NaCl ストレス下におけるキク科花き植物の種子発芽および初期生育

松村智広^{1*}・金地通生²・稲垣 昇¹・前川 進¹

¹神戸大学大学院自然科学研究科 657 神戸市灘区六甲台町 1

²神戸大学農学部 657 神戸市灘区六甲台町 1

The Effects of NaCl Stress on Germination and Early Vegetative Growth in Floricultural Asteraceae Plants

Tomohiro Matsumura^{1*}, Michio Kanechi², Noboru Inagaki¹ and Susumu Maekawa¹

¹The Graduate School of Science and Technology, Kobe University, Rokko, Kobe 657-8501

²Faculty of Agriculture, Kobe University, Rokko, Kobe 657-8501

Summary

The effects of NaCl stress on germination and early vegetative growth of 20 floricultural Asteraceae species and a wild halophyte species, sea aster (*Aster tripolium* L., Asteraceae) were studied to evaluate the possibility of selecting salt-tolerant species. Cluster analysis with the germination percentages relative to non-salinized control on the 10th day after sowing in 50 to 300 mM NaCl classified safflower (*Carthamus tinctorius* L. 'Roundish Leaf') as the most salt-tolerant. Although the germination percentage of sea aster decreased as salinity increased, its ability to germinate at 300 mM NaCl was next to that of safflower. To evaluate salt tolerance during the early vegetative growth of three species, sea aster, safflower, and *Chrysanthemum paludosum* Poir., plants were grown hydroponically at 25 and 50 mM NaCl for safflower and *C. paludosum* and at 150 and 300 mM NaCl for sea aster. Sea aster was much more tolerant of high salinity than were the other two species, and *C. paludosum* was more tolerant than was safflower. In conclusion, these three species differed in their sensitivities to salinity between germination and early vegetative growth. Therefore, selecting for salt-tolerant species is difficult because tolerance is genetically determined at the germination stage.

Key Words: *Aster tripolium*, *Chrysanthemum*, hydroponics, safflower, salt stress.

緒 言

植物の耐塩性機構の研究は生態, 生理, 生化学的な多方面から塩生植物および栽培種を用いて試みられており (Flowers ら, 1977; Gorham ら, 1985; Greenway・Munns, 1980), 現在ではさらに分子生物学的な解明へと進展しつつある (Bohnert ら, 1995). 農業への実際の貢献として耐塩性品種を育種するには, 高塩環境下での発芽能力や生育特性の評価に関する基礎的なデータが必要となる (Bolarin ら, 1991; Smith ら, 1993). 育種年限の短縮や施設面積の節約を考慮した場合, 種子発芽段階で耐塩性品種を選抜できれば耐塩性育種が効率的に改善されるであろう. 実際, NaCl ストレス下における発芽試験に基づいた耐塩性品種の選抜がアルファルファやペントグラスで行われている (Al-Khatib ら, 1993;

McCarty・Dudeck, 1993). 一方, 種子発芽時と実生期では NaCl ストレスに対する感受性が異なる植物種も多く (Heenan ら, 1988; Passam・Kakouriotis, 1994), また, 食用作物に比べて花き植物の耐塩性に関する情報は著しく少ない.

キク科植物は種子繁殖する植物の中で最も種数が多く, 花きおよび野菜の有用種を多く含んでいるにもかかわらず, 種子発芽時と実生期の耐塩性を比べた報告は少ない. そこで本研究では, 農業上非常に重要なキク科植物の耐塩性に関する基礎的資料を得る目的から, キク科の花き栽培植物, および未利用遺伝資源としてキク科の塩生植物ウラギクを供試し, 種子発芽時と初期栄養生長期における耐塩性を比較した. また, 結果に基づき発芽試験による耐塩性種選抜の有効性について検討した.

材料および方法

1. 種子発芽試験

18 種 20 品種の栽培種, アゲラタム (*Mexican ageratum*, *Ageratum houstonianum* Mill.), アスター 3 品種

1997 年 3 月 17 日 受付. 1997 年 8 月 29 日 受理.

