

Reakcja liści trzech gatunków roślin uprawnych na stres glinowy

AGATA KONARSKA

Katedra Botaniki, Akademia Rolnicza w Lublinie

Department of Botany, Agricultural Academy

ul. Akademicka 15, 20 950 Lublin

Response of leaves of three plant species to aluminium stress

(Otrzymano: 2.03.2004)

Summary

Water culture experiments were undertaken for 14 days to examine the effect of increasing aluminum level (0, 10, 20 40 mg·dm⁻³ AlCl₃·6 H₂O) on growth of sunflower, red pepper and radish leaves. The early stage of Al toxicity was characterized by curling or rolling of young leaves, marginal and veinal chlorosis, dark green leaves as soon as purpling of margins and veins of leaves. Reduction of leaf size and increased stomata density were observed with increasing Al concentration. Additionally, length of stomata cells decreased after Al-treatment.

Key words: aluminum toxicity, sunflower, red pepper, radish, leaf, morphology, stomata.

WSTĘP

Większość toksycznych jonów glinu, pobieranych przez roślinę z podłoża, unieruchomiona zostaje w korzeniach. Do części nadziemnej przemieszcza się tylko nieznaczna ich ilość, zależna od zawartości glinu ruchomego w glebie, właściwości fizykochemicznych gleby oraz gatunku, wieku i tolerancji rośliny (Nowak i Friend, 1995, Borowski, 1999, Lidon i in., 1999). Jony toksykanta mogą przemieszczać się z korzeni do organów wyżej położonych tkanką naczyniową wraz z prądem transpiracyjnym. Glin może być wówczas magazynowany w liściach i odkładany w peryferyjnych ich częściach, tj. w ścianach komórkowych epidermy górnej, zwłaszcza w pokładzie kutykuli lub w ścianach komórek mięksiszu palisadowego (Garrec i Renard, 1996, Shen i Ma, 2001). Jednakże typowe symptomy toksyczności glinu na organach nadziemnych pojawiają się stosunkowo rzadko lub wcale nie występują (Oleksyn i in., 1996, Mangabeira i in., 1999). Zmiany obserwowane wówczas na łodygach i liściach mogą mieć charakter wtórny, a ich występowanie wynikać może z niedostatecznego zaopatrzenia rośliny w składniki mineralne oraz wodę, spowodowanego zaburzeniami przemian metabolicznych, na co zwrócili

uwagę autorzy wcześniejszych prac (Janhunen i in., 1995, Foy, 1997, Ruffy-ikiri i in., 2001). Ze względu na zróżnicowaną reakcję roślin na toksyczność glinu, celem niniejszych badań było określenie wpływu tego metalu na rozwój liści trzech gatunków roślin uprawnych o nieznannej reakcji na oddziaływanie Al.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono w latach 2000–2002. W kulturach wodnych testowano trzy gatunki roślin: *Helianthus annuus* L. – słonecznik zwyczajny, formę jadalną, *Capsicum annuum* L. – paprykę roczną 'Trapez', *Raphanus sativus* L. var. *radicula* Pers. – rzodkiewkę 'Rowa'.

Odkążone nasiona badanych roślin kiełkowały na mokrej bibule w płytkach Petriego. Po kilku dniach od wykiełkowania (3-5) siewki przenoszono do kultur wodnych i mocowano w styropianowych trawerkach w opaskach z gąbki. Rośliny uprawiano w plastikowych pojemnikach o pojemności 4 dm³, które wypełniono zmodyfikowaną pożywką Knopa. Glin wprowadzono w formie AlCl₃·6 H₂O w trzech stężeniach: 10, 20 i 40 mg·dm⁻³ pożywki, co odpowiada 1,1; 2,2 i 4,5 mg·dm⁻³ czystego glinu. Ponadto pożywka z glinem zawierała 5-krotnie zredukowaną w stosunku do kontroli ilość fosforu, w celu uniknięcia wytrącania się fosforanu glinu, co wpłynęłoby na zmniejszenie toksyczności Al³⁺. Odczyn roztworów z toksykantem ustalono we wszystkich stężeniach na poziomie 4,3 poprzez zastosowanie 0,1 M HCl lub 0,1 M NaOH. Czwarty obiekt stanowiła kombinacja nie zawierająca glinu (0 mg·dm⁻³ AlCl₃·6 H₂O), natomiast zapewniająca roślinom optymalne warunki wzrostu poprzez zastosowanie pełnej dawki fosforu wynikającej ze składu pożywki Knopa oraz ustalenie pH na poziomie około 6,5, dodając do pożywki 0,1 M roztwór NaOH.

