

総 説

植物の耐塩性と無機養分の吸収について

下瀬 昇・関谷次郎^{a)}

(生物機能・遺伝資源開発学講座)

Received November 1, 1990

Salt Tolerance of Higher Plants and Uptake of Inorganic Nutrients

Noboru SHIMOSE and Jiro SEKIYA^{a)}*(Department of Biological Function and Genetic Resources Science)*

Salt tolerance of 39 plants, and uptake and accumulation of inorganic nutrients by the plants were examined, when the plants were exposed to 0~60 meq/ℓ of NaCl or Na₂SO₄. Based on the growth of the plants represented by dry weight, plants examined were classified into 3 groups; strongly tolerant to salt (14 species involving glasswort, cotton, Italian ryegrass, radish, rush and spinach), moderately tolerant (14 species involving celery, turnip, okra and asparagus), and sensitive (11 species involving cucumber, rape, tobacco and perilla). Contents of Na in the stem and leaves varied 0.8 to more than 8%. Treatment of the plants with the salts inhibited uptake and accumulation of K, Ca and Mg. However, there were no correlations between salt tolerance and Na contents in plants or inhibition of K, Ca and Mg.

緒 言

植物はそれが成育する環境によってさまざまな変化を受ける。通常、低塩類環境下に成育している栽培植物を含む多くの植物は中性植物と呼ばれるが、このような植物は高塩類環境にさらされるとストレスを受ける。たとえば海岸近くの開拓地で除塩されるまでや、台風で海水の浸入を受けた水田や畑では一時的に塩害を被る事が多い。また施設園芸栽培のように自然の降雨を遮断した浅い培養様式においては、施肥成分または用水の塩基が次第に集積し、連作年数の経過と共に集積した塩類が農作物にストレスを与え、成育を著しく阻害することがある。さらに乾燥ないし半乾燥地域では多量の塩分を含む塩類土壌や、置換性ナトリウムが多く強アルカリ性を呈するアルカリ土壌が広く分布し、作物の成育を害している。このような地域では、これまで農耕地として利用されてきたところでも環境や栽培方法の変化によって耕土に塩類が著しく集積することが多く、塩類集積後は植物の成育は著しく困難となり、現在でも陸地の砂漠化が進んでいる。このように塩害は農業生産にとって大きな障害となっている。

NaCl などの中性塩類に基づく植物の過剰障害は、一次的には植物生体膜の障害、二次的には浸透圧によるストレス、養分吸収阻害による養分欠乏があるといわれている²⁾。また培地中

a) 生物資源開発学講座 (Department of Bioresources Chemistry)

に存在する塩の種類や植物の相違によって成育及び養分吸収にかなり差があることが認められている。植物の塩類過剰ストレスの機構を解明するために、多数の植物を同じ環境の下で栽培し、NaCl 過剰による成育と養分吸収の変動を、 Na_2SO_4 過剰によるそれらと比較しながら一連の研究を行ってきた。これまで約40種類の植物を用いて検討してきたが、本論文ではこれらのうち10種類の植物を選んで植物の塩類障害を比較植物栄養学的に考察した。

供試植物および実験方法

植物のおよそ一生を通じて塩類処理を行い、その分析を行ったものは40種類に達するが、ここではそのうち10種類の代表的な植物を選んでとりあげた。10種類の植物はアツケシソウ (*Salicornia herbacea* L.)¹¹⁾、ハゲイトウ (*Amaranthus tricolor* L.)¹⁴⁾、タバコ (*Nicotiana tabacum* L.)³⁾、トマト (*Lycopersicon esculentum* L.)^{3,11)}、ナス (*Solanum melongena* L.)¹⁴⁾、ヨモギ (*Artemisia princeps* Pamp.)¹⁴⁾、ピーマン (*Capsicum annuum* L.)⁹⁾、シソ (*Perilla frutescens* Britton var. *hrispa* Decne)¹⁴⁾と、今回新たにとりあげた、ワタ (*Gossypium hirsutum* L.)とキク (*Chrysanthemum mosifolium* Ramat)である。タバコについては今回再検討した結果を主としてもちいた。

