

研究報告

土壤鹽度對繖楊苗木生長、水分狀態及葉綠素濃度之影響

范貴珠¹ 陳心怡²

【摘要】 本研究旨在探討 0、0.75、1.5 及 3.0 % NaCl 等不同土壤鹽度處理，對繖楊 (*Thespesia populnea*) 苗木形質生長、水分狀態及葉綠素濃度之影響。試驗結果顯示，不同鹽分濃度處理 30、60、90 及 120 天後，苗高、地際直徑、乾物量及葉部參數均隨鹽度增加而降低。鹽分處理 120 天後，以 0.75 % NaCl 處理之苗高、地際直徑、葉片數、總葉面積、葉片大小、葉片伸展速率及各部位乾物累積量最大，顯示此為最適合繖楊苗木生長之鹽分濃度。以 3.0 % NaCl 高鹽度處理之苗木，所有形態參數則明顯下降。苗木之葉片肉質程度會隨鹽度增加而增加，在處理 120 天後，3.0 % NaCl 處理有最大肉質程度。苗木相對生長速率 (RGR)、葉面積比 (LAR) 及葉重比 (LWR) 皆隨鹽度增加而降低，但淨同化速率 (NAR) 和比葉面積 (SLA) 並未受鹽度之影響。各處理之葉部含水率大致維持在 76~80 % 間，各處理苗木無明顯的差異。處理 120 天後，3.0 % 處理苗木之莖、根部含水率及成熟葉之相對含水率 (RWC) 明顯降低。而鹽分濃度並未影響各處理苗木葉片之葉綠素濃度。

【關鍵詞】 鹽度、繖楊、生長、水分狀態、葉綠素濃度

Research paper

Effects of Soil Salinity on Growth, Water Status and Chlorophyll Concentration of *Thespesia populnea* Seedlings

Kuei - Chu Fan¹ Xin-Yi Chen²

【Abstract】 The purpose of this study was to investigate the effect of soil salinity containing 0, 0.75, 1.5 and 3.0% NaCl on growth, water status and chlorophyll concentration of *Thespesia populnea* seedlings. The results indicated overall the morphological parameters of seedlings were decreased with increasing salinity. Seedling height, diameter at root collar, leaf numbers, leaf size, total leaf area, leaf expansion rate and dry matter accumulation of seedlings that cultivated in 0.75% NaCl were the most greatly enhanced after 120 days of treatment. This implied that the 0.75% NaCl was the optimum salinity for seedling

-
1. 國立屏東科技大學森林系副教授，通訊作者
Associate Professor, Department of Forestry, NPUST. Corresponding author.
 2. 國立中興大學森林學系學士
Bachelor, Department of Forestry, NPUST.

growth of this species. All parameters of seedlings that cultivated in 3.0% NaCl were significantly suppressed. Succulence in leaves of seedlings was high when grown in increasing salinity and the highest degree of succulence was obtained at 3.0% NaCl treatments. Salinity significantly reduced relative growth rate (RGR), leaf area ratio (LAR) and leaf weight ratio (LWR), but net assimilation rate (NAR) and specific leaf area (SLA) were unaffected. Salinity level showed less effect on the leaf water content, which maintain at 76-80% in different salinity. However, seedlings grown in 3.0% NaCl significantly reduced the stem, root water content and the relative water content (RWC) of the fully expanded leaves. Salinity did not affect the total amount of chlorophylls in leaves.

【Key words】 salinity, *Thespesia populnea*, growth, water status, chlorophyll concentration.

