

アズキにおける耐塩性の品種間差の発現機構

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	山内, 益夫 須崎, 静香 湧嶋, 俊史
巻/号	60巻4号
掲載ページ	p. 325-334
発行年月	1989年8月

アズキにおける耐塩性の品種間差の発現機構*

山内益夫**・須崎静香**・湧嶋俊史**・藤山英保**

キーワード アズキ, 耐塩性, 品種間差, 耐塩性の機構

1. 緒言

前報¹⁾ではイネの耐塩性の品種間差はおもに根のナトリウム (Na) 排除能の大小に強く支配され、高濃度の Na 培地においても、地上部の Na 含有率を低く保ちうる品種が耐塩性が高いことを示した。さらに、切断根による根の Na 吸収・保持能の高い品種は、高 Na 含有養液で長期間栽培された場合に高い Na 排除能を示すことから、イネの Na 排除能と根の Na 吸収・保持能とは密接に関連していることを指摘した。

一方、マメ科作物の耐塩性の研究において、60%以上の収量減を示した塩ストレス条件下でも、地上部の Na 含有率は 0.2 mmol/g 以下に抑えられていることが *Phaseolus vulgaris* L.²⁾, *Medicago sativa* L.³⁾ や *Pisum sativum* L.⁴⁾ 等で認められている。このような植物では地上部あるいは葉の Na 含有率とそれらの部位の乾物重の間には有意な負の相関関係が得られないことが多く、もし得られたとしても Na 感受性の原因として、地上部あるいは葉の Na 含有率の差を挙げることはできないように思われる。しかし、マメ科作物のなかにおいても *Glycine wightii* L.⁵⁾ では地上部への Na や Cl の集積量の少ない品種が耐塩性が強いとされ、*Cicer arietinum* L.⁶⁾ でも地上部 Na 含有率と地上部乾物重の間には負の相関関係が認められるなど、科を同じくする作物間でもかなり異なった結果が多々だされている。

本研究ではアズキの耐塩性の品種間差と Na の吸収・移行特性の関係を明らかにすることを第一目的とした。その結果、葉身（あるいは地上部）の Na 含有率と乾物重の間には高い負の相関関係が認められた。そこでその葉身への Na 集積の品種間差の発現機構を明らかにすることを第二の目的とした。さらに、NaCl に対するアズキ品種の反応が Na あるいは Cl に特異的な反応である

か、あるいは培地の高浸透圧に対する反応であるかについても明らかにしようとした。

2. 材料と方法

1) 栽培法

実験 1) アズキの耐塩性の品種間差：北海道立十勝農業試験場から分譲していただいたアズキ 20 品種（第 2 表参照）を砂床に播種し（1986 年 4 月 22 日）、初葉展開後、幼苗を砂床から洗い上げ養液栽培に移した（5 月 2 日）。4 l 容樹脂製ポットに、ポット当たり 5 個体植えとして、1 品種当たり 6 ポットを使用し、第 1 表に示した基本培養液組成の養液で 2 週間均一栽培した。培養液の pH は 5.5 となるよう適宜 1N 硫酸と水酸化ナトリウムで調整した。連続通気のもと栽培はすべてガラス室内で行った。大部分の品種の第 2 本葉展開時（5 月 16 日）生育の揃った苗をポット当たり 3 本立てとして、残りの 2 個体（計 12 本）を収穫し処理前の試料とした。各品種に対して塩化ナトリウム (NaCl) 濃度が 0, 40 と 60 mM となるように NaCl を添加する処理を施して栽培を継続した。また、60 mM 区は 7 日後 80 mM NaCl となるように NaCl 添加量を増量した。以下、それらの処理区を対照区、40 mM 区、80 mM 区と呼ぶこととする。処理後の培養液の pH 調整 (5.5) は 5 日ごとの更新時にのみ行った。

培養液の減少量をもって吸水量としたが、この場合、無植生区の減水量を空値として差し引いた。収穫時（5 月 30 日）、葉身、葉柄+茎（以下茎という）、根に分け根は流水で洗浄後、それぞれ乾燥、秤量、粉碎して分析に供した。

実験 2) 各種の塩の等浸透圧養液での生育の比較：実験 1 で耐塩性が比較的強いと考えられたカントウ 2 号、カラヌリ、オオダテ 2 号、中ぐらいのモンベツ 26 号、シラサヤ、ツルアズキ、弱いヒカリアズキ、オオダテ 3 号、カントウ 3 号の 9 品種を用いて実験した。一般的な栽培は実験 1 に準じた。処理としては培養液の浸透圧が最初の 1 週間は 120 mOsmol/kg、次の 1 週間は 76.4 mOsmol/kg となるように NaCl (63.2 と 40 mM)、

* 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)

本報告の概要は 1988 年日本土壤肥料学会大会で報告した。

** 鳥取大学農学部 (680 鳥取市湖山町南 4-101)

1988 年 12 月 7 日受理

日本土壤肥料学雑誌 第 60 巻 第 4 号 p. 325~334 (1989)

第 1 表 基本培養液組成および処理区の添加濃度

要素	基本培養液組成	
	濃度 (meq/L)	使用試薬
N	2.86	NH ₄ NO ₃
P	0.67	NaH ₂ PO ₄
K	1.03	K ₂ SO ₄
Ca	2.00	CaCl ₂
Mg	3.33	MgSO ₄
Na	0.33	NaH ₂ PO ₄
Cl	2.57*	

要素	海 水 区 (meq/L)	
	120 mOsmol/kg	76.4 mOsmol/kg
N	1.82	1.46
Ca	4.38	3.29
Mg	16.2	10.3
Na	49.2	26.7
Cl	52.7	29.7

Na・K・Ca 区 (mM)		
NaCl	63.2	40.0
KCl	63.2	40.0
CaCl ₂	42.7	25.3

微量元素 (ppm): Mn (0.5), Mo (0.05), B (0.2), Zn (0.1), Cu (0.05).

