

木麻黃類耐鹽性之比較研究

陳 燕 章

摘 要

本研究係以本省自採之木賊葉木麻黃、銀木麻黃及新引進之銀木麻黃為對象，採用複因子之逢機完全區集試驗設計，由不同苗齡（6及12個月生），不同鹽分濃度（25及35%）與不同淹浸時間（3及5日）等處理進行試驗，以比較其耐鹽性之差異並分析其可能原因。

苗木經處理後之高生長，殊遭鹽分濃度所影響，且呈顯著性；惟地徑生長則不然。各樹種之成活率顯呈差異，主遭樹種、苗齡及淹浸時間所影響。苗木地上部之累積離子除 Na^+ 外，他如 K^+ 、 Mg^{++} 及 Cl^- 等離子濃度均遭樹種、苗齡、鹽分濃度及淹浸時間所影響，且呈顯著性。各離子之濃度除 Na^+ 外， K^+ 、 Mg^{++} 及 Cl^- 等均與苗木成活率具顯著相關。 K^+ 及 Mg^{++} 呈正相關，惟 Cl^- 則呈極顯著之負相關，其相關係數高達 -0.86 ，即 Cl^- 離子對苗木生長殊具毒害作用。本試驗以新引進之銀木麻黃6個月生苗木之耐鹽性為最強，因其成活率最高（98%）；然其12個月生苗木之成活率則最低（僅70%），故耐鹽性最弱。

關鍵詞：木賊葉木麻黃，銀木麻黃，耐鹽性。

一、緒 言

臺灣地處亞熱帶，四面環海，海岸線特長，夏遭颱風及冬受東北季風之侵害，致人民生命財產迭受威脅。凡欲安定人民生活，保續農業生產，開發海埔新生地及維護重大建設，則需選育抗風性強及耐鹽性高之樹種，以圖成功建造海岸防風林。

當第3屆世界林木育種評議會(Third World Consultation on Forest Tree Breeding)舉行之際，Badran 與 El-Lakany (1977) 曾謂：全世界甚少針對防風林(windbreak)及保護樹帶(shelterbelt)之樹種從事有計畫之改良及生長研究；並稱木麻黃屬(*Casuarina*)之若干樹種之所以日遭重視者，要於防風林區域內顯現優勢生長、高度抗旱性及耐鹽性之故。據臺灣林業統計(1979

)之估計：本省海岸林總面積已達9,890公頃，其中仍以生長快速、栽培容易，尤耐鹽風及乾旱貧瘠地之木麻黃類為主。惟臺灣早在1902年日人即引進木賊葉木麻黃(*Casuarina equisetifolia* Forst)，至今增至多種，惟何者最適建成海岸林，實有研究之必要。本試驗係就陳振榮(1980)之初步試驗結果：木麻黃類中，以本省早年引入之木賊葉木麻黃、銀木麻黃(*C. glauca* Sieb. ex Spreng)及新引進之銀木麻黃等三者之耐鹽性較高，予以深入之探討，期能有助於臺灣海岸防風、防潮林之建造，庶發揮其最大功效。

二、前人研究

關於木麻黃類之耐鹽性研究，國內僅少數學者為之。甘偉航(1962)謂：由季風激起之鹽沫(即

鹽分散佈, salt spray)、飛砂及機械破壞作用, 遂使海岸木麻黃類產生梢枯現象, 其梢枯長度與當風距離呈負相關, 即樹株當風距離愈近, 枯梢愈長; 距離愈遠, 枯梢愈短。惟梢枯量於各品種間之差異則不顯著。據林渭訪 (1956) 之研究指出: 木賊葉木麻黃及細直枝木麻黃 (*C. stricta* Aiton) 之抗風及抗鹽性均強; 銀木麻黃及方苞木麻黃 (*C. quadrivalis* Labill.) 雖能耐鹼, 然抗風力弱; 而虎氏木麻黃 (*C. huegeliana* Mig.) 雖較抗風, 却不耐鹼。甘偉航 (1968) 謂: 海岸地區鹽風之為害有三, 首為風力之吹襲; 次為砂粒之衝擊; 三為鹽分之破壞。而鹽分常致林木枝葉產生壞疽, 終至脫落, 甚或全株死亡。樹體上之鹽分與林內表土之鹽分呈顯著之正相關。即樹上噴積物鹽分多者, 其株邊表土鹽分含量亦多。甘氏發現, 生長於表土平均鹽度為 0.512~0.964% 之木賊葉木麻黃、秩氏木麻黃 (*C. deplancheana* Miq.)、細直枝木麻黃、虎氏木麻黃、方苞木麻黃及銀木麻黃, 其耐鹽性之差異並不顯著, 然其受害, 實由風力為導因, 鹽分為致死結果。章樂民 (1971) 於研究臺灣西海岸鹽濕地之植物地理與生態中, 發現土壤 pH 值均在 8.0 左右, 呈鹼性反應; 土壤中所含可溶性鹽分介於 0.3~4.16%, 其中陽離子以 Na⁺ 最高, 陰離子則以 Cl⁻ 為著。章氏認為木賊葉木麻黃適於行海岸造林, 而銀木麻黃則適為耕地防風林。彭茂雄 (1975) 曾就木賊葉木麻黃進行 3 種試驗: A. 不同濃度鹽液之分期灌注; B. 不同濃度鹽液之一次

灌注; C. 苗木樹冠之鹽液噴灑。在 A 處理中, 總施鹽量為 65~91 g 者, 苗木生長即遭限制; 104 g 者, 苗木生長固不正常, 且呈現病徵; 117 g 者, 苗木即陷枯死。在 B 處理中, 總施鹽量 80 g 者, 苗木生長遭受限制; 120 與 160 g 者, 苗木即陷枯死。在 C 處理中, 噴鹽液又吹風之處理對苗木之高生長影響最大, 其平均高生長僅為 4.7 cm; 噴鹽液不吹風者為 9.5cm; 未噴鹽液而吹風者為 19.5cm; 未噴鹽液未吹風者為 24.8cm, 顯示噴鹽液對苗木高生長之影響大於風力。另陳振榮 (1980; 1984) 亦曾對臺灣之木麻黃及新引進之木麻黃進行耐鹽性之比較研究, 其中以木賊葉木麻黃之耐鹽性為最佳, 新引進之銀木麻黃及本省自採之銀木麻黃與雜交羣後裔苗木之耐鹽性尚高, 且枯死率間呈不顯著差異。然新引進之細直枝木麻黃、虎氏木麻黃、大果木麻黃 (*C. torulosa* Aiton) 與歐氏木麻黃 (*C. oligodon* Johnson) 之耐鹽性則較弱。各類木麻黃經 25% 鹽分濃度之鹽水淹浸 3 日後, 初期均呈頂梢及小枝末端多汁、褐變、乾枯及苗幹下層小枝枯萎及脫落等病徵。迨鹽水排除 1 個月後, 除嚴重受害致死者外, 其他被害苗木之病徵減輕, 且逐漸恢復生長。