一、前言

繖楊 (*Thespesia populnea*) 別名截萼 (恆春) 黃槿, 屬於錦葵科 (Malvaceae) 之常綠中喬木, 廣布於印度及琉球 (劉業經等, 1994)。繖楊果實為蒴果, 具有隨海流漂浮之特性, 亦屬於紅樹林伴生植物 (mangrove associate) 之一 (Tomlinson, 1994), 在斯里蘭卡 (Jayatissa *et al.*, 2002) 及馬來西亞 (Ashon and Macintosh, 2002) 的紅樹林中均屬於常見樹種。台灣則分布在恆春半島之南灣、帆船石及香蕉灣, 屬於數量少且狹隘分布之族群, 能繁殖之成熟個體少於 250 株, 已被列為瀕臨絕滅 (endangered) 之物種 (行政院農委會, 1996)。有關海茄苳屬 (*Avicennia*) 及紅茄苳屬 (*Rhizophora*) 等主要紅樹林樹種之生長及生理研究已經相當多 (Ball, 1996; Kathiresan and Bingham, 2001), 但針對繖楊等紅樹林伴生樹種之研究則較少: 僅 Basak 等 (1995) 研究指出 IBA (2500 ppm) 及 NAA (500 ppm) 對繖楊扦插發根有最佳促進效果。Grace 等 (1996) 研究夏威夷不同樹種對白蟻之抵抗力, 結果指出繖楊木材對白蟻有很強的抵抗力。近年有國外學者相繼萃取繖楊體內之化學物質, 以進行抑制癌細胞或殺菌之藥用研究 (Milbrodt *et al.*, 1997; Johson Inbaraj *et al.*, 1999a; 1999b)。此外, Masuda 等 (1999) 研究指出熱帶濱海植物生長在強光環境下, 植物

體內具有產生高濃度抗氧化劑的自我防禦機制, 而繖楊即為抗氧化劑含量較高的海岸樹種之一。而國內學者對此樹種多為苗木培育技術方面之研究 (徐國士, 1985; 張焜標, 1994; 戴雍發等, 2000), 而僅有高清等 (1997) 曾評估繖楊吸收二氧化硫能力的生理反應研究。

由於繖楊耐鹽性佳、抗風力強, 近年常用為海岸防風、行道樹及庭園美化樹種 (經濟部工業局, 1999)。Bezona 等 (2001) 亦概述性地指出繖楊為夏威夷抗風耐鹽性強的樹種, 可以忍耐高土壤鹽度及鹽霧侵襲。而近來國內學者對於海岸綠化樹種之耐鹽性研究, 已由原來偏重在木麻黃 (*Casuarina spp.*) 方面, 漸漸擴及大葉山欖 (*Palaquium formosanum*)、水黃皮 (*Pongamia pinnata*)、福木 (*Garcinia spicata*)、樹青 (*Planchonella obvata*)、瓊崖海棠 (*Calophyllum inophyllum*)、朴樹 (*Celtis sinensis*) 及台灣欒樹 (*Koelreuteria henryi*) 等原生樹種 (郭幸榮與郭秀桃, 1998; 郭幸榮等, 1999), 亦逐漸進行欖李 (*Lumnitzera racemosa*) (范貴珠, 2000; 郭幸榮等, 2000) 及水筆仔 (*Kandelia candel*) (翁建堯、林鴻淇, 1998; Hwang and Chen, 1995) 等紅樹林之耐鹽性研究, 擬逐步建立海岸地區綠化樹種資料庫。惟尚未見有關繖楊之耐鹽性研究, 故本研究先行探討土壤鹽度對繖楊苗木生長影響, 瞭解本樹種生長之適合土壤鹽度, 以做為海岸

綠化及栽植之參考依據。

二、材料與方法

(一) 苗木栽培及鹽分處理

2000 年 9 月 8 日自屏東科技大學校園內採集繖楊成熟果實，標準是果實呈黑褐色，以手可輕易剝開者。精選大小一致（長度約 1.5 cm，寬度約 1.0 cm）且充實飽滿之種子直播於沙床中。10 月 28 日將苗高 5~6 cm 之小苗，移入直徑為 8 cm，高為 20 cm 的威特鉢中。栽培介質為泥炭土：河沙：蛭石 = 1：2：2。