* 一部微量元素から入る。

塩化カリ (KCl) (63.2 と 40 mM), 塩化カルシウム (CaCl₂) (42.7 と 25.3 mM), 海水 (10% と 5.4%) をそれぞれ添加した区と無添加の対照区の 5 区を設けた。なお, 用いた海水区の培養液組成は第 1 表のとおりである。各区 2 反復で栽培を行い, 収穫 (1987 年 10 月 1 日) 後, 乾燥, 秤量, 粉碎して分析に供した。

実験 3) Na の吸収・移行に及ぼす代謝阻害剤添加あるいは根切除の影響: 第 3 本葉展開時まで均一栽培したタカラアズキを用いた。80 mM NaCl 含有養液に, 10⁻⁵ M となるようシアン化カリ (KCN), アジ化ナトリウム (NaN₃) を添加した区と 0.01 ppmHg となるよう塩化第二水銀 (HgCl₂) を添加した区と阻害剤無添加の対照区の 4 処理区を設けて栽培を継続した。ポット当たり 3 本立てとし, 分析に際しては 1 個体ずつを対象とし, 3 反復とした。

根切除苗による Na 吸収実験は, 上述と同様にして栽培したタカラアズキの第 3 本葉展開苗の最上位の根発生部位で切断した苗を用いた根切除区と, intact plant の対照区を設けた。100 ml の 80 mM NaCl 含有養液を入れた 100 cc 容管ビンにそれぞれの苗を 1 個体/容器あて移植し, 1200 lx, 30°C 恒温器に 2 日間 (1987 年 9 月 3 ~ 5 日) 置いた。いずれの場合も吸収実験終了後, 水洗

(根は冷水) して根, 茎, 葉の部分に分けて, 乾燥, 秤量, 粉碎して分析に供した。

実験 4) Na の吸収経過: 耐塩性の強いカントウ 2 号と弱いヒカリアズキの 22 日苗を用い, 0, 40, 80 mM NaCl 添加処理区を設けて 15 日間 (1988 年 5 月 6 ~ 21 日) 栽培した。栽培法は実験 1 に準じた。それぞれ 0, 2, 5, 10, 15 日目に収穫し, 根を水洗した後, 各葉位葉, 茎+葉柄と根に分け, 乾燥, 秤量, 粉碎して Na の分析に供した。同様に, ヒカリアズキ, オオダテ 2 号, オオダテ 3 号, タカラアズキ, ツタアズキ, モンベツ 26 号, カラスリ, カントウ 3 号, シラサヤを用いて 1988 年 8 月 9 ~ 16 日まで, 0 と 80 mM NaCl 添加処理をして栽培した実験についても, その結果の一部を結果の項にのせた。

実験 5) 接ぎ木試験: 実験 1 の 80 mM 区 (第 2 表) で葉身の Na 含有率が高い値を示した品種「ヒカリアズキ」と低い値の品種「カントウ 2 号」「オオダテ 2 号」, 中ぐらいの値の「シラサヤ」を用い, ヒカリアズキと他の 3 品種との交互接ぎ木を行い, Na および Cl の吸収・移行における根の役割を検討した。すなわち, 実験 1 と同様にして育成した第 1 本葉展開幼苗を呼び接ぎ法⁷⁾ で接ぎ木を行い 3 日間均一栽培した。カミソリを用いて不要穂木と不要台木の接続部近辺に半分ほど切れ目を入れ, さらに 2 日してから, 不要部を完全に切り取った。その後 2 日間均一栽培を行い, 接着が完成したことを確かめ, NaCl 添加処理 (0 と 80 mM) を施して (1987 年 9 月 17 日) 13 日間栽培を継続した。養液は 5 日ごとに更新した。収穫後, 葉身, 茎, 根に分けて分析に供した。

2) 分析法

植物体の Na, K, Ca は湿式分解 (10HNO₃: 4HClO₄) 後, 分解液につき Na と K は炎光法, Ca は原子吸光法で測定した。また, Cl は試料に約 20 倍の水を加えて 5 分以上煮沸抽出した溶液につき, 硝酸第二水銀を用いた容量法で測定した。

3. 結果と考察

実験 1) 耐塩性の品種間差

NaCl の添加処理後 14 日目の器官別乾物重を, 対照区は 14 日間の増加量 (mg/本) で, 40, 80 mM 区は対照区のそれを 100 とした指数 (以下相対生長量という) で第 2 表に示した。NaCl の各器官の生育に及ぼす影響は, 茎重 (平均値で 62 と 38%) と根重 (58 と 40%) で大きく, 葉重 (87 と 46%) で小さかった。しかし, 処理に対する品種間の生育反応の傾向は, 各器官で比較的類

第2表 アズキの生育と葉身中のナトリウムとクロール含有率

No. 品 種	葉乾物重増加 (mg/本)			茎乾物重増加 (mg/本)			根乾物重増加 (mg/本)			葉 身			
	相対生長量			相対生長量			相対生長量			Na (meq/g)		Cl (meq/g)	
	0	40	80	0	40	80	0	40	80	40	80	40	80
1 タカラ	1248	45.9	47.6	780	33.2	32.9	395	9.9	38.2	0.739	1.47	1.37	2.08
2 サカエ	1076	80.3	41.0	641	60.1	37.3	272	39.7	50.0	0.435	1.07	1.33	2.08
3 ヒカリ	1290	43.9	35.2	811	47.8	29.8	210	41.0	14.8	1.31	2.18	1.43	2.12
4 コトブキ	1295	73.1	39.4	978	59.2	35.5	315	65.7	46.7	0.104	1.61	1.29	2.24
5 ツル	1087	96.2	49.3	1013	57.2	41.1	219	64.8	36.5	0.065	1.43	1.00	2.05
6 カラヌリ	1490	111	34.2	787	83.5	33.2	302	99.7	18.8	0.157	1.52	1.08	2.49
7 カントウ1号	1088	88.3	43.5	916	53.6	34.6	256	64.1	51.2	0.557	1.43	1.30	1.71
8 カントウ2号	1355	96.5	67.0	912	64.1	49.2	388	37.6	34.8	0.113	0.578	0.831	1.71
9 カントウ3号	967	76.3	30.5	810	56.9	27.7	250	32.4	26.8	0.635	1.75	1.34	2.93
10 ウスゴロモ	1162	95.1	47.5	1122	65.9	29.7	355	53.2	22.5	0.096	0.613	1.12	1.11
11 ダイコク(島根)	967	78.9	38.6	713	51.9	38.0	253	36.8	53.4	0.465	1.05	1.23	1.90
12 ダイコク(山形)	927	78.3	33.2	740	66.4	29.5	318	58.2	23.6	0.661	1.90	1.41	2.51
13 オオダテ1号	951	87.0	62.0	811	67.9	39.0	324	70.1	33.6	0.148	0.939	1.36	1.43
14 オオダテ2号	1360	110	64.9	850	90.0	53.7	339	71.4	61.0	0.078	0.561	0.904	1.28
15 オオダテ3号	1324	81.4	45.3	998	54.8	46.9	272	62.5	58.8	0.148	1.27	1.12	1.82
16 トチギ1号	1096	119	50.9	922	80.6	43.5	242	76.4	59.9	0.091	1.51	0.958	2.12
17 た系5号	1150	89.7	40.9	946	52.9	33.9	312	60.9	16.0	0.465	2.47	1.49	2.51
18 ダイナゴン	1308	87.3	39.7	919	44.1	34.1	259	71.4	39.8	0.261	1.23	0.926	1.76
19 シラサヤ	933	92.6	56.2	568	71.3	51.8	193	75.1	46.6	0.065	0.972	1.19	2.34
20 モンベツ26号	1128	105	50.3	960	82.7	46.8	262	69.8	79.0	0.065	1.20	1.16	2.16
平均	1160	86.8	45.9	860	62.2	38.4	287	58.0	40.6	0.333	1.34	1.19	2.02
CV (%)	14	21.8	22.8	16	23.0	20.4	20	34.6	42.6	97.8	37.7	16.3	22.1
相関係数 (r)				0.911						0.878			
				0.667									