各植物は主として流動砂耕栽培を行った。アンモニア態窒素と硝酸態窒素との比は1:2~2:1となるようにした。今回はじめて報告するワタ、キクについては1:2を用いた。各植物を栽培した基本培養液を Table 1 に示した。基本培養液は塩酸によって pH を5.5に調整した。

Table 1 Salt concentrations of basal nutrient solutions

Elements	Concentration (ppm)	Salt
N	60 ($\text{NH}_4\text{-N}$, 20 : $\text{NO}_3\text{-N}$, 40) or ($\text{NH}_4\text{-N}$, 40 : $\text{NO}_3\text{-N}$, 20)	NH_4NO_3 and $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
P	30	KH_2PO_4
K	50	KCl
Ca	28.6	from $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ as N source
Mg	30	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Fe	2	Fe-citrate
Mn	1	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
B	1	H_3BO_3

Table 2 Date of salt treatment of plants

Plant	Beginning of salt treatment	Harvest
Glasswort	26, March/1983	23, August/1983
Amaranthus	19, June/1986	8, August/1986
Cotton	4, July/1988	7, September/1988
Tobacco	23, May/1988	25, June/1988
Tomato	15, May/1984	20, July/1984
Eggplant	1, June/1985	26, June/1985
Mugwort	8, May/1986	18, June/1986
Sweet pepper	6, June/1983	11, August/1983
Chrysanthemum	28, August/1985	10, November/1985
Perilla	8, May/1985	18, June/1985

また水道水から約8~10ppmのClと約7ppmのSが供給されている。

塩類処理は基本培養液にNaCl (Cl区) またはNa₂SO₄ (S区) を、アツケシソウには0, 20, 40, 80, 120meq/l, その他の植物には0, 20, 40, 60meq/lとなるようにして栽培した。このようにある程度うすい塩類溶液で実験を行ったのは、一連の本研究の目的が塩類による植物の枯死限界を求めることではなく、中程度の塩類濃度において植物の耐塩性順位を決定するとともに、養分吸収の変動を把握するためである。植物体の無機成分などの分析法は前報³⁾と同様の方法を採用した。