三、材料與方法

(一) 種子來源與苗木培育

茲將樹種、種子組代號、種子來源、苗木培育地點及試驗時之苗齡列如表 1。

表 1 各樹種、種子組之代號、種子來源、苗木培育地點及苗齡

樹	種	種子組代號	種子來源	苗木培育地點	苗齡
木賊葉木麻黃	<i>C. equisetifolia</i>	CE ₂ A	北港工作站	北港工作站	12個月
銀木麻黃	<i>C. glauca</i>	CG ₂ A	"	"	"
銀木麻黃	<i>C. glauca</i>	CG ₃ A	澳洲 Jervis Bay	"	"
木賊葉木麻黃	<i>C. equisetifolia</i>	CE ₂ B	桃園工作站	宜蘭縣清水苗圃	6個月
銀木麻黃	<i>C. glauca</i>	CG ₂ B	北港工作站	"	"
銀木麻黃	<i>C. glauca</i>	CG ₃ B	澳洲 Jervis Bay	"	"

(二) 苗木移植與鹽水淹浸處理

本試驗採用 4 因子 ($3 \times 2 \times 2 \times 2$) 之複因子逢機完全區集試驗設計，其處理分別為：

- A. 樹種：本省自採之木賊葉木麻黃、銀木麻黃及新引進之銀木麻黃等 3 類。
- B. 鹽水濃度：25與35%等 2 級。
- C. 淹浸時間：3 與 5 日等 2 級。
- D. 苗齡：12與 6 個月生等 2 級。

每 1 區集包括 6 個試區 (木箱)，每 1 試區種植 20 株苗木，重複 2 次。

將北港工作站及清水苗圃所培育之塑膠袋苗木運回臺北，分別按原設計移植於各區集之木箱內，並量取苗高及地際直徑。每一區集舖以 PE 厚塑膠布，上置 6 個內裝混合土壤之木箱 (規格為 $52\text{cm} \times 42\text{cm} \times 42\text{cm}$)，混合土壤為宜蘭縣五結鄉海岸木麻黃林分中之土壤 3 份，苗圃土壤 1 份與牛糞堆肥 1 份。每 1 木箱分別移植各種子組苗木 20 株，使為 1 試區。

移植 3 個月後，各苗木均已恢復生長且達試驗苗齡 (即 12 與 6 個月生)，遂量取苗木高生長與地際直徑，旋架起舖於各區集下側之塑膠布，使成水池狀，並於各區集之上方搭蓋遮光率為 83% 之遮光網，以模擬颱風之陰日。其後進行表 2 所列之各項處理，惟鹽水淹浸深度，則以高出各木箱土面 2cm 為準。

於鹽水淹浸 3 或 5 日後，分別予以排除，並拆除遮光網，其後之澆水與管理工作則按常規進行，

表 2 各區集之鹽水濃度與淹浸時間

區集處理	區集							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
鹽水濃度 (%)	25	25	25	25	35	35	35	35
淹浸時間 (日)	3	3	5	5	3	3	5	5

註：鹽水濃度為 25% 者，即每公斤自來水中溶入 25g 之工業用粗鹽；其為 35% 者，則溶入 35g，該粗鹽由臺灣糧食局所生產。

惟自鹽水排除之日始，即不時觀察苗木之生長反應。

(三) 苗木之處理及離子濃度之測定

鹽水排除 45 日後，分別測取各種子組苗木之高生長，地際直徑及調查成活率。然後掘苗，自根頸 (root collar) 處截斷，取其地上部，分別置於烘箱內烘乾，而後按 Miksche (1976) 所述之方法以進行各種離子之測定。

苗木地上部之 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{++} 離子測定，係將地上部烘乾、磨粉後過篩 (20 mesh)；將 2 g 樣本納入坩堝，置入灰化爐，先以 150°C 預熱 30 分鐘，而後以 550°C 灰化 3~4 小時，直至樣本成為均勻之白色粉末。取出坩堝，旋予冷卻，以 3ml 之 1:1 鹽酸抽出 2 次，再加 10 ml 10% 鹽酸，稍加熱後以 Whatman 42 號濾紙過濾至 100 ml 之定積瓶，加入 45 ml 10% 鹽酸後，以蒸餾水稀釋之，此即抽出液。 Na^+ 及 K^+ 之測定，係將此抽出液稀釋後，以火焰光度計 (flame photometer) 測定。 Mg^{++} 則由原子吸收光譜儀 (atomic absorption spectrophotometer) 測定。最後將各實測值換算成 1g 樣本乾重之百分率。

惟 Cl^- 之測定，則採鹼灰化法，即將 1g 樣本與 5g 愛斯卡斯混合物 (Eschka's mixture) 充分混合後，按上述方法予以充分灰化。空白樣本則僅灰化愛斯卡斯混合物。灰化物用過量之 10% 硝酸洗至 400 ml 燒杯中，加入 5ml 0.1 N 之硝酸銀溶液後，過濾至 250 ml 定積瓶，以蒸餾水稀釋之，此即抽出液。取 50 ml 抽出液，加入 5 ml 鐵離子指示液 (Fe^{+++} indicator)，以 0.02 N 之 NH_4SCN 滴定至穩定之黃褐色為止，最後將實測值換算成 1g 樣本乾重之百分率。

四、結果與討論

生長發育階段不同之植物，其耐鹽性 (salt tolerance) 自異 (Lunin et al., 1963)。一般

言之，植物對鹽分環境之適應性，係隨其年齡之增大而益形顯著 (Westing, 1969)，然其生理狀態亦極具影響。惟測定植物耐鹽性之常用方法，不外次列3種：(1)於施用定量鹽分後，觀測植物之成活力 (Land, 1967)；(2)於鹽分環境中，觀測植物之生產力 (Bernstein and Hayward, 1958)；及(3)比較生長於鹽土與非鹽土植物之相對性狀 (Hayward and Wadleigh, 1949)。本試驗乃以不同種子組之不同齡苗木為對象，各施以不同濃度之鹽水及不同淹浸時間之處理後，隨時觀測苗木之生長反應，並測定其高生長、地徑生長、成活率及地上部 Ma^+ 、 K^+ 、 Mg^{++} 、 Cl^- 含量 (詳列於附錄1)，藉以分析耐鹽性之差異，並評定何者之耐鹽性最強。

