

インゲン(*Phaseolus vulgaris* L.)における耐塩性およびカリオンの吸収・移行に及ぼす塩化ナトリウムの影響の品種間差

誌名	園藝學會雜誌
ISSN	00137626
著者	山内, 益夫 田中, 智 藤山, 英保
巻/号	65巻4号
掲載ページ	p. 737-745
発行年月	1997年3月

インゲン (*Phaseolus vulgaris* L.) における耐塩性およびカチオンの 吸収・移行に及ぼす塩化ナトリウムの影響の品種間差*

山内益夫・田中 智・藤山英保

鳥取大学農学部 資源利用化学講座 680 鳥取市湖山町南 4-101

The Cultivarietal Differences in Salt-tolerance and the Effect of NaCl on the A sorption and
Translocation of K, Ca and Mg Ions in *Phaseolus vulgaris* L.

Masuo Yamanouchi, Satoshi Tanaka and Hideyasu Fujiyama

Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Tottori University, Koyama Minami 4-101, Tottori. 680

Summary

Salt tolerance was compared among 19 cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. grown in nutrient solutions containing 0, 40, and 80 mmol·liter⁻¹ NaCl. The relative growth indices (growth ratio of NaCl-treated plants relative to that of untreated plants) of the shoots correlated negatively to the Na⁺ and Cl⁻ concentrations in the leaflets, and positively to the concentrations of these elements in the roots. The indices showed higher correlation coefficients with Na⁺ than with Cl⁻ concentrations in every organ. Among the cultivars tested, 'Shuttle' and 'Himetebou' were most tolerant, 'Shirokinugasa' and 'Chang Jiang' were least tolerant to the high level of NaCl in the nutrient solution. Salt tolerance of bean cultivars depends on the plants' ability to restrict the absorbed Na⁺ to the root and to keep the Na⁺ concentration in the leaflets low.

Supplying NaCl to the nutrient solution caused an increase in 1) the concentrations of K⁺ and Ca²⁺ in the plant, and 2) the transport of K⁺ from roots to shoots, of Ca²⁺ from the stem + petioles to the leaflets and of Mg²⁺ from roots to the leaflets. There were no correlations between salt tolerance and changes of K⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺ concentrations in plant parts of NaCl-treated plants.

緒 言

多くの作物の耐塩性には種間差や品種間差があることが知られている (Mass・Hoffman, 1977; Wideneke・Läuchli, 1979). 作物の耐塩性品種の選抜にあたっては、非常に多数の品種について検討されているが、成分分析を伴わないことが多い。従来、植物生理関係の研究者が耐塩性について生理的な立場から検討を行う場合、耐塩性と感受性の2品種あるいは数品種の比較結果から耐塩性品種の特性を一般化する場合が多かった (Greenway, 1965; Wideneke・Läuchli, 1979; Kingsbury・Epstein, 1986). 著者らはいくつかの作物を対象に20~40品種を用い、耐塩性の程度を比較

検討し、イネ (山内ら, 1987), アズキ (山内ら, 1989 a), カボチャ (Yamanouchi ら, 1989) ではその耐塩性の強弱は葉のNa含有率と高い負の相関関係を示すことを明らかにした。インゲンに関しては、根あるいは茎基部に特異的にNaを蓄積し、上部茎葉へのNaの移動を抑制する作物であることが認められているが (Jacoby, 1979), 多数の品種を用いた耐塩性の比較試験は行われていない。

一般に、土壤溶液中のNa濃度が高い場合には、K, Ca, Mgの吸収が拮抗的に低下するとされている (但野, 1984)。しかし、培地のNa濃度を高めた場合、それらカチオンの一つあるいはすべての植物体中の含有率が対照区の値に比べて上昇する例も多数報告されている (下瀬, 1964; Jacoby, 1994)。すなわち、培地へのNa塩添加により植物体中のK, Ca, Maの含

1995年4月14日 受付. 1996年7月29日 受理.
本報告の概要は1994年千葉県で開催の砂丘学会第41回
千葉大会で報告した。

有率が著しく低下する植物と、逆にイオンによっては対照区のそれと比較して著しく増加する植物がある。我々は植物体中の K, Ca, Ma の含有率の対照区と Na 添加処理区との差異は, Na 添加処理区の乾物蓄積に及ぼす影響を通し間接的に現われた結果ではなく, 吸収された Na とその随伴アニオンの当量比に依存することを示してきた (山内ら, 1989 b, 1990 a, 1990 b). すなわち, その比が小さい場合は K, Ca, Ma の一つあるいは全部の含有率が対照区での含有率を上回り, 比が大きい場合は含有率が低下する。

これらの結果は, 主に作物の種類間の比較試験から導かれたものであった。上記の見解がインゲンの品種間でも作物の種類間と同様に支持されたので報告する。また, 19 品種のインゲン幼植物の耐塩性の程度の調査結果と, それら耐塩性の程度と植物体各部位の Na および Cl 含有率との関係を検討した結果も報告する。

材料および方法

供試品種は第 2 表に示した通りである。本実験開始当時日本においては, インゲンについて耐塩性の品種選抜が行われたことはなく, 品種間での耐塩性の強弱は不明であるとされていた (1988 年, 北海道立十勝農業試験場後木利三氏からの私信)。そこで本実験では無限伸育型 (品種番号 1~8; つるあり) 8 品種と有限伸育型 (品種番号 9~19; つるなし) 11 品種を供試した。

これらの種子を 1989 年 5 月 15 日にパーミキュライ

Table 1. The composition of the standard culture solution.

