

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

V. キュウリの耐塩性の品種間差

山内益夫*・藤山英保*・松本法子*・長井武雄*

平成元年 5月31日受付

Relationships between the Varietal Difference of Salinity Tolerance and the Characteristics of Absorption and Translocation of Sodium Ion. V. Varietal Differences of Salinity Tolerance for Cucumber (*Cucumis sativum* L.)

MASUO YAMANOUCHI, HIDEYASU FUJIYAMA, NORIKO MATSUMOTO
and TAKEO NAGAI

The salinity tolerance for cucumber was examined by means of comparison of their relative growth among cultivars which were grown in culture solution with 0, 40 and 80 mM NaCl or isoosmotic solution added NaCl, KCl, CaCl₂ and PEG-1540. Cucumber plants were so susceptible to salinity that it is necessary to compare them at lower than 40 mM NaCl. Sodium ion was absorbed and moved together with Cl ion. However, the varietal difference of salinity tolerance for cucumber may be due to the difference of the power of their water absorption at higher osmotic medium rather than to the difference of their tolerance for ion injury.

結 言

イネ¹⁾、アズキ²⁾の耐塩性の品種間差の発現機構については既に報告した。すなわち、高濃度NaCl添加培地に作物を栽培した場合、葉身へのNaの集積が遅い品種が耐塩性が強く、Naの葉身への集積は根のNa排除能が大きく、そしてNaの地上部移行率の小さい品種で抑制された。さらに、根のNa保持能とNa排除能は互いに独立した機能ではなく、高Na濃度培地への短期間の根の浸漬(切断根あ

るいはintact plant)で、根のNa含有率の上昇が著しい品種が、1~2週間NaCl添加処理をしてintactな状態で栽培した場合に高いNa排除能を示すことをあきらかにした。そして、イネやアズキでは、耐塩性品種選抜の第1段階として、切断根による根へのNaの取り込み状態を比較し、その大きい品種を選抜するのが簡便であることを示唆した。

また、ウリ科作物中カボチャ³⁾は上述の2作物とは異なり、NaはClイオンとその行動を共にせず、Naは茎に蓄積

* 鳥取大学農学部資源利用化学講座

* Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Tottori University

し、葉身のNa含有率の上昇は僅かであった。そのため、葉身のNa含有率とNaCl添加区の相対生長量との間に有意な高い負の相関々係を認めたと、耐塩性の指標としては好ましくないものと判断し、茎のNa含有率が低く抑ええられることが重要であると指摘した。しかし、特記すべき耐塩性の強い品種はみつかっていない。

本報ではウリ科作物中、*Cucurbita*属とはNa, Clの吸収・移行特性を異にする⁷⁾*Cucumis*属中キュウリ (*C. sativum* L.)を用いて耐塩性の品種間比較を行なった結果を示す。

材料と方法

栽培法 1) 品種間比較：基本的にはこれまで報告⁴⁻⁸⁾した作物の場合と同様である。第1表に示した13品種のキュウリを、1985年7月9日砂丘砂ベッドに播種し、発芽が揃った7月16日に養液栽培に移した(5個体/6l溶液)。13日間均一栽培し、7月29日に0, 40, 80mMNaClとなる様塩化ナトリウムを基本培養液に添加して栽培を継続した。用いた基本培養液の組成は次の通りである；N (40ppm NH₄NO₃), K, Ca, Mg (40ppm) P (10 ppm), Fe (2 ppm) B (0.5ppm) Mn (0.5ppm), Cu (0.01ppm), Mo (0.05ppm)。培養液は5日毎に更新し、8月5日収穫し、葉身、茎+葉柄(茎)、根に分け、水洗、乾燥、秤量、粉碎して分析に供した。栽培は全てガラス室内で行なった。

2) 等浸透圧養液での比較：培地の浸透圧上昇材として、NaClの他にKCl, CaCl₂とPEG-1540を用いた。本実験に用いた品種は第3表に示した11品種で1)と同様に栽培した。1987年7月11日に播種し、7月16日に養液栽培に移し(4個体/4l), 8日間均一栽培した後、基本培養液に58mOsmol/kgとなる様にNaCl (30mM), KCl (30mM), CaCl₂ (20mM), PEG (3.44%)を添加した処理区と無添加の対照区を設けて、栽培を継続した。この時点で2個体/容器を収穫し、処理前の試料とした。7月28日に培地の浸透圧を157mOsmol/kgとなる様にNaCl (80mM), KCl (80mM), CaCl₂ (54mM), PEG (9.17%)を増量して更に10日間栽培した後収穫し、調査、分析に供した。実験は全て2反復で行なった。

