

KRYSTYNA BOJARCZUK

Wpływ toksycznych jonów glinu na rozwój mikrosadzonek brzozy (*Betula pendula* Roth.) w kulturach *in vitro*

Abstract

Bojarczuk K. 1997. Influence of aluminium toxicity on the development of birch (*Betula pendula* Roth.) microcuttings cultured *in vitro*. Arbor. Kórnickie 42: 217-228.

Effects of different aluminium concentrations on root development was studied using *in vitro* techniques on a birch clone tolerant to industrial pollution. It was found that aluminium toxicity is the main factor limiting plant growth in acid media. Aluminium at low concentrations (25 mg/l, pH 5.5) had no inhibitive effect and even stimulated development of shoots and roots, but its presence in media at pH 4.0 resulted in a significant decrease in birch microcuttings growth. Aluminium at a higher concentration (100 mg/l, pH 5.5) inhibited the development of adventitious roots, reduced the number and length of roots and their fresh and dry mass. A higher concentration of aluminium had little effect on the development of shoots. Addition of calcium and increase of pH to 5.5 reduced aluminium toxicity on the growth of birch microcuttings.

Using *in vitro* culture it is possible to study the mechanisms of adaptation of plants to soil pollution caused by aluminium.

Additional key words: *Betula pendula*, *in vitro* culture, aluminium toxicity, development.

Address: K. Bojarczuk, Polish Academy of Sciences, Institute of Dendrology, 62-035 Kórnik, Poland.

WSTĘP

Skażenie środowiska przyczynia się do zahamowania wzrostu drzew i krzewów, a w skrajnych przypadkach może prowadzić do zamierania całych drzewostanów. Jedną z przyczyn zamierania drzew jest skażenie gleby, które negatywnie wpływa na rozwój systemów korzeniowych i w konsekwencji powoduje upośledzenie wzrostu nadziemnych części roślin (Gabara 1992, Boudot i in. 1994).

Najczęstszą przyczyną zatrucia gleby i stopniowej degradacji ekosystemów leśnych jest oddziaływanie kwaśnych opadów atmosferycznych i soli toksycznych metali (Estivalet i in. 1990, Vilkka i in. 1990, Reich i in. 1994). Jednym z najbardziej uciążliwych jonów metali jest glin, którego dostępność dla roślin wzrasta wraz z obniżeniem się pH gleby (Greger i in. 1992, Bojarczuk i Oleksyn 1994, Oleksyn i in.

1996). Wysokie stężenie toksycznych jonów glinu w podłożu prowadzi do znacznego ograniczenia pobierania przez rośliny niektórych makro- i mikroskładników, co powoduje silne ograniczenie wzrostu ich części nadziemnych (Henriksen i in. 1992).

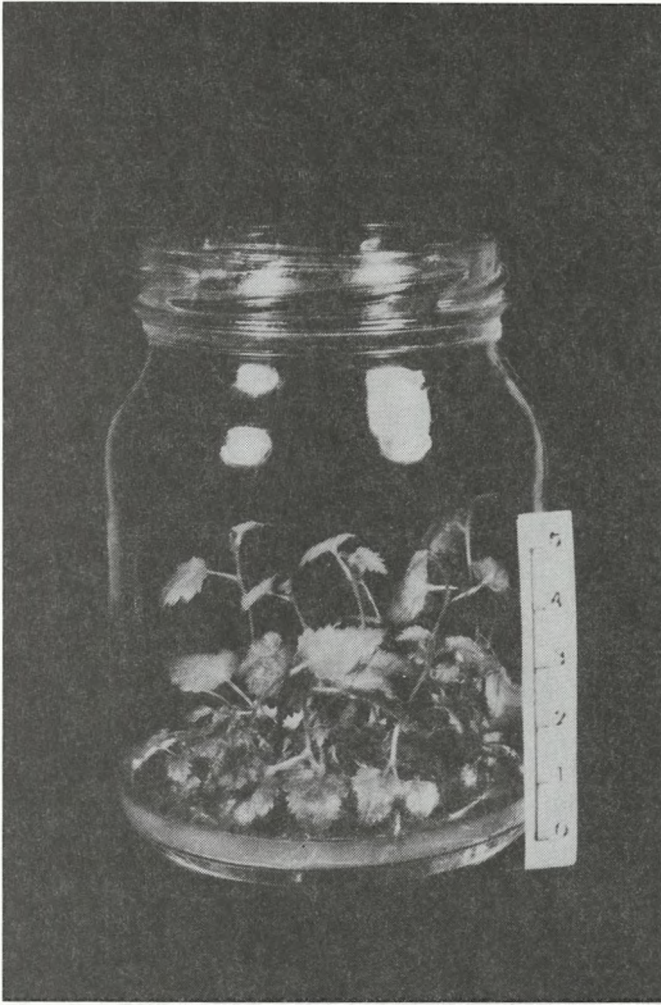
Mechanizm obrony drzew przed zanieczyszczeniami przemysłowymi jest mało znany. Na powierzchniach doświadczalnych wokół zakładów przemysłowych zaobserwowano zamieranie niektórych drzew liściastych np. brzozy, uważanej dotychczas za drzewo stosunkowo tolerancyjne na skażenia środowiska. Wykazano również, że drzewa tego samego gatunku należące do różnych populacji mogą charakteryzować się różną wrażliwością na zanieczyszczenia przemysłowe (Oleksyn i Białobok 1986). Mniejsza wrażliwość niektórych roślin na związki toksyczne może przejawiać się w ograniczeniu pobierania toksycznych metali z gleby oraz ich detoksyfikacji wewnątrz komórek (Foy i in. 1987). Tolerancja roślin na toksyczne jony metali jest cechą kontrolowaną genetycznie (Ślaski 1992). Wykorzystując hodowlę roślin w kulturach *in vitro* Conner i Meredith (1985) wyselekcjonowali mutanty tytoniu odporne na toksyczne oddziaływanie glinu. Zastosowanie techniki kultur *in vitro* może być sposobem uzyskania drzew o zwiększonej tolerancji na zanieczyszczenie powietrza i gleby.

