

Grażyna Olszowska¹

Ocena aktywności biochemicznej gleb leśnych w różnych typach siedliskowych terenów górskich

Evaluation of biochemical activity in soils of different mountain forest site types

Abstract. The rate of biochemical reactions and the microbiological status of soils in spruce stands was determined in different mountain forest site types between 2005–2007. Plots included mixed coniferous mountain forest site type (BMG) and mixed deciduous mountain forest site type (LMG), each with stands of *Picea abies* representing age classes I, II and III. In addition, similar measurements were made in deciduous mountain forest site type (LG) with stands in age classes I and II.

Soils of the LG and LMG forest site types were characterized by higher fertility, richer basic nutrients and larger sorption complex with alkalines than soil representing BMG. Values of these parameters were clearly associated with stand quality, particularly for the mountain forest site type. The microbiological status of the soil was dependent on site fertility and stand quality. The proportion of C_{mic} in C_{org} and intensity of organic matter mineralization were significantly higher on the richer LG and LMG sites than on BMG. Stands of poorer quality with a higher metabolic quotient (q_{CO_2}), related to a lower efficiency of microbial growth, resulting in a depletion of available nutrition in the soils. Enzyme activities (urease, asparaginase, acid phosphatase and dehydrogenases) depended on site quality and were significantly lower in BMG compared to LG and generally became lower with a decrease in stand quality. A significant correlation between microbial biomass, intensity of carbon mineralization and activity of enzymes and chemical properties of soil was found. This correlation between values of the forest site types fertility indicator (F) and stand quality for BMG, LMG and LG justifies the use of these measurements for diagnostics of mountain sites.

Key words: soil biological activity, forest site type, stand quality, fertility indicator

1. Wstęp

Drobnoustroje glebowe są jednym z głównych czynników determinujących żyzność gleb (Jenkinson et al. 1981, McGill et al. 1986). Poprzez udział w procesach mineralizacji materii organicznej zapewniają one stały dopływ składników pokarmowych do gleby, a ponadto ich biomasa stanowi magazyn i źródło pokarmu dla roślin (Parkinson 1979, Zak et al. 1990). W siedliskoznawstwie podstawowym kryterium żyzności gleby są jej właściwości fizyczne i chemiczne. Nie uwzględnia się natomiast bezpośrednio aktywności drobnoustrojów, których rola w kształtowaniu się właściwości fizyko-

chemicznych gleb jest znacząca (Elliott et al. 1996, Shouten et al. 2000).

Właściwe określenie typu siedliskowego lasu, jego zasobności i potencjalnej zdolności produkcyjnej, pozwala na optymalny dobór składu gatunkowego drzewostanu, co wpływa na prawidłowy przebieg procesów glebowych, a tym samym zapobiega degradacji siedlisk. Sikorska (1999) oraz Kliczkowska i Bruchwald (2000) podają, że wskaźnikiem produktywności siedlisk może być bonitacja drzewostanu, bowiem wraz z korzystniejszymi warunkami siedliskowymi, wzrasta wysokość drzewostanów.

¹ Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Siedliskoznawstwa, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn, Fax +48 227150539, e-mail: G.Olszowska@ibles.waw.pl

W wielu publikacjach naukowych (np. Gliński et al. 1983, Koper et Piotrowska 1999a, Myśków et al. 1981, 1996) wykazano, że badania aktywności biologicznej gleb mogą być wykorzystane do oceny żyzności gleb rolnych, natomiast w praktyce leśnej nie znalazły one szerszego zastosowania. Większość z proponowanych dotychczas wskaźników biologicznych ma ograniczone zastosowanie, np. do oceny wpływu nawożenia, zanieczyszczeń przemysłowych lub sposobu uprawy gleby (Balicka 1986, Koper et Piotrowska 1999b, Olszowska 1998, 1999); nie odzwierciedlają one natomiast stanu siedliska, tj. jego żyzności i produktywności. Zasady diagnozowania siedlisk leśnych określono na podstawie roślinności runa leśnego, składu gatunkowego drzewostanu, jakości drzew w drzewostanie, natomiast gleba według Brożka (2007) jest w nich ujęta nieczytelnie i niekonsekwentnie, wręcz marginalnie w stosunku do roślinności. Parametry mikrobiologiczne, które uważa się za dobry wskaźnik jakości gleb (Nielsen et Winding 2002), nie znalazły dotąd szerszego zastosowania w diagnostyce gleb leśnych.

Celem prowadzonych badań było oznaczenie intensywności przemian biochemicznych i stanu mikrobiologicznego gleb w drzewostanach mieszanych z przewagą świerka pospolitego (*Picea abies*) różnej bonitacji drzew, na siedliskach boru mieszanego górskiego (BMG), lasu mieszanego górskiego (LMG) i lasu górskiego (LG), oraz określenie możliwości wykorzystania aktywności biochemicznej gleb w szczegółowej diagnostyce stanu siedlisk leśnych na terenach górskich.

2. Teren badań

Do badań wybrano powierzchnie usytuowane w nadleśnictwach: Ustroń, Jeleśnia i Bielsko. Lasy omawianych nadleśnictw położone są w VIII Krainie Karpackiej, Dzielnicy Beskidu Śląskiego i Małego, z wyjątkiem części południowej nadleśnictw Bielsko i Ustroń, które leżą w V Krainie Śląskiej, Dzielnicy Kędzierzyńsko-Rybnickiej (Tramplera et al. 1990a, b; Operat glebowo-siedliskowy RDLP w Katowicach dla Nadleśnictwa Bielsko, stan na 1.01.1993 r., Kraków 1993; Operat glebowo-siedliskowy RDLP w Katowicach dla Nadleśnictwa Jeleśnia, stan na 1.01.1998 r., Kraków 1999; Operat glebowo-siedliskowy RDLP w Katowicach dla Nadleśnictwa Ustroń, stan na 31.03.1998 r., Kraków 1999).

Prace badawcze prowadzono na 25 powierzchniach położonych na wysokości od 420 do 1200 m n.p.m., reprezentujących siedliska górskie: BMG, LMG z drzewostanami I, II i III klasy bonitacji i LG z drzewostanami I, II klasy (tab. 1). Gatunkiem dominującym w badanych drzewostanach był świerk pospolity (*Picea abies*) w

wiek 50–94 lat, z domieszką buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*), jodły pospolitej (*Abies alba*), brzozy brodawkowatej (*Betula pendula*), modrzewia (*Larix decidua*) oraz sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*).

Gleby na badanych powierzchniach zostały zaklasyfikowane do typu brunatnych (BR), podtypu brunatnych kwaśnych (BRk) i brunatnych bielcowych (BRb), wytworzonych z glin, ilów a także z piasków gliniastych, utworów pyłowych z próchnicą typu moder oraz typu gleb bielcowych (B), podtypu bielcowych właściwych (Bw), wytworzonych ze zwietrzliny skał bezwęglanowych, granitów, gnejsów, kwarcytów i piaskowców z próchnicą typu mor lub moder-mor (tab. 1) (Operat glebowo-siedliskowy RDLP w Katowicach dla nadleśnictwa Bielsko i Ustroń 1993, 1998; Plan Urządzenia RDLP w Katowicach dla Nadleśnictwa Jeleśnia 2007).

3. Metodyka badań

Badania glebowe wykonano w latach 2005–2007. Do analiz chemicznych oraz pomiarów aktywności biologicznej gleb pobierano próbki zbiorcze z 10 punktów równomiernie rozmieszczonych na każdej powierzchni, z poziomu organicznego (Ofh) i próchnicznego (A).

