

**Ewa Jastrzębska, Jan Kucharski**

## **AKTYWNOŚĆ ENZYMATYCZNA GLEBY ZANIECZYSZCZONEJ POPIOŁEM DRZEWNYM**

**Katedra Mikrobiologii  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie**

### **WSTĘP**

Popioły lotne powstające w wyniku spalania naturalnych kopalin, takich jak węgiel kamienny i węgiel brunatny, od lat stanowiły potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Coraz większą uwagę przywiązuje się do wykorzystywania jako źródeł energii surowców odnawialnych, takich jak słoma i drewno (KALEMBASA i in. 2005, NOWAK, SEKRET 2001). Spalanie biomasy ogranicza emisję do atmosfery CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>, przyczynia się do ograniczenia wykorzystania kopalin oraz redukcji zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi obecnymi w popiele z węgla kamiennego (RAI i in. 2000), co powinno prowadzić do poprawy stanu środowiska naturalnego (NOWAK, SEKRET 2001).

Popiół drzewny jest bogaty w takie pierwiastki jak Ca, Mg, P, K i Na, ale ubogi w N. Zawiera także wiele mikroelementów, w tym zarówno niezbędnych do życia roślin, jak i metali ciężkich (DEMEYER i in. 2001, YRJÄLÄ i in. 2004, ZIMMERMANN, FREY 2002). Zawartość Cr, Cd, Cu, Ni czy Pb w popiele drzewnym jest zróżnicowana w zależności od rodzaju drewna i miejsca jego pozyskiwania. Jest jednak znacznie niższa niż w popiołach powstałych po spalaniu węgla kamiennego.

Ze względu na wysokie pH popiołu drzewnego i jego skład chemiczny, od lat trwają badania nad jego wykorzystaniem w rolnictwie i leśnictwie (DEMEYER i in. 2001, ZIMMERMANN, FREY 2002). Rosnąca tendencja do zastępowania paliw kopalnych biopaliwami będzie miała wpływ na zwiększoną produkcję popiołów. Ich składowanie i nieracjonalne wykorzystanie w rolnictwie może skutkować zanieczyszczeniem środowiska.

Popiół drzewny alkalizuje glebę, zwiększa pojemność wymienną i stopień wysycenia kationami zasadowymi (ARVIDSSON, LUNDKVIST 2003, PARK i in. 2005). Wpływa na mikroorganizmy glebowe, zmniejszając lub zwiększając ich biomasę, w zależności od typu gleby i jej właściwości fizykochemicznych (BÄATH i in. 1995, DEMEYER i in. 2001, GLASER i in. 2002, ZIMMERMANN, FREY 2002). Niewiele jest badań dotyczących oddziaływania popiołu drzewnego na aktywność enzymatyczną gleby (BOERNER, BRINKMAN 2003, BOERNER i in. 2005, OLSZOWSKA 2002), a te istniejące dotyczą przede wszystkim wpływu pożaru na enzymy glebowe. Celem podjętych badań było określenie wpływu węgla drzewnego na aktywność enzymatyczną gleby oraz plonowanie jęczmienia jarego.

## MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie przeprowadzono w hali wegetacyjnej (w czterech powtórzeniach) na próbkach gleby brunatnej typowej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego, pobranej z poziomu ornopróchniczego (0–20 cm). Gleba ta charakteryzowała się następującymi parametrami:  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,6$ , kwasowość hydrolityczna –  $16,9 \text{ mmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. gleby, suma zasadowych kationów wymiennych –  $70,5 \text{ mmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. gleby, pojemność wymienna –  $87,4 \text{ mmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. gleby, stopień wysycenia gleb kationami zasadowymi – 80,69%, zawartość węgla organicznego –  $8,0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. gleby. Czynniki zmiennymi w doświadczeniu były:

- 1) rodzaj popiołu drzewnego: ze zrębków drzewnych sosnowych ( $\text{pH}_{\text{KCl}} 13,8$ ) i ze zrębków drewna mieszanego ( $\text{pH}_{\text{KCl}} 10,6$ );
- 2) dawka popiołu w  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ : 0, 25, 50, 100 i 200;
- 3) dawka azotu w postaci mocznika: 100 i 200  $\text{mg N kg}^{-1}$  gleby;
- 4) sposób użytkowania gleby: gleba nieobsiana i gleba obsiana jęczmieniem jarym odmiany Rabel.

