

ZMIANY AKTYWNOŚCI ENZYMATYCZNEJ I WYBRANYCH
WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNYCH GLEB LEŚNYCH
W STREFIE DŁUGOTRWALEJ EMISJI AZOTOWEJ

Elżbieta Jolanta Bielińska, Barbara Futa

Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Akademia Rolnicza
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin, e-mail: tantal@consus.ar.lublin.pl

S t r e s z c z e n i e. Biomonitoringiem objęto gleby w zniszczonych przez emisję azotową ekosystemach leśnych Nadleśnictwa Puławy. Badania zlokalizowano na linii migracji skażonego przez emisję powietrza w III i II strefie zagrożenia lasu, w kierunku wschodnim od Zakładów Azotowych „Puławy” S.A. W niniejszej pracy prezentujemy wyniki rejestrowane w biomonitoringu gleb w roku 1998 i w roku 2002. W glebach badanych ekosystemów leśnych zaznaczyła się tendencja do wzrostu zawartości węgla organicznego i azotu ogółem. Na przestrzeni lat badań stwierdzono również wyraźny wzrost aktywności enzymatycznej gleb. Świadczy to o narastaniu zdolności samoregulacyjnej gleb i wskazuje na homeostatyczne zmiany stanu równowagi środowiska glebowego w zasięgu zanieczyszczeń przemysłowych.

S ł o w a k l u c z o w e: gleby leśne, zanieczyszczenia przemysłowe, biomonitoring

WSTĘP

Zakłady Azotowe zlokalizowano w centrum kompleksu leśnego o łącznej powierzchni 3500 ha, na prawym brzegu środkowej Wisły, w północnej części miasta Puławy (51°25' N; 21°57' E). Zakłady Azotowe „Puławy” w styczniu 1990 roku znalazły się na liście 80 przedsiębiorstw na terenie kraju, uciążliwych i degradujących środowisko, które objęte zostały szczególnym nadzorem przez Państwową Inspekcję Ochrony Środowiska. Wyjątkowo niekorzystne warunki środowiskowe zaistniały na terenach położonych na wschód od ZA, na linii migracji skażonego przez emisję powietrza [6]. W ciągu ostatnich 20 lat ubiegłego stulecia systematycznie powiększała się powierzchnia drzewostanów zaliczanych do II

(średniego) i III (silnego) stopnia zagrożenia [12]. Stopień uszkodzenia drzewostanów jest zróżnicowany. Na ogół maleje w miarę oddalania się od ZA. W bezpośrednim sąsiedztwie ZA naturalny leśny ekosystem, w efekcie procesu adaptacyjnego tamtejszej biocenozy i biotopów, został całkowicie zreorganizowany w ekosystem zaroślowo-darniowy [9]. Postępujące od 1990 zmniejszenie emisji umożliwiło samoczynne odnawianie się pionierskiej fali lasu w zaburzonym, synantropijnym ekosystemie, a w starszych drzewostanach sosnowych obserwowane są znaczne przyrosty pędów wierzchołkowych wyrastających ze zniekształconych wcześniej pod wpływem zanieczyszczeń koron [6,12]. Pomimo malejącej od kilku lat emisji przemysłowej badany ekosystem znajduje się pod stałą presją czynnika toksycznego. Powierzchnia, na której obecnie występują uszkodzenia drzewostanów jest w zasadzie stabilna i mieści się w granicach 8000-9000 ha [12].

Gleba odgrywa podstawową rolę w kształtowaniu warunków egzystencji ekosystemów leśnych. Monitoring gleb jest jednym z elementów podlegających kontroli w ramach monitoringu lasu (Strategia Leśna Unii Europejskiej – tzw. Raport Thomasa 1997). Biomonitoring z wykorzystaniem metod opartych na testach zarówno biologicznych, jak i chemicznych pozwala na kompleksową ocenę zmian jakie zachodzą w środowisku glebowym pod wpływem czynników naturalnych i antropogenicznych i ma bezpośrednie odniesienie do utrzymania stabilności ekosystemów [2]. Celem prowadzonego biomonitoringu gleb w zasięgu szkód przemysłowych jest uzyskanie informacji, które pozwolą ocenić stan środowiska glebowego w zniszczonych przez emisję azotową ekosystemach leśnych Nadleśnictwa Puławy.

