

Katedra Botaniki Akademii Rolniczej w Lublinie

AGATA KONARSKA

### **Wpływ glinu na niektóre cechy hypocotyłu i liści siewek rzodkiewki**

---

Effect of Aluminum on Some Features of Hypocotyl and Leaves  
Radish Seedlings

**Synopsis.** Hypokotyle i liście czternastodniowych siewek rzodkiewki uprawianej w kulturach wodnych zawierających: 0, 10, 20 i 40 mg  $\text{AlCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  w  $\text{dm}^{-3}$  pożywki, poddano analizie morfologiczno-anatomicznej. Pod wpływem glinu stwierdzono zmniejszenie wysokości łodygi (hypokotyłu) oraz jej średnicy, a także obniżenie świeżej masy tego organu. Redukcji wielkości komórek budujących poszczególne pokłady tkanek kory pierwotnej i walca osiowego hypocotyłu towarzyszył wzrost grubości zewnętrznych ścian komórek epidermy oraz powstawanie naczyń ksylemu o zmniejszonej średnicy. W komórkach miękiszu kory pierwotnej oraz walca osiowego zaobserwowano liczne plastydy o powiększonych rozmiarach, zawierające ziarna skrobi zapasowej. W warunkach stresu glinowego liście siewek rzodkiewki były znacznie mniejsze niż w obiekcie kontrolnym i odznaczały się zmniejszoną grubością blaszki oraz wysokością wiązki przewodzącej w nerwie głównym.

**Słowa kluczowe – key words:** toksyczność glinu – aluminum toxicity, rzodkiewka – radish, hypocotyl – hypocotyl, liść – leaf, morfologia – morphology, anatomia – anatomy

#### WSTĘP

Wzrastające zakwaszenie gleb jest obecnie problemem wielu krajów świata, w tym również Polski. W takich warunkach na organach wielu roślin uprawnych pojawiają się symptomy toksyczności glinu. Najbardziej podatny na uszkodzenia jest system korzeniowy, zwłaszcza młodych roślin, gdyż tą drogą odbywa się aplikacja jonów glinu (Blancaflor i in., 1998; Budikova i in., 1999). Jednakże nadmiar  $\text{Al}^{+3}$  w podłożu może powodować także zaburzenia w morfologii i anatomii łodyg i liści, co w dużej mierze uzależnione jest od stopnia wrażliwości danego gatunku bądź odmiany. Większość dotychczas opisanych symptomów

toksyczności glinu na pędach roślin uprawnych lub drzew związana była głównie z inhibicją ich wzrostu oraz zmianami w morfologii tych organów (Kidd i Proctor, 2000; Rufyikiri i in., 2001). Obserwowane zaburzenia miały najczęściej charakter wtórny i wynikały z niedostatecznego zaopatrzenia rośliny w składniki mineralne i wodę, które to zjawiska występują często łącznie ze zwiększoną zawartością jonów glinu w podłożu (Lee i Pritchard, 1984; Pintro i in., 1996).

Pomimo dokładnego opracowania wpływu glinu na wzrost i plonowanie dużej liczby gatunków i odmian roślin uprawnych, wciąż nieznana jest reakcja wielu taksonów na nadmiar toksycznych form glinu w podłożu. Niewiele jest również publikacji opisujących zmiany w anatomii pędów pod wpływem glinu (McQuattie i Schier, 1992; Weryszko-Chmielewska i in., 1998). Dlatego też w niniejszej pracy podjęto badania mające na celu określenie stopnia wrażliwości hypokotyli i liści rzodkiewki na różne stężenia glinu w podłożu oraz analizę zmian w morfologii i anatomii tych organów w warunkach stresu glinowego.

#### MATERIAŁ I METODA

Siewki rzodkiewki 'Rowa' (*Raphanus sativus* L. var. *radicula* Pers.) uprawiano w plastikowych pojemnikach o pojemności 4 dm<sup>3</sup>, które wypełniono zmodyfikowaną pożywką Knopa (Brauner i Bunkatsh 1987). Dodatkowo do pożywki wprowadzono AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O w stężeniach: 0 (kontrola), 10, 20 i 40 mg · dm<sup>-3</sup> pożywki, co odpowiada 0; 1,1; 2,2 i 4,5 mg · dm<sup>-3</sup> czystego glinu. Odczyn roztworów ustalono na poziomie 4,3 poprzez zastosowanie 0,1 M HCl lub 0,1 M NaOH. Odkazone nasiona rzodkiewki kiełkowały na mokrej bibule w płytkach Petriego. Po trzech dniach od wykiełkowania siewki przenoszono do kultur wodnych. W każdym obiekcie testowano 30 roślin. W czasie trwania doświadczenia pożywkę napowietrzano i uzupełniano jej ubytek, a po tygodniu pożywkę wymieniono. Doświadczenie przeprowadzono w trzech powtórzeniach i zakończono po upływie 14 dni. Wówczas zmierzono całkowitą długość hypokotyli, długość, szerokość i powierzchnię pierwszych liści właściwych, a także zważono części nadziemne roślin, w celu określenia średniej świeżej masy tych organów dla jednej siewki.