2000 年 11 月 28 日選擇生長狀況均一之苗木，每 28 盆放入一大塑膠盆（600 mm × 480 mm × 155 mm），將其浸於營養液中。營養液為每 10 L 水加入 10 g 的複合肥料（N：P：K=21：21：21）（Albatros, Netherlands），並以 0、0.75、1.5 及 3.0 % NaCl 等不同鹽分濃度處理，鹽分濃度上限係模擬海水之平均濃度為 3.0 %。每種處理之供試苗木重複 3 次，共計 336 株苗木。塑膠盆中的鹽溶液每天維持在威特鉢盆底 3 cm 高度，每 30 天更換一次鹽溶液。所有處理苗木置於屏東科技大學森林系苗圃之塑膠遮雨棚內，試驗期間溫度範圍 24~28 °C，正中午之光量子密度（photosynthetic photon flux density, PPFd）約為 870~1050 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

(二) 測定項目及分析方法

2000 年 12 月開始進行鹽分處理，至 2001 年 4 月共計處理 4 個月。鹽分處理期間定期取樣苗木，進行下列項目測定。

1. 非破壞性生長分析

鹽分處理後，每個月由各處理取樣 9 株苗木（3 株 × 3 重複），進行苗高及地際直徑等非破壞性生長調查，共計調查 4 次。

2. 葉、莖及根部生物量

鹽分處理前取 12 株苗木（4 株 × 3 重複）測量乾物重，當作鹽分處理第 0 天之生長

量。在鹽分處理後第 30、60、90 及 120 天，於各處理每一重複中取樣 3 株苗木，共計取 9 株苗木進行破壞性試驗，每次取樣時間在早上 9 到 11 點之間進行。苗木分為葉、莖及根部後，立即稱各部位鮮重；在 70 °C 烘箱中烘乾 1 星期後，稱取各部位乾重。

3. 葉部參數測定

四次取樣均測定每株之葉片數、總葉面積及完全成熟葉片之單葉面積。葉面積以 Li - Cor 葉面積儀（leaf area meter）（model Li - 3000A, Li - Cor, Inc., Lincoln, Neb., USA）測定之。此外，並計算：

(1) 相對葉片伸展速率（relative rate of leaf expansion）

依據 Hunt（1990）及 Tattini 等（1995）以下列公式計算。

$$\text{葉片伸展速率} = (\ln A_2 - \ln A_1) / (t_2 - t_1) \quad (\text{cm}^2 \text{cm}^{-2} \text{week}^{-1})$$

其中 A_1 及 A_2 分別為 t_1 與 t_2 時間調查之葉面積。

(2) 葉片肉質程度（degree of succulence）測定

肉質程度基本上是表示植物組織的厚度（thick）及肉質性（fleshy），一般是測定單位面積組織的飽和含水量（Luttge and Smith, 1984; Larcher, 1995）。本研究在鹽分處理 60 天起，依據 Larcher（1995）及 Gucci 等（1997）方法，在早上 10 到 12 點之間，選取完全展開之成熟葉片，以打孔器切取 10 個葉圓片（直徑 0.6 cm）；葉圓片浸入內裝 5 ml distilled H₂O 的玻璃瓶中，在室溫及低光下放置 12 hr 後，將完全吸水之葉片秤其膨潤重（turgid weight, TW）。然後將葉片以 70 °C 烘乾 48 hr，秤其乾重（dry weight, DW），計算 TW - DW 即為葉片飽和含水量。

$$\text{葉片肉質程度} (\text{mg H}_2\text{O cm}^{-2}) = \text{葉片飽和含水量} (\text{mg}) / \text{葉表面積} (\text{cm}^2)$$

4. 生長分析

根據 4 次取樣所得各部位的乾物量及葉

面積等測值，計算下列各項生長參數 (Hunt, 1990)。

(1) 相對生長速率 (relative growth rate, RGR)

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)$$

$$(\text{g g}^{-1} \text{ week}^{-1})$$

其中 W_1 及 W_2 分別為 t_1 與 t_2 時間調查之的組織乾重。

(2) 淨同化速率 (net assimilation rate, NAR)

$$NAR = 1/A \times (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$$

$$(\text{g m}^{-2} \text{ week}^{-1}) \quad A: \text{葉面積}$$

(3) 葉面積比 (leaf area ratio, LAR)，可分為：

- a. 比葉面積 (specific leaf area, SLA)
- b. 葉重比 (leaf weight ratio, LWR)

$$LAR = A / W \quad (\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1})$$

$$SLA = A / WL \quad (\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1})$$

$$LWR = WL / W \quad (\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$$

A : 葉面積 WL : 葉乾重 W : 全株乾重

5. 植物體水分狀態測定

(1) 葉、莖、根部含水率

以苗木葉、莖及根部鮮重 (FW) 及乾重 (DW)，求算各部位組織之含水率。

$$\text{含水率} (\%) = (FW - DW) / FW \times 100 \%$$

(2) 成熟葉片相對水分含量 (relative water content, RWC)