成育に及ぼす塩類処理の影響

植物の耐塩性を表示する方法として、Cont区の育成を100%として60meq/l区の乾物量が

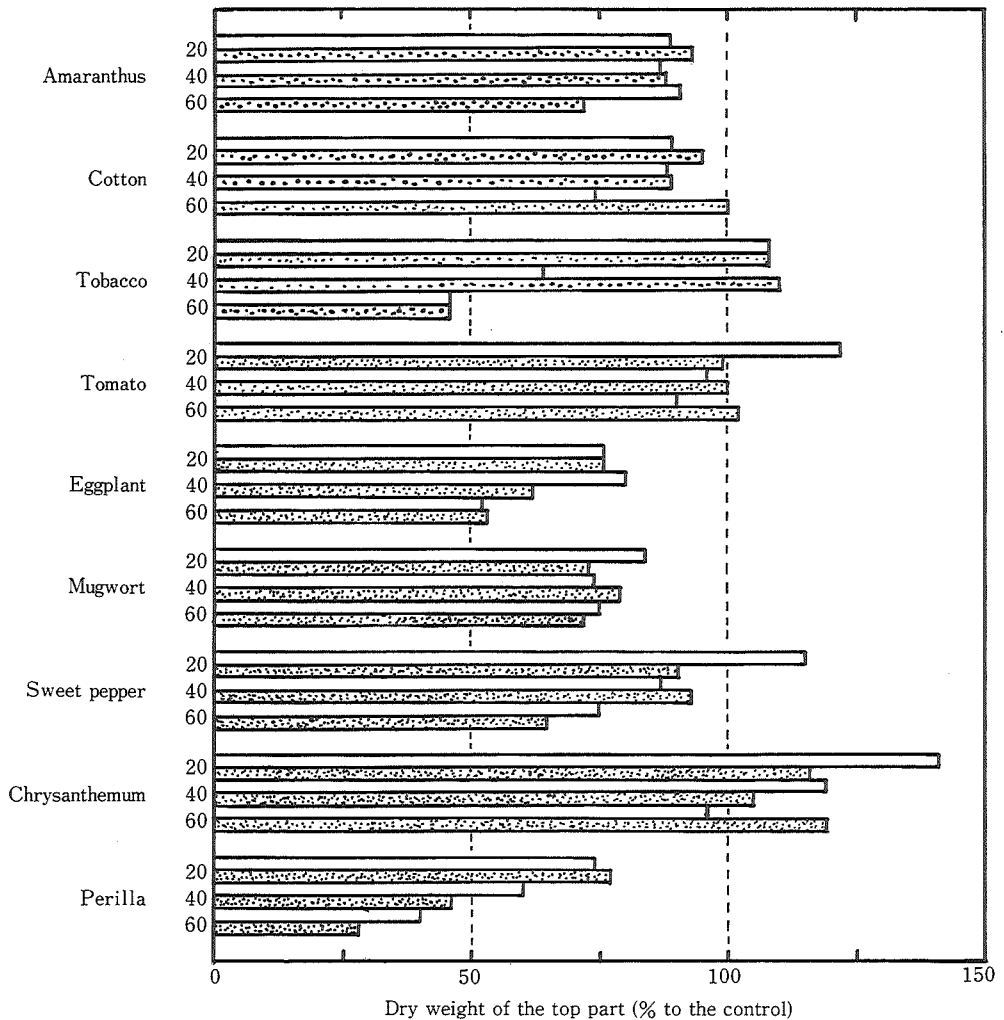


Fig. 1 Effects of NaCl and Na₂SO₄ on the growth of the top parts of the plants. Growth was represented as dry weight. Numbers of 20, 40, and 60 on the ordinate mean concentrations of NaCl and Na₂SO₄ in the culture media. Open bar indicates NaCl and dotted one Na₂SO₄.

75%以上のものを強, 51~75%のものを中, 50%以下のものを弱とした。

各植物の乾物重を Fig. 1, 2 に示した, アツケシソウの成育は Cont 区成育を100とすると Cl-120区で262, S-120区で127を示し, NaCl の効果が大きであった。(Fig. 2) ¹¹⁾。これは高橋¹⁸⁾のいうように最も耐塩性の強い植物に入るであろう。このことは杉本ら¹⁵⁾の行った *Atriplex nummularia* の成育ともよく一致している。ハゲイトウは中~強であった¹⁴⁾。ワタは強, トマトの成育は強であったが, 果実の成育は弱で, Ca 欠乏と思われる尻腐れが特に S 区の高濃度区に現われた^{3,10)}。タバコ³⁾, ナス¹⁴⁾は中, ヨモギ¹⁴⁾とピーマン⁹⁾は中~強, キクは強であった。キクは品種によって耐塩性が著しく異なり, ここで用いた兼広白菊種は強であったが, 次に用いた大芳桃月種は弱~中であった。シソ¹⁴⁾は弱であったが, 体内無機成分分析値よりみると(後述) ヨモギによく似ていた。

体内無機成分の変動

各植物の無機成分含有率を Table 3 ~12 に示した, それらの値については興味ある結果が得られた。すなわち Na の吸収蓄積で分類すると, 大体 4% 以上はアツケシソウ, ハゲイトウ, ワタ, 2.5% 内外のものはタバコ, トマト, ナス, 1.5% 以下のものはヨモギ, ピーマン, キク, シソであった。

