

作物のナトリウム吸収あるいは分布特性と耐塩性の関係

山内益夫*・長井武雄*

昭和60年5月31日受付

The Relations between Salt Tolerance and the Characteristics of Sodium Absorption and Sodium Distribution in Crops

Masuo YAMANOUCHI* and Takeo NAGAI*

Twenty species of crops were grown in nutrient solution contained NaCl of 40 and 60 m. e., respectively.

1. Vigorous Na absorption-plant : Cruciferae, Chenopodiae. Middle Na absorption-plants : Carrot, Solanaceae, Cucurbitaceae. Lower Na absorption-plants : Leguminosae, Gramineae. Their characteristics of Na absorption did not affect directly the salt tolerance of crops.

2. Slower increasing crops of Na concentration in leaves (9 crops) : Leguminosae, sunflower, Cucurbitaceae, Gramineae. Rapid increasing crops of Na concentration in leaves (5 crops) : Egg plant, pimento, Cruciferae. Rapid increasing crops of Na concentration in leaves and roots (5 crops) : Syngiku, lettuce, Chenopodiae and carrot. In all 20 crops there were no relationships between Na concentration in leaves and relative growth of tops, but in each family the relative growth of tops increased with decrease in Na content of leaves.

3. The relationships between salt tolerance and the effectiveness of NaCl treatments on some base-absorption (K, Ca and Mg) were not clear.

緒 言

高濃度のナトリウム (Na) 塩を添加して、作物の耐塩性を検討する機会が多いが、その場合、作物のナトリウム吸収特性あるいはその分布特性と耐塩性の関連をみた研究は少ない。大沢⁶⁾は各種蔬菜を用いて耐塩性の比較実験を行ない、葉のNa含有率が高い作物は耐塩性が強い傾向にあり、また葉中Na濃度/根中Na濃度比が培地のNa濃度が低い区(1000ppmNa)で小さい作物は耐塩性が弱い傾向にあるとした。しかし、耐塩性が高いといわれているハウレンソウ、トウモロコシの葉のNa含有率があまり高くないという報告もある^{7,8)}

また、高濃度のNaCl処理によるK¹¹⁾やCa⁹⁾の吸収阻

害が生育に影響を及ぼすことが認められ、高濃度のNa添加区で認められる生育障害が、培地へCaを添加することで軽減されることも広く知られている^{2-5,9)}

一方、著者ら¹⁰⁾は20種の作物を、NaClあるいはポリエチレングリコールを加えた高浸透圧培養液(3.5気圧)で栽培し、吸水量あるいは生育状態を比較することにより、NaCl処理区の生育障害の主因は、培地高浸透圧による吸水抑制であることをあきらかにした。しかし、その報告では論旨が錯綜するのをさけるため、個々の作物体の分析値をあげることはさしひかえた。

そこで、本報では前報の試料中NaCl処理区の試料を用いて、作物のNa吸収特性あるいはその分布特性と耐塩性の関係と、併せて、他の塩基(K, Ca, Mg)との

*鳥取大学農学部農芸化学科作物栄養学研究室

Department of Agricultural chemistry, Faculty of Agriculture, Tottori University

吸収拮抗のあり方と耐塩性の関わりについても検討した。

実験方法

マメ科4作物(ダイズ, インゲン, アズキ, エンドウ), キク科3作物(シュンギク, ヒマワリ, レタス), ナス科3作物(ナス, ピーマン, トマト), アカザ科2作物(フダンソウ, テンサイ), タデ科1作物(ニンジン), アブラナ科3作物(ハクサイ, ダイコン, キャベツ), ウリ科2作物(キュウリ, カボチャ), イネ科2作物(トウモロコシ, 水稻)計20作物を対照区(NaCl無添加区), NaCl L区(NaCl140m.e.添加区), NaCl H区(NaCl160m.e.添加区)の3区を設けて水耕栽培した。NaCl以外の要素は各区共通でNO₃-N66, NH₄-N10, P10, K65, Ca80, Mg48, Fe2, Mn1, Zn0.075, Cu0.02, Mo0.005, B0.5各ppmである。その他栽培法の概要あるいは分析法(Naは炎光法)については前報¹⁰⁾で詳述した。