Przeprowadzone w Instytucie Dendrologii PAN doświadczenia miały na celu zbadanie wpływu glinu na rozwój systemu korzeniowego i części nadziemnej mikrosadzonek brzozy, hodowanych w kulturach *in vitro*. Badania tego typu mogą przyczynić się do lepszego poznania mechanizmów wrażliwości roślin na związki toksyczne i do uzyskania lepszych wyników przy zagospodarowywaniu zniszczonego przez przemysł środowiska.

MATERIAŁ I METODY

Z klonu brzozy K-03-144 (*Betula pendula* Roth.) odpornego na zanieczyszczenia przemysłowe (Rachwał i Wit-Rzepka 1989) pozyskiwano eksplantaty (pąki wierzchołkowe oraz pąki wierzchołkowe z częścią pędu) w okresie od czerwca do września. Hodowlę kultur prowadzono na zmodyfikowanej pożywce Murashige i Skoog MS (1962) i McCown i Lloyd WPM (1983) z dodatkiem hormonów BAP 0,5-5,0 mg/l, zeatyny 0,02-0,1 mg/l, NAA 0,05-0,5 mg/l i IAA 0,2-1,0 mg/l. Z 6-8 miesięcznej kultury pędów przybyszowych pozyskiwano mikrosadzonki o długości 2-3 cm i umieszczano je na pożywce o zmniejszonym stężeniu składników pokarmowych (1/4 MS lub 1/4 WPM) zestalanej Phytagelem (1,2 g/l) lub w perlicie nasyconym płynną pożywką 1/4 MS (ryc. 1 i 2). Do pożywki dodawano glin w postaci siarczanu glinu $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ (Al w stężeniu 25-100 mg/l) lub chlorku glinu $Al Cl_3 \cdot 6 H_2O$ (Al w stężeniu 7,5-30 mg/l). W niektórych pożywkach zwiększano stężenie wapnia o 110-220 mg/l. Wartość pH pożywek, w których ukorzeniano mikrosadzonki ustalano w granicach 4,0-5,5.

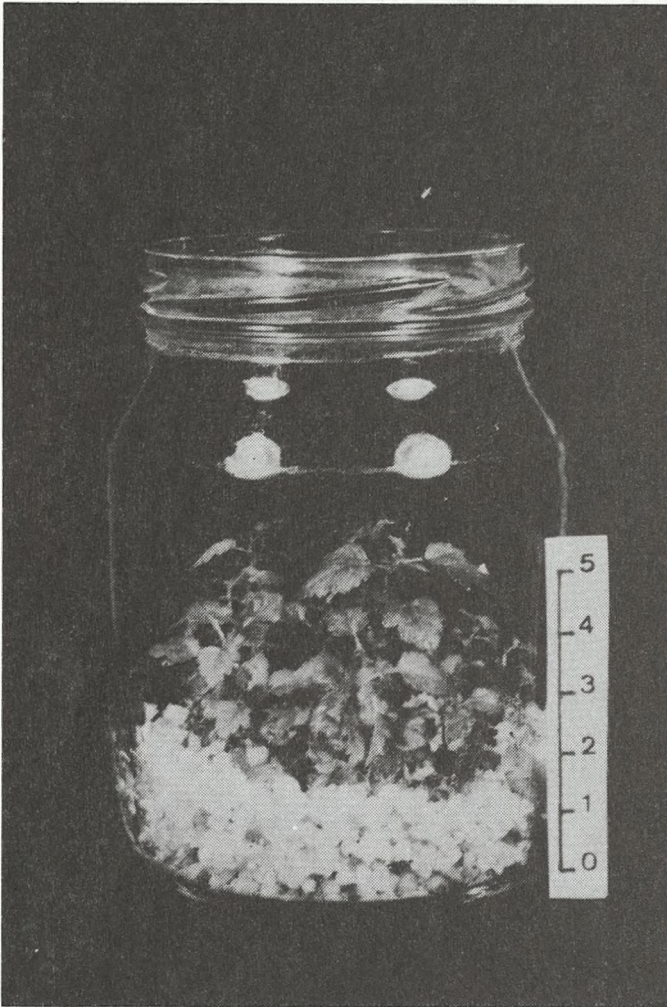
Ukorzenianie pędów brzozy prowadzono w stojach, które umieszczano w pokoju hodowlanym o temperaturze 22-23°C oświetlanym światłem jarzeniowo-rtęciowym