*現在: ハウス食品株式会社

²Correspondent: Fax +81 78 803 0645. E-mail

Kanechi @ Kobe-u. ac. jp

(China aster, *Callistephus chinensis* Nees), クリサンセマム・パルドーサム (*Chrysanthemum paludosum* Poir.), シネラリア (*Cineraria*, *Senecio cruentus* DC.), コスモス (*Cosmos*, *Cosmos bipinnatus* Cav.), クッションマム (*Cushionmum*, *Dendranthema morifolium* Kitamu.), ダリア (*Dahlia*, *Dahlia pinnata* Cav.), デージー (*Daisy*, *Bellis perennis* L.), エリゲロン (*Fleabane*, *Erigeron hybridus* hort.), ガザニア (*Gazania*, *Gazania splendens* hort.), ムギワラギク (*Strawflower*, *Helichrysum bracteatum* Willd.), マリーゴールド (*African marigold*, *Tagetes erecta* L.), ローダンセ (*Mangles sunray*, *Helipterum manglesii* F. v. Muell.), アラゲハンゴンソウ (*Black-eyed Susan*, *Rudbeckia hirta* L.), ベニバナ (*Safflower*, *Carthamus tinctorius* L.), ヒマワリ (*Sunflower*, *Helianthus annuus* L.), クセランテムム (*Immortelle*, *Xeranthemum annuum* L.), ジニア (*Zinnia*, *Zinnia elegans* Jacq.) の種子は第一園芸から購入して用いた。ウラギク (*Aster tripolium* L.) の種子は, 1995 年 12 月に兵庫県相生市左方川河口 (汽水域) に自生する群落の中の約 100 株より無作為に採取し, 10 °C の冷暗所で保存したもので, 採取時の発芽率 (採取直後に塩を含まない条件で検定し, 30~40%) が低下していないことを予備発芽試験により確認して供試した。種子は 0.5% (w/v) 次亜塩素酸ナトリウム溶液に 15 分間浸して滅菌した後水洗し, 設定濃度 (0~600 mM, 第 1 表) の NaCl 水溶液 6 ml で湿らせたろ紙を敷いたプラスチックシャーレ (直径 90 mm, 高さ 15 mm) に, 栽培種は 20 粒 (3 もしくは 6 反復), ウラギクは 30 粒 (3 反復) ずつ置床した。23 °C, 暗黒下で発芽させ, 置床後 10 日目に発芽率を調査した。0 mM NaCl での発芽率の種間および品種間の差を考慮するため, 50~300 mM NaCl での各発芽率の 0 mM に対する相対値を用いてクラスター分析 (群平均法) を行い, 発芽時における耐塩性の強さのグループ分けを試みた。

2. 初期栄養生長期の水耕

NaCl ストレスによる発芽率の抑制程度 of クラスタ分析により, 発芽時の耐塩性を 3 グループ化した中から, 著しく高かったベニバナ, B グループに属したウラギク, および C グループのクリサンセマム・パルドーサムについて NaCl 存在下で水耕を行った。種子をフェノール樹脂の発泡体 (縦 2.5×横 2.5×高さ 3.0 cm, 日本曹達) にベニバナは 1 粒, パルドーサムおよびウラギクは 2~3 粒播種し, 脱イオン水を灌水して, 23 °C, 暗黒下で発芽させた。発芽後, 市販培養液 (N:P:K=20:20:20%) 3000 倍液を標準水耕液として, 23 °C, 16 時間日長, $80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (光合成有効放射, 光源は昼光色蛍光灯) で育苗した。本葉が 4 枚展開した時点で, 発泡体ごと発泡スチロール板に栽植間隔 6 cm で埋め込

み, NaCl を添加した標準水耕液を入れたバット (縦 38×横 47×高さ 18 cm) に固定して水耕を開始した。設定した NaCl 濃度は, ベニバナおよびパルドーサムでは 0, 25 および 50 mM, ウラギクでは 0, 150 および 300 mM とした。水耕時の光合成有効放射は, ベニバナおよびパルドーサムでは $90 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ウラギクでは $120 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ とし, 他の栽培条件は育苗期と同様にした。水耕液はエアーポンプで曝気した。NaCl ストレスショックを回避するため, 水耕液の NaCl 濃度は移植後 3 日目に設定濃度に達するよう段階的に上昇させた。各処理区 20 個体を供試し, 移植後 0, 4, 8, 12 および 16 日目に 5 個体ずつサンプリングし, 葉面積計で葉面積を測定後, 80 °C で 48 時間通風乾燥した茎葉部および根部の乾物重を測定した。また, 処理開始 4 日目と 16 日目の乾物重および葉面積を基に生長解析を行い, 相対生長率 (RGR), 純同化率 (NAR), 葉面積相対生長率 (RLAGR), 葉面積比 (LAR), 葉重比 (LWR) および比葉面積 (SLA) を算出した。