Przed napełnieniem wazonów polietylenowych glebą, każdą jej próbkę o masie 3,2 kg wymieszano z popiołem oraz mocznikiem. W odpowiednich obiektach wysiano jęczmień jary (15 roślin w jednym wazonie). Przez cały okres doświadczenia utrzymywano stałą wilgotność gleby na poziomie 60% maksymalnej pojemności wodnej.

Jęczmień jary zebrano w 61. dniu trwania doświadczenia (w fazie kwitnienia) i określono jego plon. Tego samego dnia pobrano próbki gleby, w któ-

rych oznaczono aktywność: dehydrogenaz [Deh] – metodą Lenharda w modyfikacji CASIDY i in. (1964), ureazy [Ure] metodą Gorina i Ching Changa (1966), fosfatazy kwaśnej [Pac] i alkalicznej [Pal] metodą Tabatabai i Bremnera (1969). Wyznaczono także biochemiczny wskaźnik żyzności gleby ( $M_w$ ) korzystając ze wzoru:

$$M_w = (\text{Ure} \cdot 10^{-1} + \text{Deh} + \text{Pac} + \text{Pal}) \cdot \%C \text{ (KUCHARSKI 1997)}$$

Wyniki opracowano statystycznie przy pomocy pakietu Statistica (StatSoft, Inc...2003), posługując się wielokrotnym testem rozstępu Duncana, stosując 3- i 4-czynnikową analizę wariancji. Obliczono także współczynniki korelacji między aktywnością enzymów glebowych i biochemicznym wskaźnikiem żyzności gleby ( $M_w$ ) a dawką popiołów, plonem jęczmienia jarego, liczebnością drobnoustrojów glebowych i zawartością składników mineralnych w popiele drzewnym. Skład chemiczny stosowanych popiołów oraz ich wpływ na właściwości fizykochemiczne gleby i liczebność drobnoustrojów przedstawiono w pracy KUCHARSKIEGO, JASTRZĘBSKIEJ (2005).

## WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

W przeprowadzonym doświadczeniu popiół drzewny, zarówno sosnowy, jak i z drzew mieszanych, istotnie modyfikował aktywność enzymatyczną gleby. Czułym indykatorem zmian środowiska glebowego wywołanych zanieczyszczeniem popiołem drzewnym okazały się dehydrogenazy (tab. 1). Ich aktywność znacznie malała pod wpływem zwiększających się dawek popiołów, przy czym silniej oddziaływał popiół z drzew mieszanych, w porównaniu z popiołem sosnowym.

Inaczej reagowała ureaza (tab. 2). Zarówno popiół sosnowy, jak i popiół z drzew mieszanych stymulowały jej aktywność, ale siła pozytywnego oddziaływania każdego z nich była różna. Średnio, abstrahując od poziomu nawożenia gleby azotem oraz sposobu użytkowania gleby, poszczególne dawki popiołu sosnowego (25, 50, 100 i 200 mg·kg<sup>-1</sup>) stymulowały aktywność ureazy 3,2-, 4,3-, 3,3 i 2,8-krotnie, natomiast popiołu z drzew mieszanych odpowiednio 3,6-, 2,4-, 1,3- i 1,1-krotnie.

Podobnie jak ureaza, na zanieczyszczenie gleby popiołem drzewnym reagowała fosfataza alkaliczna (tab. 3). Aktywność fosfatazy kwaśnej natomiast, była ujemnie skorelowana z dawką popiołu (tab. 4, 5). Również w tym przypadku silniejszym inhibitorem aktywności enzymatycznej okazał się popiół z drzew mieszanych.

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że na aktywność enzymatyczną gleby, szczególnie dehydrogenaz i ureazy, miały wpływ także poziom nawożenia gleby azotem oraz sposób jej użytkowania. Aktywność dehydrogenaz była istotnie wyższa w glebie obficie nawożonej (200 mg N·kg<sup>-1</sup>), niezależnie od rodzaju stosowanego popiołu drzewnego i uprawy jęczmienia jarego. Zwięk-

Tabela 1  
Table 1

Aktywność dehydrogenaz w glebie zanieczyszczonej popiołem drzewnym  
( $\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{s.m.} \cdot \text{d}^{-1}$ )  
Activity of dehydrogenases in the soil contaminated with wood ash  
( $\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{d.m.} \cdot \text{d}^{-1}$ )

