数種蔬菜の生育段階と耐塩性

大 沢 孝 也

(大阪府立大学農学部)

T. OSAWA : Effect of the stage of growth on the salt tolerance of some vegetable crops

Summary

Chard, Japanese hornwort, pak-choi and spinach were grown in sand culture under glass, in order to investigate the effect of the stage of growth on the salt tolerance of these vegetable crops. Seeds of each vegetable were sown twice at an interval of about four weeks and were grown with HOAGLAND's No. 2 solution. The salinization was started when plants of 2nd sowing were at the stage of cotyledon and was continued for four weeks. HOAGLAND's solution of about 0.6 atmosphere osmotic concentration was used as the base nutrient solution(control), to which NaCl was added at 3 or 6 atmospheres osmotic concentration. Further, the osmotic concentration of the base nutrient solution was raised as high as that of these solutions containing NaCl, that is 3.6 or 6.6 atmospheres. (Tables 1, 2 and 3)

Tolerance of each vegetable to NaCl at different stage of growth was evaluated in terms of the osmotic concentration of the culture solution associated with 25 per cent decrease vs. control in the increase

in dry weight of tops during the period of the salinization treatment. Pak-choi and chard were considerably less tolerant at the early stage of growth (plants of 2nd sowing) than the later stage (plants of 1st sowing), while no marked difference of salt tolerance was observed in spinach and Japanese hornwort referring to the stage of growth. (Tables 4 to 7; Fig. 1)

On an equal osmotic basis, the NaCl treatment much more restricted the growth of chard than the concentrated base nutrient solution, irrespective of the stage of growth. From these results NaCl seems to be toxic to chard especially in the early stage of growth. (Fig. 1)

Pak-choi and chard showed the characteristics to regulate the excessive accumulation of Na or Cl in leaves at the later stage of growth, at which these vegetables were evaluated to be more tolerant to NaCl. (Table 8; Fig. 2)

著者はすでに、基本培養液に NaCl をはじめ各種塩類を加用した砂耕試験によつて、各種蔬菜の相対的耐塩性の評価を試みるとともに、塩害の機構ならびに耐塩性の特質について考察した^(8,4,5)。しかし、なお蔬菜の生育段階によつて耐塩性に差異を生ずるか否かは、検討を要する問題である。従来、作物の種々の生育段階に塩類処理を行ない生育収量におよぼす影響を調べた報告は若干みられる。しかし播種期を変えることによつて得られた生育段階を異にする供試植物に対して、同時に一定期間の塩類処理を行ない、生育段階と耐塩性の関係を検討したような報告はほとんど見当たらない。本報告は砂耕試験により、このような方法で数種類の葉菜の生育段階と耐塩性の関係を検討したものである。なお耐塩性の評価は処理期間中における地上部の乾物重増加量に基づく方法によつたため、主として栄養生長について検討することとした。また、既報⁽⁴⁾において述べたように、フダンソウはとくに生育初期に特異的な Cl 感受性を有するよ

うに思われるので、この点も検討した。

本研究を行なうにあつて有益な助言を賜つた東京大学杉山教授ならびに本学の今津教授に対し、謹んで感謝の意を表する。

I. 材料および方法

第1表に示すように、4種類の葉菜を供試し、いずれも約4週間間隔で2回にわたり砂耕ポットに播種し、

Table 1. Materials used and period of treatment (1964).