Do badań anatomicznych pobrano próbki hypokotyli i liści, które utrwalono w 70% etanolu. Badany materiał stanowiły środkowe fragmenty hypokotyli o długości 10 mm, z których przygotowano preparaty półtrwałe z poprzecznych przekrojów do obserwacji w mikroskopie świetlnym. Zmierzono średnicę hypokotyli oraz przeprowadzono pomiary szerokości warstw poszczególnych tkanek tego organu, a także określono grubość ścian w komórkach epidermy. Analizowano również liczbę oraz wielkość chloroplastów występujących w drugiej warstwie miększu kory pierwotnej hypokotyli. Do porównania cech anatomicznych liści pobrano środkowe fragmenty blaszki liściowej z pierwszego liścia właściwego. Wykonano pomiary grubości blaszki, nerwu głównego, a także wysokości głównej wiązki przewodzącej.

Uzyskane wyniki pomiarów poddano analizie statystycznej. Przeprowadzono analizę wariancji dla układu kompletnej randomizacji (klasyfikacja pojedyncza) oraz określono najmniejszą istotną różnicę dla par średnich (NIR).

#### WYNIKI

Po dwóch tygodniach wegetacji w kulturach wodnych łodyga roślin kontrolnych rzodkiewki składała się tylko z hypokotyli, a jej średnia wysokość wynosi

2,06 cm. Wszystkie stężenia Al zmniejszyły długość tego organu o około 30% w porównaniu z kontrolą, co stanowiło różnicę potwierdzoną statystycznie (tab. 1). Siewki rzodkiewki w obecności glinu charakteryzowały się też mniejszą liczbą wykształconych liści. W obiekcie kontrolnym rośliny wytworzyły trzeci liść właściwy, podczas gdy w pozostałych obiektach obserwowano tylko 2 liście (fot. 1). Stosowane dawki glinu wywołały wzrost intensywności zielonego zabarwienia liści oraz widoczne, zwłaszcza przy 20 i 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub>, purpurowienie brzegów, ogonków oraz nerwów liści i blaszek liści właściwych.

Drastycznemu zmniejszeniu pod wpływem glinu uległa średnia świeża masa hypocotyli i stanowiła ona odpowiednio 13,6% przy 10 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O, 7% przy 20 i 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O świeżej masy roślin kontrolnych (tab. 1).

Tab. 1. Średnia długość hypocotyli i średnia świeża masa pędu siewki rzodkiewki w 14 dniu eksperymentu  
The influence of aluminum on hypocotyl height and fresh mass of shoot after 14 days of the experiment

Badana cecha Investigated feature	Dawka AlCl <sub>3</sub> Level of AlCl <sub>3</sub> (mg · dm <sup>-3</sup> )				NIR LSD 0,05
	0	10	20	40	
Wysokość hypocotyli Hypocotyl height (cm)	2,06	1,45*	1,46*	1,44*	0,27
Świeża masa pędu Shoot fresh mass (g)	6,46	0,88*	0,45*	0,46*	2, 34

