

植物の耐塩水性(1)

—防潮林構成植物選定のための実験—

高 橋 啓 二⁽¹⁾
堀 江 保 夫⁽²⁾

I ま え が き

わが国の防潮林はその必要な箇所についてはかなり造成されてきているが、その内容について幾多の改良すべき問題点があることをすでに指摘した¹⁾。そのなかでも、ことに防潮林の林分構造が、クロマツ単層林であることが多く、その林の前面に矮林帯や低木・草帯を欠き、また堤防や護岸の背後に低木・草本叢なく、高林帯の林床も裸出している例が多い。このような箇所に矮林帯、低木・草帯、林床植物群落などを造成することは次の利点がある。

1) クロマツ単層林ではその期待しうる立木密度に限度があり、かつ枝下高以下に空間が多い。このような林に各種植物による矮林帯や高林帯内部における亜高木層・低木層・草本層の造成をはかることは防潮効果の増大をもたらす。ことに林帯幅の狭い地ではこれが要望される。

2) 護岸の背後や堤防の背面に低木や草本群落がつくられていれば、津波時の越流にその背後背面が洗掘されることによる破壊を軽減することができる。

3) 津波が直接高林帯にあたる場合、時に林床が洗掘され根倒れを生じ、またその洗掘された土砂が後方の農地や市街地に運ばれ、二次的災害を与えることもあるが、低木・草帯や林帯内部の低木・草本層などの存在により、土砂の洗掘や移動を軽減することができる。

4) 中・小規模の津波時、低木帯や矮林帯によって漂流物や船舶を阻止することにより、林帯後方はもちろん、高林帯のこれら激突による被害を軽くすることができ、それら自体はたとえ折損しても萌芽力の大きい種類を用いることによりその機能の持続をはかりうる。

5) 防潮林は通常防風・防潮風・飛砂防止などの効果も期待されている場合が多いが、低木帯・矮林帯・林内植物の存在はこれらに対しても効果的である。

6) 海岸砂地のクロマツ人工林の多くは林床植物が貧弱である。このために落葉が採取されやすく、林地の瘠地化が促進され、また、それがなされていない所でも、クロマツの落葉のみでは砂質土壌を改善する働きはほとんど期待できないといわれる²⁾。この意味においても、林内に各種植物を導入することは有機物の供給源として砂質土に良好な影響を与える。

7) クロマツ海岸林では近時虫害著しく、クロマツ以外の林木からなる防潮林の必要も唱えられているが、それほどでなくともクロマツ単純林をさけ、混交林とすることは自然の平衡を保つ点からみて必要であろう。

(1) 防災部治山科治山第2研究室・林学博士

(2) 防災部治山科治山第2研究室

以上は防潮林を主体としてみたが、津波対策として第 1 線の防潮林や防潮堤のみでは災害防止上不十分で、後方の家屋の周囲にも屋敷林や生垣などを作るべきだとされている。しかし、現実にはこれらが作られていても浸入した海水により枯死するものが比較的多い¹¹⁾。津波のたびごとに枯れていては経費的にも無駄であるのみでなく、何時来襲するかわからない津波に対してつねに備えを保持することができない。

このように、防潮林の構造を改善するために、あるいは防潮のための屋敷林や生垣を作るために、東北地方北部以北の温帯性植物、それ以南の暖帯性植物、さらには紀伊半島・四国・九州の各南部の亜熱帯性植物についてその適性、ことに耐塩性を明らかにする必要がある。

植物の耐塩性に関する研究は潮風に由来する付着塩分に対する耐性も含めると、かなり多数あり、たとえばクロマツ、アカマツ⁷⁾⁸⁾²¹⁾²²⁾、海岸植物¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾²⁰⁾、一般の雑草⁶⁾¹⁰⁾、その他果樹農作物などについて報告されたものがある。しかしこれらは海岸に見られる植物のごく一部にすぎず、かつ利用するに十分な検討がなされているとはいいいがたい。

一般にわが国における植物の塩害には塩分が強風により海から運ばれ植物の地上部に付着しておけると、津波や高潮時に冠(浸)塩水により地下部まで塩分の影響を受けておこる場合とがあり、従来の報告でも、台風・津波後の現地調査報告が比較的多い。しかし、現地調査によって各種植物の耐塩性を比較することは各種植物が被災前後におかれていた条件が異なっている例も多いので、厳密にはなかなか容易なことではない。

堀川ら⁶⁾によれば、植物の台風時の各種被害要因による被害程度は、海水をかぶった地>半鹹水をかぶった地>塩風をうけた地>強風を主としてうけた地>淡水をかぶった地と不等号で示ことができると述べている。したがってわれわれが、海水をかぶることが予想される地域の林分構成植物を選ぶには、最大被害をもたらす冠(浸)塩水について、その抵抗性をしらべ、使用植物をまず選定することが大切と考えられる。

本稿では冠(浸)塩水に対する植物の耐性、およびこれを左右する要因を明らかにし、防潮林の改善に資するため行なった試験について 2, 3 報告する。

本実験を進めるにあたり、有益な助言を与えられた防災部治山科中野秀章科長、前治山第 2 研究室故渡辺隆司室長および試験材料の採取にご協力いただいた神奈川県土木部砂防課竹腰正保技師、前同県湘南海岸整備事務所中村喜代次所長、ほか同所各位、ならびに治山第 2 研究室原 敏男技官に厚く感謝する。

II 材 料 と 方 法

植物の耐塩水性を左右するおもな要因としては、各種植物自身の耐性、植物の塩水をかぶった部位(器官)、生育地土壌の違い、塩分濃度、塩水をかぶった時間およびその回数²⁾、植物の生育時期¹⁸⁾¹⁹⁾、冠(浸)塩水後の気象条件(日射・温度・降雨など²⁾)などが挙げられる。本試験ではこのうち、2, 3 の要因を軸として試みた。

〔供試植物〕

供試植物は、防潮林構成種としてすでに考えられている植物や海岸に自生する植物を主としてとり上げることとした。初年度はこのうち、アキグミ、イタチハギ、マサキ、クコ、アカマツの 5 種類のほか、屋敷林や生垣として使用されることの多いヒノキを含めて計 6 種を対象とした。このうち、アキグミ、イタチハギ、アカマツは 1961 年春播種し養成した苗を、ヒノキは 1960 年春播種苗を、マサキは 1961 年春、クコ

は1962年春の名さしき苗を用い、各樹種とも苗高は25～30 cmで、健全で均質な生育状態を示しているものを選んだ。なおイタチハギは地上30 cm以上をあらかじめ剪定した苗を用いた。各苗は1962年6月に鉢に移植し、屋外に定置した。

〔冠（浸）水部位〕

チリ地震津波災害調査の折、クロマツ植栽苗で樹体全部が冠塩水したものは地下部のみ浸塩水したものに比して枯れた苗が多かった¹⁴⁾。この関係がはたして塩水をうけた部位による違いのみによるものか、津波の他の条件（たとえば、津波に含まれる砂や漂流物による傷害、津波の勢力など）も加わっているかは検討を要する。ここでは地下部のみ浸塩水する処理と地上部も含め冠塩水せしめる処理の2とおりをとり上げた。

〔土 壤〕

防潮林の土壤は多くの場合、砂土からなるが、一部畑土などに成林せしめたものもあり、また屋敷林などは砂土でないことも多い。本試験では神奈川県鵠沼海岸砂丘の砂土と試験場内苗畑土壤をふるいにかけた軽埴土の2種類の土壤をとり上げ比較する。これらの土壤を内径28 cm、高さ24 cmの素焼製植木鉢につめて、鉢試験として供試した。土壤の機械的組成は第1表に示されるごとくで、砂土はわが国の砂丘土の一般的な値より細砂がやや多い。

第1表 供試土壤の機械的組成
Table 1. Mechanical composition of the soils used in this experiment.

土 壤 Soil	粗 砂 Coarse sand %	細 砂 Fine sand %	微 砂 Silt %	粘 土 Clay %	土 性 Texture
砂 丘 土 Sand dune soil	65.08	32.37	0	2.55	砂 土 Sand
畑 土 Nursery soil	12.07	26.13	29.84	31.96	軽 埴 土 Light clay

〔塩分濃度〕

海水の塩分濃度は地域により多少の違いが見られ、沿岸や河口付近および瀬戸内海などではやや低い値を示すといわれるが、通常海水1 kg中に約34.9 gの塩類を含み、その塩素量は約19%とされている¹⁶⁾。本試験で用いた塩水は海水の組成・濃度に準じて、溶液1 kg中にNaCl 26.695 gとMgCl₂・6 H₂O 7.018 gを含む液を調製し（同一塩素量でも単一の塩化物の溶液を使用すると植物に対する害作用が著しくなる¹⁷⁾）、これをビニール水槽に入れ、その中で処理を行なった。なお毎回の処理ごとに塩分濃度が一定となるよう注意した。

〔処理時期と処理時間および回数〕

植物が春生育を開始した時期、蒸散の盛んな夏期、冬期などの各時期によって同一植物でも被害程度が異なってくると思われるが¹⁸⁾¹⁹⁾、本試験では材料の制約をうけたので、夏期のみ行なうこととし、晴天であった1962年8月30日に処理を実行した。

処理時間および回数は津波時におこりうる一般的な浸水時間や状態を考慮して行なった。すなわち、防潮林が成立する箇所は干拓水田のごとく海水をかぶったのち、滞水する地形のところは少なく、津波・高潮の去った後はすみやかに排水する地形のところが多い。したがって、本試験では海水が長時間滞水する