Elements	Concentration (meq·liter ⁻¹)	Chemicals
NH ₄ -N	1.43	NH ₄ NO ₃
NO ₃ -N	1.43	
K	1.02	K ₂ SO ₄
Ca	1.00	CaCl ₂ ·2H ₂ O
Mg	1.65	MgSO ₄ ·7H ₂ O
P	0.32	NaH ₂ PO ₄
	(mg·liter ⁻¹)	
Fe	2	FeSO ₄ ·7H ₂ O
Mn	0.5	MnCl ₂ ·4H ₂ O
Zn	0.1	ZnSO ₄ ·7H ₂ O
B	0.2	H ₃ BO ₃
Cu	0.01	CuSO ₄ ·5H ₂ O
Mo	0.05	(NH ₄) ₆ MoO ₂₄ ·4H ₂ O

Treatments: 0, 40 or 80 mmol·liter⁻¹ NaCl was supplemented to the standard culture solution.

Ca (NO₃)₂·4H₂O was used in place of NH₄NO₃ and CaCl₂ during treatments (Ca: 1.4 meq·liter⁻¹).

トに播種し, 初生葉展開時にポット (4l 樹脂製) 当たり 4 個体を移植し, ガラス室内 (自然光) で山内ら (1989 a) の方法に準じて養液栽培した。栽培法は第 1 表に示した基本培養液組成の養液を用いて 5 日間均一栽培し, その後 NaCl 濃度が 0 (対照区), 40, 80, mmol·liter⁻¹ (以下 mM とする) になるように養液に NaCl を添加する処理を行って, 連続通気しながら 13 日間栽培した。NaCl 処理期間中は養液の更新は 3 日毎に行い, 養液の pH は更新時のみ 6.0 に調整した。

試験開始時は 1 品種当たり 7 ポットを使用した。NaCl 処理開始直前に各 1 ポットの作物を収穫し, 処理後は各区 2 ポットで栽培した。

収穫後, 小葉, 茎+葉柄と根に分けて水道水ついで蒸留水で洗浄し, 3 日間 80℃で熱風乾燥し, 2 ポット分を合わせて秤量, 粉碎して分析に供した。成分分析法は山内ら (1989 a) の方法に準じ, 湿式分解した液につき, K, Na は炎光法で, Ca, Mg は原子吸光法で測定した。また Cl は熱水抽出液について硝酸水銀を用いた容量法 (日本下水道協会, 1974) で測定した。

結果

1. 耐塩性

NaCl 処理開始後 4 日目に 40 mM 区の 3 品種 (第 2 表に示した品種番号 1, 8, 12) と 80 mM 区の 7 品種 (品種番号 1, 4, 8, 11, 12, 14, 17) で根の褐変が認められた。処理後 7 日目頃から 80 mM 区において下葉の葉縁から中央に向かってクロロシスが広がる障害の発生が認められ, 枯れ上がる場合もあった。収穫期には 40 mM 区においても 'シャトル' と 'ブルービーチ' 以外の 17 品種で上記と同様の症状の発現が認められ, そのうち 10 品種で下葉が枯れた。NaCl 処理に対する生育反応に著しい品種間差が認められたので, 処理後 13 日で収穫した。

処理期間中の対照区の生育量と NaCl 処理区の相対生長量 (対照区に対する指数) を第 2 表にまとめて示した。つるあり品種とつるなし品種を用いたため, 対照区の生育, 特に草丈と葉数に大きな品種間差が認められた。NaCl 処理区ではいずれの調査項目においても 80 mM 区が 40 mM 区より大きい変動係数を示し, 根重は特に変動係数が大きかった。40 mM 区では小葉重が最も大きい変動係数を示した。40 と 80 mM 区の生育反応の品種間差は比較的類似し, 各調査項目とも両区の指数の間にはいずれも高い有意な正の相関関係が認められた。

小葉の Na 含有率と地上部の相対生長量の関係を第

Table 2. The effects of NaCl in the nutrient solution on the growth of *P. vulgaris* cultivars.

