

WYTWARZANIE BIOMASY I AKUMULACJA JONÓW Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>,  
Cl<sup>-</sup> W WARUNKACH STRESU SOLNEGO, PRZEZ WYBRANE GATUNKI  
ROŚLIN OZDOBNYCH

*Mariola Wrochna, Helena Gawrońska, Stanisław W. Gawroński*

Zakład Przyrodniczych Podstaw Ogrodnictwa,  
Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu, SGGW  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
e-mail: wrochna@alpha.sggw.waw.pl

Streszczenie. Celem pracy była ocena wpływu wzrastającego stężenia soli w podłożu na wytwarzanie biomasy i akumulację jonów Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> w suchej masie roślin 3 odmian szarlatu ozdobnego, łobody ogrodowej oraz tamaryszka. W dwuletnich doświadczeniach wazonowych, przeprowadzonych w kontrolowanych warunkach szklarniowych, stwierdzono istotny wpływ wzrastającego zasolenia wywołwanego solą do odladzania ulic (4, 8, 16, 32 g NaCl·dm<sup>-3</sup>) na badane parametry. Podwyższenie stężenia soli wpływało na obniżenie wytwarzania świeżej i suchej masy oraz na wzrost akumulacji Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> i Ca<sup>2+</sup>. Natomiast zawartość K<sup>+</sup> i Mg<sup>2+</sup> wzrastała przy niższych poziomach traktowania, poczym obniżała się.

Słowa kluczowe: tolerancja zasolenia, *Amaranthus*, *Atriplex*, *Tamarix*

#### WSTĘP

Rokrocznie zwiększa się na świecie powierzchnia gruntów stale lub okresowo zasolonych, na których utrudniony jest optymalny wzrost i plonowanie roślin uprawnych oraz dziko rosnących. Nadmierne stężenie soli w podłożu występuje przede wszystkim na obszarach suchych i półsuchych [8] oraz nawadnianych wodą morską [20]. W strefie umiarkowanej jest ono konsekwencją nadmiernego i niebilansowanego nawożenia mineralnego na obszarach intensywnie użytkowanych rolniczo, w uprawach pod osłonami [17], a także na terenach zurbanizowanych, na skutek stosowania soli do odladzania ulic szczególnie w okresie długich i śnieżnych zim [3,21].

Zasolenie podłoża wpływa niekorzystnie na rośliny na wszystkich etapach wzrostu i rozwoju, przy czym nie da się określić jednoznacznie poziomu szkodliwości tego czynnika. Jest on bowiem uzależniony zarówno od gatunku/odmiany, fazy rozwojowej rośliny jak również od interakcji z innymi czynnikami środowiskowymi [13]. O ile w klimacie gorącym w warunkach naturalnych bytują halofity dobrze przystosowane do wzrostu w zasolonym podłożu, to większość roślin zasiedlających stanowiska wzdłuż ruchliwych ciągów komunikacyjnych naszych miast to typowe glikofity, które źle tolerują zasolenie powyżej 2 g NaCl·dm<sup>-3</sup> podłoża i jako takie nie nadają się do uprawy na stanowiskach zasolonych [3,15]. Negatywny wpływ zasolenia wynika przede wszystkim z ograniczenia dostępności wody za sprawą obniżenia potencjału osmotycznego roztworu glebowego, a także z toksycznego oddziaływania jonów Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>. Szkodliwość ta polega między innymi na obniżeniu zdolności i tempa kiełkowania [7,19], zahamowaniu wzrostu i rozwoju wyrażającym się zmniejszonym wytwarzaniem świeżej i suchej masy [9,16], niższą zawartością chlorofilu i intensywnością fotosyntezy [4], oraz zachwianiem równowagi jonowej [5,10].

Stosowanie, od 1968 roku, NaCl do odladzania ulic powoduje nie tylko cykliczne nagromadzenie jonów Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, ale również jeszcze bardziej toksycznych węglanów i wodorowęglanów sodu, w powierzchniowym (0-20 cm) poziomie gleb przyulicznych, co wpływa na znaczne podwyższenie ich pH. Ponadto wysycenie kompleksu sorpcyjnego sodem powyżej 15% powoduje peptyzację kolidów glebowych, zniszczenie struktury gruzełkowej, a co za tym idzie pogorszenie warunków cieplnych, powietrznych i wodnych, prowadzące do ograniczenia produktywności takich gleb.