將測定葉片肉質程度所得 10 個葉圓片之鮮重 (FW)、膨潤重 (TW) 及乾重 (DW)，根據 Marcar (1993) 方法計算相對含水量。

$$RWC (\%) = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100 \%$$

6. 葉綠素濃度測定

各處理每重複選取 2 株苗木，每株苗木選取 2 片完全展開成熟葉片，以打孔器切取左、右各 10 個葉圓片 (直徑 0.6 cm)；秤取鮮重後，加入少許海砂及液態氮研磨後，再加入 10 ml DMSO (Dimethyl Sulfoxide) 萃取葉綠素；以 2 號濾紙 (Advantec Toyo) 過濾後取上層濾液，以分光光度計 (Hitachi,

V-2000) 在波長 664.9 nm 及 648.2 nm 測其吸光度，並以下列公式計算葉綠素濃度 (Barnes *et al.*, 1992)。由於不同鹽分處理葉片厚度及含水率不同，故換算為每單位乾重之葉綠素濃度。

$$\text{Chl a} = (14.85 \times A_{664.9} - 5.14 \times A_{648.2}) \times [V/1000 \times (1/W)]$$

$$\text{Chl b} = (25.48 \times A_{648.2} - 7.36 \times A_{664.9}) \times [V/1000 \times (1/W)]$$

$$\text{Chl a+b} = (7.49 \times A_{664.9} + 20.34 \times A_{648.2}) \times [V/1000 \times (1/W)]$$

V : 萃取體積 ml W : 葉片乾重

單位 : mg g⁻¹ 乾重

三、結果

(一) 苗木形質生長

1. 苗高及地際直徑

鹽分處理 30 天，苗高生長在不同鹽度間並無顯著差異 (圖 1)。鹽分處理 60 及 90 天，則以 0、0.75 及 1.5 % 三種處理較高，3.0 % 處理之苗高生長已受抑制。而在處理 120 天後，0.75 % 濃度處理者苗高最大，可達 41.9 cm，其次為無鹽分之 0 % 及鹽度較高之 1.5 % 二種處理；而 3.0 % 鹽度則使苗高明顯降低，此處理苗高僅有 20.7 cm，為 0.75 % 鹽度處理者之 1/2。

苗木地際直徑生長類似於苗高對鹽分之反應，即鹽分處理 30 天後，地徑生長於各處理間亦未呈顯著差異 (圖 2)。鹽分處理 60 及 90 天後，地際直徑生長以 0、0.75 及 1.5 % 三種濃度處理較佳，此時 3.0 % 高鹽分濃度已抑制苗木之地徑生長。在鹽分處理 120 天後，0.75 % 處理苗木之地徑最大，可達 7.5 mm，但與 1.5 % 處理者並無顯著差異；而 3.0 % 鹽分處理苗木，地徑則僅只有 4.6 mm。