Ryc. 1. Ukorzenianie mikrosadzonek brzozy (*B. pendula*) w pożywce (1/4 MS) zestalonej Phytagelem z dodatkiem $Al_2(SO_4)_3$.

Fig. 1. Rooting of birch (*B. pendula*) microcuttings on a Phytigel solidified medium (1/4 MS) with $Al_2(SO_4)_3$ added.

(7500 mW/m^2), przez 16 godz. Proces tworzenia się korzeni przybyszowych na pędach trwał około czterech tygodni, po czym przeprowadzano pomiary stopnia rozwoju systemu korzeniowego, w skali 0-5 lub dokonywano pomiarów liczby i długości korzeni oraz oceniano wzrost wierzchołków korzeniowych stosując skalę pięciostopniową: 0 – brak wzrostu wierzchołków korzeniowych, 1 – wzrost bardzo słaby (1-20% rosących wierzchołków), 2 – wzrost słaby (21-40% rosących wierzchołków), 3 – wzrost średni



Ryc. 2. Ukorzenianie mikrosadzonek brzozy (*B. pendula*) w perlicie nasyconym płynną pożywką (1/4 MS) z dodatkiem $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Fig. 2. Rooting of birch (*B. pendula*) microcuttings on perlite saturated with a fluid medium (1/4 MS) with $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ added.

(41-60% rosnących wierzchołków), 4 – wzrost znaczny (61-80% rosnących wierzchołków), 5 – wzrost intensywny (81-100% rosnących wierzchołków korzeniowych). Długość korzeni obliczano według metody opisanej przez Bohma (1979) na podstawie wzoru $0,393$ (współczynnik dla siatki o 0,5 cm oczkach) \times liczba przecięć korzeni na siatce.

Przy ocenie części nadziemnej wykonano pomiary liczby i długości pędów oraz oceniono stopień nekrozy liści, w skali 0-5. Ponadto dokonano pomiarów świeżej i suchej masy korzeni i pędów. Wyniki obu pomiarów były statystycznie do siebie

zbliżone, dlatego w tabelach przedstawiono tylko wyniki pomiaru suchej masy pędów i korzeni.

Wszystkie doświadczenia wykonane były w układzie losowym w 4 powtórzeniach, po 14 mikrosadzonek w jednym bloku. Przy badaniach istotności różnic pomiędzy poszczególnymi kombinacjami zastosowano nowy wielokrotny test rozstępu Duncana dla 5% wartości granicznej.

WYNIKI

W przeprowadzonych doświadczeniach nad wpływem glinu na rozwój korzeni przybyszowych i pędów brzozy w kulturach *in vitro* stwierdzono, że duża jego zawartość w pożywce (100 mg/l Al w postaci siarczynu glinu i 15-30 mg/l Al w postaci chlorku glinu) powoduje wyraźne zahamowanie rozwoju korzeni (tab. 1 i 2) oraz nieznaczne ograniczenie wzrostu pędów (tab. 3). Glin w stężeniu 100 mg/l dodany do pożywki o pH 5,5 wpłynął na zmniejszenie liczby i długości korzeni, co wiązało się również ze spadkiem suchej masy systemu korzeniowego (tab. 1). Hamujący wpływ wysokich dawek glinu w pożywkach zaznaczył się również osłabieniem wzrostu wierzchołków korzeniowych (tab. 1).

Tabela 1

Wpływ glinu na rozwój korzeni przybyszowych mikrosadzonek brzozy (*B. pendula*), w kulturach *in vitro*. Pędy ukorzeniane w perlicie nasyconym płynną pożywką (1/4 MS) z dodatkiem siarczynu glinu.

Table 1

Influence of aluminium on the development of adventitious roots of birch (*B. pendula*) microcuttings, cultured *in vitro*. Shoots were rooted on perlite saturated with a fluid medium (1/4 MS) with $Al_2(SO_4)_3$ added.