Zwiększona akumulacja chloru i sodu wywołuje przede wszystkim zmiany zawartości ilościowej potasu wapnia i magnezu [10], a także zawężenie stosunku K/Na [5] co staje się jedną z przyczyn zaburzeń procesów metabolicznych w roślinie, w których te jony biorą udział [2].

Prezentowana praca stanowi część badań nad wykorzystaniem roślin ozdobnych w fitoremediacji stanowisk zasolonych w terenach zurbanizowanych. Celem pracy była ocena wpływu wzrastającego stężenia soli w podłożu na wytwarzanie biomasy i akumulację jonów Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> w suchej masie roślin 3 odmian szarłatki ozdobnej, łobody ogrodowej oraz tamaryszka.

#### MATERIAŁY I METODY

Doświadczenia prowadzono w kontrolowanych warunkach szklarni Wydziału Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu SGGW w latach 2003-2004. Przedmiotem badań były rośliny *Amaranthus paniculatus* L. odm. 'Copper Mountain' i 'Monarch',

*Amaranthus caudatus* odm. L. 'Pony Tails', *Atriplex hortensis* odm. L. 'Green Spire' oraz *Tamarix tetrandra* Pall. ex M. Bieb..

Nasiona roślin jednorocznych wysiano w piasek, uzyskane siewki przepikowano do multiplatów wypełnionych substratem torfowym. Po miesiącu rośliny przesadzono do wazonów wypełnionych 1 dm<sup>3</sup> substratu (torf wysoki nie odkwaszony + piasek w stosunku 3:1). Podłoże doprowadzono do pH 6,0 na podstawie krzywej neutralizacji przy użyciu 12 kg kredy nawozowej na 1 m<sup>3</sup> podłoża. Składniki mineralne zastosowano w postaci mieszanki nawozowej MIS 3 do poziomu, w mg·dm<sup>-3</sup>: N – 310, P – 100, K – 400, Mg – 110 (część A), oraz mikroelementy w postaci części B. Stężenie soli w tak przygotowanym substracie wynosiło 2 g NaCl·dm<sup>-3</sup>.

Sadzonki tamaryszka uzyskano ukorzeniając w wodzie około 25 cm kawałki zdrewniałych rocznych pędów, które następnie posadzono jak rośliny jednoroczne, a do oceny badanych parametrów brano pod uwagę jedynie przyrosty uzyskane w trakcie trwania doświadczenia.

Po czterech tygodniach uprawy stężenie soli w podłożu podwyższono przy pomocy soli do odladzania ulic, której głównym składnikiem był NaCl, do poziomu 4, 8, 16, 32 g NaCl·dm<sup>-3</sup>. Kontrolę stanowiły rośliny uprawiane w substracie torfowym, w którym stężenie soli wynosiło 2 g NaCl·dm<sup>-3</sup>. Dwa tygodnie po traktowaniu zbierano część nadziemną roślin, ważono świeżą masę, po czym materiał roślinny suszono przez 72 godziny w temperaturze 105°C w suszarce z cyrkulacją powietrza Hereus UT 6760. Po wysuszeniu i oznaczeniu suchej masy materiał roślinny mielono w młynku laboratoryjnym WŻ 1. Z tak przygotowanego materiału pobierano 1 g naważki i mineralizowano na sucho w piecu muflowym w temperaturze 450°C. Zmineralizowany materiał roślinny rozpuszczono w 0,5 molowym HCl i przeniesiono ilościowo do 25 cm<sup>3</sup> roztworu. W mineralizatach oznaczono koncentrację kationów Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej FAAS. Poziom jonów Cl<sup>-</sup> oznaczono metodą miareczkową po ekstrakcji wodą z 1g suchego, zmielonego materiału roślinnego. Analizy przeprowadzono w Zakładzie Analiz Fizyko-Chemicznym SGGW, według obowiązujących tam procedur.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie dwuczynnikową analizą wariancji (Statgraphics 4.1 Plus), a istotność różnic pomiędzy kombinacjami oceniono przy pomocy testu t-Studenta dla poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ . Przedstawiają one średnie  $\pm$ SE, z dwóch lat doświadczeń, w 5-ciu powtórzeniach w przypadku świeżej i suchej masy (rys. 1 i 2), oraz w 3 powtórzeniach dla akumulacji jonów (tab. 1 i 2).