2. 葉、莖及根部乾物量

繖楊苗木以不同鹽分濃度處理 30 天後，各部位乾物量及總乾物累積量均無顯著差異

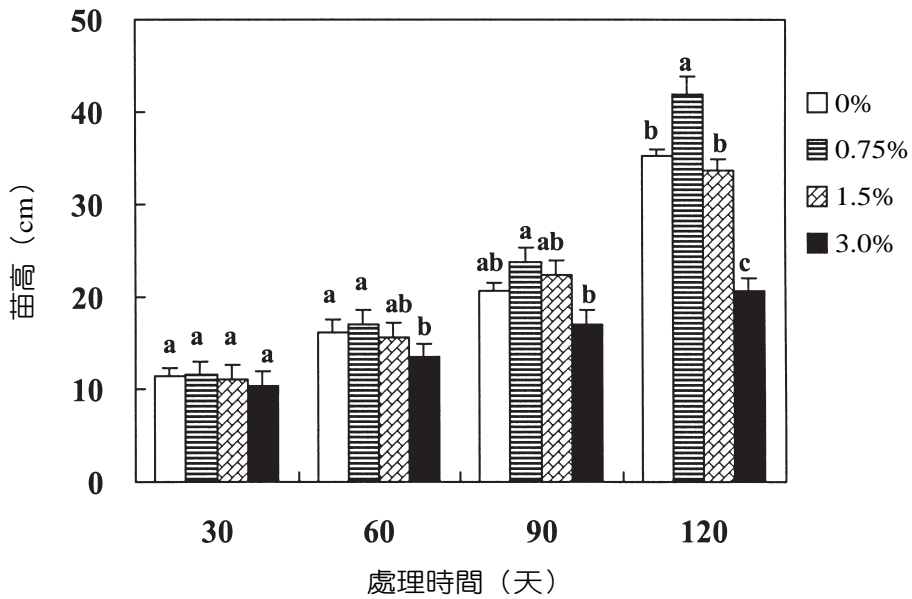


圖 1. 不同鹽度處理 30、60、90 及 120 天後繖楊之苗高

(* : 英文字母為鄧肯氏多變域分析結果，不同字母表示差異顯著 $p < 0.05$ ，以下皆同)

Fig. 1. The height of *T. populnea* seedlings grown in different salinities for 30, 60, 90 and 120 days (* : Different letters indicate significant difference at $p < 0.05$, under Duncan's test. Same as follows.)

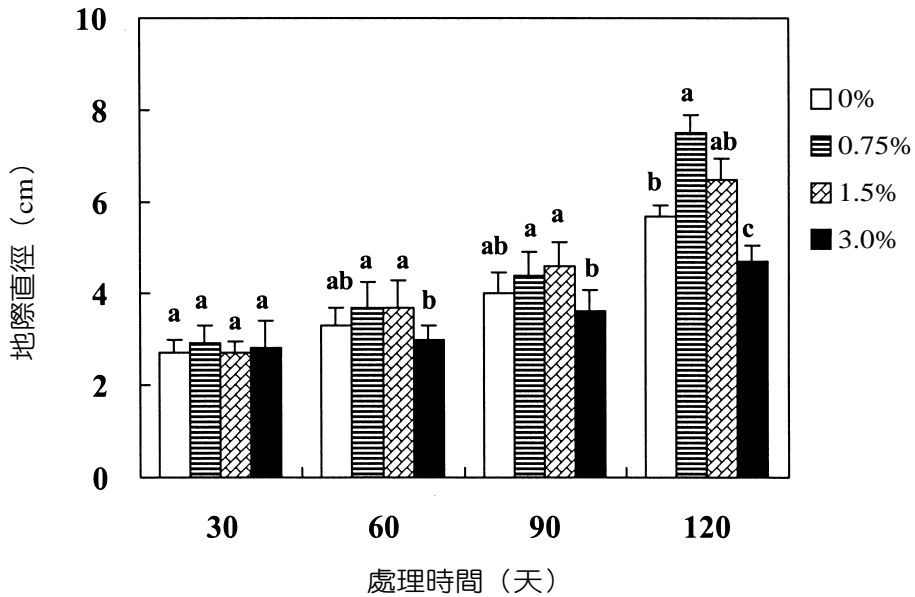


圖 2. 不同鹽度處理 30、60、90 及 120 天後繖楊之地際直徑

Fig. 2. The ground diameter of *T. populnea* seedlings grown in different salinities for 30, 60, 90 and 120 days.