Dawka popiołu Dose of ash ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Sposób użytkowania gleby – Soil utilisation			
	gleba obsiana – sown soil		gleba nieobsiana – unsown soil	
	dawka N (mg) – dose N (mg)			
	100	200	100	200
Popiół z sosny – Ash from pine				
0.0	15.14	10.42	4.19	3.26
25.0	13.60	8.04	5.80	4.79
50.0	5.62	5.50	3.74	3.59
100.0	4.29	3.95	2.04	2.26
200.0	2.81	2.24	1.65	1.50
Popiół z drzew mieszanych – Ash from mixed trees				
0.0	15.14	10.42	4.19	3.26
25.0	5.09	5.74	4.26	2.47
50.0	3.66	2.75	2.44	1.73
100.0	2.18	1.62	1.75	1.56
200.0	1.09	0.78	1.38	0.80
NIR-LSD <sub>0.01</sub>	a = 0.14, b = 0.23, c = 0.14, d = 0.14, axb = 0.32, axc = 0.21, axd = 0.21, bxc = 0.32, bxd = 0.32, cxd = 0.21, axbxc = 0.46, axbxd = 0.46, axcxd = 0.29, bxcxd = 0.46, axbxcxd = 0.65			

NIR<sub>0.01</sub> dla – LSD<sub>0.01</sub> for: a – rodzaju popiołu – kind of ash, b – dawki popiołu – dose of ash,  
c – dawki azotu – dose of N, d – sposobu użytkowania gleby – kind of soil utilisation

szone nawożenie azotem stymulowało także aktywność ureazy w glebie obsianej oraz fosfatazy kwaśnej w glebie zanieczyszczonej popiołem sosnowym. Zdecydowanie wyższa była także aktywność dehydrogenaz i ureazy w glebie obsianej jęczmieniem jarym w porównaniu z glebą nieobsianą, ale niższa aktywność fosfatazy kwaśnej.

Zanieczyszczenie gleby popiołem drzewnym znalazło swoje odzwierciedlenie w wartościach biochemicznego wskaźnika żyzności gleby (tab. 6), który był ujemnie skorelowany z dawką popiołów (tab. 5). Zdecydowanie niższe wartości osiągał on w glebie zanieczyszczonej popiołem z drzew mieszanych niż popiołem sosnowym, a także w glebie nieobsianej niż obsianej jęczmieniem jarym.

Plon jęczmienia jarego obniżał się wraz ze wzrastającą dawką każdego ze stosowanych popiołów (rys. 1), co jest widoczne szczególnie w obiektach

Tabela 2

Table 2

Aktywność ureazy w glebie zanieczyszczonej popiołem drzewnym ( $\text{mg N-NH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.} \cdot \text{h}^{-1}$ )  
 Activity of urease in the soil contaminated with wood ash ( $\text{mg N-NH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d.m.} \cdot \text{h}^{-1}$ )

Dawka popiołu Dose of ash ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Sposób użytkowania gleby – Soil utilisation			
	gleba obsiana – sown soil		gleba nieobsiana – unsown soil	
	dawka N (mg) – dose N (mg)			
	100	200	100	200
Popiół z sosny – Ash from pine				
0.0	9.18	14.85	5.90	3.68
25.0	35.17	37.80	17.87	15.78
50.0	48.07	50.31	25.08	21.21
100.0	31.40	32.84	25.27	20.79
200.0	26.53	26.83	22.91	17.49
Popiół z drzew mieszanych – Ash from mixed trees				
0.0	9.18	14.85	5.90	3.68
25.0	36.37	37.77	24.10	24.34
50.0	19.86	23.65	20.93	15.56
100.0	8.61	14.56	11.60	10.66
200.0	9.42	13.30	7.51	7.68
NIR-LSD <sub>0.01</sub>	a = 0.38, b = 0.61, c = n.s., d = 0.38, axb = 0.86, axc = 0.54, axd = 0.54, bxc = 0.86, bxd = 0.86, cxd = 0.54, axbxc = 1.21, axbxd = 1.21, axcxd = 0.77, bxcxd = 1.21, axbxcxd = 1.72			

NIR<sub>0.01</sub> dla – LSD<sub>0.01</sub> for: a – rodzaju popiołu – kind of ash, b – dawki popiołu – dose of ash, c – dawki azotu – dose of N, d – sposobu użytkowania gleby – soil utilisation, axb, axc, axd, bxc, bxd, cxd, axbxc, axbxd, axcxd, bxcxd, axbxcxd – interakcji czynników – interaction between factors), n.s. – różnice nieistotne – non-significant difference

obficiej nawożonych mocznikiem ( $200 \text{ mg N} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Szczególnie negatywnie oddziaływały na rośliny wysokie dawki popiołu z drzew mieszanych ( $100$  i  $200 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), powodując osłabienie vegetacji oraz żółknięcie i zamieranie roślin we wczesnych etapach ich rozwoju.