分析法：細粉試料を湿式分解(10HNO₃: 4 HClO₄: 1 H₂SO₄)後、その溶液につき、NaとKは蛍光法で、CaとMgは原子吸光法で測定した。Clは熱水抽出液につき、硝酸第二水銀を用いた容量法で測定した。

結 果

1) 耐塩性の品種間比較

収穫期の器官別乾物重を対処区は処理期間(7日間)中の増加量(mg/本)で示し、40, 80mMNaCl添加区(以下40, 80mM区と称す)は対照区に対する指数(相対生長量)で示した(第1表)。葉身では葉縁部からの黄化、白化、枯死と、80mM区では強い害症状が認められた。その程度も表中に併記したが、その程度と葉身乾物重の相対生長量の高低とはかならずも一致しなかった。青力節成(6)の80mM区の相対生長量が12.0で、40mM区の51.8に比べ著しく低かった他は、80mM区と40mM区の差は小さかった。一方、茎重は黒さんご(9)を除き、40mM区と80mM区では著しい差があり、80mM区は平均値で対照区の15%に過ぎなかった。また、根のNaCl添加処理による生育抑制は、葉身と茎の中間で、平均値でそれぞれ対照区の52.4と26.1%であった。処理による品種間変動(CV)も茎で最も大きかった。また、各器官の相対生長量間には有意な正の相関々係を認めた。

NaとClの両処理区における排除能^{3)*}を算出し、同表に併記した。NaとCl排除能は非常に類似した値を示し、吸収に際して両イオンが共役して体内に進入することがうかがわれる。また、排除能の品種変動が著しく小さいことが、イネ⁴⁾やアズキ⁵⁾と著しく異なっている。

各器官のNa含有率(me/100g)とCl含有率(me/100g)の関係を第1図に示した。40, 80mM両区の全ての器官を通して、一つの直線上に収斂し、NaとClは共役して体内を行動していることがうかがわれる。これは同じウリ科作物でも、カボチャやスイカ⁷⁾と著しく異なる点である。

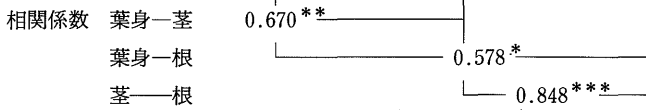
葉身の相対生長量と葉身のNa含有率の間の相関々係を第2図に示した。あきらかに両者の間には有意な相関々係は認められなかった。Cl含有率の間にも同様に有意な相関々係は認められなかった。

茎の相対生長量とCl含有率の間の関係を第3図に示した。40mM区では $r = -0.665$ という低い相関係数ながら有意な負の相関々係を示した。やや異常値に近い3番を除くと、 $r = -0.872$ という高い負の相関々係となった。一方、80mM区では本実験条件下では著しい生育障害を受けて枯死した試料があったりした為か、Cl含有率と相対生長量の間には有意な相関々係は認められなかった。相

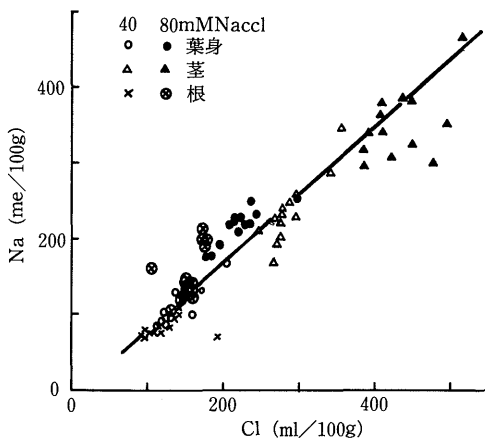
* $((a - b)/a) \times 100$ a: 水と等速で吸収したと仮定した場合のNaあるいはClの吸収量
b: 実際のNaあるいはCl吸収量