結果

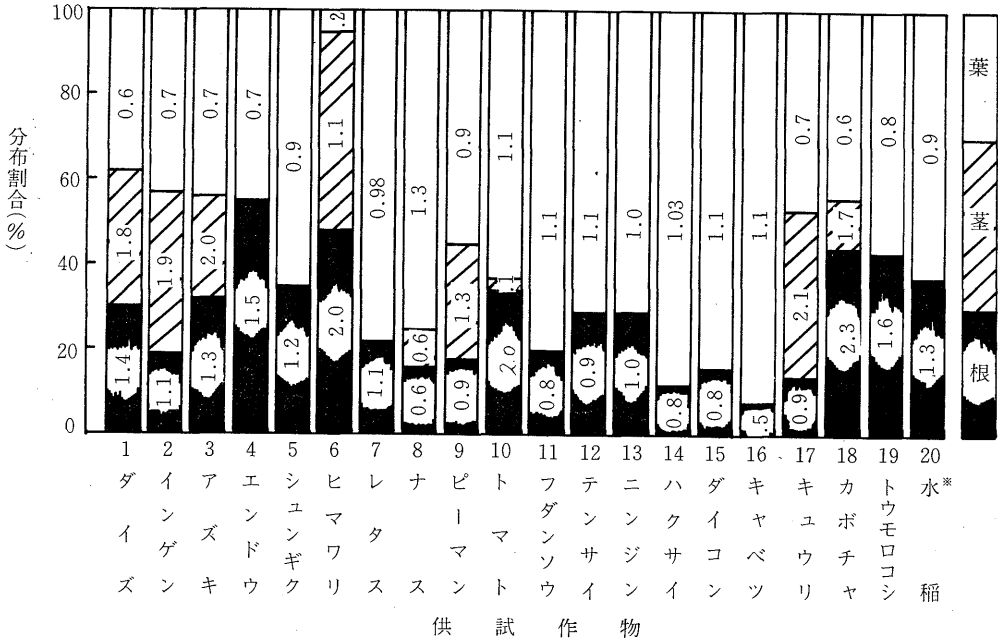
40あるいは60m.e.のNaを含む培養液で20作物を栽培

した結果, 作物体のNa含有率は作物科間で特徴的な差異があることを認めた(第1表)。葉のNa含有率の上昇があまり急激でなく, 茎あるいは根の上昇がすみやかな作物として, マメ科の4作物, ヒマワリ, ウリ科の2作物, イネ科の2作物が入った。一方, 葉のNa含有率の上昇のすみやかな作物は, ナス, ピーマン, アブラナ科の3作物であった。葉, 根のNa含有率がともにすみやかに高まる作物は, シュンギク, レタス, アカザ科の2作物, ニンジンで, いずれも部分ロゼット型に属する作物であった。トマトは茎のNa含有率の上昇が極めて小さいことが, 他の作物と著しく異なった。

要素の器官別分布割合から, ある部位へのその要素の蓄積傾向を判定する場合, その器官の大きさを考慮する必要がある。そこで, Naの器官別分布割合を乾物重の器官別分布割合で割り, その値が1.0より大きいとき, その器官に蓄積がおこっていると判定することとする。第1図はNaの器官別分布割合に, その蓄積判定値を記入したものである。1.2以上を強いNa保持力(蓄積力)を有すると仮定すると, Naの茎占有率の高い作物のうち,

第1表 塩化ナトリウム処理区の器官別ナトリウム含有率

科名	No	供試作物名	作物 品種・系統	Na含有率(L区)			Na含有率(H区)		
				葉	茎	地下部	葉	茎	地下部
マメ	1	ダイズ	(タチスズナリ)	1.24	3.30	2.57	1.86	3.86	3.04
	2	インゲン	(大正金時)	1.21	3.33	1.79	1.00	3.17	2.26
	3	アズキ	(栄小豆)	1.36	4.02	2.54	2.92	5.24	2.50
	4	エンドウ	(キングセブン, 絹莢豌豆)	1.91		3.97	3.03		4.27
キク	5	シュンギク	(大葉新菊)	3.54		4.37	3.32		4.62
	6	ヒマワリ	(ロシヤ大輪)	0.33	2.44	4.63	1.53	2.94	4.51
	7	レタス	(グレートレークス366号)	2.20		2.56	3.10		4.23
ナス	8	ナス	(長岡長ナス)	5.03	2.54	2.31	5.28	2.97	2.51
	9	ピーマン	(春千ピーマン)	2.63	3.64	2.40	3.59	3.11	2.62
	10	トマト	(大福トマト)	1.40	0.15	2.61	1.59	0.43	3.34
アカザ	11	フダンソウ	(ふだん草)	5.53		4.07	5.57		3.37
	12	テンサイ	(モノヒル)	3.03		2.29	3.93		2.19
タデ	13	ニンジン	(向陽5寸人参)	2.81		2.98	2.70		3.67
アブラナ	14	ハクサイ	(野崎2号)	4.38		3.44	6.46		3.80
	15	ダイコン	(美濃早生)	2.97		2.09	4.96		2.57
	16	キャベツ	(野崎中生)	5.39		2.53	6.05		3.52
ウリ	17	キュウリ	(さちかぜ)	1.98	5.78	2.71	4.49	7.27	5.13
	18	カボチャ	(日向14号)	1.83	3.82	4.98	1.86	4.63	5.53
イネ	19	トウモロコシ	(イエローデント)	1.38		2.78	1.66		3.15
	20	水稻	(ヤマビコ)				2.37		3.48



