym była o 22% niższa niż w poziomie orno-próchnicznym odnośnych gleb (tab. 1), zaś w glebach drzewostanów trzydziesto-kilkuletnich średnia aktywność dehydrogenaz w górnej warstwie (A_I) była wyższa aż o ok. 70%, w A_{II} zbliżona, w A_{III} mniejsza, natomiast średnio w całym poziomie akumulacji próchnicy nieco większa w porównaniu z warstwą orną odnośnych gleb (tab. 2).

Tabela 3. Aktywność enzymatyczna gleb stanowisk lasów naturalnych
Table 3. Enzymatic activity of soils in natural forest stand sites

Poziom/ liczebność Horizon/ number	Statystyki opisowe Descriptive statistics	Dehydrogenazy	Fosfatazy	Ureaza	Proteaza
		Dehydrogenases $\mu\text{g TFF}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	Phosphatases $\text{mg PNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	Urease $\text{mg N-NH}_4^+\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	Protease $\text{mg tyrozyny}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
Ah n=4	Zakres/range	8,0-12,54	59,16-96,62	2,14-4,18	8,83-12,68
	\bar{x}	9,96	79,59	3,36	10,68
	CV% ^a	19,2	19,4	27,1	14,7
AhBv n=5	Zakres/range	2,96-7,79	15,00-28,79	0,57-1,23	5,12-10,41
	\bar{x}	4,75	24,48	0,94	8,11
	CV%	39,5	22,3	26,6	24,8
Bv n=5	Zakres/range	1,25-2,08	7,72-18,43	0,38-0,61	3,43-8,49
	\bar{x}	1,54	12,52	0,47	5,70
	CV%	21,6	32,2	21,3	32,6
Zmiany (stosunek wartości średnich)					
Changes (ratio of the mean values)					
Ah:Ap _(n=10)		1,82	0,86	0,26	0,92
Ah:A _{I L14-17}		1,44	1,38	0,28	0,75
Ah:A _{II L14-17}		3,10	2,27	0,99	0,96
Ah:A _{III L14-17}		4,19	2,57	1,84	0,99
Ah:A _{sr L14-17}		2,39	1,93	0,59	0,89
Ah:A _{I L32-36}		1,05	0,89	0,68	0,74
Ah:A _{II L32-36}		1,76	2,09	1,13	0,81
Ah:A _{III L32-36}		2,46	2,38	2,01	0,85
Ah:A _{sr L32-36}		1,55	1,48	1,05	0,80

^aCV – współczynnik zmienności / coefficient of variation

Aktywność fosfataz we wszystkich warstwach i przeciętnie w całej miąższości poziomu próchnicznego gleb pod lasami Ib klasy wieku była znacznie niższa niż w analogicznym poziomie gleb ornych (tab. 1, 2). W glebach lasów trzydziestokilkuletnich natomiast aktywność tych enzymów w warstwie A_I poziomu A była podobna, podczas gdy w pozostałych warstwach i średnio w całym poziomie niższa w odniesieniu do poziomu orno-próchnicznego gleb uprawnych (tab. 2).

Aktywność ureazy w warstwie 0-5 cm (A_I) poziomu akumulacji próchnicy gleb pod drzewostanami najmłodszymi była zbliżona, a w pozostałych kilkakrotnie niższa niż w poziomie Ap gleb ornych (tab. 1). Gleby lasów Ib klasy wieku charakteryzowały się natomiast niższą aktywnością ureazy we wszystkich warstwach poziomu A, w porównaniu do Ap gleb użytkowanych rolniczo (tab. 2).

Aktywność proteazy w glebach lasów kilkunastoletnich w warstwie A_I poziomu próchnicznego była prawie o 30% większa, a w pozostałych warstwach i średnio w całym poziomie podobna w odniesieniu do poziomu orno-próchnicznego pobliskich gleb uprawnych (tab. 1). Natomiast w glebach lasów trzydziestokilkuletnich aktywność tego enzymu we wszystkich warstwach i średnio w całym poziomie akumulacji próchnicy była trochę wyższa niż w Ap gleb ornych (tab. 2).

Porównanie gleb leśnych wykazało, że aktywność dehydrogenaz średnio we wszystkich warstwach i w całej miąższości poziomu próchnicznego zwiększała się w kolejności: gleby lasów kilkunastoletnich < trzydziestokilkuletnich < naturalnych

(tab. 1-3). Brak znaczących różnic dla poziomu A_I w obydwu grupach gleb zalesionych i średnio w poziomie A gleb lasów trzydziestokilkuletnich wskazuje, że aktywność dehydrogenaz w tych glebach była zbliżona do ich aktywności w glebach lasów naturalnych.