(一)鹽害病徵

植物生長於高鹽度土壤者，常因鹽分之影響，致葉形變小，且較正常葉片為厚 (Bernstein, 1975

)，亦可能因高濃度之離子累積，致葉部呈現多汁 (Hayward, 1956)，或致壞疽及枯枝 (Boyce, 1954; Walton, 1969; Westing, 1969; Hofstra and Hall, 1971; Bernstein, 1975)。Hayward 與 Wadleigh (1949) 謂：植物由於鹽類為害，首於葉尖發生褐變而乾枯，稍後則沿葉緣而擴大，其為害甚者，全葉褐變，自葉基產生離層，終至落葉。

本試驗於鹽水排除後1週內，各苗木仍呈旺盛生長，然自第8至12日，鹽害病徵逐漸顯現，各種子組苗木之頂梢及小枝先端均呈嫩綠而多汁，間有褐變、乾燥而略似脫水狀者，苗木下層小枝亦陷枯萎。及至第15~20日，受害更趨嚴重，CE₂B 受害尤烈，全株小枝均陷萎黃 (圖1)，終淪死亡，此病徵均與彭茂雄 (1975) 觀察之木賊葉木麻黃相同。鹽水排除25日後，各苗木未再顯現新病徵，惟萎黃之小枝則繼續脫落。迨至30日後，各苗木之受害

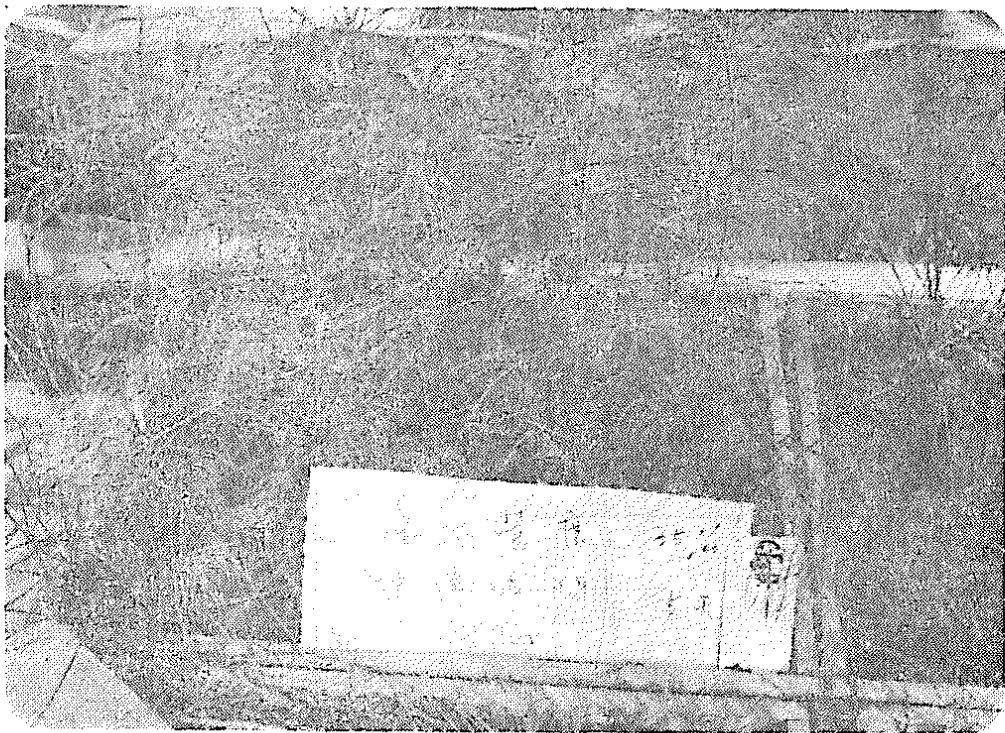


圖1 鹽水排除後20日，CE₂B 受害嚴重，多數苗木之小枝全陷萎黃，導致其後苗木之死亡

病徵有減輕之勢，且萌發新芽，恢復生長，間有具特殊萌芽力之木賊葉木麻黃，遂自受害乾枯莖幹之下側長成叢生狀簇枝（圖 2），此亦同於陳振榮（1980）之觀察。究其原因，實係降雨及灌溉水之淋溶，或植物自身之生理調節，致減低土壤及植物體內鹽分濃度之故。Oosting (1945) 認為在暴風之後，繼之以降雨者，將可減輕鹽分散佈之為害。Tukey (1966) 亦指出，噴水處理可促成植物之淋溶作用，遂致降低體內之鹽分濃度，而間接增進植物之耐鹽性。Walton (1969) 則謂：雪之覆蓋、早春降雨量及生長季節之降雨量之所以減輕鹽分為害者，要因其供應多量水分，以淋溶土壤中大量鹽分之故。

(二) 高生長、地徑生長與成活率

植物所以遭受鹽害者，要由 (1) 滲透壓效應 (osmotic pressure effects) 與 (2) 特殊離子效應 (specific ion effects) 所促成。就滲透壓效應之理論而言，其作用乃由高濃度之鹽分增加土壤溶液之滲透壓，而減低植物體與土壤溶液間之擴散壓差 (diffusion pressure deficits)，致減少植物所吸收之水量，遂影響該植物之生長、收穫與成活率 (Bernstein and Hayward, 1958; Magistad, 1945)。Eaton (1942) 謂：根部介質鹽分濃度於增大時，植物則促進地上部細胞液之滲透壓。此調節現象亦發生於根部，尤以鹽生植物 (halophytes) 為著 (Bernstein, 1961)。惟根部