第1図 ナトリウムの器官別分布割合 (L区)

*水稲のみH区

図中の数値は Naの分布割合/乾物の分布割合を示す

ダイズ、インゲン、アズキ、キュウリは、その非常に高いNa保持力の影響を受け、ヒマワリは茎が大きいことが茎にNaが蓄積した原因である。一方、ナスとトマトの茎はNa保持力を有さず、単なる通導的役割を担っている様に思われる。根への分布割合が30%以上を占める11作物(ダイズ、アズキ、エンドウ、シュンギク、ヒマワリ、トマト、テンサイ、ニンジン、カボチャ、トウモロコシ、水稲)のうち、テンサイ、ニンジンを除き、いずれも高い保持力の影響を受けている。また、Naの根占有率の低い9作物(インゲン、レタス、ナス、ピーマン、フダンソウ、ハクサイ、ダイコン、キャベツ、キュウリ)のうち、ナス、フダンソウ、ハクサイ、ダイコン、キャベツの5作物は保持力が弱い影響を受け、他の4作物は根の乾物重が他の器官に比べ小さいことの影響を受けた。また、葉への高い蓄積傾向を示す作物はナスのみで、マメ科の4作物、ウリ科2作物、トウモロコシなどは茎と根が葉へのNa移行を強く抑ええる働きをしている。その他の12作物は蓄積判定値が0.9~1.1の間にあり、乾物の分布割合の影響を強く受けた結果となっている。

NaH区(60m.e.NaCl添加区)の地上部相対生長量(対照区の地上部乾物重を100とした値)の55以下を耐塩性弱、55~80を中、80以上を強として分類すると(第2表)、弱に6作物(ダイズ、インゲン、アズキ、ナス、ピーマン、ダイコン)、中に8作物(エンドウ、ヒマワリ、トマト、ニンジン、キャベツ、キュウリ、カボチャ、水稲)、強に6作物(シュンギク、レタス、フダンソウ、テンサイ、ハクサイ、トウモロコシ)が入った。これらの分類と、NaCl処理によるK、Ca、Mg等の塩基の吸収に及ぼす影響との間に意味のある関連は認められなかった。すなわち、NaCl処理によって、三種の塩基全ての地上部での含有率が対照区より減少したのは、ナス、ピーマン、ダイコン(耐塩性弱)、エンドウ、キャベツ、キュウリ(耐塩性中)、テンサイ、ハクサイ(耐塩性強)であった。インゲン、アズキ(耐塩性弱)は、全ての塩基がむしろ含有率を高める傾向を示し、カボチャ、水稲(耐塩性中)はCaとMgの含有率を高め、シュンギク、フダンソウ、トウモロコシ(耐塩性強)ではK含有率を高める傾向を示すなど、大きな作物間差が認められた。