条件は考慮外とした。既往のわが国における津波では大波の回数は 3 ～ 7 回で、1 回の冠水時間は通常 30 分前後（高潮は 45 分前後、時に 60 分のこともあるが、回数が少ない）であり、植物が塩水をかぶる時間は合計 90 ～ 210 分に達する。本試験では処理の便宜上、90 分間の冠（浸）塩水処理を 2 時間 30 分の間隔を置いて 2 回行ない、8 月 30 日の午前 9 時から午後 4 時までの間に処理を行なった。

上述の各要因の組合せによって、各樹種とも次の 5 処理を行ない比較した。なお、対照としては材料の関係から条件の不良な砂土を用い、淡水に全樹体を冠水せしめる処理のみを行なった。

土 壤 処理器官 処 理

処理 I：畑 土・地 下 部・浸 塩 水（以下畑根鉢と略す）

〃 II：畑 土・全 樹 体・冠 塩 水（畑全鉢）

〃 III：砂 土・地 下 部・浸 塩 水（砂根鉢）

〃 IV：砂 土・全 樹 体・冠 塩 水（砂全鉢）

〃 V：砂 土・全 樹 体・冠 淡 水（対照鉢）

1 鉢あたり植付本数は 10 本とし、くり返しの結果、1 樹種 1 処理につき 3 個の鉢を用いた。すなわち、鉢は 1 区内に各樹種の各処理をした鉢が 1 個ずつ、計 30 個含まれ、それがさらに 2 回くり返され計 3 区設定された。各くり返し区内の鉢の位置は無作為に決定した。

処理は屋外に作ったビニール水槽中で、鉢ごと冠・浸水処理を行ない、処理完了後は鉢内の余剰水が底孔から流去したのち再び鉢を苗畑に 20cm の深さに埋めて定置し、その後は自然条件下におき、その経過を観察した。なお処理前に変色していた葉や虫の食痕の著しい葉などの異常葉と鉢内の落葉をあらかじめ除去し、処理による変化と混同しないよう注意した。

本試験では防災部の方針に従い生理的变化を追及せず、処理後の植物の外部形態の変化と翌年の生存本数を観察して耐塩水性をしらべることとした。観察した月日は次のごとく 16 回で、最後に翌 1963 年 2 月 15 日に掘り取り、その生死をしらべた。

August	30 (処理当日)	September	17 (処理後 18 日)
〃	31 (処理後 1 日)	〃	21 (〃 22 日)
September	1 (〃 2 日)	〃	25 (〃 26 日)
〃	3 (〃 4 日)	October	1 (〃 32 日)
〃	5 (〃 6 日)	〃	9 (〃 40 日)
〃	7 (〃 8 日)	〃	19 (〃 50 日)
〃	10 (〃 11 日)	〃	30 (〃 61 日)
〃	13 (〃 14 日)	November	8 (〃 70 日)

1962 年における被害状態は地上部の変化に重点をおき、次のごとく被害程度を 6 段階に分け、各鉢ごとに鉢内における変化した苗木の本数割合を求めた。

- A. 健：特異な変化が見られない健全苗。
- B. 混：健全な葉と被害葉が混在する苗。
- C. 被：全葉に被害の徴候が出た苗（ただし葉の一部に緑色部分を残す）。
- D. 落：全葉が落葉あるいは枯葉となるが幹は生きている苗。
- E. 萌：被害のため落葉した後、新たに新条を出し、あるいは開葉した苗。

F. 枯：苗全体が枯死した苗。

このほか、被害のあらわれかた、すなわち、変色した葉・枝・幹が樹体の上中下の各部位によって時期的に異なって現われるか、またそれらの変化の特徴についても観察した。

III 結 果

A. 鉢内土壌における塩分濃度の推移

処理後、苗畑に自然条件下に設置したので、その後の降雨および蒸発散作用により鉢内の根層土壌における塩素量に変化することは当然予想される。試験期間のうち、塩分濃度の高かった8月から11月にかけての林業試験場構内における降雨量を第2表に示した。また畑土鉢と砂土鉢の土壌表面より15cmの範囲の土壌を深さに対して均分にとり、土壌中の含水量と塩素量

第2表 処理後の降水量 (目黒苗畑)

Table 2. Precipitation during the period from Aug. 30 to Nov. 30, 1962 (Meguro nursery, Tokyo).

降水月日 Date	Sept.	Oct.	Nov.
3	1.7mm	• mm	56.6mm
4	1.5	5.3	•
5	0.7	1.0	•
6	0.7	•	•
8	•	•	3.3
10	•	•	4.5
12	•	18.4	•
14	•	24.0	1.0
15	•	•	7.0
16	•	•	32.1
17	•	•	1.4
20	•	13.3	0.1
22	•	1.8	16.7
26	•	•	22.6
28	•	34.5	6.3
29	0.7	32.5	•
Total	5.3	130.8	151.6

第3表 鉢内における土壌含水量とその塩分含量 (平均値で示す)

Table 3. Moisture content of fresh soil and salt content of soil samples from surface layer in the pots.

試 料 採 取 月 日 Date of sample collection			Aug. 31	Sept. 4	Sept. 10	Sept. 19	Sept. 29	Oct. 19	Nov. 8	Nov. 29
処 理 後 経 過 日 数 Time elapsed after treatment (Days)			1	5	11	20	30	50	70	91
砂 丘 土 Sand dune soil	採取時含水量 Moisture content of fresh soil	対絶対乾土重量*	11.65	5.69	3.09	2.37	2.10	5.32	5.96	11.46
		対 容 積** %	15.95	7.78	4.24	3.25	2.87	7.28	8.16	15.69
	NaCl 含有量 Salt content of soil	対絶対乾土重量*	0.315	0.171	0.148	0.166	0.172	0.002	0.001	0.001
		対 容 積** %	0.432	0.232	0.200	0.227	0.235	0.003	0.002	0.001
	土壌水分中の NaCl 含有量 % Salt content of soil moisture		2.70	3.00	4.78	7.00	8.18	0.04	0.01	0.01
畑 土 Nursery soil	採取時含水量 Moisture content of fresh soil	対絶対乾土重量*	93.09	87.95	73.79	56.30	45.79	78.23	73.76	88.23
		対 容 積** %	65.11	61.51	51.61	39.38	32.03	54.71	51.59	61.71
	NaCl 含有量 Salt content of soil	対絶対乾土重量*	1.726	1.851	1.434	2.110	1.332	0.769	0.032	0.008
		対 容 積** %	1.200	1.299	1.009	1.476	0.937	0.541	0.023	0.006
	土壌水分中の NaCl 含有量 % Salt content of soil moisture		1.85	2.10	1.94	3.75	2.91	0.98	0.04	0.01

* The content in percentage of oven dry weight of soil.

** The content in percentage of volume of soil.

(Mohr 法により測定し, NaCl に換算して示す, $\text{NaCl の量} = \text{Cl' の量} \times 1.649$) を測定し, 土壤水分量に対する NaCl の量を百分率で求め, それらの時間的経過を第3表に示した。

降雨量を見ると処理後10月11日までの42日間は著しい降雨なく, 異常な天候を示した。この影響は第3表の採取時土壤含水量にあらわれ, 砂土では9月の中旬から下旬にかけ2%台に低下し, また土壤水分の蒸発によって, 土壤中の NaCl も表層に移動したものとみられ, 含有量はやや増加した。10月中旬になると降雨により土壤含水量は5%台になり, NaCl 含有量は著しく減少した。したがって, 砂土では土壤水分中の NaCl の量は9月下旬に最高値 8.18% を示した。この値は鳥取の海岸砂丘表面の砂土における値 0.11~0.84%, および高潮に洗われる所の値 3.05%⁴⁾ に比しても非常に高い値である。

畑土においても土壤中の含水量や NaCl 量の増減傾向は砂土とほぼ同様であるが, 土壤含水量は最低でも46% (対絶乾土重量) を示すため, 土壤中の NaCl 含有量が高いにもかかわらず, 8月, 9月の土壤水分中の NaCl 量は砂土より少ない結果を示した。しかし, 10月以降の降雨による塩分のへり方は砂土ほど著しくはないため, その量は砂土より高かった。

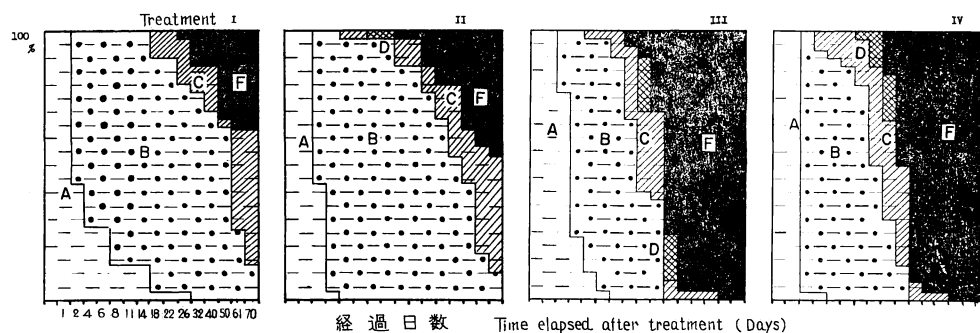
B. 処理後の植物の変化

鉢内における各被害段階の本数百分比の時間的経過を第1図~第6図に示した (くり返し3区の平均値で示す, ただし対照鉢はほとんど変化がなかったため図は省略した)。したがって, ここではそれを補足する意味で, おもな変化と観察事項を述べ, 最後に掘り取り調査の結果を述べる。

1. アカマツ

〔対照鉢〕: 本鉢では9月17日に13%の苗木に, 下枝の葉が枯れ初めたものが見られ, 9月21日には30%の苗がこの状態を示した。しかし, それ以降は変化が進まなかった。この枯葉は異常な乾燥にもとづく変化と思われる。

〔畑根鉢〕: 処理後2日目の9月1日に最初の被害徴候を現わし, 樹冠下部の枝に着いている葉が, その先端から中部にかけ褐色を帯びる。10月1日には多くの苗は樹冠下部の葉が枯れ, 残った葉も緑色がう



- A. 健の苗 Seedling unaffected by treatment.
- B. 混の苗 Seedling discoloured in some part of the leaves.
- C. 被の苗 Seedling showed signs of injury on all of the leaves.
- D. 落の苗 Seedling lost all of the leaves.
- E. 萌の苗 Seedling sprouted new leaves or shoots after treatment.
- F. 枯の苗 Seedling died with treatment.

