

Grażyna Olszowska<sup>1</sup>

## Aktywność enzymatyczna gleb pożarzysk wielkoobszarowych w zróżnicowanych warunkach siedliskowych i po zastosowaniu różnych sposobów odnowienia lasu

Enzyme activity of soils after large-scale fires under varying habitat conditions using different methods of forest regeneration

**Abstract.** The studies were conducted in plantations and thickets of Scots pine established in fresh coniferous (Bśw), fresh mixed coniferous (BMśw) and wet mixed coniferous (BMw) forest habitats on the burnt area after the 1992 fire in the territory of the Rudy Raciborskie (Raciborskie Forests) and Potrzebowice (Notecka Primeval Forest) Forest Districts.

The measurements of soil enzyme activity were made twice in Potrzebowice and three times in Rudy Raciborskie. Soil samples from a depth of 0-25 cm were collected for biochemical analyses and the activity of urease, asparaginase, acid phosphatase and dehydrogenases was determined. The organic carbon content and soil pH were established.

The restocked areas in the Rudy Raciborskie Forest District showed considerably lower activity of all examined enzymes regardless of the habitat type – urease ca 60%, asparaginase – 70%, acid phosphatase – 80% and dehydrogenases over 70% compared with the control.

In the territory of the Potrzebowice Forest District, soil enzyme activity in all restocked areas was lower in comparison with the control only in the case of dehydrogenases (by 40% in Bśw and 25% in BMśw). Acid phosphatase activity was lower in Bśw (by 44%). Soil asparaginase activity was 2-3 times higher in both Bśw and BMśw habitats, while urease activity in Bśw was similar to the control and markedly higher than in BMśw (by 39%). The rate of soil regeneration after the fire expressed in soil enzyme activity depended on the restocking method. The activity of the examined enzymes was found to be considerably higher in plantations established by planting and higher in BMśw compared with Bśw.

A decrease in enzyme activity of soils in the burnt areas persisting for nearly ten years after the fire indicates that the recovery of microbiocoenosis in the soils degraded by fire has not been completed. It also points to the usefulness of the studies on enzymatic activity as a sensitive indicator of soil response to stress factors.

**Key words:** enzymatic activity, burnt area, regeneration by planting, natural regeneration, forest habitat.

Požary wielkoobszarowe są zjawiskiem prowadzącym do spalenia materiału roślinnego i zniszczenia substancji organicznej nagromadzonej na dnie lasu oraz w górnych poziomach gleby. Powstające w czasie pożaru związki mineralne nie mogą być natychmiast pobrane i są wymywane w głąb profilu glebowego, co powoduje spadek zasobności gleb w składniki pokarmowe (DeBano et Conrad 1978; Mc Lean et al. 1983). Wysoka temperatura, a także ograniczenie dopływu do gleby

substratów odżywczych (z opadem roślinnym i z obumierających korzeni) prowadzą do zniszczenia i redukcji drobnoustrojów glebowych, a tym samym do spadku intensywności mikrobiologicznych procesów rozkładu substancji organicznej, w tym również zmniejszenia aktywności enzymów glebowych (Bååth et al. 1995; Eivazi et Bayan 1996; Frankenburger et Dick 1983; Fritze et al. 1993). Odtworzenie mikrobiocoenozy po pożarze, tj. doprowadzenie do stanu wyjściowego

<sup>1</sup> Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Siedliskoznawstwa, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn.  
Fax +48 22 7150512, e-mail G.Olszowska@ibles.waw.pl

sprzed pożaru, jest procesem trwającym od kilku do kilkunastu lat i zależy w dużej mierze od intensywności pożaru, typu siedliska i sposobu przeprowadzonego odnowienia (Hawryś et al. 1998, Kazakevič et al. 1998; Lynch et al. 1982). Parametry charakteryzujące aktywność biologiczną gleb uważa się za dobry wskaźnik jakości gleb, umożliwiając jednocześnie określenie tempa regeneracji gleb zniszczonych przez pożar (Dick 1992; Dick et al. 1992; Olszowska 2002). Degradacja gleb po pożarze lasu ma zwykle długotrwały wpływ na produktywność ekosystemu (De Bano et al. 1998), przy czym pogorszenie właściwości gleb spowodowane przez pożar jest adekwatne do jego intensywności (Johnston et al. 1998; Lynham et al. 1998).