Sposób traktowania Al – mg/l Treatment Al – mg/l	pH	Liczba korzeni Number of roots	Długość korzeni* (cm) Root length* (cm)	Wzrost wierzchołków korzeni** Root growth index**	Sucha masa korzeni (g) Root dry mass (g)
Kontrola Control	5.5	2.9 d***	15.4 b	4.2 c	2.4 b
Al 50	5.5	2.0 bc	11.7 ab	3.6 bc	1.5 a
Al 100	5.5	1.6 ab	10.6 ab	2.9 ab	1.4 a
Al 25	5.5	2.4 cd	13.1 ab	4.2 c	2.0 ab
Al 25	4.5	1.8 abc	10.0 a	2.7 ab	1.6 ab
Al 25	4.0	1.3 a	7.9 a	2.2 a	1.4 a

* według skali Bohma (1979).

** wzrost wierzchołków korzeniowych 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 on a 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*.

Tabela 2

Wpływ glinu na regenerację korzeni i rozwój mikrosadzonek brzozy (*B. pendula*) w kulturach *in vitro*.
Pędy ukorzeniane w perlite nasyconym płynną pożywką (1/4 MS) z dodatkiem siarczanu glinu.

Table 2

Influence of aluminium on the regeneration of roots and on the development of birch (*B. pendula*) microcuttings, cultured *in vitro*. Shoots were rooted on perlite saturated with a fluid medium (1/4 MS) with $Al_2(SO_4)_3$ added. Other details as in Table 1.

Sposób traktowania Al – mg/l Treatment Al – mg/l		System korzeniowy Root system		Część nadziemna Shoots	
		Stopień rozwoju w skali 0-5 Degree of development on a 0-5 scale	Sucha masa (g) Dry mass (g)	Długość pędu (cm) Shoots length (cm)	Sucha masa (g) Dry mass (g)
Kontrola Control	pH 5.5	3.0 ab	0.18 cd	5.8	0.41 a
Al – 50	5.5	2.6 a	0.17 bc	5.9	0.32 a
Al – 100	5.5	2.4a	0.11 a	5.4	0.31 a
Al – 25	5.5	3.5 b	0.22 d	6.4	0.46 b
Al – 25	4.5	3.0 ab	0.16 bc	5.4	0.34 ab
Al – 25	4.0	2.9 ab	0.14 ab	5.2	0.39 ab

Tabela 3

Wpływ glinu na regenerację korzeni i rozwój mikrosadzonek brzozy (*B. pendula*) w kulturach *in vitro*.
Pędy ukorzeniane w pożywce stałej (1/4 MS + 1,2 g/l Phytigel) z dodatkiem chlorku glinu.

Table 3

Influence of aluminium on the regeneration of roots and on the development of birch (*B. pendula*) microcuttings, cultured *in vitro*. Shoots were rooted on a Phytigel (1.2 g/l) solidified medium (1/4 MS) with $AlCl_3$ added. Other details as in Table 1.

Sposób traktowania Al – mg/l Treatment Al – mg/l		System korzeniowy Root system		Część nadziemna Shoots	
		Stopień rozwoju w skali 0-5 Degree of development on a 0-5 scale	Sucha masa (g) Dry mass (g)	Długość pędu (cm) Shoots length (cm)	Sucha masa (g) Dry mass (g)
Kontrola Control	pH 4.5	3.1 a	0.28 a	5.2	0.47 c
Al – 30	4.5	3.5 ab	0.30 a	5.1	0.32 a
Al – 15	4.5	3.2 ab	0.30 a	4.8	0.33 ab
Al – 7.5	4.5	3.6 ab	0.34 ab	4.7	0.37 ab
Al – 15	5.5	3.7 ab	0.31 a	4.6	0.38 b
Al – 15 + Ca 220 ppm	5.5	3.8 b	0.41 b	5.4	0.51 c

Tabela 4

Wpływ glinu na regenerację korzeni i rozwój mikrosadzonek brzozy (*B. pendula*), w kulturach *in vitro*. Pędy ukorzeniane w pożywce stałej (1/4 MS + 1.2 g/l Phytigel) z dodatkiem chlorku glinu.

Table 4

Influence of aluminium on the regeneration of roots and on the development of birch (*B. pendula*) microcuttings, cultured *in vitro*. Shoots rooted on a Phytigel (1.2 g/l) solidified medium (1/4 MS) with $AlCl_3$ added. Other details as in Table 1.

Sposób traktowania Al – mg/l Treatment Al – mg/l		System korzeniowy Root system		Część nadziemna Shoots	
		Stopień rozwoju w skali 0-5 Degree of development on a 0-5 scale	Sucha masa (g) Dry mass (g)	Długość pędu (cm) Shoots length (cm)	Sucha masa (g) Dry mass (g)
Kontrola Control	pH 4.5	2.9	0.32	3.8 ab	0.59 ab
Al – 15	4.5	3.3	0.26	3.7 a	0.40 a
Al – 7.5	4.5	3.3	0.31	4.9 abc	0.65 b
Al – 7.5	5.5	3.3	0.35	5.1 bc	0.60 b
Al – 7.5	5.5	3.7	0.42	5.4 c	0.72 c
Al – 7.5 + Ca 110	5.5	3.0	0.35	4.2 abc	0.57 ab