第1図 アカマツの被害度の推移

Fig. 1 The rate of injury degree of *Pinus densiflora* observed at various times.

すれ、帯黄色の葉を増してくる。その他の変化は第1図のごとくであるが、最終の掘り取り調査をした2月15日には57%が生き残っていた。この生存苗の状態は54%の苗が、残った樹冠上部の葉の葉身の中央から先端にかけて変色したままで、冬芽は健全であったが、3%の苗は冬芽と幹の上部も枯損していた。

〔畑全鉢〕：9月1日に樹冠の上中下各位置の葉に被害葉が見られ、被害葉は葉身の先端から中央にかけて灰色に変化した。この被害葉は全体の葉数の約10%であった。9月3日には全葉数に対する被害葉の割合は約15%になり、被害葉は全体が光沢を減じ、黄色を帯びてくる。9月5日被害葉の一部に葉身全体が変色したものが見られるようになり、9月7日になると、樹冠下部の葉はすべて完全に変色した。以後漸次変色葉を増し、10月1日には樹冠下部の葉は枯れ、また中～上部にも枯葉が点在してくるとともに枯死苗も増加してくる(第1図参照)。2月15日には50%の苗が生き残っていた。これら生存苗の着生葉は葉身の中央から先端にかけて変色しているが、冬芽は健全であった。

〔砂根鉢〕：9月1日に樹冠下部の葉の先端の変色した苗が23%あらわれ、他の処理鉢より少なかった。その後第1図のごとく、被害をうけた苗が増加するが、その多くは下部の葉が変色した苗である。9月17日になると被の苗は葉全体が緑色うすれ、葉身の基部が紫色を帯びてくる。9月25日に枯の苗が76%となるが、残った被の苗も葉の基部が灰緑色を呈してくる。枯死苗は他の処理鉢に比し最も早く9月13日に出たが、全苗が枯れたのは10月30日で、砂全鉢より遅い。

〔砂全鉢〕：9月1日に被害徴候のあらわれた苗は97%に達し、他の処理区に比し著しく多い。また、樹冠の上中下の各位置に被害葉が分布し、葉身の中央から先端にかけて灰色を帯びた葉が全葉数の約10%見られた。9月5日には混の苗の下部の葉は葉身の基部を残して変色し、被の苗の葉は葉身基部にのみ緑色を残す状態となる。9月10日前後における葉の変色の進みかたは主として樹冠の中部以下に著しい。9月13日に被の苗の一部は全葉が紫色に変色し、混の苗は下部の葉が全変色し樹冠の頂端の葉にも変化がでて、緑色葉は全葉数の10%程度となる。9月21日には被の苗は一部の葉が緑色部分をもつのみとなる。9月25日になると枯死苗が大半を占め、全苗が枯死したのは10月19日である。

〔各処理鉢の比較〕

i) 被害徴候は各処理鉢とも処理後2日目に一斉に出るが、その被害本数割合は砂全鉢が最大、砂根鉢が最小、畑全・畑根両鉢はこれらの中間の値を示す。しかし、全苗が被害をうける時期は砂全・畑全鉢が9月5日で、ことに砂全鉢は9月1日にすでに97%の苗に徴候を示した。ついで砂根鉢は9月10日に、畑根鉢は10月1日に全苗が被害をうけた。

ii) 樹冠の各位置における被害葉の分布を見ると地下部浸塩水鉢では樹冠の下部の葉から変色が始まるが、全冠塩水鉢では樹冠の全体に被害葉がまず出現する。しかし、その後の被害葉の増加する経過は全冠塩水鉢においても主として樹冠下部の葉に著しく、ついで上部に変色化著しく、中部着生葉の葉身全部が変色するのは最も遅い。また葉それ自体の変色は葉身の先端から中央にかけてまず変化が見られ、葉色が光沢を失うとともに先端から灰緑色となり、ついで褐変するものが多い。なお一部には葉身の基部から変色したのも少数見られた。

iii) 枯死苗のあらわれかたはその量的変化から見て、砂全鉢が最も顕著で、ついで砂根鉢となり、これら両鉢はいずれも全苗が枯死する。畑土の鉢では約50%が枯死するが、その時期別の変化から見て、畑全区が畑根区より著しい傾向が見られる。

iv) 以上の各観点を総合すると地上部の被害程度の大きさは、砂全鉢>砂根鉢>畑全鉢>畑根鉢の順位となる。

2. ヒノキ

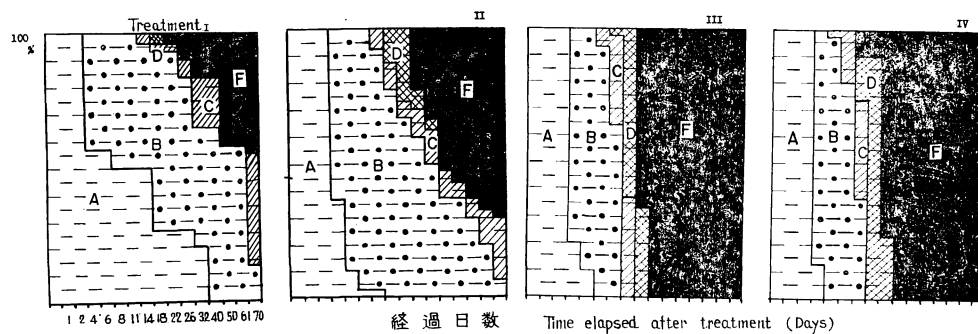
〔対照鉢〕：9月21日に3%の苗に乾燥に原因すると思われる葉色の薄緑色への変化が見られ、10月9日には枝の基部の葉が黄色化したものが見られた。2月15日には17%の枯死苗を生じていたが、枯死当時それらの葉の多くは緑色を保ったまま乾燥しちぢれていて、砂土であるための乾燥によるものと思われた。

〔畑根鉢〕：9月3日に最初の被害徴候が43%の苗にあらわれ、樹冠下部の小枝の先端にある葉が茶褐色に変化した。その後同様な苗が増加し、一部に枯死苗も出て、10月9日には健全な苗はなくなった。2月15日の調査では77%の苗が枯れ、残存した23%の苗もかなり著しい被害を受け、幹と一部の葉のみが生きていた。

〔畑全鉢〕：9月3日に63%の苗は樹冠下部の葉の光沢がなくなり、その枝の先端の葉より褐色を帯びてくる。9月7日にはこれがさらに進み、なかには枝の中央付近の葉まで褐変したものも出て、残った葉も全体が黄色を帯びてくる。9月10日には樹冠中部にある枝まで被害葉が見られるようになり、褐変してくる。9月13日に健全な苗は皆無となり、2月15日には枯死苗が83%を示すにいたる。

〔砂根鉢〕：9月3日に80%の苗の樹冠の中部以下の葉に変化が見られ、ことに下部の葉に変色著しく、下枝の基部に位置する葉まで褐変する。なお葉は全体に光沢を失う。9月7日には健の苗は全くなり、混の苗の緑葉は全葉数の約20%となる。9月10日になると樹冠の頂端部の葉のみに緑色が残り、他はすべて変色する。9月13日には63%の苗の全葉が褐変し、さらに9月17日には緑色部分をもった葉を全く見ず、枯死した苗が67%、幹のみ生色を保つものが33%となり、9月21日に全苗が枯死した。

〔砂全鉢〕：9月3日、87%の苗に被害が認められ、樹冠中部以下の葉が光沢を失い、その枝の先端の葉からやや褐色を帯びてくる。9月5日には健の苗はなくなり、下部の枝葉が褐変するものも出て、また樹冠上部枝にも点々と先端に着生する葉に褐変が見られるが、幹の頂端の葉は変化が見られない。9月7日、葉は全体に黄色を帯び、光沢を失ってくる。9月10日、混の苗で緑葉の残るのは上部のみで、頂端の葉も変色してくる。9月13日には全苗に緑色を保つ葉がなくなり、幹が生きているのみ、そして枯葉が着いたまま9月21日に全苗が枯死した。



第2図 ヒノキの被害度の推移

Fig. 2 The rate of injury degree of *Chamaecyparis obtusa* observed at various times.