第3表 器官別の Na あるいは Cl 含有率と相対生長量との関係

(一次相関係数 r)

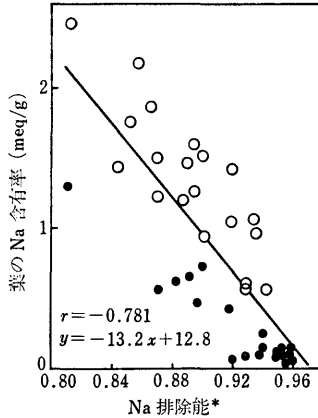
Na 含有率と 相対生長量	処 理 区		全 体	Cl 含有率と 相対生長量	処 理 区		全 体
	40	80			40	80	
葉 ~ 葉	-0.769***	-0.701***	-0.869***	葉 ~ 葉	-0.628**	-0.618**	-0.703***
茎 ~ 茎	-0.467*	-0.582**	-0.768***	茎 ~ 茎	-0.125	+0.251	-0.478*
根 ~ 根	+0.199	+0.350	-0.117	根 ~ 根	+0.070	+0.187	-0.101

* 5%水準で有意. ** 1%水準で有意. *** 0.1%水準で有意.

似し、葉重と茎重の相対生長量の間では、 $r=0.91$ 、葉と根では $r=0.67$ の有意な正の相関関係が認められた。なお、各器官の相対生長量において、40 mM と 80 mM 区の間にはいずれも有意な関連がなく、耐塩性の評価に際して用いる塩の濃度の選定の重要さが指摘できる。

葉身の Na 含有率と Cl 含有率を第2表に併記した。また、各器官の両イオン含有率と相対生長量との一次相関係数を第3表に示した。一般に葉の Na 含有率が高くなるほど、相対生長量は低下 ($r=-0.87$ 、第3表) し、Cl 含有率についても、両イオンの間に有意な相関

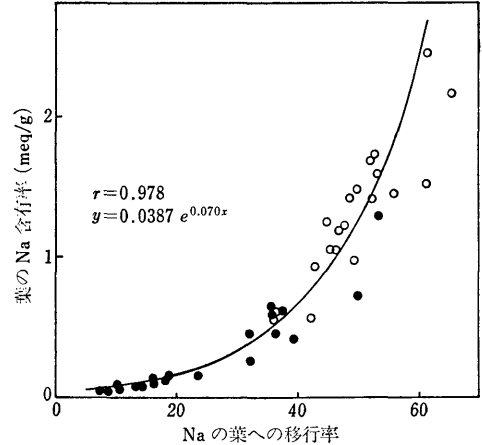
関係 ($r=0.88$ 、第2表) があることから推定されたとおり、Na と同様の関係が相対生長量との間に認められた ($r=-0.70$)。茎においても Na 含有率が増加すると相対生長量は低下を示したが、両者の相関係数は葉身の場合に比べ著しく低かった (40 mM: $r=-0.47$, 80 mM: $r=-0.58$)。Cl では明瞭な関連は得られなかった。根ではイネと同様に両イオン含有率とも、相対生長量とは有意な関連を示さなかった。以上の結果から、もし、本条件下でのアズキの耐塩性がおもにイオン害の耐性に基因するとするならば、葉の Na 含有率を指標とす



第1図 ナトリウムの排除能と葉のナトリウム含有率の関係

* $(a-b)/a^{15}$. a , 水と等速で吸収されたときの Na 吸収量; b , 実際の吸収量.

●, 40 mM NaCl; ○, 80 mM NaCl.



第2図 ナトリウムの葉への移行率と含有率の関係

●, 40 mM NaCl; ○, 80 mM NaCl.

ることが妥当であると考えられる。

葉の Na 含有率は Na 排除能* が高まることで低下した (第1図)。この場合、両処理区全体を対象とした場合でも、有意な負の相関関係を示したが、回帰直線に対し 40 mM 区は下、80 mM 区は上と明らかに二つに分かれ、別々のグループとして扱ったほうがよいようにみうけられた。別々に扱った場合、40 mM 区では $r = -0.93$ ($y = -7.95x + 7.64$), 80 mM 区では $r = -0.83$ ($y = -11.8x + 11.6$) で、全体を対象とした場合より高い相関係数が得られた。

吸収された Na の葉への移行率は葉の Na 含有率が多いほど高くなっており (第2図)、一次相関係数は 40 mM 区で 0.92, 80 mM 区で 0.83, 全体で 0.90 とそれぞれ高い正の相関関係を示したが、全体を指数関数として取り扱おうと $r = 0.98$ と非常に高い相関係数が得られた。