MATERIAŁ I METODY

Biomonitoringiem objęto gleby w zniszczonych przez emisję azotową ekosystemach leśnych Nadleśnictwa Puławy. W skład Nadleśnictwa Puławy wchodzi następujące obręby leśne: Puławy o pow. 6539 ha, Ryki o pow. 3632 ha i Żyrzyn o pow. 5773 ha [12]. Na terenie Nadleśnictwa Puławy występują gleby bielicoziemne wytworzone z różnej miąższości piasków eolicznych, miejscami słabo gliniastych, zalegających na piaskach fluwioglacjalnych w podłożu. Piaski tworzą ciągi form wydmych i rozległe słabo faliste pokrywy eoliczne, położone na wysokości od 120 do 130 m npm [8]. Badania zlokalizowano na linii migracji skażonego przez emisję powietrza w III i II strefie zagrożenia lasu, w kierunku wschodnim od Zakładów Azotowych „Puławy” S.A., w obrębach Puławy i Żyrzyn.

Wytypowano następujące punkty badawcze:

Obręb Puławy, leśnictwo Wronów, strefa silnych (III) zniszczeń lasu:

- odległość od ZA – 0,5 km, siedlisko boru suchego (Bs), pojedyncze samosiewy brzozy brodawkowatej z pojedynczą czeremchą amerykańską, gleba biellicowo-rdzawa, porośnięta zwarta darnią trzcinnika, klasa bonitacyjna IV;
- odległość od ZA – 0,8 km, siedlisko boru suchego (Bs), pojedyncze naloty brzozy brodawkowatej z pojedynczą czeremchą amerykańską, nieudana uprawa sosnowa w brzdach, gleba biellicowo-rdzawa, zwarta darni trzcinnika i zadarniona powierzchnia, klasa bonitacyjna IV;
- odległość od ZA – 1,0 km, na południowym stoku wału wydmowego z uprawą sosnową założoną w 1994 roku i dosadzoną brzożą brodawkowatą, gleba biellicowo-rdzawa, klasa bonitacyjna IV;
- odległość od ZA – 2 km, siedlisko boru mieszanego świeżego (BMśw.), drzewostany sosnowe z dębem w drugim piętrze i w podrostach, gleba biellicowo-rdzawa, klasa bonitacyjna II;

Obręb Żyrzyn, leśnictwo Wola Osińska, strefa średnich (II) zniszczeń lasu:

- odległość od ZA – 15 km, siedlisko lasu mieszanego świeżego (LMśw.) z uprawą uwzględniającą: dąb, klon, modrzew, świerk i olchę, założoną w 1994 roku, gleba glejobelica, klasa bonitacyjna III;
- odległość od ZA – 16 km, siedlisko boru mieszanego świeżego (BMśw.), drzewostany sosnowe z dębem w drugim piętrze i w podrostach, gleba glejobelica, klasa bonitacyjna II.

Gleby w wytypowanych punktach badawczych mają następującą budowę: gleby biellicowo-rdzawe Ofh-AhE-BvBhfe-Bv-CBv-C-D, gleby glejobelice Ol-Of-Oh-Ees-BhBfegg-G.

Próbki glebowe do badań pobrano z warstwy mineralnej gleb, z głębokości 5-20 cm, w trzeciej dekadzie września 1998 i 2002 roku.

Próbki glebowe do analiz enzymatycznych i chemicznych pobierano zgodnie z zasadami określonymi w polskiej normie PN-ISO 1998 [3]. W próbkach gleby oznaczono aktywność: dehydrogenaz [14], fosfataz [13], ureazy [15] i proteazy [10] oraz następujące właściwości chemiczne: odczyn – pH w 1 mol·dcm⁻³ KCl [ISO 10390]; węgiel organiczny [ISO 14235]; azot ogółem [ISO 13878]; azot azotanowy i azot amonowy [ISO 14255].