Celem prowadzonych badań<sup>1</sup> było określenie intensywności przemian biochemicznych na pożarzyskach wielkoobszarowych w zróżnicowanych warunkach siedliskowych i po zastosowaniu różnych sposobów odnowienia lasu.

Do oznaczeń aktywności enzymatycznej gleb wybrano enzymy katalizujące najważniejsze procesy przemiany substancji organicznej, takie jak: przemiany związków azotowych (ureaza, asparaginaza), uwalnianie fosforanów nieorganicznych (fosfataza kwaśna) oraz uczestniczących w procesach oddechowych (dehydrogenazy).

## 2. Obiekt badań

Badania prowadzono na powierzchniach obserwacyjnych w odnowieniach sosny zwyczajnej, na terenie największych pożarzysk z 1992 roku w nadleśnictwach Rudy Raciborskie i Potrzebowice (Puszcza Notecka). Prace badawcze w latach 2000–2002 przeprowadzono w uprawach i młodnikach sosny zwyczajnej w dominujących na terenie nadleśnictw typach siedliskowych lasu, powstałych w wyniku odnowienia różnego typu: z samosiewu, siewu nasion i z sadzenia. W Nadleśnictwie Rudy Raciborskie założono po trzy powierzchnie w wariantach odnowienia sadzeniem i samosiewem w borze mieszanym świeżym (BMśw) i borze wilgotnym (BMw) oraz powierzchnię kontrolną (poza pożarzyskiem) z odnowieniem sadzeniem w BMśw. W Nadleśnictwie Potrzebowice założono po trzy powierzchnie na siedlisku boru świeżego (Bśw) z wariantem odnowienia siewem i sadzeniem oraz trzy powierzchnie w BMśw z wariantem odnowienia z sadzenia i powierzchnię kontrolną (poza pożarzyskiem) z odnowienia sadzeniem w Bśw. W obu nadleśnictwach występują gleby typu rdzawego, pod-

typu biellicowo-rdzawego, wytworzone z piasków luźnych i słabo gliniastych o odczynie silnie kwaśnym (pH w KCl 3,5–4,3).

## 3. Metodyka badań

Pomiary aktywności enzymatycznej gleb przeprowadzono w latach 2000–2002, dwukrotnie w Nadleśnictwie Potrzebowice i trzykrotnie w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. Do analiz pobrano z głębokości 0–25 cm próby glebowe, które wysuszone w temperaturze pokojowej i przesiano przez sito o średnicy oczek 1 mm. W tak przygotowanych próbach glebowych oznaczono aktywność następujących enzymów:

– ureazy i asparaginazy – metodą kolorymetryczną, w mg  $\text{NH}_3$  na 10 g gleby (Galstjan 1978),

– fosfatazy kwaśnej – metodą kolorymetryczną, w mg 4-nitrofenylofosforanu sodu (PNP) na 10 g gleby (Russel 1972),

– dehydrogenaz – metodą kolorymetryczną, w mg trifenyloformazanu (TPF) na 10 g gleby (Galstjan 1978, Russel 1972).