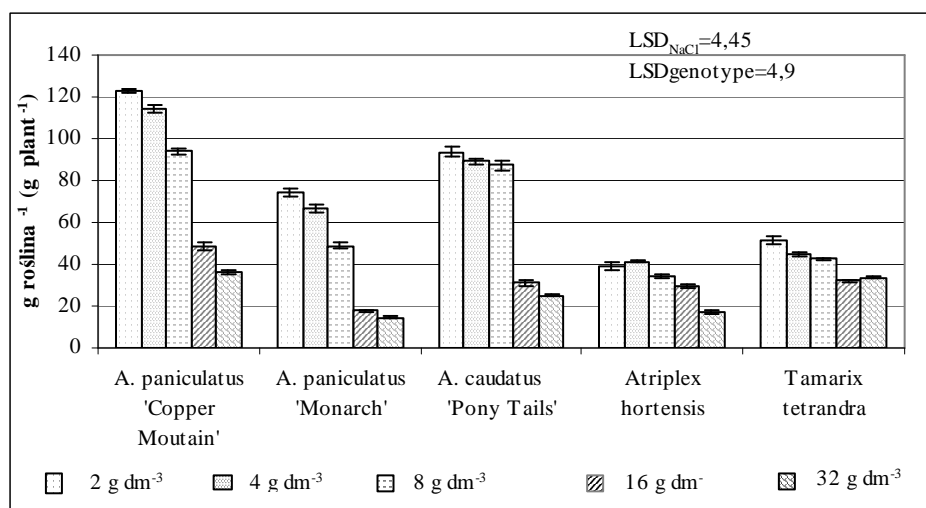
## WYNIKI I DYSKUSJA

Wzrastające stężenie soli w podłożu spowodowało wyraźne zmiany w wyglądzie roślin wyrażające się więdnieniem, a po dłuższym okresie zasychaniem i opa-

daniem liści. U szarłatów tego typu objawy zaobserwowano już kilka godzin po potraktowaniu najwyższą dawką soli ( $32 \text{ g NaCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). W przypadku łobody ogrodowej i tamaryszka proces ten przebiegał znacznie wolniej. Dawka ta okazała się jednak letalna dla wszystkich badanych gatunków, stąd nie włączono do opracowania statystycznego wyników akumulacji jonów z tej kombinacji. U roślin rosnących w podłożu zawierającym  $16 \text{ g NaCl} \cdot \text{dm}^{-3}$  niekorzystne zmiany spowodowane zasoleniem przebiegały wolniej, ale także i w tej kombinacji szarłaty odm. 'Monarch' po około 5 dniach oraz odm. 'Copper Moutain' i 'Pony Tails' po 10 dniach zwiędły. Natomiast rośliny łobody ogrodowej i tamaryszka zareagowały jedynie znacznym spowolnieniem wzrostu i utratą pełnego turgoru. Przy poziomie zasolenia  $8 \text{ g NaCl} \cdot \text{dm}^{-3}$  szarłaty zareagowały znacznym spowolnieniem wzrostu i zrzucaniem starszych liści co jest jednym z mechanizmów obrony przed zasoleniem [11]. W dawce tej nie zaobserwowano różnic we wzroście łobody ogrodowej i tamaryszka, podobnie jak u wszystkich roślin w najniższej z zastosowanych dawek soli do odladzania ulic.

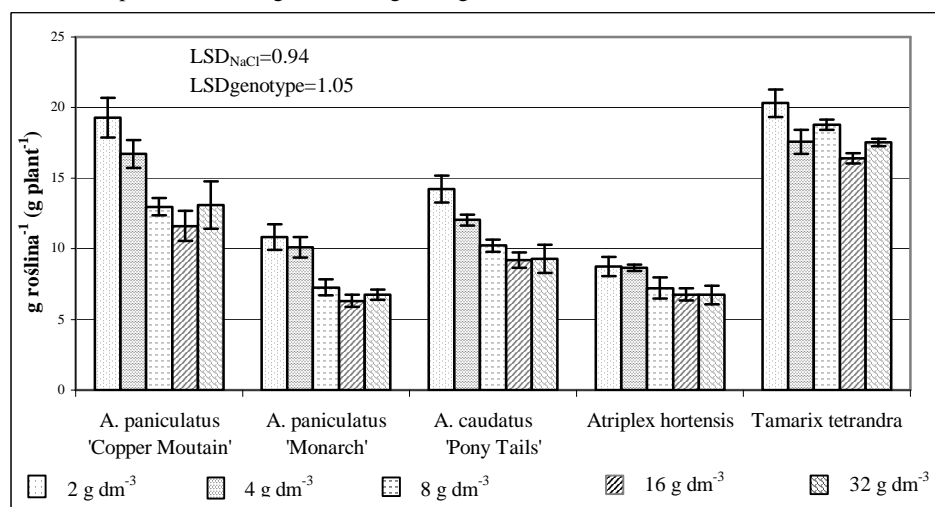
U każdego z badanych gatunków/odmian obecność soli w podłożu powodowała spadek akumulacji świeżej masy roślin (rys. 1). Największą świeżą masę wytworzyły rośliny *A. paniculatus* odm. 'Copper Moutain', najmniejszą *Atriplex hortensis*. Stwierdzono, że stężenie soli w podłożu już na poziomie  $4 \text{ g}$  powodowało u szarłatów i tamaryszka istotne zmniejszenie wytwarzania biomasy. Jedynie u łobody ogrodowej odnotowano wyższy, choć statystycznie nieistotny przyrost świeżej masy, co jest reakcją właściwą dla warunkowych halofitów, u których niewielkie zasolenie stymuluje wzrost [6,13]. Najmniejszy, wśród badanych genotypów, spadek akumulacji świeżej masy w stosunku do kontroli zanotowano u tamaryszka, a największy u *A. paniculatus* odm. 'Monarch'.