第1表 器官別生育量とNaあるいはCl排除能

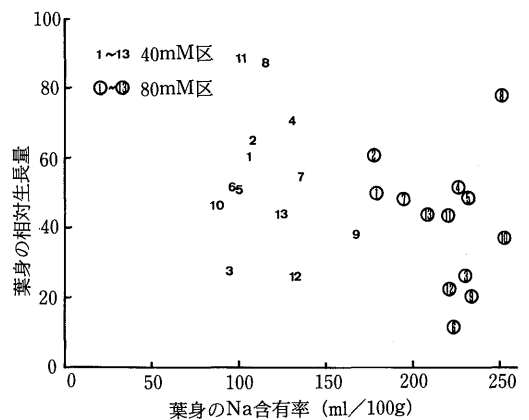
N 品種名	葉 身 重			茎 重			根 重			排 除 能				80mM区 葉身の 障害程度
	0	40	80	0	40	80	0	40	80	40	80	40	80	
	mg/本	指 数		mg/本	指 数		mg/本	指 数		Na排除能		Cl排除能		
1 さちかぜ	1016	60.7	50.3	353	60.6	11.9	233	66.5	32.1	90.6	93.6	89.5	94.1	少
2 南 進	883	65.3	61.4	322	68.6	31.1	230	70.3	33.1	90.5	91.2	89.9	92.2	中
3 北 進	1055	28.1	26.5	391	32.5	2.3	233	34.4	22.0	92.3	92.3	92.4	93.3	枯死
4 飛 竜	653	70.9	51.9	201	73.1	40.3	158	51.9	51.9	89.9	93.5	89.6	94.1	激
5 あおい節成	1099	51.1	49.7	416	64.4	14.4	214	68.7	23.3	92.3	91.2	89.5	91.7	激
6 青力節成	1350	51.8	12.0	462	36.8	0.0	365	52.3	12.1	91.4	92.7	90.2	93.9	中
7 おおとみ	983	55.0	48.5	276	50.4	6.2	217	77.4	24.0	89.9	93.8	89.4	94.7	中
8 たけぶえ	399	87.2	79.2	165	48.5	27.9	149	47.7	41.6	93.1	93.9	92.5	95.2	少
9 黒さんご	1286	38.3	20.4	511	15.7	15.3	252	27.3	9.5	93.4	89.2	87.9	92.0	枯死
10 近成ときわ	1079	46.7	37.6	426	60.1	19.2	211	48.3	18.0	91.1	90.5	89.2	92.0	激
11 地 這	612	89.2	44.4	255	71.4	14.1	184	49.2	19.8	90.2	94.5	87.2	94.5	枯死
12 美 緑	1395	26.2	22.3	499	11.8	4.8	268	34.7	28.3	92.7	94.2	89.1	94.5	激
13 新 緑	976	44.2	44.3	265	45.7	7.5	199	52.2	23.6	90.9	93.3	90.2	93.6	少
平均	934	55.0	42.2	349	49.2	15.0	224	52.4	26.1	91.4	92.6	89.7	93.5	
標準偏差	292	19.7	18.4	112	20.2	12.0	54.3	15.1	11.6	1.2	1.6	1.5	1.2	
CV (%)	31.3	35.7	43.6	32.2	41.0	79.8	24.2	28.8	44.3	1.3	1.8	1.7	1.3	



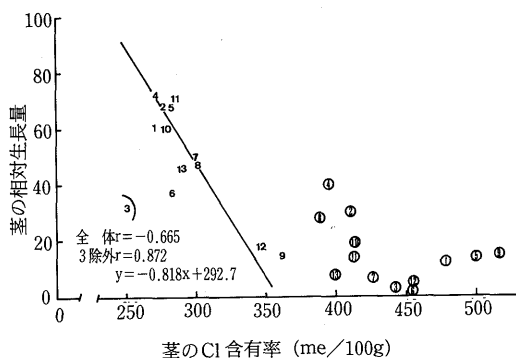
NaCl添加処理を施して7日間栽培した。* 5%水準で有意。** 1%水準で有意。*** 0.1%水準で有意。