Vegetable crop	Variety	Date of sowing*	Period of treatment
Chard	—	I. Apr. 13 II. May 14	May 21-June 18
Japanese hornwort	Kansaikei-Shirokuki	I. Apr. 20 II. May 18	June 8-July 6
Pak-choi	Seppaku	I. Sept. 18 II. Oct. 16	Oct. 29-Nov. 24
Spinach	New Asia	I. Sept. 29 II. Oct. 28	Nov. 6-Dec. 3

* I=1st sowing; II=2nd sowing

本研究の要旨は園芸学会 1965 年度春季大会において発表 1966 年3月1日受理

HOAGLAND 液 (第2液) で栽培し, 第2回播種のもの (Ⅱ) が子葉の時期に第1回播種のもの (Ⅰ) と同時に塩類処理を開始し, 約4週間で処理を打ち切り収穫した。なお第1回播種のものは発芽が揃った時期に間引いて1ポット当たり 32 株とし, さらに処理開始時に 16 株とした。この処理開始時における, 第1回播種のものの生育状態は第2表に示すとおりである。第2回播種のものは発芽後1ポット当たり 32 株として処理を行なつた。

Table 2. Quantitative measurements of materials of 1st sowing at the start of salinization treatment.

Vegetable crop	Max. leaf length cm	Number of leaves per plant	Weight of tops per plant	
			Fr. weight g	Dry weight g
Chard	23.9	8.1	8.52	0.487
Japanese hornwort	24.0	4.7	3.18	0.279
Pak-choi	23.5	5.6	5.49	0.252
Spinach	17.5	5.3	1.38	0.105

砂耕は無加温のガラス室内で, 既報⁽⁵⁾と同様の装置を用いて行なつた。すなわち ミツパと ホウレンソウには 1/5000 a, また フダンソウと タイサイには 1/2000 a のワグネルポットを用い, 自動式下底灌漑法によつた。1区は3ポットずつとし, 大ポットについては3ポット当たり1個の貯液ビンに 15 l, 小ポットでは 10 l の培養液を入れた。灌漑は昼間 1~2 時間ごとに行なつた。

処理開始前の培養液, ならびに, 処理時の基本培養液 (標準区) としては, HOAGLAND 液 (第2液) を用いた。塩類処理は第3表に示すように約 0.6 気圧の浸透圧を有する基本培養液 (base nutrient solution, 以後 B.N. と略記する) に NaCl を3および6気圧の浸透圧濃度に加えた区, およびそれらと同等の浸透圧すなわち 3.6 および 6.6 気圧を示す, HOAGLAND 液の濃化区 (B.N. 濃化区) を設けた。以上の各区の名称は, 基本培養液区は B.N. 区とし, NaCl 加用区は NaCl の浸透圧値を附して, たとえば 3 気圧の NaCl を加用した区は 3 NaCl 区とよび, それと同等の浸透圧, すなわち 3.6 気圧を有する B.N. 濃化区は 3 B.N. 区と呼ぶこととする。

培養液の作成や, 蒸散, 蒸発による減量分の補給にはイオン交換樹脂による脱塩水を用い, 培養液の pH は 2~3 日ごとに B.T.B. 指示薬などを用いて比色測定し, 0.5 N H₂SO₄ あるいは 0.5 N NaOH によつて 6.0~6.5 に調節した。培養液の更新は2週間ごとに行なつた。

収穫した植物体は生育調査ご風乾し, さらに 70°C の通風乾燥機中で乾燥して乾物重を求めた。しかし処理期間中における地上部の乾物重増加量に基づいて, 生育

Table 3. Treatment and culture solution.

Treatment	Culture solution	Osmotic concentration (atm)
B. N. *	HOAGLAND's No. 2 solution	0.6
3 NaCl	HOAGLAND's No. 2 solution + 3 atm NaCl (72 me/l)	3.6
6 NaCl	HOAGLAND's No. 2 solution + 6 atm NaCl (147 me/l)	6.6
3 B. N.	HOAGLAND's No. 2 solution × 6.0 conc.	3.6
6 B. N.	HOAGLAND's No. 2 solution × 11.6 conc.	6.6

* Base nutrient solution, control.