No.	Name of Cultivar	Plant height			Leaf number			Leaf weight			Stem & Petiole weight			Root weight		
		cm			No./Pl.			mg/Pl.			mg/Pl.			mg/Pl.		
		Cont. ^y	40 mM ^x	80 mM ^w	Cont. ^y	40 mM ^x	80 mM ^w	Cont. ^y	40 mM ^x	80 mM ^w	Cont. ^y	40 mM ^x	80 mM ^w	Cont. ^y	40 mM ^x	80 mM ^w
1. Shirokinugasa	46.6	1.7	0.6	2.7	37.0	11.1	546	1.8	4.6	484	10.3	5.6	300	16.6	9.8	
2. Minidoca	24.8	33.1	12.9	2.9	34.5	31.0	1020	44.5	18.1	592	35.3	14.6	303	41.9	16.7	
3. Morocco (pole)	113	25.3	20.4	4.3	44.2	23.3	792	23.6	9.9	908	30.5	5.0	397	17.1	0	
4. Chang Jiang	112	38.3	21.7	3.3	24.2	0	781	1.9	0	625	36.2	6.7	385	10.3	0	
5. Kurotanekinugasa	88.9	39.5	3.4	6.5	56.9	18.5	885	46.3	3.8	588	39.1	5.5	437	36.6	0	
6. Warnar	30.6	28.1	12.4	2.3	73.9	60.9	287	25.1	24.4	265	50.9	26.9	228	38.6	14.1	
7. Shibamame	96.3	51.2	20.4	5.4	87.0	35.2	885	67.6	31.5	648	62.8	17.7	400	84.3	29.3	
8. Daikoroubanchuji	54.0	47.8	9.7	5.7	47.4	40.4	940	81.2	39.0	855	48.1	16.0	496	67.7	13.9	
9. Morocco (nonpole)	16.1	49.1	14.9	3.9	56.4	38.5	1220	35.1	32.1	855	44.2	21.9	399	56.6	37.8	
10. Shuttle	9.8	112	69.4	2.8	143	66.7	947	146	69.6	630	108	48.9	367	132	55.9	
11. Bluebeach	17.0	35.9	8.8	4.0	50.0	32.5	1200	32.3	10.0	759	31.0	7.5	460	29.1	15.7	
12. Ceremony	11.7	52.1	12.0	5.3	43.4	22.6	1020	33.2	3.4	723	32.6	3.4	522	37.4	0	
13. Kiyohimesaitou	16.0	55.0	20.6	3.7	78.4	27.0	1310	45.9	20.2	890	35.2	11.7	429	55.9	13.1	
14. Fukuryuchunaga	14.2	28.9	0	4.0	50.0	20.0	1260	46.9	7.8	978	36.6	7.7	561	31.9	0	
15. Satsukimidori 2	18.6	28.0	4.9	2.2	54.5	9.1	650	29.5	2.6	432	46.3	6.0	223	37.1	9.1	
16. Himetoboh (red)	20.4	72.1	26.5	3.9	56.4	30.8	1100	86.2	47.4	945	54.0	20.7	563	37.7	29.8	
17. Kiingen	15.8	62.0	7.0	4.7	85.1	42.6	1180	77.6	9.9	661	42.4	6.5	560	43.9	2.0	
18. Ohetoboh	14.5	49.7	16.6	4.8	47.9	35.4	1060	45.6	17.3	606	33.3	11.7	433	32.3	10.6	
19. Tsunetominagazura	17.9	65.4	24.0	4.8	64.6	45.8	1090	86.5	28.2	769	48.4	13.0	510	54.7	13.4	
Average	38.9	46.1	16.1	4.1	59.7	31.1	956	50.4	20.0	695	43.5	13.4	420	45.3	14.3	
Standard deviation	35.0	22.4	14.7	1.2	25.5	16.2	255	33.4	17.6	82	18.7	10.5	101	26.8	14.5	
CV (%)	90.0	48.5	91.3	29	42.7	52.1	27	66.3	88.0	27	43.0	77.8	24	59.2	101	
Correlation Coefficient	0.817*			0.723*			0.823*			0.866*			0.793*			

No. 1~8; Pole, No. 9~19; Nonpole, ^z; Index (%) = (Treated/Control) × 100. ^y; Control. ^x and ^w; 40 and 80 mmol·liter⁻¹ NaCl. *; Significant at the 1% level.

1 図に示した。両者の間には各処理濃度別あるいは両処理を一括して扱っても統計的に有意な高い負の相関関係が認められた。一方、根の Na 含有率と地上部の相対生長量との間には (第 2 図)、両処理濃度区で回帰直線は異なったが、いずれも統計的に有意な高い正の相関関係が認められた。

小葉、茎+葉柄と根の Na あるいは Cl 含有率とそれぞれの部位あるいは地上部の相対生長量の計 12 組での相関関係の回帰式と相関係数を第 3 表に示した。80 mM 区の茎+葉柄を除いた 11 の組合せにおいて、Na 含有率の方が Cl 含有率より相対生長量との間の相関係数 (絶対値) が大きかった。このことから、耐塩性の強弱と処理両イオンとの関連については Na イオンを対象に検討するのが良いことが示唆される。

2. カチオン含有率に及ぼす NaCl 添加処理の影響

全植物体あるいは植物体各部位の K, Ca, Mg の含有率が NaCl 処理により対照区の値より高くなるかあ

るいは低くなるかを明らかにするため、対照区に対する NaCl 処理区のそれらの要素含有率指数 (以下含有率比という) を求めた。40 mM と 80 mM 区では品種間の変動には差が認められたが、NaCl 処理により植物体各部位の要素含有率比が 1 より大きいか小さいかという全体的な傾向には差がなかった。そこで 40 mM 区の結果についてのみ示した (第 3 図)。結果は 40 mM 区の地上部相対生長量の大きい順に並べた。その結果、K, Ca, Mg 含有率比はいずれも地上部相対生長量すなわち耐塩性の程度とは関連がないことが認められた。

K は 3 品種を除き 16 品種で NaCl 添加処理により全植物体での含有率比が 1 以上であった。また、根では全ての品種で 1 未満であり、茎+葉柄では 13 品種で 1.2~1.6 を示し、小葉では用いた大部分の品種で 1 以上で 10 品種で 1.5 以上を示した。