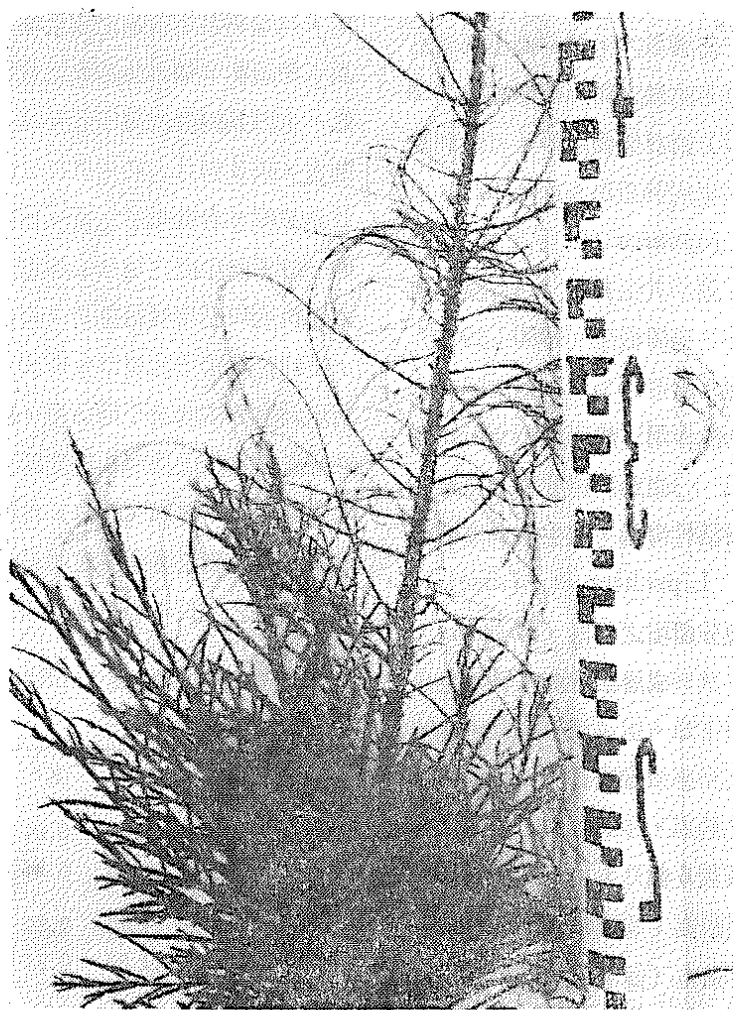


圖 2 鹽水排除後30日，木麻黃苗木恢復生長，間有形成叢生之簇枝狀者

介質高滲透壓之抑制作用，要由粒線體 (mitochondria) 與色素體 (plastids) 未能調節至新逆壓所致 (Bernstein, 1963)。就特殊離子效應而言，植物體內高濃度離子累積之不利影響，則為養分與毒害之綜合作用，亦即植物體內養分離子平衡遭受大量累積離子之破壞所致；而毒性則為特殊離子過量累積所形成之致死效應 (Bernstein and Hayward, 1958)。

按附錄 1 之資料進行複因子變異分析之結果顯示，苗木之高生長僅遭鹽分濃度與重複之交感效應所顯著影響，其他處理則不具顯著作用。苗木地徑生長之全部 F 值均不顯著，即各處理單一因子及其相互間之交感效應對苗木地徑生長，均未呈顯著之影響。彭茂雄 (1975) 謂：噴鹽液且吹風之處理對木賊葉木麻黃高生長之影響最大，平均高生長僅為 4.7cm，而未噴鹽液且未吹風之對照組則高達 24.8 cm。Flower 等 (1977) 認為低濃度離子可能刺激鹽生植物之生長。青木正則與石川春彥 (1971) 之柳杉 (*Cryptomeria japonica* (L. F.) D. Don) 水耕法耐鹽性試驗，顯示其生長於 1.4% 鹽分濃度者，殊較對照組為佳。另陳振榮 (1980; 1984) 亦據此推斷其處理之鹽水濃度 25% 者，對木賊葉木麻黃苗木之生長具有刺激作用。然而 Hayward 與 Spurr (1944) 却指出，生長於鹽分地之亞麻 (flax)，其莖部形成層活性降低，次生木質部細胞變小，莖部遂陷萎縮。Lipschitz 與 Waisel (1970) 亦發現生長於鹽分環境之胡楊 (*Populus euphratica* Oliv)，其形成層活性與木質部生長量均低，總生長量亦陷下降。就成活率而言，其結果則遭種子組與苗齡之交感效應所影響，且呈顯著性；而鹽水淹浸時間之長短，亦具顯著之作用。本試驗以新引進之銀木麻黃 6 個月生苗木 (即 CG₃B) 之成活率 (98%) 為最高；成活率最低者為新引進之銀木麻黃 12 個月生苗木 (即 CG₃A)，僅及 70%。Land (1967) 謂：德達松 (*Pinus taeda* L.) 4 試驗種源間之成活率呈顯著之差異，且深受海水

表 3 苗齡對各種子組苗木地上部離子含量與成活率之平均效應 單位：%

種子組	苗齡	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	成活率
CE ₂	6	1.94	0.89	0.18	1.25	81.25
	12	1.87	0.72	0.18	1.32	91.25
CG ₂	6	1.87	0.84	0.21	1.36	91.88
	12	1.65	0.76	0.20	1.22	80.00
CG ₃	6	1.70	1.18	0.22	1.41	98.13
	12	1.74	1.11	0.20	1.35	70.00

濃度、淹浸時間與苗齡所影響。就苗齡對苗木地上部離子含量及其成活率之平均效應 (表 3) 而言，其中 2 類銀木麻黃 (CG₂ 與 CG₃) 12 個月生苗木之成活率均較 6 個月生者為低；惟木賊葉木麻黃則反之，以 12 個月生苗木之成活率為高。Land (1974) 謂：德達松 2 個月生苗木之成活率較 1 個月生者為低，主因其側根於種子發芽後 1 至 1 個半月間開始發育，致 2 個月生苗木具較大之吸收面積，遂吸收並累積較多有毒離子之故。前曾述及，林木之耐鹽性一般係隨年齡之增加而增進，惟本試驗之 2 類銀木麻黃所以呈相反結果者，可能肇因於鹽水淹浸時，不同苗齡苗木之根系生理或形態相異所致。表 4 所示為鹽分濃度之平均效應，鹽分濃度為者 35%，殊降低苗木之成活率；濃度 25% 者，降低不著。青木正則與石川春彥 (1971) 曾就柳杉進行耐鹽性之水耕試驗，發現鹽分濃度超過 2.2%，即會抑制柳杉各品種之生長；若超過 3.0%，則呈致死效應。