第1図 キュウリの各器官中のNaとCl含有率の関係
13品種のキュウリをNaCl添加処理を施して7日間栽培した試料についての値。



第2図 葉身の相対生長量とNa含有率の関係
図中の番号は第1表に準ず。



第3図 茎の相対生長とCl含有率の関係

図中の番号は第1表に準ず。

対生長量とNa含有量の間にも、Clの場合と同様40mM区で有意な負の相関関係(全体: $r = -0.607$, 3 番除外: $r = -0.687$)を示した。

根の相対生長量とNaあるいはCl含有率の間には、これまで検討した他の作物と同様、有意な相関関係は認められなかった。

葉と茎のNaあるいはCl含有率(me/100g)と両イオンの排除能及びそれぞれの器官への分布割合との関係における一次相関係数を第2表に示した。イネ⁴⁾、アズキ⁵⁾とは異なり両イオンの両器官での含有率に及ぼす排除能の品種間差の影響は非常に小さく、いずれも有意な相関関係を示さなかった。この点はカボチャ⁶⁾と類似し、第1表に示した様に、両イオンの排除能にほとんど品種間差が認められなかったことからもうなずかれる所である。また、両イオンの各器官への分布割合と含有率の間関係をみると、葉身では40mM区で両イオンとも正の相関関係の存在が認められた。一方、茎については、40mM区で、Cl含有率とCl分布割合の間に負の相関関係が認められ、80mM区のNaでは正の相関関係が認められた。その他の組み合わせには有意な相関関係を認めなかった。

2) 生育に及ぼす等浸透圧異種添加材の影響

培養液の浸透圧を高めるためNaCl, KCl, CaCl₂とPEG-1540を添加し、キュウリの生育に及ぼすそれら添加資材の影響を検討した結果を第3表に示した。葉身と茎においては、NaClあるいはKCl添加区の生育抑制がCaCl₂あるいはPEG添加区のそれより小さかった。一方、根ではPEGの相対生育量の平均値が68.8と4処理間で最も高い値を示した。先に報告⁹⁾したと同様に、地上部ではPEG区が最も大きい生育阻害を受け、PEG区も浸透圧効果以外の害的效果が含まれている可能性が高い。各器官の相対生長

第2表 葉、茎におけるNaとCl含有率と排除能あるいは分布割合との関係(一次相関係数)

	葉 身		茎	
	40	80	40	80
Na(me/100g) ~Na排除能	0.229	-0.206	0.513	-0.066
Na(me/100g) ~Na分布割合	0.776**	0.295	-0.123	0.893***
Cl(me/100g) ~Cl排除能	-0.488	-0.098	-0.419	-0.456
Cl(me/100g) ~Cl分布割合	0.882***	-0.098	-0.665**	0.501

1%水準で有意, *0.01%水準で有意。

量に及ぼす添加資材間の関係をみるため、それぞれの一次相関係数を求めて併記した。葉身の生育に及ぼす使用資材間では、各品種間の反応に有意な相関関係は認められなかった。茎ではNa-K区間, Ca区-PEG区間に有意な高い正の相関関係が認められ、根ではNa区とCa区, K区とCa区以外の組み合わせで、低いながら有意な正の相関関係が認められた。また、NaCl, KCl, CaCl₂添加区の共通アニオンであるClの各器官の含有率と相対生長量の間には有意な相関関係は認められなかった。以上のように、浸透圧上昇効果のみを示す資材がみつからないため明確なことは云えないが、茎の生育は浸透圧上昇の影響を強く受けている可能性があると思われる。

考 察

本作物は比較的一枚の葉の面積が大きく、また葉肉が柔らかく、強く指ではさむだけで液がしみ出ることから、マメ類やイネの葉に比べあきらかに体内の自由水量が多いものと推定される。さらには、ガラス室内で水耕栽培している際、曇天が続いている時、雲間から太陽が顔を出した様な場合は、蒸散速度と吸水速度が調和せず、一過性的なしおれをみせる場合が多い。以上のような点から、吸水状態が敏感に生育に反応する作物とみうけられる。また、キュウリは耐塩性が弱い作物とされており²⁾、さらに耐浸透圧性も弱いとされている¹⁾ことからもうなずかれるところである。

葉身のNaあるいはCl含有率は葉身へのNa移行率と高い正の相関関係を示した(第2表)にもかかわらず、葉身の相対生長量とNaあるいはCl含有率の間に有意な相関関係を示さなかった理由は、かならずしもあきらかではないが、上述した様に、しおれ発生状況が体内のイオ