Ca は全植物体では NaCl 添加処理により 5 品種で 1 以下となり、うち 2 品種では 0.7 以下となった。その

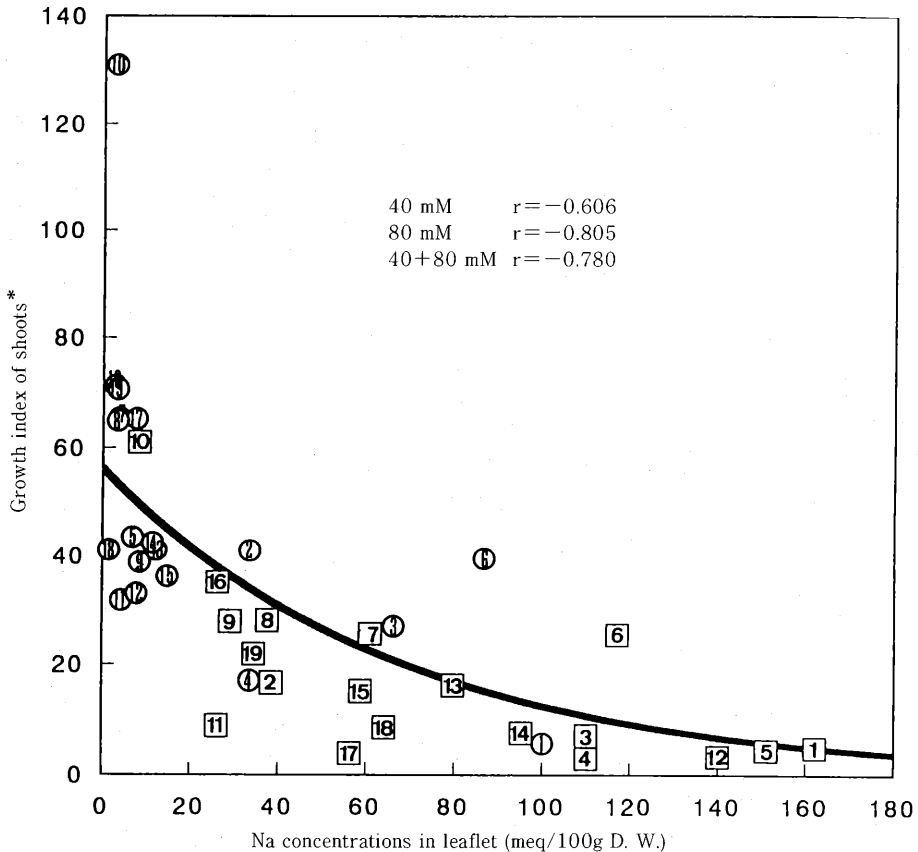


Fig. 1. Relationships between the Na concentrations in the leaflets and the growth index of shoots in 19 bean cultivars grown with 0, 40, or 80 $\text{mmol}\cdot\text{liter}^{-1}$ NaCl in the nutrient solution. All cultivars were harvested 13 days after NaCl-treatments. Numbers represent cultivars in Table 2. Circled numbers denote cultivars grown with 40 $\text{mmol}\cdot\text{liter}^{-1}$ NaCl, and square numbers denote cultivars grown with 80 $\text{mmol}\cdot\text{liter}^{-1}$ NaCl.
 * ; Growth index represents the percentage of the control dry weight.

他の品種では1以上を示したがKの値ほど高くなかった。小葉において高い値を示した9品種ではいずれも茎+葉柄および根での値が1を下回っていた。また、茎+葉柄では全ての品種で1を下回った。根のCa含有率比に及ぼすNaCl添加の影響はあまり明瞭でなかった。

Mgは用いた大部分の品種でNaCl添加処理により全植物体で1以下となった。各部位のMg含有率比は根では1品種を除き著しく低く、茎+葉柄では16品種で0.85~0.55と1より低下したが、小葉では9品種が1以上で、その内7品種は1.3以上であった。

考 察

我々は幼植物を用いそのNaCl添加処理区の地上部乾物重の相対生長量(対照区の生育量に対する指数)

を比較することで耐塩性の相対的な強弱を判定する方法をとっている。本実験で用いた品種間では、小葉のNa含有率の低い品種が小葉乾物重指数あるいは地上部乾物重指数で示した耐塩性が高い品種となった(第1図)。

葉身のNa含有率を低く抑えるためには、Naの吸収を抑制するか、根、茎、葉柄等にNaを保持する機能が働く必要がある。イネ(山内ら, 1987)、アズキ(山内ら, 1989a)がNa排除能($=100 [a-b] / a$; a; 水と等速で吸収されると仮定した時のNa吸収量、b; 実際のNa吸収量。(田中, 1970))と葉身のNa含有率との間に高い相関関係を示したのとは異なり、インゲンは両項目の間の相関は低かった($r = -0.575$; データ省略)。しかし、小葉のNa含有率は小

Table 3. The relationship of Na or Cl concentrations in various organs to their relative growth index^z in 19 bean cultivars grown with 0, 40 or 80 mmol·liter⁻¹ NaCl in the nutrient solution. All cultivars were harvested 13 days after NaCl treatments.

Treatments NaCl (mM)	Na (meq/100g D. W.) to the growth index		Cl (meq/100g D. W.) to the growth index	
	<i>leaves to leaves</i>		<i>leaves to leaves</i>	
40	$r = -0.760^{**}$	$y = -18.61nx + 91.0$	$r = -0.359$	$y = -0.455x - 120$
80	$r = -0.798^{**}$	$y = -18.81nx + 96.6$	$r = -0.505^*$	$y = -0.379x + 92.8$
	<i>leaves to shoot</i>		<i>leaves to shoot</i>	
40	$r = -0.606^{**}$	$y = -13.21nx + 77.4$	$r = -0.325$	$y = -0.323x + 98.4$
80	$r = -0.805^{**}$	$y = -15.01nx + 79.0$	$r = -0.488^*$	$y = -0.258x + 73.3$
	<i>stem & petioles to stem & petioles</i>		<i>stem & petioles to stem & petioles</i>	
40	$r = -0.307$	$y = -17.61nx + 120$	$r = -0.154$	$y = -0.193x + 65.6$
80	$r = -0.422$	$y = -26.41nx + 146$	$r = -0.465^*$	$y = -0.258x + 62.1$
	<i>stem & petioles to shoot</i>		<i>stem & petioles to shoot</i>	
40	$r = -0.353$	$y = -28.31nx + 172$	$r = -0.101$	$y = -0.176x + 69.0$
80	$r = -0.423^*$	$y = -10.21nx + 67.9$	$r = -0.487^*$	$y = -0.367x + 84.7$
	<i>root to root</i>		<i>root to root</i>	
40	$r = 0.693^{**}$	$y = 0.365x + 9.4$	$r = 0.594^{**}$	$y = 0.548x + 4.5$
80	$r = 0.734^{**}$	$y = 0.205x - 9.8$	$r = 0.595^{**}$	$y = 0.290x - 7.4$
	<i>root to shoot</i>		<i>root to shoot</i>	
40	$r = 0.827^{**}$	$y = 0.425x + 6.7$	$r = 0.698^{**}$	$y = 0.629x + 1.3$
80	$r = 0.760^{**}$	$y = 0.204x + 6.2$	$r = 0.735^{**}$	$y = 0.383x - 14.6$

^z : Growth index = (Treated/Control) × 100. ***: Significant at 5 or 1% levels.

