

KRYSTYNA BOJARCZUK, JACEK OLEKSYN

Rozwój jednorocznych sadzonek sosny (*Pinus sylvestris* L.) i brzozy (*Betula pendula* Roth) w zanieczyszczonych podłożach inokulowanych grzybem *Trichoderma harzianum* Rifai

Abstract

Bojarczuk K. and Oleksyn J. 1994. Development of pine (*Pinus sylvestris* L.) and birch (*Betula pendula* Roth) seedlings on polluted substrates inoculated with the fungus *Trichoderma harzianum* Rifai. Arbor. Kórnickie, 39: 163-177.

Growth and development was studied of one-year-old seedlings of Scots pine and European white birch in greenhouse conditions. Plants grown in degraded soil from Luboń (2 km from a phosphorus fertilizer factory) developed weakest root systems and shoots. The soil from Luboń, in comparison to control soil from Zwierzyniec, showed highest concentration of aluminium and highest acidity. In different soils there were no significant differences in foliage and root concentrations of such mineral elements as: N, P, Mg, Fe, S. Only seedlings grown in soil from Luboń in comparison with the control one have had highest aluminium and cadmium concentrations, especially in roots, lowest concentration of potassium in roots, and manganese and zinc in roots, stems and foliage. Inoculation of substrate with strains of *Trichoderma harzianum* antagonistic towards soil pathogens stimulated development of roots and shoots of pine and birch. Pine seedlings were more susceptible to toxic compounds in the polluted soil than birch seedlings.

Additional key words: Scots pine, European white birch, pollution, growth, soil.

Address: K. Bojarczuk and J. Oleksyn, Polish Academy of Sciences, Institute of Dendrology, Parkowa 5, 62-035 Kórnik, Poland.

Accepted for publication, February 1994.

WSTĘP

Skażenie środowiska przyczynia się do zahamowania wzrostu drzew i może prowadzić do stopniowego zamierania całych drzewostanów. Przyczyną tego jest między innymi skażenie gleby, które negatywnie wpływa na rozwój systemów korzeniowych, zwłaszcza tak długowiecznych organizmów jakimi są drzewa.

Jedną z przyczyn zatrucia gleby i stopniowej degradacji ekosystemów leśnych mogą być kwaśne opady atmosferyczne (Ulrich i in. 1980; Godbold i in. 1988). Powstają one głównie z dwutlenku siarki i tlenków azotu, które w reakcji z tlenem tworzą kwas siarkowy lub azotowy, a następnie po dysocjacji elektrolitycznej na jony SO_4^{2-} , NO_3^- i H^+ , opadają na ziemię w postaci kwaśnego deszczu.

W zdegradowanej glebie następuje akumulacja toksycznych jonów takich metali jak: glin, cynk, miedź, ołów czy kadm. Hamują one rozwój korzeni, a przy wyższych stężeniach prowadzą do powstania nekroz, lub nawet całkowitego ich zamierania (Ferlin i in. 1982; Vilka i in. 1990). Jednym z najbardziej toksycznych jonów metali jest glin, którego dostępność dla roślin wzrasta wraz z obniżeniem się pH gleby (Poovaiach 1985). Glin w warunkach alkalicznych występuje w formie anionowej (trudno rozpuszczalnej), natomiast w środowisku kwaśnym (przy pH gleby poniżej 5) przeważa jego ruchliwa forma kationowa. Tak więc głównie w kwaśnych glebach toksyczne jony glinu mogą być pobierane przez rośliny (Kinraide i in. 1985). Aktywność biologiczna glinu (rozpuszczalność i wymienialność) związana jest nie tylko z kwasowością roztworu glebowego, ale również z obecnością w niej jonów wapnia i fosforu oraz ze składem frakcji organicznej gleby (Mohr 1985; Borkowska 1988). Frakcje te mają zdolność helatowania metali i zmieniają dostępność wolnych jonów, w tym również jonów glinu. Haug (1984) podaje, że największa zawartość wolnych jonów glinu występuje przy niskim pH gleby oraz niskiej zawartości rozpuszczalnego wapnia i fosforu. Wysokie stężenie glinu w glebie prowadzi do znacznego zahamowania pobierania przez rośliny tak ważnych makro- i mikrośladników jak: wapń, fosfor, magnez, mangan i cynk, co powoduje silne ograniczenie wzrostu biomasy (Schier 1985; Keltjens i Loenen 1989).

W dotychczas prowadzonych badaniach stosunkowo rzadko uwzględniano wpływ skażenia gleby na systemy korzeniowe drzew leśnych. Poznanie efektów wpływu zanieczyszczenia środowiska na morfogenezę systemu korzeniowego może przyczynić się do lepszego poznania reakcji niektórych roślin na substancje toksyczne zawarte w glebie oraz dać odpowiedź czy istnieje możliwość częściowej ochrony roślin przed szkodliwymi czynnikami środowiska.

Celem przeprowadzonych doświadczeń było zbadanie wpływu gleby pozyskanej z miejsc o różnym stopniu skażenia na rozwój sadzonek wybranych drzew leśnych (sosny i brzozy) przy zastosowaniu nawożenia oraz inokulacji podłoża grzybem *Trichoderma harzianum* Rifai, antagonistycznym w stosunku do patogenów glebowych.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenia wykonano na jednorocznych siewkach sosny (*Pinus sylvestris* L.) i jednorocznych sadzonkach brzozy (*Betula pendula* Roth) – klonu K-03-144 wyselekcjonowanego przez L. Rachwał (Rachwał i Wit-Rzepka 1989), odpornego na zanieczyszczenia przemysłowe. Brzozę rozmnożono w kulturach *in vitro*, w celu otrzymania dużej liczby jednorodnego materiału. Rośliny wysadzono do plastikowych doniczek, stosując różne podłoża: glebę leśną z lasu doświadczalnego na Zwierzyńcu (podłoże kontrolne) i glebę skażoną z okolic Lubonia (2 km od Zakładów Nawozów Fosforowych).