結 果

1. 種子発芽の耐塩性

18 種の栽培種の中で, シネラリア, ガザニア, ローダンセ, ベニバナ, ヒマワリ, ジニアの発芽率は 100 mM の NaCl によって抑制されなかった。一方, アスター・ミス・ヨーロッパ, パルドーサム, クッションマムおよびムギワラギクは 100 mM NaCl 処理により発芽が強く抑制された (第 1 表)。150 mM での発芽率が 0 mM の 30% を下回ったものは 9 種あり, 一方, シネラリア, ガザニア, ベニバナ, ヒマワリおよびクセランテムムは 150 mM でも 0 mM の 80% 以上の発芽率を維持した。ヒマワリに関して, 200 mM に比べ 250 mM の発芽率の減少は有意であったが, なお 0 mM の 77% と高かった。300 mM で発芽しなかった種は 15 種あった。ベニバナの発芽率は高 NaCl 濃度下でも著しく高く, 300 mM で 0 mM の 106%, 400 mM でも 74% であった。600 mM ですべての種が発芽しなかった。塩生植物ウラギクの発芽率は栽培種と比べて低く, 0 mM でも 35.0% であった。発芽率は NaCl 濃度の増加に伴って, 0 mM に対して 64% (100 mM), 52% (150 mM), 36% (200 mM) および 21% (300 mM) に減少したが, 高 NaCl 濃度下での発芽抑制の程度はベニバナに次いで小さかった。

NaCl ストレス 10 日後の発芽率の 0 mM に対する抑制程度から, 発芽時の耐塩性をクラスター分析によってグループ分けすると (第 1 図), ベニバナが群を抜いて耐塩性が強かった (A)。ベニバナ以外は大別して 2 グループに分けられ, ガザニア, ヒマワリ, クセランテムム, ローダンセを含む B グループにウラギクが属し, C

Table 1. Cumulative germination (%) of seeds of Asteraceae during 10 days under saline conditions. Seeds were germinated in darkness at 23 °C on the filter paper moistened with different NaCl solutions (0 – 600 mM).