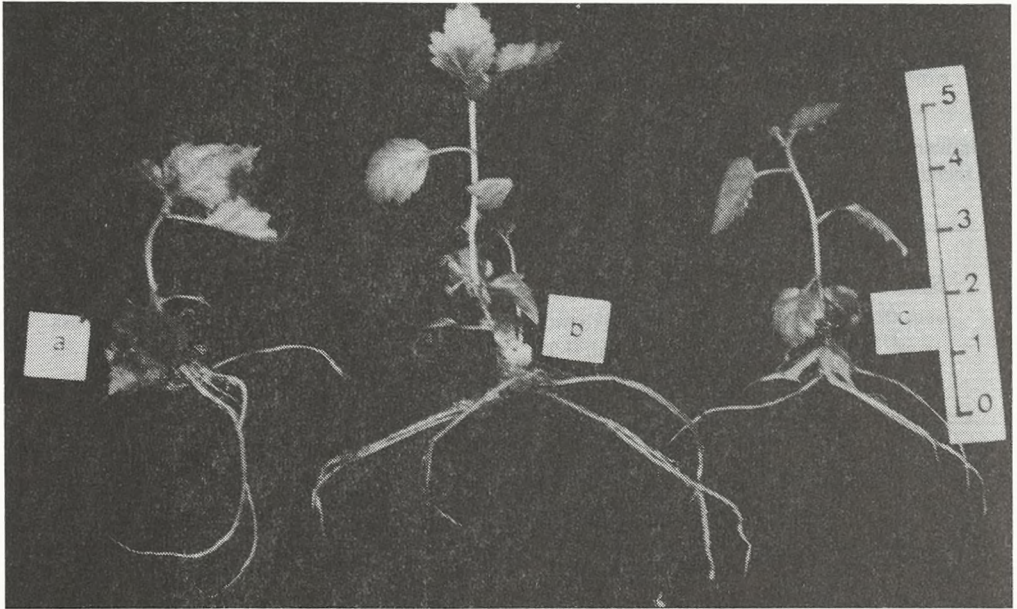
Tabela 5

Wpływ glinu na rozwój części nadziemnej mikrosadzonek brzozy (*B. pendula*), w kulturach *in vitro*. Pędy ukorzeniane w perlicie nasyconym płynną pożywką (1/4 MS) z dodatkiem siarczanu glinu.

Table 5

Influence of aluminium on shoots development of birch (*B. pendula*) microcuttings, cultured *in vitro*. Shoots were rooted on perlite saturated with a fluid medium (1/4 MS) with $Al_2(SO_4)_3$ added. Other details as in Table 1.

Sposób traktowania Al – mg/l Treatment Al – mg/l		System korzeniowy Root system		Część nadziemna Shoots	
		Długość pędu (cm) Shoots length (cm)	Liczba liści Number of leaves	Nekroza liści w skali 0-5 Degree of necrosis on a 0-5 scale	Sucha masa pędu (g) Shoot dry mass (g)
Kontrola Control	pH 5.5	3.4 ab	8.7 ab	0.3	6.7 bc
Al 50	5.5	4.7 b	10.3 b	0.3	6.6 bc
Al 100	5.5	4.3 b	9.7 ab	0.2	5.6 b
Al 25	5.5	4.6 b	10.6 b	0.4	6.8 c
Al 25	4.5	3.0 ab	8.9 ab	0.4	4.2 a
Al 25	4.0	2.1 a	7.3 a	0.6	4.5 a



Ryc. 3. Mikrosadzonki brzozy (*B. pendula*) ukorzeniane w pożywce zestalonej Phytagelem: a) traktowane Al (25 mg/l) w pożywce o pH 4,0, b) traktowane Al (25 mg/l) w pożywce o pH 5,5, c) nie traktowane Al, w pożywce o pH 5,5.