Oznaczenia właściwości chemicznych oraz aktywności enzymatycznej gleb wykonano w powietrze suchych próbach glebowych przesianych przez sito o średnicy oczek 2 mm. Zawartości wymiennych kationów zasadowych (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) oznaczono po ekstrakcji gleby 1-molowym octanem amonu metodą absorpcji atomowej. Z sumy kationów zasadowych S i kwasowości hydrolitycznej H_h – oznaczonej metodą Kappena, obliczono pojemność sorpcyjną gleb T , a następnie stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami ($V\%$). Zawartości węgla organicznego (C_{org}) oznaczono za pomocą analizatora Leco SC-132, zawartości azotu całkowitego ($N_{\text{całk}}$) metodą Kjeldahla, zawartości fosforu przyswajalnego (P_2O_5) metodą Egnera-Riehma, a pH gleby – metodą potencjometryczną w 1-molowym KCl i w H_2O , gdzie stosunek gleby do roztworu wynosił 1 : 2,5 (Kowalkowski et al. 1973, Ostrowska et al. 1991).

Badania enzymatyczne obejmowały pomiar aktywności 4 enzymów:

- ureazy i asparaginazy, które oznaczono metodą kolorymetryczną, wyrażając ich aktywność w mg NH_3 na 10 g gleby (Galstjan 1978),
- fosfatazy kwaśnej, oznaczanej metodą kolorymetryczną, w mg PNP (4-nitrofenylofosforanu sodu na 10 g gleby (Russel 1972)
- dehydrogenaz, oznaczanych metodą kolorymetryczną, w mg TPF (trójfenyloformazanu) na 10 g gleby (Galstjan 1978, Russel 1972).

Tabela 1. Charakterystyka powierzchni badawczych

Table 1. Characteristics of research plots

Typ siedliskowy lasu Forest site type*	Bonitacja drzewostanu Stand quality	Nadleśnictwo Forest district	Leśnictwo Forest sub-district	Oddział pododdział Compartment	Wiek drzewostanu Stand age	Wysokość m n.p.m. Altitude, m a.s.l.	Typ i podtyp gleb Soil type	
BMG	I	Bielsko	Czyrna	152 b	69	780–900	bielicowe właściwe podzolic soil	
			Salmopol	177 b	64	780–1080		
	II	Bielsko	Bystra	63 g	94	680–790	brunatne kw. bielicowe acid brown podzolic soil	
			Salmopol	64 b	59	720–790		
	III	Bielsko	Bystra	172 d	74	720–1060	bielicowe właściwe podzolic soil	
			Czyrna	176 j	69	780–1020		
LMG	I	Ustroń	Dobka	41 f	89	520–715	brunatne kw. bielicowe acid brown podzolic soil	
			Bielsko	42 g	79	495–705		
	II	Ustroń	Bystra	67 a	69	420–560	brunatne kw. bielicowe acid brown podzolic soil	
			Straconka	56 b	79	580–760		
	III	Bielsko	Leśnica	134 a	74	540–730	brunatne kw. bielicowe acid brown podzolic soil	
			Skalite	134 b	69	540–730		
	III	Bielsko	Skalite	132 d	64	560–860	brunatne kw. bielicowe acid brown podzolic soil	
			Jeleśnia	86 a	82	775–850		
	LG	I	Ustroń	Czantoria	88 a	87	775–825	brunatne kwaśne acid brown soil
					57 a	69	475–700	
				66 c	69	510–730		
II		Jeleśnia	Dzięgielów	71 f	49	500–625	brunatne kwaśne acid brown soil	
				82 a	64	610–730		
			Kocierz Rychwałdzki	16 a	82	700–755		
II	Ustroń	Czantoria	61 c	79	500–675	brunatne kwaśne acid brown soil		
			70 a	74	525–625			
			74 a	79	625–850			

* BMG – coniferous mixed mountain forest, LMG – deciduous mixed mountain forest, LG – deciduous mountain forest

Stan mikrobiologiczny gleb badanych powierzchni oceniono na podstawie pomiarów biomasy drobnoustrojów (C_{mic}), intensywności mineralizacji substancji organicznej oraz oznaczeń wartości ilorazu metabolicznego drobnoustrojów (qCO_2). Do analiz wykorzystano świeżo pobrane próbki glebowe z poziomu organicznego Ofh i próchnicznego A, które następnie przesiano przez sito o średnicy 4 mm.

Biomasa drobnoustrojów oznaczano metodą indukowanej substratem respiracji (Anderson et Domsch 1978). Intensywność mineralizacji substancji organicz-

nej mierzono w warunkach laboratoryjnych (temp. 22°C), określając ilość uwalnianego CO_2 w przeliczeniu na g C_{org} w ciągu godziny. Pomiaru uwalnianego CO_2 , niezbędne do oznaczeń biomasy drobnoustrojów i intensywności mineralizacji, wykonano na chromatografie gazowym Perkin Elmer – Clarus 500 (Zwoliński 2005). Do obliczeń ilorazu metabolicznego drobnoustrojów $qCO_2 = \mu gC-CO_2 \times mgC_{mic}^{-1} \times h^{-1}$ wykorzystano wyniki oznaczeń biomasy drobnoustrojów i intensywności mineralizacji substancji organicznej (Anderson et Domsch 1993).

Na podstawie analizy wyników pomiarów biochemicznych i mikrobiologicznych wytypowano wskaźniki aktywności biologicznej gleby, które wykorzystano do obliczenia biologicznego wskaźnika żyzności siedlisk leśnych, korzystając z modelu zaproponowanego przez Myśkowska i in. (1996).

Obliczenia statystyczne przeprowadzono przy pomocy programu statystycznego Statistica 5.0. Do oceny związków parametrów glebowych (chemicznych i biologicznych) z typem siedliska i bonitacją drzew zastosowano analizę wariancji wieloczynnikowej i test Tukey'a. Sprawdzono założenia analizy regresji przy poziomie istotności $p \leq 0,05$, po uprzednim przeprowadzeniu wykładniczej transformaty ($y = \ln x$) wyników badań.

4. Wyniki badań

Właściwości chemiczne gleb

Odczyn gleb na wszystkich powierzchniach, niezależnie od siedliska, był silnie kwaśny, przy czym poziom Ofh charakteryzował się niższym pH niż poziom A. Średnia ważona wartości pH w 1M KCl i w H₂O dla badanych poziomów gleb (Ofh i A) istotnie malała ($p < 0,001$) wraz z pogarszaniem się żyzności siedlisk: z 3,2 (KCl) i 3,8 (H₂O) w LG do 2,9 (KCl) i 3,6 (H₂O) w BMG (tab. 2). Na siedlisku LMG wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanów istotnie ($p < 0,05$) spadało pH badanych gleb.

Gleby badanych typów siedliskowych lasu różniły się zawartością węgla organicznego. Stwierdzono istotną zależność pomiędzy zawartością węgla organicznego a bonitacją drzew w badanych typach siedliskowych. Istotnie ($p < 0,01$) bardziej zasobne w ten pierwiastek były gleby z drzewostanami III klasy bonitacji niż I klasy w BMG i LMG oraz II klasy bonitacji niż I klasy w LG (tab. 2).

Różnice w zawartości azotu pomiędzy glebami badanych typów siedliskowych były niewielkie. Istotnie więcej azotu ($p < 0,05$) notowano na siedlisku BMG niż w LMG i LG. Stwierdzono również istotną ($p < 0,05$) zależność pomiędzy zawartością azotu całkowitego w glebie a bonitacją drzew na siedliskach LMG i BMG. Na obu siedliskach więcej azotu stwierdzono w glebach III klasy bonitacyjnej niż w I klasie. Proporcja C/N nie różniła się istotnie pomiędzy glebami badanych siedlisk a jej wysokość 23–25 wskazuje na słaby rozkład ściółki leśnej.