Materials	NaCl concentration (mM)								
	0	50	100	150	200	250	300	400	600
Clutivars									
Mexican ageratum 'F1 Ocean'	85.0 a ^z	— ^y	53.3 b (63)	43.3 b (51)	21.7 c (26)	—	0 d	—	0 d
China aster 'Kurenai Double'	83.3 a	73.3 a (88) ^x	51.7 b (62)	20.0 c (24)	1.7 d (2)	—	0 d	—	0 d
China aster 'Kurenai Rose'	70.0 a	51.7 b	43.3 b (62)	21.7 c (31)	15.0 c (21)	—	0 d	—	0 d
China aster 'Miss Europe'	93.3 a	—	38.3 b (41)	5.0 c (5)	—	—	3.3 c (4)	—	0 c
<i>C. paludosum</i> 'North Pole'	66.7 a	—	20.0 b (30)	1.7 c (3)	—	—	0 c	—	0 c
Cineraria 'Moonlight'	95.0 a	—	91.7 a (97)	86.7 a (91)	40.0 b (42)	—	0 c	—	0 c
Cosmos 'Radiance'	90.0 a	—	73.3 b (81)	45.0 c (50)	38.3 c (43)	—	3.3 d (4)	—	0 d
Cushionmum 'F Golden Glowly'	70.0 a	48.3 b (56)	8.3 c (12)	0 d	—	—	0 d	—	0 d
Dahlia 'Figaro'	81.7 a	—	45.0 b (55)	23.3 c (29)	16.7 c (20)	—	0 d	—	0 d
Daisy 'Pomponet'	83.3 a	73.3 a (88)	55.0 b (66)	21.7 c (26)	3.3 d (4)	—	0 e	—	0 e
Fleabane 'Pink Jewel'	65.0 a	—	43.3 b (67)	1.7 c (3)	0 c	—	0 c	—	0 c
Gazania 'Sun Shine'	40.0 a	—	45.0 a (113)	45.0 a (113)	—	—	3.3 d (8)	—	0 b
Strawflower 'Fire Boll'	51.7 a	—	16.7 b (32)	1.7 c (3)	—	—	0 c	—	0 c
Marigold 'Discovery Series Yellow'	93.3 a	—	68.3 b (73)	45.0 c (48)	48.3 c (52)	—	0 d	—	0 d
Mangles sunray 'Manglesy Rose'	87.5 a	—	76.7 a (88)	46.7 b (53)	16.7 c (19)	—	0 d	—	0 d
Black-eyed Susan 'Irish Eye'	85.0 a	—	63.3 b (75)	13.3 c (16)	—	—	0 d	—	0 d
Safflower 'Roundish Leaf'	88.3 a	—	90.0 a (102)	98.3 a (111)	—	—	93.3 a (106)	65.0 b (74)	0 c
Sunflower 'Taiyou'	90.8 a	—	86.7 ab (96)	83.3 b (92)	81.7 b (90)	70.0 c (77)	0 d	—	0 d
Immortelle 'Purple'	93.3 a	85.0 bc (91)	86.7 b (93)	78.3 cd (84)	71.7 d (77)	—	0 e	—	0 e
Zinnia 'Cupid'	75.0 a	—	76.7 a (102)	48.3 b (64)	31.7 c (42)	—	1.7 d (2)	—	0 d
A wild halophyte									
Sea aster	35.0 a	—	22.5 b (64)	18.3 c (52)	12.5 c (36)	—	7.5 d (21)	—	0 e

^z The different letters within specific species indicate significant differences among treatments ($P \leq 0.05$, Bonferroni/Dunn multiple range test ($n = 3$ or 6)).

^y '—' mark shows untested.

^x Relative germination % to the control (0 mM NaCl) were shown in parentheses.

Fig. 1. Dendrogram calculated by Cluster analysis (Average linkage method) with relative germination percentage to 0 mM during 10 days under 50–300 mM NaCl conditions. A broken line shows the Euclidean distance to classify the salt tolerance in seed germination (A: most tolerant, B: moderately tolerant and C: most sensitive).

グループにはクッションマム、ムギワラギク、パルドーサム、アゲラタム、エリゲロン等が属した。BとCとの間での発芽時の耐塩性の違いは、それらとベニバナとの差異に比べて小さかった。

2. 初期栄養生長期の耐塩性

ベニバナの生長は、25 mM では16日目に、50 mM では8日目に抑制が認められた。特に50 mM の根の生長は8日目以降停滞し、茎葉部よりも根部の方がNaCl ストレスによる生長の抑制が大きかった(第2図)。NaCl ストレス処理16日目の25 mM および50 mM の乾物重は、0 mM に対して茎葉部で82%および42%、根部で61%および28%に減少した。パルドーサムの生長は25 mM で抑制されることはなく、50 mM で16日目に0 mM と比べ乾物重が59% (茎葉部) および43% (根部) に減少し生育が抑制された。ウラギクは150 mM のNaCl ストレス下でも生育の抑制は示さなかったが、300 mM では16日目に0 mM に対して茎葉部乾物重が54%、根部乾物重が62%に減少し生育が抑制された。NaCl ストレス16日目の地上部と地下部乾物重の比率(T/R比)は、ベニバナは25 mM 以上で、パルドーサムは50 mM で有意に高くなった。一方、ウラギクのT/R比はNaCl ストレスによる影響を受けなかった。

NaCl ストレス下で水耕した4日目から16日目までの生長解析において(第2表)、ベニバナおよびパルドーサムは50 mM で、ウラギクは300 mM でRGRが有意に低下した。RGRの構成要素については、ベニバナ

およびパルドーサムではLARは減少せず、NARの減少が有意であったのに対して、ウラギクではNAR, LARともに低下した。パルドーサムおよびウラギクではSLAが減少し、葉が肥厚する傾向にあった。RLAGRは3種とも有意に低下し、ベニバナおよびウラギクでは0 mM のそれぞれ29%および47%に著しく減少した。