Niewiele jest badań (PARK i in. 2005) dotyczących wpływu popiołu drzewnego na plonowanie roślin. Wyżej wymienieni autorzy nie stwierdzili znaczącego wpływu popiołu drzewnego stosowanego w ilości  $10$  i  $20 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$  na wzrost i biomasa wierzby.

Tak zróżnicowane oddziaływanie popiołu sosnowego i popiołu z drzew mieszanych na aktywność enzymatyczną gleby oraz plonowanie jęczmienia jarego mogło być, prawdopodobnie, spowodowane składem chemicznym popiołów oraz ich właściwościami fizykochemicznymi. Jak wskazują wyniki

Tabela 3  
Table 3

Aktywność fosfatazy alkalicznej w glebie zanieczyszczonej popiołem drzewnym  
(mmol PNP·kg<sup>-1</sup> s.m.·h<sup>-1</sup>)  
Activity of alkaline phosphatase in the soil contaminated with wood ash  
(mmol PNP·kg<sup>-1</sup> d.m.·h<sup>-1</sup>)

Dawka popiołu Dose of ash (g·kg <sup>-1</sup> )	Sposób użytkowania gleby– Soil utilisation			
	gleba obsiana – sown soil		gleba nieobsiana – unsown soil	
	dawka N (mg) – dose N (mg)			
	100	200	100	200
Popiół z sosny – Ash from pine				
0.0	1.01	0.96	0.43	0.42
25.0	1.06	1.14	1.06	1.01
50.0	1.05	1.15	1.10	1.18
100.0	1.04	1.25	1.26	1.31
200.0	1.05	0.96	1.08	0.87
Popiół z drzew mieszanych – Ash from mixed trees				
0.0	1.01	0.96	0.43	0.42
25.0	1.03	1.65	1.11	1.27
50.0	1.02	1.30	1.23	1.45
100.0	0.86	0.84	1.33	1.26
200.0	0.88	0.47	0.88	0.63
NIR-LSD <sub>0.01</sub>	a = n.s., b = 0.04, c = n.s., d = 0.04, axb = 0.10, axc = n.s., axd = 0.06, bxc = 0.10, bxd = 0.10, cxd = n.ist., axbxc = 0.14, axbxd = 0.14, axcxd = n.s., bxcxd = 0.09, axbxcxd = n.s.			

\*objaśnienia pod tabelą 1 i 2 – explanations under Table 1 and 2

badan, KUCHARSKIEGO i JASTRZEBSKIEJ (2005), zanieczyszczenie gleby popiołem spowodowało jej alkalizację, tym większą, im wyższa była dawka popiołu. Oba popioły były także zasobne w K, Mg, Ca, Mn, Cd, Cu, Ni i Pb, a popiół z drzew mieszany odznaczał się większą niż popiół sosnowy zawartością Cr, Cd i Mn.

O składzie chemicznym i właściwościach fizykochemicznych popiołu decydują takie czynniki, jak: gatunek drzewa i jego wiek, sposób spalania pozyskanego drewna, a także udział procentowy w spalonym materiale drewna, kory i liści oraz ewentualny dodatek innych składników, np. torfu (ARVIDSSON i in. 2002, DEMEYER i in. 2001, KRUTUL, SIWIEC 1995, ZIMMERMANN, FREY 2002). Decyduje to o zróżnicowanym pH popiołu drzewnego oraz o zmiennej zawartości poszczególnych pierwiastków, w tym metali ciężkich (STEENARI in. 1999, YRJÄLÄ i in. 2004). O negatywnym oddziaływa-

Tabela 4  
Table 4

Aktywność fosfatazy kwaśnej w glebie zanieczyszczonej popiołem drzewnym  
(mmol PNP · kg<sup>-1</sup> s.m. · h<sup>-1</sup>)  
Activity of acid phosphatase in the soil contaminated with wood ash  
(mmol PNP · kg<sup>-1</sup> d.m. · h<sup>-1</sup>)