〔各処理鉢の比較〕

i) 被害の徴候は処理後4日目に各処理鉢とも出るが、被害をうけた苗の本数割合は砂全鉢>砂根鉢>畑全鉢>畑根鉢の順で、全苗が被害にかかる早さも同順位であった。

ii) 被害はまず樹冠下部の葉が光沢を失い、その枝の先端に着いている葉が褐色を帯び、それが漸次枝の基部着生葉におよぶとともに、樹冠中部の着生葉も変色してきて、漸次上部に拡がる。ただし砂土の鉢では9月3日にすでに樹冠中部まで変化が見られ、被害の進みかたが早い。

iii) 枯死苗のあらわれかたは処理後の量的変化から見て、砂全鉢が最もはなはだしく、ついで砂根鉢、畑全鉢、畑根鉢の順に枯死苗のあらわれかたが遅く、かつ、量的に少なくなる。

iv) 以上の各観点からヒノキの被害の大きさは、砂全鉢>砂根鉢>畑全鉢>畑根鉢の順位となる。

3. マサキ

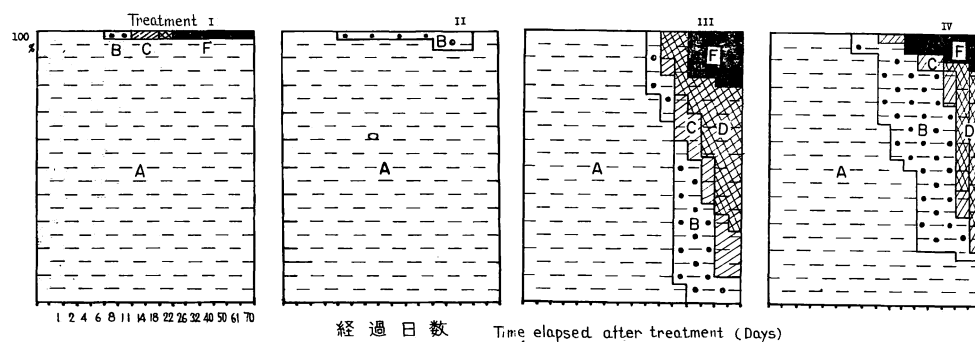
〔対照鉢〕：9月25日に3%，10月1日に7%，10月9日に10%，10月19日には13%の苗に変色した葉が少数見られたが、これら変色葉は10月30日には落葉した。この変色落葉は自然状態でしばしば見られるものと同性質のものと考えられる。

〔畑根鉢〕：本鉢ではほとんど被害が見られず、ただ3%の苗のみ9月7日に変化が見られ、この苗は9月25日に枯死したが、他の苗には異常な変化は見られなかった。

〔畑全鉢〕：本鉢もほとんど変化がないが、対照鉢と同様な変色や落葉は一部の苗に見られた。

〔砂根鉢〕：9月21日に最初の徴候があらわれ、混の苗は黄変葉が一部に見られる、健の苗も対照鉢や畑土鉢に比し、やや生色を欠くように見受けられた。9月25日になると、葉は全体に光沢を失い、被害葉は全体が灰緑色を呈し、周辺からちぢれはじめる。10月1日には被害葉は灰色となる。10月9日に健の苗は全くなくなる。2月15日には20%の苗が枯死していた、また残存苗の状態をみると、53%は小枝が枯れ、時に幹の頂部が枯れたものもあったが、大部分幹は健全で新芽が見られる。そして残る27%は幹の上部ないし地上部が枯れ、地下部は生きていた。

〔砂全鉢〕：9月10日に最初の徴候があらわれ、9月17日には被の苗が出る。この被の苗は樹冠中部以下の葉が褐色となり、頂端の葉のみ緑色を残すが、光沢はない。また混の苗は上部の葉に変色が及び、一部落葉も見られた。9月21日、混の苗は枝端あるいは下部の葉が枯れた。また被の苗は頂端の葉のみ残し枯葉となる。9月25日以後、葉は全体に緑色がうすれ、黄色を帯びてきて、葉の周辺から変色してくる。



第3図 マサキの被害度の推移

Fig. 3 The rate of injury degree of *Euonymus japonicus* observed at various times.

2月15日には13%の苗が枯れていた、残存する87%の苗は混の状態に残った10%の苗と、落の状態となって小枝が枯れたが幹や芽が生きている苗77%とになった。

〔各処理鉢の比較〕

i) 被害徴候は畑土の鉢ではほとんどあらわれないが、砂全鉢で9月10日、砂根鉢で9月21日にあらわれ、また枯死苗も砂全鉢で9月25日に、砂根鉢で10月9日にあらわれ、いずれも砂全鉢に早い。その後の被害の進みかたは一般に砂根鉢に著しく、10月9日には全苗に被害が出た。

ii) 砂土鉢における葉の変色経過は、まず葉が光沢を失い、黄色葉が一部に出て、時日の経過とともに被害葉は周辺から灰緑色となり、ぢぢれはじめ、さらに灰色ないし褐色に変化し枯葉となる。被害葉は一般に樹冠の中部以下に早く多く出て、頂端の葉は最後になる。

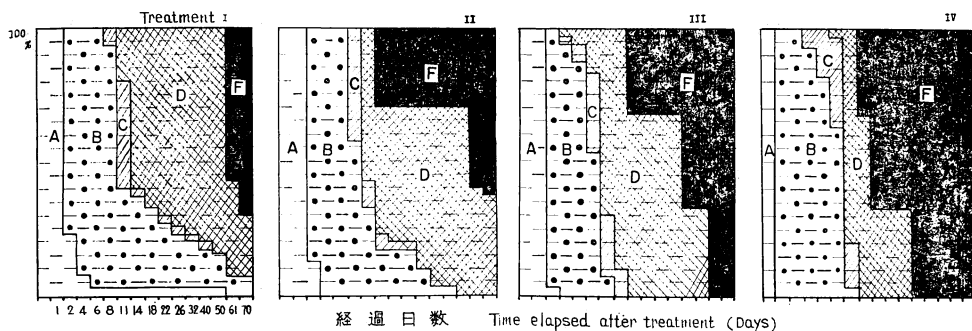
iii) 以上の各観点を総合すると、畑土の鉢ではほとんど被害をうけないが、砂土の鉢では被害をうける。しかしその枯死率は20%以下で、生残った苗は冬芽が健全であり回復するものと考えられる。

4. アキグミ

〔対照鉢〕：10月1日、自然状態でもしばしば見られる黄葉が、各苗に1～2枚見られ、その後この状態が持続し、10月30日ごろそれらは落葉する。完全に全葉が落葉するのは11月中旬以降である。

〔畑根鉢〕：9月1日、77%の苗の樹冠下部の葉に変化が見られ、葉身の周辺・先端・葉の側脈間がまず変色し、周辺から巻きこんでくる。9月3日には樹冠中部以下の大部分の葉は主脈付近を残して変色し、かつ緑色葉でも落葉するものが多くなる。9月5日には樹冠中部以下の春開葉した葉はすべて落葉したが、処理前夏季に開葉した葉は変化が見られない。また上部の葉も全体に黄色を帯び、光沢を失って、しおれ巻いてくる。9月13日になると春開葉した葉はすべて落ち、一部の苗の上部と下部に見られた遅く開いた葉が残っていて、この状態がしばらくつづいた。2月15日の調査では77%が枯死し、17%は幹が健全、3%は幹の上部が枯れ、3%は地上部が枯れたが地下部は生きていた。

〔畑全鉢〕：9月1日、87%の苗の樹冠下部の葉（遅く出た葉は除く）は葉縁が変色し、内方に巻き、また樹冠頂端部の葉にも巻きこみが見られた。9月3日には全苗に被害が出て、樹冠中部の葉にも変色が見られた。樹冠下部の葉は全葉が変色するか、あるいは葉の基部を残して変色し、落葉が著しい。また緑色葉でも落葉しているものがある。9月5日、樹冠下部に残っている葉は夏季に開葉して完全に成葉とはなりきっていない葉のみである。樹冠頂端の葉には変色が見られた。9月7日に、樹冠上部の葉にも変色



第4図 アキグミの被害度の推移

Fig. 4 The rate of injury degree of *Elaeagnus umbellata* observed at various times.

が部分的に出て、頂端の葉はちぢれ巻く。9月10日、落の苗が57%になり、混の苗の葉は全体に黄色を帯びてきて、中部の変色葉も落葉する。9月17日ごろになると、混の苗で、健全な葉は上部に見られるのみとなる。10月19日に落の苗と枯死苗となる。2月15日には77%の苗が枯死し、残存苗は地上部枯れ地下部が生きているもの3%、幹の基部と地下部が生きているもの7%、幹の中部以上が枯れているもの10%、幹が全く健全なもの3%であった。

〔砂根鉢〕：8月31日、樹冠下部の葉に、やや内巻きするものが見られたが、明らかな被害徴候は9月1日にあらわれ、樹冠中部以下の枝の基部に近い葉の先端・周辺・側脈間が変色し、内巻きした。9月3日には全苗に変化が見られ、健全な苗はなくなる。そして下部の春開葉した葉はすべて変色し、ちぢれてきて落葉が著しくなる。9月5日には下部の春開葉した葉は落葉し、中部の葉は全変色しちぢれてくる。ただし、処理前夏期に出た葉は変化が見られないが、これも9月7日に変色した。9月7日にはさらに変色葉が上部にも現われ、全体が黄色を帯び、落葉が続く。9月10日には落の苗が70%となり、巻きちぢれた枯葉が見られる。混や被の苗は上部の葉に緑色が保たれている。9月13日にはわずかに10%残る被の苗も上部の葉の基部や主脈付近のみ緑色で、樹冠中部以下の葉は落ちる。9月17日、緑色を残す葉は皆無となり、枯死苗が出ると同時に落の状態の苗も幹枝の先端から枯れはじめ、それが漸次下部におよび、10月30日には全苗が枯死した。