Zawartość fosforu przyswajalnego (P₂O₅) w glebie była wyższa na siedliskach BMG i LMG niż LG. Stwierdzono istotną ($p < 0,05$) zależność pomiędzy zawartością fosforu przyswajalnego a bonitacją drzew na badanych siedliskach, więcej tego pierwiastka stwierdzono w glebach III klasy bonitacyjnej drzew niż w I klasie bonitacyjnej.

Suma kationów zasadowych S była zależna od jakości siedliska. Średnia ważona dla badanych poziomów Ofh i A zmniejszała się istotnie ($p < 0,05$) wraz z pogorszeniem jakości siedlisk i wynosiła: 2,6 cmol/kg w LG, 2,4 cmol/kg – w LMG i 1,6 cmol/kg – w BMG. Na siedliskach lasowych górskich (LG i LMG) suma kationów zasadowych wykazywała tendencję spadkową wraz

Tabela 2. Właściwości chemiczne w poziomach Ofh+A gleb (średnia ważona z lat 2005–2007)

Table 2. Chemical properties in Ofh+A soil horizons (average from 2005–2007)

Typ siedliskowy lasu Forest site type*	Bonitacja drzewostanu Stand quality	pH _{KCL}		pH _{H2O}		C _{org.} %		N _{całk.} %		C/N	P ₂ O ₅ , mg/100g	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ		\bar{x}	σ
BMG	I	2,99	±0,04	3,61	±0,03	11,76	±0,39	0,511	±0,02	23	2,91	±0,57
	II	2,89	±0,03	3,53	±0,02	11,76	±0,66	0,471	±0,03	25	3,92	±0,62
	III	2,88	±0,05	3,53	±0,04	16,02	±1,57	0,690	±0,10	23	3,45	±0,55
\bar{x} BMG	<i>n</i> =24	2,91	±0,02	3,56	±0,02	12,82	±0,63	0,536	±0,03	24	3,55	±0,37
LMG	I	3,77	±0,04	3,77	±0,04	9,37	±0,34	0,373	±0,04	25	2,64	±0,42
	II	3,15	±0,04	3,76	±0,04	10,07	±0,66	0,418	±0,02	24	2,27	±0,29
	III	2,97	±0,04	3,63	±0,05	11,47	±1,43	0,472	±0,08	24	4,97	±1,99
\bar{x} LMG	<i>n</i> =27	3,09	±0,03	3,72	±0,03	10,31	±0,54	0,421	±0,03	24	3,93	±0,78
LG	I	3,25	±0,05	3,84	±0,06	9,36	±1,00	0,412	±0,05	23	2,22	±0,42
	II	3,15	±0,07	3,75	±0,07	11,08	±1,13	0,452	±0,04	25	3,05	±0,40
\bar{x} LG	<i>n</i> =24	3,20	±0,04	3,80	±0,05	10,22	±0,76	0,432	±0,03	24	2,63	±0,30

* BMG – coniferous mixed mountain forest, LMG – deciduous mixed mountain forest, LG – deciduous mountain forest

ze spadkiem bonitacji, a na siedlisku BMG obserwowano tendencję odwrotną – wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanów wartość sumy kationów zasadowych gleb wzrastała, lecz różnice nie były statystycznie istotne.

Gleby na siedlisku BMG charakteryzowały się istotnie wyższą ($p < 0,05$) kwasowością hydrolityczną H_h niż gleby na siedlisku LG i LMG. W BMG istotnie wyższa ($p < 0,05$) niż w LG i LMG była także pojemność sorpcyjna gleb T . Poza tym, na siedlisku BMG i LMG wartości H_h i T były istotnie wyższe ($p < 0,05$) w glebach III klasy bonitacyjnej niż w I klasie bonitacyjnej drzewostanów. Wraz z pogarszaniem się jakości siedlisk istotnie malało ($p < 0,001$) wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami ($V\%$), które wynosiło odpowiednio 6,16% w LG, 5,38% w LMG i 2,96% w BMG. Na siedlisku LMG wartość V wykazywała istotną ($p < 0,05$) tendencję spadkową wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanów.

Aktywność enzymatyczna gleb

Aktywność enzymów była ściśle związana z zawartością substancji organicznej, stąd wyższa ich aktywność w poziomie Ofh niż w poziomie A badanych gleb (ryc. 1). Ze względu na duże zróżnicowanie gleb pod względem zawartości substancji organicznej oraz miąższości poszczególnych poziomów, wyniki oznaczeń aktywności enzymów glebowych przedstawiono w przeliczeniu na 1 gram C_{org} (tab. 3).

Aktywność ureazy, enzymu katalizującego przemianę związków azotowych, była zróżnicowana na poszczególnych powierzchniach. Średnia aktywność tego enzymu była wyższa na siedlisku LG (6,5 mg $NH_3/g C_{org}$) niż w LMG (6,0 mg $NH_3/g C_{org}$) i w BMG (6,4 mg NH_3/g

C_{org}), lecz obserwowane różnice nie były statystycznie istotne. Aktywność ureazy wykazywała istotną ($p < 0,05$) tendencję spadkową wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanów jedynie na siedlisku BMG z 7,3 mg $NH_3/g C_{org}$ w I klasie do 6,7 mg $NH_3/g C_{org}$ w II klasie i 4,7 mg $NH_3/g C_{org}$ w klasie III. Na siedliskach LMG i LG notowano wzrost aktywności tego enzymu wraz ze wzrostem klas bonitacyjnych drzewostanów.

Stwierdzono istotną ($p < 0,05$) zależność aktywności asparaginazy od żywności siedliska, była ona wyższa na siedliskach lasowych i wyniosła 4,3 mg $NH_3/g C_{org}$ w LMG i LG niż borowych – 3,5 mg $NH_3/g C_{org}$. Średnia aktywność tego enzymu istotnie ($p < 0,05$) zmniejszała się wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanu w BMG z 3,8 mg $NH_3/g C_{org}$ (I klasa) do 3,4 mg $NH_3/g C_{org}$ (III klasa) i w LMG z 4,9 mg $NH_3/g C_{org}$ (I klasa) do 4,0 mg $NH_3/g C_{org}$ (III klasa).

Gleby badanych siedlisk nie różniły się istotnie pod względem aktywności fosfatazy kwaśnej, która była nieznacznie niższa na siedlisku BMG (2,3 mg PNP/g C_{org}) niż w LMG (2,6 mg PNP/g C_{org}) i w LMG (2,7 mg PNP/g C_{org}). Aktywność fosfatazy kwaśnej malała wraz z pogarszaniem się bonitacji drzewostanu w BMG – z 2,6 mg PNP/g C_{org} w I klasie do 2,1 mg PNP/g C_{org} w III klasie oraz w LG – z 2,9 mg PNP/g C_{org} w I klasie do 2,5 mg PNP/g C_{org} w II klasie, natomiast na siedlisku LMG wzrastała wraz z pogarszaniem się bonitacji z 2,3 mg PNP/g C_{org} w I klasie do 2,6 mg PNP/g C_{org} w III klasie, przy czym różnice te nie były statystycznie istotne.