(表 1)。在鹽分處理 60 天後，0.75 % 濃度處理苗木各部位乾重及總乾物累積量已較高，但與 0 及 1.5 % 二處理間並無顯著差異；而 3.0 % 高鹽度處理苗木之生長量已受抑制。在鹽分處理 90 及 120 天後，各處理之苗木生長大致均呈此種變化趨勢。在鹽分處理 120 天後，0.75 % 處理苗木之各部位乾物量及總乾物累積量，已明顯較其他處理為高，總乾物量可達 9.84 g，但與 0 及 1.5 % 處理並無明顯差異；而 3.0 % 高鹽度已明顯抑制苗木之乾物量，總乾物量為 3.47 g，僅約為 0.75 % 處理者之 1/3。

3. 葉部參數

鹽分處理 30 天後，各處理苗木之葉片數、葉片大小、相對伸展速率及總葉面積等並無顯著差異 (表 2)。處理 60 天後，各處理之單葉面積雖然無顯著差異，但 0.75 與 1.5 % 二處理之葉片數與相對伸展速率及總葉面積較其他處理為高。處理 90 及 120 天後之葉片參數變化大致以 0.75 及 1.5 % 二處理較佳。尤其在鹽分處理 120 天後，0.75 % 處理苗木具有最多的葉片數，每株可達 13 片，葉片相對伸展速率亦最高，苗木之總葉面積高達 809 cm²，明顯高於其他處理。而 3.0 % 高鹽度處理之苗

表 1. 不同鹽度處理 30、60、90 及 120 天後繖楊苗木各部位乾物量

Table 1. Dry weights of *T. populnea* seedling grown in different salinities for 30, 60, 90 and 120 days.

處理 天數	測定項目	鹽分濃度			
		0%	0.75%	1.5%	3.0%
30天	葉乾重(g)	0.42 ± 0.04 ^{NS}	0.43 ± 0.04	0.37 ± 0.01	0.37 ± 0.00
	莖乾重(g)	0.19 ± 0.05 ^{NS}	0.18 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.19 ± 0.02
	根乾重(g)	0.24 ± 0.03 ^{NS}	0.28 ± 0.02	0.28 ± 0.02	0.24 ± 0.01
	總乾重(g)	0.85 ± 0.07 ^{NS}	0.83 ± 0.05	0.83 ± 0.05	0.80 ± 0.02
60天	葉乾重(g)	0.68 ± 0.12 ^{ab}	0.93 ± 0.16 ^a	0.76 ± 0.07 ^{ab}	0.54 ± 0.10 ^b
	莖乾重(g)	0.44 ± 0.04 ^{NS}	0.47 ± 0.05	0.42 ± 0.04	0.30 ± 0.09
	根乾重(g)	0.56 ± 0.07 ^{ab}	0.60 ± 0.08 ^a	0.58 ± 0.10 ^{ab}	0.41 ± 0.04 ^b
	總乾重(g)	1.68 ± 0.20 ^a	2.00 ± 0.21 ^a	1.75 ± 0.12 ^a	1.26 ± 0.16 ^b
90天	葉乾重(g)	1.41 ± 0.09 ^{ab}	1.93 ± 0.06 ^a	1.46 ± 0.16 ^{ab}	1.04 ± 0.04 ^b
	莖乾重(g)	0.76 ± 0.14 ^{ab}	0.93 ± 0.13 ^a	0.76 ± 0.14 ^{ab}	0.50 ± 0.08 ^b
	根乾重(g)	0.91 ± 0.18 ^{NS}	1.01 ± 0.21	0.98 ± 0.02	0.80 ± 0.22
	總乾重(g)	3.08 ± 0.34 ^{ab}	3.87 ± 0.32 ^a	3.21 ± 0.24 ^{ab}	2.33 ± 0.20 ^b
120天	葉乾重(g)	3.69 ± 0.22 ^a	4.87 ± 1.10 ^a	3.30 ± 0.87 ^a	1.41 ± 0.35 ^b
	莖乾重(g)	1.92 ± 0.23 ^{bc}	3.04 ± 0.54 ^a	2.21 ± 0.47 ^b	1.11 ± 0.3 ^{bc}
	根乾重(g)	1.63 ± 0.30 ^a	1.92 ± 0.19 ^a	1.48 ± 0.21 ^{ab}	0.94 ± 0.14 ^b
	總乾重(g)	7.34 ± 0.33 ^a	9.84 ± 1.62 ^a	6.98 ± 1.15 ^a	3.47 ± 0.78 ^b

* : 英文字母為苗木乾重之鄧肯氏多變域分析結果，不同字母表示差異顯著，NS 代表差異不顯著 p < 0.05

(以下皆同)

表 2. 不同鹽度處理 30、60、90 及 120 天後繖楊苗木之葉部參數變化

Table 2. Parameters of leaf morphology of *T. populnea* seedlings grown in different salinities for 30, 60, 90 and 120 days.