W czasie trwania doświadczenia pożywkę napowietrzano i uzupełniano jej ubytek wodą redetylowaną, a po tygodniu pożywkę wymieniono. Dla każdego gatunku doświadczenie przeprowadzono w trzech powtórzeniach i kończono po upływie 14 dni. Analizowano 20 roślin. Linijką zmierzono długość i szerokość liścieni lub pierwszych liści właściwych, natomiast powierzchnię liści określono przy użyciu planimetru firmy „Reiss”. Do badań porównawczych dotyczących gęstości i wielkości aparatów szparkowych pobrano epidermę odosiową z liścieni papryki i rzodkiewki oraz pierwszych liści właściwych słonecznika i rzodkiewki.

Do analizy w skaningowym mikroskopie elektronowym, próbki pierwszych liści właściwych papryki utrwalano w 2% aldehydzie glutarowym z 2,5% paraformaldehydem w 0,075 M buforze fosforanowym o pH 6,8, przez 12 godzin w 4°C. Następnie materiał dwukrotnie przemywano buforem po 15 sekund w temperaturze pokojowej i wodą destylowaną również przez 15 sekund. Kolejnym etapem było odwadnianie preparatów w 2,2-dimethoxypropanie zakwaszonym HCl według metody Miller i Jacks (1975). Odwodniony materiał suszono w punkcie krytycznym w ciekłym CO₂ i napyłano złotem przy użyciu CS100 Sputter Coater. Obserwacje odosiowej powierzchni liści przeprowadzono przy użyciu mikroskopu BS–300 Tesla.

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

Redukcja wielkości blaszek liściowych była najbardziej widocznym objawem toksycznego działania glinu na te organy u badanych gatunków roślin (tab.1, fot. 1-2). Stopień redukcji uzależniony był od wysokości dawki glinu oraz położenia liści na roślinie. Po traktowaniu glinem, silniejszej redukcji uległa wielkość liści właściwych rzodkiewki niż słonecznika. W kolejnych poziomach Al liście rzodkiewki były krótsze i węższe o około 70% od liści roślin rosnących w pożywce bez glinu. Natomiast powierzchnia blaszek liściowych rzodkiewki stanowiła 19% (przy $10 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ AlCl}_3\cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$) oraz 11,7% (przy 20 i $40 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ AlCl}_3\cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$) powierzchni liści roślin z kombinacji nie zawierającej glinu.

Tabela 1; Table 1

Charakterystyka pomiarów liści badanych gatunków po 14 dniach traktowania glinem
The influence of aluminum on leaves dimensions after 14 days of the experiment

Roślina Plant	Badana cecha Investigated feature	Dawka $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$				NIR LSD P=0,05
		Level of $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$ ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$)				
		0	10	20	40	
Słonecznik Liść I Sunflower 1 st leaf	Długość – length (cm)	7,91	6,10	5,62	3,36	0,75
	Szerokość – width (cm)	4,08	2,97	2,82	1,84	0,49
	Powierzchnia – area (cm^2)	24,7	14,6	12,3	4,6	4,2
Papryka Liścień Red pepper cotyledon	Długość – length (cm)	3,27	2,80	2,42	2,14	0,21
	Szerokość – width (cm)	0,91	0,79	0,68	0,62	0,08
	Powierzchnia – area (cm^2)	2,2	1,8	1,4	1,3	0,4
Rzodkiewka Liścień Radish cotyledon	Długość – length (cm)	1,84	1,25	1,34	1,15	0,24
	Szerokość – width (cm)	2,7	2,02	1,86	1,66	0,35
	Powierzchnia area (cm^2)	5,6	3,1	3,2	2,8	1,1
Rzodkiewka Liść I Radish 1 st leaf	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 – area (cm^2)	11,1	2,1	1,3	1,3	2,1

Warto zauważyć, że liście właściwe siewek rzodkiewki wykazały silniejszą reakcję na oddziaływanie jonów glinu aniżeli jej liścienie, natomiast wielkość liścieni rzodkiewki w obecności Al była bardziej zredukowana niż wielkość liścieni papryki (tab. 1, fot. 1-2).