Aktywność dehydrogenaz była istotnie zależna od jakości siedliska ($p < 0,05$) i wyniosła 1,1 mg TPF/g C_{org} w LG, 0,9 mg TPF/g C_{org} w LMG i 0,7 mg TPF/g C_{org} w BMG. Na siedliskach LMG i BMG stwierdzono ponadto

Kompleks sorpcyjny / Sorption complex [cmol(+) \times kg ⁻¹]														V, %	
Na		K		Ca		Mg		S		Hh		T		\bar{x}	σ
\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ		
0,10	$\pm 0,04$	0,22	$\pm 0,01$	0,75	$\pm 0,13$	0,29	$\pm 0,02$	1,36	$\pm 0,17$	40,58	$\pm 1,49$	41,95	$\pm 1,62$	2,62	$\pm 0,21$
0,10	$\pm 0,02$	0,24	$\pm 0,01$	0,76	$\pm 0,10$	0,29	$\pm 0,02$	1,39	$\pm 0,12$	43,84	$\pm 2,13$	45,23	$\pm 2,22$	2,58	$\pm 0,15$
0,12	$\pm 0,03$	0,27	$\pm 0,03$	1,21	$\pm 0,18$	0,35	$\pm 0,03$	1,94	$\pm 0,20$	51,02	$\pm 4,14$	52,96	$\pm 4,25$	3,17	$\pm 0,28$
0,10	$\pm 0,01$	0,24	$\pm 0,01$	0,95	$\pm 0,08$	0,30	$\pm 0,01$	1,59	$\pm 0,10$	42,83	$\pm 1,76$	44,42	$\pm 1,83$	2,99	$\pm 0,12$
0,08	$\pm 0,02$	0,22	$\pm 0,01$	2,10	$\pm 0,27$	0,39	$\pm 0,02$	2,79	$\pm 0,30$	33,05	$\pm 1,02$	35,84	$\pm 1,15$	6,67	$\pm 0,82$
0,09	$\pm 0,03$	0,22	$\pm 0,01$	1,53	$\pm 0,30$	0,34	$\pm 0,01$	2,20	$\pm 0,29$	35,34	$\pm 1,84$	37,54	$\pm 1,75$	5,02	$\pm 1,22$
0,10	$\pm 0,02$	0,28	$\pm 0,05$	1,47	$\pm 0,27$	0,36	$\pm 0,05$	2,22	$\pm 0,37$	39,93	$\pm 3,70$	42,15	$\pm 3,90$	4,40	$\pm 0,67$
0,09	$\pm 0,01$	0,24	$\pm 0,02$	1,70	$\pm 0,17$	0,37	$\pm 0,02$	2,40	$\pm 0,19$	36,11	$\pm 1,47$	38,51	$\pm 1,51$	5,36	$\pm 0,55$
0,06	$\pm 0,01$	0,23	$\pm 0,02$	1,98	$\pm 0,22$	0,37	$\pm 0,02$	2,64	$\pm 0,24$	35,75	$\pm 2,72$	38,39	$\pm 2,68$	6,45	$\pm 1,02$
0,13	$\pm 0,04$	0,25	$\pm 0,01$	1,78	$\pm 0,20$	0,36	$\pm 0,02$	2,52	$\pm 0,21$	35,85	$\pm 3,18$	38,36	$\pm 3,08$	6,59	$\pm 1,41$
0,10	$\pm 0,02$	0,24	$\pm 0,01$	1,88	$\pm 0,15$	0,37	$\pm 0,01$	2,58	$\pm 0,16$	35,80	$\pm 2,05$	38,38	$\pm 2,00$	6,52	$\pm 0,85$

obniżenie aktywności dehydrogenaz wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanu istotne ($p < 0,05$) jedynie w BMG z 0,8 mg TPF/1g C_{org} w I klasie do 0,5 mg TPF/g C_{org} w III klasie. W LG notowano wzrost aktywności tego enzymu wraz ze wzrostem klas bonitacyjnych.

Stan mikrobiologiczny gleb

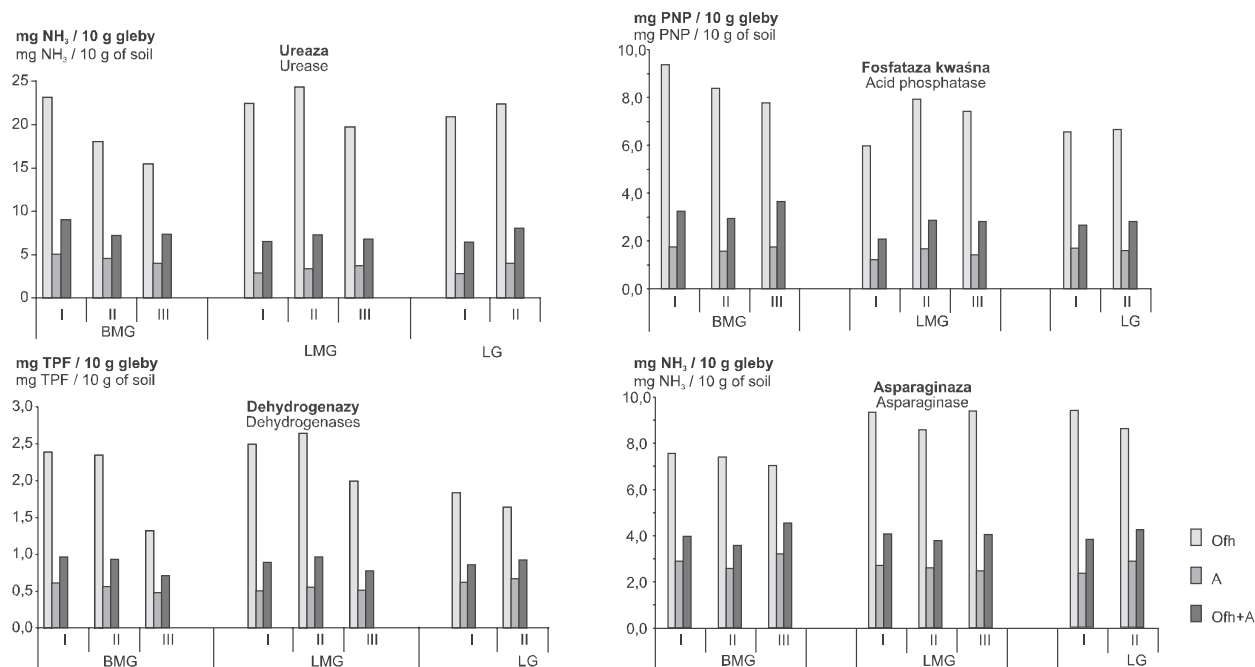
Na wszystkich powierzchniach intensywność mineralizacji substancji organicznej oraz biomasa drobnoustrojów były kilkakrotnie wyższe w poziomie organicznym (Ofh) niż w poziomie próchnicznym (A). Zawiera on bowiem znacznie więcej węgla organicznego, stanowiącego substrat niezbędny dla rozwoju drobnoustrojów.

Ilość wydzielonego CO_2 , wskazująca na potencjalną aktywność drobnoustrojów w procesie mineralizacji węgla, była zróżnicowana na poszczególnych powierzchniach (tab. 4). Intensywność tego procesu była istotnie wyższa ($p < 0,05$) na siedlisku LG ($40 \mu l CO_2 \times g C_{org}^{-1} \times h^{-1}$) niż na siedlisku LMG ($38 \mu l CO_2 \times g C_{org}^{-1} \times h^{-1}$) i BMG ($33 \mu l CO_2 \times g C_{org}^{-1} \times h^{-1}$). Tempo tego procesu wzrastało wraz ze spadkiem bonitacji na wszystkich badanych siedliskach, obserwowane różnice nie były istotne statystycznie.