段階を異にする場合の耐塩性を比較検討した。なお地上部の乾物試料は粉碎保存して主要無機要素の分析に供したが, 第1回播種のものについては, 処理開始時までの展開葉に相当するものを外葉とし, それ以後の処理期間中に展開ないし分化したものを内葉として分析した。

II. 実験結果

1. 生育段階と耐塩性

本実験における塩類処理は, 第1回播種のものの開始時は第2表に示すように生育がかなり進みその後急速に生長する時期にあたつており, また第2回播種のものでは発芽後未だ生長が緩慢な時期に相当する。

収穫時における各種供試蔬菜の生育状態は第4~7表に示すとおりである。各蔬菜とも第2回播種 (Ⅱシリーズ) のものでは全く枯葉を生じなかつたが, 第1回播種 (Ⅰシリーズ) のものでは枯葉を生じており, B. N. 区 (標準区) に比して高濃度処理区が枯葉が多く, また等浸透圧濃度では B. N. 濃化区よりも NaCl 区の方が概して多い。地上部収量は塩類処理によつておおむね低下するが, 乾物率は処理濃度の増大につれて高まる傾向があり, また, 等浸透圧濃度で比較すると NaCl 区よりも B. N. 濃化区の方が高い。第1図は各種蔬菜について, 処理期間中の株当たりの地上部乾物重増加量 (枯葉を除く) に基づいて, 生育段階と耐塩性の関係を検討するために示したものである。第1図により, まず NaCl 処理の場合について, 各蔬菜の乾物重増加量が標準区の 75% に減少する場合の培養液濃度によつて耐塩性を比較してみると, タイサイおよびフダンソウでは生育初期 (Ⅱ) の方が後期 (Ⅰ) よりも耐塩性がかかなり弱い, ホウレンソウおよびミツパでは生育段階による著しい差異は認められない。

次に B. N. 濃化処理の場合について同様に検討してみると, フダンソウでは生育初期の方が耐塩性が弱い, 他の3種蔬菜では生育段階による差異は明らかでない。なおタイサイ, フダンソウ, およびホウレンソウで

Table 4. Effect of salinization treatment on the growth and yield of pak-choi at different stage of growth.

Treatment	Max. leaf length	Number of leaves per plant		Percentage of dead leaves*	Weight of tops per plant		Percentage of dry weight
		Living	Dead		Fr. wt.	Dry. wt.	
I B. N.	44.3	7.7	1.0	11.6	58.36	2.114	3.6
I 3 NaCl	39.3	8.5	1.9	18.6	47.79	1.955	4.1
I 6 NaCl	31.5	7.3	2.1	22.3	29.38	1.644	5.6
I 3 B. N.	38.3	8.8	1.7	15.8	52.04	2.534	4.9
I 6 B. N.	29.2	7.4	2.5	24.9	19.50	1.420	7.3
II B. N.	13.4	3.8	0	0	1.58	0.077	4.9
II 3 NaCl	10.4	3.5	0	0	1.11	0.060	5.4
II 6 NaCl	7.4	3.0	0	0	0.61	0.038	6.3
II 3 B. N.	11.3	4.0	0	0	1.05	0.068	6.5
II 6 B. N.	7.8	3.3	0	0	0.57	0.047	8.2

* Number of dead leaves/Total number of living and dead leaves.

Table 5. Effect of salinization treatment on the growth and yield of chard at different stage of growth.

Treatment	Max. leaf length	Number of leaves per plant		Percentage of dead leaves	Weight of tops per plant		Percentage of dry weight
		Living	Dead		Fr. wt.	Dry. wt.	
I B. N.	41.9	12.4	2.4	16.1	57.39	4.067	7.1
I 3 NaCl	39.1	12.3	4.1	25.0	53.96	3.464	6.4
I 6 NaCl	29.7	11.0	4.0	26.9	27.83	2.171	7.8
I 3 B. N.	37.9	13.4	2.8	17.1	52.77	4.313	8.2
I 6 B. N.	27.8	12.7	2.6	16.8	30.67	3.167	10.3
II B. N.	25.6	6.7	0	0	5.66	0.295	5.2
II 3 NaCl	15.1	5.8	0	0	2.51	0.157	6.2
II 6 NaCl	8.6	4.8	0	0	0.83	0.060	7.2
II 3 B. N.	19.3	6.1	0	0	3.75	0.262	7.0
II 6 B. N.	12.0	6.1	0	0	1.52	0.152	10.0

Table 6. Effect of salinization treatment on the growth and yield of spinach at different stage of growth.