Jeśli chodzi o fosfatazy, zaobserwowano takie same prawidłowości polegające na zwiększaniu się aktywności enzymatycznej wraz z wiekiem drzewostanu. Stwierdzono różnice między aktywnością fosfataz w warstwach A_{II} i A_{III} gleb porolnych pod lasami obydwu kategorii wiekowych oraz w całym poziomie próchnicznym ($A_{sr.}$) gleb lasów młodszych a jej wartością w poziomie Ah gleb starodrzewów.

Największą aktywnością ureazy spośród gleb leśnych średnio w całej miąższości poziomu A wyróżniały się gleby pod drzewostanami kilkunastoletnimi. Ponadto gleby tych lasów w pierwszej warstwie poziomu próchnicznego (A_I) wykazywały wyższą aktywność ureazy niż w analogicznym poziomie gleb pod naturalnymi borami sosnowymi (tab. 1, 3). W poziomie akumulacji próchnicy gleb lasów trzydziestokilkuletnich i starodrzewów natomiast stwierdzono podobną aktywność tego enzymu (tab. 2, 3).

Porównanie aktywności proteazy w glebach pod lasami wykazało, że średnio we wszystkich warstwach i w całym poziomie próchnicznym zwiększała się ona w kolejności: gleby lasów naturalnych < kilkunastoletnich < trzydziestokilkuletnich (tab. 1-3). Warto zwrócić uwagę, że różnice między średnimi były niezbyt duże.

Poziomy Bv analizowanych par gleb charakteryzowały się podobną aktywnością enzymatyczną (tab. 1-3).

DYSKUSJA

Wyniki aktywności enzymatycznej dla badanych gleb rdzawych uprawnych i lasów naturalnych były porównywalne lub nieco niższe od danych uzyskanych przez innych autorów dla gleb mineralnych (Bielińska 2001, Furczak i in. 2001, Bielińska i Węgorek 2005). Natomiast w glebach porolnych zalesionych wartości aktywności dehydrogenaz, ureazy i proteazy były wyższe a fosfataz niższe w porównaniu z wartościami otrzymanymi przez Bielińską i in. (2004) dla industrioziemów wytworzonych z piasków luźnych zalesionych robinia akacjową.

Stwierdzony wpływ użytkowania gruntów na aktywność enzymatyczną gleby zależał od rodzaju enzymu. Wynika to zarówno z indywidualnych właściwości enzymów, jak i z zawartości w glebie specyficznych substratów dla reakcji enzymatycznych (Nannipieri 1994, Januszek 1999, Vronova i in. 2013).

Wykazano wyższe wartości aktywności enzymatycznej w poziomach/warstwach wierzchnich niż głębszych, co jest znaną prawidłowością i jest zbieżne z danymi zarejestrowanymi przez wielu autorów (Bielińska i Węgorek 2010, Antisari i in. 2011, Vronova i in. 2013). Związane to było z większą zawartością

węgla organicznego w poziomach A w porównaniu z poziomami Bv tych gleb, stwierdzoną przez Smal i Olszewską (2008). Kobus (1995) zwraca uwagę, że aktywność enzymatyczna gleb jest ściśle związana przede wszystkim z zawartością materii organicznej. Wielu autorów (Dick 1992, Januszek 1999, Bielińska 2001, Zhan i Sun 2014) wykazało dodatnią korelację między aktywnością enzymów a zawartością węgla w glebie.

Badane gleby porolne zarówno pod drzewostanami kilkunastoletnimi, jak i trzydziestokilkuletnimi, charakteryzowały się niższą aktywnością ureazy i fosfataz we wszystkich warstwach poziomu próchnicznego i średnio w całym poziomie A niż sąsiadujące z nimi gleby nadal uprawiane. Prawidłowości te są zgodne z wynikami uzyskanymi przez Januszka (1999) w badaniach gleb brunatnych zalesionych olszą szarą w Bieszczadach oraz sosną zwyczajną w Beskidzie Sądeckim. Autor zaobserwował wyraźnie niższą aktywność fosfataz w poziomie akumulacji próchnicy gleb porolnych pod około czterdziestoletnimi drzewostanami sosnowymi i olszynami niż w analogicznych poziomach gleb sąsiadujących z nimi odpowiednio użytków zielonych i ugorów. Należy jednak zwrócić uwagę, że obiektem kontrolnym w badaniach Januszka (1999) były gleby użytków zielonych, które charakteryzują się innymi właściwościami niż gleby orne (stanowiące punkt odniesienia w niniejszych badaniach). W związku z tym wyników badań własnych nie można bezpośrednio odnosić do danych tego autora.