Ze względu na duże zróżnicowanie gleb pod względem zawartości substancji organicznej oraz miąższości poszczególnych poziomów, wyniki oznaczeń biomasy drobnoustrojów glebowych przedstawiono w przeliczeniu na gram C_{org} oraz na jednostkę powierzchni ($kg C_{mic} \times ha^{-1}$),

co pozwala na bardziej miarodajną ocenę stanu mikrobiologicznego gleb niż wyniki wyrażone w jednostkach wagowych gleby (Federer et al. 1993, Aikio et al. 2000). Udział biomasy drobnoustrojów w węglu organicznym gleb ($\% C_{mic}$ w C_{org}) był w ciągu całego okresu badań wyższy na siedlisku LG (0,69%) niż w BMG (0,57%). Stwierdzono ponadto wyższy udział procentowy C_{mic} w C_{org} pod drzewostanami klasy I niż II i III klasy bonitacyjnej na wszystkich badanych siedliskach. Obserwowane różnice procentowej zawartości C_{mic} w C_{org} pomiędzy siedliskami i klasami bonitacyjnymi nie były istotne statystycznie. Badane siedliska nie różniły się także istotnie pod względem wielkości biomasy drobnoustrojów ($kg C_{mic} \times ha^{-1}$). Stwierdzono natomiast jej spadek wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanów na wszystkich badanych siedliskach. Był on istotny ($p < 0,05$) w LMG (z $197 kg C_{mic} \times ha^{-1}$ w I klasie do $163 kg C_{mic} \times ha^{-1}$ w III klasie) i w BMG (z $187 kg C_{mic} \times ha^{-1}$ w I klasie do $174 kg C_{mic} \times ha^{-1}$ w III klasie bonitacyjnej), a nieistotny statystycznie w LG (z $168 kg C_{mic} \times ha^{-1}$ w I klasie do $159 kg C_{mic} \times ha^{-1}$ w II klasie).

Specyficzne tempo respiracji biomasy drobnoustrojów, wyrażone ilorazem metabolicznym (qCO_2), było zbliżone na wszystkich siedliskach, nieznacznie przekraczając $3 mg C-CO_2 \times mg C_{mic}^{-1} \times h^{-1}$ (średnia ważona dla poziomów Ofh i A). Wyraźny związek pomiędzy qCO_2 a bonitacją stwierdzono na siedlisku BMG i LG, przejawiający się istotnym wzrostem wartości ilorazu metabolicznego wraz ze spadkiem bonitacji ($p < 0,05$) –



Rycina 1. Aktywność enzymatyczna gleb siedlisk górskich (I, II, III – bonitacja drzewostanu)

Figure 1. Enzymatic activity of mountain soil (I, II, III – class of stand quality), BMG – coniferous mixed mountain forest, LMG – deciduous mixed mountain forest, LG – deciduous mountain forest

z 2,7 $\mu\text{g C-CO}_2 \times \text{mg C}_{\text{mic}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$ w I klasie do 3,3 $\text{mg C-CO}_2 \times \text{mg C}_{\text{mic}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$ w III klasie (BMG), a w LG z 2,9 $\text{mg C-CO}_2 \times \text{mg C}_{\text{mic}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$ (I klasa) do 3,6 $\text{mg C-CO}_2 \times \text{mg C}_{\text{mic}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$ (II klasa). Wyższa wartość $q\text{CO}_2$ świadczy o mniejszej wydajności wzrostu drobnoustrojów.

Biologiczny wskaźnik żyzności siedlisk leśnych

Zależność pomiędzy aktywnością biologiczną gleb i właściwościami chemicznymi określono na podstawie współczynników korelacji. Stwierdzono istotne korelacje aktywności enzymatycznej i mikrobiologicznej z pH w KCl i H_2O , sumą kationów zasadowych S i udziałem kationów zasadowych w kompleksie sorpcyjnym V (tab. 5). Wyraźny związek tych parametrów przemawia za możliwością obliczenia biologicznego wskaźnika

Tabela 3. Aktywność enzymatyczna w poziomach Ofh+A gleb (średnia ważona z lat 2005–2007)

Table 3. Enzymatic activity in soil horizons Ofh+A (average from 2005–2007)

Typ siedliskowy lasu Forest site type*	Bonitacja drzewostanu Stand quality	Ureaza Urease		Asparaginaza Asparaginase		Fosfataza kwaśna Acid phosphatase		Dehydrogenazy Dehydrogenases	
		mgNH ₃ /g C _{org.}		mgNH ₃ /g C _{org.}		mg PNP/g C _{org.}		mg TPF/g C _{org.}	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
BMG	I	7,30	±1,26	3,75	±0,26	2,57	±0,27	0,83	±0,11
	II	6,70	±1,15	3,42	±0,26	2,27	±0,19	0,77	±0,10
	III	4,68	±0,64	3,35	±0,23	2,12	±0,20	0,48	±0,10
\bar{x} BMG	$n=24$	6,35	±0,67	3,48	±0,15	2,31	±0,13	0,71	±0,07
LMG	I	5,73	±0,84	4,85	±0,30	2,29	±0,28	0,95	±0,08
	II	5,98	±0,70	4,15	±0,29	2,88	±0,21	0,99	±0,17
	III	6,38	±1,11	3,96	±0,28	2,59	±0,28	0,85	±0,13
\bar{x} LMG	$n=27$	6,03	±0,52	4,32	±0,19	2,59	±0,16	0,93	±0,08
LG	I	5,60	±1,11	4,10	±0,27	2,87	±0,26	0,97	±0,09
	II	7,41	±1,16	4,53	±0,23	2,54	±0,25	1,13	±0,19
\bar{x} LG	$n=24$	6,51	±0,79	4,32	±0,43	2,71	±0,17	1,05	±0,10

* BMG – coniferous mixed mountain forest, LMG – deciduous mixed mountain forest, LG – deciduous mountain forest

Tabela 4. Stan mikrobiologiczny w poziomach Ofh+A gleb (średnia ważona z lat 2005–2007)

Table 4. Microbiological status in soil horizons Ofh+A (average from 2005–2007)

Typ siedliskowy lasu Forest site type*	Bonitacja drzewostanu Stand quality	Mineralizacja C Mineralization		Biomasa drobnoustrojów Microbial biomass				$q\text{CO}_2$ $\mu\text{g C-CO}_2 \times \text{mg C}_{\text{mic}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$	
		$\mu\text{l CO}_2 \times \text{g C}_{\text{org}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$		$\text{C}_{\text{mic}} : \text{C}_{\text{org}}, \%$		$\text{kg C}_{\text{mic}} \times \text{ha}^{-1}$			
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
BMG	I	29,78	±2,98	0,58	±0,04	187,57	±17,95	2,74	±0,26
	II	35,17	±2,33	0,59	±0,01	171,49	±12,08	3,24	±0,20
	III	31,55	±2,37	0,53	±0,01	174,55	±21,30	3,31	±0,29
\bar{x} BMG	$n=24$	32,92	±1,52	0,57	±0,02	177,87	±8,89	3,10	±0,14
LMG	I	33,32	±3,88	0,77	±0,05	197,03	±13,60	3,22	±0,20
	II	39,29	±2,35	0,67	±0,04	162,98	±17,50	2,71	±0,12
	III	42,33	±3,87	0,60	±0,06	168,82	±19,32	3,50	±0,21
\bar{x} LMG	$n=27$	38,31	±2,05	0,68	±0,03	176,28	±9,86	3,14	±0,12
LG	I	37,61	±1,72	0,71	±0,03	168,93	±9,52	2,86	±0,12
	II	42,98	±4,56	0,67	±0,05	159,03	±10,15	3,63	±0,41
\bar{x} LG	$n=24$	40,30	±2,45	0,69	±0,03	163,98	±6,88	3,24	±0,23

* BMG – coniferous mixed mountain forest, LMG – deciduous mixed mountain forest, LG – deciduous mountain forest