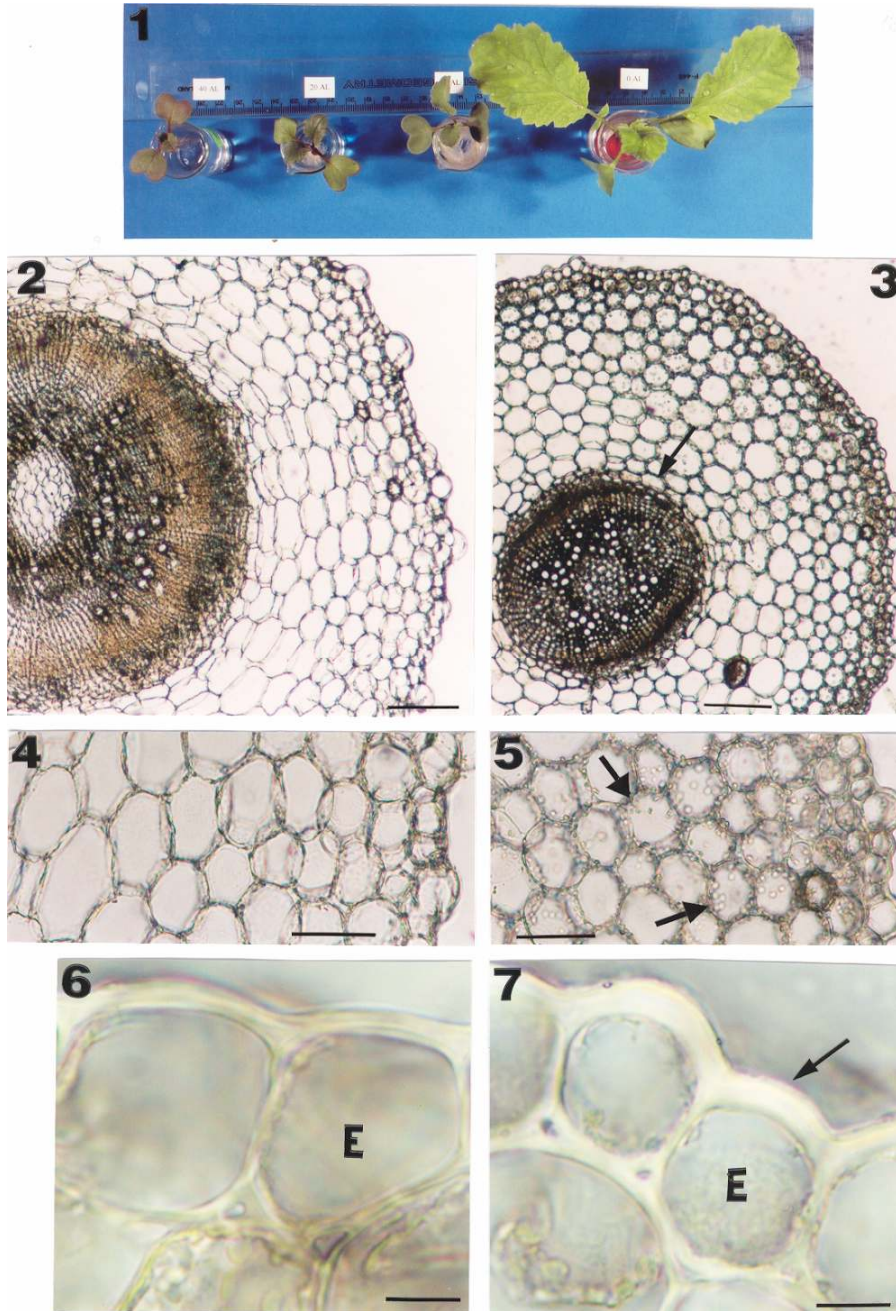
\*Oznacza wyniki istotnie różniące się w stosunku do kontroli (0 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub>)

\*Indicates a statistically significant difference from the control (0 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub>)

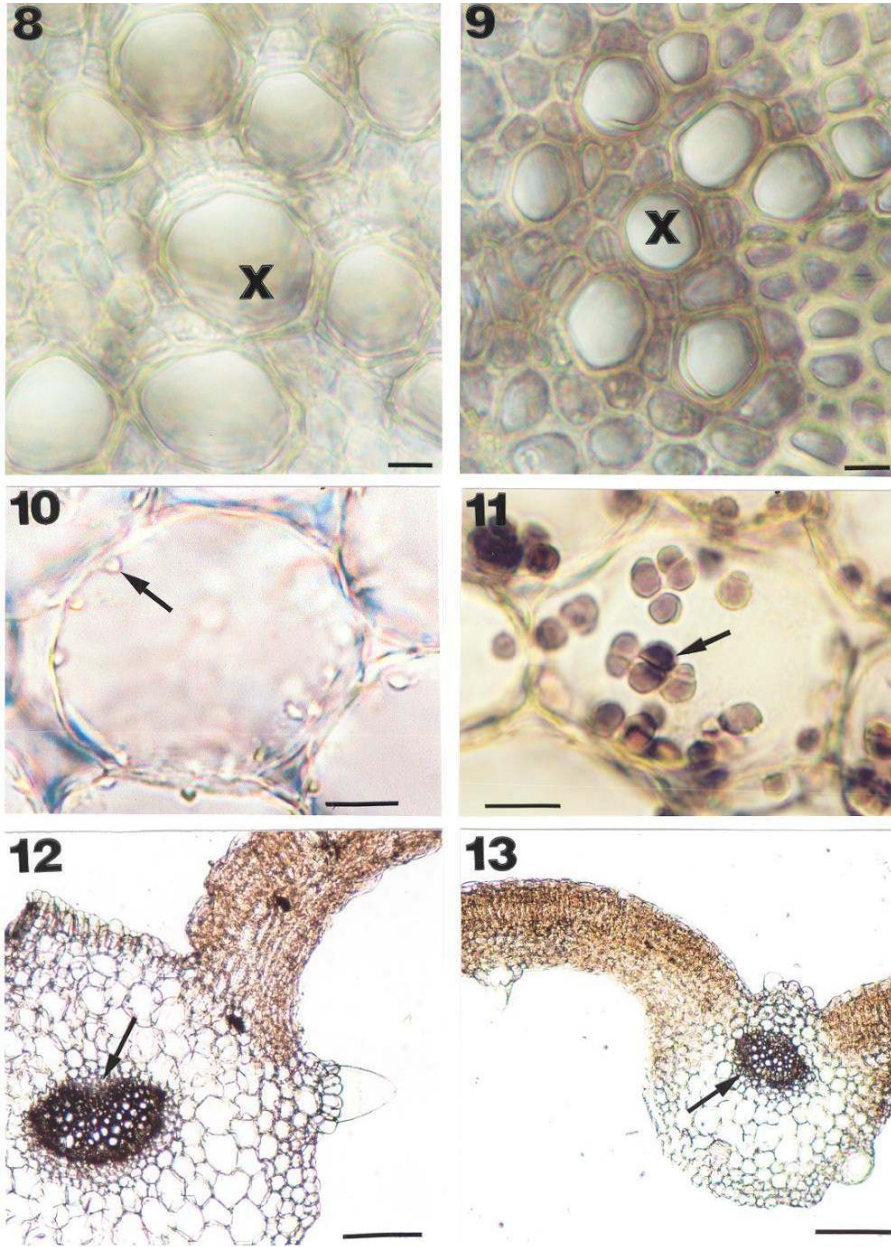
**Zmiany w budowie hypocotyli.** Pomiary wykonane na przekrojach poprzecznych hypocotyli siewek rzodkiewki wykazały znaczną redukcję średnicy tego organu u roślin traktowanych różnymi dawkami AlCl<sub>3</sub> (tab. 2). Zmiany te nasilały się wraz ze wzrostem stężenia glinu w pożywce. Przy 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> średnica hypocotyli stanowiła 65% grubości tego organu roślin kontrolnych. Często widoczne były spękania, biegnące równoległe do osi hypocotyli.