〔砂全鉢〕：8月31日に全苗の樹冠下部の葉の周辺がやや内巻きし、周辺と先端部が変色した。9月1日には樹冠上部の一部の葉に葉縁の巻きこみが見られたが、中部の葉には変化が見られない。9月3日、下部の葉は全変色ないし落葉し、変色葉は中部以下に多い。なお、緑色葉の落葉も見られた。9月5日、落葉著しく、中部以下の変色葉は大半が落葉した。9月7日、全体に帯黄色の葉を増し、上部の葉の先端は巻いてくる。9月10日には落の苗が80%に達し、被の苗は上部の葉の基部が緑色を保つのみとなる。9月13日には枯死苗が33%、残りは落の苗となる。以後しだいに枯死苗を増し、10月1日には全苗が枯死した。

〔各処理鉢の比較〕

i) 被害徴候のあらわれるのは砂全鉢が最も早く、8月31日で、しかも全苗に被害葉が見られた。これについて、砂根鉢は8月31日に多少徴候が見られたが、明らかに出了のは9月1日で、97%の苗に被害葉が出て、9月3日には全苗におよんだ。畑全鉢・畑根鉢は9月1日にそれぞれ87%、77%の苗に変化が見られたが、全苗に変化がみられたのは前者が9月3日、後者が10月30日である。

ii) 葉の変色の進みかたを見ると地下部浸塩水処理では樹冠下部の着生葉の葉身の周辺・先端・側脈間がまず変色し、周辺から巻いてくるが、全冠塩水処理では下部の葉の変化以外に頂端の葉にも葉縁の巻き込みが見られる。そしてそれ以後は両処理とも中部上部の葉へと変化が進んでいく。以後時日の経過とともに変色著しくなり、樹冠中部以下の春開葉した葉は落葉が著しく、上部の葉も黄色を帯び、巻き込みもふえ、さらにこれらの葉は落葉する。なお、遅く開葉した葉は春開葉した葉よりやや遅れて変色して落葉していく。

iii) 枯死苗のあらわれる時期の早さは、砂全鉢＝畑全鉢＞砂根鉢＞畑根鉢の順位であるが、量的変化を含めると砂土の鉢は全苗が枯死するので、枯死の被害は砂全鉢＞砂根鉢＞畑全鉢＞畑根鉢の順位となる。

iv) 総合的に見て、各処理の被害の大きさは砂全鉢＞砂根鉢＞畑全鉢＞畑根鉢の順位となる。

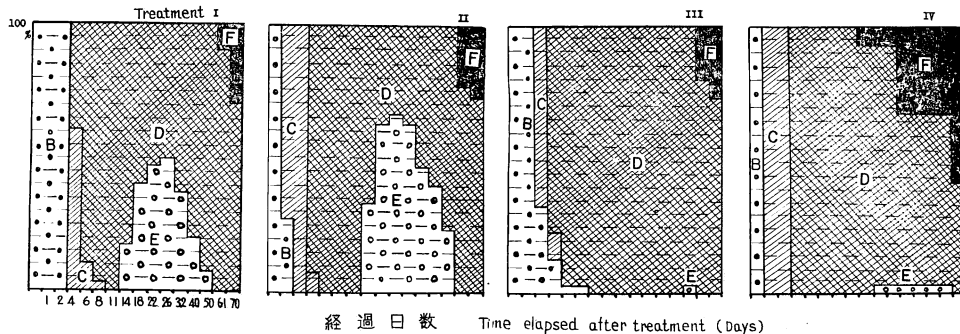
5. イタチハギ

〔対照鉢〕：9月17日に一部の苗の下枝の葉が帯黄色となるが、一般に下枝葉が黄変するのは10月1日ごろからで、また、これら黄色葉が落葉を始めるのは10月9日以降であった。なお、東京ではイタチハギは冬期幹枝の細い部分が枯死することが多い。これらの変化は自然な変化の一側面と思われる。

〔畑根鉢〕：本鉢のみでなく、各塩水处理鉢とも、処理当日1回目の処理で上部の幼小葉がややしおれ、翌8月31日にはすでに全苗に被害葉が出た。本鉢では8月31日に下枝の小葉の周辺と先端が変色し始め、梢端の葉の小葉もやや凋萎した。9月1日、上部と下部の葉に変色が見られ、中部の葉には変化がなかった。下部の葉は小葉の基部を残して変色し、上部の葉は小葉の先端および周辺が変色し凋萎した。9月3日には樹冠下部の葉は全部変色し、上部の葉も大半は全変色となるが、一部小葉の基部に緑色が残る。中部の葉は小葉の先端が変色するかあるいは全変色する。なお、小葉の落葉著しく、緑色葉も落ちていた。9月5日、90%の苗の葉はすべて全変色し、落の形となり、枝も先端部より変色してくる。残る10%の苗も上部の小葉の基部主脈付近に緑色を残すのみとなり、落葉著しい。9月7日、97%が落の苗となる。9月13日、幹の中部以下は緑色を呈するが、先端部は黒褐色に変わる。また17%の苗の幹の中部以下の部分から萌芽が見られた。9月25日、萌の苗が50%となり、それ以後、萌芽で出た葉も落葉し始め、これには自然的な落葉も含まれていると考えられる。2月15日の調査では枯死苗37%で、残存苗は、幹の中部以上が枯れた苗47%、地表上2cm以上が枯れた苗3%、地下部のみ生きていた苗13%であった。

〔畑全鉢〕：8月31日、73%の苗の全葉に被害が出て被の苗となる。その葉は小葉の主脈の中央部以下を残して変色し、上部の葉は葉柄とともに凋萎してことに弱い。9月1日には、健全葉は全くなり、下部の葉は全変色、中部の葉は主脈付近を残して変色し、上部の葉や芽は全変色し、葉はしおれ巻く。9月3日には93%の苗が落の形となり、落葉が著しく、9月5日には全苗が落の形となると同時に幹の上部が黒褐色に変化した苗が現われる。9月13日になると幹の中部以下から萌芽し開葉するものが出て、漸次これが増加する。しかし、9月21日以降になるとこれも漸次落葉していく。これは自然の落葉も加わっていると思われる。2月15日には30%の苗が枯れ、残る70%の苗は幹の中部以上が枯れたものと地表面上約2cm以上が枯れたものがほぼ半々を占めていた。

〔砂根鉢〕：8月31日、樹冠下部の小葉の周辺がやや変色し始め、また頂端の葉の小葉で表面に巻き込んだものがあつた。9月1日には頂端の若い葉は凋萎し、灰緑色に変化する。ただし芽は健全である。下部の小葉は主脈のみ残して変色するが、根際から処理前夏季に開いた葉は変化していない。被の苗では中



第5図 イタチハギの被害度の推移

Fig. 5 The rate of injury degree of *Amorpha fruticosa* observed at various times.

部の葉も変色を始めた。9月3日、中部に残る緑色葉もごく一部の苗に限られ、落葉が始まる。芽も灰褐色となり、根際に出ている最近の葉もやや黄色を帯びてくる。9月5日にはほぼ全苗が落の形となり、9月13日になると幹は上部から黒褐色に変わってくる。なお本鉢では萌芽は10月19日に1本見られたのみで極めて少ない。2月15日には27%が枯れ、生き残った苗は地上部の枯れたものが大半で、その他、地表上約2 cm以上の幹の枯れたものが少し見られた。

〔砂全鉢〕：処理当日、1回目の処理ですでに上部の幼小葉の凋萎が著しく、当日の夕方には下枝の小葉が主脈付近のみ残してやや黒色を帯びた。8月31日に全小葉が被害をうけ、小葉は主脈を残して変色し、翌9月1日には頂部の葉の巻き込みが見られ、また落葉も始まる。9月5日には全苗が落の形となり、幹もその頂端から下部に向かって黒褐色に変色が進み、9月7日になると幹の基部付近までほぼ変色してくる。2月15日には63%が枯れ、残る37%も地表上2～5 cm以下が生きているか、地下部が生きているのみとなる。

〔各処理鉢の比較〕

i) 被害徴候は処理当日第1回の塩水処理ですでに各鉢とも出るが、砂全鉢は特に著しく、下枝の小葉に黒変化が見られた。

ii) 葉の変色は地下部浸塩水処理では処理後2日目までは樹冠の上下各部の葉の変色が主で、4日目に中部の葉に被害が出る。これに対して全冠塩水処理では変色が早く、処理1日後には砂全鉢は全苗の大半の小葉が主脈を残して変色し、畑全鉢でも73%の苗が同様な状態となり、処理後4日目にほぼ全苗が落の形となる。

iii) 萌芽は砂土の鉢ではきわめてまれであるが、畑土鉢では全苗が落の形となったのち、見られるようになる。

iv) 枯死苗は砂全鉢で特に早く9月17日にでるが、他の処理鉢では10月30日になってでる。最終的な枯死率も砂全鉢が特に高く、63%に達するが、他の処理ではいずれも30%前後を示すにすぎない。

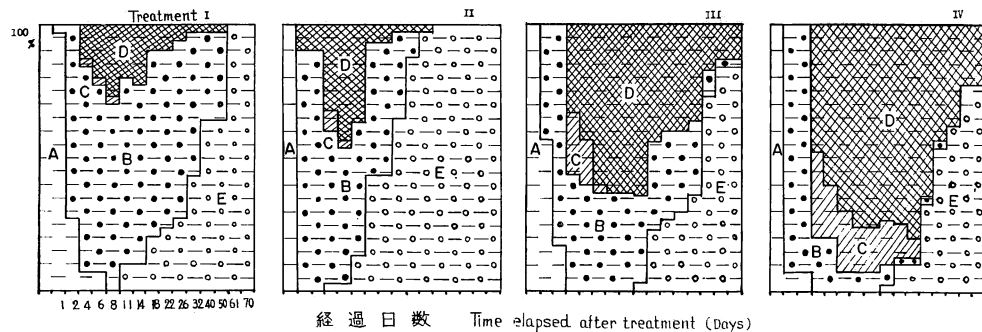
v) 以上の諸点および残存苗の幹の枯れた状態も含めて被害の大きさを総合すると、砂全鉢>砂根鉢>畑全鉢>畑根鉢の順位を示す。