以上の結果は、イネで得られた結果¹⁾と同様であった。

実験 2) 各種の塩の等浸透圧養液での生育の比較

実験 1 で Na 添加処理に対する反応が異なった 9 品種の幼苗を用いて、初めの 1 週間は 120 mOsmol/kg, 次の 1 週間は 76.4 mOsmol/kg となるよう、基本培養液に NaCl, KCl, CaCl₂, 海水をそれぞれ添加した区の葉身と地上部の相対生長量を算出し、Na 区に対する K, Ca および海水区の関係として第3図に示した。Na 添加処

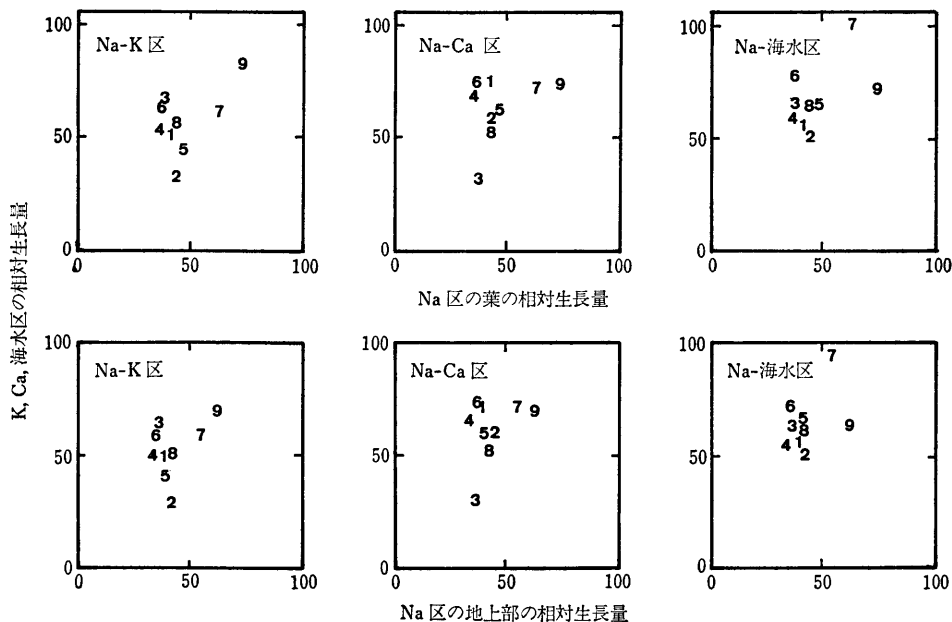
理に対する反応はカントウ 2 号 (No. 9) とツタアズキ (No. 7) で 60 以上とやや高くなったが、他の 7 品種は 35~50 の間にあった。いずれにしても葉身、地上部とも Na 区と他の処理区の相対生長量の間には有意な相関関係を認めなかった。とくに、7, 9 番を除く 7 品種は Na 区の相対生長量が比較的狭い範囲に入っていたのに対し、K, Ca 区では 30~70 (地上部)あるいは 30~80 (葉身)の範囲に分散し、海水区でも 50~80 と比較的広い範囲に分散する結果となった。図示しなかったが、K-Ca 区、K-海水区、Ca-海水区の間にも有意な相関関係は認められず、処理による生育抑制効果は、少なくとも本実験条件下では培地の高浸透圧が主因ではないと考えられた。

各処理区の葉の相対生長量と当該要素の含有率の間の一次相関係数を第4表に示した。Na と Ca 区ではカチオンのほうが Cl イオンより高い負の相関係数を示したのに対し、K 区ではカチオン含有率の効果は明瞭でなかった。これは、対照区でも K が比較的高い含有率を示すことと無関係ではないと思われる。

共通アニオンである Cl について、葉身の相対生長量との関係を第4図に示した。この結果から明らかなように、K 区とその他の区に分かれた。K 区は第4表に示したように、全試料では -0.67 の相関係数を示したが、Cl 含有率に対して相対生長量がとくに低い 2 点を異常値として除くと $r = -0.90$ という高い負の相関関係を示した。Na, Ca, 海水区は比較的類似した関係 ($r = -0.61$) を示すグループに属したが、個々の処理区を対象とした場合の相関係数 (第4表) より低い傾向にあり、Cl の

* $(a-b)/a^{15}$.

a , 水と等速で吸収されたとしたときの Na 吸収量; b , 実際の Na 吸収量.



第3図 Na 区の相対生長量と他処理区の相対生長量の関係

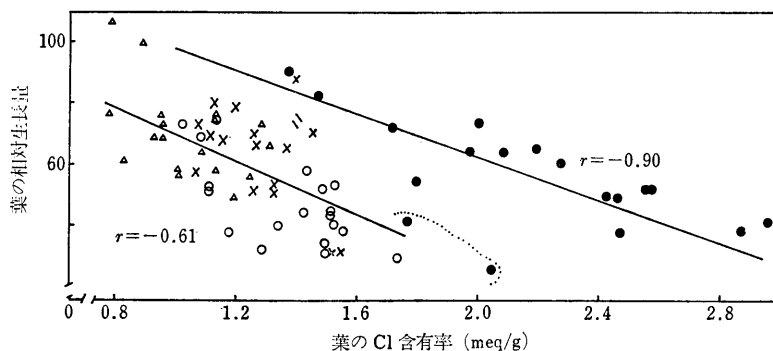
1, オオダテ3号; 2, シラサヤ; 3, ヒカリアズキ; 4, カントウ3号; 5, モンベツ26号;
6, オオダテ2号; 7, ツルアズキ; 8, カラスリ; 9, カントウ2号。
培地の浸透圧: 1~7日, 120 mOsmol/kg; 7~14日, 73 mOsmol/kg。

第4表 葉身の相対生長量と葉身中の当該カチオンあるいは Cl 含有率との関係における一次相関係数 (r)

	当該カチオン	Cl
Na 区	-0.806***	-0.648**
K 区	-0.467	-0.667**
Ca 区	-0.727***	-0.574**
海水区		-0.629**

** 1% 水準で有意。*** 0.1% 水準で有意。

吸収あるいはそのイオン害については、共役しているカチオンの影響が強いことを示している。いずれにしても、K 以外はカチオン害として扱うのが妥当のように思われる。しかし、マメ科作物の場合、塩処理により発現した障害の症状は Cl の過剰症であるといわれることが多いようである^{8,9)}。本実験において、いずれの処理区でも発現した障害の症状は葉縁部からのクロロシスである。しかし、言葉による表現は容易ではないが、用いた資材によりその症状は異なると判定された。また、障害



