

野菜類の耐塩性に関する研究

I. 発芽試験

松原幸子・田坂嘉浩

(蔬菜園芸学研究室)

Received July 1, 1987

Studies on Salt Tolerance of Vegetables

I. Germination Test

Sachiko MATSUBARA and Yoshihiro TASAKA

(Laboratory of Olericulture)

For estimating quickly the level of the salt tolerance that is shown in the cultivars of vegetables, germination ratio and lengths of hypocotyl and root were studied. Seeds of 21 cultivars of seven families were sown on Petri dishes and applied 0, 2,500, 5,000 and 10,000 mg/l of NaCl aqueous solution, and incubated at 15, 20, 25 or 30°C depending on the vegetable species. Root length showed the highest sensitivity when the concentrations of NaCl were high, as compared with hypocotyl length and germination ratio. However, these responses were almost similar. For the root response to the NaCl concentrations, vegetables used could be divided into three categories. In the insensitive group which included spinach (cv. Banchu Pioneer), Chinese mustard, *Bressica juncea*, Japanese radishes, Chinese cabbage, *B. campestris* cv. Komatsuna, edible burdock, cucumber and carrot, were decreased 50% root length, when 10,000 mg/l NaCl was applied. A group of vegetables, spinach (cv. Kuroba Minsterland), garland, watermelon, eggplant, welsh onion and asparagus, reacted with 5,000 mg/l NaCl, showing semi-sensitivity. Lettuce (2 cvs.), radish and tomato would be grouped into the sensitive group, for they reacted with 2,500 mg/l NaCl.

緒 言

年々2%と推定される世界の人口増加に対応して重要になる食糧生産もほぼ年に2%の増加が見込まれている。その内の20%は新しい土地の開発によるものであり、他の80%が生産技術の向上によるものである。しかし栽培適地は既に耕作されるか、都市化しており、今後利用しなければならぬ土地の利用率は余り高くない。これらの土地の中には高温で降水量の少ない地帯や⁷⁾、海水の影響をうける地帯があり、NaCl, Na₂SO₄, MgCl₂, CaCl₂などの塩の害作用が問題となってくる。特に日本では干拓地、砂丘地、海岸地帯が多く、海水による塩類障害が問題になる。これらの地帯が園芸の分野に占める面積こそ少ないが、重要な都市近郊園芸地や促成栽培地が多く含まれる。特に岡山県には児島湾や笠岡湾干拓地があり、特に後者はまだ造成されたばかりで生産を開始するには多くの問題をかかえている。こういった土地での今後の野菜栽培を考える上で適作物を検計するため一連の実験を行った。

一般に過剰塩類に基づく植物の生育障害の原因は、培地の浸透圧の作用とイオンの特異的作用に分けられる。後者はさらに過剰イオンによる栄養的不均衡が必須要素の吸収に及ぼす栄

養的作用と、過剰イオンの直接的な害作用に分けられるが、浸透圧の作用が一次的原因をなすと考えられている^{1,6)}。海水中には Na^+ 、 Mg^{++} 、 Ca^{++} 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{--} 、 HCO_3^- などのイオンを含むが、圧倒的に多い Na^+ と Cl^- を除けば Mg^{++} 、 Ca^{++} 、 K^+ 、 SO_4^{--} などの必須要素の濃度は、培養液と著るしくかけはなれた値ではない。また Sr^{++} 、 HCO_3^- 、 Br^- 、 BO_3^{--} などは植物に有毒な濃度とは考えられない。以上の事から、実際に海水の塩害条件下で培地の栄養的不均衡をきたす過剰塩類は、主として NaCl であると考えてよく、海水による野菜の塩害問題の検討は等透圧の NaCl で代用する実験によってなしうると考えられる。本実験においては NaCl に対し敏感に反応する、又耐性のある、指標野菜を見出すこと、および各野菜の耐性程度を短期間に検討する可能性をみるため、発芽試験を行なった。野菜に関しては多くの研究報告があるが^{3,5,7)}、種類によっては感受性は必ずしも一致していないため、各種の材料について検討した。

材 料 と 方 法

材料として以下の7科21品種の野菜種子を供試した。

アブラナ科：赤丸二十日大根(1)、阿波晩生大根(2)、国富大根(3)、愛知白菜(4)、小松菜(5)、雪白体菜(6)、縮緬大葉高菜(7)