Otrzymane zależności aktywności ureazy i fosfataz różnią się od wyników, jakie uzyskali Bielińska i Węgorok (2005), w badaniach gleb płowych Wyżyny Lubelskiej. Wykazali oni statystycznie istotnie wyższą ich aktywność w poziomie próchnicznym dawnych gleb uprawnych zadrzewionych brzozą brodawkowatą i różą pomarszczoną niż w odpowiadającym im poziomie pobliskich gleb ornych. Autorzy jednocześnie stwierdzili, że wyższej aktywności enzymatycznej w glebach zadrzewionych towarzyszyła istotnie większa zawartość węgla organicznego w tych glebach niż w glebach uprawnych. Podobnie nieznaczny wzrost aktywności fosfatazy i ureazy w glebach zalesionych sosną czarną, w porównaniu z kontrolną glebą odłogowaną, wykazali również Berber i in. (2014).

Zaobserwowane prawidłowości niższej aktywności ureazy i fosfataz w badanych glebach zalesionych niż w ornych można wytłumaczyć większym zakwaszeniem gleb pod lasami (Frankenberger i Johanson 1982, Szajdak i Życzyńska-Bałoniak 2002). Wzrost stężenia jonów wodorowych w glebie jest istotnym czynnikiem osłabiającym aktywność enzymów glebowych (Frankenberger i Johanson 1982, Zhan i Sun 2014). Poza tym, większą aktywność ureazy i fosfataz w glebach ornych niż zalesionych można przypisać nawożeniu tych gleb. Według Kucharskiego (1997) nawożenie, zwłaszcza organiczne, stymuluje rozwój roślin i drobnoustrojów glebowych, a tym samym wpływa na aktywność enzymów glebowych.

Niższe aktywności ureazy i fosfataz w glebach porolnych zalesionych mogły również wynikać z mniejszej zawartości węgla organicznego, średnio w całym poziomie próchnicznym tych gleb niż w analogicznym poziomie gleb uprawnych (Smal i Olszewska 2008). Zastanawiające jest jednak, że w warstwie 0-5 cm poziomu próchnicznego gleb pod lasami kilkunastoletnimi i trzydziestokilkuletnimi, mimo wyższej zawartości materii organicznej, aktywność ureazy i fosfataz była niższa niż w Ap gleb ornych. Przyczyną tego mógł być niedobór form Corg. podatnych na rozkład mikrobiologiczny. Chazijew (1982) i Dick (1992) podają, że głównym czynnikiem ograniczającym aktywność drobnoustrojów glebowych jest zawartość dostępnej dla nich materii organicznej. Podstawowym, naturalnym substratem dla mikroorganizmów gleb użytkowanych rolniczo jest celuloza dostarczana przez rośliny zielone. Rozkład tego polisacharydu odbywa się głównie przy udziale grzybów i bakterii. Po zalesieniu dawnego pola uprawnego zmienia się jakość docierającej do gleby substancji organicznej. Następuje dopływ resztek, roślinności leśnej, w których występuje duży udział ligniny. Rozkład tego polifenolu zachodzi nie przy udziale bakterii, ale głównie grzybów (Rykowski 1990).

Niższą aktywność ureazy i fosfataz stwierdzoną w analizowanych glebach zalesionych można również wytłumaczyć mniejszą zawartością azotu ogólnego (Smal i Olszewska 2008) w tych glebach w porównaniu do gleb uprawnych. Azot, obok węgla, jest podstawowym składnikiem wpływającym na aktywność enzymatyczną gleby (Dick 1992). Mniejszą aktywność fosfataz w poziomie próchnicznym badanych gleb porolnych zalesionych można także wiązać z niższą zawartością fosforu przyswajalnego w tym poziomie (Smal i Olszewska 2008) w porównaniu z analogicznym poziomem gleb użytkowanych rolniczo. W literaturze przedmiotu znajdują się dane wskazujące na ścisłą dodatnią zależność między tymi cechami (Januszek 1999, Bielińska 2001).