Zakłady w Luboniu, skąd pobierane było skażone podłoże, powstały w 1917 roku i od tamtego czasu systematycznie rozbudowywały się powiększając produkcję nawozów fosforowych (Hernik 1987). Pierwsze urządzenia ochronne i elektrofiltry zainstalowano w nich dopiero w latach 1951-1956. Urządzenia te nie spełniały jednak swoich funkcji ze względu na częste przerwy w dostawie energii elektrycznej. Dopiero po wstrzymaniu produkcji kwasu siarkowego metodą nitrozową w 1982 roku i zaprzestaniu produkcji superfosfatu granulowanego oraz kwasu fluorowego w 1990 roku ilość emitowanych zanieczyszczeń uległa znacznemu obniżeniu.

Glebę z Lubonia i ze Zwierzyńca pozyskiwano z terenu doświadczalnych plantacji proveniencyjnej sosny (Oleksyn i Białobok 1986). Po usunięciu ściółki pobrano glebę do głębokości ok. 20 cm, a uzyskany substrakt dokładnie wymieszano. Zawartość makro- i mikrośladników w podłożach przedstawiono w tabeli 1. Podłożem tym napełniano doniczki, do których wysadzono rośliny. Doniczki z roślinami umieszczono w kuwetach, tak by stosowana do podlewania woda mogła ponownie wracać do podłoża. Sposób ten zabezpieczał również przed wypłukiwaniem z podłoża związków mineralnych. Do podłoża z Lubonia i ze Zwierzyńca inokulowano grzyb *Trichoderma harzianum* (szczep 33 otrzymany od dr M. Rudawskiej z Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku), w ilości 1 g świeżej masy grzybni na 1 litr podłoża, na 7 dni przed sadzeniem roślin. Niektóre rośliny traktowane były jednorazowo preparatem biologicznym Bioalgeen S-90 (Schulze i Hermsen GmbH, Niemcy), w ilości 3 ml l⁻¹ i nawozem wieloskładnikowym Florovit (Inco-Veritas, Polska), w ilości 15 ml l⁻¹ wody w odstępach 14-dniowych.

Doświadczenia założone były w szklarni na początku czerwca. W okresie lata rośliny cieniowano, natomiast od końca września doświetlano je lampami sodowymi. Likwidację doświadczeń przeprowadzono na początku października wykonując pomiary charakteryzujące wielkości systemu korzeniowego i części nadziemnej roślin. Przy ocenie systemu korzeniowego mierzono liczbę

i długość korzeni oraz oceniono wzrost wierzchołków korzeniowych stosując pięciostopniową skalę: 0 – korzenie, które nie rosną (brak widocznych białych wierzchołków korzeni), 1 – wzrost bardzo słaby (1-20% korzeni z białymi wierzchołkami), 2 – wzrost korzeni słaby (21-40% białych wierzchołków), 4 – wzrost znaczny (61-80% białych wierzchołków), 5 – wzrost intensywny (81-100% białych wierzchołków korzeni).

Długość korzeni obliczono według metody opisanej przez Bohma (1979) na podstawie wzoru 0.786 (współczynnik dla siatki o 1 cm oczkach) \times liczba przecięć korzeni na siatce. Przy ocenie części nadziemnej wykonano pomiary liczby i długości pędów oraz oceniono stopień nekrozy liści lub igieł w trzystopniowej skali: 0 – brak nekrozy, 1 – niewielki stopień nekrozy (21-50%), 3 – duży stopień nekrozy (powyżej 50% uszkodzeń).

Przeprowadzone zostały również analizy chemiczne zawartości przyswajalnych form makro- i mikrośladników oraz zanieczyszczeń w podłożu (NH_4 , N-NO_3 , P, K, Ca, Mg, Na, Cl, S- SO_4 , Fe, Mn, Zn, Cu, Cd i Al). Makrośladniki oznaczono w wyciągu 0.03 N CH_3COOH , a mikrośladniki w zmodyfikowanym wyciągu Lindseyya. Po ekstrakcji, N-NH_4 i N-NO_3 oznaczono na elektrodach jonoselektywnych, P – kolorymetrycznie z wanado-molibdenianem amonu, K, Ca i Na – fotometrycznie, chlorki i siarczany – nefelometrycznie, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Cd – metodą spektroskopii absorpcji atomowej (AAS) i Al – kolorymetrycznie z wykorzystaniem aluminonu. Analizy podłoża wykonano na początku i na końcu doświadczenia.

Pod koniec doświadczenia (w październiku) analizowano również zawartość składników w roślinach, oznaczając ogólne formy: N – metodą Kjeldahla, P – kolorymetrycznie z molibdenianem amonu, oraz K, Ca, S, Mg, Fe, Mn, Zn, Cd i Al tymi samymi metodami jak w analizie podłoża. Oznaczenia wykonano w Katedrze Nawożenia Roślin Ogrodniczych Akademii Rolniczej w Poznaniu.

Wszystkie doświadczenia założone były w układzie losowym w 3 lub 4 powtórzeniach, po 5 lub 6 roślin w jednym bloku. Przy badaniu istotności różnic pomiędzy poszczególnymi kombinacjami zastosowano nowy wielokrotny test rozstępu Duncana dla 5% wartości granicznych.