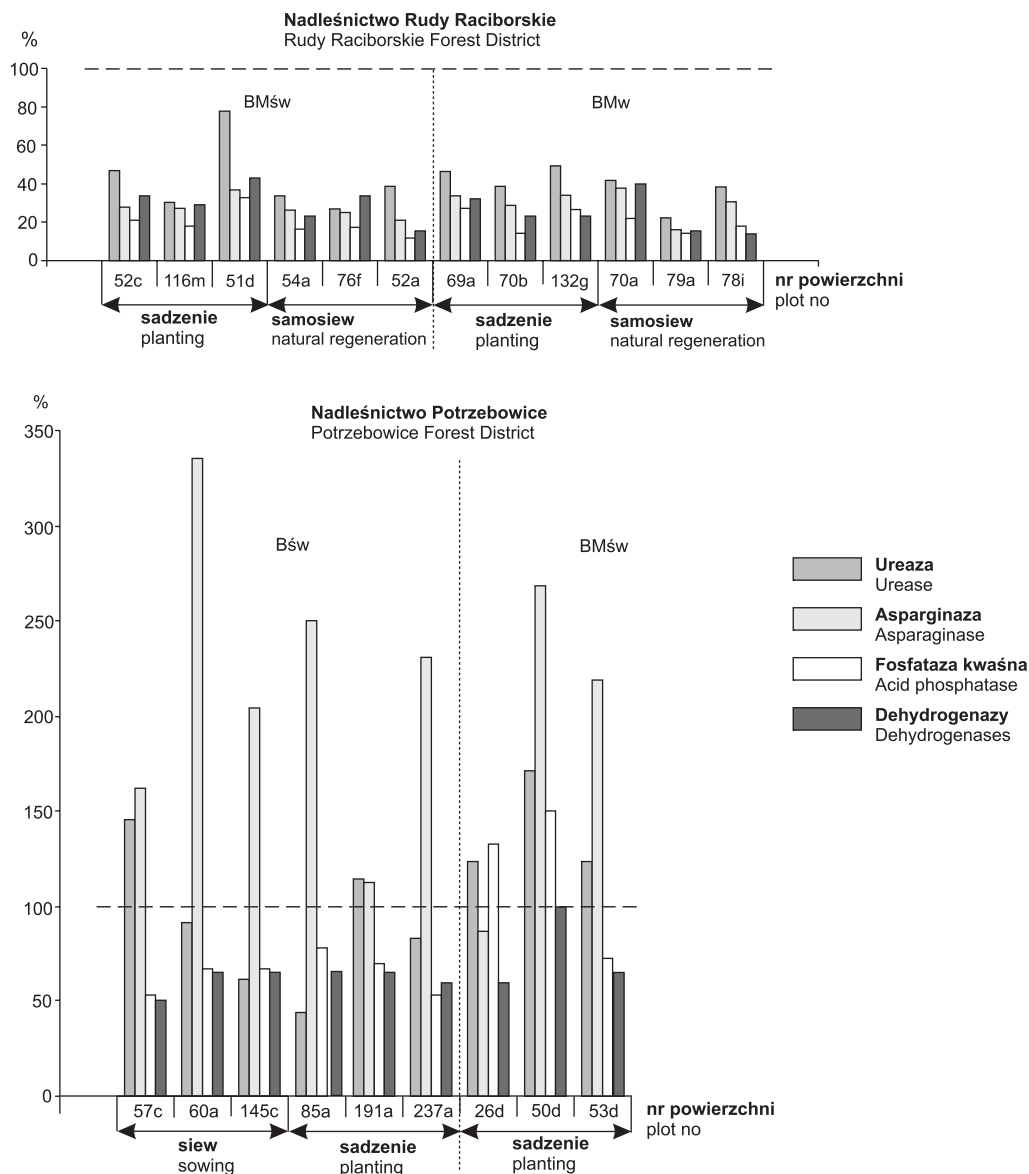
Zawartość węgla organicznego oznaczono na analizatorze węgla i siarki SC132 firmy Leco, a odczyn gleby metodą potencjometryczną w 1-molowym KCl; stosunek gleby do roztworu (w/v) wyniósł 1:2,5 (Ostrowska et al. 1991).

## 4. Wyniki badań

Uprawy na pożarzysku w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, niezależnie od typu siedliska charakteryzowały się zdecydowanie niższą aktywnością wszystkich badanych enzymów w porównaniu z uprawą kontrolną; ureazy o około 60%, asparaginazy – 70%, fosfatazy kwaśnej – 80% i dehydrogenaz o ponad 70% (ryc. 1). Przeprowadzone badania wykazały ponadto wyraźny wpływ sposobu odnowienia na aktywność enzymatyczną. Zdecydowanie wyższą aktywność notowano po odnowieniu sadzeniem niż samosiewem, zwłaszcza na siedlisku BMśw, gdzie aktywność ureazy była wyższa o 56%, asparaginazy o 27%, fosfatazy kwaśnej o 57% a dehydrogenaz o 44%. Na siedlisku BMw aktywność powyższych enzymów po odnowieniu sadzeniem była wyższa odpowiednio: o 31% (ureaza), 15% (asparaginaza), 28% (fosfataza kwaśna) i 13% (dehydrogenazy) w stosunku do odnowienia naturalnego.