Dawka popiołu Dose of ash (g · kg <sup>-1</sup> )	Sposób użytkowania gleby – Soil utilisation			
	gleba obsiana – sown soil		gleba nieobsiana – unsown soil	
	dawka N (mg) – dose N (mg)			
	100	200	100	200
Popiół z sosny – Ash from pine				
0.0	2.66	2.69	2.56	2.73
25.0	1.27	1.34	1.71	1.66
50.0	1.04	1.17	1.07	1.11
100.0	0.98	1.10	0.96	1.26
200.0	0.79	0.78	0.89	0.87
Popiół z drzew mieszanych – Ash from mixed trees				
0.0	2.66	2.69	2.56	2.73
25.0	0.94	0.96	0.98	1.14
50.0	0.89	0.78	0.85	0.85
100.0	0.78	0.51	0.79	0.83
200.0	0.57	0.47	0.50	0.53
NIR-LSD <sub>0.01</sub>	a = 0.03, b = 0.05, c = 0.03, d = 0.03, axb = 0.07, axc = 0.05, axd = n.s., bxc = 0.07, bxd = 0.07, cxd = 0.06, axbxc = 0.11, axbxd = 0.11, axcxd = 0.07, bxcxd = 0.11, axbxcxd = n.s.			

\*objaśnienia pod tabelą 1 i 2 – explanations under Table 1 and 2

niu chromu i kadmu na aktywność dehydrogenaz i ureazy oraz na plonowanie jęczmienia jarego i bobiku donoszą WYSZKOWSKA i KUCHARSKI (2004), oraz WYSZKOWSKA i in. (2004). W badaniach tych autorów enzymami najmniej wrażliwymi za zanieczyszczenie gleby metalami ciężkimi okazały się fosfatazy.

Aktywność enzymatyczna gleby jest czułym wskaźnikiem zmian zachodzących w środowisku (DICK i in. 2000, KUCHARSKI 1997, TRASAR-CEPEDA i in. 1998). Ponieważ enzymy glebowe są produkowane przez bakterie, korzenie roślin i faunę glebową, negatywne oddziaływanie ksenobiotyków na rośliny i drobnoustroje powinno prowadzić do zmian w aktywności biochemicznej gleby (KUCHARSKI 1997).

O zależności między aktywnością enzymatyczną gleby a drobnoustrojami, plonowaniem jęczmienia jarego oraz dawką i składem chemicznym

Tabela 5  
Table 5

Współczynniki korelacji między biochemicznym wskaźnikiem żyzności gleby i aktywnością enzymów glebowych a plonem jęczmienia jarego, liczebnością drobnoustrojów glebowych i zawartością pierwiastków w popiołach ( $N = 160$ )  
Correlation coefficients between biochemical soil fertility index and activity of soil enzymes and spring barley yield, number of microorganisms and content of mineral constituents in ashes ( $N = 160$ )

Zmienna – Variable	$M_w$	Deh	Ure	Pal	Pac
Plon – Yield	0.79	0.66	0.40	0.39	0.60
Olig	n.s.	n.s.	0.68	0.73	n.s.
Oligp	-0.83	-0.63	-0.48	n.s.	-0.55
Cop	-0.58	-0.77	n.s.	n.s.	-0.72
Copp	-0.82	-0.61	-0.48	-0.35	-0.52
Cel	0.62	0.90	-0.36	n.s.	0.89
Art	n.s.	n.s.	0.33	0.35	n.s.
Act	-0.56	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Fun	-0.75	-0.58	-0.37	-0.45	-0.53
Dawka popiołu Dose of ash	-0.39	-0.66	n.s.	n.s.	-0.83
Corg	n.s.	-0.28	0.65	0.45	-0.63
N	0.30	n.s.	0.64	0.38	-0.46
K	n.s.	-0.39	0.63	0.50	-0.78
Mg	n.s.	-0.48	0.56	0.53	-0.89
P	n.s.	-0.40	0.62	0.51	-0.79
Ca	n.s.	-0.52	0.52	0.53	-0.93
Na	n.s.	-0.49	0.55	0.53	-0.91
Fe	n.s.	-0.42	0.61	0.51	-0.82
Zn	n.s.	-0.27	0.65	0.44	-0.61
Mn	-0.41	-0.57	0.33	0.48	-0.95
Cd	-0.49	-0.57	0.23	0.44	-0.91
Cr	-0.36	-0.57	0.39	0.50	-0.96
Cu	n.s.	-0.47	0.57	0.53	-0.88
Ni	n.s.	-0.51	0.52	0.53	-0.92
Pb	n.s.	-0.36	0.64	0.65	-0.74
Hg	0.24	-0.23	0.65	0.42	-0.55
As	n.s.	-0.52	0.52	0.53	-0.93

Wyniki istotne statystycznie dla  $p=0.01$  – Results statistically significant at  $p=0.01$