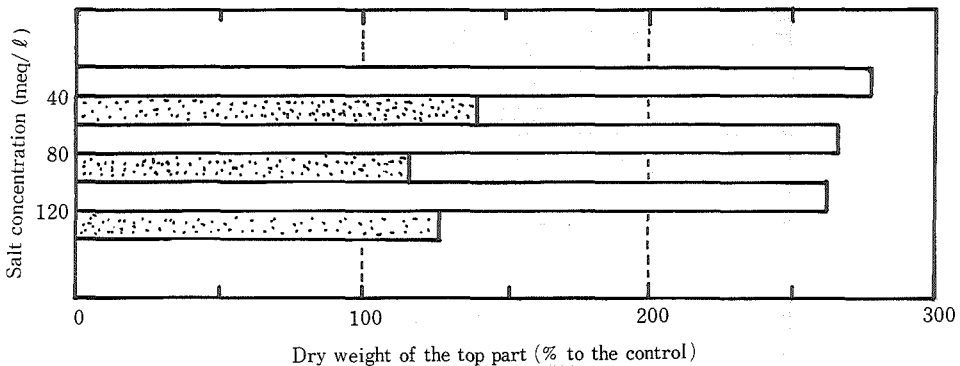


Fig. 2 Effects of NaCl and Na₂SO₄ on the growth of the top part of glasswort. Growth was represented as dry weight. Numbers of 20, 40, and 60 on the ordinate mean concentrations of NaCl and Na₂SO₄ in the culture media. Open bar indicates NaCl and dotted one Na₂SO₄.

Table 3 Contents of mineral elements of glasswort

Treatment	Content (% on dry matter basis)					
	Na	Cl	S	K	Ca	Mg
Cont	1.40 (100)	3.31 (100)	1.46 (100)	3.30 (100)	1.25 (100)	0.88 (100)
Cl -40	16.71	27.77	0.73	1.69	0.79	0.41
80	20.80	31.90	0.37	1.23	0.49	0.23
120	20.26 (1447)	32.32 (976)	0.27 (19)	1.13 (34)	0.40 (32)	0.17 (19)
S -40	12.34	2.24	7.22	1.38	0.35	0.26
80	14.60	2.44	8.25	1.11	0.26	0.16
120	16.77 (1198)	2.32 (70)	9.37 (640)	0.92 (28)	0.25 (20)	0.16 (18)

まず、Table 3 に示したように、アツケシソウ¹¹⁾は予備実験の結果、かなり強いと思われたので塩類濃度を40, 80, 120 meq/l とした。Cl 区で Na の吸収蓄積が16~20%, S 区で12~16%もあり、Cl が Cl-120区で32%, S が S-120区で9%と、これまでに供試したすべての植物の中で最も多かった。Na (Cl 区とS 区), Cl (Cl 区), S (S 区) がこれほどに多い植物はめったに見られないが、Al-Ani ら¹⁾の報告によると、*Seiditzia rosmarinus* では Na が35%, Cl が20%で合計すると50%を越え、著しく高い値を示している。このことは高橋¹⁶⁾が述べているように、アツケシソウの Na, Cl の吸収蓄積は30%を越すという事実とよく一致している。またこれらの事実は S 区では Cl の吸収蓄積が加えた Na₂SO₄ 濃度の増大に伴い、かなり低下したが、S 区のS の吸収は、Cont 区を100とすると S-120では640となり、これまでに供試したどの植物よりも多かった。それに伴い、K, Ca, Mg の吸収阻害が著し

Table 4 Contents of mineral elements of amaranthus

Treatment	Content (% on dry matter basis)					
	Na	Cl	S	K	Ca	Mg
Cont	0.51 (100)	1.00 (100)	0.51 (100)	3.09 (100)	0.40 (100)	0.67 (100)
Cl -20	2.45	4.20	0.45	2.78	0.38	0.62
40	3.49	4.30	0.45	2.71	0.32	0.55
60	4.29 (841)	5.19 (519)	0.44 (86)	2.60 (84)	0.31 (78)	0.48 (72)
S -20	2.51	0.73	0.82	2.86	0.34	0.53
40	2.55	0.75	0.98	2.58	0.21	0.45
60	3.66 (718)	0.66 (66)	1.09 (204)	2.23 (72)	0.18 (45)	0.35 (52)

Table 5 Contents of mineral elements of cotton

Treatment	Content (% on dry matter basis)					
	Na	Cl	S	K	Ca	Mg
Cont	0.26 (100)	1.02 (100)	0.77 (100)	2.35 (100)	2.43 (100)	0.44 (100)
Cl -20	1.89	3.82	0.61	1.70	2.23	0.32
40	3.50	5.14	0.57	1.40	1.95	0.26
60	4.49 (1727)	5.93 (581)	0.58 (75)	0.95 (40)	1.10 (45)	0.18 (41)
S -20	1.95	0.61	1.75	2.00	1.92	0.31
40	4.05	0.69	2.01	1.51	1.10	0.15
60	4.39 (1689)	0.45 (44)	2.04 (265)	1.39 (59)	0.95 (39)	0.12 (27)