第4図 葉身のクロール含有率と相対生長量の関係

培地の浸透圧: 1~7日, 120 mOsmol/kg; 7~14日, 73 mOsmol/kg。
●, K 区; ×, Ca 区; ○, Na 区; △, 海水区。

の程度と Cl 含有率の高低とはかならずしも一致しなかった。したがって、これらの観察結果等から、害症状は単純な Cl 過剰症ではなく、それにカチオンの過剰あるいはカチオンによる解毒効果等が複雑に絡んでいるものと考えられる。その意味においてもアニオンが共通である本実験条件下ではカチオン害として扱うのが妥当であろう。

等高浸透圧養液を用いた実験では、同時に PEG-6000 を添加した区も設けたが、他の塩添加処理区と異なり、処理直後から吸水が著しく阻害され、処理後短期間で下葉から枯死を始めたので実験から除外した。イネの場合は PEG-6000 をイオン交換樹脂を通過させることで、PEG 害は著しく軽減された。その結果無機塩を添加した処理区に比べ相対生長量は著しく高くなった^{1,10)}。しかし、アズキの場合はイオン交換樹脂を通過させた PEG を用いたにもかかわらず、生育を著しく阻害した。PLAUT・FEDERMAN¹¹⁾ は一度作物栽培に使用した古い PEG を用いることで PEG 害が著しく軽減されることをトマトで示したが、アズキの場合はその効果も認められなかった。PEG-6000 を用いた場合は溶液の粘性が著しく高まるため、普通の通気法では根に十分な酸素を供給しえないことが原因かと推察されたが確証はない。PEG 添加の害についてはこれまでも種々検討されている¹²⁻¹⁴⁾が、よくわかっているとはいいがたく、使用する植物によっても異なる反応を示すようである。

実験 3) Na の吸収・移行に及ぼす代謝阻害剤添加あるいは根切除の影響

KCN, NaN_3 (10^{-5} M) あるいは HgCl_2 (0.01 ppm Hg) を添加した場合の器官別 Na 含有率を無添加の対照区の値とともに第 5 表に示した。葉と茎には処理間で有意な差が認められず、根ではすべての阻害剤添加区で対照区より低下した。これらの阻害剤添加処理では外観的にとくに異常は認めなかった。Na 排除能も NaN_3 区

第 5 表 Na 吸収・移行に及ぼす代謝阻害剤添加あるいは根切除の影響

処 理	葉 身 茎 根			排除能
	(Na meq/g)			
対 照 区	0.839	1.11	0.946	0.920
10^{-5} M KCN	0.878	1.06	0.739	0.940
10^{-5} M NaN_3	1.017	1.27	0.717	0.875
0.01 ppm HgCl_2	0.930	1.10	0.639	0.935
LSD (5%)	NS	NS	0.134	
対 照 区	1.12	1.81		
根 切 除	1.24	1.86		
LSD (5%)	NS	NS		

Na 含有率は各 3 反復の平均値を示した。

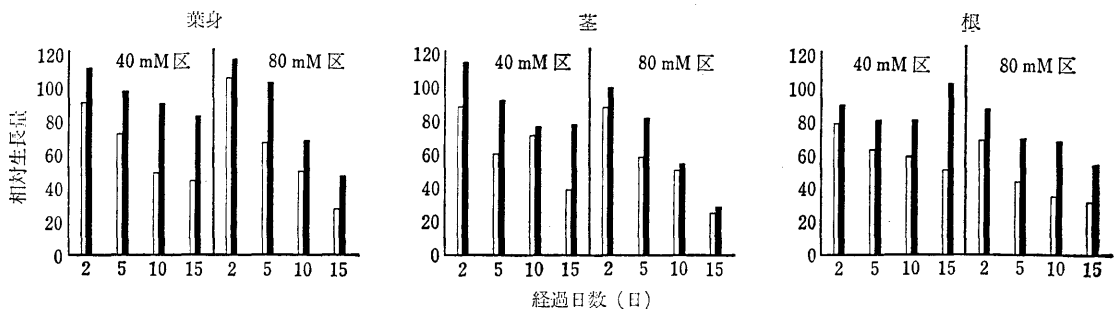
以外は対照区と差がなかった。 NaN_3 区では吸水量が他の区に比べ半分に減少したため排除能が低下した。

また、根切除によっても対照区に比べ Na 吸収の促進は認められなかった。これらの結果は、代謝阻害剤の添加あるいは根切除により Na の排除能が消失し、地上部の Na 含有率が著しく高まったイネの場合とは異なったがその理由は現在のところ不明である。

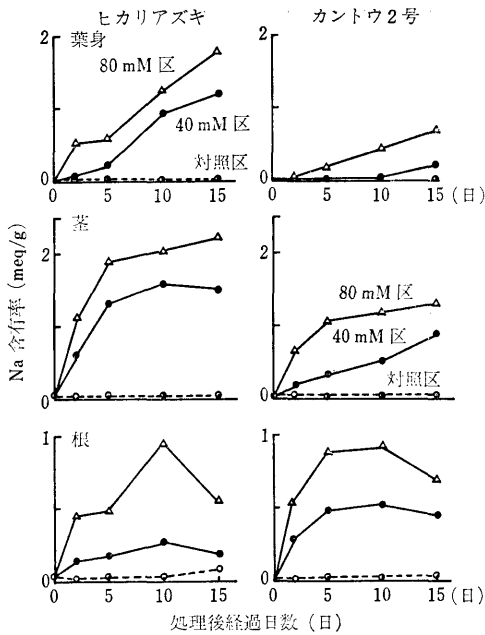
実験 4) Na の吸収経過

ヒカリアズキとカントウ 2 号の器官別の相対生長量の推移を第 5 図に示した。40 mM 区のカントウ 2 号の根以外の部位で一般に経日的に相対生長量は低下した。また、いずれの時期、いずれの器官においてもカントウ 2 号のほうがヒカリアズキより高い相対生長量を示した。葉身あるいは茎の相対生長量はカントウ 2 号の 80 mM 区のそれとヒカリアズキの 40 mM 区の値がほぼ同じであった。