Przeprowadzone badania wykazały niższą aktywność dehydrogenaz, średnio w całym poziomie próchnicznym, gleb lasów najmłodszych, natomiast wyższą w glebach lasów trzydziestokilkuletnich niż w warstwie ornej porównywanych z nimi gleb uprawnych. Ponadto zauważono, że w warstwie A₁ poziomu A gleb zalesionych obydwu klas wieku aktywność tego enzymu była wyższa niż w analogicznym poziomie gleb ornych. Natomiast Januszek (1999) zaobserwował niższą aktywność dehydrogenaz w poziomie próchnicznym gleb brunatnych porolnych pod około czterdziestoletnimi olszynami (wytworzonych na łupkach ilastych i piaskowcach, o przeciętnym składzie granulometrycznym w poziomie próchnicznym odpowiadającym glinie średniej pylastej) niż w analogicznym poziomie sąsiadujących z nimi gleb ugorów, przy czym różnice te były większe niż w badanych glebach rdzawych.

Obserwowane prawidłowości aktywności dehydrogenaz w badanych glebach są wyraźnie powiązane z zawartością węgla organicznego i azotu ogólnego tych gleb (Smal i Olszewska 2008). Aktywność dehydrogenaz, podobnie jak zawartość

C i N, była najwyższa w górnej warstwie poziomu próchnicznego. Oprócz tego zauważono, że aktywność tych enzymów zwiększała się wraz z wiekiem drzewostanów, podobnie jak zawartość węgla. Zakwaszenie gleby nie wpłynęło na aktywność dehydrogenaz, podobnie jak ustalono w badaniach Trawczyńskiej (1998). Autorka nie stwierdziła wyraźnej korelacji aktywności dehydrogenaz i pH gleby, natomiast wykazała, że aktywność tych enzymów zwiększała się wraz z zawartością próchnicy. Ponadto pozytywny wpływ zalesienia na aktywność dehydrogenaz mógł być konsekwencją zwiększenia pojemności sorpcyjnej gleby, co sprzyja aktywacji enzymów (Gostkowska i in. 1998).

Porównanie badanych gleb leśnych wykazało ogólną prawidłowość zwiększania się aktywności dehydrogenaz i fosfataz, średnio we wszystkich warstwach i w całej miąższości poziomu próchnicznego w kolejności: gleby lasów kilkunastoletnich < trzydziestokilkuletnich < naturalnych. Zależności te można powiązać ze zwiększaniem się zawartości węgla organicznego wraz z wiekiem drzewostanu (Smal i Olszewska 2008).

Największą aktywnością ureazy spośród badanych gleb leśnych, przeciętnie w całej miąższości poziomu A, wyróżniały się gleby pod drzewostanami kilkunastoletnimi. W poziomie akumulacji próchnicy gleb lasów trzydziestokilkuletnich i starodrzewów natomiast stwierdzono podobną aktywność tego enzymu. Najprawdopodobniej przyczyniło się do tego większe zakwaszenie gleb starszych lasów.

Wyniki badań opublikowane wcześniej (Olszewska i Smal 2008, Smal i Olszewska 2008) wykazały, że wprowadzenie roślinności leśnej na gleby uprawne spowodowało zatarcie niektórych cech i właściwości wynikających ze stosowania zabiegów agrotechnicznych (orki, nawożenia, wapnowania). Po upływie trzydziestu kilku lat od zalesienia gleby porolne pod względem wielu cech stały się podobne do naturalnych gleb leśnych, a pod względem wielu były bardziej podobne do gleb uprawnych niż do gleb pod lasami naturalnych borów świeżych. Podobnie w niniejszych badaniach stwierdzono, że w glebach pod drzewostanami trzydziestokilkuletnimi aktywności ureazy różniły się znacznie od ich wartości w glebach uprawnych i osiągnęły poziom bardziej zbliżony dla gleb naturalnych borów świeżych. Z kolei pod względem aktywności dehydrogenaz badane gleby porolne zalesione były bardziej podobne do gleb uprawnych niż do gleb pod lasami naturalnymi. Wskazuje to, że pełne dojście tych gleb do stanu równowagi z otaczającą biocenozą wymaga znacznie dłuższego czasu od rozpatrywanego w przeprowadzonych badaniach.