WYNIKI

Gleba w terenie zanieczyszczonym charakteryzowała się znacznie większą kwasowością niż w terenie kontrolnym (pH gleby w Luboniu 4.2 a na Zwierzyńcu 5.8). Podłoże z Lubonia charakteryzowało się, w porównaniu do podłoża ze Zwierzyńca, znacznie większą zawartością rozpuszczalnego Al i mniejszą zawartością N-NH_4 , N-NO_3 , P, K, Ca i Mg (tab. 1).

Tabela 1

Zawartość makro- i mikrośladników oraz zanieczyszczeń w podłożach o różnym stopniu skażenia (formy przyswajalne w mg dm^{-3}). Analizy wykonano w momencie zakładania doświadczenia. L – substrat pobrany z zasięgu oddziaływania Zakładów Nawozów Fosforowych w Luboniu; Z – z terenu kontrolnego w Leśnictwie Doświadczalnym Zwierzyńiec.

Table 1

Concentration of macro- and microelements (soluble forms, mg dm^{-3}) in control and polluted substrates at the beginning of the experiment. L – substrate from vicinity of the Phosphate Fertilizer Plant in Luboń; Z – substrate from the control site in the Experimental Forest in Zwierzyńiec.

Składniki mineralne Mineral elements	Podłoże zanieczyszczone (L) Polluted substrate (L)	Podłoże kontrolne (Z) Control substrate (Z)
N-NH ₄	3.5	10.5
N-NO ₃	0.9	8.2
P	11.4	36.4
K	16.1	76.8
Ca	62.3	400.2
Mg	5.6	28.5
Na	10.8	20.4
Fe	107.2	97.2
Mn	6.4	25.6
Zn	2.0	2.8
Cu	0.6	0.5
Cd	0.04	0.04
S-SO ₄	43.6	31.5
Al	109.0	34.3
Stężenie soli Salt concentration	0.06	0.15
pH	4.2	5.8

Sadzonki sosny i brzozy rosnące w skażonym podłożu z Lubonia wytworzyły słabszy system korzeniowy (tab. 2). Rośliny te miały mniejszą liczbę korzeni, które były krótsze i charakteryzowały się słabym wzrostem, w porównaniu do roślin rosnących w podłożu kontrolnym (ze Zwierzyńca). Gorszy wzrost systemu korzeniowego roślin rosnących w podłożu z Lubonia uwidocznił się również w niższych wartościach suchej masy korzenia (tab. 2).

Zdecydowanie najlepszy wzrost systemu korzeniowego badanych roślin uzyskano w podłożu ze Zwierzyńca (tab. 2). Podłoże to pozyskano z powierzchni doświadczalnej na której rosły kilkunastoletnie drzewa sosny charakteryzujące się znacznie lepszym wzrostem, niż drzewa rosnące w Luboniu (Oleksyn i in. 1992).

Dobry rozwój systemu korzeniowego roślin związany jest zazwyczaj z intensywnym wzrostem jej części nadziemnej. Ta zależność szczególnie wyraźnie uwidoczniła się w bardzo dobrym wzroście siewek sosny w podłożu ze Zwierzyńca, które miały niższy stopień nekroz oraz wyższe wartości suchej

Tabela 2

Rozwój systemu korzeniowego sosny (*P. sylvestris*) i brzozy (*B. pendula*) w podłożach z terenu zanieczyszczonego (Lubon, L) i kontrolnego (Zwierzyńiec, Z) przy zastosowaniu grzyba antagonicznego *Trichoderma harzianum* (T) i nawożenia (N).

Table 2

Development of pine (*P. sylvestris*) and birch (*B. pendula*) roots in substrates with different levels of pollution and treated with the antagonistic fungus *Trichoderma harzianum* (T) and fertilizers (N).

Other details as in Table 1.

Podłoże Substrate	Liczba korzeni Number of roots	Długość korzeni* (cm) Root length*	Wzrost korzeni** Root growth index**	Sucha masa korzeni (g) Root dry mass
<i>Pinus sylvestris</i>				
Zanieczyszczone (L)	3.3a***	76a	1.1a	0.31ab
Kontrolne (Z)	5.5d	102b	2.4c	0.47c
L+T	4.9c	156c	2.5c	0.46bc
Z+T	4.3bc	77a	1.0a	0.29a
L+T+N	4.1b	110b	1.8b	0.37abc
Z+T+N	3.9ab	110b	1.7b	0.36abc
Średnia Average	4.3	105	1.7	0.38
<i>Betula pendula</i>				
Zanieczyszczone (L)	7.6abc	111a	2.8ab	0.27b
Kontrolne (Z)	12.0d	184cd	3.5c	0.45d
L+T	8.4bc	191d	3.3bc	0.46d
Z+T	9.0c	130ab	3.1abc	0.35c
L+T+N	6.6ab	153bcd	2.9abc	0.23a
Z+T+N	6.2a	141abc	2.6a	0.19a
Średnia Average	8.3	152	3.0	0.32

* według skali Bohma (1979).

** wzrost wierzchołków w skali 0÷5.

*** liczby oznaczone tą samą literą nie różnią się między sobą statystycznie ($P=0.05$).

* according to Bohm's (1979) scale.

** root tips growth in 0÷5 scale.

*** values indicated by the same letter are not significantly different with a confidence level of $P=0.05$ as determined by the new multiple range test *D*.

masy igieł, w porównaniu do roślin rosnących w zdegradowanym podłożu z Lubonia (tab. 3).

Sadzonki brzozy rosnące w podłożu z Lubonia charakteryzowały się słabszym wzrostem pędów i miały niższe wartości suchej masy pędów i liści, niż sadzonki uprawiane w podłożu ze Zwierzyńca (tab. 4).

Tabela 3
Rozwój części nadziemnej sadzonek sosny (*P. sylvestris*) w podłożach z terenu zanieczyszczonego (Luboń, L) i kontrolnego (Zwierzyńiec, Z) przy zastosowaniu grzyba antagonistycznego *Trichoderma harzianum* (T) i nawożenia (N).