キク科：レタス(グレートレックス(8)・オリンピア(9))、大葉新菊(10)、滝野川大長ゴボウ(11)

アカザ科：ハウレンソウ(黒葉ミンスターランド(12)・晩抽パイオニア(13))

セリ科：新黒田五寸人参(14)、クレソン(15)

ウリ科：美縞西瓜(16)、光3号P型胡瓜(17)

ナス科：強力米寿トマト(18)、千両ナス(19)

ユリ科：メリーワシントン500Wアスパラガス(20)、浅黄系九条葱(21)である。

11 cm 径のシャーレにろ紙を1枚しき、オートクレーブで殺菌後、各試験液を7 ml ずつ入れて、シャーレごとに50又は25粒播種した。 NaCl 処理は、0、2,500、5,000、10,000 mg/l の4濃度水溶液区とし、2回反復した。16時間日長下で高温区(20、25又は30°C)と低温区(15°C)の2区を設け、発芽率の高い方をとりあげた。高濃度で発芽遅延がみられたので、高濃度区では発芽しきるまで毎日発芽率を調べた。発芽試験終了時に各区平均的な10個体の胚軸長、根長を測定した。ハウレンソウのみ発芽試験開始前日、処理液に1晩つけた後シャーレに播種した。

結 果

発芽のために適した温度は種類により異なり、ハウレンソウ、レタス、ネギ、シュンギクでは15°C、ナス、トマトは30°C、他は25°Cで良好であった。発芽率をみると種類によりいくつかのグループに分けられた。第1のグループとして2,500 mg/l 区で最も発芽がよく、1% NaCl までほとんど影響のみられないものとしてハウレンソウ2品種があった(Fig. 1)。第2のグループとして、1% でやや発芽の遅延がみられたものの最終的にはほとんど NaCl の影響がみられなかった体菜、大根、小松菜、白菜(Fig. 2)といったアブラナ科野菜およびレタスがあった。第3のグループは1% NaCl で抑制のみられたもので、弱い抑制はキュウリで、強い抑制はゴボウとニンジンでみられた。第4のグループは濃度上昇と共に発芽抑制の強くなるもので、高菜、二十日大根、シュンギク、ネギ(Fig. 3) (Photo 1)があった。第5は1% NaCl では全く発芽しないグループで、スイカ、ナス、アスパラガス(Fig. 4)、トマト、

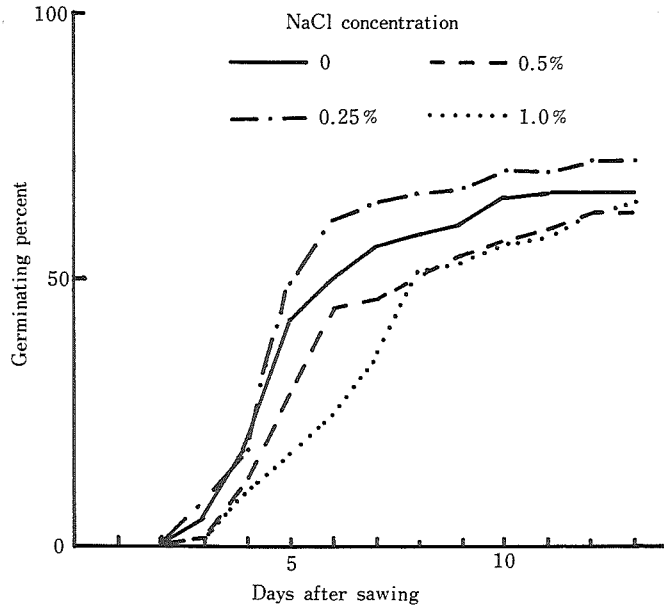


Fig. 1 Seed germination of spinach cv. "Minsterland" under three levels of the NaCl concentration.

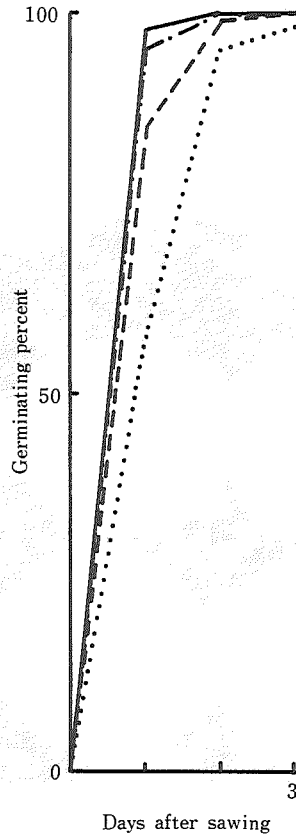


Fig. 2 Seed germination of Chinese cabbage cv. "Aichiwase" under three levels of the NaCl concentration.