葉への Na 分布割合と高い相関関係を示した ($r = 0.883$; データ省略). これらの結果は本実験で用いた NaCl 処理濃度では, 小葉の Na 含有率の品種間の変動は, 各品種の Na 排除能の特性の差によるものではなく, 根あるいは茎+葉柄の Na 保持能の差の影響を強く受けていること示している.

小葉の Na 含有率と茎+葉柄への Na 分布割合の間には有意な相関関係は認められなかったが, 根への Na 分布割合とは高い負の相関関係 ($r = -0.840$) が認められたことと, 根の Na 含有率と地上部の相対生長量の間には正の高い相関関係が認められた (第 2 図) ことから, 根の Na 保持能が高いという特性が葉の Na 含有率の上昇を抑えるという特性と強くかかわっていると判定した.

イネ (山内ら, 1987), アズキ (山内ら, 1989 a), ダイズ (山内ら, 1989 b), カボチャ (Yamanouchi ら, 1989) では用いた NaCl 添加濃度により耐塩性の相対的な強さの順位が著しく変わり, 選抜に際しては培地の塩濃度が重要な意味をもつことが指摘された. 本実験では 40 mM と 80 mM の両 NaCl 添加処理区の草丈, 葉数, 各部位の乾物重の対照区に対する指数の品種間の大小関係はほぼ類似していた (第 1 表). このこと

はインゲンは前記作物に比べより広い NaCl 濃度範囲で耐塩性の程度の強弱関係が変化しないことを示すものである.

地上部の相対生長量が 40 mM 区で 70 以上, 80 mM 区で 30 以上を示す品種を耐塩性種とし, 40 mM 区で 20 以下, 80 mM 区で 10 以下を示す品種を塩感受性種とすると, 耐性種として 'シャトル' と '姫手亡' を, 感受性種として '白衣笠' と '揚子江' をあげることが出来る.

NaCl 添加処理により植物体各部位の K, Ca, Mg 含有率が対照区のそれより高まるか低下するかは, Na と Cl の吸収あるいは移行時の当量比の変動によって決められる部分が多いことが指摘されている (山内ら, 1990 a, 1990 b, 1994, 1995). 本実験においても全植物体の K および Ca の含有率比と Na/Cl 当量比との間の相関係数は, それぞれ -0.698 と -0.684 で, ともに有意な相関関係を示し, 上記の指摘を支持している. Na/Cl 当量比と K+Ca 含有率比の間にはさらに高い相関関係が認められる (第 4 図).

吸収されたイオンの移行を対照区と 40 mM 区と比較するため, K, Ca, Mg の器官別分布割合の 19 品種の平均値を第 5 図に示した. NaCl 添加処理により器官別構成割合は対照区とほとんど差異がないにもかか

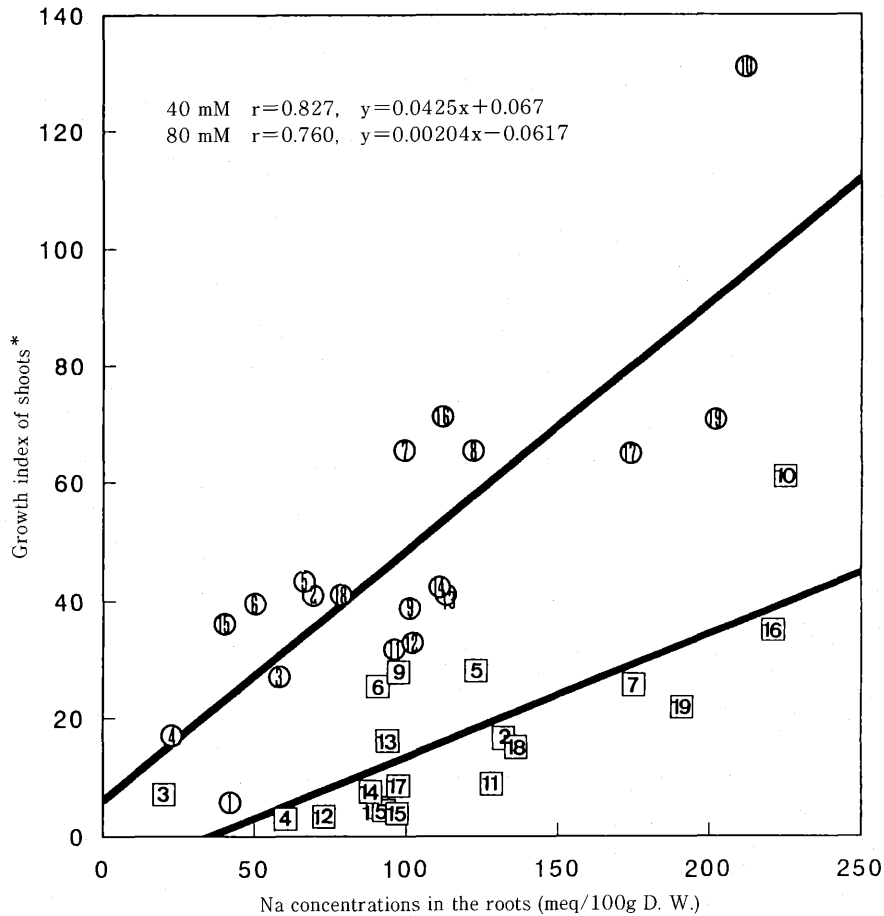


Fig. 2. Relationships between the Na concentrations in the roots and the growth index of shoots in 19 bean cultivars grown with 0, 40, or 80 mmol·liter⁻¹ NaCl in the nutrient solution. All cultivars were harvested 13 days after NaCl-treatments. Numbers represent cultivars in Table 2. Circled numbers denote cultivars grown with 40 mmol·liter⁻¹ NaCl, and square numbers denote cultivars grown with 80 mmol·liter⁻¹ NaCl.
* ; Growth index represents the percentage of the control dry weight.