Przebieg akumulacji suchej masy (rys. 2) był podobny jak w przypadku świeżej masy. Jednak największą suchą masę zakumulował tamaryszek na co niewątpliwie miał wpływ mniejszy stopień uwodnienia tkanek u tych roślin. Najmniej suchej masy, podobnie jak w przypadku świeżej masy, akumulowały rośliny łobody ogrodowej. Podkreślić należy, że u obu tych gatunków obniżenie gromadzenia suchej masy było najmniejsze w stosunku do kontroli (odpowiednio dla tamaryszka od 8 do 16% i dla łobody od 1 do 23%). Wśród szarłatów u odm. 'Monarch' po potraktowaniu roślin  $4 \text{ g NaCl} \cdot \text{dm}^{-3}$  sucha masa obniżyła się nieznacznie (6%), jednak dalsze zwiększanie stężenia soli w podłożu spowodowało najwyższy spośród badanych genotypów spadek akumulacji (42%). U wszystkich testowanych gatunków najniższą akumulacją suchej masy cechowały się rośliny uprawiane w podłożu traktowanym  $16 \text{ g NaCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Może być wynikiem zwiększonego wydatkowania energii na oddychanie, syntezą białek szokowych zapobiegających destrukcji struktur komórkowych oraz substancji osmotycznie czynnych np. proliny i betain zapobiegających utracie wody [8,18].



**Rys. 1.** Świeża masa roślin 3 odmian szarłatu ozdobnego oraz łobody ogrodowej i tamaryszka czteropęcikowego rosnących w obecności w podłożu, soli do odładzania ulic

**Fig. 1.** Fresh weight of plants of 3 *Amaranthus sp.* cultivars, *Atriplex hortensis* and *Tamarix tetrandra* exposed to de-icing salt in the growing medium



**Rys. 2.** Sucha masa roślin 3 odmian szarłatu ozdobnego oraz łobody ogrodowej i tamaryszka czteropęcikowego rosnących w obecności w podłożu, soli do odładzania ulic

**Fig. 2.** Dry weight of plants of 3 *Amaranthus sp.* cultivars, *Atriplex hortensis* and *Tamarix tetrandra* exposed to de-icing salt in the growing medium

Różnice pomiędzy kombinacjami oceniono przy pomocy testu t-Studenta dla poziomu istotności  $\alpha = 0,05$  – Differences between combinations were estimated by Student t-test for  $\alpha = 0.05$ .