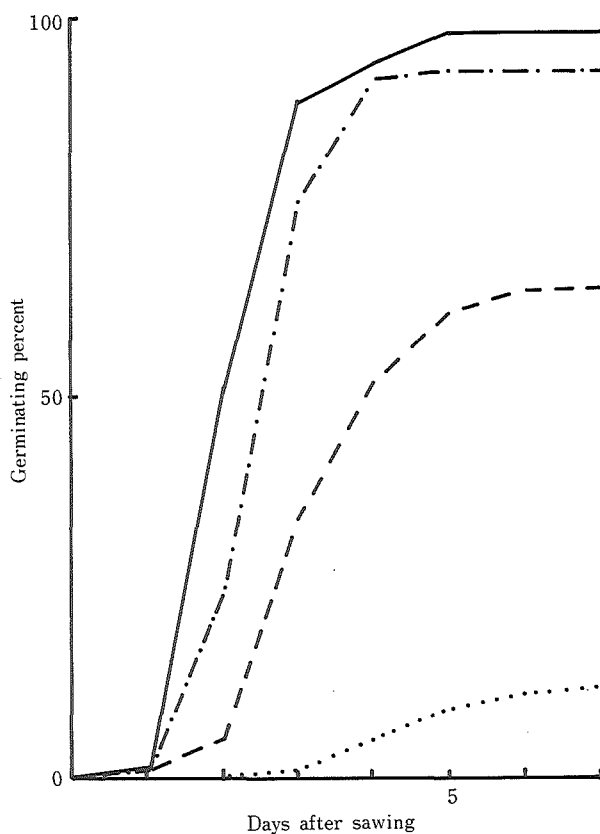


Fig. 3 Seed germination of welsh onion cv. "Asagikei Kujo" under three levels of the NaCl concentration.

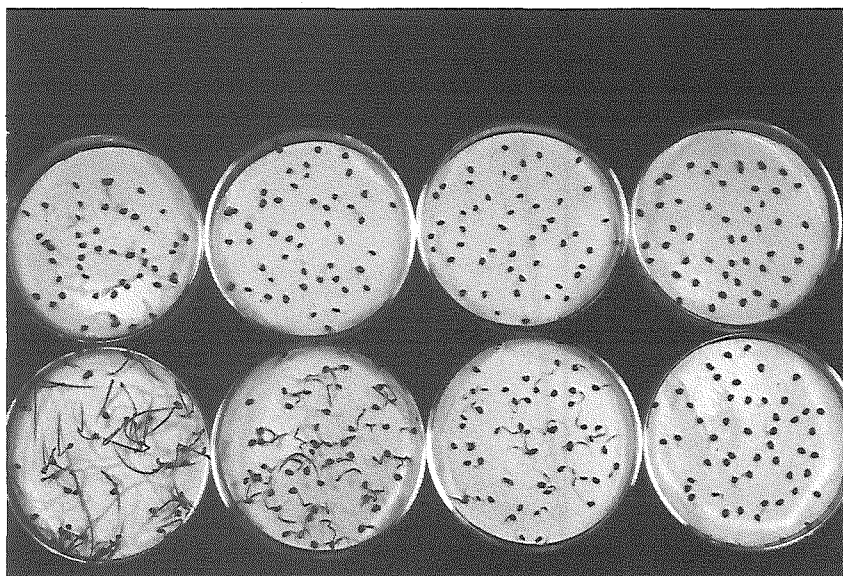


Photo. 1 Seed germination of welsh onion cv. "Asagikei Kujo" under three levels of the NaCl concentration at 15°C (upper row) and 25°C (lower row). Left to right, 0, 2,500, 5,000 and 10,000 mg/l NaCl.