WYNIKI

W okresie prowadzonych badań w glebach monitorowanych ekosystemów leśnych zaznaczyła się tendencja do wzrostu zawartości C_{org} i N ogółem (Tab. 1). Zawartość tych składników w glebach była zróżnicowana w zależności od badanego ekosystemu i odległości od ZA. Najmniejsze ilości C_{org} i N ogółem stwierdzono w glebie synantropijnego ekosystemu położonego najbliżej ZA (0,5 km), a największe w glebie siedliska BMśw., w odległości 16 km od ZA.

Wartości stosunku C:N w glebach badanych siedlisk leśnych w 1998 roku mieściły się w granicach od 17,1 do 22,5, a w 2002 roku od 13,4 do 15,7 (Tab. 1). Wyraźne zawężenie wartości stosunku C:N w 2002 roku w porównaniu z rokiem 1998 świadczy o wzroście tempa mineralizacji i humifikacji materii organicznej.

Zawartość $N-NH_4^+$ i $N-NO_3^-$ w glebach w 2002 roku była wyraźnie mniejsza niż w 1998 roku (Tab. 1), co wiązało się z ograniczeniem ich emisji przez ZA. Zawartość amonowej formy azotu w badanych glebach była kilkakrotnie większa niż azotanowej. Wskazuje to na przewagę procesu amonifikacji i słabo zachodzący proces nityfikacji, co uwarunkowane jest m.in. dużym zakwaszeniem gleb.

W obydwu terminach badawczych monitorowane gleby charakteryzowały się odczynem bardzo kwaśnym, z pH w 1 mol·dm⁻³ KCl od 2,6 do 3,7 (Tab. 2). Najniższe wartości pH, < 3,0, zanotowano w punktach badawczych zlokalizowanych w siedliskach Bs, w odległościach 0,5 i 0,8 km od ZA. Mogło to mieć związek zarówno z intensywnym wymywaniem Ca i Mg przez kwaśne wody opadowe, jak też z pobieraniem tych składników przez zwartą dąb rozłogowych korzeni trzcinnika.

We wszystkich punktach badawczych aktywność enzymatyczna gleby w 2002 roku była wyraźnie, statystycznie istotnie większa niż w 1998 roku (Tab. 2).

Aktywność enzymów w glebach była zróżnicowana w zależności od badanego ekosystemu i odległości od ZA. Najmniejszą aktywnością enzymatyczną cechowała się gleba synantropijnego ekosystemu położonego najbliżej ZA (0,5 km), a największą gleba siedliska BMśw., w odległości 16 km od ZA. Istotnie większą aktywność wszystkich badanych enzymów stwierdzono w glebach z siedlisk BMśw. z obrębu Puławy (odległość od ZA 2 km) i z obrębu Żyrzyn (odległość od ZA 16 km). Gatunek drzew leśnych istotnie różnicował aktywność enzymatyczną gleby.

DYSKUSJA

W warunkach nadal trwającej, aczkolwiek znacznie zmniejszonej emisji, pochodzącej z Zakładów Azotowych „Puławy” S.A. [8,9] zarejestrowany wzrost aktywności enzymatycznej badanych gleb jest wskaźnikiem narastania ich zdolności

Tabela 1. Zawartość węgla organicznego ogółem i azotu (N ogółem, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻) w glebie
Table 1. Total organic carbon and nitrogen (Total N, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻) contents in soil