Ponadto liścienie siewek badanych roślin po 14 dniach wzrostu w kulturach wodnych, zwłaszcza w obecności wyższych dawek toksykanta, cechowało wcześniejsze żółknięcie i zasychanie oraz nasilone odchylenie brzegów blaszki liściowej ku dołowi.



Fot. 1.

Pierwsze liście (młodościane) czternastodniowych siewek słonecznika w obecności różnych dawek glinu ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)

The influence of different levels of aluminum ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) on 1st sunflower leaves



Fot. 2.

Liścienie czternastodniowych siewek papryki w obecności różnych dawek glinu (0, 10, 20 i $40 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)

The influence of different levels of aluminum (0, 10, 20 and $40 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) on red pepper cotyledon

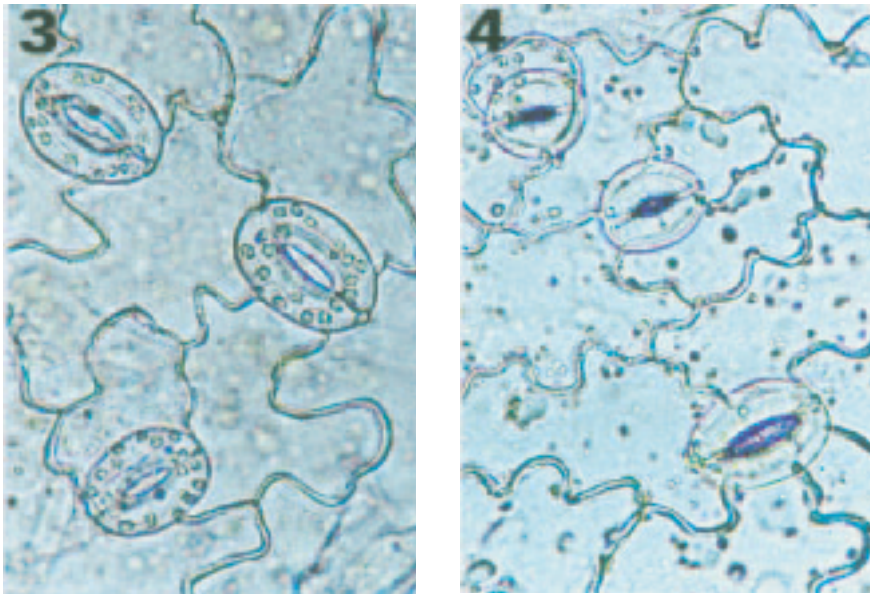
Natomiast rzadko na liściach właściwych obserwowano chlorozy międzyżyłkowe lub marginalne, postępujące od szczytu liścia i od brzegów blaszki liściowej. Późniejsze formowanie kolejnych liści u siewek testowanych gatunków stwierdzono zwłaszcza przy wyższych stężeniach $\text{AlCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$. Pod wpływem glinu, liście właściwe charakteryzowały się zmianą kształtu z typowego dla gatunku, co było najbardziej widoczne u słonecznika przy najwyższym stężeniu toksykanta (fot. 1). Ponadto zarówno liście, jak i liście właściwe papryki i rzodkiewki traktowane wyższymi stężeniami $\text{AlCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ odznaczały się intensywniejszą barwą oraz purpurowieniem brzegów blaszki oraz nerwów i ogonków liściowych (fot. 2).