Table 3
Development of pine (*P. sylvestris*) above ground parts in substrates with different levels of pollution and treated with the antagonistic fungus *Trichoderma harzianum* (T) and fertilizers (N).
Other details same as in Table 1.

Podłoże Substrate	Liczba pędów Number of shoots	Długość pędów (cm) Shoot length*	Nekrozy (0÷3) Necroses (0÷3)	Sucha masa igieł (g) Needle fresh mass (g)	Sucha masa pędów (g) Shoot dry mass (g)
Zanieczyszczone (L)	1.4a*	14.5a	2.4c	0.8a	0.4a
Kontrolne (Z)	2.4b	17.7b	1.5b	1.2b	0.4a
L+T	1.7a	15.1ab	0.9a	1.1b	0.5a
Z+T	1.7a	14.3a	1.6b	0.8a	0.4a
L+T+N	1.3a	13.5a	1.5b	0.8a	0.4a
Z+T+N	1.4a	13.7a	1.9bc	0.9ab	0.4a
Średnia Average	1.6	14.8	1.6	0.9	0.4

* liczby oznaczone tą samą literą nie różnią się między sobą statystycznie ($P=0.05$).

* values indicated by the same letter are not significantly different with a confidence level of $P=0.05$ as determined by the new multiple range test *D*.

Tabela 4
Rozwój części nadziemnej sadzonek brzozy (*B. pendula*) w podłożach z terenu zanieczyszczonego (Luboń, L) i kontrolnego (Zwierzyńiec, Z) przy zastosowaniu grzyba antagonistycznego *Trichoderma harzianum* (T) i nawożenia (N).

Table 4
Development of birch (*B. pendula*) above ground parts in substrates with different levels of pollution and treated with the antagonistic fungus *Trichoderma harzianum* (T) and fertilizers (N).
Other details same as in Table 1.

Podłoże Substrate	Liczba pędów Number of shoots	Długość pędów (cm) Shoot length*	Liczba liści Number of leaves	Sucha masa pędów i liści (g) Shoot and leaf dry mass
Zanieczyszczone (L)	0.85a	11.7a	4.3ab	0.39a
Kontrolne (Z)	0.95a	16.3b	6.0b	0.59b
L+T	1.00a	16.1b	4.6ab	0.54b
Z+T	1.00a	16.9b	4.3ab	0.39a
L+T+N	1.00a	15.9b	3.4ab	0.35a
Z+T+N	0.80a	14.1ab	2.9a	0.34a
Średnia Average	0.93	15.2	4.2	0.43

* liczby oznaczone tą samą literą nie różnią się między sobą statystycznie ($P=0.05$).

* values indicated by the same letter are not significantly different with a confidence level of $P=0.05$ as determined by the new multiple range test *D*.

Zastosowanie do podłoża grzyba *Trichoderma harzianum* wpłynęło stymulująco na rozwój systemu korzeniowego roślin, zwłaszcza siewek sosny rosnących w podłożu z Lubonia (tab. 2, oraz ryc. 1). Rośliny te odznaczały się równocześnie dobrym wzrostem części nadziemnej (tab. 3 i 4). Siewki sosny miały mniej nekroz oraz charakteryzowały się wyższą suchą masą igieł, w porównaniu do roślin rosnących w podłożu z Lubonia i nie inokulowanym grzybem *T. harzianum* (tab. 3).

Nawożenie roślin uprawianych w podłożach z dodatkiem grzyba *T. harzianum* nie wpłynęło stymulująco na ich rozwój, a w przypadku sadzonek uprawianych w podłożu z Lubonia nieznacznie nawet zahamowało ich wzrost (tab. 2-4).

Tabela 5

Zawartość niektórych makro- i mikrośladników w sadzonkach sosny po 4 miesiącach uprawy w podłożu o różnym stopniu skażenia. K, Mg i Ca w % na suchą masę, pozostałe w ppm, śl. – ilości śladowe.

Table 5

Concentrations of selected macro- and microelements in plants cultivated for 4 months in polluted and control soils. K, Mg and Ca in % of dry mass, other in ppm, śl. – trace concentrations.

Składniki mineralne Mineral elements		Rośliny uprawiane w podłożu Plants cultivated in substrate	
		zanieczyszczonym (L) polluted (L)	kontrolnym (Z) control (Z)
W igłach In foliage	K	0.830	0.860
	Mg	0.150	0.170
	Ca	0.960	0.780
	Mn	141.1	219.1
	Zn	182.6	214.5
	Cd	0.31	śl.
	Al	1637.0	866.0
W pędach In shoots	K	0.330	0.200
	Mg	0.099	0.135
	Ca	0.540	0.330
	Mn	46.4	87.2
	Zn	82.6	124.2
	Cd	0.40	śl.
	Al	1637.0	864.0
W korzeniach In roots	K	0.060	0.220
	Mg	0.133	0.195
	Ca	0.860	0.700
	Mn	96.5	185.3
	Zn	144.0	482.3
	Cd	3.16	0.40
	Al	4304.0	1236.0