Wzrastające stężenie soli w podłożu spowodowało wielokrotny wzrost akumulacji w suchej masie testowanych roślin jonów chloru i sodu oraz istotne zmiany zawartości potasu, wapnia i magnezu (tab. 1 i 2). Zawartość jonów  $\text{Na}^+$  w suchej masie roślin szarłatów pochodzących z kombinacji kontrolnych nie przekraczała  $0,5 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{s.m.}$  i nieznacznie zwiększała się w suchej masie roślin uprawianych w podłożu zawierającym  $4 \text{ g NaCl}\cdot\text{dm}^{-3}$  (tab. 1). Dalsze zwiększanie stężenia soli skutkowało wielokrotnie wyższą akumulacją sodu w badanych roślinach. Najwyższy wzrost, do  $85,05 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{s.m.}$  po potraktowaniu  $16 \text{ g NaCl}\cdot\text{dm}^{-3}$ , miał miejsce w suchej masie roślin odm. 'Monarch', co może tłumaczyć największe spowolnienie przyrostu świeżej i suchej masy u tej odmiany. U tamaryszka i łobody ogrodowej, będących halofitami, zawartość sodu w suchej masie roślin uprawianych w optymalnych warunkach była wielokrotnie wyższa, odpowiednio  $4,83$  i  $13,25 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{s.m.}$ . Podwyższenie stężenia soli spowodowało jedynie około trzykrotne zwiększenie zawartości tego jonu, podczas gdy u *A. caudatus* odm. 'Pony Tails' akumulacja  $\text{Na}^+$  wzrosła się aż 346 razy (z  $0,209$  do  $76,14 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{s.m.}$ ).

Także akumulacja chloru przebiegała podobnie, przy czym najniższy poziom tego jonu jak i najniższą akumulację odnotowano u roślin tamaryszka ( $16,61$  do  $28,45 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{s.m.}$ ). U tego krzewu zaobserwowano jednak wydzielanie soli na pędach i liściach. Wśród szarłatów najwyższy, ponad ośmiokrotny, wzrost akumulacji  $\text{Cl}^-$  wykazały rośliny odm. 'Monarch';  $19,53 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{s.m.}$  w kontroli do  $159,03 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{s.m.}$  dla roślin traktowanych  $16 \text{ g NaCl}\cdot\text{dm}^{-3}$ , najniższy około pięciokrotny, odm. 'Copper Moutain' (tab. 1).

Różnicę w reakcji na zasolenie pomiędzy glikofitem (*Phasoleus vulgaris*), a halofitem (*Sesbania rostrata*) zaobserwowali także Jungklang i in. [5] wykazując, że 10 dni po traktowaniu wzrastającymi dawkami  $\text{NaCl}$  zawartość  $\text{Na}^+$  w pędach glikofitu wzrosła sześciokrotnie, podczas gdy w pędach halofitu niespełna dwukrotnie.

Zwiększaniu akumulacji chloru i sodu w suchej masie badanych roślin towarzyszyły zmiany zawartości potasu, wapnia i magnezu (tab. 1 i 2). Ekspozycja roślin do niewielkiego zasolenia ( $4 \text{ g NaCl}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) spowodowała wzrost akumulacji wszystkich kationów w suchej masie testowanych roślin, co mogło być spowodowane uruchomieniem mechanizmów obronnych, w których zaangażowane są oznaczane kationy, szczególnie  $\text{Ca}^{2+}$ .

Zawartość wapnia w suchej masie szarłatów (tab.1) istotnie wzrastała wraz ze wzrostem stężenia soli w podłożu, po potraktowaniu roślin  $16 \text{ g NaCl}\cdot\text{dm}^{-3}$  była ona dwukrotnie wyższa w stosunku do roślin kontrolnych. Najwyższą akumulację  $\text{Ca}^{2+}$  stwierdzono dla roślin *A. paniculatus* odm. 'Copper Moutain' (z  $18,58 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{s.m.}$  w kontroli do  $36,84 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{s.m.}$  dla roślin traktowanych  $16 \text{ g NaCl}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). W przypadku roślin łobody ogrodowej (tab. 2) także odnotowano wzrost akumulacji jonów  $\text{Ca}^{2+}$ , przy czym był on znacznie mniejszy w porównaniu z szarłatami. Natomiast u tamaryszka w każdej z zastosowanych dawek zawartość wapnia była

niższa niż w kontroli. Uzyskane wyniki korespondują z opisanymi przez Junklang i in. [5] dla *Phaseolus vulgaris*, natomiast u *Sesbania rostrata* akumulacja  $\text{Ca}^{2+}$  wzrastała przy niewielkim zasoleniu po czym przy wyższych stężeniach spadała. Sivritepe i in. [12] badając reakcję dwóch odmian melona na wzrastające stężenie soli w podłożu stwierdzili, że odm. 'Hasanbey' reaguje podobnie jak *S. rostrata*, natomiast zawartość wapnia u odm. 'Kirkagac' na przemian rosła i spadała.

Jedynie w przypadku łobody ogrodowej uzyskane przez nas wyniki są przeciwnie dla opisywanych przez Wilson i in. [14] dla *Atriplex hortensis* i Khan i in. [6] dla *Atriplex griffithii*, których autorzy wykazali spadek akumulacji wapnia pod wpływem wzrastającego stężenia soli w podłożu.