表 4 鹽分濃度對各種子組苗木地上部離子含量與成活率之平均效應 單位：%

種子組	鹽分濃度	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	成活率
CE ₂	2.5%	1.77	0.84	0.19	1.21	98.75
	3.5%	2.04	0.64	0.17	1.37	73.75
CG ₂	2.5%	1.71	0.86	0.21	1.22	90.00
	3.5%	1.81	0.73	0.20	1.36	81.88
CG ₃	2.5%	1.69	1.29	0.22	1.35	88.13
	3.5%	1.75	1.09	0.20	1.40	79.38

Land (1974) 曾謂：55%之人造海水對苗木之成活率僅具輕微之破壞作用。惟為85%者，則顯著降低其成活率。自表5所列之鹽水淹浸時間之平均效應而言，鹽水淹浸5日較諸淹浸3日者，尤能降低木麻黃各種子組苗木之成活率。Land (1974)之研究亦獲相同之結果，氏謂此可能肇因於毒性離子累積之時間增長與滲透壓逆壓之持久所致。

表5 淹浸時間對各種子組苗木地上部離子含量與成活率之平均效應 單位：%

種子組	淹浸時間	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	成活率
CE ₂	3	1.88	0.74	0.18	1.26	95.00
	5	1.93	0.75	0.18	1.31	78.75
CG ₂	3	1.77	0.84	0.20	1.27	93.13
	5	1.75	0.75	0.20	1.29	78.75
CG ₃	3	1.71	1.31	0.23	1.36	90.00
	5	1.73	1.07	0.20	1.40	77.50

(⇒) Na⁺、K⁺、Mg⁺⁺ 及 Cl⁻ 離子含量

Bowen (1966) 指出，離子對植物形成毒害之途徑有5：(1)形成抗代謝物質 (antimetabolites)；(2)與各種代謝物結合形成沉澱；(3)催化必須元素 (essential elements) 之急速分解；(4)與細胞膜化合或影響其滲透性；(5)取代必須元素，完全破壞其作用。本試驗就木麻黃苗木地上部進行Na⁺、K⁺、Mg⁺⁺ 及 Cl⁻ 離子之濃度分析，藉以研究各處理因子對其濃度變化之影響；並進行迴歸分析，以探究各離子濃度與苗木成活率之關係。

就附錄1之資料進行複因子變異分析，發現Na⁺之全部F值均不顯著，即各單一處理因子及其相互間之交感效應，對木麻黃苗木地上部之Na⁺含量均未呈顯著影響。惟自表4則顯見，由於鹽水濃度增高，3類木麻黃苗木地上部之Na⁺含量亦趨增高。此同於Land (1974)之研究結果。惟由Na⁺含量與成活率進行直線迴歸之變異分析(表6)，其F值不顯著，即木麻黃苗木地上部Na⁺含量與其成活率間，不具顯著之相關。Walton (1969)

謂：Na⁺ 之為害殊輕於 Cl⁻，似可供佐證。

表6 木麻黃苗木地上部Na⁺ 含量與成活率直線迴歸之變異分析

變異來源	自由度	平方和	均方	F 值
迴歸	1	6.80	6.80	0.02
殘差	46	14813.52	322.03	N.S.
總計	47	14820.32		

就K⁺ 含量而言，其複因子變異分析之結果顯示，樹種與淹浸時間之交感效應對木麻黃苗木地上部之K⁺ 含量具顯著影響，因其F值呈顯著性。苗齡與淹浸時間之交感效應及樹種之F值均極顯著，故對苗木地上部K⁺ 含量深具作用。惟就各處理因子之平均效應而言，苗齡增大，鹽分濃度增高，各種子組苗木地上部K⁺ 含量均呈減少之勢(表3及表4)；但淹浸時間增長，其結果却無一致性之結論(表5)。Epstein (1963) 謂：K⁺ 含量之減少，或係受Na⁺ 含量增高所抑制之故。復就K⁺ 含量與苗木成活率進行直線迴歸之變異分析(表7)，其F值呈顯著性(F_{1,46}=4.08；顯著平準5%)，即苗木地上部之K⁺ 含量與其成活率具顯著之相關。表8係自特定之x值計算 \bar{Y}_x 值及其標準誤

表7 木麻黃苗木地上部K⁺ 含量與成活率直線迴歸之變異分析

變異來源	自由度	平方和	均方	F 值
迴歸	1	1248.23	1248.23	4.23*
殘差	46	13572.09	295.04	
總計	47	14820.32		

表8 各特定X值(K⁺ 含量)之 \bar{Y}_x (成活率)及其標準誤與95%之信賴區間

X _i	\bar{Y}_x	SE	95% CI
1.4	92.67	4.35	92.67 ± 8.71
1.0	86.67	2.57	86.67 ± 5.14
0.6	80.67	3.35	80.67 ± 6.70
0.4	77.66	4.47	77.66 ± 8.94

並列出95%之信賴區間。自表8繪得迴歸關係圖(圖3)，並算得其決定係數(the coefficient of determination) $r^2=0.08$ ，即其成活率之變異中，約8%與 K^+ 含量有關。 $r=0.29$ ，是用以表示二者相關程度之相關係數(the coefficient of correlation)，即 K^+ 含量對苗木成活率並未呈決定性之正相關。

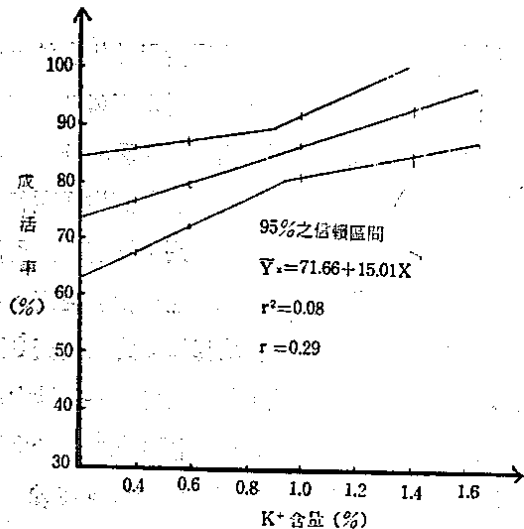


圖3 木麻黃苗木地上部 K^+ 含量與其成活率之關係

自 Mg^{++} 含量之複因子變異分析而言，其樹種與淹浸時間之交感效應，苗齡、鹽分濃度與重複等三者之交感效應之 F 值均呈顯著性，故對木麻黃苗木地上部之 Mg^{++} 含量深具作用。但就各處理因子之平均效應而言，鹽分濃度愈高，淹浸時間愈長，各種子組苗木地上部之 Mg^{++} 含量反趨減少(表4及5)。此現象與 Land (1974) 之試驗結果相異有待進一步之研究。惟 Mg^{++} 含量與苗木成活率之直線迴歸變異分析(表9)顯示，其 F 值極為顯著 ($F_{1,40}=7.31$ ；顯著平準 1%)，即苗木地上部之