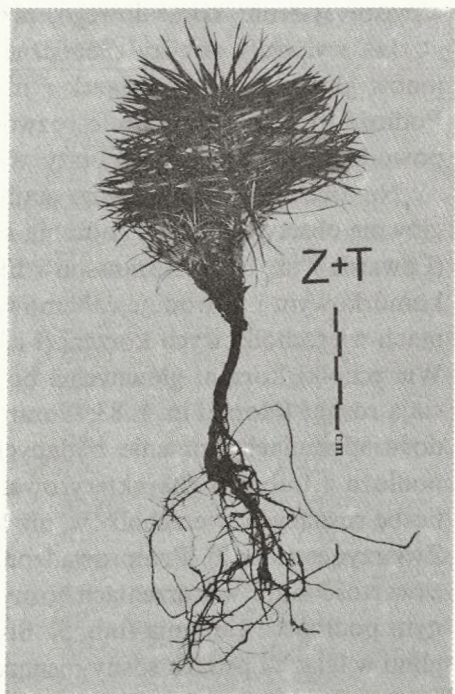
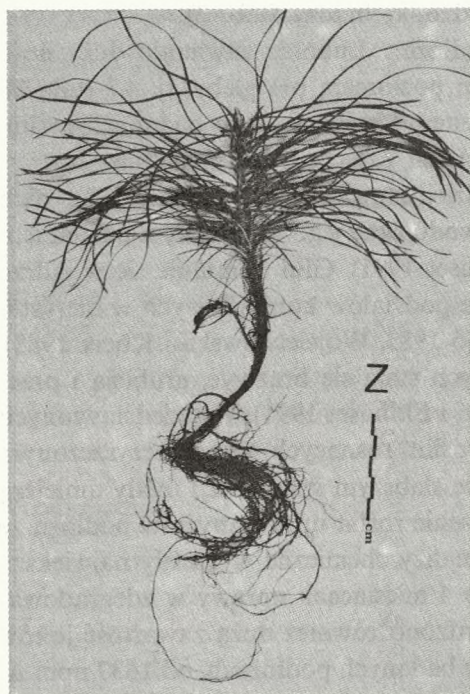
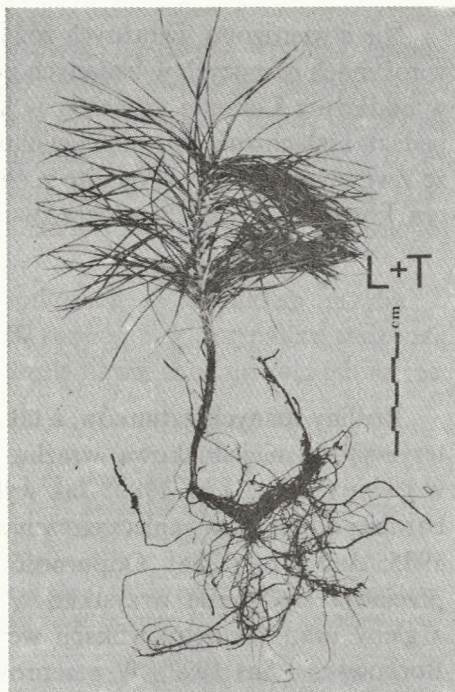
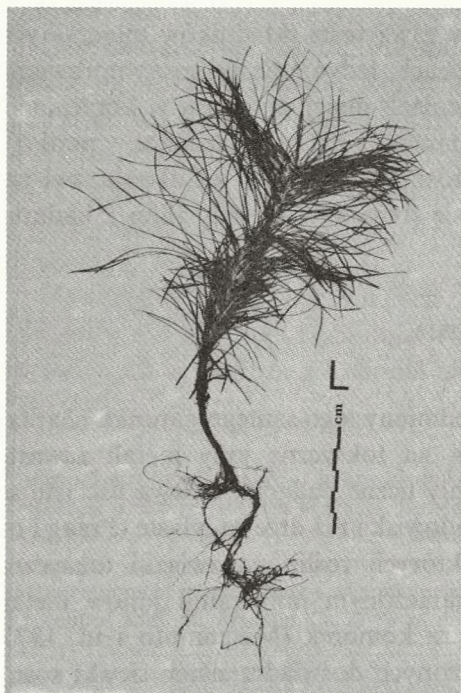
Nie stwierdzono wyraźnych różnic w zawartości składników mineralnych w roślinach rosnących w badanych podłożach. Jedynie siewki sosny uprawiane w podłożu z Lubonia zawierały w korzeniach mniej potasu, a w korzeniach, pędach i igłach znacznie mniej cynku i manganu, niż sosny rosnące w podłożu ze Zwierzyńca (tab. 5). Ponadto rośliny rosnące w podłożu z Lubonia, zwłaszcza korzenie sosny, charakteryzowały się dużą zawartością glinu i kadmu.

DYSKUSJA

Rośliny różnych gatunków, a także odmiany tego samego gatunku charakteryzują się niejednakową wrażliwością na toksyczne jony metali zawarte w glebie (Steiner i in. 1980). Jak wykazały liczne badania, drzewa liściaste są bardziej odporne na zanieczyszczenie środowiska niż drzewa iglaste (Praag i in. 1985; Asp i in. 1988). Odporność niektórych roślin na związki toksyczne przejawia się przede wszystkim w ograniczonym pobieraniu jonów metali z gleby oraz ich detoksyfikacji wewnątrz komórek (Matsumoto i in. 1977; Borkowska i Sas 1992). W przeprowadzonych doświadczeniach siewki sosny silniej reagowały na zanieczyszczone podłoże z Lubonia, ograniczeniem wzrostu systemu korzeniowego, niż sadzonki brzozy (tab. 2).

Jak wykazały analizy chemiczne podłoże z Lubonia zawierało dużą ilość jonów glinu, co miało związek z niskim poziomem pH gleby, tj. 4.2 (tab. 1). Podłoże to silnie ograniczało rozwój systemu korzeniowego badanych roślin, powodując równocześnie gorszy wzrost ich części nadziemnej (tab. 2-4).