Table 1 Hypocotyl length of the vegetables germinated under three levels of the NaCl concentrations at optimum temperature

Vegetables	Concentration of NaCl (mg/l)			Optimum Temperature (°C)
	0	2,500	5,000	
	(mm)	(mm)	(mm)	
Spinach (12)*	20.4 (100)**	24.0 (117.4)	14.0 (68.6)	15
Spinach (13)	18.6 (100)	17.0 (91.4)	13.1 (70.4)	15
Chinese mustard (6)	13.5 (100)	14.0 (103.7)	8.8 (65.2)	25
<i>Brassica juncea</i> (7)	9.6 (100)	10.8 (112.5)	8.3 (86.5)	25
Japanese radish (2)	26.1 (100)	25.0 (95.8)	22.6 (86.6)	25
Chinese cabbage (4)	12.5 (100)	13.6 (108.8)	9.6 (76.8)	25
<i>B. campestris</i> cv. Komatsuna (5)	9.3 (100)	9.6 (103.2)	6.0 (64.5)	25
Japanese radish (3)	20.6 (100)	17.6 (84.6)	13.8 (66.3)	25
Edible burdock (11)	7.7 (100)	7.6 (98.7)	5.5 (71.4)	25
Cucumber (17)	12.5 (100)	11.8 (94.4)	8.3 (66.4)	25
Radish (1)	20.0 (100)	14.1 (70.5)	9.7 (48.5)	25
Carrot (14)	15.9 (100)	17.6 (110.7)	12.9 (81.0)	25
Lettuce (8)	4.6 (100)	3.6 (78.3)	3.1 (67.4)	20
Lettuce (9)	10.2 (100)	6.6 (64.7)	4.6 (45.1)	20
Garland (10)	10.5 (100)	12.1 (115.2)	10.3 (98.1)	15
Cress (15)	12.9 (100)	8.9 (69.0)	4.3 (33.3)	25
Watermelon (16)	4.7 (100)	2.5 (53.2)	1.5 (31.9)	25
Eggplant (19)	8.6 (100)	8.9 (103.5)	3.3 (38.4)	30
Asparagus (20)	9.4 (100)	1.7 (18.1)	0.3 (3.2)	25
Welsh onion (21)	81.0 (100)	49.2 (60.7)	13.5 (16.7)	25
Tomato (18)	16.4 (100)	8.3 (50.6)	0.0	30

* Cultivars. (1) Akamaru (2) Awabansei (3) Kunitomi (4) Aichi (5) Komatsuna (6) Seppaku (7) Chirimen Ooba (8) Great Lakes 659 (9) Olympia (10) Ooba Shingiku (11) Takinogawa Onaga (12) Kuroba Minsterland (13) Banchu Pioneer (14) Shinkuroda Gosun (15) Cress (16) Mishima (17) Hikari 3-p (18) Kyoryoku Beiju (19) Senryo (20) Mary Washington 500 W (21) Asagikei Kujo

** Percentage against control measure, is shown in parentheses.

Table 2 Root length of the vegetables germinated under three levels of the NaCl concentration at optimum temperature

Vegetables	Concentration of NaCl (mg/l)				Optimum Temperature (°C)
	0	2,500	5,000	10,000	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Spinach (12)*	58.7 (100)**	49.4 (84.2)	27.4 (46.7)	20.8 (35.4)	15
Spinach (13)	44.4 (100)	39.3 (88.5)	26.3 (59.2)	19.3 (43.5)	15
Chinese mustard (6)	41.1 (100)	47.9 (116.5)	24.8 (60.3)	17.1 (41.6)	25
<i>Brassica juncea</i> (7)	26.5 (100)	47.0 (177.4)	37.3 (140.8)	10.8 (40.8)	25
Japanese radish (2)	56.1 (100)	42.4 (75.6)	34.6 (61.8)	21.0 (37.4)	25
Chinese cabbage (4)	27.9 (100)	16.6 (59.5)	17.4 (62.4)	10.2 (36.6)	25
<i>B. campestris</i> cv. Komatsuna (5)	33.0 (100)	26.8 (81.2)	17.1 (51.8)	11.9 (36.1)	25
Japanese radish (3)	54.2 (100)	43.8 (80.8)	30.2 (56.8)	15.4 (31.5)	25
Edible burdock (11)	40.6 (100)	34.0 (83.7)	27.4 (67.5)	5.9 (14.5)	25
Cucumber (17)	51.2 (100)	46.9 (91.6)	28.9 (56.4)	7.8 (15.2)	25
Radish (1)	68.8 (100)	33.5 (48.7)	18.7 (27.2)	9.4 (13.7)	25
Carrot (14)	52.6 (100)	49.3 (93.7)	32.4 (61.6)	3.9 (7.4)	25
Lettuce (8)	32.9 (100)	14.0 (42.6)	9.5 (28.9)	1.6 (4.9)	15
Lettuce (9)	40.7 (100)	17.4 (42.8)	11.9 (29.2)	1.9 (4.7)	15
Garland (10)	31.1 (100)	32.0 (102.9)	13.5 (43.4)	1.4 (4.5)	15
Cress (15)	16.7 (100)	11.1 (66.5)	5.6 (33.5)	0.0	25
Watermelon (16)	36.9 (100)	20.5 (55.6)	1.5 (28.5)	0.0	25
Eggplant (19)	34.5 (100)	26.7 (77.4)	8.0 (23.2)	0.0	30
Asparagus (20)	23.8 (100)	12.5 (52.5)	4.8 (20.2)	1.4 (5.4)	25
Welsh onion (21)	26.0 (100)	19.6 (75.4)	4.2 (16.2)	0.0	25
Tomato (18)	62.9 (100)	15.9 (25.3)	0.0	0.0	30