Na terenie Nadleśnictwa Potrzebowice niższą aktywność, w stosunku do kontroli, notowano jedynie w

<sup>1</sup> Pracę wykonano w ramach tematu BLP-986 finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych



**Rycina 1. Aktywność enzymatyczna gleb na pożarzysku w stosunku do kontroli (kontrola = 100%)**  
 Figure 1. Soil enzyme activity on the burnt area in comparison with the control (control = 100%)

przypadku dehydrogenaz – we wszystkich uprawach na pożarzysku (o 40% w Bśw i 25% w BMśw), oraz fosfatazy kwaśnej na siedlisku Bśw (o 44%). Aktywność asparaginazy była natomiast 2–3 krotnie wyższa, zarówno na siedlisku Bśw i BMśw, a ureazy zbliżona na siedlisku Bśw i znacznie wyższa (o 39%) na siedlisku BMśw niż w uprawie kontrolnej. Nie stwierdzono wyraźnego wpływu sposobu odnowienia na aktywność badanych enzymów.

Analizy chemiczne gleb (tab. 1) wykazały, że badane powierzchnie na obu pożarzyskach charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem pod względem zawartości węgla organicznego ( $C_{org}$ ) w 0–25 cm warstwie

gleby. W porównanych warunkach siedliskowych, tj. w BMśw w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie i w BMśw w Nadleśnictwie Potrzebowice średnia zawartość  $C_{org}$  w glebie po pożarze, niezależnie od sposobu odnowienia, była niższa niż na powierzchniach kontrolnych odpowiednio 45 i 21%. Stwierdzono wyraźną zależność zawartości węgla na pożarzyskach od typu siedliskowego lasu. Średnia zawartość tego składnika w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie była wyższa w BMw niż w BMśw, a w Nadleśnictwie Potrzebowice wyższa w BMśw niż w Bśw.

Odczyn badanych gleb był na obu pożarzyskach silnie kwaśny (pH w KCl, od 3,52 do 4,30). Powierzchnie

**Tabela 1. Zawartość węgla organicznego i pH gleb w nadleśnictwach: Rudy Raciborskie i Potrzebowice**  
 Table 1. Organic carbon content and soil pH at regenerated sites in the Rudy Raciborskie and Potrzebowice Forest Districts

Typ siedliskowy Habitat forest type	Sposób odnowienia Regeneration method	Oddział Compartment	C %	pH KCl	
<b>Nadleśnictwo Rudy Raciborskie / Rudy Raciborskie Forest District</b>					
BMśw	sadzenie planting	52 c	1,71	4,13	
		116 m	1,05	4,23	
		51 d	1,51	4,30	
			<b>średnia / average</b>	1,42	4,22
	samosiew natural regeneration	54 a	1,59	4,01	
		76 f	1,38	3,91	
52 a		1,29	3,94		
		<b>średnia / average</b>	1,42	3,95	
BMw	sadzenie planting	69 a	2,59	4,10	
		70 b	1,88	4,14	
		132 g	2,34	3,62	
			<b>średnia / average</b>	2,27	3,95
	samosiew natural regeneration	70 a	2,79	3,94	
		79 a	1,77	3,90	
78 i		1,22	3,69		
		<b>średnia / average</b>	1,93	3,84	
BMśw	sadzenie planting	254c kontrola / control	2,69	3,52	
<b>Nadleśnictwo Potrzebowice / Potrzebowice Forest District</b>					
BMśw	sadzenie planting	26d	1,50	4,16	
		50d	1,08	4,16	
		53d	0,99	3,86	
				<b>średnia / average</b>	1,19
Bśw	siew sowing	57c	0,81	4,23	
		60a	0,96	4,18	
		145c	1,35	4,11	
			<b>średnia / average</b>	1,04	4,17
	sadzenie planting	85a	1,12	4,18	
		191a	0,98	4,31	
237a		0,98	4,17		
		<b>średnia / average</b>	1,03	4,22	
Bśw	sadzenie planting	149a kontrola / control	1,50	4,02	

Designations: BMśw – fresh mixed coniferous forest, BMw – wet mixed coniferous forest, Bśw – fresh coniferous forest

na pożarzyskach, zwłaszcza w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, charakteryzowały się pH gleb nieznacznie wyższym niż na powierzchniach kontrolnych. Nie stwierdzono wyraźnego wpływu sposobu odnowienia na pH gleb.