Na obecność jonów glinu najbardziej narażone są korzenie i na nich głównie obserwuje się uszkodzenia spowodowane jego toksycznym działaniem (Edwards i in. 1976; Göransson i Eldhuset 1991). Glin kumuluje się w jądrze komórkowym i powoduje zahamowanie podziałów komórkowych w merystemach wierzchołkowych korzeni (Fiskesjö 1983; Wojciechowska i Kocik 1983). Wierzchołki korzeni głównych i bocznych stają się brązowe, grubieją i przestają rosnąć (Horst i in. 1983; Göransson i Eldhuset 1991). W przedstawionych doświadczeniach korzenie badanych roślin rosnących w zanieczyszczonym podłożu z Lubonia charakteryzowały się słabszym wzrostem i miały mniejszą liczbę rosnących wierzchołków, niż korzenie roślin uprawianych w podłożu ze Zwierzyńca (tab. 2). Przeprowadzone analizy chemiczne wykazały największą zawartość glinu w korzeniach sosny po 4 miesiącach uprawy w zdegradowanym podłożu z Lubonia (tab. 5). Stwierdzono również dużą zawartość jonów glinu w igłach i pędach sosny rosnącej w badanych podłożach, od 1637 ppm Al



w podłożu z Lubonia do 866 ppm Al w podłożu ze Zwierzyńca (tab. 5). Z wykonanych przez nas ostatnio pomiarów zależności między zawartością glinu w igłach i natężeniem wymiany gazowej wynika, że przy zawartości Al > 650 ppm można spodziewać się u sosny zwyczajnej ograniczenia fotosyntezy, zwiększenia oddychania igieł i zmniejszenia wartości stosunku fotosyntezy do oddychania (Reich i in. 1994).

Na podstawie analiz stwierdzono, że badane podłoża różniły się znacznie zawartością składników mineralnych (tab. 1). W podłożu z Lubonia znajdowało się mniej makro- i mikrośladników, a jednocześnie zawierało ono więcej jonów glinu w porównaniu z podłożem ze Zwierzyńca. W przeprowadzonych doświadczeniach siewki sosny uprawiane w zdegradowanej glebie z Lubonia zawierały w korzeniach mniej potasu, a w korzeniach, pędach i igłach znacznie mniej cynku i manganu, w porównaniu do roślin rosnących w podłożu ze Zwierzyńca (tab. 5). Spowodowane to było przypuszczalnie obecnością w glebie toksycznych jonów glinu, które hamują pobieranie niektórych związków mineralnych, takich jak: magnez, mangan, cynk i azot (Edwards i Horton 1977). Obniżenie zawartości potasu w wierzchołkach korzeni roślin rosnących w podłożach o dużej zawartości glinu obserwowali również Wagatsuma i in. (1987).

Mikroorganizmy gleby obligatoryjnie związane są z drzewami leśnymi i prawdopodobnie podlegają również ujemnemu działaniu kwaśnych deszczów i jonów glinu. Jednocześnie uważa się, że niektóre mikroorganizmy, takie jak grzyby mikoryzowe czy grzyby antagonistyczne, spełniają ważną funkcję ochronną drzew leśnych przed skutkami nadmiernego skażenia środowiska (Entry i in. 1987; Wilkins i Hodson 1989). Grzyb *Trichoderma harzianum* występuje dość powszechnie w środowisku leśnym. Jak stwierdzono na podstawie badań ryzosfery glebowej, występuje on o wiele rzadziej w skażonym środowisku w Luboniu, niż na plantacji doświadczalnej na Zwierzyńcu (K. Przybył, wyniki niepublikowane). W przeprowadzonych doświadczeniach grzyb antagonistyczny *T. harzianum* dodany do zdegradowanego podłoża z Lubonia, stymulował rozwój korzeni i pędów zarówno brzozy, jak i sosny (tab. 2-4, ryc. 1). Inokulowanie grzyba *T. harzianum* do gleby z Lubonia prawdopodobnie wzbogaciło to podłoże o biologiczny czynnik ochraniający

←

Ryc. 1. Wpływ podłoża o różnym stopniu skażenia oraz grzyba antagonistycznego *Trichoderma harzianum* na rozwój siewek *Pinus sylvestris*. L – podłoże z Lubonia (2 km od Zakładów Nawozów Fosforowych), Z – podłoże ze Zwierzyńca (kontrolne), T – podłoże inokulowane grzybem *Trichoderma harzianum*. (fot. E. Szubert)

Fig. 1. The effect of polluted substrates and fungus *Trichoderma harzianum* on development of *Pinus sylvestris* seedlings. L – substrate from Luboń (2 km from the Phosphate Fertilizer Plant), Z – substrate from Zwierzyniec (control), T – substrate inoculated with *Trichoderma harzianum*. (Photo E. Szubert)

system korzeniowy przed patogenami glebowymi. Silne działanie antagonizacyjne tego grzyba spowodowane jest wytwarzaniem antybiotyków, które hamują rozwój wielu patogenów glebowych (Grosclaude 1983; Jansen i de Vries 1988; Rudawska i in. 1991). Jak wykazały liczne badania, grzyby z rodzaju *Trichoderma* stymulują tworzenie i rozwój korzeni oraz wzrost części nadziemnej wielu roślin (Elad i in. 1982; Nam i in. 1988; Bojarczuk i in. 1991). Grzyby antagonistyczne oprócz funkcji ochronnej mogą spełniać również rolę stymulatora wzrostu poprzez wytwarzanie takich związków jak: auksyny, cytokininy, witaminy z grupy B (Linderman 1978; Papavizas 1985).

Optymalny wzrost biomasy sosny uzyskuje się przy znacznie mniejszym poziomie składników pokarmowych, niż dla brzozy (Ingestad 1981; Ingestad i Kähr 1985). Zastosowanie w doświadczeniach nawożenia roślin rosnących w podłożach inokulowanych grzybem *Trichoderma* nie stymulowało ich wzrostu (tab. 2-4). Wydaje się, że drzewa rosnące w zdegradowanym środowisku, wymagają nawożenia przede wszystkim wybranymi składnikami pokarmowymi, np. wapniem i magnezem.