W obecności Al^{+3} stwierdzono zwiększoną liczbę aparatów szparkowych na jednostce powierzchni odosiowej epidermy liścia, z jednoczesną redukcją długości ich komórek u wszystkich gatunków testowanych roślin (tab. 2, fot. 3-4). Z wyjątkiem liści właściwych rzodkiewki, zanotowano tym większą liczę szparek, im wyższe było

Tabela 2; Table 2

Analiza zagęszczenia i wielkości aparatów szparkowych u badanych gatunków
Number and value of stomata of the experimental species

Plant	Badana cecha Investigated feature	Dawka $\text{AlCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ Level of $\text{AlCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)				NIR LSD P=0,05
		0	10	20	40	
Słonecznik I liść Sunflower 1 st leaf	Liczba aparatów szparkowych w mm^2 epidermy odosiowej Number of stomata per mm^2 of abaxial epidermis	105,1	119,0	164,6	210,7	37,3
	Długość komórek szparkowych (μm) The length of stomata cells (μm)	42,1	39,5	34,2	35,3	4,2
	Liczba szparek na całej powierzchni liścia Stomata's number in total leaf surface	259597	173740	202458	96922	–
Papryka liścień Red pepper cotyledon	Liczba aparatów szparkowych w mm^2 epidermy odosiowej Number of stomata per mm^2 of abaxial epidermis	46,3	91,0	91,5	101,5	16,8
	Długość komórek szparkowych (μm) The length of stomata cells (μm)	47,2	43,5	44,8	36,4	7,1
	Liczba szparek na całej powierzchni liścia Stomata's number in total leaf surface	10186	16380	12810	13195	–
Rzodkiewka liścień Radish cotyledon	Liczba aparatów szparkowych w mm^2 epidermy odosiowej Number of stomata per mm^2 of abaxial epidermis	117,9	192,3	197,4	256,4	68,7
	Długość komórek szparkowych (μm) The length of stomata cells (μm)	42,2	39,4	37,3	33,2	5,0
	Liczba szparek na całej powierzchni liścia Stomata's number in total leaf surface	66024	59613	63168	71792	–
Rzodkiewka I liść Radish 1 st leaf	Liczba aparatów szparkowych w mm^2 epidermy odosiowej Number of stomata per mm^2 of abaxial epidermis	187,2	305,1	543,6	346,2	121,9
	Długość komórek szparkowych (μm) The length of stomata cells (μm)	34,9	29,5	30,1	29,4	5,8
	Liczba szparek na całej powierzchni liścia Stomata's number in total leaf surface	218892	64071	70668	45006	–



15 μm

Fot. 3 4.

Fragmenty odosiowej epidermy liścieni papryki z aparatami szparkowymi

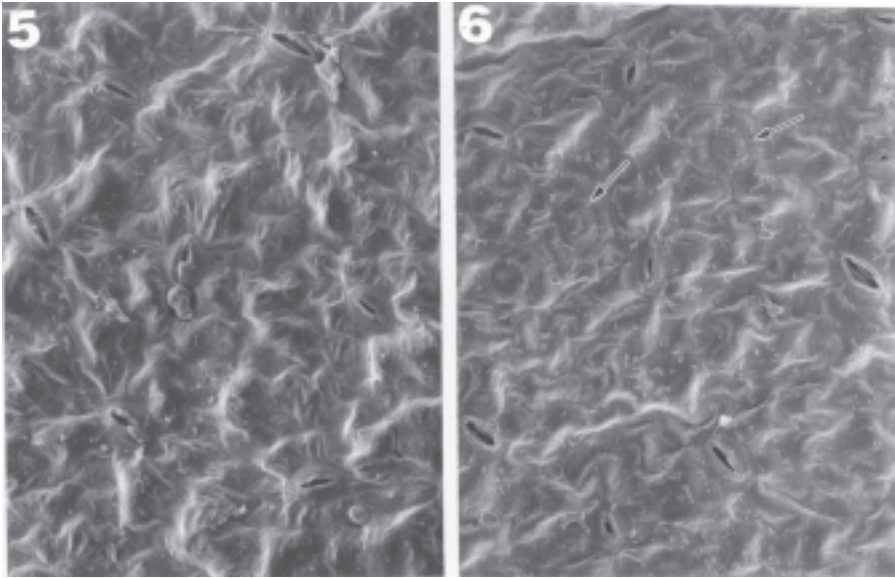
3 0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, 4 40 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