WNIOSKI

1. Na podstawie porównania wyników aktywności enzymatycznej gleby w poziomie próchnicznym (poszczególnych warstw i średnio w całym poziomie) zalesionych gleb porolnych z wynikami dla odpowiedniego poziomu gleb

uprawnych można wnioskować, że drzewostany sosnowe po trzydziestu kilku latach wzrostu wywołały zmniejszenie aktywności ureazy i fosfataz oraz zwiększenie aktywności dehydrogenaz.

2. W glebach porolnych pod drzewostanami ponad trzydziestoletnimi aktywność ureazy osiągnęła poziom bardziej zbliżony dla gleb naturalnych borów świeżych w porównaniu z glebami uprawnymi. Natomiast pod względem aktywności dehydrogenaz badane gleby porolne zalesione były bardziej podobne do gleb uprawnych niż gleb pod lasami naturalnymi.

3. Wyniki wskazują, że aktywność enzymatyczna gleby może być przydatnym wskaźnikiem do oceny zmiany właściwości gleb porolnych po ich zalesieniu oraz, że pełne dojście gleb zalesionych do stanu równowagi z otaczającą biocenozą wymaga znacznie dłuższego czasu od rozpatrywanego w przeprowadzonych badaniach.

PIŚMIENNICTWO

- Antisari L.V., Marinari S., Dell'Abate M.T., Baffi C., Vianello G., 2011. Plant cover and epipedon SOM stability as factors affecting brown soil profile development and microbial activity. *Geoderma*, 161, 212-224.
- Berber A.S.K., Farasat S., Namli A., 2014. Afforestation effects on soil biochemical properties. *Eurasian J. Forest Sci.*, 1(1), 25-34.
- Bielińska E.J., Węgorok T., 2010. Activity of soil enzymes in rhizosphere of Scots pine as a marker of the quality of wooded, formerly arable, soils. *Civ. Environ. Eng. Rep.*, 4, 3-12.
- Bielińska E.J., 2001. Aktywność enzymatyczna gleby w sadzie wiśniowym w zależności od metody jej pielęgnacji. *Rozpr. Nauk., Wyd. AR w Lublinie*, 146 s.
- Bielińska E.J., Węgorok T., Ligęza S., Futa B., 2004. Aktywność enzymatyczna piaskowych industrioziemów zalesionych robinią akacjową (*Robinia pseudoacacia* L.) zależnie od wystawy stoku zwałowiska. *Rocz. Glebozn.*, 55(2), 69-75.
- Bielińska J.E., Węgorok T., 2005. Ocena oddziaływania zadrzewienia śródpolnego na aktywność enzymatyczną gleby płowej. *Acta Agroph.*, 5(1), 17-24.
- Brożek S., 1993. Przekształcanie górskich gleb porolnych przez olszę szarą (*Alnus incana* (L.) Moench). *Zesz. Nauk. AR im. H. Kołłątaja w Krakowie, Rozprawa habilitacyjna Nr 184*, 51 s.
- Chazijew F.X. 1982. Systemno-ekologiczeskij analiz fermentatiwnoj aktiwnosti poczw. *Wyd. Nauka, Moskwa*.
- Dick R.P., 1992. A review: long-term effect of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 40(1-4), 25-36.
- Drzymała S., Mocek A., 2001. Metody z zakresu fizyki i chemii gleb zalecane przez ISO (i PKN). *Acta Agroph.*, 48, 253-264.
- Frankenberger W.T., Johanson J.B., 1982. Effect of pH on enzyme stability in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 14, 433-437.
- Furczak J., Joniec J., Deryło S., 2001. Aktywność enzymatyczna gleby bielcowej pod żytem ozimym uprawianym w zmianowaniu i monokulturze. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 478, 145-154.
- Gostkowska K., Furczak J., Domżał H., Bielińska E.J., 1998. Suitability of some biochemical and microbiological tests for the degradation degree of podzolic soil on the background of it differentiated usage. *Pol. J. Soil Sci.*, 30(2), 69-78.