考 察

塩生植物ウラギクを含む供試したすべてのキク科植物の発芽は400 mM 以上の高濃度のNaCl ストレス下で有意に抑制された。NaCl ストレスによる発芽抑制は、浸透圧ストレスによる吸水不足(Ahman・Wainwright, 1977)、発芽時の酵素タンパク質や生長調節物質に及ぼす Na^+ や Cl^- の直接的なイオン毒性(Al-Niemi ら, 1992)によると考えられている。耐塩性が比較的高いアルファルファ'Conder'は241 mM のNaCl 下で発芽率が50%を越え(Al-Niemi ら, 1992)、シロイヌナズナの高耐塩性突然変異体RS 17は150 mM NaCl 下で発芽率が80%、225 mM でも15%であった(Saleki ら, 1993)。これらの報告と比べて、ベニバナの発芽率は300 mM においても有意な減少を示さず、400 mM でも65%を維持したことから、ベニバナは発芽時の耐塩性が著しく高いと推察され、クラスター分析でも独立に分類された。このようなベニバナ種子の発芽時の高耐塩性の機作は不明であるが、ベニバナやそれに次いで発芽時の

Fig. 2. Changes in dry weight (top and root part) of safflower (left scale), *Chrysanthemum paludosum* and sea aster (right scale) grown under NaCl stress. Plants were grown hydroponically in nutrient solutions containing 0 (○), 25 (●), 50 (▲), 150 (◆), and 300 (▼) mM NaCl. Vertical bars show standard error (n=5). The top-root ratio (T/R) was statistically analyzed and showed a significant difference among treatments at $P \leq 0.01$.

Table 2. Growth analysis functions of safflower, *C. paludosum* and sea aster grown under saline conditions.

Materials	Treatments (mM NaCl)	RGR ^z (g·g ⁻¹ ·day ⁻¹)	NAR (g·m ⁻² ·day ⁻¹)	LAR (m ² ·g ⁻¹)	LWR (g·g ⁻¹)	SLA (m ² ·g ⁻¹)	RLAGR (m ² ·m ⁻² ·day ⁻¹)
Safflower	0	0.146 ^y a	10.154 a	0.015 a	0.645 a	0.022 a	0.096 a
	25	0.146 (100) a ^x	9.666 (95) a	0.015 (100) a	0.672 (104) a	0.023 (105) a	0.079 (82) a
	50	0.089 (61) b	6.392 (63) b	0.014 (93) a	0.597 (93) a	0.024 (109) a	0.028 (29) b
<i>C. paludosum</i>	0	0.159 a	4.473 a	0.036 a	0.851 a	0.042 a	0.161 a
	25	0.167 (105) a	4.564 (102) a	0.037 (103) a	0.823 (97) a	0.045 (107) a	0.159 (99) a
	50	0.126 (79) b	3.728 (83) b	0.034 (94) a	0.899 (106) a	0.038 (90) b	0.116 (72) b
Sea aster	0	0.140 a	6.980 a	0.021 a	0.755 a	0.028 a	0.099 a
	150	0.150 (107) a	8.487 (122) a	0.018 (86) a	0.787 (104) a	0.023 (82) a	0.105 (106) a
	300	0.074 (53) b	4.706 (67) b	0.016 (76) b	0.785 (104) a	0.020 (71) b	0.047 (47) b

^z RGR : relative growth rate, NAR : net assimilation rate, LAR : leaf area ratio, LWR : leaf weight ratio, SLA : specific leaf area, and RLAGR : relative leaf area growth rate.

^y Data from the forth day and the 16th day after NaCl treatment began. Different lower-case letters indicate significant differences ($P \leq 0.01$) using a one-way analysis of variance followed by the LSD testing ($n = 5$) among NaCl treatments.

^x Relative values to 0 mM were shown in parentheses.