* See Table 1.

** Percentage against control measure, is shown in parentheses.

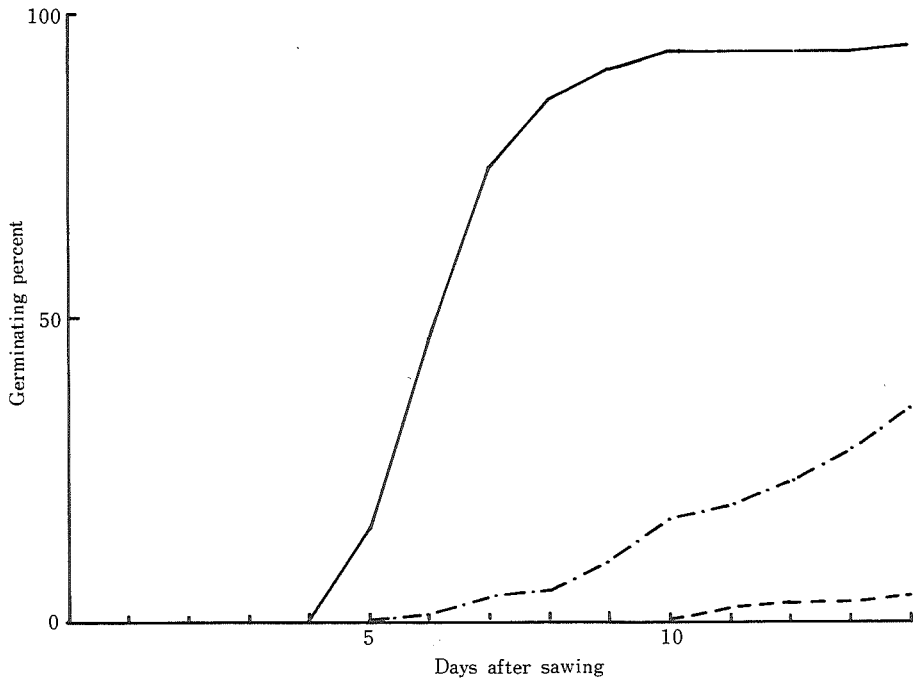


Fig. 4 Seed germination of asparagus cv. "Mary Washington 500 W" under three levels of the NaCl concentration.

クレソンがあった。次に発芽試験終了時の胚軸長 (Table 1) と根長 (Table 2) をみてる。先ず胚軸長であるが、対照の 50% 以下になる濃度で分類してみると、4 つに分類できる。1% NaCl 以上で 50% になるものとしてハウレンソウ(13)、白菜、小松菜がある。1%~0.5% NaCl で 50% になるものにハウレンソウ(12)、体菜、高菜、レタス(8)、シュンギク、大根やさらに 1% から 0.5% で減少率の高いものとしてゴボウ、キュウリ、ニンジンがある。5,000~2,500 mg/l で 50% になるものに、レタス(9)、二十日大根、クレソン、スイカ、ナス、ネギがあり、最も影響をうけやすい 2,500mg/l で 50% 以下になるものに、アスパラガス、トマトがある。一方根長は草丈に比較してより敏感に反応して強い抑制を示すが、発芽率や草丈と同じような傾向を示す。根長では一番耐塩性の強いグループでも 1% NaCl で 50% 以下になった。1~0.5% NaCl で 50% の抑制を示すものは、ハウレンソウ(13)、体菜、高菜、大根、白菜、小松菜及び減少率の高いものとして胚軸長での場合と全く同じゴボウ、キュウリ、ニンジンがふくまれる。5,000~2,500mg/l で 50% になるものにはハウレンソウ(12)、シュンギク、クレソン、スイカ、ナス、アスパラガス、ネギがふくまれる。最も弱いものとしてはレタス、二十日大根、トマトが 2,500mg/l で 50% 以下となった。