Przedstawione w tej pracy wyniki wskazują, że pośrednie ujemne oddziaływanie substancji toksycznych poprzez glebę ma istotny wpływ na wzrost i rozwój badanych roślin. Oddziaływanie to może mieć miejsce nawet po znacznym ograniczeniu emisji szkodliwych gazów. Uzyskane w tej pracy wyniki potwierdzają również fakt, że ograniczenie emisji zanieczyszczeń powietrza nie wpływa w wielu przypadkach na szybką poprawę sytuacji ekologicznej w okręgach przemysłowych o znacznym stopniu degradacji gleby. Konieczne są więc dalsze badania nad ochroną roślin rosnących w środowisku o znacznym stopniu skażenia gleby.

STRESZCZENIE

W doświadczeniach szklarniowych badano wpływ podłoża o różnym stopniu skażenia na rozwój jednorocznych sadzonek sosny i brzozy. Rośliny rosnące w zdegradowanym podłożu z Lubonia (2 km od Zakładów Nawozów Fosforowych) wytworzyły słabszy system korzeniowy oraz charakteryzowały się również słabym wzrostem części nadziemnej. Podłoże z Lubonia, w porównaniu do podłoża kontrolnego ze Zwierzyńca, miało wyższą zawartość glinu i charakteryzowało się wysoką kwasowością. Nie stwierdzono istotnych różnic w pobieraniu niektórych składników mineralnych (N, P, Mg, Fe, S) przez rośliny rosnące w badanych podłożach. Jedynie siewki sosny uprawiane w podłożu z Lubonia, w porównaniu do roślin rosnących w podłożu kontrolnym, zawierały więcej glinu i kadmu, zwłaszcza w korzeniach oraz charakteryzowały się mniejszą zawartością potasu w korzeniach, a także manganu i cynku w korzeniach, pędach i igłach. Grzyb *Trichoderma harzianum*

antagonistyczny w stosunku do patogenów glebowych, po dodaniu do zdegradowanego podłoża z Lubonia stymulował rozwój korzeni i pędów sosny oraz brzozy. Siewki sosny wykazały większą wrażliwość na toksyczne związki zawarte w glebie niż sadzonki brzozy.

LITERATURA

- ASP H., BENGTSSON B., JENSÉN P. 1988. Growth and cation uptake in spruce (*Picea abies* Karst.) grown in sand culture with various aluminium contents. *Plant and Soil* 111: 127-133.
- BOHM W. 1979. *Methods of Studying Roots System*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- BOJARCZUK K., RUDAWSKA M., PRZYBYŁ K. 1991. Zwalczanie zgorzeli korzeniowej roślin wrzosowatych przy zastosowaniu antagonistycznych grzybów z rodzaju *Trichoderma*. *Arbor. Kórnickie* 36: 97-112.
- BORKOWSKA B. 1988. Toksyczność glinu (Al). *Wiadomości Botaniczne* 32(3): 167-168.
- BORKOWSKA B., SAS L. 1992. Wpływ glinu na wzrost roślin sadowniczych. *Prace Inst. Sadow. i Kwiat. Biul. Inf. C* 3-4: 152-153.
- EDWARDS J. H., HORTON B. D. 1977. Aluminum-induced calcium deficiency in peach seedlings. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 102(4): 459-461.
- EDWARDS J. H., HORTON B. D., KIRKPATRICK H. C. 1976. Aluminum-toxicity symptoms in peach seedlings. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 101(2): 139-142.
- ELAD Y., HADAR Y., CHET T., HENIS Y. 1982. Prevention with *Trichoderma harzianum* Rifai aggr. of reinfestation by *Sclerotium rolfsii* Sacc. and *Rhizoctonia solani* Kühn of soil fumigated with methyl bromide and improvement of disease control in tomatoes and peanuts. *Crop. Protection* 1(2): 195-211.
- ENTRY J. A., CROMACK K., STAFFORD S. G., CASTELLANO M. A. 1987. The effect of pH and aluminum concentration on ectomycorrhizal formation in *Abies balsamea*. *Can. J. For. Res.* 17: 865-871.
- FERLIN P., FLUHLER H., POLOMSKI J. 1982. Fluorine stress on a Scots pine site in the lower Pfynwald. *Schweizer. Zeitsch. für Forstwesen.* 113(2): 139-157.
- FISKESJÖ G. 1983. Nucleolar dissolution induced by aluminium in root cells of *Allium*. *Physiol. Plant.* 59: 508-511.
- GODBOLD D. L., FRITZ E., HUTTERMAN A. 1988. Aluminium toxicity and forest decline. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 85: 3888-3892.
- GÖRANSSON A., ELDHUSET T. D. 1991. Effects of aluminium on growth and nutrient uptake of small *Picea abies* and *Pinus sylvestris* plants. *Trees* 5: 136-142.
- GROSCLAUDE C. 1983. Activités du *Trichoderma harzianum* vis-à-vis du *Stereum purpureum*. *Les Antagonists Microbiens, 24e Colloque de la Société Française de Phytopathologie*. INRA 18: 115-118.
- HAUG A. 1984. Molecular aspects of aluminium toxicity. W: *Critical Review in Plant Science*. B. V. Conger (ed.), CRC Press Inc. 1(4): 345-373.
- HERNIK I. 1987. Zagrożenie lasów Wielkopolski zanieczyszczeniami przemysłowymi. W: *II Krajowe Sympozjum „Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe”*, pod redakcją R. Siweckiego. *Kórnik*: 111-119.
- HORST W. J., WAGNER A., MARSCHNER H. 1983. Effect of aluminium on root growth, cell-division rate and mineral element contents in roots of *Vigna unguiculata* genotypes. *Z. Pflanzenphysiol.* 109: 95-103.