## 5. Dyskusja

Porównanie aktywności enzymatycznej gleb badanych pożarzysk wskazuje, że odtworzenie mikrobiocenoz w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie jest znacznie mniej zaawansowane niż w Nadleśnictwie Potrzebowice, o czym świadczy zdecydowanie słabsza aktyw-

ność wszystkich testowanych enzymów, w porównaniu z powierzchniami kontrolnymi.

Wyraźnie niższy udział biomasy drobnoustrojów ( $C_{\text{biom}}$ ) w ogólnej zawartości węgla organicznego ( $C_{\text{org}}$ ) oraz wyższe wartości ilorazu metabolicznego drobnoustrojów ( $q\text{CO}_2$ ) niż w glebie poza pożarzyskiem uzyskał Zwoliński et al. (2004) w badaniach na terenach omawianych nadleśnictw. Wynikać to może ze zróżnicowania intensywności pożaru w tych nadleśnictwach i w konsekwencji z różnicy stopnia degradacji gleb. Jak podaje Szabla (1998), w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie w wyniku pożaru w 1992 roku całkowitemu spalaniu uległ poziom próchniczny gleby na całej powierzchni pożarzyska aż do poziomu mineralnego. W przedstawionych badaniach stwierdzono na pożarzysku niż-

sza, w stosunku do kontroli, zawartość węgla organicznego, który stanowi około 50% substancji organicznej – głównego składnika próchnicy glebowej. Podobne wyniki uzyskał w swym eksperymencie laboratoryjnym Tiwari et al. (1988), który stwierdził, że prażenie gleby w 450°C zmniejszyło aktywność dehydrogenaz, ureazy i fosfatazy kwaśnej do bardzo niskiego poziomu, jako wynik spalania wszystkich substancji organicznych, w tym enzymów.

Brak badań aktywności enzymatycznej zaraz po pożarze nie daje pełnego obrazu zmian właściwości biochemicznych gleb. Przedstawione badania wskazują natomiast, że po dziewięciu latach proces regeneracji gleb zniszczonych przez pożar nie został zakończony. Znajduje to potwierdzenie w badaniach Eivazi et Bayan (1996), którzy stwierdzili istotny spadek aktywności ureazy, fosfatazy kwaśnej,  $\alpha$  i  $\beta$ -glukozydazy w glebach po czterech latach po pożarze, a także wysoką dodatnią korelację pomiędzy badanymi enzymami a biomasą drobnoustrojów. Spadek biomasy drobnoustrojów stwierdzili także Fritze et al. (1993) w 9 lat po pożarze, a zmniejszenie biomasy drobnoustrojów wskutek pożaru – Pietikäinen et Fritze (1993). Saa et al. (1993) wskazują również na redukcję aktywności fosfatazy kwaśnej na terenach po pożarze.

Uzyskane wyniki badań wskazują jednocześnie, że tempo regeneracji gleb po pożarze, wyrażone ich aktywnością enzymatyczną, zależy od sposobu odnowienia lasu. W Nadleśnictwie Rudy Raciborskie aktywność badanych enzymów pod młodnikami z sadzenia była wyraźnie wyższa niż pod młodnikami z samosiewu, w Nadleśnictwie Potrzebowice pod młodnikami z sadzenia niż pod młodnikami z siewu. Przygotowanie gleby przed sadzeniem (orka w bruzdy) stworzyło korzystniejsze warunki do mineralizacji materii organicznej zawartej w glebie, a tym samym dla aktywności biochemicznej. Potwierdzają to badania Olejarskiego (2003), który stwierdził ponadto, że zabiegiem korzystnym dla rozwoju upraw jest rozdrobnienie i wymieszanie pozostałej na pożarzysku materii organicznej z glebą.

Różnice w zawartości węgla organicznego oraz aktywności enzymatycznej gleb na pożarzyskach w nadleśnictwach Rudy Raciborskie i Potrzebowice mogą być także związane z typem siedliska. Potwierdzają to wyniki badań, zwłaszcza w Nadleśnictwie Potrzebowice, gdzie aktywność badanych enzymów była wyższa w BMśw niż w Bśw. W badaniach Olszowskiej i in. (2005) w borach sosnowych stwierdzono również istotną zależność aktywności biochemicznej gleb od żyzności siedlisk.