Table 6 Contents of mineral elements of tobacco

Treatment	Content (% on dry matter basis)					
	Na	Cl	S	K	Ca	Mg
Cont	0.61 (100)	0.51 (100)	0.34 (100)	2.90 (100)	1.26 (100)	0.51 (100)
Cl -20	1.32	5.54	0.30	2.72	1.21	0.51
40	2.43	6.33	0.31	2.54	0.82	0.43
60	2.67 (438)	7.02 (1377)	0.37 (109)	2.36 (81)	0.51 (40)	0.36 (71)
S -20	1.11	0.58	0.94	2.32	1.23	0.51
40	1.90	0.57	1.09	2.33	0.77	0.37
60	2.38 (390)	0.57 (112)	1.18 (347)	2.20 (76)	0.43 (34)	0.25 (49)

く、それが N, P の吸収蓄積阻害にまでおよんでいた¹¹⁾。N, P にまで吸収阻害がおよんでいたのは、我々が行った植物ではアツケシソウのみであった。

ハゲイトウ (Table 4) とワタ (Table 5) の Na 含有率は 60 meq/l 区となると大体 4% 以上の高い値を示した。ハゲイトウは塩類濃度が上昇するにつれて、K, Ca, Mg がやや吸収阻害を受け、その程度は S 区の方が Cl 区よりもやや大きかった¹⁴⁾。ワタは塩類濃度の上昇とともに K の吸収阻害がおこったが、Cl 区の方が阻害はやや強く、Ca, Mg は S 区で吸収阻害が強かった。ワタの品種は三河在来種でワタの品種中耐塩性はあまり強いほうではなかったが、Na 吸収、蓄積が 4% 以上に達し、ワタはアツケシソウ、ハゲイトウとともに耐塩性の強い植物であった。Table 6, 7, 8 にタバコ、トマト¹⁰⁾、ナス¹⁴⁾の無機成分の分析結果を示した。成育状態からみると Fig. 1 に示したように、タバコ、ナスは中、トマトは強で

Table 7 Contents of mineral elements of tomato

Treatment	Content (% on dry matter basis)					
	Na	Cl	S	K	Ca	Mg
Cont	0.37 (100)	1.39 (100)	0.38 (100)	2.03 (100)	0.84 (100)	0.61 (100)
Cl -20	1.42	3.56	0.26	1.91	0.65	0.46
40	1.97	4.76	0.28	2.59	0.59	0.39
60	2.14 (578)	4.65 (335)	0.29 (76)	2.29 (113)	0.58 (69)	0.34 (56)
S -20	1.45	1.13	0.75	1.77	0.54	0.36
40	1.89	0.95	0.92	1.93	0.41	0.29
60	2.25 (608)	0.88 (63)	1.03 (271)	1.91 (94)	0.28 (33)	0.23 (38)

Table 8 Contents of mineral elements of eggplant

Treatment	Content (% on dry matter basis)					
	Na	Cl	S	K	Ca	Mg
Cont	0.21 (100)	1.69 (100)	0.58 (100)	2.41 (100)	0.89 (100)	0.52 (100)
Cl -20	1.71	4.37	0.22	1.71	0.51	0.27
40	2.46	4.73	0.23	1.20	0.46	0.21
60	2.53 (1205)	6.24 (369)	0.22 (38)	1.29 (54)	0.38 (43)	0.24 (46)
S -20	1.76	0.89	0.65	1.81	0.42	0.21
40	2.29	0.84	0.67	1.50	0.35	0.18
60	2.56 (1219)	0.78 (46)	0.69 (119)	1.06 (44)	0.30 (34)	0.15 (29)