Treatment	Max. leaf length	Number of leaves per plant		Percentage of dead leaves	Weight of tops per plant		Percentage of dry weight
		Living	Dead		Fr. wt.	Dry wt.	
I B. N.	26.1	7.8	2.3	23.0	6.70	0.586	8.8
I 3 NaCl	22.6	7.0	2.6	26.9	5.83	0.512	8.8
I 6 NaCl	20.9	7.1	2.8	28.4	4.79	0.440	9.2
I 3 B. N.	24.9	7.9	2.1	20.8	6.36	0.659	10.4
I 6 B. N.	17.4	7.0	2.6	27.4	3.20	0.384	12.0
II B. N.	9.3	4.1	0	0	0.67	0.055	8.2
II 3 NaCl	10.1	4.0	0	0	0.62	0.049	7.9
II 6 NaCl	8.1	3.9	0	0	0.46	0.038	8.4
II 3 B. N.	8.6	4.1	0	0	0.56	0.051	9.2
II 6 B. N.	6.8	3.9	0	0	0.32	0.035	11.0

は、第1回播種の3 B. N. 区 (HOAGLAND 液の6倍濃度) は B. N. 区をしのぐ乾物重を示しているが、これは生育が旺盛な時期において養分吸収能力が増大するためによるものか、あるいは他の原因によるものかは不明である。なおこれら3種蔬菜の新鮮重 (第4~6表参照) についてみると、このような現象は認められない。

ここで NaCl 処理と B. N. 濃化処理とを比較してみると、フダンソウでは生育段階にかかわらず NaCl 区の方が著しく生育が劣っている。

2. 植物体の分析結果

収穫した植物体の地上部材料について主要無機要素の分析を行なったが、その中でとくに生育段階と耐塩性の

Table 7. Effect of salinization treatment on the growth and yield of Japanese hornwort at different stage of growth.

Treatment	Max. leaf length	Number of leaves per plant		Percentage of dead leaves	Weight of tops per plant		Percentage of dry weight
		Living	Dead		Fr. wt.	Dry wt.	
I B. N.	55.3	12.0	0.9	7.0	18.39	1.866	10.1
I 3 NaCl	34.8	11.5	0.9	7.4	8.69	1.023	11.8
I 6 NaCl	24.8	5.7	2.9	34.2	3.27	0.411	12.6
I 3 B. N.	34.3	10.7	1.1	9.5	7.67	1.044	13.6
I 6 B. N.	—	—	—	—	—	—	—
II B. N.	19.4	3.7	0	0	1.45	0.119	8.2
II 3 NaCl	13.6	3.1	0	0	0.60	0.069	11.5
II 6 NaCl	5.3	2.0	0	0	0.15	0.021	14.5
II 3 B. N.	12.1	3.1	0	0	0.52	0.064	12.3
II 6 B. N.	—	—	—	—	—	—	—

Fig. 1. Effect of the stage of growth on the salt tolerance of vegetable crops.

問題に関して興味ある関連の認められた Na および Cl について、第2図に示す。

第2図によつて、NaCl 処理濃度の増大に伴う Na, Cl 両イオンの集積状況をみると、ハウレンソウおよびミツバではほぼ直線的に増加している。またタイサイおよびフダンソウでは生育初期においてはほぼ直線的な増加を示しているのに対して、より耐塩性の強い後期では

高濃度処理になるにつれて集積がゆるやかになり、換言すれば過剰な集積を制御するような特性を示している。

なお3気圧あるいは6気圧のNaCl加用処理区のそれぞれにおける葉中 Na, Cl 含量と耐塩性との間には明りような関連が認められないが、第1, 第2図から、NaCl 処理期間中の乾物重増加量が標準区に比べて25%減をきたす処理濃度に対応する葉中 Na, Cl 含量をまとめた

Fig. 2. Accumulation of sodium and chlorine in leaves of vegetable crops grown in culture solution containing sodium chloride.