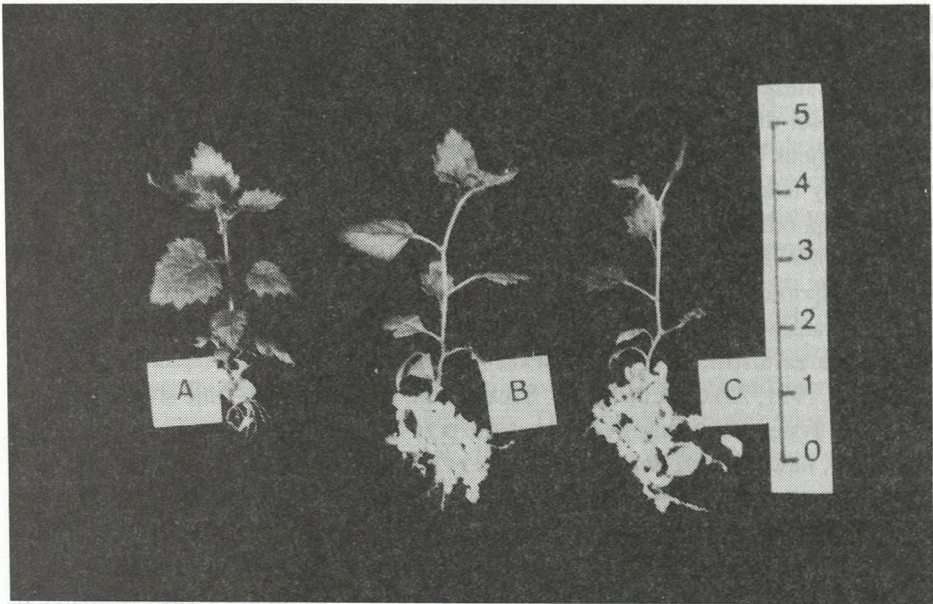
Fig 3. Microcuttings of birch (*B. pendula*) rooted on a Phytigel solidified medium: a) treated with Al (25 mg/l, pH 4.0), b) treated with Al (25 mg/l, pH 5.5), c) control (no Al added, pH 5.5).

Glin w niskim stężeniu (25 mg/l) w pożywkach o pH 4,0 również hamował rozwój korzeni, wpływając na zmniejszenie ich liczby i długości oraz ograniczał wzrost wierzchołków korzeniowych (tab. 1). Przy niskim odczynie pożywki (pH 4,0) glin w stężeniu 25 mg/l wpływał na zmniejszenie suchej masy korzeni (tab. 1 i 2) oraz pędów (tab. 5).

Glin tylko w niewielkim stopniu wpływał na rozwój pędów brzozy zmniejszając suchą masę pędów rosnących na pożywce o pH 4,0-4,5 z dodatkiem glinu, w stężeniu 15-30 mg/l w postaci chlorku glinu i w stężeniu 25 mg/l w postaci siarczanu glinu (tab. 3, 4 i 5). Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w długości pędów, liczbie liści oraz stopniach nekrozy liści pomiędzy kontrolą a mikrosadzonkami rosnącymi na pożywkach z dodatkiem glinu (tab. 5).

Hamujący wpływ glinu na rozwój mikrosadzonek brzozy zależał głównie od odczynu pożywek. Glin zastosowany w niskim stężeniu (25 mg/l) w pożywce o pH 5,5 nie miał negatywnego wpływu, a często nawet działał stymulująco na wzrost suchej masy korzeni i pędów (tab. 1, 2 i ryc. 3, 4).

Na obniżenie toksycznego działania glinu na rozwój systemu korzeniowego i wzrost pędów wpływa nie tylko zwiększenie poziomu pH pożywki do 5,5, ale rów-



Ryc. 4. Mikrosadzonki brzozy (*B. pendula*) ukorzeniane w perlicie nasyconym płynną pożywką: a) traktowane Al (25 mg/l) w pożywce o pH 4,0, b) traktowane Al (25 mg/l) w pożywce o pH 5,5, c) nie traktowane Al, w pożywce o pH 5,5.

Fig. 4. Microcuttings of birch (*B. pendula*) rooted on perlite saturated with a fluid medium: a) treated with Al (25 mg/l, pH 4.0), b) treated with Al (25 mg/l, pH 5.5), c) control (no Al added, pH 5.5).

niez zwiększenie stężenia wapnia w pożywce (tab. 3 i 4). Dodanie do pożywki zawierającej glin dodatkowej ilości wapnia w ilości 220 mg/l, wpłynęło stymulująco na rozwój mikrosadzonek brzozy, który zaznaczał się zwiększeniem suchej masy korzeni i pędów (tab. 3 i 4).

DYSKUSJA

Na dostępność glinu dla roślin decydujący wpływ ma odczyn podłoża. W warunkach alkalicznych glin występuje wyłącznie w formie anionowej, a w zakresie odczynu obojętnego dominuje nieaktywny wodorotlenek glinu, natomiast w środowisku kwaśnym (pH poniżej 5,0) przeważa jego ruchliwa forma kationowa. Glin stanowi istotny składnik kompleksu sorbcyjnego, ale tylko w glebach kwaśnych jest dostępny dla roślin (Borkowska 1988). Zależność toksycznego działania glinu od kwasowości podłoża stwierdzono również w doświadczeniach nad ukorzenianiem mikrosadzonek brzozy. Toksyczne działanie glinu w niskich stężeniach na rozwój korzeni zaznaczyło się w pożywkach o pH 4,0-4,5 (tab. 1 i 2). Siarczan glinu w niskich stężeniach w

pożywkach o pH 5,5 nie wywierał natomiast negatywnego wpływu, a często nawet działał stymulująco na rozwój korzeni i pędów (tab. 1 i 2). Pozytywne działanie glinu w niskich stężeniach na rozwój roślin może polegać na wzroście rozpuszczalności i dostępności dla roślin żelaza (Foy i in. 1987) oraz wapnia i magnezu (Praag i in. 1985, Keltjens i Loenen 1989).