Tabela 5. Korelacja (r_{yx}) pomiędzy parametrami chemicznymi (x) a biologicznymi (y) gleb ($n=75$)Table 5. Correlation (r_{yx}) between soil chemical (x) and biological (y) parameters ($n=75$)

x	y							
	Dehydrogenazy Dehydrogenases	Ureaza Urease	Asparaginaza Asparaginase	Fosfatasa kwaśna Acid phosphatase	Intensywność mineralizacji C Rate of mineralization	Biomasa Biomass		Iloraz metaboliczny Metabolic quotient
						$C_{mic} \times ha^{-1}$, kg	$C_{mic} : C_{org}$, %	
Suma kationów zasadowych Sum of alcalic cations	0,780	0,640	0,740	0,760	0,730	0,330	0,620	0,680
Kwasowość hydrolityczna Hydrolitic acidity	-0,190	-0,180	0,130	0,170	-0,330	-0,160	-0,270	-0,380
Pojemność sorpcyjna Sorpton capacity	-0,120	-0,120	0,200	0,250	-0,260	-0,130	-0,210	-0,320
Udział kationów zasadowych w kompleksie sorpcyjnym (%) Share of alcalic cations in sorption complex (%)	0,750	0,640	0,560	0,600	0,780	0,410	0,640	0,740
pH _{KCl}	0,530	0,450	0,330	0,290	0,535	0,260	0,540	0,670
pH _{H2O}	0,600	0,440	0,300	0,280	0,530	0,250	0,590	0,610
C _{org} (%)	-0,150	-0,080	0,210	0,230	-0,260	-0,080	-0,224	-0,340
N _{org} (%)	-0,190	-0,180	0,100	0,210	-0,240	-0,300	-0,300	0,360

Pogrubioną czcionką oznaczono wartości r_{yx} istotne statystycznie ($p < 0,05$) r_{xy} value statistically significant are marked in bold type ($p < 0,05$)**Tabela 6. Wartości biologicznego wskaźnika żyzności siedlisk F obliczonego przy uwzględnieniu różnych parametrów biologicznych M**

Table 6. Biological values of the fertility indicator (F) calculated taking into account different biological parameters (M)

Typ siedliskowy lasu Forest site type*	Bonitacja drzewostanu Stand quality	$F = \sqrt{M^2 + S^2 + V^2}$							
		Wskaźnik aktywności biologicznej / Index of biological activity (M)							
		Dehydrogenazy Dehydrogenases	Ureaza Urease	Asparaginaza Asparaginase	Fosfatasa kwaśna Acide phosphatase	Intensywność mineralizacji C Rate of mineralization	Biomasa drobnoustrojów Microbial biomass		Iloraz metaboliczny Metabolic quotient
						$C_{mic} \times ha^{-1}$, kg	$C_{mic} : C_{org}$, %		
BMG	I	3,85	4,26	4,51	4,03	3,35	5,02	4,48	4,46
	II	3,79	3,78	4,26	3,87	3,98	4,70	5,42	4,56
	III	3,57	4,06	5,38	4,79	3,94	4,95	5,57	4,52
\bar{x} BMG		3,74	4,03	4,71	4,23	3,76	4,89	5,16	4,51
LMG	I	4,97	4,86	5,78	4,60	5,15	5,70	6,37	5,79
	II	4,54	4,38	4,96	4,48	4,81	5,73	5,29	6,17
	III	4,00	4,12	5,14	4,42	4,98	5,17	6,14	5,52
\bar{x} LMG		4,51	4,46	5,29	4,50	4,98	5,53	5,93	5,83
LG	I	5,05	4,90	5,78	5,19	5,47	5,90	6,05	6,45
	II	4,95	5,16	5,86	5,00	5,52	5,48	6,61	5,99

żywności siedlisk F , z wykorzystaniem parametrów chemicznych odzwierciedlających zasobność gleb w składniki pokarmowe, oraz parametrów określających aktywność biologiczną gleb. Do oznaczeń wartości F , zmodyfikowano metodę Myśkowska i in. (1996), korzystając z równania:

$$F = \sqrt{M^2 + S^2 + V^2}$$

gdzie:

M – aktywność biologiczna gleb,

S – suma kationów zasadowych,

V – stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami.

Do powyższego równania wstawiano standaryzowane wyniki analiz chemicznych i pomiarów aktywności biologicznej (w jednostkach odchylenia standardowego), przyjmując jako M jeden z testowanych parametrów (wymienne), a mianowicie: aktywność enzymów dehydrogenaz (D), ureazy (U), asparaginazy (A) i fosfatazy kwaśnej (P-kw), biomasę drobnoustrojów ($\text{kg } C_{\text{mic}} \times \text{ha}^{-1}$) i jej udział w węglu organicznym ($\%C_{\text{mic}} \text{ w } C_{\text{org}}$), tempo mineralizacji węgla ($\mu\text{l CO}_2 \times \text{g } C_{\text{org}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$) oraz iloraz metaboliczny drobnoustrojów ($q\text{CO}_2$).

Wartości wskaźnika F dla badanych powierzchni przedstawiono w tabeli 6. Niezależnie od zastosowanego w równaniu parametru biologicznego, wskaźnik F był wyższy na siedliskach żyźniejszych, tj. w LG i LMG, niż w BMG, przy czym związek F z jakością siedlisk wykazywał różny poziom istotności, w zależności od przyjętego w miejsce M parametru: – dla dehydrogenazy – $p < 0,01$, ureazy – $p < 0,05$, asparaginazy – $p < 0,01$, fosfatazy kwaśnej – $p < 0,05$, tempa mineralizacji węgla – $p < 0,001$, biomasy drobnoustrojów – $p < 0,05$, $q\text{CO}_2$ – $p < 0,01$, $\%C_{\text{mic}} \text{ w } C_{\text{org}}$ – $p < 0,001$.

Wartość F zmniejszała się, aczkolwiek nieistotnie, wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanu na żyźniejszych siedliskach (LG i LMG). Natomiast przy wykorzystaniu do jej obliczeń dehydrogenaz, wartość wskaźnika żywności siedlisk istotnie spadała ($p < 0,05$) wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanu na wszystkich siedliskach.

5. Podsumowanie i wnioski

Żywność siedliska determinuje wzrost i potencjalne możliwości produkcyjne roślin, charakterystyczne dla poszczególnych typów gleb. Za jeden z podstawowych wskaźników żywności uważa się zapas przyswajalnych przez rośliny składników pokarmowych w glebie, z których większość dostarczana jest przez drobnoustroje glebowe w wyniku rozkładu substancji organicznej. Istotna rola drobnoustrojów glebowych w kształtowaniu żywności i urodzajności gleb leśnych jest szeroko udoku-

mentowana w zagranicznej literaturze naukowej. Szereg prac wskazuje na silną korelację między biomasa i aktywnością drobnoustrojów a produktywnością gleb (Myrland et al. 1986, Zak et al. 1994, Kurka et al. 1997). Potwierdzają to wyniki własnych badań biomasy drobnoustrojów i intensywności mineralizacji węgla, których wartości były wyższe na bogatszych siedliskach LG i LMG niż BMG. Stwierdzono również, że biomasa drobnoustrojów i intensywność mineralizacji węgla wykazywały tendencję spadkową wraz ze spadkiem bonitacji drzew na żywnym siedlisku LG. Z kolei wzrost tempa respiracji biomasy ($q\text{CO}_2$) – jaki obserwowano wraz z pogarszaniem się jakości siedliska, świadczy o mniejszej wydajności wzrostu drobnoustrojów, tzn. że proporcjonalnie większa ilość węgla organicznego wykorzystywana jest w metabolizmie energetycznym (respiracji), a mniejsza wiązana jest w biomasie. Sytuacja taka może mieć miejsce na siedliskach charakteryzujących się gorszymi, dla rozwoju drobnoustrojów, warunkami glebowymi, efektem czego może być mniejsza biomasa drobnoustrojów, a w następstwie mniejszy zapas przyswajalnych form składników pokarmowych w glebie (Killham 1985, Anderson et al. 1993).