第8表についてみると、一般に耐塩性の強い蔬菜、あるいは生育段階の場合において集積が大きい。このことから、Na, Cl 両イオンを積極的に吸収し、かつ原形質が両イオンの害作用に抵抗性を有する特性が、上述の過剰な集積を制御し、耐塩性を示すものと思われる。

III. 考 察

本実験では4種類の蔬菜を、約4週間の間隔において2回播種し、発芽後未だ生長が緩慢な生育初期の段階と、

急速に生長する段階の供試植物に対して、同時に一定期間の塩類処理を行ない、これらの生育段階と耐塩性の関係を検討したわけであるが、NaCl 処理の結果についてみると、ホウレンソウやミツバでは生育段階により耐塩性に著しい差異はないが、タイサイとフダンソウ、とくに後者では、生育初期の方がかなり弱かった。

一般に過剰塩類による植物の生育阻害は、培地の浸透圧の高まりによる吸水阻害が1次的原因をなし、必須要

Table 8. Osmotic concentration of the culture solution associated with 25 per cent decrease vs. control in the increase in dry weight during the treatment, and accumulation of sodium and chlorine (me/100 g dry weight) in leaves of vegetable crops at that concentration.

Vegetable crop	2nd sowing (II)			1st sowing (I)				
	Osmotic concentration	Na	Cl	Osmotic concentration	Na		Cl	
		Tops	Tops		Outer leaves	Inner leaves	Outer leaves	Inner leaves
Pak-choi	atm	me	me	atm	me	me	me	me
	3.9	276	132	6.5	325	292	185	151
Chard	2.2	150	62	4.3	376	220	211	146
Spinach	5.9	224	160	5.5	240	138	137	100
Japanese hornwort	2.4	28	44	2.0	18	14	37	27

素の吸収阻害あるいは過剰イオンの直接的害作用は2次的のものと考えられる^(1,4,5)。したがって耐塩性には、これらの種々の角度から、検討を加える必要がある。一方、耐塩性を塩生植物の特質から理解しようとした試みは多く、たとえば ILJIN⁽²⁾ は塩生植物の特質として Na の効果を強調し、1) 培地の浸透圧の増大に対抗して組織汁液中の浸透圧を増大しうる能力、2) 組織汁液中にかなりの量の塩類を集積し、またその集積を調節しうる能力、3) 細胞液中の Na 塩の集積による有害作用に抵抗する特性を有する原形質、の3点をあげている。

著者はさきに 19 種類の蔬菜の耐塩性について検討した結果⁽³⁾、耐塩性の強い蔬菜について認められた特質として、1) Na の葉中集積能力が大きく、また蔬菜によつては Na や Cl の過剰な集積を制御すること、2) 葉中 K 集積能力が概して大きく、葉中 Na+K 含量が明らかに高いこと、などをあげた。