ならず、KとMgは根への蓄積割合がNaCl処理により著しく低下し、地上部、特に小葉への移行割合が上昇した。Caは茎+葉柄の蓄積割合が低下し、小葉への移行割合が上昇した。

40 mM区における小葉、茎+葉柄、根それぞれの器官でのNa/Cl当量比は0.11, 0.68, 1.07であったことから、NaCl添加処理区でのカチオン/アニオン比のバランスとしてのK, Ca, Mgの役割は、根ではほとんどないのに対して、茎+葉柄ではやや大きくなり、葉では非常に大きくなると考えられる。根あるいは茎の基部柔細胞のNaに対する親和性はK, CaやMgより著しく高い(Van Steveninckら, 1982; Walker,

1986; Csiro, 1988)。このため、NaCl処理によって根や茎の置換基に吸着されるNaの割合が大きくなると、置換吸着されずに小葉へ運ばれるK, Ca, Mgの割合が高くなると考えられる。

カチオンとアニオンのバランスを論ずる場合、厳密には固定電荷も含め細胞内の有機、無機のすべてのカチオン、アニオンのデータが必要である。しかし、対照区に比べ圧倒的に多く含まれるある種のカチオン、アニオン(本実験ではNa, Cl)が存在する場合は、主としてこれらのイオンの吸収比率が他のカチオンの含有率の変動に強く影響していると考えられる(第4図)。

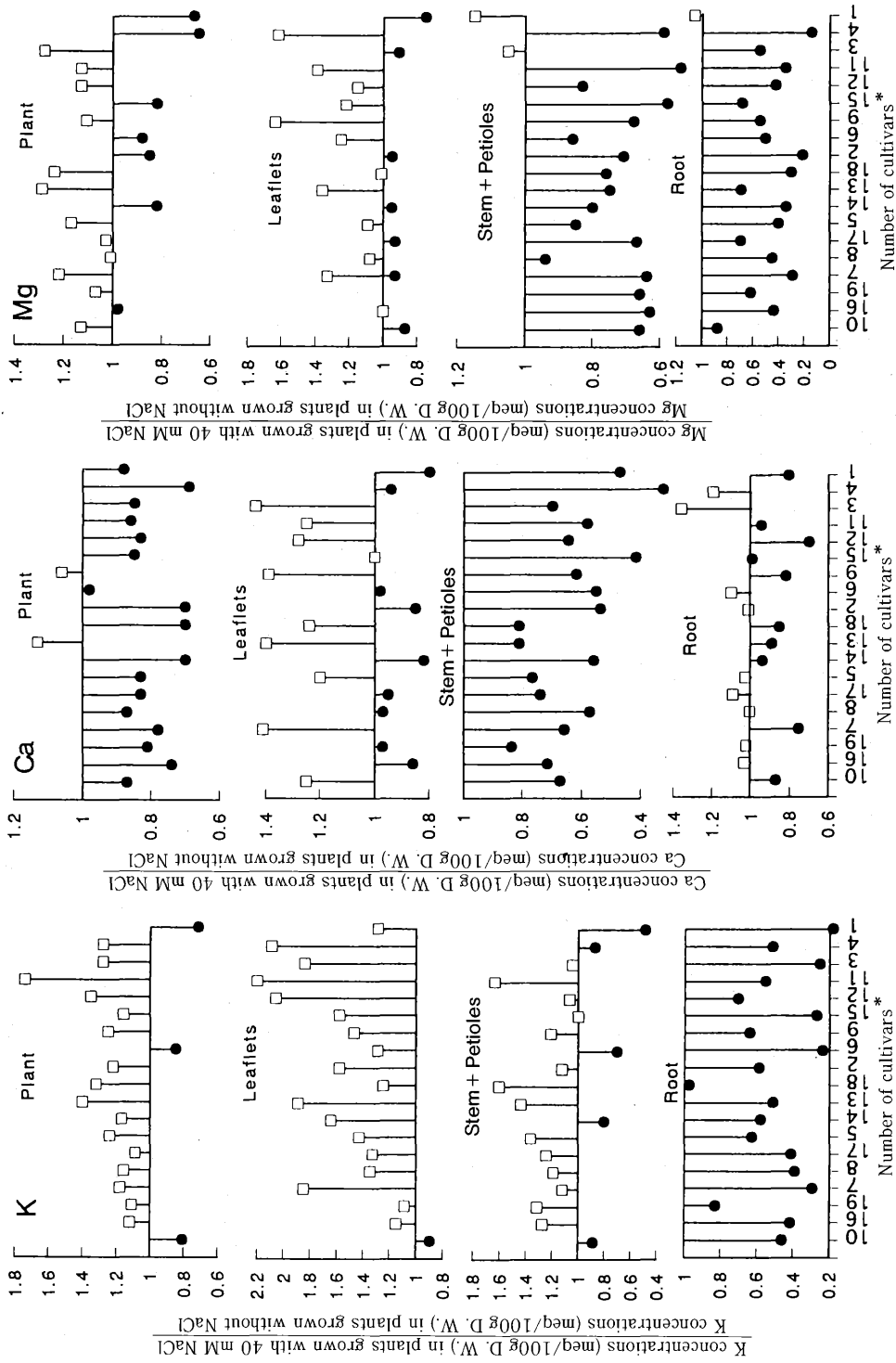
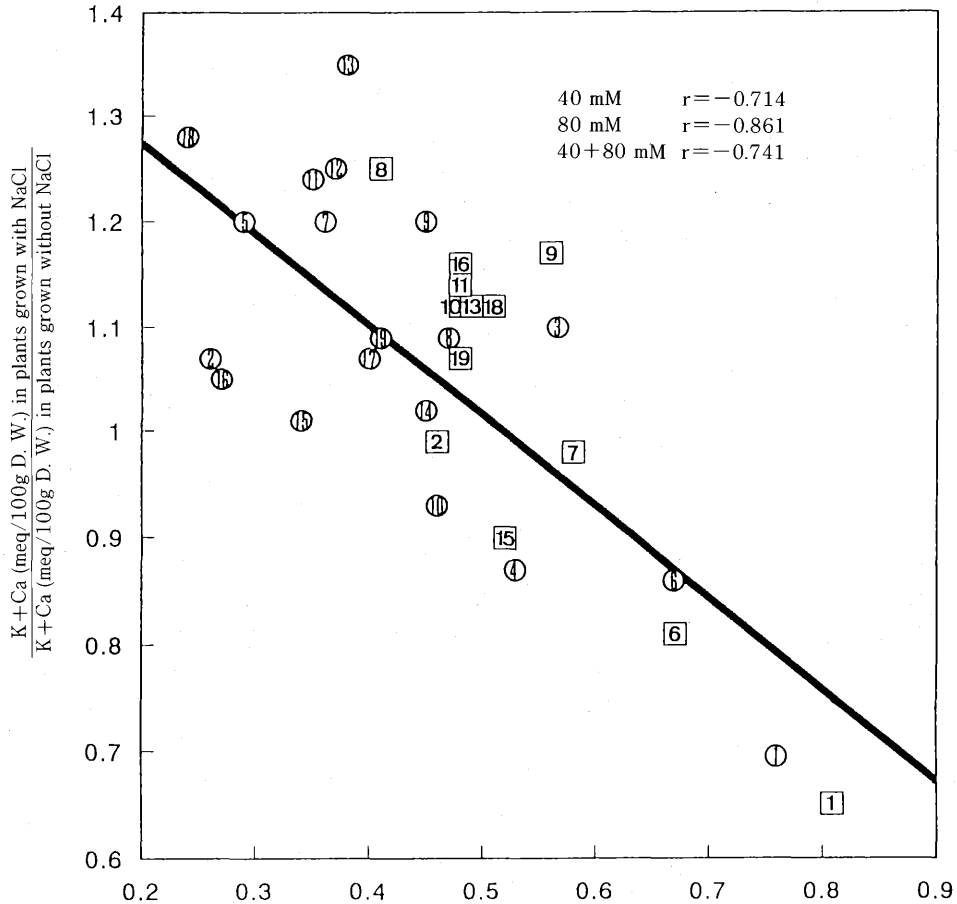