表9 木麻黃苗木地上部 Mg^{++} 含量與成活率直線迴歸之變異分析

變異來源	自由度	平方和	均方	F 值
迴歸	1	6015.24	6015.24	31.43**
殘差	46	8805.08	191.41	
總計	47	14820.32		

表10 各特定 X 值 (Mg^{++} 含量) 之 \bar{Y}_x (成活率) 及其標準誤與95%之信賴區間

X_i	\bar{Y}_x	SE	95% C.I.
0.16	65.15	4.11	65.15±8.22
0.18	75.68	2.63	75.68±5.26
0.20	86.21	2.00	86.21±4.00
0.22	96.74	2.85	96.74±5.70

含量與其成活率具顯著之相關。表10為自特定 x 值計算其 \bar{Y}_x 、標準誤及95%之信賴區間，並依此繪製迴歸關係圖(圖4)。其決定係數 $r^2=0.41$ ，意指成活率之變異中，約41%與 Mg^{++} 含量有關。相關係數 $r=0.64$ ， r 值愈大，二者之相關程度愈高。 r 值為正，表示二者成正相關，即 Mg^{++} 含量愈高，苗木成活率亦愈高。

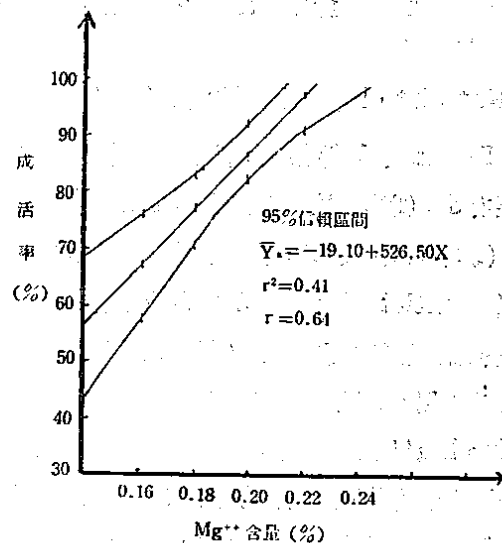


圖4 木麻黃苗木地上部 Mg^{++} 含量與成活率之關係

就 Cl^- 含量而言，其複因子變異分析之結果顯示，樹種與苗齡，鹽水濃度與淹浸時間之交感效應對苗木地上部 Cl^- 含量具顯著影響，因其 F 值均屬顯著。當鹽分濃度增高，淹浸時間增長時，各種子組苗木地上部 Cl^- 含量亦隨之增高(表4及5)。此同於 Land (1974) 之試驗結果。惟2類銀木麻黃(即 CG_2 與 CG_3) 之 Cl^- 含量却隨苗齡之增長而降低(表3)，此或與不同苗齡苗木之根系生理及

表11 木麻黃苗木地上部 Cl⁻ 含量與成活率直線迴歸之變異分析

變異來源	自由度	平方和	均方	F 值
迴歸	1	10911.69	10911.69	128.41**
殘差	46	3908.62	84.97	
總計	47	14820.31		

形態差異有關。表11為苗木地上部 Cl⁻ 含量與成活率之直線迴歸變異分析，其 F 值呈極顯著性 ($F_{1,40} = 7.31$ ，顯著平準 1%)，即二者具極顯著之相關。自特定 x 值計算其 \bar{Y}_x 、標準誤及 95% 信賴區間

表12 各特定 X 值 (Cl⁻ 含量) 之 \bar{Y}_x (成活率) 及其標準誤與 95% 之信賴區間

X _i	\bar{Y}_x	S. E.	95% C. I.
1.2	98.33	1.88	98.33 ± 3.76
1.3	87.04	1.34	87.04 ± 2.68
1.4	75.74	1.57	75.74 ± 3.14
1.5	64.44	2.27	64.44 ± 4.54

(表12)，並依此繪製迴歸關係圖(圖5)其決定係數 $r^2 = 0.74$ ，即成活率之變異中，約 74% 係與 Cl⁻ 含量有關；相關係數 $r = -0.86$ ，更表示二者呈極顯著之負相關，即 Cl⁻ 含量愈高，苗木之成活

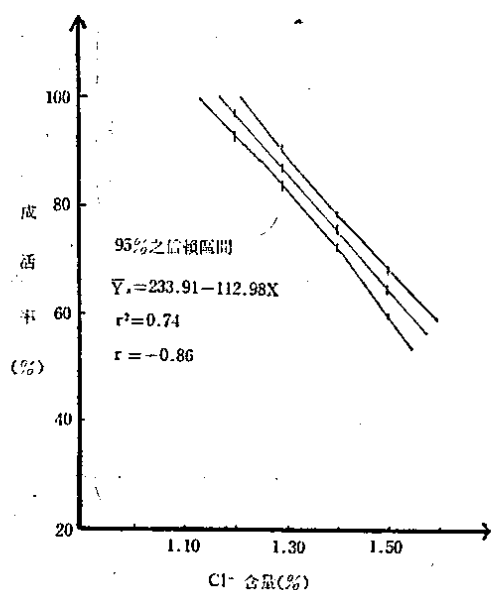


圖5 木麻黃苗木地上部 Cl⁻ 含量與成活率之關係

率愈低，且呈顯著性。此與眾學者 (Holmes, 1961; Walton, 1969; Land, 1974; Bedunah and Trilca, 1979; 青木正則與石川春彥, 1971) 所稱「氯離子殊較其他離子對植物之為害尤劇」之理論相符。

五、結 論

(一) 在 25 或 35% 鹽分濃度之鹽水淹浸 3 或 5 日後之第 8 日始，各種子組木麻黃苗木即陸續呈頂梢及小枝先端嫩綠多汁、褐變、乾枯及苗幹下層小枝萎黃，甚或脫落等病徵。迨鹽水排除 30 日後，各受害苗木除枯死者外，均減輕為害，萌發新芽，恢復生長。