第3表 等浸透圧養液で栽培したキュウリの各器官の相対生長量

N 品 種 名	葉 身 の 乾 物 重					茎 の 乾 物 重					根 の 乾 物 重				
	対照	Na	K	Ca	PEG	対照	Na	K	Ca	PEG	対照	Na	K	Ca	PEG
	mg/本	———相対生長量———				mg/本	———相対生長量———				mg/本	———相対生長量———			
1 さちかぜ	1141	76.4	70.3	45.8	36.7	1326	19.0	36.6	28.7	18.7	381	21.8	49.1	37.2	35.7
2 南 進	1149	80.7	65.4	63.1	46.6	901	32.3	42.1	43.5	35.4	315	41.7	52.6	47.3	67.6
3 北 進	1129	82.0	67.0	63.3	53.0	921	27.5	45.9	41.3	31.3	296	45.0	64.9	45.2	61.9
4 たけぶえ	973	92.9	81.5	73.7	43.3	723	25.0	38.8	40.6	36.7	265	31.0	62.1	61.5	65.5
5 黒さんご	1364	73.4	67.7	56.5	38.0	1133	30.1	45.1	38.0	26.7	342	49.0	59.2	58.1	61.4
6 新ときわ	1157	64.7	85.1	59.6	43.0	1111	22.5	37.1	43.5	31.6	289	34.7	45.9	51.1	64.0
7 地 這	1043	67.9	99.2	49.3	45.0	915	39.4	45.5	35.0	26.2	269	41.1	64.0	43.7	68.4
8 美 緑	1178	103	61.1	60.5	41.8	956	32.7	45.1	38.8	30.1	357	43.1	59.5	48.7	63.1
9 新みどり	1384	82.5	57.5	47.6	46.0	1097	25.2	32.7	27.6	32.2	274	41.1	61.5	36.2	73.8
10 あ お い															
節成地這	1088	81.4	87.5	56.6	45.7	797	30.5	43.1	48.3	42.1	244	40.2	64.8	58.8	90.6
11 つばさ	1286	59.2	57.8	53.2	53.7	1167	26.6	39.3	46.8	46.3	260	51.6	62.5	63.1	105
平 均	1172	78.6	72.7	57.2	44.8	1004	58.3	41.0	39.3	32.5	299	40.0	58.7	50.1	68.8
標準偏差	127	12.5	13.6	8.1	5.3	178	5.6	4.4	6.7	7.6	44	8.3	6.6	9.3	17.5
一次相関係数															
Na区との相関		-0.20	0.46	-0.20			0.73**	0.20	0.09			0.54*	0.37	0.66**	
K区との相関			0.07	-0.20				0.40	-0.03				0.28	0.53*	
Ca区との相関				0.16					0.76***					0.59*	

4日間58mOsmol/kgとなるようNaCl (30mM), KCl (30), CaCl₂ (20), PEG—1540 (3.44%) 添加して栽培後, 157mOsmol/kgとなる様, NaCl (80mM), KCl (80), CaCl₂ (54), PEG (9.17%) を添加して10日間栽培した。
*5%水準で有意, **1%水準で有意, ***0.1%水準で有意。

ン濃度を反映していない結果かもしれない。

茎の相対生長量とClあるいはNa含有率(第3図)の間には, 40mM区においてのみ負の相関々係を認めた。特に, ClではCl含有率と茎へのCl分布割合の間には負の相関々係が認められたことから, 茎の生育抑制が強い品種程, みかけの含有率が高まっていることが示唆される。このことは, 生育抑制の結果のあらわれで, 含有率が高まった為, 生育抑制が起ったのではない可能性が強いことを示していると思われる。80mM区では処理が厳し過ぎたため, Na含有率と茎へのNa分布割合の間以外の組み合わせで, 有意な相関々係は得られなかった。

第1図に示した様に, NaとCl含有率の関係を両処理区の葉身, 茎, 根の三器官を一緒にしてみた場合, 全体として高い正の相関々係にあり, 各器官で全く異なる相関々係を示したカボチャ⁶⁾とは著しく異なった。このことは,