Obiekt Object	Odległość od ZA Distance from ZA (km)	C _{org.} (%)		N ogółem Total N (%)		C:N		N-NH ₄ ⁺ (mg·kg ⁻¹)		N-NO ₃ ⁻ (mg·kg ⁻¹)	
		1998	2002	1998	2002	1998	2002	1998	2002	1998	2002
Obręb Puławy	0,5	0,81	1,04	0,04	0,07	20,2	14,8	88,7	54,7	18,3	10,3
Within limits of Puławy											
Średnia dla obiektu Mean for the object		0,92		0,05		17,5		71,7		14,3	
Obręb Puławy	0,8	0,89	1,07	0,04	0,07	22,2	15,3	86,5	53,4	12,6	7,1
Within limits of Puławy											
Średnia dla obiektu Mean for the object		0,98		0,05		18,7		69,9		9,8	
Obręb Puławy	1,0	0,90	1,10	0,04	0,07	22,5	15,7	99,2	76,5	33,1	18,9
Within limits of Puławy											
Średnia dla obiektu Mean for the object		1,00		0,05		19,1		87,8		26,0	
Obręb Puławy	2,0	1,15	1,28	0,06	0,09	19,1	14,2	63,3	32,6	22,7	14,2
Within limits of Puławy											
Średnia dla obiektu Mean for the object		1,21		0,07		16,6		47,9		18,4	
Obręb Żyrzyn	15,0	0,94	1,15	0,05	0,08	18,8	14,3	92,6	60,1	16,5	10,6
Within limits of Żyrzyn											
Średnia dla obiektu Mean for the object		1,04		0,06		16,5		76,3		13,5	
Obręb Żyrzyn	16,0	1,20	1,34	0,07	0,10	17,1	13,4	44,8	26,9	14,5	9,3
Within limits of Żyrzyn											
Średnia dla obiektu Mean for the object		1,27		0,08		15,2		35,8		11,9	
NIR _{0,05} dla - LSD _{0,05} for:											
Obiektu - Object		0,2		0,02		0,8		0,3		0,15	
Lat - Years		0,2		0,02		0,8		0,2		0,12	

Tabela 2. pH_{KCl} i aktywność enzymatyczna gleby
Table 2. pH_{KCl} and enzymatic activity of soil

Obiekt Object	Odległość od ZA Distance from ZA (km)	pH _{KCl}		ADh		AF		AU		AP	
		Lata - Years									
		1998	2002	1998	2002	1998	2002	1998	2002	1998	2002
Obręb Puławy Within limits of Puławy	0,5	2,6	2,7	0,74	1,28	11,7	19,8	3,12	3,53	8,3	11,3
Średnia dla obiektu Mean for the object				1,01		15,7		3,32		9,8	
Obręb Puławy Within limits of Puławy	0,8	2,8	2,8	0,80	1,34	12,2	20,5	3,44	3,89	8,6	11,9
Średnia dla obiektu Mean for the object				1,07		16,3		3,66		10,2	
Obręb Puławy Within limits of Puławy	1,0	3,0	3,0	0,82	1,41	12,5	20,9	3,65	4,02	8,9	12,0
Średnia dla obiektu Mean for the object				1,11		16,7		3,83		10,4	
Obręb Puławy Within limits of Puławy	2,0	3,0	3,1	1,08	1,98	13,1	22,4	4,17	4,51	11,8	14,6
Średnia dla obiektu Mean for the object				1,53		17,7		4,34		13,2	
Obręb Żyrzyn Within limits of Żyrzyn	15,0	3,5	3,6	0,86	1,45	12,9	21,2	3,69	4,11	9,1	12,2
Średnia dla obiektu Mean for the object				1,15		17,0		3,90		10,6	
Obręb Żyrzyn Within limits of Żyrzyn	16,0	3,6	3,7	1,24	2,21	14,6	24,3	5,12	6,30	12,7	15,8
Średnia dla obiektu Mean for the object				1,72		19,4		5,71		14,2	
NIR _{0,05} dla – LSD _{0,05} for:											
Obiektu - Object				0,15		0,8		0,5		0,8	
Lat Years				0,12		0,7		0,5		0,6	

Objaśnienia: ADh – aktywność dehydrogenaz w $\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, AF – aktywność fosfataz w $\text{mg PNP} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, AU – aktywność ureazy w $\text{mg N-NH}_4^+ \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, AP – aktywność proteazy w $\text{mg tyrosyny} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.
 Explanations: ADh – dehydrogenase activity ($\text{cm}^3 \text{H}_2 \text{kg}^{-1} \text{d}^{-1}$), AF - phosphatase activity ($\text{mmol PNP kg}^{-1} \text{h}^{-1}$), AU – urease activity ($\text{mg N-NH}_4^+ \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$), AP - protease activity ($\text{mg tyrosine g}^{-1} \text{h}^{-1}$).