Fragments of abaxial epidermis of red pepper cotyledon with stomata

3 0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, 4 40 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

zastosowane stężenie glinu. Przy najwyższym stężeniu toksykanta, ponad dwukrotnie więcej szparek w porównaniu z obiektem 0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ wytworzyły liście właściwe słonecznika i rzodkiewki oraz liścienie papryki. Z kolei w porównaniu do kombinacji 0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ największą redukcją długości komórek szparkowych (o 27%) charakteryzowały się liścienie papryki w obecności najwyższej dawki glinu (tab. 2, fot. 3-4). Natomiast szparki w liściach właściwych rzodkiewki we wszystkich zastosowanych poziomach $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ miały podobną długość (tab. 2). Dodatkowo, epiderma odosiowa liści papryki i rzodkiewki w obecności 40 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ zawierała dość liczne, nie w pełni rozwinięte aparaty szparkowe, których obecności nie stwierdzono w dolnej skórcie liści pozostałych kombinacji (fot. 5-8).

Z obliczeń liczby szparek na całej powierzchni liścia wynika, że dla liści właściwych siewek słonecznika i rzodkiewki uprawianych przy zastosowaniu $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, liczba ta różniła się znacznie w kolejnych poziomach toksykanta, ale była mniejsza niż w obiekcie 0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$. Natomiast całkowita liczba szparek w epidermie odosiowej liścieni papryki i rzodkiewki uległa zwiększeniu pod wpływem najwyższego stężenia toksykanta odpowiednio o 9% i 30% w porównaniu do kombinacji 0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ $\text{AlCl}_3\cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, mimo że na pośrednie dawki glinu rośliny te zareagowały odmiennie (tab. 2).



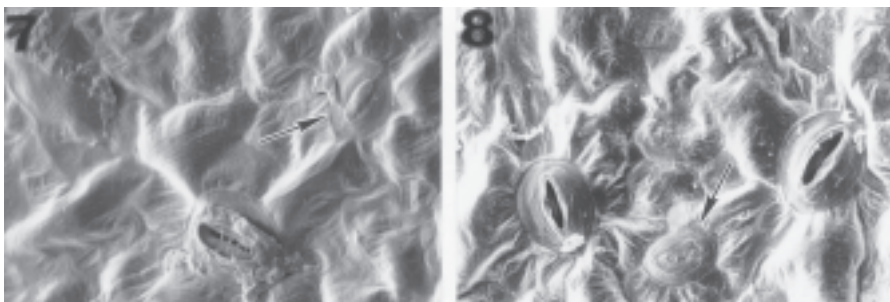
30 μm

Fot. 5 6.

Fragmety powierzchni odosiowej epidermy liścia papryki

5 0 mg·dm³ AlCl₃·6 H₂O, 6 40 mg·dm³ AlCl₃·6 H₂O, obok w pełni wykształconych szparek widoczne niedojrzałe aparaty szparkowe (strzałki)

Fragments of abaxial surface of red pepper leaf epidermis. 5 0 mg·dm³ AlCl₃·6 H₂O, 6 40 mg·dm³ AlCl₃·6 H₂O. Visible mature and immature stomata (arrows)



20 μm

Fot. 7 8.

Fragmety powierzchni odosiowej epidermy liścia papryki w obecności 40 mg·dm³ AlCl₃·6 H₂O, widoczne niedojrzałe aparaty szparkowe (strzałki)

Fragments of abaxial surface of red pepper leaf epidermis after 40 mg·dm³ AlCl₃·6 H₂O treatment. Note immature stomata (arrows)

DYSKUSJA

Zastosowane stężenia $\text{AlCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ miały wpływ na zahamowanie rozwoju liści u wszystkich badanych gatunków oraz spowodowały redukcję ich powierzchni. O podobnych zależnościach donoszą autorzy innych prac (Weryszko-Chmielewska i in., 1998, Kidd i Proctor, 2000, Neogy i in., 2002).