第2表 地上部における乾物重及び各種要素含有率の対照区を100とした指数

No	供試作物	相対生長量		対照区の含有率を100とした指数						分類
				K		Ca		Mg		
		L	H	L	H	L	H	L	H	
15	ダイコン	103	23	100	72	95	79	75	73	耐塩性弱
9	ピーマン	73	31	92	80	80	81	68	59	
3	アズキ	55	32	129	92	133	128	121	115	
2	インゲン	39	41	142	153	97	120	96	126	
8	ナス	61	50	85	88	87	81	80	77	
1	ダイズ	55	54	110	101	96	102	80	87	耐塩性中
4	エンドウ	62	58	93	89	81	70	96	87	
20	水稲	61	59	95	102	115	138	111	124	
13	ニンジン	86	68	98	101	73	75	71	64	
18	カボチャ	75	68	82	86	100	112	90	109	
6	ヒマワリ	98	70	86	137	84	97	139	111	
17	キュウリ	68	72	61	70	50	55	37	55	
16	キャベツ	69	75	76	78	77	68	70	55	
10	トマト	83	75	110	114	90	96	83	98	
5	シュンギク	84	80	158	110	82	68	74	65	
14	ハクサイ	92	80	71	76	77	69	67	70	
7	レタス	86	86	110	72	70	67	77	77	
19	トウモロコシ	93	93	116	98	71	73	—	77	
11	フダンソウ	96	103	122	118	65	77	72	87	
12	テンサイ	130	125	90	85	76	77	85	89	

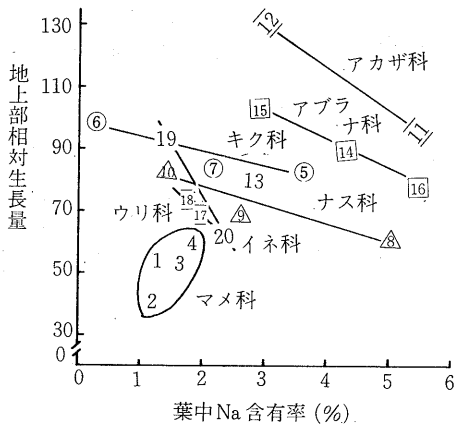
NaCl 処理区の葉は、処理直後、作物によっては弱いしおれを示したが、翌日以降は特に日射量が高い日以外はいずれの作物も、脱水によるしおれ現象を認めなかった。収穫期の対照区の葉の水分含有率が最も高かった作物は、ダイズとヒマワリの2作物に過ぎなかった(第3表)。NaCl処理濃度の増加に伴ない、水分含有率が上昇を示した作物が7作物あり(アズキ、ナス、ピーマン、トマト、フダンソウ、ハクサイ、カボチャ)、他の11作物は、処理間差がないか、NaL区が最も高い含有率をした。このことは、葉の水分含有率の低下が日中、常におこる水不足によるストレスを受けた場合の作物と、決定的に異なるところであろう。

考 察

幼植物を用いた短期間のNaCl処理による実験であるが、Na吸収あるいは体内での分布状態に作物科間で特徴的な差異が認められた。Na吸収特性は作物個体全体の含有率を比較することで判定できる(第1表)。アブラナ科、アカザ科の作物が旺盛な吸収を示し、ニンジン、ナス科、ウリ科が中位で、イネ科、マメ科(エンドウは別)のNa

第3表 収穫時の水分含有率(%)

供試作物	対照	NaCl	
		L	H
1	ダイズ	84.2	82.5
2	インゲン	84.8	86.3
3	アズキ	85.0	88.2
4	エンドウ	86.2	87.8
5	シュンギク	90.8	90.0
6	ヒマワリ	90.0	88.1
7	レタス	93.0	92.9
8	ナス	84.3	89.7
9	ピーマン	85.2	90.0
10	トマト	87.5	90.6
11	フダンソウ	84.1	88.9
12	テンサイ	85.8	87.5
13	ニンジン	85.7	85.3
14	ハクサイ	91.8	92.8
15	ダイコン	84.7	80.8
16	キャベツ	87.3	88.6
17	キュウリ	84.7	87.9
18	カボチャ	82.0	85.7
19	トウモロコシ	88.7	88.0
20	水稲	77.3	75.0



第2図 葉のナトリウム含有率と地上部
相対生育量の関係
NaL区の値

吸収量は少なかった。また、マメ科、ウリ科、イネ科の作物は茎や根の強いNa保持力のため、葉身のNa含有率の上昇が抑さえられるが、マメ科の作物はその低い葉のNa含有率にもかかわらず、強く生育が阻害され、著しく耐塩性が弱い。しかし、全体として、Naの吸収特性と耐塩性の強弱との間の直接的な関連は明瞭でなかった。