samoregulacyjnej. Uzyskane wyniki, wskazujące na homeostatyczne zmiany stanu równowagi środowiska glebowego, znajdują odzwierciedlenie w obserwowanych pozytywnych zmianach komponentów ekosystemów leśnych, do których można zaliczyć między innymi odnowienia naturalne drzewostanów i runa leśnego [9,12]. Gleby będące w stanie równowagi – homeostazy, charakteryzują się ustabilizowanym składem mikrobiocenotycznym. W glebach tych działają mechanizmy samoregulacji, które są w stanie utrzymać stabilność i integralność układu ekologicznego, a nawet wytworzyć bariery ochronne przeciwko czynnikom stresowym [11]. Stymulatorami korzystnych zmian w glebach monitorowanych ekosystemów leśnych są: wzrastające zawartości C_{org} i N ogółem oraz malejące, w efekcie ograniczenia ich emisji, ilości $N-NH_4^+$ i $N-NO_3^-$. Jedną z przyczyn wzrostu zawartości C_{org} w glebach jest mikrobiologiczny i chemiczny rozkład karp po zniszczonym lesie sosnowym. W warunkach bardzo niskiego pH mikrobiologiczny rozkład drewna jest wprawdzie zwolniony, jednak powstające związki organiczne poprzez wiązanie znacznych ilości wolnego azotu zmniejszają jego zasoby migrujące w glebach [9]. Kowalkowski i in. [9] podkreślają, że nowa aktywna próchnica, pochodząca z intensywnie obecnie rozkładanych karp sosnowych, będąca pozostałością zniszczonych przed 20-30 laty monokultur sosnowych, jest regulatorem ilościowo-jakościowych składników odżywczych w wyjałowionych glebach.

Aktywność enzymatyczna badanych gleb kształtowała się na wyraźnie niższym poziomie niż aktywność enzymatyczna gleb piaszczystych w naturalnych ekosystemach leśnych [5]. Jednym z głównych czynników wpływających na osłabienie aktywności badanych enzymów w glebach było ich silne zakwaszenie (Tab. 2). Ujemny wpływ zakwaszenia gleb na aktywność enzymów został już wielokrotnie stwierdzony przez innych badaczy [4,7]. Osłabienie aktywności enzymatycznej gleby w wyniku wzrostu jej zakwaszenia jest efektem niszczenia wiązań hydrofobowych, jonowych i wodorowych w centrum aktywnym enzymatycznego białka [4].

Wobec braku wyraźnych kryteriów określających poziom aktywności biologicznej gleb, przydatność wskaźników enzymatycznych polega na informacji o mniej lub bardziej złożonych zmianach zachodzących pod wpływem czynników naturalnych i antropogenicznych. Aktywność enzymów w glebach jest dobrym wskaźnikiem ekotoksykologicznym [1,5].

WNIOSKI

1. Zarejestrowany wzrost aktywności enzymatycznej gleb w zniszczonych przez emisję azotową ekosystemach leśnych Nadleśnictwa Puławy świadczy o narastaniu zdolności samoregulacyjnej gleb i wskazuje na homeostatyczne zmiany stanu równowagi środowiska glebowego w zasięgu zanieczyszczeń przemysłowych.

2. Stymulatorami korzystnych zmian w glebach monitorowanych ekosystemów leśnych są wzrastające zawartości C_{org} i N ogółem oraz malejące, w efekcie ograniczenia ich emisji, ilości $N-NH_4^+$ i $N-NO_3^-$.

3. Jednym z głównych czynników wpływających na osłabienie aktywności enzymatycznej badanych gleb było ich silne zakwaszenie.

4. Uzyskane wyniki badań wskazują, że aktywność enzymów w glebach stanowi dobry wskaźnik określający skalę degradacji gleb oraz umożliwia rozpoznanie konsekwencji środowiskowych procesów degradacji gleb.