**Tabela 1.** Akumulacja jonów  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  w suchej masie roślin *A. paniculatus* odm. 'Copper Mountain' i 'Monarch', *A. caudatus* odm. 'Pony Tails' rosnących w obecności w podłożu, soli do odladzania ulic

**Table 1.** Accumulation of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  in dry matter of plants of *A. paniculatus* cv. 'Copper Mountain' and 'Monarch', *A. caudatus* cv. 'Pony Tails' exposed to de-icing salt in the growing medium

Gatunek/odmiana Species/cultivars	Stężenie soli w podłożu (g $\text{NaCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) Salt concentration (g $\text{NaCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ )	Zawartość jonów w suchej masie roślin ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ s.m.) Ions concentration in dry matter ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ d.m.)					Stosunek Ratio K/Na
		$\text{Na}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	
<i>Amaranthus paniculatus</i> odm. Copper Mountain	2	0,433	32,97	37,91	18,58	4,85	87,55
	4	0,475	49,38	49,97	25,61	6,37	105,2
	8	14,29	79,19	52,21	30,99	6,37	3,65
	16	64,97	158,1	49,90	36,84	5,71	0,77
<i>Amaranthus paniculatus</i> odm. Monarch	2	0,357	19,53	51,32	18,47	3,63	143,75
	4	0,895	25,00	50,55	26,23	4,54	56,48
	8	33,38	70,23	50,29	29,56	4,19	1,51
<i>Amaranthus caudatus</i> odm. Pony Tails	16	85,05	159,3	57,90	35,24	4,23	0,68
	2	0,209	27,83	47,45	15,59	4,44	227,03
	4	0,300	33,27	54,15	19,93	5,54	180,5
	8	18,66	70,95	53,37	30,64	6,15	2,86
	16	76,14	170,83	55,31	31,61	4,45	0,73
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub>		2,58	5,71	2,71	1,07	0,25	–

**Tabela 2.** Akumulacja jonów Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> w suchej masie roślin *Atriplex hortensis* odm. Green Spire oraz *Tamarix tetrandra*

**Table 2.** Accumulation of Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> in dry matter of plants of *Atriplex hortensis* cv. 'Green Spire' and *Tamarix tetrandra* exposed to de-icing salt in the growing medium

Gatunek/odmiana Species/cultivar	Stężenie soli w podłożu (g NaCl·dm <sup>-3</sup> ) Salt concentra- tion (g NaCl·dm <sup>-3</sup> )	Zawartość jonów w suchej masie roślin (mg·g <sup>-1</sup> s.m.) Ions concentration in dry matter (mg g <sup>-1</sup> d.m.)					Stosunek Ratio K/Na
		Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	
<i>Atriplex hortensis</i> odm. Green Spire	2	13,25	29,79	42,27	10,41	4,67	3,19
	4	21,92	30,93	45,93	11,87	4,98	2,09
	8	25,53	41,07	52,32	11,24	4,97	2,05
	16	34,28	70,94	46,80	12,45	4,27	1,36
<i>Tamarix tetrandra</i>	2	4,83	16,61	15,56	16,96	5,82	3,22
	4	7,04	18,46	15,69	16,55	6,52	2,23
	8	9,38	20,49	13,87	15,35	5,54	1,48
	16	13,01	28,45	12,74	16,32	5,52	0,98
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub>		2,58	5,71	2,71	1,07	0,25	–

W przypadku magnezu u wszystkich badanych genotypów uprawianych w podłożu zawierającym 4 g NaCl·dm<sup>-3</sup> odnotowano wysoce istotny wzrost akumulacji tego jonu (tab. 1 i 2) w suchej masie roślin. Traktowanie roślin 8 g NaCl·dm<sup>-3</sup> spowodowało dalsze podwyższenie zawartości tego jonu w suchej masie roślin szarłatu odm. 'Pony Tails', dla odmian 'Copper Mountain' i łobody ogrodowej utrzymywała się ona na tym samym poziomie, zaś dla odm. 'Monarch' i dla tamaryszka akumulacja magnezu spadała. Podobny charakter zmian zaobserwowali w swoich badaniach Parida i in. [10] oraz Jungklang i in. [5], którzy także nie wykazali jednolitego przebiegu zmian akumulacji magnezu dla badanych roślin.