Tabela 6  
Table 6

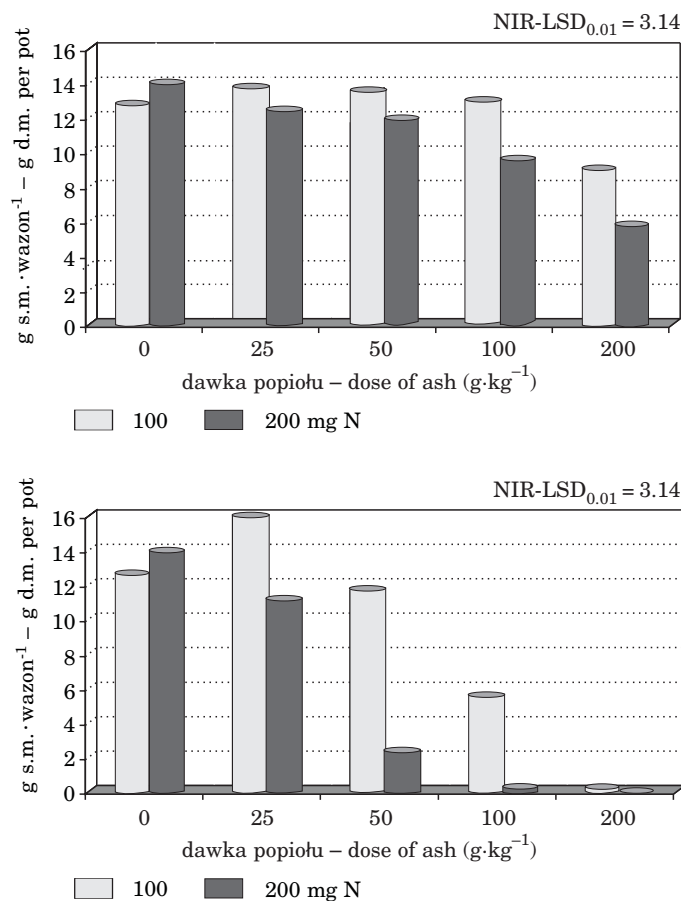
Biochemiczny wskaźnik żyzności gleby ( $M_w$ ) zanieczyszczonej popiołem drzewnym  
Biochemical soil fertility index ( $M_w$ ) contaminated with wood ash

Dawka popiołu Dose of ash (g·kg <sup>-1</sup> )	Sposób użytkowania gleby – Soil utilisation			
	gleba obsiana – sown soil		gleba nieobsiana – unsown soil	
	dawka N (mg) – dose N( mg)			
	100	200	100	200
Popiół z sosny – Ash from pine				
0.0	15.99	13.66	6.06	5.44
25.0	17.94	13.42	8.78	7.73
50.0	14.46	15.03	8.90	8.52
100.0	12.18	12.65	8.10	8.82
200.0	10.95	10.29	8.34	7.18
Popiół z drzew mieszanych – Ash from mixed trees				
0.0	15.99	13.62	6.06	5.44
25.0	9.06	10.18	7.30	6.03
50.0	6.64	6.32	5.85	4.95
100.0	4.53	4.29	4.69	4.38
200.0	3.50	3.13	3.37	2.73
NIR-LSD <sub>0.01</sub>	a = 0.27, b = 0.42, c = 0.27, d = 0.27, axb = 0.60, axc = n. s., axd = 0.24, bxc = 0.60, bxd = 0.60, cxd = n.s., axbxc = 0.85, axbxd = 0.85, axcxd = 0.53, bxcxd = 0.85, axbxcxd = 1.19			

\*objaśnienia pod tabelą 1 i 2 – explanations under Table 1 and 2

popiołu drzewnego świadczą istotne współczynniki korelacji między tymi zmiennymi (tab. 5). Plon jęczmienia jarego był dodatnio skorelowany ze wszystkimi badanymi enzymami, szczególnie z biochemicznym wskaźnikiem żyzności gleby ( $M_w$ ), co potwierdza obserwacje innych autorów (WYSZKOWSKA, KUCHARSKI 2004, WYSZKOWSKA i in. 2004). Wysoką dodatnią korelację stwierdzono także między liczebnością bakterii celulolitycznych a aktywnością dehydrogenaz i biochemicznym wskaźnikiem żyzności gleby oraz bakterii oligotroficznych a aktywnością ureazy i fosfatazy alkalicznej.

Uzyskane wyniki pozwalają na wskazanie pierwiastków, które mogły mieć największy wpływ na poziom aktywności enzymatycznej w glebie zanieczyszczonej popiołem drzewnym. Dla dehydrogenaz pierwiastkami tymi były Mn, Cd i Cr, a dla fosfatazy kwaśnej ponadto Ca, Na, Ni i As.