Zmniejszanie się średnicy hypocotyli w obecności wszystkich poziomów glinu, było spowodowane znaczną redukcją średnicy walca osiowego oraz w mniejszym stopniu zmniejszeniem grubości warstwy kory pierwotnej (tab. 2, fot. 2, 3). Przy najwyższym stężeniu toksykanta średnica walca osiowego stanowiła 49% wartości tej cechy u siewek kontrolnych, natomiast grubość pokładki kory pierwotnej 82% (tab. 2).

Na wzrastające stężenia toksykanta siewki rzodkiewki zareagowały także redukcją miękiszu kory pierwotnej odpowiednio o 11,5, 11 i 15% w porównaniu do obiektu kontrolnego (tab. 2). W obecności 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> komórki tej tkanki odznaczały się zredukowaną średnicą o 12,5% w porównaniu do komórek siewek kontrolnych (tab. 2, fot. 4, 5).



Agata Konarska



Fot. 1. Czternastodniowe siewki rzodkiewki rosnące przy różnych stężeniach glinu w pożywkę (0, 10, 20 i 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O)

Radish seedlings after 14 days of the Al-treatment (0, 10, 20 and 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O)

Fot. 2, 3. Fragmenty przekrojów poprzecznych hypokotyli czternastodniowych siewek rzodkiewki: 2 – obiekt kontrolny, 3 – 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O; widoczna znaczna redukcja średnicy łodygi przy zmniejszonej średnicy walca osiowego (strzałka). Kreski = 200 μm

Fragments of hypocotyl cross-sections of 14-days radish seedlings, 2 – control, 3 – 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O; note the reduction in stem diameter and decrease of central cylinder diameter (arrow) Bars = 200 μm

Fot. 4, 5. Fragmenty przekrojów poprzecznych miększu kory pierwotnej hypokotyli czternastodniowych siewek rzodkiewki: 4 – kontrola, 5 – 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O; widoczne mniejsze komórki miększu kory zawierające większą liczbę plastydów w porównaniu z kontrolą (strzałki). Kreski = 100 μm

Fragments of hypocotyl cross-sections of 14-days' radish seedlings, 4 – control, 5 – 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O; visible reduction in size of parenchyma cells and increase of number plastids in these (arrows). Bars = 20 μm

Fot. 6, 7. Fragmenty przekrojów poprzecznych epidermy (E) hypokotyli 14-dniowych siewek rzodkiewki: 6 – kontrola, 7 – 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O; w obecności glinu widoczne znacznie zgrubiałe zewnętrzne ściany komórek epidermy (strzałka). Kreski = 10 μm

Fragments of hypocotyl cross-sections of epidermis (E) 14-days' radish seedlings, 6 – control, 7 – 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O, visible thickness of outer epidermis cell walls (arrow). Bars = 10 μm