Fig. 3. The concentrations of K, Ca and Mg in parts of bean plants grown with $40 \text{ mmol} \cdot \text{liter}^{-1} \text{ NaCl}$ as compared to those without NaCl in the nutrient solution. * ; Numbers represent cultivars in Table 2. Cultivars are arranged in order of higher growth index of shoots of bean plants grown with $40 \text{ mmol} \cdot \text{liter}^{-1} \text{ NaCl}$.



The ratios of Na to Cl concentrations (meq/100g D. W.) in NaCl-treated plants

Fig. 4. Relationships between the ratios of Na to Cl concentrations and the ratios of K+Ca in bean plants grown with 40 or 80 mmol·liter⁻¹NaCl as compared to those without NaCl in the nutrient solution. All cultivars were harvested 13 days after NaCl-treatments. Numbers represent cultivars in Table 2. Circled numbers denote cultivars grown with 40 mmol·liter⁻¹NaCl, and square numbers denote cultivars grown with 80 mmol·liter⁻¹NaCl. In the 80 mmol·liter⁻¹NaCl, Cl concentration of the roots were not analyzed in 6 cultivars because of small root weights.

摘 要

インゲン 19 品種の耐塩性の強弱を判定するため、それら幼植物を 0, 40 と 80 mmol·liter⁻¹NaCl を含む養液で栽培し、対照区の生育に対する相対生長量と比較した。また各部位の Na あるいは Cl 含有率と相対生長量との相関関係を求めた。さらに、K, Ca, Mg の器官別含有率の変動に及ぼす NaCl 添加の影響も合わせて検討した。得られた結果の概要は以下の通りである。

1. 地上部の相対生長量と小葉の Na あるいは Cl 含

有率の間には有意な負の高い相関関係があり、根のそれらイオン含有率と地上部の相対生長量の間には有意な高い正の相関関係が認められた。

2. いずれの部位においても相対生長量と Na あるいは Cl 含有率との間の相関係数は Na 含有率の方が常に高かった。

3. 使用した 19 品種の中では比較的耐塩性の強い品種は「シャトル」'姫手亡'であり、弱い品種は「白衣笠」'揚子江'であった。耐塩性は根の Na 保持能が高く、小葉の Na 含有率の上昇が抑制されるという特性で確

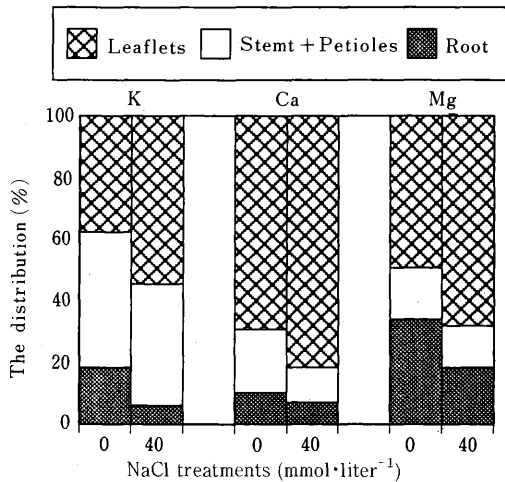


Fig. 5. The percent distribution of K, Ca and Mg in bean plants as affected by 40 mmol·liter⁻¹ NaCl in the nutrient solution. These values are the average of 19 cultivars.