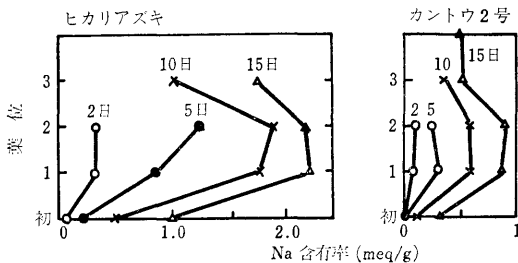
器官別の Na 含有率の推移を第 6 図に示した。葉の Na 含有率はヒカリアズキで、その上昇速度がカントウ 2 号に比べ著しく速かった。とくに、ヒカリアズキでは 5 日後の上昇が速やかであった。カントウ 2 号の 40 mM



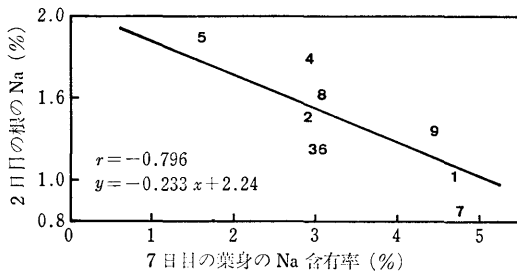
第 5 図 ヒカリアズキとカントウ 2 号の 40 mM と 80 mM NaCl 処理区の器官別相対成長量の推移 □, ヒカリアズキ; ■, カントウ 2 号。



第6図 ヒカリアズキとカントウ2号の各器官におけるナトリウム含有率の推移



第7図 ヒカリアズキとカントウ2号の葉位別葉のNa含有率 Na処理濃度は80mM.



第8図 処理後2日目の根のNa含有率と7日目の葉身のNa含有率の関係

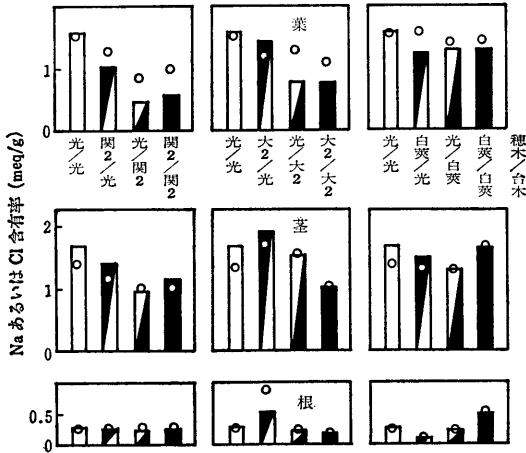
- 1, ヒカリアズキ; 2, オオダテ2号; 3, オオダテ3号; 4, タカラ; 5, ツタ; 6, モンベツ26号; 7, カラスリ; 8, カントウ3号; 9, シラサヤ.

区では処理15日後でも0.2 meq/gに達しなかった。一方、ヒカリアズキでは1.2 meq/g以上であった。茎のNa含有率はヒカリアズキでは5日目までの上昇が急速で、その後の上昇は小さかった。カントウ2号の80 mM区も含有率はヒカリアズキより低かったが、上昇の経日変化は類似していた。しかし、40 mM区ではほぼ直線的に漸増した。根は地上部の器官と異なり、5日目までの上昇速度がカントウ2号で著しく大きく、5日目ではヒカリアズキの約2倍の含有率に達した。80 mM区では10日目に両品種ではほぼ同じ含有率に達したが、40 mM区では終始カントウ2号が高い含有率を示した。

また、各葉位の葉のNa含有率の推移を第7図に示した。カントウ2号の40 mM区における葉身のNa集積は10日目まではごく少ないので(第6図)、80 mM区の結果のみを示した。短期間の結果のため、それほど明確には断言できないが、1枚の葉では出葉、展開につれてNa含有率は高まり、葉位別では、初葉は別として、下位葉からNaが集積していくという、Caイオンと類似した集積パターンをとるようである。ただし、Naは茎の含有率が高いという点で(第7図)Caイオンと著しく異なる。

また、Na含有率の推移を品種別にみるといずれの葉位の葉においてもヒカリアズキはカントウ2号の2倍以上を示した。

イネにおいては、切断根あるいは短期間(2日間)の栽培時の根のNaの含有率の上昇の大きい品種ほど、より長期間(10日以上)栽培した場合、地上部のNa含有率が低くなることが認められ、Na排除能は単純に根表皮のplasmalemmaでのNa侵入防止機構に依存しているのではないことが示唆された。また、上述のアズキ2品種においても排除能が低く地上部Na含有率も著しく高いヒカリアズキは、それが低いカントウ2号に比べ、とくに、処理短期間の根のNa含有率がむしろ低い特徴が認められた。そこで、9品種を用いて上述と同様のNa吸収実験を行い(1988年8月9~16日、80 mM NaCl添加処理)、処理2日目の根のNa含有率と7日目の葉身のNa含有率の間の関係を求めた(第8図)ところ、有意な負の相関関係($r = -0.80$)が認められた。すなわち、アズキでもイネの場合と同様に処理短期間の栽培時の根のNa含有率の高い品種が耐塩性も大きくなる可能性が強いことが示された。吸収実験の条件等細部はさらに検討を要するが、NaCl添加処理後短期間(2~3日)栽培して根のNa含有率上昇の高い品種を選抜するという方法は、耐塩性品種の選抜の第1段階として簡便かつ有効な方法となりうるものと思われる。

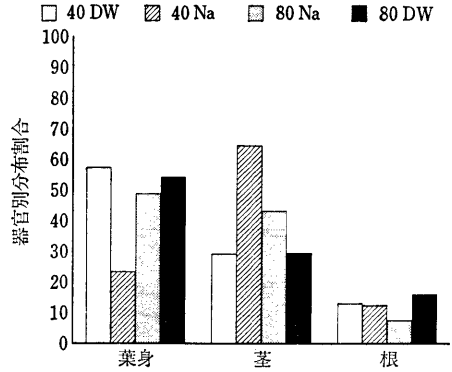


第9図 ナトリウムとクロールの吸収・移行に及ぼす根の役割
閉2, カントウ2号; 大2, オオダテ2号, 穂木/台木を示す。
80 mM NaCl 添加処理後 14 日間栽培した試料。棒グラフは Na
含有率を示し, ○印は Cl 含有率を示す。