Rośliny należące do różnych gatunków, jak również odmiany tego samego gatunku mogą odznaczać się różnym stopniem tolerancji na glin (Foy i in. 1987, Kinrade 1991). W licznych badaniach brzoza okazała się drzewem o stosunkowo dużym stopniu odporności na glin w podłożu (Keltjens i Loenen 1989, Göransson i Eldhuset 1991). Wrażliwość brzozy na zawartość toksycznych jonów metali w podłożu zależy od rodzaju zastosowanych w pożywkach związków oraz od ich stężeń (Göransson i Eldhuset 1991, Arnold i in. 1994). Szczególnie toksyczne działanie siarczanu glinu na rozwój systemu korzeniowego uzyskano przy zastosowaniu dużych dawek Al (50-100 mg/l), nawet w pożywkach o stosunkowo wysokim odczynie pH 5,5 (tab. 1).

Hamujący wpływ glinu na rozwój roślin zaznaczył się wyraźnym osłabieniem wzrostu wierzchołków korzeniowych mikrosadzonek (tab. 1). Korzenie są najbardziej narażone na toksyczne działanie glinu. Wierzchołki korzeni głównych i bocznych brązowieją i przestają rosnąć (Wagatsuma i in. 1987, Gabara 1992, Lima i Copeland 1994). Uszkodzenia te mogą być spowodowane niedoborem wapnia, fosforu i magnezu. Glin bowiem powoduje zarówno ograniczenie pobierania tych pierwiastków przez rośliny (Göransson i Eldhuset 1991), jak i blokowanie ich transportu oraz wykorzystanie w procesach metabolicznych (Borkowska 1988, Farid 1991). Następuje wówczas niekorzystna zmiana stosunku Ca/Al na korzyść glinu i zmniejszenie zawartości magnezu w roślinach (Keltjens i Loenen 1989, Henriksen i in. 1992). Konsekwencją tego jest zahamowanie wzrostu i rozwoju roślin oraz przebiegu tak ważnych procesów fizjologicznych jak fotosynteza (Rengel 1992, Reich i in. 1994) i oddychanie (Lima i Copland 1994).

Badania nad fitotoksycznością glinu w kulturach *in vitro* prowadzone są z zastosowaniem wieloskładnikowych pożywek. Stwierdzono, że niektóre składniki pożywek, jak fosfor, wapń czy żelazo w formie chelatowej mogą działać ochronnie na rośliny obniżając toksyczność glinu. W badaniach tych najczęściej stosowano pożywki o obniżonej zawartości niektórych składników lub pożywki rozcieńczone (Conner i Meredith 1985, Borkowska 1988). W przedstawionych badaniach do ukorzeniania mikrosadzonek brzozy stosowano pożywki o niższym stężeniu składników pokarmowych niż pożywki standardowe (np. 1/4 MS), aby nie osłabić działania glinu na rośliny. Zastosowanie do tych pożywek dodatkowej dawki wapnia obniżyło toksyczne działanie glinu na rozwój systemu korzeniowego i wzrost pędów brzozy (tab. 3 i 4). Wapń działa ochronnie na rośliny, obniżając toksyczność glinu (Henriksen i in. 1992). Ochronna rola wapnia może być związana ze zmianą struktur lipidowych błon komórkowych, następstwem czego zmniejsza się pobieranie jonów glinu z pożywki (Wagatsuma i in. 1987).

STRESZCZENIE

W przeprowadzonych doświadczeniach badano wpływ glinu na rozwój systemu korzeniowego i pędów mikrosadzonek wyselekcjonowanego klonu brzozy, o dużej tolerancji na zanieczyszczenia przemysłowe. Stwierdzono wyraźną zależność toksycznego działania glinu na rozwój systemu korzeniowego od kwasowości pożywek. Glin w niskich stężeniach (25 mg/l) dodany do pożywek o pH 5,5 nie miał negatywnego wpływu, a często nawet stymulował rozwój korzeni i pędów brzozy, natomiast w pożywkach o pH 4,0 silnie hamował rozwój systemu korzeniowego mikrosadzonek. Glin w wysokich stężeniach (100 mg/l), dodany do pożywek o pH 5,5 wykazywał silne działanie toksyczne na rozwój korzeni, wpływając na zmniejszenie liczby i długości korzeni oraz ich świeżej i suchej masy. Nieco słabiej oddziaływał glin w wysokich stężeniach na rozwój pędów brzozy. Dodanie do pożywek większej dawki wapnia oraz podniesienie pH pożywek do 5,5, osłabia toksyczny wpływ glinu na rozwój korzeni i pędów brzozy.