處理		鹽分濃度			
天數	測定項目	0%	0.75%	1.5%	3.0%
30天	葉片數 (片)	3.9 ± 0.4 ^{NS}	4.4 ± 0.6	3.4 ± 0.3	4.0 ± 0.4
	葉片大小 (cm ²)	18.6 ± 2.7 ^{NS}	18.5 ± 3.0	19.8 ± 2.7	16.7 ± 2.6
	相對伸展速率 (cm ² cm ⁻² week ⁻¹)	0.62 ± 0.09 ^{NS}	0.65 ± 0.04	0.59 ± 0.03	0.58 ± 0.05
	葉面積 (cm ² plant ⁻¹)	72.3 ± 4.3 ^{NS}	75.4 ± 4.4	68.4 ± 4.2	66.7 ± 3.1
60天	葉片數 (片)	5.6 ± 0.6 ^{ab}	6.3 ± 0.5 ^a	5.8 ± 0.6 ^{ab}	4.4 ± 0.3 ^b
	葉片大小 (cm ²)	20.6 ± 1.8 ^{NS}	27.3 ± 2.9	25.0 ± 2.0	22.3 ± 2.3
	相對伸展速率 (cm ² cm ⁻² week ⁻¹)	0.35 ± 0.19 ^b	0.78 ± 0.19 ^a	0.62 ± 0.05 ^{ab}	0.25 ± 0.18 ^b
	葉面積 (cm ² plant ⁻¹)	115.5 ± 23.1 ^b	171.9 ± 23.8 ^a	144.9 ± 9.5 ^{ab}	98.1 ± 16.3 ^{bc}
	肉質程度 (mg H ₂ O cm ⁻²)	22 ± 2 ^{NS}	26 ± 3	29 ± 3	28 ± 4
90天	葉片數 (片)	7.8 ± 0.2 ^a	7.7 ± 0.8 ^a	7.8 ± 1.1 ^a	5.1 ± 0.6 ^b
	葉片大小 (cm ²)	28.7 ± 2.9 ^b	37.1 ± 4.8 ^a	29.4 ± 1.5 ^b	23.5 ± 3.3 ^b
	相對伸展速率 (cm ² cm ⁻² week ⁻¹)	0.35 ± 0.19 ^b	0.78 ± 0.19 ^a	0.62 ± 0.05 ^{ab}	0.25 ± 0.18 ^b
	葉面積 (cm ² plant ⁻¹)	224.0 ± 17.3 ^b	285.8 ± 22.1 ^a	229.1 ± 27.4 ^a	119.7 ± 8.3 ^c
	肉質程度 (mg H ₂ O cm ⁻²)	23 ± 2 ^b	27 ± 1 ^{ab}	29 ± 2 ^a	31 ± 2 ^a
120天	葉片數 (片)	9.5 ± 1.3 ^{ab}	12.9 ± 2.7 ^a	10.0 ± 2.2 ^{ab}	5.8 ± 1.1 ^b
	葉片大小 (cm ²)	56.4 ± 4.0 ^{ab}	62.7 ± 8.5 ^a	53.1 ± 6.4 ^b	39.3 ± 2.5 ^c
	相對伸展速率 (cm ² cm ⁻² week ⁻¹)	2.11 ± 0.32 ^b	4.53 ± 0.85 ^a	2.04 ± 0.45 ^b	0.73 ± 0.32 ^b
	葉面積 (cm ² plant ⁻¹)	536.2 ± 63.6 ^b	809.4 ± 86.4 ^a	531.3 ± 65.1 ^b	228.0 ± 42.5 ^c
	肉質程度 (mg H ₂ O cm ⁻²)	20 ± 2 ^b	22 ± 2 ^b	25 ± 3 ^b	33 ± 2 ^a