Żywność siedlisk związana jest także z aktywnością katalizowanych przez enzymy procesów rozkładu i przemiany substancji organicznej w glebach (Gliński et al. 1983, Myśków et al. 1981, 1996, Russel et al. 1974). Wskazują na to także przeprowadzone niniejsze badania, które wykazały spadek aktywności ureazy, asparaginazy, fosfatazy kwaśnej i dehydrogenazy wraz ze spadkiem żywności siedlisk leśnych. Ponadto aktywność wszystkich badanych enzymów wykazywała tendencję spadkową wraz z obniżaniem się bonitacji drzewostanu na siedlisku LG, a dehydrogenazy i fosfatazy kwaśnej również w BMG. Podobne wyniki badań uzyskał w badaniach Januszek et al. (2006), który stwierdził między innymi spadek aktywności badanych enzymów glebowych wraz z ubożeniem górskich zbiorowisk roślinnych.

Mikrobiologiczne procesy mineralizacji materii organicznej gwarantują utrzymanie zapasu dostępnych składników pokarmowych niezbędnego dla rozwoju roślin, stąd uważa się, że ich aktywność ściśle wiąże się z żywnością i produktywnością gleb (Aikio et al. 2000, Zwoliński 2004). Stwierdzony w niniejszych badaniach gorszy stan mikrobiologiczny gleb, a także niższa aktywność badanych enzymów w BMG niż w LG świadczą o mniej intensywnym procesie rozkładu substancji organicznej, za czym przemawia większa w BMG zawartość węgla organicznego w glebie i postępujący jej wzrost wraz ze spadkiem bonitacji. Wyniki badań chemicznych wskazują, że zasobność gleb w podstawowe składniki odżywcze jest tam niższa niż na żyźniejszych siedliskach LG i LMG. Szereg prac wskazuje na istotną korelację pomiędzy aktywnością biologiczną a żywnością gleb (np. Leiros et al. 2000, Zwoliński 2004), co potwier-

dzają również wyniki niniejszych badań świadczące o wyraźnej zależności stanu mikrobiologicznego i aktywności enzymatycznej od właściwości chemicznych gleb. Stwierdzone niskie wartości współczynników korelacji, aczkolwiek istotne statystycznie, świadczą o tym, że inne czynniki, takie jak: skład granulometryczny, jakość substancji organicznej, czy warunki klimatyczne wpływają na badane parametry biochemiczne i mikrobiologiczne gleb (Bauchus et al. 1998, Côte et al. 2000). Dużą zmienność aktywności enzymatycznej gleb związaną z sezonowymi zmianami a także z typem próchnicy w glebach leśnych Beskidu Zachodniego stwierdził też Januszek (1993).

Za miarodajny wskaźnik żyzności siedlisk uważa się właściwości gleb, charakteryzowane m. in. składem chemicznym, stanem mikrobiologicznym i aktywnością enzymatyczną (Burns 1982, Nielsen et Winding 2002, Zaguralskaja 1998). Zastosowany biologiczny wskaźnik żyzności gleby był wykorzystywany wcześniej do oceny jakości gleb rolnych, gdzie jego wartości wykazywały istotną korelację z plonami kukurydzy i ziemniaków (Myśków et al. 1996). W przeprowadzonych badaniach wskaźnik żyzności siedlisk leśnych F przyjmował niższe wartości na siedlisku uboższym BMG niż LMG i LG, a prawidłowość ta występowała niezależnie od tego, który z parametrów aktywności biologicznej: dehydrogenazy, ureazy, asparaginazy, fosfataza kwaśna, biomasę drobnoustrojów ($\text{kg C}_{\text{mic}} \times \text{ha}^{-1}$) i jej udział w węglu organicznym ($\% \text{C}_{\text{mic}}$ w C_{org}), tempo mineralizacji węgla ($\mu\text{l CO}_2 \times \text{g C}_{\text{org}}^{-1} \times \text{h}^{-1}$) oraz iloraz metaboliczny drobnoustrojów (qCO_2) przyjęto w obliczeniach. Zaprezentowany biologiczny wskaźnik żyzności siedlisk F , dzięki uwzględnieniu cech mikrobiologicznych odzwierciedla wpływ czynników, których nie można wyłącznie ocenić na podstawie badań właściwości chemicznych gleb.

Istotne korelacje wskaźnika żyzności siedlisk F z jakością siedlisk borowych stwierdzono również we wcześniejszych badaniach Olszowskiej i in. (2005), a także w badaniach Lasoty (2005), które uwzględniają dodatkowo głębokie poziomy mineralne gleb w siedliskach górskich. Przedstawiony w niniejszej pracy wskaźnik żyzności siedlisk może być uzupełnieniem proponowanego przez Brożka i in. (2001a, b) Indeksu Trofizmu Gleb Leśnych do waloryzacji produktywności gleb leśnych na terenach zarówno nizinnych jak i wyżynnych. Przedstawione badania dowiodły, że prawidłowa ocena stanu żyzności siedliska możliwa jest przy łącznym uwzględnieniu parametrów biologicznych i chemicznych gleb.

Wyniki wykonanych badań pozwalają na sformułowanie następujących stwierdzeń i wniosków:

1. Stan mikrobiologiczny gleb był zależny od jakości siedlisk i bonitacji drzewostanu; procentowy udział C_{mic} w C_{org} oraz intensywność mineralizacji substancji organicznej były wyraźnie wyższe na bogatszych siedliskach

LG i LMG niż BMG. Wraz z pogarszaniem się bonitacji drzewostanów wzrastała wartość ilorazu metabolicznego (qCO_2), co oznacza niższą wydajność wzrostu drobnoustrojów – skutkująca m.in. mniejszym zapasem dostępnych składników pokarmowych w glebie.

2. Aktywność badanych enzymów glebowych (ureazy, asparaginazy, fosfatazy kwaśnej i dehydrogenazy) uwarunkowana była jakością siedliska i była wyraźnie niższa w BMG niż w LG i na ogół zmniejszała się wraz ze spadkiem bonitacji drzewostanu.

3. Istotna zależność biomasy drobnoustrojów, intensywności mineralizacji węgla i aktywności enzymów od właściwości chemicznych gleb jest argumentem uzasadniającym wykorzystanie parametrów dotyczących aktywności biologicznej gleb jako wskaźników ich żyzności.

4. Stwierdzona korelacja pomiędzy wartościami biologicznego wskaźnika żyzności siedlisk leśnych F a bonitacją drzewostanu na siedliskach LG, LMG i BMG, uzasadnia przydatność tego wskaźnika przy szczegółowej diagnostyce typologicznej siedlisk leśnych, w tym siedlisk na terenach górskich.

5. Badania intensywności reakcji biochemicznych mogą być uzupełnieniem stosowanych w szczegółowej diagnostyce stanu siedlisk leśnych oznaczeń właściwości chemicznych gleb.

Literatura

- Aikio S., Väre H., Strömmer R. 2000: Soil microbial activity and biomass in the primary succession of a dry heath forest. *Soil Biology & Biochemistry*, 32: 1091–1100.
- Anderson J. P. E., Domsch K. H. 1978: A physiological method for quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 10: 215–21.
- Anderson T. H., Domsch K.H. 1993: The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as specific activity parameter to assess the effect of environment condition, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 25: 393–395.
- Balicka N. 1986: Wykorzystanie wskaźników mikrobiologicznych w analizie środowiska glebowego. *Postępy Mikrobiologii*, 25, 3/4: 289–291.
- Bauchus J., Paré D., Côte L., 1998: Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in southern boreal forest. *Soil Biology & Biochemistry*, 30: 1077–1089.
- Brożek S. 2001a: Indeks trofizmu gleb leśnych. *Acta Agraria et Silvestria*, 39: 17–33.
- Brożek S., Lasota J., Zwydak M. 2001b: Próba zastosowania indeksu trofizmu gleb leśnych do diagnozy siedlisk nizinnych i wyżynnych. *Acta Agraria et Silvestria*, 39: 35–46.
- Brożek S. 2007: Klasyfikacja siedlisk leśnych – uwagi w sprawie miejsca gleb w zasadach diagnozowania. *Sylvan*, 2: 19–25.