Brak jednolitego charakteru zmian w odpowiedzi na zasolenie podłoża stwierdzono także w odniesieniu do potasu. U tamaryszka jego zawartość była zdecydowanie niższa niż u pozostałych gatunków (tab. 2), a zwiększenie zasolenia powodowało jeszcze spadek zawartości tego jonu (z 15,56 mg·g<sup>-1</sup> s.m. w kontroli, do 12,74 mg·g<sup>-1</sup> s.m. w dawce 16 g NaCl·dm<sup>-3</sup>). Akumulacja potasu u łobody ogrodowej (tab. 2) i szarłatu odm. 'Copper Mountain' (tab. 1) zwiększała się, z tym że przy zasoleniu 16 g



$\text{NaCl-dm}^{-3}$  obniżała się utrzymując się jednak powyżej poziomu w kontroli. W przypadku szarłatów odm. 'Pony Tails' i 'Monarch' (tab. 1) ze wzrostem stężenia soli w podłożu zawartość potasu wzrastała. Zróżnicowanie odmianowe w przebiegu akumulacji  $\text{K}^+$  opisali również Sivritepe i in. [12], badając reakcje po ekspozycji do  $\text{NaCl}$  dwóch odmian melona. U odm. 'Kirkagac' zawartość potasu wraz ze zwiększaniem zasolenia pożywki rosła, u odm. 'Hasanbey' rosła przy niskich i średnich poziomach traktowania, wysokie zasolenie powodowało spadek akumulacji  $\text{K}^+$ .

Wielokrotny wzrost akumulacji sodu z równoczesną zmianą zawartości potasu w przypadku szarłatowatych spowodowały obniżenie stosunku  $\text{K/Na}$ , co może wynikać z konkurencji o drogi transportu w roślinie. Współczynnik ten opisywany jest w literaturze jako odzwierciedlający tolerancję roślin na zasolenie podłoża [1,2,5,10]. Generalnie stosunek  $\text{K/Na}$  u roślin dobrze tolerujących zasolenie jest niski i zmienia się w niewielkim zakresie po ekspozycji do wzrastającego stężenia soli, co miało miejsce u łobody ogrodowej (zmiany  $\text{K/Na}$  w zakresie 3,19 dla kontroli do 1,36 traktowanie  $16 \text{ g NaCl-dm}^{-3}$ ) i tamaryszka; odpowiednio 3,22 do 0,98. Natomiast u pozostałych roślin, gorzej lub nie tolerujących zasolenia, współczynnik ten był wielokrotnie wyższy i ulegał znacznemu obniżeniu. Tak zareagowały szarłaty (tab. 1), u których początkowa zawartość sodu była bardzo niska. Największą rozpiętością stosunku  $\text{K/Na}$  cechował się *A. paniculatus* odm. 'Pony Tails' (227 do 0,73), najmniejszą *A. paniculatus* odm. 'Copper Moutain' (105 do 0,77).

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wzrastające zasolenie podłoża jest czynnikiem silnie ograniczającym wzrost roślin i wytwarzanie biomasy, a także zaburzającym równowagę jonową wszystkich badanych gatunków roślin.

#### WNIOSKI

1. Obecność soli w podłożu powyżej  $2 \text{ g NaCl-dm}^{-3}$  istotnie ograniczała wzrost roślin oraz gromadzenie świeżej i suchej masy.
2. Zwiększające się zasolenie podłoża prowadziło do zwiększonej akumulacji jonów  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  u roślin wszystkich badanych gatunków, przy czym szarłatowate akumulowały ich więcej niż łoboda ogrodowa i tamaryszek.
3. Zwiększona akumulacja  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  zaburzała równowagę jonową i obniżała stosunek  $\text{K/Na}$ .
4. Zwiększonej akumulacji  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  z reguły towarzyszyła zwiększona akumulacja  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ .

## PIŚMIENNICTWO

1. **Amor B. N., Hamed B.K., Debez A., Grignon C., Abdely C.:** Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Science*, 168, 889-899, 2005.
2. **Ashraf M.:** Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora* 199, 361-376, 2004.
3. **Czerwiński Z.:** Reakcja roślinności drzewiastej na zawartość zdysocjowanych jonów w roztworach glebowych zieleńców Warszawy, 1990.
4. **Di Martino C., Delfine S., Pizzuto R., Loreto F., Fuggi A.:** Free amino acids and glycine betaine in leaf osmoregulation of spinach responding to increasing salt stress. *New Phytologist*, 158, 455-463, 2003.
5. **Jungklang J., Usui K., Masumoto H.:** Differences in physiological responses to NaCl between salt-tolerant *Sesbania rostrata* Brem. & Oberm. And non-tolerant *Phaseolus vulgaris* L. *Weed Biology and Management*, 3, 21-27, 2003.
6. **Khan M.A., Ungar I.A., Showalter A.M.:** Effects of salinity on growth, water relations and ion accumulation of the subtropical perennial halophyte *Atriplex griffithii* var. *stocksii* *Annals of Botany*, 85, 225-232, 2000.
7. **Kopyra M., Gwóźdź E. A.:** Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus*. *Plant physiology and Biochemistry*, 41, 1011-1017, 2003.
8. **Kumar S.G., Reddy A.M., Sudhakar Ch.:** NaCl effects on proline metabolism in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) with contrasting salt tolerance. *Plant Science*, 165, 1245-1251, 2003.
9. **Munns R.:** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25, 239-250, 2002.
10. **Parida A.S., Das A.B.:** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60, 324- 349, 2005.
11. **Parks G.E., Dietrich M.A., Schumaker K.S.:** Increased vacuolar Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> exchange activity in *Salicornia bigelovii* Torr. in response to NaCl. *Journal of Experimental Botany*, 53, 1055-1065, 2002.
12. **Sivritepe H.O., Sivritepe N., Eris A., Tuhiran E.:** The effects of NaCl pre-treatments on salt tolerance of melons under long-term salinity. *Scientia Horticulturae*, 105, 568-581, 2005,
13. **Starck Z., Chołuj D., Niemyska B.:** Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska. Wydawnictwo SGGW, 1995.
14. **Wilson C., Lesch S. M., Grieve C. M.:** Growth stage modulates salinity tolerance of New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides*, Pall.) and Red Orach (*Atriplex hortensis* L.). *Annals of Botany*, 85, 501-509, 2000.
15. **Wrochna M., Gawroński S.W.:** Ocena przydatności roślin ozdobnych z rodziny komosowatych i szarłatowatych do uprawy na stanowiskach zasolonych. *Roczniki AR w Poznaniu, Ogrodnictwo*, 37, 233-238, 2004.
16. **Wrochna M., Gawrońska H., Gawroński S.W.:** Phytoremediation of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions from salt polluted urban areas. COST Action 859. 1st Scientific Workshop, Phytotechnologies to promote sustainable land use and improve food safety. CNR Research Campus, Pisa, Italy, p. 171, 2005.
17. **Wysocka-Owczarek M.:** Zaburzenia wzrostu i rozwoju pomidora. Wydawnictwo Plantpress Sp.z o.o., 2001.

18. **Verslues P.E., Agarwal M., Katiyar-Agarwal S., Zhu J., Zhu J-K.:** Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, 45, 523-539, 2006.
19. **Zapata P.J., Serrano M., Pretel M. T., Amorós A., Botella M.A.:** Changes in ethylene and polyamine profiles of seedlings of nine cultivars of *Lactuca sativa* L. in response to salt stress during germination. *Plant Science*, 164, 557-563, 2003.
20. **Zhu J.K.:** Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, 6, 441-445, 2001.
21. **Zimny H.:** *Ekologia miasta*. Wydawnictwo SGGW, 2004.

EFFECT OF SALT STRESS ON FRESH AND DRY MATTER PRODUCTION  
AND ACCUMULATION OF Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup> IONS IN SELECTED  
SPECIES OF ORNAMENTAL PLANTS

*Mariola Wrochna, Helena Gawrońska, Stanisław W. Gawroński*

Laboratory for Basic Science in Horticulture, Warsaw Agriculture University  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
e-mail: wrochna@alpha.sggw.waw.pl

**Abstract.** The aim of this work was to estimate the effect of increased salt level on the production of fresh and dry matter and accumulation of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup> ions in dry matter in *Amaranthus paniculatus* cvs. Copper Mountain and Monarch, *Amaranthus caudatus* cv. Pony Tails, *Atriplex hortensis* cv. Green Spire and *Tamarix tetrandra*. Results of two-year pot experiment performed under controlled greenhouse conditions showed that salt treatment significantly affected all studied parameters. Along with increased salt level, a decrease of fresh and dry weights and an increase of accumulation of Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup> were recorded. Studied species/cvs significantly differed in tolerance to salt stress.

**Keywords:** salt tolerance, *Amaranthus*, *Atriplex*, *Tamarix*