保されると考えられる。

4. K と Ca の全植物体当たりの含有率比 (処理区/対照区) と Na/Cl 当量比の間には有意な負の相関が認められた。

5. NaCl 処理により, 根から地上部 (特に小葉) への K と Mg の移行と, 茎+葉柄から小葉への Ca の移行が著しく促進された。

引用文献

- Csiri, R. M. 1988. Effect of high external NaCl concentrations on ion transport within the shoot of *Lupinus albus*. I. Ions in xylem sap. *Plant Cell Environ.* 11 : 283-289.
- Greenway, H. 1965. Plant response to saline substrates. VII. Growth and ion uptake throughout plant development in two varieties of *Hordeum vulgare*. *J. Biol. Sci.* 18 : 763-779.
- Jacoby, B. 1979. Sodium recirculation and loss from *Phaseolus vulgaris* L. *Ann. Bot.* 43 : 741-744.
- Jacoby, B. 1994. Mechanisms involved in salt tolerance by plants. p. 97-123. In : Pessaraki M. (eds.), *Salinity tolerance in plants*. JON WILEY & SONS, New York, Basel, Hong kong.
- Kingsbury, R. W. and E. Epstein. 1986. Salt sensitivity in wheat. A case for specific ion toxicity. *Plant Physiol.* 80 : 651-654.
- Maas, E. V. and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance -current assessment. *J. Irrig. Drain. Div. ASCE.* 103 : 115-134.
- 日本下水道協会. 1974. 下水試験法. p. 136. 日本下水道協会. 東京.

但野利秋. 1984. 作物の栄養特性. 村山登他共著. 作物栄養・肥科学. p. 124. 文永堂出版. 東京.

田中 明. 1970. 水稻根によるイオンの積極的排除について. *土肥誌.* 41 : 457-460.

Van Steveninck, R. E. M., M. E. Van Steveninck, R. Stelzer and A. Läuchli. 1982. Studies on the distribution of Na and Cl in two species of lupin (*Lupinus luteus* and *Lupinus angustifolius*) differing in salt tolerance. *Physiol. Plant.* 56 : 465-473.

Walker, R. R. 1986. Sodium exclusion and potassium-sodium selectivity in salt-treated trifoliolate orange (*Pocirus trifoliolate*) and Cleopatra mandarin (*Citrus reticulata*) plants. *Aust. J. Plant Physiol.* 13 : 293-303.

Wideneke, J. and A. Läuchli. 1979. Short-term studies on the uptake and transport of Cl⁻ by soybean cultivars differing in salt tolerance. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 142 : 799-814.

山内益夫・前田吉広・長井武雄. 1987. 耐塩性の品種間差とナトリウムの吸収・移行特性との関係. (第1報) イネ. *土肥誌.* 58 : 591-594.

山内益夫・須崎静香・湧嶋俊史・藤山英保. 1989 a. 耐塩性の品種間差とナトリウムの吸収・移行特性との関係. (第3報) アズキにおける耐塩性の品種間差の発現機構. *土肥誌.* 60 : 210-219.

Yamanouchi, M., N. Matsumoto, H. Fujiyama and T. Nagai. 1989. Relationships between the varietal difference of salinity tolerance and the characteristics of absorption and translocation of sodium ion. (IV) Varietal differences of salinity tolerance for pumpkin. *J. Fac. Agric. Tottori Univ.* 25 : 1-7.

山内益夫・藤山英保・小山泰裕・長井武雄. 1989 b. 耐塩性の品種間差とナトリウムの吸収・移行特性との関係. (第6報) ダイスイにおける耐塩性の品種間差の発現機構. *土肥誌.* 60 : 437-442.

山内益夫・藤山英保・松本法子. 1990 a. 各種無機要素の吸収・移行に及ぼす高濃度塩化ナトリウム添加の影響. (第1報) ウリ科作物における各種無機要素の吸収・移行に及ぼす塩化ナトリウム添加の影響. *土肥誌.* 61 : 1-7.

山内益夫・藤山英保・木村嘉孝. 1990 b. 各種無機要素の吸収・移行に及ぼす高濃度塩化ナトリウム添加の影響. (第2報) テンサイ, イネ, アズキとインゲンにおける各種無機要素の吸収・移行に及ぼす塩化ナトリウム添加の影響. *土肥誌.* 61 : 173-176.

山内益夫・秋友 勝・藤本貴久・長井武雄. 1994. 各種作物におけるカチオン吸収に及ぼす高濃度ナトリウム塩添加の影響. *土肥誌.* 65 : 157-164.

山内益夫・小吉 亮・長井武雄. 1995. 無機要素の吸収・移行に及ぼす高濃度塩化ナトリウム添加の影響. (第4報) ダイスイとイネにおけるカリウム, カルシウム, マグネシウムの吸収・移行に及ぼす塩化ナトリウム添加効果の比較. *土肥誌.* 66 : 32-38.