Badania nad wpływem jonów glinu na rozwój roślin w kulturach *in vitro* mogą przyczynić się do lepszego poznania mechanizmów wrażliwości roślin na związki toksyczne i do polepszenia wyników w ich adaptacji do zniszczonego przez przemysł środowiska.

LITERATURA

- ARNOLD M.A., LINEBERGER R.D., STRUVE D.K., 1994. Copper compounds influence *in vitro* rooting of birch microcuttings. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119.
- BOHM W., 1979. Methods of studying roots system. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- BOJARCZUK K., OLEKSYN J., 1994. Rozwój jednorocznych sadzonek sosny (*Pinus sylvestris* L.) i brzozy (*Betula pendula* Roth.) w zanieczyszczonych podłożach inokulowanych grzybem *Trichoderma harzianum* Rifai. Arbor. Kórnickie 39: 163-177.
- BORKOWSKA B., 1988. Toksyczność glinu (AL). Wiadomości Botaniczne 32, 3: 167-168.
- BOUDOT J.P., BECQUER T., MERLET D., ROUILLER J., 1994. Aluminium toxicity in declining forests: A general overview with a seasonal assessment in silver fir forest in the Vosges mountains (France). Ann. Sci. For. 51: 27-51.
- CONNER A.J., MEREDITH C.P., 1985. Stimulating the mineral environment of aluminium toxic soils in plant cell culture. J. Exp. Botany 36, 167: 870-880.
- ESTIVALET D., PERRIN R., TACON F., BOUCHARD D., 1990. Nutritional and microbiological aspects of decline in the Vosges forest area (France). Forest Ecol. and Manag. 37, 4: 233-248.
- FARID J., 1991. Aluminium effects on growth, nutrient net uptake and transport in 3 rice (*Oryza sativa*) cultivars with different sensitivity to aluminium. Physiol. Plantarum 83: 441-448.
- FOY C.D., LEE E.H., WILDING S.B., 1987. Differential aluminium tolerances of two barley cultivars related to organic acids in their roots. J. Plant Nutr. 10: 1089-1101.
- GABARA B., 1992. Reakcje roślin na metale ciężkie na poziomie organizmu i komórki. Materiały z V Ogól. Konf. „Mechanizm regulacji morfogenezy roślin oraz funkcjonowanie w warunkach stresowych” Rogów 15-16 VI 1992: 37-47.
- 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.

- GREGER M., TILLBERG J.E., JOHANSSON M., 1992. Aluminium effects on *Scenedesmus obtusiusculus* with different phosphorus status. I. Mineral uptake. *Physiol. Plantarum* 84: 193-201.
- HENRIKSEN T.M., ELDHUSET T.D., STUANSE A.D., LANGERUD B.R., 1992. Effects of aluminium and calcium on *Picea abies* seedlings. *Scand. J. For. Res.* 7: 63-70.
- KELTIJENS 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., 1991. Identity of the rhizotoxic aluminium species. *Plant and Soil* 134: 167-178.
- MCCOWN B.H., LLOYD G.B., 1983. A survey of the response of *Rhododendron* to *in vitro* culture. *Plant Cell Tissue Organ Culture* 2: 77-85.
- MURASHIGE T., SKOOG F., 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with *Tabacco* tissue cultures. *Physiol. Plantarum* 15: 473-497.
- LIMA M.L., COPELAND L., 1994. The effect of aluminium on respiration of wheat roots. *Physiol. Plantarum* 90: 51-58.
- OLEKSYN J., BIALOBOK S., 1986. Net photosynthesis, dark respiration and susceptibility to air pollution of 20 European provenances of Scots pine *Pinus sylvestris* L. *Envir. Pollution* 40: 287-302.
- OLEKSYN J., KAROLEWSKI P., GIERTYCH M.J., WERNER A., TJOELKER M.G., REICH P.B., 1996. Altered root growth and plant chemistry of *Pinus sylvestris* seedlings subjected to aluminium in nutrient solution. *Trees* 10: 135-144.
- PRAAG VAN H.J., WEISSEN F., 1985. Aluminium effects on spruce and beech seedlings. *Plant and Soil* 83: 339-356.
- RACHWAŁ L., WIT-RZEPKA M., 1989. Reakcje 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.
- RENGEL Z., 1992. Role of calcium in aluminium toxicity. *New Phytologist* 121: 499-513.
- ŚLASKI J., 1992. Mechanizm tolerancyjności na toksyczne działanie jonów glinu u roślin wyższych. *Wiad. Botaniczne* 36 (1/2): 31-45.
- VILKKA L., AULA L., NUORTEVA P., 1990. Comparison of the levels of some metals in roots and needles *Pinus sylvestris* in urban and rural environments at two times in growing season. *Ann. Bot. Fennici* 27: 53-57.
- WAGATSUMA T., KANEKO M., HAYASUKA Y., 1987. Destruction of plant root cells by aluminium. *Soil. Sci. Plant Nutr.* 33 (2): 161-175.