Table 9 Contents of mineral elements of mugwort

Treatment	Content (% on dry matter basis)					
	Na	Cl	S	K	Ca	Mg
Cont	0.05 (100)	0.61 (100)	0.21 (100)	3.05 (100)	0.32 (100)	0.38 (100)
Cl -20	0.38	1.04	0.17	2.85	0.29	0.33
40	0.57	1.12	0.17	2.67	0.28	0.30
60	1.01 (2020)	1.58 (259)	0.20 (95)	2.46 (81)	0.27 (84)	0.29 (76)
S -20	0.30	0.53	0.34	2.77	0.25	0.29
40	1.39	0.45	0.71	1.90	0.25	0.30
60	1.00 (2000)	0.40 (66)	0.55 (262)	2.13 (70)	0.22 (69)	0.25 (66)

あったが、Na含有率からみると3植物ともに大体2.5%前後で、ハゲイトウ、ワタなどの高いものと、ヨモギ (Table 9)¹⁴⁾、ピーマン (Table 10)⁹⁾、キク (Table 11) などの吸収が抑制されているものの中に位した。これらの植物の K, Ca, Mg はいずれも S 区の方が Cl 区よりも強く吸収阻害を受けていた。

Table 12にシソの無機成分含有率を示した¹⁴⁾。その成育は弱であったが、無機成分吸収率からみると、60meq/l 区で Na が両区とも 1%位、K, Ca, Mg もあまり吸収阻害を受けておらず、ヨモギなどと同様の傾向にあった¹⁴⁾。これは塩害症状が早く現れたため早く収穫したので、このような結果になったものと考えられる。

N (窒素)、および P (リン) の吸収、蓄積は、アツケシソウを除いて塩類処理によって促進、あるいは阻害をうけなかった。

Table 10 Contents of mineral elements of sweet pepper

Treatment	Content (% on dry matter basis)					
	Na	Cl	S	K	Ca	Mg
Cont	0.09 (100)	1.23 (100)	0.47 (100)	4.01 (100)	1.03 (100)	0.61 (100)
Cl -20	1.00	4.17	0.49	4.11	0.99	0.60
40	1.22	5.17	0.54	5.15	0.91	0.56
60	1.49 (1656)	5.30 (431)	0.48 (102)	4.63 (115)	0.79 (77)	0.46 (75)
S -20	0.89	0.99	0.62	4.27	0.72	0.40
40	1.24	0.80	0.77	4.40	0.56	0.30
60	1.25 (1389)	0.51 (44)	0.72 (153)	3.83 (96)	0.46 (45)	0.21 (34)

Table 11 Contents of mineral elements of chrysanthemum

Treatment	Content (% on dry matter basis)					
	Na	Cl	S	K	Ca	Mg
Cont	0.29 (100)	0.81 (100)	0.28 (100)	3.06 (100)	0.30 (100)	0.49 (100)
Cl -20	0.79	1.94	0.27	2.75	0.23	0.40
40	1.25	2.38	0.28	2.65	0.20	0.32
60	1.51 (521)	2.96 (365)	0.26 (93)	2.45 (80)	0.19 (63)	0.29 (59)
S -20	0.77	0.78	0.39	2.83	0.20	0.32
40	1.10	0.76	0.44	2.77	0.19	0.31
60	1.34 (462)	0.78 (96)	0.51 (182)	2.18 (71)	0.17 (57)	0.29 (59)

Table 12 Contents of mineral elements of perilla

Treatment	Content (% on dry matter basis)					
	Na	Cl	S	K	Ca	Mg
Cont	0.17 (100)	0.30 (100)	0.23 (100)	3.16 (100)	0.76 (100)	0.54 (100)
Cl -20	0.53	1.96	0.20	2.57	0.72	0.37
40	0.83	2.57	0.21	1.99	0.71	0.33
60	0.98 (597)	2.98 (993)	0.23 (100)	1.86 (59)	0.65 (86)	0.31 (57)
S -20	0.51	0.30	0.27	2.46	0.64	0.37
40	0.87	0.28	0.30	1.93	0.63	0.32
60	1.06 (624)	0.23 (77)	0.38 (165)	1.52 (48)	0.60 (79)	0.30 (56)