実験 5) 接ぎ木試験

実験 1 の 180 mM 区 (第 2 表) で葉身の Na 含有率の
高い値を示した品種ヒカリアズキと低い値の品種カント
ウ 2 号, オオダテ 2 号, 中ぐらゐの値のシラサヤを用
い, ヒカリアズキと他の 3 品種との交互接ぎ木を行い,
Na の吸収・移行に及ぼす根の役割を検討した。各器官
の Na 含有率 (meq/g) を Cl 含有率とともに第 9 図に
示した。ヒカリアズキとカントウ 2 号, オオダテ 2 号の
組合せでは, 作物体の Na 含有率は強く台木の影響を
受けていることが認められた。とくに, その傾向は葉
身において顕著であった。すなわち, カントウ 2 号が台
木の場合は穂木のいかにかわからず, 葉身の Na 含有
率は 0.58 meq/g 以下であり, ヒカリアズキが台木の場合
は 1.06 meq/g 以上であった。また, オオダテ 2 号が
台木の場合は約 0.80 meq/g であった。茎においても葉
身と類似した傾向が認められたが, 葉身ほど台木の影響
は明瞭でなく, とくにヒカリアズキ/オオダテ 2 号はヒ
カリアズキ/ヒカリアズキに比べあまり低下しなかった。
ヒカリアズキとシラサヤの組合せでは, ヒカリアズキ/
ヒカリアズキ, シラサヤ/シラサヤの間の器官別 Na 含
有率の差が小さいため, 葉身と茎の Na 含有率は四つ
の組合せで, 比較的類似した値となった。根では, オオダ
テ 2 号/ヒカリアズキ, シラサヤ/シラサヤの組合せでや
や高くなったほかは, 穂木/台木の組合せでとくに増減
することはなかった。

一方, Cl 含有率はヒカリアズキ/オオダテ 2 号の葉身
とオオダテ 2 号/ヒカリアズキの根を除いて, Na 含有率



第 10 図 20 品種の乾物の構成割合と Na の器官別分
布割合
DW は乾物重を示し, 40, 80 はともに mM 区を示す。
値は第 2 表の値から算出した平均である。

の場合と類似した接ぎ木間差を示したが, 全体的に, 接
ぎ木による影響は Na 含有率の場合より著しく小さかつ
た。

4. 総括

現在のところ, アズキでは PEG による生育阻害が強
いため, 培地の浸透圧上昇効果を正確に見積もることは
できなかった。しかし, Na, K, Ca の Cl 塩と海水を
培地に添加して生育に対する影響を比較することにより
(実験 2), 40~80 mM NaCl 添加処理による生育反応の
品種間差はおもに Na と Cl のイオン害に対する反応に
基因するとした。そして, その耐塩性の強弱の判定には
葉身の Na 含有率の大小を用いるのが妥当と考えられた
(実験 1, 2)。

高 Na 含有養液からの Na の吸収・移行に対して, 根
切除あるいは培地への代謝阻害剤の添加がほとんど影響
を示さなかった (実験 3)。これらの結果は同様の処理
により, 葉身への急速な Na 集積を示したイネとは著し
く異なるところである。この点に関して現在のところ,
適切な理由を見出すにいたっていない。なお, 未発表で
あるが, キュウリ, カボチャ, メロン, ダイズ等はアズ
キと同様の結果を示し, ユリ科の作物はイネ型であるこ
とも知られている。しかし, 接ぎ木試験 (実験 5) の結
果等からも明らかなように, 地上部への Na の集積に対
して, 根の役割が重要であることは論を待たない。

実験 1 に用いた 20 品種の乾物重の器官別構成割合と吸
収された Na の器官別分布割合を第 10 図に示した。ア
ズキは根が地上部に比べ小さい (20%以下) 作物である
こともあり, 吸収された Na が根に留まる割合は 20 品

第6表 葉の Na 含有率および葉への Na 移行率と茎への Na 分布割合の関係における一次相関係数 (r)

	40 mM 区	80 mM 区	全 体
葉の Na 含有率と茎への Na 分布割合	-0.904***	-0.857***	-0.947***
葉への Na 移行率と茎への Na 分布割合	-0.980***	-0.954***	-0.987***

*** 0.1% 水準で有意.

種平均で、 $12.5 \pm 8.5\%$ (40 mM 区) と $7.54 \pm 2.58\%$ (80 mM 区) にすぎない。したがって、根の Na 保持量の多寡が地上部の Na 集積量を直接支配しているとは考えられない。一方、Na 排除能は単に、plasmalemma での Na 侵入防止機構でないことはアズキにおいても認められ (第8図)、現象的には NaCl 添加養液で短期間栽培したアズキの根の Na 含有率の高い品種が、より長期間にわたって栽培された場合の Na 排除能が高くなる可能性が示唆された。実験1の14日間栽培後では根の Na 含有率と葉の Na 含有率の間には何ら有意な関連は認められない。このことは、第6図に示したように、耐塩性が弱く初期の根の Na 含有率の低いヒカリアズキでも、栽培日数が長くなると (10日) 根の Na 含有率が高まりカントウ2号に近づいた (80 mM 区) ことからもうなずかれるところである。短期間の NaCl 処理下での根の Na 含有率の上昇の大きい場合を、根の Na 吸収・保持能が大きいと表現することとして以下論を進める。要するに、根の Na 吸収・保持能と Na 排除能の間に何らかの関連があるものと考えられる。その一つは、Na 吸収・保持能の小さい品種はそれの大きい品種に比べ、根での Na の隔離が不十分でサイトプラズムの Na 濃度上昇が速いか、ある種の代謝系の Na 高濃度耐性が弱いため、Na 排除能が早く低下し処理後短期間で Na のより急速な体内侵入を許すとするものである。また、別の可能性としては、Na 排除能の大きい品種とは、根と外液での Na の交換速度が早く、蒸散流へ入る Na の濃度が低く抑えられる品種で、根と外液との Na の出入りのサイクルが、根の Na 吸収・保持能と何らかの関わりを有するものとするものである。いずれにしても、今後さらに検討を要する問題である。