- Januszek K., 1999. Aktywność enzymatyczna wybranych gleb leśnych Polski południowej w świetle badań polowych i laboratoryjnych. Zesz. Nauk. AR im. H. Kołłątaja w Krakowie, 132 s.
- Kobus J., 1995. Biologiczne procesy a kształtowanie żyzności gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 421a, 209-219.
- Kucharski J., 1997. Relacje między aktywnością a żyznością gleby. W: Drobnoustroje w środowisku. Występowanie, aktywność i znaczenie (Red. W. Barabasz). AR Kraków, 327-347.
- Ladd N., Butler J.H.A., 1972. Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. Soil Biol. Biochem., 4, 19-30.
- Nannipieri P., 1994. The potential use of soil enzyme as indicator of productivity, sustainability and pollution. Soil biota: management in sustainable farming systems. In: CSIRO (Eds. C.E. Pankhurst, B.M. Double, V.V.S.R. Gupta and P.R. Grace). East Melbourne, 1994, pp. 238-244.
- Olszewska M., Smal H., 2008. The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus silvestris* L.) of sandy post arable soils on their selected properties. I. Physical and sorptive properties. Plant Soil, 305, 157-169.
- Paul K.I., Polglase P.J., Nyakuengama J.G., Khanna P.K., 2002. Change in soil carbon following afforestation. Forest Ecol. Manage., 168, 241-257.
- PTG (Polskie Towarzystwo Gleboznawcze), 2011. Systematyka gleb Polski, Wydanie 5. Soil Sci. Ann., 62(3), 1-193.
- Rykowski K., 1990. Problemy ochrony lasu na gruntach porolnych. Sylwan, 3-12, 75-88.
- Smal H., Olszewska M., 2008. The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus silvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. II. Reaction, carbon, nitrogen and phosphorus. Plant Soil 305, 171-187.
- Szajdak L., Życzyńska-Bałoniak I., 2002. Influence of mid-field afforestation on the changes of organic nitrogen compounds in ground water and soil. Pol. J Environ. Stud., 11(1), 91-95.
- Tabatabai M. A., Bremner J. M., 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biol. Biochem., 1, 301-307.
- Thalmann A., 1968. Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenase Aktivität in Boden Mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). Landwirtsch. Forsch., 21, 249-258.
- Trawczyńska A., 1998. Próba oceny wpływu zakwaszenia gleby na jej aktywność biologiczną w aluwkach górnego odcinka doliny Bzury. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 456, 243-249.
- Uri V., Vares A., Tullus H., Kanal A., 2007. Above-ground biomass production and nutrient accumulation in young stands of silver birch on abandoned agricultural land. Biomass Bioenerg., 31, 195-204.
- Wall A., Hytönen J., 2005. Soil fertility of afforested arable land compared to continuously forested sites. Plant Soil, 275, 247-260.
- Vesterdal L., Ritter E., Gundersen P., 2002. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. For. Ecol. Manage., 169, 137-147.
- Vronova V., Rejsek K., Formanek P., 2013. Proteolytic activity in soil: A review. Appl. Soil Ecol., 20, 23-32.
- Zantua M. J., Bremner J.M., 1975. Comparison of methods of assaying urease activity in soils. Soil Biol. Biochem., 7, 291-295.
- Zhan J., Sun Q., 2014. Development of microbial properties and enzyme activities in copper mine wasteland during natural restoration. Catena, 116, 86-94.

THE EFFECT OF AFFORESTATION OF POST-ARABLE SOILS
WITH SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ON THEIR ENZYMATIC ACTIVITY

Halina Smal, Marta Olszewska, Sławomir Ligęza, Danuta Urban

Institute of Soil Science, Engineering and Environment Management
University of Life Sciences in Lublin
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin, Poland
e-mail: halina.smal@up.lublin.pl

Abstract. The study was aimed at the determination of the effect of afforestation of post-arable light textured soils with Scots pine on their enzymatic activity. The study was conducted in the area of the Wysoczyzna Lubartowska region (SE Poland). Ten paired sites of afforested soils (five with 14- to 17-year-old stands and five with 32- to 36-year-old stands) with adjacent cultivated fields, and five sites of natural forest with the presence of tree stands ca. 130-150 years old were selected. Soil samples were taken from the whole thickness of humus (A) and B horizon and, in the case of A horizon of the afforested soils, from three layers of 0-5 (AI), 5-10 (AII) and 10-20 cm (AIII). The activity of dehydrogenases, phosphatases, urease and protease was determined. It was observed that pine stands after more than thirty years of growth caused a decrease in the activity of urease and phosphatases, and an increase in the activity of dehydrogenases. In the soils of 32- to 36-year-old stands the activity of urease was more similar to the natural forest soils than to the arable soils. Conversely, in the case of dehydrogenases it was still more similar to the arable soils. With respect to phosphatases and protease no clear relationship was noted. The results show that enzymatic activity of soil can be used as an indicator of changes in the properties of post-arable soils after their afforestation.

Keywords: afforestation, post-agricultural soils, enzymatic activity