10種類の植物を例にとって Na や Cl, S の吸収蓄積量の違いや, K, Ca, Mg の吸収抑制など体内無機成分に対する影響などについて検討し Na 含量からは植物を3群に分類することができたが, Na 吸収と成育阻害, あるいは K, Ca, Mg の吸収抑制との関連などについてはまだはっきりとした定量的な関係を見いだすには至っていない。

考 察

これまでに植物の茎葉についての結果を示したが, キュウリ, トマト, オクラ等の果実を利用する植物では塩処理によって著しい果実収量の低下が認められた。穀類(イネ, オオムギ, コムギ)でもやはり子実収量はかなり低下した。これらの結果は, 茎葉の成育がそれほど阻害されない場合でも果実や子実に対しては塩処理の影響が大きいことを示している。またニンジンの根部の成育はほとんど阻害されず, ハツカダイコンでは約30%阻害された。しかし, 根部に対する塩処理の影響は, 果実や子実に対するものよりは小さかった。

ここで取り上げた10種類を含めてこれまでに分析した37種類の植物の NaCl に対する耐塩性と Na 含量をまとめた (Table 13)。スギナとトクサの耐塩性は極めて弱かった¹³⁾。塩処理した場合, 分析に必要な量がとれなくて体内無機成分の分析は行っていない。Table 13の結果からわかるように, 成育からみた耐塩性と茎葉の Na 含量の間には相関性は必ずしも認められない。また NaCl 処理によって K, Ca, Mg などの吸収阻害が認められたが, これらの阻害の程度と耐塩性, あるいは Na 含量の間の相関性も特にみとめられなかった。ここにとりあげた植物は約40種類であり, 植物全体から見るとまだほんの一部である。今後さらに分析する植物を増やすとともに, 一方では耐塩性の違いがどのような機構で決められるのかについて生理生化学的に明らかにする必要がある。

Table 13 Summary of NaCl* tolerance and Na contents in the stem and leaves of the plants

Na content (% on dry matter basis)	NaCl tolerance**		
	Strong	Moderate	Weak
> 3 %	Glasswort ¹¹⁾ Cotton Onion ⁴⁾ Italian ryegrass ⁵⁾ Radish ¹²⁾ Lettuce ⁹⁾ Amaranthus ¹⁴⁾	Celery ⁴⁾ Barley ⁶⁾ Parsley ¹²⁾ Turnip ⁹⁾ Carrot ⁹⁾ Garland chrysanthemum ¹⁰⁾ Cauliflower ¹⁰⁾	Cucumber ⁴⁾ Wheat ⁶⁾ Chinese cabbage ¹⁸⁾ Rape ⁸⁾
2 ~ 3 %	Tomato ¹⁰⁾	Eggplant ¹⁴⁾	Tobacco
1 ~ 2 %	Chrysanthemum Spinach ⁴⁾ Corn ⁵⁾ Mugwort ¹⁴⁾	Rice ⁷⁾ Cabbage ¹²⁾ Okra ⁸⁾ Sweet pepper ⁹⁾	Kidney bean ⁴⁾ Lucerne ⁵⁾ Goldenrod ¹¹⁾
< 1 %	Common reed ¹³⁾ Rush ¹¹⁾	Asparagus ⁶⁾ Welsh onion ¹²⁾	Perilla ¹⁴⁾

*NaCl concentration : 60 meq/ℓ.

**Strong, more than 75% of growth to the control treatment on dry weight basis ; moderate, 51~75% ; week, less than 50%.

摘 要

植物の耐塩性を調べるため、39種類の植物を用いて、NaCl、およびNa₂SO₄で塩処理(0~60meq/ℓ)を行い、成育に対する影響、体内無機成分含量について検討した。その結果、アツケシソウは例外的に高塩濃度で成育が著しく促進され、NaとClあわせて乾物重の50%以上を占めた。植物の成育から耐塩性を判断した場合、耐塩性の強い植物として、ワタ、イタリアンライグラス、ハツカダイコン、ハゲイトウ、ホウレンソウ、アシ、イグサなど14種類があげられる。中程度の耐塩性を示す植物はセルリー、カブ、オクラ、アスパラガスなど14種類であった。耐塩性の弱いものはキュウリ、ナタネ、タバコ、シソなど11種類であった。これらの植物の茎葉のNa含量は0.8~8% (アツケシソウを除く)まで分布し、K、Ca、Mgの吸収が阻害されていた。しかし耐塩性(成育の阻害)とNa含量、あるいはK、Ca、Mgの吸収阻害の間には相関性は認められず、今後、耐塩性の機構についての検討が必要である。塩類処理による果実や子実の成育阻害は、茎葉のそれより影響が大きかった。