Wysoka inaktywacja badanych enzymów glebowych spowodowana pożarem może z czasem doprowadzić do poważnego deficytu podstawowych składników odżywczych, w obiegu których bardzo ważną rolę odgrywają

enzymy, katalizujące wiele procesów rozkładu materii organicznej (Burns 1985). Znajduje to odzwierciedlenie w badaniach Hawrysia i innych (2002), którzy stwierdzili, że zawartość makroskładników w igłach sosny, pozostająca w relacji do ich zawartości w glebie, wskazywała na słabsze w porównaniu z kontrolą zaopatrzenie drzew w składniki pokarmowe na pożarzyskach.

Jednocześnie obserwowana reakcja badanych enzymów, wyrażona wysokim spadkiem ich aktywności na pożarzyskach, wskazuje na przydatność badań aktywności enzymatycznej jako czułego wskaźnika reakcji gleby na czynniki stresowe. Ze względu na szybszą, niż w przypadku organizmów wyższych, reakcję drobnoustrojów na oddziaływanie czynników zewnętrznych, poprzedzającą zazwyczaj dostrzegalne zmiany właściwości chemicznych i fizycznych gleb, badania aktywności enzymatycznej pozwalają na wczesną ocenę poprawy jakości lub degradacji gleb spowodowanych przez te czynniki. Przemawia to za szerszym wykorzystaniem wskaźników biochemicznych w badaniach gleb leśnych, zwłaszcza przy ocenie wpływu czynników stresowych, takich jak np.: zanieczyszczenia przemysłowe, pożary, anomalie pogodowe, a także zmian klimatycznych oraz zabiegów agrotechnicznych na lasy, oraz przy prognozowaniu dalszego rozwoju lasu.

Prezentowane wyniki aktywności enzymatycznej gleb powinny być zweryfikowane w dalszych badaniach, ze względu na krótki okres badań, brak powierzchni kontrolnych dla wszystkich wariantów odnowienia sosny na pożarzyskach, a także wpływ czasu od pożaru.

## 6. Wnioski

W Nadleśnictwie Rudy Raciborskie wartości badanych parametrów biochemicznych pozostawały w ścisłym związku ze sposobem odnowienia lasu. Niezależnie od typu siedliska korzystniejszy wpływ na tempo regeneracji gleb po pożarze ma odnowienie sztuczne (sadzenie) niż odnowienie naturalne (samosiew).

Zawartość węgla organicznego oraz aktywność badanych enzymów wskazują na silniejszą degradację gleb po pożarze w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie niż w Nadleśnictwie Potrzebowice.

Badania aktywności enzymatycznej gleb po 9 latach od pożaru na terenach wielkoobszarowych pożarzysk leśnych wskazują na niepełne odtworzenie mikrobiocenoz. Na ich podstawie można przypuszczać, że proces regeneracji gleby po pożarze będzie trwał krócej w Nadleśnictwie Potrzebowice niż w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie.