キュウリの場合, おおむねNaとClイオンは互に共役して行動していることを示すものと思われる。しかし, 個々の品種, 個々の器官では, 両イオンの関係は全体を対照とした場合と微妙に異なる場合があり, その結果第2表に示した様にNaあるいはCl含有率と排除能あるいは各器官への分布割合との関係において, 異なる結果を示す場合があった。即ち, 80mM区の茎は生育阻害が著しいため除外するとしても, 40mM区の茎において分布割合と含有率の間でClは負の有意な相関々係を示したが, Naでは有意な相関々係を示さなかった。

また, NaあるいはCl排除能はイネ⁷⁾やアズキ⁸⁾に比べ高い値を示した(第1表)が, 品種間差が小さく, NaあるいはClの吸収・移行に対する品種間差の反映に寄与する所は小さかった。

一般に, 吸収され難い高分子化合物を添加して, 浸透

圧上昇効果を検討することが行なわれ、その資材として PEG が用いられることが多い。しかし、PEG-1540 では、PEG 自体が吸収される可能性があり、塩類を用いた場合より、生育抑制効果が大きいことが多い⁸⁾。また、PEG-6000 では、先に述べたように⁵⁾、培地の粘性が高まり、普通の通気では根に充分酸素の供給が行なわれないためか、PEG-1540 の場合よりも水稻を除く多くの畑作物では、さらに大きな生育阻害を示す場合が多い。本実験は PEG-1540 を用いたが、やはり塩処理より生育阻害が大きかった(第 8 表)。培地の浸透圧上昇効果を検討した実験で用いたいずれの資材添加によっても葉身に害症状が発生した。葉縁部からのクロロシスから始まり、全体の葉色が淡くなり、葉のカップ状わん曲など類似した症状も多かったが、全体的には、表現は困難であるがその害症状は添加資材で異なった。特に、PEG 区では葉脈にそって透明な薄膜が浮き出、あたかも PEG が表出して来ている様にみえたが、検定確認はしていない。各品種に対する NaCl あるいは KCl 添加の生育阻害効果が、特に類似していること、そしてその効果が Cl 含有率とは関係がなかったことや、これまでの結果⁹⁾から推察し、キュウリの場合もカボチャと同じく、生育抑制には浸透圧効果が大きいものと考えられた。

また、NaCl 添加処理による品種間比較を別に 2 回行なっているが、その生育阻害順位は一定せず用いた品種で特に耐塩性が強いと判定される品種はなかった。これはキュウリの場合、市販種の多くが一代雑種であることから、同一品種内変動も大きい可能性があり、穀類など固定された品種を比較する場合の様に明瞭な結果が得られないのかもしれない。

要 約

キュウリの耐塩性の品種間差を NaCl 添加養液あるいは等浸透圧の NaCl, KCl, CaCl₂, PEG-1540 等添加養液で栽培し、各器官の生育を比較することで検討した。キュウリは耐塩性が弱く、少なくとも 40mM NaCl 以下の濃度で比較する必要がある。Na と Cl は共役し行動する如くであった。耐塩性の品種間差は、過剰の Na あるいは Cl イオン害に対する差異というより、培地浸透圧上昇による吸水阻害効果の差に起因する所が大きいと推定された。

文 献

- 1) 位田藤太郎：施設園芸の環境と土壌。成文堂光文社 東京 (1975) p 287
- 2) 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—551 (1968)
- 3) 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。北大農邦文紀要, 10 22—68 (1976)
- 4) 山内益夫：イネにおける耐塩性の品種間差の発現機構 耐塩性の品種間差とナトリウムの吸収・移行特性との関係 (2)。土肥誌, 60 210—219 (1989)
- 5) 山内益夫・須崎静香・湧島俊史・藤山英保：アズキにおける耐塩性の品種間差の発現機構 耐塩性の品種間差とナトリウムの吸収・移行特性との関係 (3)。土肥誌, 60 325—334 (1989)
- 6) YAMANOUCHI M., MATSUMOTO N., FUJIYAMA H., and NAGAI T., : 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. Aguri. Tottori Univ.*, 25 1—7
- 7) 山内益夫・松本法子・前田吉広・長井武雄：ウリ科作物における耐塩性とナトリウムの吸収・移行特性。鳥大農研報, 39 12—18 (1986)
- 8) 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)