(二) 各處理苗木，僅高生長顯遭鹽分濃度所影響，而地徑生長則未呈顯著之影響。

(三) 各處理苗木之成活率，殊遭樹種及苗齡之交互效應及鹽水淹浸時間所影響。

(四) 苗木地上部累積之各種離子中，除 Na⁺ 外，K⁺、Mg⁺⁺ 及 Cl⁻ 之含量，均遭樹種、苗齡、鹽分濃度及淹浸時間所作用，且呈顯著性。

(五) 自各種離子累積濃度與苗木成活率之相關而言，除 Na⁺ 外，K⁺、Mg⁺⁺ 及 Cl⁻ 離子均屬顯著相關。K⁺ 及 Mg⁺⁺ 係呈正相關，惟 Cl⁻ 則呈極顯著之負相關，其相關係數高達 -0.86，即 Cl⁻ 對苗木成活率殊具毒害作用。

(六) 各類木麻黃中，以新引進之銀木麻黃 6 個月生苗木之耐鹽性為最強，因其成活率最高 (98%)；然其 12 個月生苗木之成活率則最低 (僅 70%)，故耐鹽性最弱。

誌 謝

本文承恩師王子定及楊政川兩博士之悉心指導與賜正，特致最深謝忱。

引用文獻

臺灣林業統計 1979 年 6 月，林務局。

- 甘偉航, 1962, 海岸區域木麻黃類之造林及其風害之調查研究初步報告, 林試所報告第77號。
- 甘偉航, 1968, 潮風對於防風林中樹木之影響, 林試所報告第161號。
- 林涓訪, 1956, 臺灣省沿海防風植物生態及適應性調查報告, 林試所與農復會合作報告第2號。
- 陳振榮, 1980, 臺灣木麻黃種類之鑑定、新種之引進及其耐鹽性之比較研究, 臺大森林研究所碩士論文。
- 陳振榮, 1984, 木麻黃耐鹽性之差異, 林試所報告第422號。
- 章榮民, 1971, 臺灣西海岸鹽濕地之植物地理與生態之研究, 林試所報告第213號。
- 彭茂雄, 1975, 木賊葉木麻黃之耐鹽性研究, 中興大學森林學報第四輯。
- 青木正則、石川春彥, 1971, スギ品種の耐鹽性の差異について, 日本林學會誌, 53: 108-112。
- Badran, O. A. and M. H. El-Lakany. 1977. Breeding and improving of *Casuarina* shelterbelt plantations in Egypt. Third world Consultation on Forest Tree Breeding, Canberra, FO-FTB 77: 573-578.
- Bedunah, D., and M. J. Trlica, 1979. Sodium chloride effects on carbon dioxide exchange rates and other plant and soil variables of ponderosa pine. Can. J. For. Res. 9: 349-353.
- Bernstein, L., and H. E. Hayward. 1958. physiology of salt tolerance. Ann. Rev. Plant physiol. 9:25-46.
- Bernstein, L. 1961. Osmotic adjustment of plants to saline media. I. Steady state American Jour. Bot. 48: 909-918.
- Bernstein, L. 1963. Osmotic adjustment of plants to saline media. II. Dynamic phase. American Jour. Bot. 50:360-370.
- Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. Ann. Rev. phytopathology.
- Bowen, H. J.M. 1966. Trace elements in Biochemistry Academic press, New York.
- Boyce, S. G. 1954. The salt spray community. Ecol. Mong. 24:29-67.
- Eaton, F. M. 1942. Toxicity and accumulation of chloride and sulfate salt in plants. Jour. Agr. Res. 64:357-399.
- Epstein, E. 1963. Selective ion transport in plants and its genetic control. Nat'l. Acad. Sci., Nat'l. Res. Council publ. 942: 284-298.
- Flower, T. J., P. F. Troke, and A. R. Yeo. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes, Ann. Rev. Plant Physiol. 28: 89-121.
- Hayward, H. E., and W. B. Spurr. 1944. The tolerance of flax to saline conditions; effects of sodium chloride, and sodium sulfate. Agron. Jour. 36: 287-300.
- Hayward, H. E., and C. H. Wadleigh. 1949. Plant growth on saline and alkali soils. Adv. in Agron. 1: 1-38.
- Hayward, H. E. 1956. Plant growth under saline conditions. Utilization of Saline Water, Arid Zone Research. UNESCO, Paris. pp. 37-72.
- Hofstra, G., and R. Hall. 1971. Injury on roadside trees: Leaf injury on pine and white cedar in relation to levels of sodium and chloride. Can. J. Bot.

- 49:613-622.
- Holmes, F. W. 1961. Salt injury to trees. *Phytopathology* 51:712-718.
- Land, S. B. Jr. 1967. Intraspecific variation in seawater tolerance of loblolly pine. Master thesis, Dept. of Forestry, North Carolina State.
- Land, S. B. Jr. 1974. Depth effects and genetic influences on injury caused by artificial sea water floods to loblolly and slash pine seedlings. *Can. J. For. Res.* 4:179-185.
- Lipshitz, N., and Waisel, Y. 1970. Effects of environment on relations between extension and cambial growth of *populus euphratica*. *Oliv. New Phytol.* 69:1059-1064.
- Lunin, J., M. H. Gallatin, and A. R. Batc-
helder. 1963. Saline irrigation of
several vegetable crops at various
growth stages, I. Effect of yields
Agron. Jour. 55:107-116.
- Magistad, O. C. 1945. plant growth relations on saline and alkali soils. *Bot. Rev.* 11:181-230.
- Miksche, J. P. 1976. *Modern Methods in Forest Genetics.* pp.174-183. Springer-Verlog. Berlin, Heidelberg, New York 1976.
- Tukey, H. B. Jr. 1966. Leaching of metabolites from aboveground plant parts and its implications. *Torry Bot. Cl. Bul.* 93: 385-401.
- Walton, G. S. 1969. Phytotoxicity of NaCl and CaCl to Norway maples. *Phytopathology* 59: 1412-1415.
- Westing, A. H. 1969. Plants and salt in the roadside environment. *Phytopathology* 59:117-1181.