考 察

植物の異種および異品種間の耐塩性を比較するには、無塩土壌における収量に対する含塩土壌での収量によるのが最適である⁴⁾と考えられるが、一般には収量半減時の塩分濃度により比較される。本実験において収量の比較は不可能なので、調査した各項目ごとに対照区の 50% 以下になる NaCl 濃度で幼植物の反応をまとめてみた (Table 3)。一番敏感に反応があ

られるのが根長であり、次に胚軸長、発芽率の順であった。低濃度で反応が出るのは耐塩性が低い、ということである。強いグループと弱いグループの順はこれらの3項目についてほぼ同じであった。大ざっぱに分けて耐塩性の強いグループにはハウレンソウとアブラナ科野菜が入り、弱いグループにはレタス、トマトが入る。中間のグループとしてキク科、ウリ科野菜やナス、アスパラガスが入る。本実験の目的は、指標野菜又は耐塩性程度を短時間で判断するのに発芽試験が利用できないか、をみる為のものであるから、成株での実験と比較検討する必要がある。田坂⁶⁾、大沢⁵⁾、U. S. Salinity Lab. Staff⁸⁾の、成株での研究結果が既にあるので、それらと比較検討してみたい。本実験と共通する耐塩性の強いグループとして大沢があげているのは体菜、大根、ハウレンソウ、白菜で、8,000 ppm 以上で地上部重の半減するものを含む。田坂はハウレンソウ、シュンギク、体菜、大根をあげており、これらは発芽試験の結果とほぼ一致する。例外としてシュンギク(本実験で中間グループ)がある。一方 U. S. Salinity の結果では、共通した材料の内、ハウレンソウ、アスパラガスが強いグループとなっている。発芽試験および成株試験⁶⁾ではアスパラガスは中間グループに属したので、品種差というものも考えねばならないだろう。これらの実験に共通してハウレンソウ、アブラナ科野菜は強いグループに入る。ハウレンソウはアラビア、アフリカ北部に自生しており、アブラナ科野菜の内、特に本実験に供試したものは中国や中央アジア原産のものが多い。いずれも降雨量の少ない地域が原生地であるので、乾燥地には耐塩性のある植物が多い、という点からも可能性は高い。しかし強いはずのハウレンソウでも品種差がみられるなど、原生地から世界各地へ伝播した後の順化の歴史は長いし、特に育成品種では目的により必ずしも耐塩性が維持されているとは簡単に言いきれなくなっている。一方、中間グループに属するものは発芽試験と成株試験によって、又研究者によって、反応に巾がある。本発芽試験で強いグループに一応入れてあるが中間グループに近い反応を示すキュウリ、ゴボウ、ニンジン他は他の研究者の結果からも中間グループに属するし、ナスは大沢⁵⁾と、アスパラガスは田坂⁶⁾と一致する。一番敏感なグループ、つまり耐塩性の弱いグループはレタスは大沢⁵⁾、田坂⁶⁾、と一致し、二十日大根は U. S. Salinity⁸⁾と一致した。しかし一番敏感であったトマトは、大沢、U. S. Salinity とも中間グループに属すなど実生と成株で大きく差のみられるものもあった。

一方水耕条件下で高濃度 NaCl により生育半減時の限界浸透圧を調べた例もある³⁾。野菜ではレタス、4.0 atm；キャベツ、4.0 atm；インゲン、4.0 atm が中間グループに、エンドウ、2.0 atm；キュウリ、1.25 atm；タマネギ、1.0 atm が弱いグループに属していた。これらは土壌系で調べられた耐塩性の強弱順位とほぼ対応していた、と述べられている。

以上の様に、成株での実験でも人によって必ずしも一致するわけではなく、さらに品種によっても差がみられる。ましてや発芽試験のみによって成株での結果を100%予測できる、というわけにはゆかないが、耐塩性の強いグループについては発芽試験でもほぼ見当がつけられることが分った。逆に敏感なグループについてもある程度予測がつけられたので、今後さらに種々の条件を検討することにより、発芽試験での根長測定を基準として NaCl に対する感受性をかなり正確に予測できる様になるのではないか、と思われる。