Rys. 1. Plonowanie jęczmienia jarego (g s.m. · wazon<sup>-1</sup>) uprawianego na glebie zanieczyszczonej popiołem z drewna sosnowego (a) i z drzew mieszanych (b)

Fig. 1. Yielding of spring barley (g d.m. per pot) cultivated in soil contaminated with pine tree ash (a) and with mixed tree ash (b)

## WNIOSKI

1. Zanieczyszczenie gleby popiołem drzewnym wpłynęło negatywnie na aktywność dehydrogenaz, fosfatazy kwaśnej oraz wartość biochemicznego wskaźnika żyzności gleby ( $M_w$ ), natomiast pozytywnie na urazę i fosfatazę alkaliczną w glebie nieobsianej jęczmieniem jarym.

2. Właściwości biochemiczne gleby zanieczyszczonej popiołem drzewnym były modyfikowane sposobem użytkowania oraz nawożeniem gleby azotem. Aktywność dehydrogenaz i ureazy była wyższa w glebie obsianej jęczmieniem jarym w porównaniu z glebą nieobsianą, natomiast zwiększenie nawożenia gleby azotem ze  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  do  $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  oddziaływało pozytywnie na aktywność dehydrogenaz.

3. Popiół drzewny wpływał negatywnie na plonowanie jęczmienia jarego. Silniej oddziaływał popiół z drzew mieszanych niż popiół z drewna sosnowego.

## PIŚMIENNICTWO

- ARVIDSSON H., LUNDKVIST H. 2003. *Effects of crushed wood ash on soil chemistry in young Norway spruce stands*. For. Ecol. Manage., 176: 121-132.
- ARVIDSSON H., VESTIN T., LUNDKVIST H. 2002. *Effects of crushed wood ash application on ground vegetation in young Norway spruce stands*. For. Ecol. Manage., 161: 75-87.
- BLLTH E., FROSTEGLRD L., 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 forest soils*. Soil Biol. Biochem., 27: 229-240.
- BOERNER R.E.J., BRINKMAN J.A. 2003. *Fire frequency and soil enzyme activity in southern Ohio oak-hickory forests*. Appl. Soil Ecol., 23: 137-146.
- BOERNER R.E.J., BRINKMAN J.A., SMITH A. 2005. *Seasonal variations in enzyme activity and organic carbon in soil of burned and unburned hardwood forest*. Soil Biol. Biochem., 37: 1419-1426.
- CASIDA L.E., KLEIN J.D., SANTORO D. 1964. *Soil dehydrogenases activity*. Soil Sci., 98: 371-374.
- DEMEYER A., VOUNDI NKANA J.C., VERLOO M.G. 2001. *Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview*. Bioresource Technol., 77: 287-295.
- DICK W.A., CHENG L., WANG P. 2000. *Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators*. Soil Biol. Biochem., 32: 1915-1919.
- GLASER B., LEHMANN J., ZECH W. 2002. *Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in tropics with charcoal – a review*. Biol. Fertil. Soils, 35: 219 – 230.
- GORIN G., CHING CHANG CH. 1966. *A new method of assay the specific enzymic activity, IV Urease*. Analyt. Biochem., s.49.
- KALEMBASA D., JANINHOFF A., MALINOWSKA E., JAREMKO D., JEZOWSKI S. 2005. *Zawartość siarki w wybranych klonach trawy Miscanthus*. J. Elementol., 10(2): 309-314.
- KRUTUL D., SIWIEC B. 1995. *The content of mineral substances in the wood of Scots pine (Pinus silvestris) from the youngest age classes*. Ann. Warsaw Agricult. Univ., 2 (46): 121-126.
- KUCHARSKI J. 1997. *Relacje między aktywnością enzymów a żyznością gleb. W: Drobnoustroje w środowisku. Występowanie, aktywność i znaczenie*. Red. W. BARABASZ. AR Kraków, 327-347.
- KUCHARSKI J., JASTRZĘBSKA E. 2005. *Liczebność drobnoustrojów i właściwości fizyko-chemiczne gleby zanieczyszczonej popiołem drzewnym*. J. Elementol., 10(3): 513-525.
- NOWAK W., SEKRET W. 2001. *Wykorzystanie biomasy w procesie fluidalnego spalania węgla*. Gosp. Paliw. Energ., 8: 2-9.
- OLSZOWSKA G. 2002. *Wpływ pożaru w nadleśnictwie Rudy Raciborskie na aktywność enzymatyczną gleb*. Rocz. Glebozn., 53(3/4): 97-104.