耐塩性が高かったヒマワリ (250 mM で 70%) の子実ではリン脂質含量が高いことが知られている。これにより酵素タンパク質および膜が脱水から保護されている可能性が考えられるが (Bohnert ら, 1995), 調査の余地を残している。

塩生植物ウラギクの発芽はシネリリア, ガザニア, マリーゴールド, ベニバナ, ヒマワリ, クセランテムム, ジニアなどの栽培種と比べて, 200 mM 以下の NaCl ストレス下での抑制程度が高く, また, クラスター分類からも耐塩性が高いとは言えない。一方, 初期栄養生長は, これらの栽培種が枯死する 150 mM の高い NaCl ストレス下でも抑制されなかったもので, この時期の耐塩性は著しく高いと考えられた。本実験の結果は, ウラギクの発芽を抑制した NaCl 濃度下でも, その実生の生育は全く抑制されなかったことを示した報告 (Shennan ら, 1987; Uno ら, 1996) と一致した。さらに Poljakoff-Mayber ら (1994) は, 塩生植物は実生生長期よりも発芽時の方が耐塩性が小さい種が多いことを報告している。

初期栄養生長期の耐塩性を乾物増加の抑制割合から比較すると, 耐塩性の大きい順にウラギク, パルドーサム, ベニバナであった。NaCl 処理期間が本実験とは異なるが, キク科のレタスは 60 mM でも乾物重がほとんど減少しなかったが (下瀬・黒坂, 1985), セイタカアワダチソウは 40 mM で 34% 減少した (下瀬ら, 1987)。本実験での 50 mM NaCl での乾物生長量で比較すると, ベニバナおよびパルドーサムはレタスには及ばないが, セイタカアワダチソウと同レベルの耐塩性を示すと推察される。ウラギクは, レタスが耐塩性を示した 60 mM の 2 倍以上の 150 mM でも生長が抑制されなかったもので, レタスと比べても耐塩性ははるかに高いと考えられる。ベニバナおよびパルドーサムでは強い NaCl ストレスにより T/R 比が増加したので, 茎葉に比べて根の生長抑制が大きく, ウラギクでは T/R 比が変化しなかつ

たので, 器官による塩感受性の違いはないと考えられた。多くの非塩生植物の根の生長は NaCl ストレスに敏感に抑制されている (Gorham ら, 1985)。ベニバナおよびパルドーサムでは NaCl ストレスが厳しくなるに伴って茎葉の萎凋が見られたことより, 根の吸水機能障害が推察されたが, ウラギクでは 300 mM 下でも萎凋は見られず (データ未記載), 塩生植物の根の機能における高耐塩性が示唆された。Munns・Termaat (1986) は, 植物が NaCl ストレスにさらされると, 下位葉に塩が蓄積して枯れ, さらに若い葉の展開も抑制され全葉面積が減少し, 植物体当たりの光合成量が低下して枯死すると報告している。ベニバナおよびパルドーサムにおける RGR の減少は NAR の減少によりほぼ説明され, CO₂ 同化能力への NaCl ストレスの影響が大きいと考えられた。厳しい高塩環境 (300 mM) で生育したウラギクは NAR の減少に加えて LAR も低下した。すなわち, NaCl ストレスが厳しくなったことによる生長速度の抑制は, 光合成と葉面積比の両方の減少が大きく関与していると推察された。また, NaCl ストレスへの適応として葉の多肉化が知られている (Flowers ら, 1977)。パルドーサムおよびウラギクでは NaCl ストレスにより SLA が減少し, 葉が肥厚, 多肉化する傾向が認められた。

以上より, ベニバナ, クリサンセマム・パルドーサムおよびウラギクの NaCl ストレスに対する感受性は発芽時と実生生長期とは異なることが明らかとなり, キク科の花き植物において, 発芽時の耐塩性のみに基づいた耐塩性種の選抜は困難であり, 生長期の耐塩性を考慮する必要があると考えられた。ウラギクはベニバナに次いで 300 mM NaCl 下での発芽率が高く, さらに初期栄養生長期では著しく高い耐塩性を有したので, キク科栽培種への耐塩性付与のための遺伝資源となりうる可能性も示唆された。