生育段階と耐塩性の関係を検討した今回の実験結果からは、とくに Na および Cl の葉中集積と耐 NaCl 性との間に興味ある関連が認められた。すなわちタイサイやフダンソウでは、生育初期においては Na, Cl 両要素の含量が処理濃度と比例してほぼ直線的に増加しているのに対して、耐 NaCl 性のより強い後期では処理濃度が高くなるにつれて、両要素の集積がゆるやかになっており、換言すれば両要素の過剰な集積を制御するような特性を示した。このような現象は、前述のように耐塩性の強い蔬菜の一特性として既に認めたところであるが⁽³⁾、同様の現象が、同一蔬菜において生育段階により耐塩性に差のある場合についても認められることは興味深い。しかしながら、同一濃度処理区における葉中の Na や Cl の含量と耐塩性との間には関連が認められなかつた。なお既報⁽³⁾において、異種蔬菜間で比較した場合、葉中 Na, K, Na+K 含量、あるいは NaCl 処理に伴う K, Ca, Mg の含量変化などは、それぞれ耐塩性と関連が認められたが、今回は供試蔬菜が 4 種類にすぎないためか必ずしも明らかでなく、また同一蔬菜における生育段階と耐塩性とに関しても認められなかつた。

次にフダンソウでは NaCl による特異的な害があり、とくに生育初期において顕著なことが認められたが、これは既報⁽⁴⁾の成績を参照して、一応 Cl^- イオンによる害作用のように思われる。なおフダンソウの近縁植物であるテンサイも、発芽時に過剰塩類に敏感なことが知られている⁽¹⁾。これらの植物は発芽時ないしは生育初期において、とくに塩化物に対して敏感なもののようで、実際の栽培に当つて注意を要する問題と思われる。

IV. 摘 要

蔬菜の生育段階と耐塩性の関係を検討するため、無加温のガラス室内で砂耕試験を行なつた。フダンソウ、ミツバ、タイサイ、およびハウレンソウを、いずれも約 4 週間の間隔をおき 2 回にわたつて播種し、HOAGLAND 液で栽培し、2 回目に播種したものが子葉の時期に、第 1 回播種のものと同時に、塩類処理を開始し、処理後約 4 週間で収穫した。処理は 0.6 気圧の浸透圧を有する HOAGLAND 液を基本培養液 (B. N., 標準区) とし、NaCl を 3 および 6 気圧の浸透圧濃度に加えた区のほかに、それらと同等の浸透圧すなわち 3.6 および 6.6 気圧を示す B. N. 濃化区を設けた。

1. 処理期間中の地上部の乾物重増加量に基づいて耐 NaCl 性を検討した結果、ハウレンソウおよびミツバでは、生育段階により耐塩性に著しい差異はなかつたが、タイサイおよびフダンソウ、とくに後者では、生育初期 (第 2 回播種) の方がかなり弱かつた。

2. フダンソウでは生育段階にかかわらず、NaCl 区の生育は等浸透圧の B. N. 濃化区のそれよりも著しく劣つた。すなわちフダンソウでは NaCl による特異的な害作用があり、とくに生育初期において顕著なことが認められた。

3. 葉中の無機要素の分析結果については、とくに、Na および Cl の集積と耐 NaCl 性との間に興味ある関連が認められた。すなわちタイサイおよびフダンソウでは、耐 NaCl 性のより強い生育後期において、両要素の過剰集積を制御するような特性が認められた。

引 用 文 献

1. BERNSTEIN, L. and H. E. HAYWARD. 1958. Physiology of salt tolerance. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 9: 25~46.
2. ILJIN, W. S. 1922. Physiologischer Pflanzenschutz gegen schädliche Wirkung von Salzen. *Biochem. Zeits.* 132: 526~540. (cited from HAYWARD, H. E. and C. H. WADLEIGH. 1949. Plant growth on saline and alkali soils. *Adv. in Agron.* 1: 1~38.
3. 大沢孝也. 1961. 砂耕による蔬菜の耐塩性に関する研究 (第 4 報) 特に無機栄養より見た蔬菜の相対的耐塩性と塩害について. *園学雑.* 30 (3): 241~252.
4. ————. 1963. 蔬菜の耐塩性に関する浸透圧の作用とイオンの特異的作用. *園学雑.* 32 (3): 211~223.
5. ————. 1965. 蔬菜の耐塩性に関する研究、とくに無機栄養に関して. *大阪府立大学紀要・農学, 生物学.* 16: 13~57.