Chlorozy różnego typu, zauważone przez autorkę pracy w warunkach stresu glinowego, obserwowaly również Bojarczuk (1999) oraz Weryszko-Chmielewska i in. (1997) u innych gatunków roślin traktowanych glinem. Zjawisko to niektórzy autorzy tłumaczą zaburzeniami w syntezie chlorofilu wywołanymi toksycznością tego metalu (Anandi i in., 2002, Michałek, 2002). Chlorozy mogły być także wtórnym skutkiem niedoboru składników pokarmowych, takich jak magnez lub wapń czy potas. O niedoborze lub o zmniejszonej zawartości tych pierwiastków pod wpływem glinu donoszą inni autorzy (Wheeler i Follet, 1991, Foy, 1997).

Obserwowane w niniejszej pracy objawy, związane ze wzmożoną syntezą antocyjanów oraz ze wzrostem intensywności zielonej barwy liści pod wpływem oddziaływania jonów glinu, były zauważone również przez Weryszko-Chmielewską i in. (1997) na pędach roślin zbożowych. Być może są to charakterystyczne symptomy niedoboru fosforu, wywołane immobilizacją tego pierwiastka w korzeniach, co zostało wielokrotnie opisane przez innych badaczy (Janhuneni i in., 1995, Oleksyn i in., 1996).

W niniejszej pracy stwierdzono, że odosiowa epiderma liścieni i liści właściwych badanych gatunków roślin, w obecności glinu charakteryzowała się większą liczbą aparatów szparkowych na jednostce powierzchni, przy jednoczesnej redukcji długości ich komórek. Ponadto odnotowane w przypadku liścieni zwiększenie całkowitej liczby szparek na badanej powierzchni blaszek liściowych, sugerować może powstanie dodatkowych aparatów szparkowych (tab. 2). Świadczy o tym również obecność nie w pełni uformowanych szparek, które jeszcze bardziej zwiększyłyby tę liczbę (fot. 6-8). U innych roślin, wzrost liczby szparek na jednostce powierzchni w obecności glinu zaobserwowali również Weryszko-Chmielewska i in. (1998) oraz Neogy i in. (2002). Jednakże Horton i Edwards (1976) uważają, że większa liczba szparek na jednostce powierzchni nie wynika z rozwoju nowych aparatów szparkowych, ale jest efektem redukcji powierzchni liści pod wpływem glinu. Wyniki autorki pracy wskazują, że powyższa zależność odnosi się jedynie dla liści właściwych słonecznika i rzodkiewki (tab. 2). Natomiast zaobserwowane w pracy zwiększenie całkowitej liczby szparek na liścieniach roślin eksperymentalnych pod wpływem glinu, mogło być oznaką indukcji mechanizmu adaptacyjnego na toksyczność tego metalu. Wydaje się bowiem, że w warunkach stresu glinowego, przy obniżonej absorpcji wody i zaburzonej transpiracji, adaptacja polegająca na zwiększeniu liczby szparek i redukcji ich wielkości jest korzystniejsza dla utrzymania prawidłowego parowania, niż obecność większych, ale mniej licznych aparatów szparkowych. Zgodnie z regułą Stefana natężenie wymiany gazów jest proporcjonalne do średnicy otworu, a nie do jego powierzchni (Kopcewicz, Lewak, 1998). Powyższej relacji nie można odnieść do liści właściwych, gdyż w obecności glinu miały one najczęściej opóźnioną morfogenezę.