また、根の Na 吸収・保持能の高低で耐塩性の強弱を判定できる可能性も示唆され、条件設定が確立されると非常に簡便な選抜法となりうると思われる。

葉の Na 含有率は葉への Na 移行率が高いほど高くなり (第2図)、逆に葉の Na 含有率は吸収された Na の茎への分布割合が高いほど低くなった (第6表)。すなわち、吸収された Na が地上部から葉へ移行するに際して、茎への分布が高いことが、葉への Na の移行率を下

げ ($r = -0.99$) 葉の Na 含有率の上昇を抑え、耐塩性に寄与していることが示された。

5. 要 約

アズキには耐塩性に品種間差があることを、NaCl 添加養液で栽培した20品種の葉あるいは地上部の相対生長量を比較することで明らかにした。その品種間差は培地の浸透圧上昇に対する反応ではなく Na あるいは Cl イオン害に対する反応であることを示した。そして、耐塩性の指標としては、葉身の Na 含有率を用いるのが妥当であるとした (低いほうが耐塩性大)。

葉身の Na 含有率は Na 排除能と Na 移行率に支配される。Na 排除能は、Na 含有養液で短期間 (2日) 栽培したアズキの根の Na 含有率上昇の大きい品種で、高くなることを示した。また、Na 含有養液で短期間栽培したアズキの根の Na 含有率を比較することで、耐塩性品種を簡便に選抜できる可能性を示唆した。さらに、葉身への Na の移行率は、茎への Na 分布割合が高い品種ほど低い値を示した。

謝 辞 本実験に用いたアズキ種子は北海道立十勝農業試験場から分譲していただいた。記して感謝いたします。

文 献

- 1) 山内益夫：イネにおける耐塩性の品種間差の発現機構、耐塩性の品種間差に及ぼすナトリウムの吸収・移行特性との関係 (第2報)、土肥誌, **60**, 210~219 (1989)
- 2) BERNSTEIN, L. and AYERS, A. D.: Salt tolerance of 6 varieties of green beans. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, **57**, 243~248 (1951)
- 3) BROWN, J. W. and HAYWARD, H. E.: Salt tolerance of alfalfa varieties. *Agron. J.*, **48**, 18~20 (1956)
- 4) CERDA, A., CARO, M. and FERNANDEZ, F. G.: Salt tolerance of two pea cultivars. *Agric. J.*, **74**, 796~798 (1982)
- 5) GATES, C. T., HAYDOCK, K. P. and ROBINS, M. F.: Response to salinity in *Glycine*. 4. Salt concentration and the content of phosphorous, potassium, sodium, and chloride in cultures of *G. wightii* (*G. javanica*). *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, **10**, 99~110 (1970)
- 6) LAUTER, D. J. and MUNNS, D. W.: Salt resistance

- of chick pea genotypes in solutions salinized with NaCl or Na₂SO₄. *Plant Soil*, **95**, 271~279 (1986)
- 7) 町田英夫：接ぎ木のすべて，p. 250，誠文堂新光社，東京 (1984)
- 8) WILSON, J. R., HAYDOCK, K. P. and ROBINS, M. F.: Response to salinity in *Glycine*. 5. Changes in the chemical composition of three Australian species of *G. wightii* (*G. javanica*) over range of salinity stress. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, **10**, 156~165 (1970)
- 9) WIENEKE, H. and LÄUCHLI, A.: Short-term studies on the uptake and transport of Cl by soybean cultivars differing in salt tolerance. *Z. Pflanzen-ernaehr. Bodenkd.*, **142**, 799~814 (1979)
- 10) MATOH, T., KAIRUSMEE, P. and TAKAHASHI, E.: Salt-induced damage to rice plants and alleviation—Effect of silicate. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **32**, 295~304 (1985)
- 11) PLAUT, Z. and FEDERMAN, E.: A simple procedure to overcome polyethylene glycol toxicity on whole plants. *Plant Physiol.*, **79**, 559~561 (1985)
- 12) MEXAL, J., FISHER, J., OSTEYOUNG, J. and REIL, P. C. P.: Oxygen availability in polyethylene glycol solution and its implications in plant-water relations. *ibid.*, **55**, 20~24 (1975)
- 13) REIL, P.C.P.: Phosphorous contamination in polyethylene glycol. *ibid.*, **61**, 708~709 (1978)
- 14) JANES, B.E.: The effect of molecular size concentration in nutrient solution, and exposure time on the amount and distribution of polyethylene glycol in pepper plants. *ibid.*, **54**, 226~230 (1974)
- 15) 但野利秋：水稻の鉄過剰障害対策に関する作物栄養学的研究，北大邦文紀要，**10**，22~68 (1976)

The Mechanisms of Salinity Tolerance for Azuki Bean (*Phaseolus angularis* L.)

Relationships between the Varietal Difference of Salinity Tolerance and Characteristics of Absorption and Translocation of Sodium Ion (3)

Masuo YAMANOUCI, Shizuka SUSAKI, Tosifumi WAKUSIMA
and Hideyasu FUJIYAMA

(*Fac. Agric., Tottori Univ.*)

Varieties of azuki bean (*Phaseolus angularis* L.) differed in resistance to sodium chloride salinity. There was a negative correlation between sodium (and chloride) concentration and the relative growth of leaf blades or tops. The varietal differences of salinity tolerance (salinized NaCl) for azuki bean were mainly due to Na and/or Cl injury rather than increase of osmotic pressure in the culture solution. It was better to use Na concentration in the leaf blades than Cl concentration as an index of salinity tolerance.

The Na concentration in the leaves was mainly affected by the Na excluding power and/or the rate of Na translocation to leaves. It was shown that higher Na excluding power's variety highly increased Na concentration in root when they were grown in culture solution added with NaCl (80 mM) for short term (2 days). And it was suggested that the comparative method among Na concentrations of their roots cultured for short term in the solution to which NaCl was added may be available to select the tolerant variety of salinity for azuki bean. The higher the Na distribution rate to stem, the lower the Na translocation rate to leaves.

Key words azuki bean, varietal difference of salinity tolerance, mechanisms of salinity tolerance

(*Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, **60**, 325-334, 1989)