6. ク コ

〔対照鉢〕：10月1日、葉に黄色を帯びた苗が一部出たが、10月19日ごろそれら黄色葉は落葉し、新たに葉を出し、以後霜のおりるまで緑色を保った。

〔畑根鉢〕：8月31日に緑色葉の落葉が少し見られ、3%の苗に変色葉が見られた。9月1日、73%の苗の樹冠下部の葉の先端が変色し、凋萎する。なお落葉（緑色葉含む）が著しい。9月3日、下部の葉が全変色し、中部の葉も黄色を帯びる苗が多くなり、被害葉の落葉も著しい。なお一部には健や落の苗も見られる。9月7日には全苗が被害をうけ、変色した葉はすべて落葉した。9月10日になると、落の苗で萌芽・開葉するものが出現する。以後、混の苗からも新葉が出て、漸次萌の苗を増し、10月30日には全部が萌の苗となる。

〔畑全鉢〕：8月31日、10%の苗は葉がすべて全変色し、90%の苗は先端や周辺の変色した葉を増し、また緑色葉の落葉が著しい。9月1日、混の苗は樹冠下部と頂端の葉が全変色し、ちぢれる。9月3日に落の苗の一部に萌芽が認められ、以後、萌の苗は漸次増加する。9月10日、落の苗の大半は新葉を開き、被害葉は大部分落葉する。10月1日、全苗が新葉を出しそろえ、変色葉は落ちて皆無となる。2月15日の



第 6 図 クコの被害度の推移

Fig. 6 The rate of injury degree of *Lycium chinense* observed at various times.

掘り取り調査では 100% 生存し、そのうち 7% は幹の上部が枯れていたが、他の苗は全く健全であった。

〔砂根鉢〕：処理当日第 1 回の処理で全葉がしおれたが、その後やや回復した。8 月 31 日には樹冠下部の葉がやや黄色を帯びた苗を 43% 生じた。9 月 1 日、83% の苗の下部の葉の葉縁が多少表面に巻き込み、また帯黄色葉は少し落葉した。9 月 3 日、全苗が変化し、混の苗 (44%) の被害葉は中部以下に多いが、上部にも点在する。下部の被害葉の落葉が著しい。9 月 5 日、混の苗の変色した葉はすべて落葉し、緑色葉のみ残る。9 月 17 日以降萌の苗が増加してくる。10 月 1 日になると葉が帯黄色となる苗がでたが、これは自然的な変色と思われる。10 月 19 日には混の苗も新条を出すものが多くなる。2 月 15 日の調査では枯死苗 3%、地下部のみ生きていた苗 20%、幹上部のみ枯れた苗 7%、全く健全な苗 70% であった。

〔砂全鉢〕：処理当日は砂根鉢と同じ変化を示し、翌 8 月 31 日には全葉数の約 20% の緑色葉が落葉した。葉が萎縮変色したり落葉した苗は 93% に達する。9 月 1 日、樹冠全体に被害葉が分布し、ことに下部と頂端に多く、その葉は先端から変色し、頂端の葉では全変色したものもある。落葉 (緑葉含む) が著しい。9 月 3 日、全苗が被害にかかり、被の苗 (33%) の下部の葉は全変色し、ちぢれる。また落葉が著しく、落の苗が 47% に達した。9 月 7 日、落の苗のうち枝に変色の見られるものが出る。9 月 17 日になると萌の苗が見られるようになり、以後これが増加していく、10 月 1 日、萌の苗の葉も黄色を帯び、10 月 19 日にはこれら変色した葉は落ち、新葉に代わる。2 月 15 日には枯の苗 17%、全く異常が見られなくなった苗 70%、残る 13% は地下部のみ生きていた。

〔各処理鉢の比較〕

i) 明りょうな被害徴候はいずれの鉢も 8 月 31 日に出るが、被害葉をもつ苗の多いのは、畑全鉢 > 砂全鉢 > 砂根鉢 > 畑根鉢の順位となる。また全苗が被害にかかる早さも畑全鉢 > 砂全鉢 = 砂根鉢 > 畑根鉢の順である。

ii) 葉の反応は地下部浸塩水処理では樹冠下部の葉から中部・上部の葉へと変化が移っていくが、全冠浸塩水処理では樹冠全体に被害葉が一斉に出て、ことに下部と頂端の葉の変色が著しい。

iii) クコは萌芽力強く、処理によって全葉が落葉したり、被害葉が多くなると、まもなく萌芽開葉する。各処理鉢の萌芽苗の本数は畑土鉢に多く、砂土鉢に少ない、また萌芽時期の遅速も畑土鉢が一般に早い。

iv) 枯死苗は最終調査において、砂全鉢 17%、砂根鉢 3%、畑土の鉢では皆無であった。

第4表 処 理 別 生 存 本 数

Table 4. Number of survivals of each species in various treatments (Feb. 15, 1963).

樹 種 Species	Block	処 理 Treatment				
		I	II	III	IV	V
ア カ マ ツ <i>Pinus densiflora</i>	I	5	6	0	0	10
	II	6	6	0	0	10
	III	6	3	0	0	10
ヒ ノ キ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	I	5	0	0	0	7
	II	1	3	0	0	9
	III	1	2	0	0	9
マ サ キ <i>Euonymus japonicus</i>	I	10	10	4	8	10
	II	10	10	10	9	10
	III	9	10	10	9	10
ア キ グ ミ <i>Elaeagnus umbellata</i>	I	1	2	0	0	10
	II	3	4	0	0	10
	III	3	1	0	0	9
イ タ チ ハ ギ <i>Amorpha fruticosa</i>	I	8	9	8	1	10
	II	6	5	5	0	10
	III	5	7	9	10	10
ク コ <i>Lycium chinense</i>	I	10	10	10	7	10
	II	10	10	10	8	10
	III	10	10	9	10	10

v) 以上を総合して、被害の大小の順位をみると、砂全鉢>砂根鉢>畑全鉢>畑根鉢の順位となる。

以上は各樹種ごとに観察による反応の傾向を述べたが、防潮林構成樹種を選ぶに最も決め手となる生後について、2月15日の掘り取り調査の結果を一括して第4表に示す。

IV 考 察

A. 植物の地上部における被害のあらわれかた

塩水処理をしたマサキ、アキグミ、イタチハギ、クコの葉は地下部処理・全樹体処理を問わず、葉や小葉の先端と周辺（基部を除く）がまず変色し、しだいに葉身の中央へと進み、主脈基部が最後に変色する過程をとる。また、アカマツでは針葉の先端から中央部へ、さらに基部に変色が進み、ヒノキでは小枝の先端に着生している葉から変色が始まり、小枝の基部の葉に及ぶ。このような被害の進みかたは他の植物にも観察されている¹⁾²⁾³⁾⁹⁾¹³⁾²⁰⁾。Boyce (1954)¹⁾ は砂丘植生に対する含気塩分の作用について各種の実験をした結果、強い海風によって運ばれた含気塩分が植物の地上部に付着したのち、体内に侵入し、それがどこから入ったかは関係なく、その塩化物のイオンは葉と枝の先端に急速に転位し、有害な濃度に蓄積されるため、これらの部分がまず壊死することを明らかにし、植物体内におけるイオンの濃度分布は葉ではその先端や上部周辺に高く、葉柄へ下がるほど少なく、また幹内ではその先端に高く、基部に低い一定の傾度の存在を述べた。

Boyce の場合は地上部の付着塩分に主体がおかれているが、著者らの地下器官が塩水で浸漬された場合でも、ほぼ同様な被害のあらわれ方をしていることから植物の塩害は葉の先端あるいは基部を除く周辺から被害が進むといってよいであろう。Boresch (1939) も肥料の中の塩化物がスグリの葉の先端と周辺の

凋萎を起こしたことを報告している。

樹冠上の着生位置による葉の被害のあらわれかたの違いについて見ると、地下部浸塩水処理では、アカマツ・ヒノキ・マサキ・アキグミ・クコは下部の葉にまず被害が出て、ついで中部から上部の葉へと進む。しかし、イタチハギは処理後まず下部と上部の葉に変化が出て、その後も上部と下部の葉の全変色化が早く、中部の葉の全変色化は一般に遅い。

全冠塩水処理では、アカマツ・マサキはまず樹冠全体に変色葉があらわれるが、その後の変色の進みかたは下部の葉から上部の葉へと全変色化の過程が進んでいく。クコも当初は樹冠全体に被害の徴候を示す葉が出るが、その後は頂端と下部の葉の変色の進みかたが早い。ヒノキは地下部処理と同様に下部の葉から上部の葉へと進み、アキグミは最初下部と頂端の葉に変色がおこり、その後は下部から上部へと変色化が進んでいく、イタチハギは処理後の変化が早く、処理後 1～2 日で全葉に変色部分が見られるが、ことに変化の進みかたの著しいのは上部と下部の葉である。