LITERATURA

- Anandi S., Thangavel P., Subburam V. 2002. Influence of aluminium on the restoration potential of a terrestrial vascular plant, *Portulaca oleracea* L. as a biomonitoring tool of fresh water aquatic environments. Environ. Monit. Assess. 78: 19 29.
- Bojarczuk K. 1999. Effect of aluminium toxicity on the development of poplar (*Populus tremula* L. x *P. alba* L.) cultured in vitro. Acta Soc. Bot. Pol. 68(4): 245 250.
- 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. Annales UMCS, sectio EEE, 7: 101 110.
- Foy C.D. 1997. Tolerances of lupin species and genotypes to acid soil and coal mine spoil. J. Plant Nutr. 20(9): 1095 1118.
- Garrec J. P., Renard E. 1996. Absorbition foliaire de l'aluminium: etude de la fixation et de la penetration cuticulaire. Envir. Exp. Bot. 36(4): 365 375.
- Horton B. D., Edwards J. H. 1976. Diffusion resistance rates and stomatal aperture of peach seedling as affected by aluminium concentration. Hort. Sci. 11(6): 591 593.
- Janhunen S., Palomäki V., Holopainen T. 1995. Aluminium 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 aluminium on the growth and mineral composition of *Betula pendula* Roth. J. Exp. Bot. 51(347): 1057 1066.
- Kopcewicz J., Lewak S. 1998. Podstawy fizjologii roślin. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
- Lidon F. C., Barreiro M. G., Ramalho J. C., Lauriano J. A. 1999. Effects of aluminium toxicity on nutrient accumulation in maize shoots: implications on photosynthesis. J. Plant Nutr. 22(2): 397 416.
- Mangabeira P., Mushrifah I., Escaig F., Laffray D., Franca M. G., Galle P. 1999. Use of MISS microscopy and elektron probe X ray microanalysis to study the subcellular localization of aluminium in *Vicia faba* root cells. Cell Mol. Biol. 45(4): 413 422.
- Michałek W. J. 2002. Fizjologiczne aspekty toksyczności mono i polimerycznej formy glinu na przykładzie sałaty (*Lactuca sativa* L.). Rozprawy Naukowe AR w Lublinie, zeszyt 259.
- Miller L. L., Jacks T. J. 1975. Rapid chemical dehydration of samples for electron microscopy examinations. J. Histochem. Cytochem. 23:107.
- Neogy M., Datta J., Roy A. K., Mukherji S. 2002. Studies on phytotoxic effect of aluminium on growth and some morphological parameters of *Vigna radiata* L. Wilczek. J. Envir. Biol. 23(4): 411 416.
- Nowak J., Friend A. L. 1995. Aluminium sensitivity of loblolly pine and slash pine seedlings grown in solution culture. Tree Physiol. 15(9): 605 609.
- Oleksyn J., Karolewski P., Giertych M. J., Werner A., Tjoelker P., Reich B. 1996. Altered root growth and plant chemistry of *Pinus silvestris* seedlings subjected to aluminium in nutrient solution. Trees, 10(3): 135 144.
- Rufyikiri G., Dufey J. E., Nootens D., Delvaux B. 2001. Effect of aluminium on bananas (*Musa sp.*) cultivated in acid solutions. II. Water and nutrient uptake. Fruits Paris, 56(1): 5 16.

- Shen R., Ma J. F. 2001. Distribution and mobility of aluminium in an Al accumulating plant, *Fagopyrum esculentum* Moench. J. Exp. Bot. 52(361): 1683 1687.
- Weryszko Chmielewska E., Chwil M., Szadura M. 1998. Wpływ nadmiaru glinu na budowę łodygi i liści grochu zwyczajnego (*Pisum sativum* L.). Zesz. Probl. Post. 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. Annales UMCS, sectio EEE, 5: 255 266.
- Wheeler D. M., Follett J. M. 1991. Effect of aluminium on onions, asparagus and squash. J. Plant Nutr. 14(9): 897 912.

Streszczenie

Siewki słończnika zwyczajnego, papryki rocznej i rzodkiewki uprawiano przez 14 dni w kulturach wodnych zawierających 0, 10, 20 i 40 mg·dm⁻³ AlCl₃·6 H₂O. Odczyn pożywki z toksykantem ustalono na poziomie 4,3. Określono wpływ glinu na rozwój i morfologię liści oraz na gęstość i wielkość (długość) aparatów szparkowych w epidermie odosiowej liści właściwych i liścieni badanych gatunków roślin. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem stężenia glinu następowała redukcja wielkości tych organów, natomiast zwiększała się liczba szparek na jednostce powierzchni, z jednoczesnym zmniejszaniem ich wielkości. Liścienie roślin eksperymentalnych odznaczały się często odchyleniem ku dołowi brzegów, wczesnym żółknięciem, zamieraniem i odpadaniem. Ponadto na liściach badanych gatunków zauważono chlorozy marginalne i międzyżyłkowe oraz purpurowienie brzegów blaszek i nerwów liściowych.