大沢⁶⁾は葉のNa含有率は高い程耐塩性が強くなる傾向のあることを示したが、葉のNa含有率と相対生長量の関係はかならずしも単純ではない(第2図)。高濃度のNaCl処理あるいは長期間の処理では、Na含有率と生育阻害の関係が著しく乱れてくる。これは、生育停止後にNaが蓄積した作物も、同じレベルであつかうことになるからであると思われる。第2図はNa濃度があまり高くないNaL区の結果である。供試作物全体では何ら有意な相関関係を認めることはできない。しかし、供試作物を科別にみると、マメ科を除き、同一科内では、Na含有率が高まる作物ほど生育阻害が大きかった。マメ科では、本実験の処理濃度でもNa濃度が高過ぎ、Na含有率と生育の関係が乱れた例に相当するものと思われる。

地上部Na含有率/根Na含有率⁷⁾が低い作物は耐塩性が弱く、高い作物は耐塩性が強い傾向にあるといわれる関係も、⁸⁾本実験では明瞭でなかった。すなわち、あまり耐塩性の強くないナス科の作物は、この比が高く、逆に耐塩性の比較的強いトウモロコシが低い値を示した。したがって、この比が、かならずしも耐塩性の強弱を示す一般的な指標となり得ないものと思われる。

塩基(K, Ca, Mg)の吸収に及ぼすNa処理の影響は、作物の塩基の要求度と培地中の濃度との関連や、処理に

よる生育阻害速度とそれら要素の吸収・移行の抑制速度の兼ね合いで、処理区の塩基含有率が対照区のそれを上回る(インゲン、アズキ—第2表)など、いろいろな要因が入り組んでいるため、供試作物によって著しく異なる結果となった(第2表)。従って、含有率が対照区の60%以下まで低下した例が、キャベツのMg(NaL区)、キュウリのCa, Mgなどでみられたが、これら塩基の生育阻害に及ぼす効果を見つめることはできなかった。

なお、NaCl処理による生育阻害が、ある作物では、培地へのCa富化で軽減されることがよく知られているが^{9), 9)}この現象は浸透圧的には説明が困難であり、NaCl処理による生育阻害の機作については、さらに検討を要する点が残っていると思われる。

要 約

塩化ナトリウムを40あるいは60m.e.添加した培養液で20種の作物を栽培した。

1. Naの吸収は作物の科間で差異があり、アブラナ科、アカザ科は旺盛で、ニンジン、ナス科、ウリ科が中位、イネ科、マメ科は少なかった。Naの吸収特性と耐塩性の間連は明瞭でなかった。

2. 葉のNa含有率からみた場合、供試作物は次のように分類された。

葉のNa含有率の上昇が小さい作物(9作物)

マメ科(エンドウを除く)、ヒマワリ、ウリ科、イネ科

葉のNa含有率の上昇が大きい作物(5作物)

ナス、ピーマン、アブラナ科

葉、根のNa含有率がともに大きい作物(5作物)

シュンギク、レタス、アカザ科、ニンジン

この葉のNa含有率と地上部相対生長量の間には、全体を統べる関連性は認められないが、各科内では、Na含有率が低いほど耐塩性は大きかった。

3. NaCl処理によるK, Ca, Mgなどの吸収に及ぼす影響と耐塩性との間には明瞭な関連はなかった。

文 献

- 1) Takada, H., : Ion accumulation and osmotic value of Plants, with special reference to strand plants, Jou. Inst. Polytec. Osaka Uni., 5, 81~96(1954)
- 2) Hyder, S.Z., and Greenway, N., : Effects of Ca²⁺ on plant sensitivity of high NaCl concentrations, Plant Soil, 27, 258-260 (1965)

- 3) 河崎利夫・森次益三：作物による一価カチオンの吸収・移行に対するカルシウムの影響（その1，トウモロコシおよびインゲン）土肥誌，**44**，89～96(1973)
- 4) 河崎利夫・森次益三：同上（その2，大麦および水稻）土肥誌，**44**，133～137 (1973)
- 5) Lahaye, P. A., and Epstein, E., :Salt tolerance by plants : Enhancement with calcium, *Science*, **166**, 395～396 (1969)
- 6) 大沢孝也：蔬菜の耐塩性に関する研究 とくに無機栄養に関して，*Bull. Univ. Osaka, Pref. Ser. B.*, **16**, 13-57 (1965)
- 7) 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)
- 8) 下瀬昇：同上（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)
- 9) 山内益夫・島田義明・吉田昌一：水稻における塩化ナトリウム高濃度処理による生育障害の軽減に対するカルシウムイオンの効果，土肥誌，**54**，499～504 (1983)
- 10) 山内益夫・長井武雄：作物の生育および無機養分吸収に及ぼす水ストレスの影響，土肥誌，**53**，513-518 (1982)