Fot. 8, 9. Fragmenty przekrojów poprzecznych przez ksylem hypokotyli dwutygodniowych siewek rzodkiewki: 8 – kontrola, 9 – 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O; w obecności glinu naczynia (X) mają mniejszą w porównaniu do kontroli średnicę. Kreski = 50 μm

Fragments of hypocotyl cross-sections of xylem 14-days radish seedlings, 8 – control, 9 – 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O; note xylem vessels (X) with decreased diameter compared to control. Bars = 50 μm

Fot. 10, 11. Plastidy (strzałki) w komórkach miększu kory pierwotnej hypokotyli 14-dniowych siewek rzodkiewki: 10 – kontrola, 11 – traktowane 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O oraz dodatkowo płynem Lugola. Kreski = 20 μm

Plastids (arrows) in parenchyma cells of primary cortex of 14-days' radish seedlings hypocotyl: 10 – control, 11 – and after 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O and Lugol fluid treatment Bars = 20 μm

Fot. 12, 13. Fragmenty przekrojów poprzecznych liścia czternastodniowych siewek rzodkiewki: 12 – kontrola, 13 – 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O; widoczne znaczne zmniejszenie grubości nerwu głównego oraz wysokości wiązki przewodzącej w nerwie głównym (strzałki). Kreski = 200 μm

Fragments of leaf cross-section of 14 days' radish seedlings: 12 – control, 13 – 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O; visible reduction in thickness of main leaf vein and decrease of height of main vascular bundle (arrows). Bars = 200 μm



Zmniejszenie wysokości komórek skórki hypokotylu po zastosowaniu glinu stwierdzono we wszystkich zastosowanych stężeniach. Przy kolejnych koncentracjach glinu były one niższe o 13,5, 10,5 i 13% w stosunku do kontroli (tab. 2, fot. 6, 7). Natomiast wzrost grubości zewnętrznej ściany tych komórek o 5% i prawie 23% w porównaniu z roślinami kontrolnymi, odnotowano przy 20 i 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> (tab. 2, fot. 6, 7).

Ponadto naczynia metaksylemu w walcu osiowym wytwarzane w obecności 20 i 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub>, miały zmniejszoną średnicę, odpowiednio o 10 i 32% w porównaniu do wyników uzyskanych w kontroli (tab. 2, fot. 8, 9).

Tab. 2. Wpływ glinu na niektóre cechy anatomiczne hypokotylu rzodkiewki po 14 dniach wzrostu w kulturach wodnych przy wzrastających stężeniach glinu  
The influence of aluminum on some anatomical features of radish hypocotyl after 14 days of the experiment

Badana cecha Investigated feature (µm)	Dawka AlCl <sub>3</sub> Level of AlCl <sub>3</sub> (mg · dm <sup>-3</sup> )				NIR LSD 0,05	
	0	10	20	40		
Średnica hypokotylu Hypocotyl diameter (mm)	2,54	1,80*	1,68*	1,65*	0,47	
Grubość kory pierwotnej Thickness of primary cortex (mm)	1,22	1,09	1,03	1,00	-	
Średnica walca osiowego Diameter of central cylinder (mm)	1,32	0,71*	0,65*	0,65*	0,40	
Grubość zewnętrznej ściany epidermy Thickness of outer epidermis cell walls	3,59	3,38	3,76	4,40*	0,72	
Wysokość komórek epidermy Height of epidermis cells	30,06	25,99	26,90	26,06	-	
Liczba warstw miękiszu kory pierwotnej Number of layer primary cortex parenchyma	9,43	9,70	9,67	9,67	-	
Grubość warstwy miękiszu kory pierwotnej Thickness of layer primary cortex parenchyma	513,45	454,64	457,76	435,96*	61,94	
Wielkość komórki miękiszu kory pierwotnej Size of cortex parenchyma cell	47,62	47,78	47,34	41,70*	3,35	
Średnica największych naczyń w wiązkach przewodzących Diameter of the largest vessels in vascular bundles	30,35	30,34	27,29*	22,75*	5,03	
Liczba chloroplastów w komórce miękiszu kory pierwotnej (2 warstwa) Number of chloroplasts in one cortex parenchyma cell (2 <sup>nd</sup> layer)	8,13	8,64	7,52	11,76*	2,21	
Wielkość chloroplastów Size of chloroplasts	Długość – Length	3,67	5,03	5,45*	6,43*	1,39
	Szerokość – Width	3,03	4,32*	4,45*	4,99*	1,15

\*Oznacza wyniki istotnie różniące się w stosunku do kontroli (0 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub>)

\*Indicates a statistically significant difference from the control (0 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub>)