- PARK B.B., RUTH D.Y., JAMES M.S., DON K.L., LAWRENCE P.A. 2005. *Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation*. Biomass Bioenerg., 28(4): 355-365.
- RAI U.N., TRIPATHI R.D., SINGH N., KUMAR A., ALI M.B., PAL A., SINGH S.N. 2000. *Amelioration of Fly-Ash by selected Nitrogen Fixing Blue Green Algae*. Environ Contam. Toxicol., 64: 294-301.
- StatSoft, Inc. 2003. *Statistica (data analysis software system), version 6.1*. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- STEENARI B-M., KARLSSON L.G., LINDQVIST O. 1999. *Evaluation of the leaching characteristics of wood ash and the influence of ash agglomeration*. Biomass Bioenerg., 16: 119-136.
- TABATABAI M.A., BREMNER J.M. 1969. *Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphate activity*. Soil Biol. Biochem., 1: 301-310.
- TRASAR-CEPEDA C., LEIROS C., GILL-SOTRES F., SEOANE S. 1998. *Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties*. Biol. Fertil. Soils, 26: 100-106.
- WYSZKOWSKA J., KUCHARSKI J. 2004. *Aktywność biochemiczna gleby zanieczyszczonej kadmem*. Rocz. Glebozn., 5(2): 527-538.
- WYSZKOWSKA J., KUCHARSKI J., JASTRZEBSKA E., ZABOROWSKA M. 2004. *Rola wapnowania i szczepienia nitraginą w przywracaniu równowagi biochemicznej gleby zanieczyszczonej chromem (IV)*. J. Elementol., 9(4): 857-867.
- YRJÄLÄ K., KATAINEN R., JURGENS G., SAARELA U., SAANO A., ROMANTSCHUK M., FRITZE H. 2004. *Wood ash fertilization alters the forest humus Archaea community*. Soil Biol. Biochem., 36: 199-201.
- ZIMMERMANN S., FREY B. 2002. *Soil respiration and microbial properties in an amid forest soil: effects of wood ash*. Soil Biol. Biochem., 34: 1727-1737.

**Ewa Jastrzębska, Jan Kucharski**

#### **AKTYWNOŚĆ ENZYMATYCZNA GLEBY ZANIECZYSZCZONEJ POPIOŁEM DRZEWNYM**

Słowa kluczowe: enzymy glebowe, popiół drzewny, zanieczyszczenie gleby.

#### **Abstrakt**

Celem badań było określenie wpływu zanieczyszczenia gleby popiołem drzewnym na aktywność enzymów glebowych: dehydrogenaz, ureazy, fosfatazy kwaśnej i fosfatazy alkalicznej oraz na plonowanie jęczmienia jarego. Testowano dwa rodzaje popiołu drzewnego: popiół powstały ze zrębków sosnowych oraz popiół ze zrębków drzew mieszanych w dawkach: 0, 25, 50, 100 i 200 g·kg<sup>-1</sup>. Zastosowano 2 poziomy nawożenia mocznikiem: 100 i 200 mg N·kg<sup>-1</sup> gleby. Połowę wazonów obsiano jęczmieniem jarym, a pozostałą część pozostawiono nieobsianą. Zanieczyszczenie gleby popiołem drzewnym miało negatywny wpływ na aktywność dehydrogenaz i fosfatazy kwaśnej oraz na plonowanie jęczmienia jarego, a pozytywny na aktywność ureazy i fosfatazy alkalicznej w glebie nieobsianej jęczmieniem jarym. Silniejsze było oddziaływanie popiołu drewna mieszanego niż popiołu sosnowego.

---

**ATIVITY OF ENZYMES IN SOIL CONTAMINATED WITH WOOD ASH**

Key words: soil enzymes, wood ash, soil contamination.

Abstract

The aim of the experiment was to determine the effect of soil contamination with wood ash on activity of dehydrogenases, urease, acid and alkaline phosphatases and the yield of spring barley. Two kinds of ash were tested: pine tree ash and mixed tree ash in the dose: 0, 25, 50, 100 i 200 g·kg<sup>-1</sup>. Two doses of urea fertilization were applied: 100 and 200 mg N·kg<sup>-1</sup> of soil. Half of the pots were sown with spring barley and the others were left unsown.

Soil contamination with wood ash had a negative effect on the activity of dehydrogenases, acid phosphatase and yield of spring barley, but it produced a beneficial effect of the activity of alkaline phosphatase in unsown soil. Mixed tree ash had a stronger effect than pine tree ash.