- INGESTAD T. 1981. Nutrition and growth of birch and gray alder seedlings in low conductivity solutions and at varied relative rates of nutrient addition. *Physiol. Plant.* 52: 454-466.
- INGESTAD T., KÄHR M. 1985. Nutrition and growth of coniferous seedlings at varied relative nitrogen addition rate. *Physiol. Plant* 65: 109-116.
- JANSEN A. E., DE VRIES F. W. 1988. Qualitative and quantitative research on the relation between ectomycorrhiza of *Pseudotsuga menziesii* vitality of the host and acid rain. Dutch Priority Programme on Acidification. Wageningen Agricultural University, The Netherlands, Report: 25-32.
- KELTJENS W. G., van LOENEN E. 1989. Effects of aluminium and mineral nutrition on growth and chemical composition of hydroponically grown seedlings of five different forest tree species. *Plant and Soil* 119(1): 39-50.
- KINRAIDE T. B., ARNOLD R. C., BALIGARD V. C. 1985. A rapid assay for aluminium phytotoxicity at submicromolar concentrations. *Physiol. Plant.* 65: 245-250.
- LINDERMAN R. G. 1978. Mycorrhizae in relation to rooting cuttings. *Proc. Intern. Plant Prop. Soc.* 28: 128-131.
- MATSUMOTO M., MORIMURA S., TAKAHASHI E. 1977. Binding of aluminium to DNA of DNP in pea root nuclei. *Plant and Cell Physiol.* 18: 987-993.
- MOHR H. D. 1985. Extraction of easily soluble fractions of Fe and other heavy metals from various substrates by electro-ultrafiltration (EUF) and their relation to the heavy-metal contents of plants. *Plant and Soil* 83: 65-76.
- NAM C. G., JEE H. J., KIM C. H. 1988. Studies on biological control of *Phytophthora* blight of red pepper. II Enhancement of antagonistic activity by soil amendment with organic materials. *Korean J. of Plant Proc.* 4(4): 313-318.
- OLEKSYN J., BIALOBOK S. 1986. Net photosynthesis, dark respiration and susceptibility to air pollution of 20 European provenances of Scots pine *Pinus sylvestris* L. *Environ. Pollut.* 40: 287-302.
- OLEKSYN J., CHALUPKA W., TJOELKER M. G., REICH P. B. 1992. Geographic origin of *Pinus sylvestris* populations influences the effects of air pollution of flowering and growth. *Water Air Soil Pollut.* 62: 201-212.
- PAPAVIZAS G. C. 1985. *Trichoderma* and *Gliocladium*: biology, ecology and potential for biocontrol. *Ann. Rev. Phytopathol.* 23: 23-54.
- POOVAIAH B. W. 1985. Role of calcium and calmodulin in plant growth and development. *HortScience* 20(3): 347-352.
- PRAAG van H. J., WEISSEN F. 1985. Aluminium effects on spruce and beech seedlings. I. Preliminary observation on plant and soil. *Plant and Soil* 83: 331-338.
- RACHWAŁ L., WIT-RZEPKA W. 1989. Reakcja brzoź na zanieczyszczenia z hut miedzi. Część II. Wyniki badań terenowych. *Arbor. Kórnickie* 34: 185-205.
- REICH P. B., OLEKSYN J., TJOELKER M. G. 1994. Relationship of aluminium and calcium to net CO₂ exchange among diverse Scots pine provenances under pollution stress in Poland. *Oecologia* 97: 82-92.
- RUDAWSKA M., PRZYBYŁ K., BOJARCZUK K. 1991. Antagonizm grzybów z rodzaju *Trichoderma* w stosunku do patogena *Phytophthora cinnamomi* Rands wywołującego zgorzel korzeniową na sadzonkach roślin wierzosowatych. *Arbor. Kórnickie* 36: 81-95.
- SCHIER G. A. 1985. Response of red spruce and balsam fir seedlings to aluminum toxicity in nutrient solutions. *Can. J. For. Res.* 15: 29-33.
- STEINER K. C., McCORMICK L. H., CANAVERA D. S. 1980. Differential response of paper birch provenances to aluminium in solution culture. *Can. J. For. Res.* 10: 25-29.

- ULRICH B., MAYER R., KHANNA P. K. 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in central Europe. *Soil. Science* 130: 193-199.
- VILKKA L., AULA I., NUORTEVA P. 1990. Comparisons of the levels of some metals in roots and needles of *Pinus sylvestris* in urban and rural environments at two times in the growing season. *Ann. Bot. Fennici* 27: 53-57.
- WAGATSUMA T., KANEKO M., HOYASAKA Y. 1987. Destruction of plant root cell by aluminium. *Soil. Sci. Plant Nutr.* 33(2): 161-175.
- WILKINS D. A., HODSON M. J. 1989. The effects of aluminium and *Paxillus involutus* Fr. on the growth of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.). *New Phytol.* 113: 225-232.
- WOJCIECHOWSKA B., KOCIK H. 1983. Influence of aluminium chloride and sulphate on the root meristem of *Vicia faba* L. *Acta Soc. Bot. Poloniae* 52(3-4): 185-195.

WSTĘP

Występowanie drzewostanów spruce-sitki w Polsce w tym w ich składzie gatunkowym w południowej części kraju (Kocik 1983, Smith 1987). Pyły manganiczne odkładane do atmosfery wraz z innymi pierwiastkami (Co, Fe, Zn, Cd, a także Ni, Pb) (Kocik 1988).

* Praca wykonana w ramach działalności naukowej Instytutu Geografii i Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, ul. Żwirki i Wigury 93, Warszawa, 00-748.