- Burns R. G. 1982: Enzyme activity in soil: location and a possible role on microbial ecology. *Soil Biology & Biochemistry*, 34: 423–427.
- Côte L., Brown S., Paré D., Fyles J., Bauchus J. 2000: Dynamics of carbon and nitrogen mineralization in relation to stand type, stand age and soil texture in the boreal mixed-wood. *Soil Biology & Biochemistry*, 32: 1079–1090.
- Elliott L. F., Lynch J. M., Papendick R. I. 1996: The microbial component of soil quality. [W:] *Soil Biochemistry* (eds G. Stotzky, J. M. Bollag), New York, Marcel-Dekker, 1–21.
- Federer C. A., Turcotte D. E., Smith C. T. 1993: The organic fraction – bulk density relationship and the expression of nutrient content in forest soils. *Canadian Journal of Forest Research*, 23: 1026–1032.
- Galstjan A. S. 1978: Opređenje aktivnosti fermentov počv – metodičeskie ukazania. Erevan, Dokl. Akad. Nauk Armenii SSR.
- Gliński J., Stepniewski W., Łabuda S. 1983: Pobieranie tlenu i wydzielanie dwutlenku węgla w środowisku glebowym. *Problemy Agrofizyki*, 39: 3–72.
- Januszek K. 1993: Seasonal changes of enzyme activity in mor, moder and mull humus of selected forest soils in the Western Beskid Mountains. *Folia Forestalia Polonica*, 35: 59–75.
- Januszek K., Lasota J., Fiślak A. 2006: The evaluation of quality of soils of the Carpathian lime tree forest and beech forests on the basis of some chemical and biochemical properties. *Acta Scientiarum Polonorum, Silvorum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*, 5(2): 71–87.
- Jenkinson D. S., Ladd J. N. 1981: Microbial biomass in soil: measurement and turnover. [W:] *Soil Biochemistry* (eds: E. A. Paul and J. N. Ladd), New York, Marcel Dekker, 5: 415–471.
- Killham K. 1985: A physiological determination of the impact of environment stress on the activity of microbial biomass. *Environmental Pollution*, 38: 283–294.
- Kliczkowska A., Bruchwald A. 2000: Kształtowanie się bonitacji dla drzewostanów świerkowych na terenach górskich. *Sylwan*, CXXLIV: 5–15.
- Koper J., Piotrowska A. 1999a: Biochemiczne wskaźniki żyzności gleby ukształtowane w wyniku wieloletniego nawożenia organiczno-mineralnego. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczo-Technicznej w Bydgoszczy*, 220: 151–158.
- Koper J., Piotrowska A. 1999b: Aktywność enzymatyczna gleb jako parametr jej żyzności wywołany systemem uprawy. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 467: 127–134.
- Kowalkowski A., H. Król, A. Ostrowska, S. Sytek, Z. Szczubielka. 1973. Instrukcja laboratoryjna dla pracowni gleboznawczo-nawożeniowych. Warszawa – Sękocin IBL, ss. 228.
- Kurka A. M., Starr M. 1997: Relationship between decomposition of cellulose in the soil and tree stand characteristics in natural boreal forests. *Plant and Soil*, 197: 167–175.
- Lasota J. 2005: Biochemiczny wskaźnik żyzności górskich gleb leśnych. *Roczniki Gleboznawcze*, 56, 3–4: 42–52.
- Leiros M. C., Trasar-Cepeda C., Seoane S., Gil-Sotres F. 2000: Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in an area of European temperature-humid zone (Galicia, NW Spain): General parameters. *Soil Biology & Biochemistry*, 32: 733–745.
- McGill W. B., Cannon K. R., Robertson J. A., Cook F. D. 1986: Dynamics of soil microbial biomass and water soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations. *Canadian Journal of Soil Science*, 66: 1–19.
- Myrold D. D., Matson P. A., Peterson D. L. 1989: Relationships between soil microbial properties and above-ground stand characteristics of conifer forests in Oregon. *Biogeochemistry*, 8: 265–281.
- Myśków W. 1981: Próby wykorzystania wskaźników aktywności mikrobiologicznej do oceny żyzności gleb. *Postępy Mikrobiologii*, 1: 173–192.
- Myśków W., Stachyra A., Zięba S., Masiak D. 1996: Aktywność biologiczna gleby jako wskaźnik jej żyzności i urodzajności. *Roczniki Gleboznawcze*, 1/2: 89–99.
- Nielsen M. N. Winding A. 2002: Microorganisms as indicators of soil health. NERI Technical Report No. 388, National Environmental Research Institute, Denmark, 82.
- Olszowska G. 1998: Wpływ pyłów kadmowo-cynkowych na aktywność wybranych enzymów glebowych. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, A, 847: 112–125.
- Olszowska G. 1999: Wpływ nawożenia mineralnego na aktywność biochemiczną gleb leśnych skażonych pyłami kadmowo-cynkowymi. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, A, 881: 52–60.
- 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., Szczubielka Z. 1991: Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Warszawa, Instytut Ochrony Środowiska, 334 s.
- Parkinson D. 1979: Aspects of the microbial ecology of forest ecosystems. [W:] *Forests: Fresh perspectives from ecosystem analysis* (ed. R. Waring). Proceedings of the 40th Annual Biology Colloquium, Oregon State University, Corvallis, 109–117.
- Russel S. 1972: Metody oznaczania enzymów glebowych. PTG Komisja Biologii Gleby. Warszawa.
- Russel S., Kobus J. 1974: Aktywność dehydrogenaz w różnych typach gleb polskich. *Prace Komisji Biologii Gleby Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego*, 12: 65–66.
- Schuten A. J., Bloem J., Didden W. A. M., Rutgers M., Siepel H., Posthuma L., Breure A. M., 2000: Development of biological indicators for soil quality. SETAC Globe July-August: 30–32.
- Sikorska E. 1999: Aktualne problemy typologii leśnej na terenach wyżynnych i górskich. *Sylwan*, 11: 89–97.
- Trampler T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A. 1990a: Regionalizacja przyrodniczo-leśna, na podstawach ekologiczno-fizjograficznych. PWRiL, Warszawa.
- Trampler T., Małosa K., Girzda A., Bąkowski J., Dmyterko E. 1990b: Siedliskowe podstawy hodowli lasu. PWRiL, Warszawa.
- Zagurskaja L. M. 1998: Biologiczieskaja aktivnost počv kak pokazatel uslovij rosta leśnych nasazdenij. *Lesovedenie*, 1: 24–29.

- Zak D. R., Grigal D. F., Gleeson S., Tilman D. 1990: Carbon and nitrogen cycling during old-field succession: constraints on plant and microbial biomass. *Biogeochemistry*, 11: 111–129.
- Zak D. R., Tilman D., Parmenter R. R., Rice C. W., Fisher F. M., Vose J., Milchanus D., Martin C. W. 1994: Plant production and soil microorganisms in late-successional ecosystems: a continental study. *Ecology*, 75: 2333–2347.
- Zwoliński J. 2004: Microbial biomass versus soil fertility in forest sites. *Polish Journal of Ecology*, 4: 553–561.
- Zwoliński J. 2005: Oznaczanie udziału grzybów i bakterii w biomacie drobnoustrojów gleb leśnych. *Leśne Prace Badawcze*, 4: 7–18.