Analiza chloroplastów w drugiej warstwie komórek miękiszu kory pierwotnej wykazała przy  $40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ AlCl}_3$  wzrost ich liczby o 45% w porównaniu z wynikami uzyskanymi w kontroli (tab. 2, fot. 4, 5). Zastosowane dawki glinu wpłynęły także na powiększenie rozmiarów tych plastydów (fot. 10, 11). Najsilniejszą reakcję stwierdzono przy 20 i  $40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ AlCl}_3$ , gdzie w stosunku do roślin kontrolnych długość tych organelli wzrosła odpowiednio o 48,5% i 75%, natomiast szerokość o 47% i 65% (tab. 2 fot. 10, 11). Podwyższoną liczbę plastydów o większych rozmiarach obserwowano w obecności  $40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ AlCl}_3$  również w pozostałych pokładach komórek, należących zarówno do kory pierwotnej, jak i walca osiowego. Często wypełniały je duże ziarna skrobi, intensywnie barwiące się pod wpływem płynu Lugola na kolor granatowo-fioletowy (fot. 11).

**Zmiany w budowie blaszek liściowych.** Redukcja wielkości blaszek liściowych była najbardziej widocznym objawem toksycznego oddziaływania glinu na te organy u siewek rzodkiewki `Rowa`. Stopień redukcji uzależniony był od wysokości zastosowanej dawki glinu (tab. 3). Pierwsze liście właściwe rzodkiewki przy kolejnych poziomach Al były krótsze o 67, 72 i 69% i węższe o 68, 70 i 70% od liści roślin kontrolnych, natomiast ich powierzchnia była mniejsza o 81, 88 i 88% od wartości uzyskanych w kontroli (tab. 3).

Tab. 3. Wpływ glinu na wielkość i budowę pierwszych liści właściwych rzodkiewki po 14 dniach traktowania glinem  
The influence of aluminum on size and structure of the first radish leaves after 14 days of the experiment

Badana cecha Investigated feature	Dawka $\text{AlCl}_3$ Level of $\text{AlCl}_3$ ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )				NIR – LSD 0,05
	0	10	20	40	
Długość – length (cm)	4,25	1,45*	1,24*	1,31*	0,45
Szerokość – width (cm)	3,01	0,95*	0,90*	0,90*	0,32
Powierzchnia – surface ( $\text{cm}^2$ )	11,10	2,10*	1,30*	1,30*	2,10
Grubość blaszki liściowej Thickness of foliage leaf ( $\mu\text{m}$ )	373,68	284,25	286,08	270,57*	103,10
Grubość nerwu głównego Thickness of main vein ( $\mu\text{m}$ )	875,81	635,49*	562,60*	551,00*	171,29
Wysokość głównej wiązki przewodzącej Height of main vascular bundle ( $\mu\text{m}$ )	186,84	157,30	138,71*	131,83*	36,35

\*Oznacza wyniki istotnie różniące się w stosunku do kontroli ( $0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ AlCl}_3$ )

\*Indicates a statistically significant difference from the control ( $0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ AlCl}_3$ )

Ponadto wszystkie dawki glinu wpłynęły na zmniejszenie grubości blaszki liściowej pierwszego liścia właściwego rzodkiewki odpowiednio o 17, 11 i 18% w stosunku do kontroli (tab. 3, fot. 12, 13). Stwierdzono również proporcjonalne do



zastosowanych stężeń toksykanta zmniejszenie grubości nerwu głównego i wysokości głównej wiązki przewodzącej. Przy najwyższym stężeniu parametry te stanowiły 63 i 70% wyników uzyskanych w kontroli (tab. 3, fot. 12, 13).

#### DYSKUSJA

Stres glinowy, jakiemu poddano siewki rzodkiewki `Rowa` miał wpływ na zahamowanie wzrostu i obniżenie świeżej masy pędów, co opisywali także inni badacze u różnych gatunków roślin (Janhunen i in., 1995; Weryszko-Chmielewska i in., 1997; Rufyikiri i in., 2000). Zaobserwowane w pracy zahamowanie tempa rozwoju liści oraz zmniejszenie ich powierzchni zgodne są z wynikami zawartymi we wcześniejszych publikacjach (Weryszko-Chmielewska i in., 1998; Malathi i in., 2001). Według Pan i in. (1989) w warunkach stresu glinowego główną przyczyną zahamowania wzrostu roślin może być zaburzona pod wpływem glinu synteza endogennych fitohormonów odpowiedzialnych za wzrost i rozwój pędów. W obecności glinu następuje także zahamowanie działania kalmoduliny (Hag, 1984; Ślaski i Anioł, 1987), sterującej aktywnością wielu enzymów uczestniczących m.in. w procesach fotosyntezy i oddychania, co sugerowali wcześniej Lorenc-Plucińska i Karolewski (1994) oraz Michałek (2002). Jest prawdopodobne, że zwłaszcza zaburzenia w aktywności mitochondriów oraz powstawaniu i rozpadzie ATP mogły być czynnikami prowadzącymi do zahamowania wzrostu roślin (Lorenc-Plucińska i Ziegler, 1996; Yamamoto i in., 2002).