以上のように葉の着生位置による変化の進みかたは、それぞれの種でかなりの特徴をもっていて、特に地上部も冠塩水した場合に著しい。これは地上部に付着した塩分の組織内への侵入量および侵入した塩化物イオンに対する耐性が種によって異なっていることを示している。倉内 (1956)⁹⁾ はこの点について実験を行ない、海水に切枝を 10 分間浸したのち、水を軽くきり、2 時間後に葉に残っている Cl' を定量したところ、 Cl' が葉内に侵入する植物と葉内にあまり入らず葉の表面に付着する植物の 2 型があることを明らかにした。前者の型の植物は葉が一般に枯れやすいという。しかし侵入型でも抵抗性のはなはだ強い植物があり、マサキ・オオパイボタ・トベラ・マルバグミなどをあげている。

大後²⁾ は幼葉より十分成熟した葉が塩害をうけやすいと述べている。本試験でも樹冠の中部以下に見られた比較的若い葉は同位置の成葉より変色化が遅い傾向がアキグミ・イタチハギに見られた。このことは生育時期によって、被害が異なることを示唆する。

B. 塩水処理と植物の生死

根を含めた全樹体の生死を掘り取りによって調べた第 4 表の結果を検討すると次のごとくである。

塩水処理鉢について分散分析すると第 5 表のごとくとなり、まず 2 種類の土壤間に著しい違いが認められ、砂土に植えたものは生存本数が少ない。門田 (1962)⁸⁾ は海岸砂地では有効水分が小さいため、植物が水分不足を起こす機会が多いことを指摘している。本試験における 2 種の土壤間の差も単なる乾燥のみによる水分生理上の原因によるおそれがある。しかし、対照区では第 4 表のごとく、供試した樹種に限れば、枯死した苗木はきわめてまれであるので、この差は単なる乾燥のみによる差ではなく、塩水処理の反作用が土壤によって異なってあらわれることを示している。この直接の原因は第 3 表の土壤水分中の塩分量の違いにあるものと考えられる。門田⁸⁾ も砂土では土壤塩分の濃縮などによる障害をうける機会が多いと述べている。したがって、防潮林はもし可能ならば畑土などの含水量の適度な土地に造成するのが望ましく、植栽植物の選択も変化に富んだ内容となしう。しかし、現実にはこのような土地は得がたいのが通常であるので、砂土の地に造成する時は客土を行ない、細砂以下の土壤粒子を増加せしめるとか、土壤の保水能を高める何らかの処置をすれば、植物の枯死率を低めるのみでなく、植物自体の成長も良くなると考えられる。また、防潮林では河川に近い部分を除いて実行はやや困難をとまうと考えられるが、屋敷林や生垣などでは津波をうけたら速やかに灌水して、付着塩分を洗い落したり、土壤水中の塩分濃度を低下せしめ、かつ除塩することは大きな効果があると考えられる。ただ、粘土質土壤は砂質土に比し除塩は

第5表 分散分析表

Table 5. Statistical analysis of the results shown in Table 4.

変 動 因 Factor	平 方 和 S.S	自 由 度 d.f	平 均 平 方 M.S	分 散 比 F
土 壤 Soil	88.89	1	88.89	31.75**
処 理 器 官 Treated organ	2.72	1	2.72	—
樹 種 Species	890.33	5	178.07	63.59**
土 壤 × 樹 種 Soil × Species	38.61	5	7.72	2.76*
誤 差 Errors	164.95	59	2.80	
全 変 動 Total	1185.50	71		

* Significant (0.05 level) ** Highly significant (0.01 level)

やや困難とされている¹⁰⁾¹⁸⁾¹⁹⁾。門田⁸⁾によると、海岸砂地では 30mm 以上の降水があったのち、0～30 cm の土壤層の有効水分半減日数は一般に夏期において 5～7 日で、半減するとクロマツの生育に著しい影響を与えると述べている。したがって、冠塩水砂地では、夏期 5～7 日たてば、塩分濃度も表層に高くなり、植物にきわめて不利となるので灌水処理は早く行なう必要がある。また門田は海岸砂地における降水量とその降水の浸透前線の深さの関係からみて、0～50cm の砂土層をうるおすのに十分な降水量は降水直前の土壤水分の多少により異なるが、通常 1 降水 20～40mm の雨量であったと述べている。この値は土壤水分を増したり、除塩する灌水量の一つの目安になるものと思われ、少なくともこれ以上の量を灌水すべきであろう。

つぎに植物の種類によって生存本数に著しい差があり、それらの生存本数の差の限界値 (0.01水準) によって、この関係を見ると次のごとくとなる。

クコ・マサキ

イタチハギ

アカマツ・アキグミ・ヒノキ

すなわち、クコとマサキは最も耐性が大で、その生存率は前者が畑土で 100%，砂土で 90%，後者は畑土で 98%，砂土で 83% に達する。これらについてイタチハギが強く、畑土で 67%，砂土で 55% 生存した。残るアカマツ・アキグミ・ヒノキは砂土ではいずれの種類も全部枯死し、畑土ではそれぞれ 53%，23%，20% の生存率を示す。

これによって見ると、防潮林に適する樹種はクコとマサキである (この両種はその分布から見て暖帯において使用されるべき植物である)。イタチハギは上記結果から必ずしも適しているとはいいがたく、生き残ったものもかなりの苗が地上部枯損の被害をうけてもいることから、むしろ避けたほうが良いであろう。アキグミは海岸砂地造林によく使用されている樹種であり、ヒノキは三陸地方では海岸市街地の屋敷林や庭園樹などとして、かなりよく見かけられた樹種である。また、アカマツは東北地方北部では常時潮風のあたる地にも天然生林があり、また雪害に対してクロマツより強いという理由で防潮林樹種として用

うべき樹種の一つとして挙げられている。しかし、これら 3 種は耐塩水性の点からみて防潮林樹種として全く不適といつてよい。

また、本試験結果では土壌の種類によって植物を選ぶことが大切なことを示していて、アカマツは特に砂土において被害をうけやすく枯死しやすいといえる。

つぎに地下部のみ処理された苗と全樹体が処理されたものとは、生存本数に有意な差はなかった。これは後者の処理が前者に比較して単に地上部に一時的に塩分をより多く供給した違いのみで、土中塩分の継続的な供給に比して量的に少なく、時間的にも短いことに原因があると思われる。したがって、被害の点から見れば、地上部からも侵入せしめた場合は樹冠の全体に被害葉がまずあらわれ、また葉の被害のみから見れば全樹体処理の方が被害がやや著しい傾向は明らかであるが、苗の生死という点から見ると地上部から侵入した塩分の影響はさほど著しいものではないと考えられる。

チリ地震津波の時に冠水したクロマツが枯れ、根部のみ浸水したものが枯れなかったのは、前者が津波による樹体の振動、したがって植栽木間の、あるいは枝葉間の摩擦や衝突、および波に含まれている土砂や漂流物などの衝突による傷害をうけ、これらの傷害部はより多くの塩分の体内への侵入口としての役割を果たす結果¹⁾、このような差をもたらしたとも考えられる。

なお、海岸自生植物は必ずしも耐塩性があるとはいえないので¹⁸⁾、この種の試験はさらに多数の植物種類について検討を加え、各植物帯で使用できるものを選定すべきであり、また同一樹種でも生育時期により被害程度が異なると考えられるので、最も危険な時期のそれを明らかにすることが大切であろう。

摘 要

わが国の防潮林は北海道を除くと、クロマツの単層林が多く、混交植物も少ない。そのため、他の植物の混植が望まれる。冠塩水は多くの植物に有害で、したがって防潮林の環境の中で、重要な要因となっている。この試験は 6 種の植物の耐塩水性をしらべるために行なった。

供試植物としてはアカマツ、ヒノキ、マサキ、アキグミ、イタチハギ、クコを選んだ。これらの苗は 6 月に砂土の鉢と畑土（軽塩土）の鉢に移植した。

使用した塩水は海水の塩素量と等しくなるように NaCl と MgCl_2 を用いて調製した。

処理は 8 月 30 日に実施し、戸外の水槽中で、1 時間半の処理を 2 時間半の間隔を置いて 2 回行なった。処理は次の 5 種類とした。

- I. 畑土に植えた苗の地下部を浸塩水する。
- II. 畑土に植えた苗の全樹体を冠塩水する。
- III. 砂土に植えた苗の地下部を浸塩水する。
- IV. 砂土に植えた苗の全樹体を冠塩水する。
- V. 砂土に植えた苗の全樹体を冠水する。

処理後、鉢を戸外に設置し、その後の変化を観察した。その結果は次のごとくである。

1. 処理後、42 日間はほとんど雨がなかったため、根層における土壌水分中の塩分が増加した。そして、その塩分量は畑土よりも砂土で多かった。しかし、その後の降水によって急激に塩分を減じ、特に砂土においてその減り方は著しかった。

2. 全樹体を塩水処理した植物でも、地下部を処理したものでも、その葉の被害の型は同じで、葉の先

端や上部周辺にまず変色部分があらわれ、その後しだいに葉柄に向かって変色していく。

3. 地下部を処理した植物では、樹冠の下部の葉から上部の葉へと変色が進む。しかし、全樹体を塩水処理した植物では、植物の種類によってその経過は異なっていた。この事実は地上部付着塩分の浸入量と耐性が種類によって異なっていることを示しているものと思われる。

4. 一般に被害程度や被害をうける速さは畑土より砂土の方が顕著で、早い。これは土壤水分中の塩分量が異なっているためと思われる。したがって、防潮林の土壤としては適度の水分を保つ土壤であることが望ましい。また灌水が可能なら、森林の被害を低減することができる。