## Literatura

- Bååth E., Frostegard A., Pennanen T., Fritze H. 1995: Microbial community structure and pH response in relation to soil organic matter quality in wood-ash fertilized, clear-cut or burned coniferous soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 27: 229-240.
- Burns R.G. 1985: The rhizosphere: microbial and enzymatic gradients and prospects for manipulation. *Pedologie*, 35, 283-295.
- DeBano L.F., Conrad C.E. 1978: The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. *Ecology*, 59: 489-497.
- DeBano L.F., Neary D.G., Ffolliott P.F. 1998: Fire's Effects on Ecosystem. John Wiley & Sons, Inc., New York, 71-82.
- Dick R.P. 1992: A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 40: 25-36.
- Dick R.P., Tabatabai M.A. 1992: Potential uses of soil enzymes [w:] Soil microbial ecology: application in agricultural and environmental management. (ed. F. B. Metting), M. Dekker Inc., New York, 95-127.
- Eivazi E., Bayan M.R. 1996: Effects of long-term prescribed burning on the activity of select soil enzymes in an oak-hickory forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 26: 1799-1804.
- Frankenburger W.T., Jr., Dick W.A. 1983: Relationships between enzyme activities and microbial growth and activities indices in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 47: 945-951.
- Fritze H., Pennanen T., Pietikäinen J. 1993: Recovery of soil microbial biomass and activity from prescribed burning. *Canadian Journal of Forest Research*, 23: 1286-1290.
- Galstjan A.S. 1978: Opredelenie aktivnosti fermentov počv – metodičeskie ukazaniya. Dokl. Akad. Nauk Arm. SSR, Erevan, 54 s.
- Hawryś Z., Zwoliński J., Matuszczyk I., Olszowska G., Zwolińska B., Batko B. 1998: Zmiany i odbudowa ekosystemów leśnych zniszczonych przez pożar na przykładzie wielkoobszarowego pożarzystka w lasach Rudzko-Rudzińiecko-Kędzierzyńskich. *Postępy Techniki w Leśnictwie*, 67: 33-40.
- Hawryś Z., Zwoliński J., Olszowska G., Matuszczyk I., Kwapis Z., Małecka M., Zwolińska B., Pawlak U., Kwapis B., Syrek D. 2002: Ocena stanu i dynamiki rozwoju upraw i młodników na terenach wielkich pożarzystk. Dokumentacja Inst. Bad. Leś.
- Johnston M., Elliott J. 1998: The effects of fire severity on ash, and plant and soil nutrients levels following experimental burning in a boreal mixedwood stand. *Canadian Journal of Forest Research*, 28: 35-44.
- Kazakevič A.L., Černov A.I., Bobrov A.A., Trofimov S. A. 1998: Vlijane lokalnogo nizovogo požara na počvennyj pokrov elnikov (na primere Centralno-Lesnogo Biosferenogo Zapovednika). *Lesovedenie*, 6: 42-54.
- Lynch J., Painting L.M. 1982: Effects of season, cultivation and nitrogen fertilizer on the size of the microbial biomass. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 33: 249-252.
- Lynham T.J., Wickware G.M., Mason J.A. 1998: Soil chemical changes and plant succession following experimental burning in immature jack pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 28: 93-104.
- Mc Lean D.A., Woodley S.J., Weber M.G., Wein R.W. 1983: Fire nutrient cycling. [w:] The role of fire in Northern Circumpolar Ecosystems. (R.W. Wein and D.A. Mac Lean, eds), John Wiley & Sons Ltd, New York, 111-132.
- Olejarski I. 2003: Wpływ zabiegów agrotechnicznych na niektóre właściwości gleb oraz stan upraw sosnowych na pożarzystkach wielkoobszarowych. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 954, 47-77.
- Olszowska G. 2002: Wpływ pożaru w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie na aktywność enzymatyczną gleb. *Roczniki Gleboznawcze*, LIII, 2/4: 97-104.
- Olszowska G., Zwoliński J., Matuszczyk I., Syrek D., Zwolińska B., Pawlak U., Kwapis Z., Dudzińska M. 2005: Wykorzystanie badań aktywności biologicznej do wyznaczenia wskaźnika żyzności gleb w drzewostanach sosnowych na siedliskach boru świeżego i boru mieszanego świeżego. *Leśne Prace Badawcze*, 3:17-37.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubińska Z. 1991: Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 334 s.
- Pietikäinen J., Fritze H. 1993: Microbial biomass and activity in the humus layer following burning: short-term effects of two different fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 23:1275-1285.
- Russel S. 1972: Metody oznaczania enzymów glebowych. PTG Komisja Biologii Gleby, Warszawa, 65 s.
- Saa A., Trasar-Cepeda C., Gil-Sotres F., Carballas T. 1993: Changes in soil phosphorus and acid phosphatase activity immediately following forest fires. *Soil Biology and Biochemistry*, 25: 1223-1230.
- Szabla K. 1998: Odnowienie lasu i ochrona upraw powstałych na wielkim pożarzystku w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. *Postępy Techniki w Leśnictwie*, 6: 41-48.
- Tiwari S.C., Tiwari B.K., Mishra R.R. 1988: Enzyme activities in soils: effects of leaching, ignition, autoclaving and fumigation. *Soil Biology and Biochemistry*, 20, 4: 583-585.
- Zwoliński J., Matuszczyk I., Hawryś Z. 2004: Właściwości chemiczne gleb i igieł sosny oraz aktywność mikrobiologiczna gleb na terenie pożarzystk leśnych z 1992 roku w Nadleśnictwach Rudy Raciborskie i Potrzebowice. *Leśne Prace Badawcze*, 1: 119-133.