摘 要

高濃度 NaCl に対する耐性又は非耐性の指標野菜を見出すこと、および或種の野菜の耐塩性程度をできるだけ早く見出す目的で、発芽試験の可能性をみた。7科21品種の野菜種子

Table 3 Salt tolerance of the vegetables depending on the different response to the NaCl concentrations at the level of 50% growth decrement

Concentration of NaCl (mg/l)	% of germination	Root length	Shoot length
Over 10,000	Spinach (12, 13)*, Chinese mustard (6), Japanese radish (2, 3), Chinese cabbage (4), <i>Brassica campestris</i> cv. Komatsuna (5), Cucumber (17), Lettuce (8, 9)	Spinach (13), Chinese mustard (6), <i>B. juncea</i> (7), Japanese radish (2, 3), Chinese cabbage (4), <i>B. campestris</i> cv. Komatsuna (5),	Spinach (13), Chinese cabbage (4), <i>B. campestris</i> cv. Komatsuna (5)
10,000	<i>Brassica juncea</i> (7), Edible burdock (11), Radish (1), Carrot (14), Garland (10), Cress (15), Welsh onion (21)	Spinach (13), Chinese mustard (6), <i>B. juncea</i> (7), Japanese radish (2, 3), Chinese cabbage (4), <i>B. campestris</i> cv. Komatsuna (5), Edible burdock (11), Cucumber (17), Carrot (14)	Spinach (12), Chinese mustard (6), <i>B. juncea</i> (7), Garland (10), Lettuce (8), Japanese radish (2, 3), Edible burdock (11), Cucumber (17), Carrot (14)
5,000	Watermelon (16), Eggplant (19), Asparagus (20)	Spinach (12), Garland (10), Cress (15), Watermelon (16), Eggplant (19), Asparagus (20), Welsh onion (21)	Lettuce (9), Radish (1), Cress (15), Watermelon (16), Eggplant (19), Welsh onion (21)
2,500	Tomato (18)	Lettuce (8, 9), Radish (1), Tomato (18)	Asparagus (20), Tomato (18)

* See Table 1.

をシャーレにまき、NaCl を 0, 2,500, 5,000 および 10,000 mg/l の水溶液として施与し、適温条件下での発芽率および実験終了時の胚軸長、根長を測定した。

その結果根長が最も敏感に反応を示し、次いで胚軸長、発芽率の順であった。耐塩性の強さの順は大体変らなかったため、根長を基準にして 3 グループに分けた。10,000~5,000mg/l NaCl で50%の根長を示す野菜として、ハウレンソウ (パイオニア) と、雪白体菜、縮緬大葉高菜、阿波晩生大根、愛知白菜、小松菜、国富大根などのアブラナ科野菜、およびやや次のグループに近いものとして滝野川大長ゴボウ、光3号P型キュウリ、新黒田五寸人参があげられた。5,000~2,500mg/l で50%になるものにハウレンソウ (ミンスターランド)、大葉新菊、クレソン、美縞スイカ、千両ナス、アスパラガス (メリーワシントン 500 W)、浅黄系九条ネギなどがあつた。最も弱いグループとして、2,500 mg/l で 50% 以下の根長になるものに、レタス 2 品種、赤丸二十日大根、強力米寿トマトがあり、特にトマトが弱かつた。

本研究の一部は科学研究費補助金 (研究課題番号 57480066) によって行われた。

文 献

- 1) ALLISON, L. E. : *Advance in Agron.* **16**, 139 (1964)
- 2) ALLISON, L. E., L. E. FRANCOIS, and R. A. CLARK: *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **97**, 550 (1972)
- 3) BERNSTEIN, L. and H. E. HAYWARD: *Ann. Rev. Plant. Physiol.* **9**, 25-46 (1958)
- 4) HAYWARD, H. E. : *Reviews of research on problems of utilization of saline water.* 37-71, UNESCO, Paris (1954)
- 5) 大沢孝也:大阪府立大学紀要 農学・生物学 **16**, 13-57 (1965)
- 6) 田坂嘉浩: 蔬菜類の耐塩性に関する研究, 岡山大学農学部卒業論文 (1984)
- 7) 但野利秋: 化学と生物 **21**, 439-445 (1983)
- 8) U. S. Salinity Laboratory Staff. : *U. S. Dep. Agr. Handbook* **60** (1954)