Nienaturalnie ciemną barwę liści rzodkiewki oraz purpurowienie jej łodyg, nerwów, ogonków i brzegów blaszek liściowych stwierdzono pod wpływem oddziaływania wyższych stężeń toksykanta. Podobne objawy, związane ze wzmożoną syntezą antocyjanów w obecności Al obserwowali również Foy i in. (1974) oraz Weryszko-Chmielewska i in. (1997). Powyższe przebarwienia mogą być wynikiem niedoboru fosforu, co niejednokrotnie zostało opisane przez innych badaczy w warunkach stresu glinowego (Janhunen i in., 1995; Oleksyn i in., 1996). O niedoborze tego makroelementu świadczyć mogą zauważone w prezentowanej pracy, w komórkach hypokotylu rzodkiewki powiększone i bardziej liczne plastydy wypełnione ziarnami skrobi. O utrudnionym rozkładzie skrobi w chloroplastach (fosforoliza) przy ograniczonej dostępności fosforu donosi Greger i in. (1992), natomiast zwiększoną akumulację tego wielocukru w obecności Al zaobserwowały również Schier i McQuattie (1995).

W obecnej pracy zmniejszona średnica łodygi oraz grubość blaszek i nerwów liściowych związana była z jednoczesną redukcją wielkości komórek budujących tkanki powyższych organów (epiderma, miękisz, naczynia ksylemu). Uzyskane wyniki korespondują z danymi znanymi z piśmiennictwa (Janhunen i in. 1995; Weryszko-Chmielewska i Wróblewska, 1997).

Pod wpływem toksykanta komórki epidermy charakteryzowały się zgrubiałymi zewnętrznymi ścianami komórkowymi, co w swoich badaniach obserwowały również Weryszko-Chmielewska i in. (1998). Ponadto autorki te zauważyły na powierzchni liści roślin traktowanych glinem bardziej obfity nalot woskowy. Wydaje się, że opisane w pracy modyfikacje zewnętrznej ściany komórek epidermy mogły przyczynić się do skutecznego ograniczenia transpiracji kutykularnej w warunkach utrudnionego pobierania wody. Z publikacji licznych badaczy wynika bowiem, że niedobór wody jest jedną z głównych dolegliwości, na jakie cierpią rośliny w warunkach stresu glinowego (Borowski, 1999; Rufyikiri i in., 2001).

#### WNIOSKI

1. Zastosowane dawki glinu wpłynęły na zahamowanie wzrostu i rozwoju pędów siewek rzodkiewki przejawiające się w zmniejszeniu wysokości oraz świeżej masy hypocotylu, a także średnicy tego organu. Wywołały również opóźnienie rozwoju i redukcję wielkości oraz grubości blaszek liściowych.

2. W obecności glinu zaobserwowano zaburzenia morfologiczno-anatomiczne zbliżone do występujących przy niedostatecznym pobieraniu składników mineralnych (objawy niedoboru fosforu).

#### PIŚMIENNICTWO

- Blancaflor E. B., Jones D. L., Gilroy S. 1998. Alterations in the cytoskeleton accompany aluminum induced growth inhibition and morphological changes in primary roots of maize. *Plant Physiol.*, 118: 159–172.
- Borowski E., 1999. Wpływ dodatku do kultur piaskowych hydrożelu potasowego (Akrygelu K) lub zwiększonego nawożenia potasem na rośliny pomidora rosnące w obecności zróżnicowanych dawek glinu. Część I. Reakcja roślin na glin i na dodatek hydrożelu potasowego. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio III, Hort.* 7: 101–110.
- Brauner L., Bunkatsh F., 1987. *Praktikum z fizjologii roślin*. PWN, Warszawa.
- Budiková S. 1999. Structural changes and aluminum distribution in maize root tissues. *Biol. Plant.*, 42, 2: 259–266.
- Foy C. D., Lafever H. N., Schwartz J. W., Fleming A. L., 1974. Aluminum tolerance of wheat cultivars related to region of origin. *Agron. J.*, 66: 751–758.
- Greger M., Tillberg J. E., Johansson M., 1992. Aluminum effects on *Scenedesmus obtusiusculus* with different phosphorus status. II. Growth, photosynthesis and pH. *Physiol. Plant.*, 84, 2: 202–208.
- Haug A. 1984. Molecular aspects of aluminum toxicity. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.*, 1: 345–373.
- Janhunen S., Palomäki V., Holopainen T., 1995. Aluminum causes nutrient imbalance and structural changes in the needles of Scots pine without inducing clear root injuries. *Trees*, 9: 134–142.
- Kidd P. S., Proctor J. 2000. Effects of aluminum on the growth and mineral composition of *Betula pendula* Roth. *J. Exp. Bot.*, 51, 347: 1057–1066.