PIŚMIENNICTWO

1. Bielińska E.J., Domżał H.: Enzymatic activity of the soil as an indicator of environment contamination. *Acta Agrophysica*, 56, 60-72, 2001.
2. Bielińska E.J., Baran S., Domżał H.: Zastosowanie niektórych testów enzymatycznych do kompleksowego rozpoznawania zmian w środowisku glebowym. *Ogólnopolskie Symp. Naukowo-Techniczne "Bioremediacja Gruntów"*, Wisła-Bukowa, 31-40, 1998.
3. Drzymała S.: Zasady pobierania i przygotowania próbek glebowych do badań mikrobiologicznych. *Wyd. Kat. Mikrobiologii Rolnej AR w Poznaniu "Ekologiczne aspekty mikrobiologii gleby"*, Poznań, 65-71, 1998.
4. Frankenberger W.T. Jr, Johanson J.B.: Effect of pH on enzyme stability in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 14, 433-437, 1982.
5. Januszek K.: Aktywność enzymatyczna wybranych gleb leśnych Polski południowej w świetle badań polowych i laboratoryjnych. *Zesz. Nauk. AR Kraków, ser. Rozprawy*, 250, 114-117, 1999.
6. Jedliczko S.: Działalność Zakładów Azotowych "Puławy" S.A. na rzecz ochrony środowiska. W: *Kom. Nauk Leśnych PAN, "Funkcjonowanie gleb leśnych na terenach zagrożonych i trendy jego zmian"*, Puławy, 27-37, 1999.
7. Kobus J.: Biologiczne procesy a kształtowanie żyzności gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 421a, 209-219, 1995.
8. Kowalkowski A., Jedliczko S.: Degradacja gleb wytworzonych z piasków pod wpływem emisji azotowej. W: *I. Wiatr (red.) Technika i technologia w ochronie środowiska. I Forum Inżynierii Ekologicznej*, Lublin-Nałęczów, 70-83, 1996.
9. Kowalkowski A., Kopron H., Lewandowska J., Jedliczko S., Plecha R.: Możliwości przywracania funkcji leśnych w długotrwale nie zrównoważonym ekosystemie leśnym Nadleśnictwa Puławy. W: *Kom. Nauk Leśnych PAN, "Funkcjonowanie gleb leśnych na terenach zagrożonych i trendy jego zmian"*, Puławy, 49-63, 1999.
10. Ladd N., Butler J.H.A.: Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. *Soil Biol. Biochem.*, 4, 19-30, 1972.

11. **Niewiadomski W.:** Nauka o płodozmianie - stan i perspektywy. Post. Nauk Roln., 3, 127-139, 1995.
12. **Plecha R.:** Stan zdrowotny i sanitarny lasów Nadleśnictwa Puławy w strefach szkód w okresie 1996-1999 i perspektywy dalszego rozwoju. In: Kom. Nauk Leśnych PAN, "Funkcjonowanie gleb leśnych na terenach zagrożonych i trendy jego zmian", Puławy, 27-37, 1999.
13. **Tabatabai M. A., Bremner J.M.:** Use of p-nitrophenol phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biol. Biochem., 1, 301-307, 1969.
14. **Thalman A.:** Zur Methodik derestimmung der Dehydrogenase aktivität in Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). Landwirtsch. Forsch., 21, 249-258, 1968.
15. **Zantua M.I., Bremner J.M.:** Comparison of methods of assaying urease activity in soils. Soil Biol. Biochem., 7, 291-295, 1975.

CHANGES IN ENZYMATIC ACTIVITY AND SOME CHEMICAL PROPERTIES OF FOREST SOILS IN THE ZONE OF SUSTAINED EMISSION OF NITROGEN COMPOUNDS

Elżbieta Jolanta Bielińska, Barbara Futa

Institute of Soil Science and Environment Management, University of Agriculture
Leszczyńskiego str. 7, 20-069 Lublin, e-mail: tantal@consus.ar.lublin.pl

S u m m a r y. Biomonitoring covered soils polluted by nitrogen emission in Puławy forest ecosystems. The research was localised along the line of contaminated air flow, east of nitrogen fertilizer plant "Puławy". In this paper we present results of soil biomonitoring obtained in 1998 and 2002. In the researched forest ecosystems increased amounts of organic carbon and nitrogen were observed. Throughout years of testing a clear increase of enzymatic soil activity was also observed. This indicates an increased ability of soil to self-regulate also homeostatic balance changes in industry contaminated areas.

K e y w o r d s: forest soil, industry pollution, biomonitoring