5. 葉の被害の少なかったマサキはほとんど枯死しなかった。しかし一方では、クコは葉の被害が早くから出たにもかかわらず、生存本数では最も多かった。したがって、この試験では植物の耐塩水性の順位は主として生存本数で決定した。

全樹体処理と地下部処理との間にはその生存率に有意な差はなかった。塩水処理した各植物を比較すると、クコとマサキは特に生存本数多く、クコは畑土で100%、砂土で90%、マサキは畑土で98%、砂土で83%に達した。イタチハギの順位は上記2種に次いでいて、畑土で67%、砂土で55%であった。アカマツ、アキグミ、ヒノキは砂土ではすべて枯死したが、畑土ではそれぞれ53%、23%、20%残存した。

防潮林樹種として、クコとマサキは適当と考えられるが、アカマツ、アキグミ、ヒノキ、イタチハギは適していない。

文 献

- 1) Boyce, S. G. : The salt spray community. Ecol. Monogr., **24**, pp. 29~67, (1954)
- 2) 大後美保 : 農作物の塩害に対する研究 (1), 気象集誌, 第2輯, **15**, pp. 81~95 (1937)
- 3) 越智春美 : 砂丘植物の生理生態学的研究 (2), 海岸砂丘植物の耐塩性について (予報), 植物生態会報, **2**, pp. 177~179, (1953)
- 4) 原 勝 : 砂丘土壌における塩素含有量と植生との関係, 日林誌, **17**, pp. 368~377, (1935)
- 5) 原 勝 : 海岸砂防造林, 林業解説シリーズ, **42**, 32 pp. (1952)
- 6) 堀川芳雄・宮脇 昭 : 台風の雑草に及ぼす影響, ヒコビア, **1**, pp. 151~162, (1952)
- 7) 伊藤悦夫・稲川悟一 : クロマツの耐塩性に関する若干の実験的考察—特にアカマツとの比較—, 静岡大農学部研報, **1**, pp. 55~64, (1951)
- 8) 門田正也 : 海岸砂地のクロマツの塩害に関する生理生態学的研究, 名大演習林報, **2**, 95 pp., (1962)
- 9) 倉内一二 : 塩風害と海岸林, 日本生態誌, **5**, pp. 123~127, (1956)
- 10) 倉内一二 : 新田植物群落の海水浸入に対する抵抗—とくに雑草群落について—, 日本生態誌, **5**, pp. 167~171, (1956)
- 11) 中野秀章・高橋啓二・高橋敏男・森沢万佐男 : 岩手宮城両県下防潮林のチリ地震津波時における実態・効果と今後のあり方, 林試研報, **140**, pp. 1~88, (1962)
- 12) NOBUHARA, H., Y. OKADA and K. FUJIIHARA : Observations on the damages of the coastal vegetation 1. Jap. Jour. Ecol. **12**, pp. 101~107, (1962)
- 13) 沼田 真・島田辰夫・永島久義 : 海岸植物の含気塩分に対する抵抗性 (予報), 植雑, **61**, pp. 127~128, (1948)
- 14) OOSTING, H. J. and W. D. BILLINGS : Factors effecting vegetational zonation on coastal dunes. Ecology, **23**, pp. 131~142. (1942)
- 15) OOSTING, H. J. : Tolerance to salt spray of plants of coastal dunes. Ecology, **26**, pp. 85~89, (1945)

- 16) 杉 二郎編：海塩の化学（海塩シリーズ 1），日本塩学会刊，441 pp., (1961)
- 17) 谷口森俊：台風 13 号及び異常高潮による植物の被害調査報告，植物生態会報，3，pp. 282～289，(1954)
- 18) 徳永健吉：潮害による土質の変化について，(1)，大日本農会報，601，pp. 13～22，(1930)
- 19) 徳永健吉：同上 (2)，同上誌，603，pp. 37～43，(1931)
- 20) WELLS, B. W. and I. V. SHUNK : Salt spray : An important factor in coastal ecology. Bull. Torr. Bot. Club, 65, pp. 485～492, (1938)
- 21) 山田藤吾・近沢嘉幸：アカマツ及びクロマツの耐塩性に関する研究 (7)，根の呼吸に及ぼす海水の濃度並びに温度の影響，日林関西支部大会講演集，9. p. 61, (1959)
- 22) 山科健二：アカマツ・クロマツ当年生苗の塩化ナトリウムに対する抵抗性，64 回日林講演集，pp. 158～160, (1955)

Tolerance to Salt Water of Several Plants (1).

Keiji TAKAHASHI and Yasuo HORIE

(Résumé)

Tide water control forests in Japan, except those in Hokkaido, are mostly the single-storied forest of *Pinus thunbergii* and are poor in mixed plants. Consequently, it is considered that the mix-planting of other species with *P. thunbergii* is desirable to diminish disaster caused by tsunami (seismic tidal wave).

Salt submergence is injurious to many plants and therefore is an important factor in the environment of the forest. This experiment was done at the Meguro nursery in Tokyo to check the range of tolerance of six ligneous plants to salt water.

Material and Method: *Pinus densiflora*, *Chamaecyparis obtusa*, and *Euonymus japonicus* as evergreen species and *Eraeagnus umbellata*, *Amorpha fruticosa*, and *Lycium chinense* as deciduous species were chosen for the study. Seedlings of each species were transplanted both in sand (dune soil) and in light clay soil (nursery soil) to unglazed pots in June, 1962. The salt water used in this study contained 26.695 g of NaCl and 7.018 g of $MgCl_2 \cdot 6 H_2O$ per kilogram, and the concentration of chlorine in solution was equalized to that in sea water.

Treatment was carried out on August 30, 1962. In the open these plants were treated with fresh water or salt water in a cistern for one hour and a half, and the same treatment repeated after an interval of two hours and a half. Three pots (ten plants a pot) of each species received one of the following treatments:

- I : The subterranean organ of seedlings planted in light clay soil was soaked in salt water.
- II : The whole of seedlings planted in light clay soil was submerged in salt water.
- III : The subterranean organ of seedlings planted in sand soil was soaked in salt water.
- IV : The whole of seedlings planted in sand soil was submerged in salt water.
- V : The whole of seedlings planted in sand soil was submerged in fresh water.

After the treatment, all plants were placed in the open, exposed to full sunlight or rain, and left throughout the time of the experiment. The arrangement of these pots in the nursery was based on the randomized blocks of three replications. The experiment was terminated on

February 15, 1963. Detailed notes were taken on the appearance of the plants at various times during the whole period of the experiment. Soil samples were taken from the upper 15cm layer in the pots at eight different times during the study. The chloride content was determined by titration with AgNO_3 , using K_2CrO_4 as an indicator, and chloride was calculated as NaCl .

Results: I. Because of little rain fall during 42 days after the treatment, the salinity of soil moisture increased at root depth, and the salt contents of sand soil moisture were larger than those of light clay soil moisture. The highest salt content found was 8.18 per cent. However, subsequent rains rapidly reduced the salt contents of the soil moisture, especially in sand soil (cf. table 2, 3).

2. The group having the whole of plant submerged in salt water and the other with the subterranean organ soaked were apparently similar in the pattern of leaf injury, namely, the necrosis areas first appeared at the leaf tips and upper margins then progressed slowly toward the petiole. In the case of treatment V by fresh water, all the species had a better color and made more growth with this treatment than with any other.

3. In most of the plants having the subterranean organ soaked, the injury on the crown progressed from lower to upper leaves gradually with the lapse of time. However, in the wholly submerged group, the progress of injury on the crown was widely different among the various species at an early stage. This fact suggests that their leaves have different entrance and tolerance among these species to the chlorides

4. The estimated percentage of injury is shown graphically in figures 1~6. There are several different responses among these species or these treatments. In general, injury degree and response speed of the plants on sand soil treated with salt water were distinctly greater than those on light clay soil. It seems that the difference is controlled by the salt content of soil moisture. Consequently, when selecting the soil of tide water control forests it is desirable to choose the soil which holds moisture moderately, and if to perfuse with fresh water is possible, it will diminish damage in the forest attacked by tide water.

5. Each of the results in table 4 represents the number of survivals on each of the repeated pots. *E. japonicus* the susceptibility of whose leaf injury was less than any other was rarely killed by salt water. On the other hand, although *L. chinense* was one of the first to show signs of leaf injury, yet the number of survivals at the end of the experiment was the greatest of all the species. Obviously the degree of survival is unrelated to the susceptibility of leaf injury. In this experiment, the order of their tolerance, therefore, was mainly determined by the number of the survivals. As regards the comparison of different treatments of the whole and the subterranean organs, there seems to be no significant difference between the survival rates of the two groups. The survivals of the plants treated with salt water are as follows:

L. chinense and *E. japonicus* far exceed all others in the number of survivals. *L. chinense* reached 100 per cent on light clay soil, and 90 per cent on sand soil. *E. japonicus* took rank with *L. chinense* in the survival, reaching 98 per cent on light clay soil, and 83 per cent on sand soil. *A. fruticosa* ranked after the above two species, the survival rate showing 67 per cent on light clay soil, and 55 per cent on sand soil. *P. densiflora*, *E. umbellata*, and *C. obtusa* on sand soil were quite dead at the end of the experiment, but those on light clay soil that remained were 53, 23 and 20 per cent, respectively.

L. chinense and *E. japonicus* are suitable for use in tide water control forests, but *A. fruticosa*, *P. densiflora*, *E. umbellata*, and *C. obtusa* are not suitable for reasons of their tolerance.