- Lee J., Pritchard M. W. 1984. Aluminum toxicity expression on nutrient uptake, growth and root morphology of *Trifolium repens* L. cv. Grasslands Huia. *Plant Soil*, 82: 101–116.
- Lorenc-Plucińska G., Karolewski P. 1994. Aluminum effects on pyridine nucleotide redox state in roots of Scots pine. *Acta Soc. Bot. Pol.*, 632: 167–171.
- Lorenc-Plucińska G., Ziegler H., 1996. Changes in ATP levels in Scot pine needles during aluminum stress. *Photosynthetica*, 32, 1: 141–144.
- Malathi N., Sarethy I. P., Paliwal K., 2001. Effect of aluminum on hydroponically grown *Acacia nilotica* seedlings. *J Plant Biol.*, 28, 1: 105–109.
- Michałek W., 2002. Fizjologiczne aspekty toksyczności mono- i polimerycznej formy glinu na przykładzie sałaty (*Lactuca sativa* L.). *Rozprawy Naukowe Akad. Roln. w Lublinie*, zesz. 259.
- McQuattie C. J., Schier G. A. 1992. Effect of ozone and aluminum on pitch pine (*Pinus rigida*) seedlings: alterations in the anatomy of mycorrhizae. *Can. J. For. Res.*, 22: 1901–1916.
- Oleksyn J., Karolewski P., Gietrych M.J., Werner A., Tjoelker P., Reich B., 1996. Altered root growth and plant chemistry of *Pinus silvestris* seedlings subjected to aluminum in nutrient solution. *Trees*, 10, 3: 135–144.
- Pan W. L., Hopkins A. G., Jackson W. A., 1989. Aluminum inhibition of shoot lateral branches of *Glicine max* and reversal by exogenous cytokinin. *Plant Soil*, 120: 1–9.
- Pintro J. C., Barloy J., Fallavier P. 1996. Aluminum effects on the growth and mineral composition of corn plants cultivated in nutrient solution at low aluminum activity. *J. Plant Nutr.*, 19: 729–741.
- Rufyikiri G., Dufey J. E., Nootens D., Delvaux B., 2001. Effect of aluminum on bananas (*Musa sp.*) cultivated in acid solutions. II. Water and nutrient uptake. *Fruits-Paris*, 56, 1: 5–16.
- Rufyikiri G., Nootens D., Dufey J. E., Delvaux B., 2000. Effect of aluminum on bananas (*Musa sp.*) cultivated in acid solution. I. Plant growth and chemical composition. *Fruits-Paris*, 55: 6, 367–379.
- Schier G. A., McQuattie C. J., 1995. Effect of aluminum on the growth, anatomy, and nutrient content of ectomycorrhizal and nonmycorrhizal eastern white pine seedlings. *Can. J. For. Res.*, 25: 1252–1262
- Ślaski J. J., Anioł A., 1987. Effect of calmodulin inhibitors on aluminum toxicity in cereals. *Acta Physiol. Plant*, 9: 13–23.
- Weryszko-Chmielewska E., Chwil M., Szadura M., 1998. Wpływ nadmiaru glinu na budowę łodygi i liści grochu zwyczajnego (*Pisum sativum* L.). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 456: 623–628.
- Weryszko-Chmielewska E., Konarska A., Badora A., Filipek T., 1997. Zmiany morfologiczne i anatomiczne w organach roślin zbożowych uprawianych na glebach silnie zakwaszonych. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio EEE, Hort.* 5: 255–266.
- Weryszko-Chmielewska E., Wróblewska A., 1997. Wpływ kwaśnego podłoża na morfologię organów nadziemnych i nektarowanie rzepaku jarego (*Brassica napus* L. var. *oleifera* D. C.). *Wyd. Polsk. Tow. Magnezolog.*, Lublin: 37–47.
- Yamamoto Y., Kobayashi Y., Rama Devi R., Rikiishi S., Matsumoto H., 2002. Aluminum toxicity is associated with mitochondrial dysfunction and the production of reactive oxygen species in plant cells. *Plant Physiol.*, 128: 63–72.

## SUMMARY

Radish seedlings were grown in water culture for 14 days with Al-treatment (0, 10, 20 and 40 mg · dm<sup>-3</sup> AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O) and pH adjusted as 4.3. Some morphological and anatomical features of radish hypocotyl were analyzed. Reduction in height and diameter of hypocotyl as well as re-

duction in fresh mass of shoot were observed after Al-treatment. The leaf surface area and the thickness of leaf were decreased, too. The aluminum stress caused a significant increase in the thickness of outer cell wall epidermis. Reduction in cell size within epidermis, parenchyma and vessel xylem was noticed after Al-treatment. Also the number and size of parenchyma plastids in primary cortex and central cylinder were increased. They contained enlarged grains of starch.