摘 要

種子発芽時における耐塩性種の選抜の可能性を模索するために、キク科の栽培花き植物 18 種 20 品種およびキク科の塩生植物ウラギク (*Aster tripolium* L.) を用いて、NaCl ストレス下での種子発芽および初期栄養生長を調査した。50~300 mM の NaCl 下での発芽試験に基づいたクラスター分析から、ベニバナが発芽時の耐塩性が最も高いと評価した。ウラギクは NaCl ストレスによって発芽が抑制されたが、300 mM の高塩環境下ではベニバナに次ぐ高い発芽性を有した。ベニバナ、ウラギクおよび発芽時の耐塩性が比較的低かったクリサンセマム・パルドーサムを NaCl 水耕した時の初期栄養生長期の耐塩性は、ウラギク、パルドーサム、ベニバナの順に高く、パルドーサムおよびベニバナでは茎葉に比べて根の生長が有意に抑制された。以上のように、ベニバナ、パルドーサムおよびウラギクの間で比べた耐塩性の程度は、種子発芽時と初期栄養生長期とは異なったので、種子発芽時の耐塩性によってキク科花き植物の耐塩性種を選抜できる可能性は低いと考えられた。

引用文献

- Ahman, I. and S. J. Wainwright. 1977. Tolerance to salt, partial anaerobiosis, and osmotic stress in *Agrostis stolonifera*. *New Phytol.* 79 : 605-612.
- Al-Khatib, M., T. McNeilly and J. C. Collins. 1993. The potential of selection and breeding for improved salt tolerance in lucerne (*Medicago sativa* L.). *Euphytica* 65 : 43-51.
- Al-Niemi, T. S., W. F. Campbell and M. D. Rumbaugh. 1992. Response of alfalfa cultivars to salinity during germination and post-germination growth. *Crop Sci.* 32 : 976-980.
- Bohnert, H. J., D. E. Nelson and R. G. Jensen. 1995. Adaptations to environmental stress. *Plant Cell* 7 : 1099-1111.
- Bolarin, M. C., F. G. Fernandez, V. Cruz and J. Cuartero. 1991. Salinity tolerance in four wild tomato species using vegetative yield-salinity response curves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116 : 286-290.
- Flowers, T. J., P. F. Troke and A. R. Yeo. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophyte. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28 : 89-121.
- Gorham, J., R. G. Jones and E. McDonnell. 1985. Some mechanisms of salt tolerance in crop plants. *Plant and Soil* 89 : 15-40.
- Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanisms of salt stress in nonhalophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31 : 149-190.
- Heenan, D. P., L. G. Lewin and D. W. McCaffery. 1988. Salinity tolerance in rice varieties at different growth stages. *Aust. J. Exp. Agr.* 28 : 343-349.
- McCarty, L. B. and A. E. Dudeck. 1993. Salinity effect on bentgrass germination. *HortSci.* 28 : 15-17.
- Munns, R. and A. Termaat. 1986. Whole-plant responses to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13 : 143-160.
- Passam, H. C. and D. Kakouriotis. 1994. The effect of osmoconditioning on the germination, emergence and early plant growth of cucumber under saline conditions. *Scientia Hort.* 57 : 233-240.
- Poljakoff-Mayber, A., G. F. Somers, E. Werker and J. L. Gallagher. 1994. Seeds of *Kosteletzkya virginica* (Malvaceae): their structure, germination and salt tolerance. II. Germination and salt tolerance. *Amer. J. Bot.* 81 : 54-59.
- Saleki, R., P. G. Young and D. D. Lefebvre. 1993. Mutants of *Arabidopsis thaliana* capable of germination under saline conditions. *Plant Physiol.* 101 : 839-845.
- Shennan, C., R. Hunt and E. A. C. Macrobbe. 1987. Salt tolerance in *Aster tripolium* L. I. The effect of salinity on growth. *Plant Cell Environ.* 10 : 59-65.
- 下瀬 昇・黒坂啓介. 1985. カブ, レタス, ニンジンおよびピーマンの耐塩性. *熱帯農業* 29 : 208-212.
- 下瀬 昇・竹中史人・木村 修. 1987. アッケシソウ, イグサ及びセイタカアワダチソウの耐塩性. *熱帯農業* 31 : 179-184.
- Smith, M. A. L., J. E. Meyer, S. L. Knight and G. S. Chen. 1993. Causing turfgrass salinity responses in whole-plant microculture and solution culture. *Crop Sci.* 33 : 566-572.
- Uno, Y., M. Kanechi, N. Inagaki, M. Sugimoto and S. Maekawa. 1996. The evaluation of salt tolerance during germination and vegetative growth of asparagus, table beet and sea aster. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 65 : 579-585.