謝 辞

30年余りにわたる植物の塩害生理の研究を行うにあたり、ご協力をいただいた数多くの共同研究者に深甚の謝意を表す。

引 用 文 献

- 1) Al-Ani, T., I. M. Habib, A. I. Abdulaziz and N. A. Ouda: Plant indicators in Iraq II. Mineral composition of native plants in relation to soil and selective absorption. *Plant Soil* **35**, 29-36 (1971)
- 2) 島田典司: 植物生物学 5, 水とイオン, 223-237, 朝倉書店, 東京 (1981)
- 3) 下瀬 昇: 作物の塩害生理に関する研究(第4報) トマトとタバコの耐塩性について. *土肥誌* **35**, 143-147 (1967)
- 4) 下瀬 昇: 作物の塩害生理に関する研究(第7報) タマネギ, セルリー, ホウレン草, キウリ, インゲンの耐塩性について. *土肥誌* **39**, 548-553 (1968)
- 5) 下瀬 昇: 作物の塩害生理に関する研究(第8報) トウモロコシ, ルーサン, イタリアンライグラスの耐塩性について. *土肥誌* **39**, 554-557 (1968)
- 6) 下瀬 昇: 作物の塩害生理に関する研究(第9報) 麦類およびアスパラガスの耐塩性について. *岡大農学報* **40**, 57-68 (1972)
- 7) 下瀬 昇: 作物の塩害生理に関する研究(第10報) 水稻の塩害発現に対する環境条件の検討. *岡大農学報* **41**, 69-78 (1973)
- 8) 下瀬 昇, 黒坂啓介: オクラ, ハクサイ, ナタネの耐塩性(植物の塩害生理に関する研究, 第13報). *熱帯農業* **29**, 203-207 (1985)
- 9) 下瀬 昇, 黒坂啓介: カブ, レタス, ニンジンおよびピーマンの耐塩性(植物の塩害生理に関する研究, 第14報). *熱帯農業* **29**, 208-212 (1985)
- 10) 下瀬 昇, 竹中史人: シュンギク, カリフラワーおよびトマトの耐塩性(植物の塩害生理に関する研究, 第15報) *熱帯農業* **30**, 1-5 (1986)
- 11) 下瀬 昇, 竹中史人, 木村 修: アツケシソウ, イグサおよびセイタカアワダチソウの耐塩性(植物の塩害生理に関する研究, 第16報) *熱帯農業* **31**, 179-184 (1987)
- 12) 下瀬 昇, 林 紀明: パセリー, ネギ, ハツカダイコン, 及びキャベツの耐塩性. *岡大農学報* **62**, 25-30 (1983)
- 13) 下瀬 昇, 林 紀明, 黒坂啓介, 竹中史人: スギナ, トクサおよびアシの耐塩性. *岡大農学報* **63**, 35-38 (1984)
- 14) 下瀬 昇, 関谷次郎, 木村 修, 鈴木 泉: ハゲイトウ, ヨモギ, ナスおよびシソの耐塩性(植物の塩害生理に関する研究, 第17報). *熱帯農業* **35**, 31-34 (1991)
- 15) 杉本勝男, 内山康孝, 遠山柁雄, 志俣政夫: Salt bush, ハマアカザ属植物の生育に関する研究(第1報) *Atriplex nummularia* の収量に及ぼす塩水の影響. *鳥取大砂丘研究* **23**, 1-9 (1984)
- 16) 高橋英一: 水ストレスと植物の生育. *化学と生物* **20**, 380-389 (1982)