附錄 1 各種子組苗木之高生長、地徑生長、成活率及離子濃度

區集	種子組 項目	CE ₂ A	CE ₂ B	CG ₂ A	CG ₂ B	CG ₃ A	CG ₃ B
I	高生長 (cm)	7.65	8.95	5.70	5.60	6.55	13.15
	地徑生長 (cm)	1.10	1.25	0.55	1.40	0.95	1.75
	成活率 (%)	100	100	100	100	90	100
	Na ⁺ (%)	1.80	1.78	1.64	1.72	1.62	1.60
	K ⁺ (%)	0.85	0.84	0.91	1.20	1.25	1.56
	Mg ⁺⁺ (%)	0.18	0.20	0.22	0.23	0.22	0.24
	Cl ⁻ (%)	1.30	1.19	1.16	1.30	1.30	1.36
II	高生長 (cm)	3.95	7.90	4.95	2.15	5.55	5.35
	地徑生長 (cm)	0.40	0.40	0.40	0.60	0.65	0.80
	成活率 (%)	100	95	90	100	90	100
	Na ⁺ (%)	1.52	1.56	1.60	1.41	1.65	1.61
	K ⁺ (%)	0.73	0.87	0.96	0.54	1.28	1.45
	Mg ⁺⁺ (%)	0.19	0.18	0.20	0.18	0.23	0.23
	Cl ⁻ (%)	1.08	1.05	1.05	1.08	1.27	1.33
III	高生長 (cm)	1.60	0.35	0.60	1.45	4.35	7.75
	地徑生長 (cm)	0.90	1.05	0.45	1.35	0.55	1.25
	成活率 (%)	95	100	85	100	65	95
	Na ⁺ (%)	1.58	1.66	1.91	2.16	2.03	1.80
	K ⁺ (%)	0.64	0.77	0.88	0.92	1.12	1.36
	Mg ⁺⁺ (%)	0.21	0.19	0.20	0.22	0.19	0.22
	Cl ⁻ (%)	1.08	1.30	1.39	1.36	1.44	1.44
IV	高生長 (cm)	1.25	1.55	0.65	5.00	5.55	6.00
	地徑生長 (cm)	0.95	1.15	1.70	0.80	0.65	2.75
	成活率 (%)	100	100	55	90	75	95
	Na ⁺ (%)	1.92	2.34	1.50	1.72	1.81	1.80
	K ⁺ (%)	0.59	1.46	0.49	1.01	1.28	1.36
	Mg ⁺⁺ (%)	0.19	0.17	0.18	0.22	0.22	0.22
	Cl ⁻ (%)	1.44	1.22	1.02	1.42	1.36	1.44

附錄 1 (續)

區集	種子組 項目	CE ₂ A	CE ₂ B	CG ₂ A	CG ₂ B	CG ₃ A	CG ₃ B
V	高生長 (cm)	3.20	0.55	1.50	3.30	3.20	4.85
	地徑生長 (cm)	0.80	1.20	0.60	0.25	0.40	1.10
	成活率 (%)	95	95	85	90	65	100
	Na ⁺ (%)	2.17	2.20	1.62	2.32	1.53	1.67
	K ⁺ (%)	0.70	0.63	0.76	0.66	0.90	1.42
	Mg ⁺⁺ (%)	0.19	0.16	0.21	0.16	0.18	0.23
	Cl ⁻ (%)	1.44	1.27	1.30	1.44	1.19	1.50
VI	高生長 (cm)	5.40	1.35	2.10	2.55	5.55	7.80
	地徑生長 (cm)	0.80	0.75	1.05	1.15	0.65	1.20
	成活率 (%)	100	75	95	85	75	100
	Na ⁺ (%)	1.99	2.00	1.66	2.20	1.81	1.73
	K ⁺ (%)	0.67	1.58	0.72	0.98	1.28	0.23
	Mg ⁺⁺ (%)	0.16	0.17	0.19	0.23	0.22	0.23
	Cl ⁻ (%)	1.36	1.42	1.39	1.44	1.36	1.39
VII	高生長 (cm)	1.25	1.05	2.15	1.20	3.20	10.10
	地徑生長 (cm)	0.40	0.40	0.10	0.85	0.40	0.80
	成活率 (%)	75	45	45	75	50	95
	Na ⁺ (%)	2.34	1.75	1.56	1.74	1.72	1.61
	K ⁺ (%)	0.45	0.48	0.56	0.64	0.87	0.89
	Mg ⁺⁺ (%)	0.19	0.19	0.18	0.20	0.18	0.18
	Cl ⁻ (%)	1.44	1.13	1.10	1.44	1.42	1.39
VIII	高生長 (cm)	2.00	1.50	4.75	6.90	3.20	8.65
	地徑生長 (cm)	0.50	0.60	0.90	0.85	0.40	1.15
	成活率 (%)	65	40	85	95	50	100
	Na ⁺ (%)	1.65	2.20	1.72	1.67	1.72	1.75
	K ⁺ (%)	1.10	0.50	0.78	0.73	0.87	1.14
	Mg ⁺⁺ (%)	0.12	0.16	0.19	0.20	0.18	0.21
	Cl ⁻ (%)	1.44	1.44	1.39	1.39	1.42	1.42

A Comparative Study on the Salt Tolerance of *Casuarina* Species

Yen-Chang Chen

Summary

Seedlings of *Casuarina equisetifolia*, *C. glauca*, and recently introduced *C. glauca* were tested in the present experiment. The treatment conditions of seedling age at the flooding period (6 or 12 months old), salt-water concentration (2.5 or 3.5%), and length of flooding time (3 or 5 days) varied at two levels according to a factorial design.

After treatment, the seedling height growth, but not the diameter increment, was strongly affected by the salt-water concentration. The survival percentage of these species were significantly influenced by seedling age and the length of flooding time, and hence varied largely. Except for sodium, the concentrations of potassium, magnesium, and chloride accumulated in the seedlings were all significantly affected by tree species, seedling age, salt-water concentration, and length of flooding time. The concentrations of potassium, magnesium, and chloride, but not sodium, were significantly correlated with the survival percentages of seedlings. However, the chloride concentration had a strong negative correlation and its correlation coefficient was as high as -0.86 . This demonstrated the high toxic effect of chloride ion on the growth of seedlings. In this experiment, the recently introduced *C. glauca* seedling of 6-month-old was the most salt tolerant due to its highest survival percentage (98%). On the other hand, the survival percentage of the recently introduced *C. glauca* of 12-month-old was the lowest (70% only) and hence its salt tolerance was also the lowest.

Key Words: *Casuarina equisetifolia*; *C. glauca*; salt tolerance.