木，在處理第 60 天後，各葉片參數均明顯降低。至處理 120 天後，此高鹽分處理之苗木總葉面積僅 228.0 cm²，約為 0.75 % 處理苗木之 1/4。

不同鹽度處理 60 天時，各處理苗木葉片之肉質程度並無顯著差異 (表2)。但至處理 90 天後，各處理者之肉質程度則已呈現差異；其中 0 % 處理之肉質程度最低，而隨處理鹽度增加，苗木會增加其葉片肉質程度。處理 120 天後，3.0 % 高鹽度處理者，葉片肉質程度為所有處理中最高者，可達 33 mg H₂O cm⁻²，而 0 % 處理者僅有 20 mg H₂O cm⁻²。

4. 生長參數

在鹽分處理 30、60 及 90 天後，繖楊苗木之相對生長速率 (RGR)、淨同化速率 (NAR)、葉面積比 (LAR)、比葉面積 (SLA) 及葉重比 (LWR) 等生長分析參數均無顯著差異 (表 3)。至處理 120 天後，0.75 % 處理苗木之 RGR 才較其他處理為高，可達 0.65 g g⁻¹ week⁻¹。此時，四種處理之 NAR 仍未有顯著差異，但各處理苗木之 LAR 已呈現顯著差異；即 0、0.75 及 1.5 % 三種處理之 LAR 較高，而 3.0 % 此高鹽度已使苗木之 LAR 顯著降低。此外，四種處理苗木之 SLA 亦未呈顯著差異。

表 3. 不同鹽度處理 30、60、90、120 天後繖楊苗木之生長參數

Table 3. Growth parameters of *T. populnea* seedlings grown in different salinities for 30, 60, 90 and 120 days.

處理 天數	測定項目	鹽分濃度			
		0%	0.75%	1.5%	3.0%
30天	相對生長速率 (RGR) ($\text{g g}^{-1} \text{week}^{-1}$)	0.12 ± 0.02 ^{NS}	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.00
	淨同化速率 (NAR) ($\text{g m}^{-2} \text{week}^{-1}$)	16.2 ± 1.0 ^{NS}	15.8 ± 1.4	16.8 ± 0.1	16.6 ± 2.0
	葉面積比 (LAR) ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	85.9 ± 4.7 ^{NS}	87.5 ± 8.0	82.0 ± 0.9	83.2 ± 7.3
	比葉面積 (SLA) ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	172.0 ± 7.9 ^{NS}	175.2 ± 15.1	184.7 ± 7.3	180.4 ± 18.4
	葉重比 (LWR)	0.49 ± 0.04 ^{NS}	0.49 ± 0.03	0.45 ± 0.01	0.46 ± 0.01
60天	相對生長速率 (RGR) ($\text{g g}^{-1} \text{week}^{-1}$)	0.11 ± 0.03 ^{NS}	0.15 ± 0.02 ^a	0.12 ± 0.02 ^a	0.10 ± 0.02
	淨同化速率 (NAR) ($\text{g m}^{-2} \text{week}^{-1}$)	18.8 ± 1.4 ^{NS}	17.0 ± 0.8	16.0 ± 1.5	17.0 ± 1.9
	葉面積比 (LAR) ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	78.8 ± 5.3 ^{NS}	85.9 ± 4.4	80.7 ± 5.6	76.0 ± 5.1
	比葉面積 (SLA) ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	169.8 ± 5.3 ^{NS}	184.8 ± 6.3	190.6 ± 10.8	181.7 ± 9.0
	葉重比 (LWR)	0.41 ± 0.02 ^{NS}	0.47 ± 0.03	0.44 ± 0.03	0.42 ± 0.04
90天	相對生長速率 (RGR) ($\text{g g}^{-1} \text{week}^{-1}$)	0.19 ± 0.02 ^{NS}	0.22 ± 0.03	0.19 ± 0.03	0.14 ± 0.02
	淨同化速率 (NAR) ($\text{g m}^{-2} \text{week}^{-1}$)	17.9 ± 1.9 ^{NS}	18.8 ± 1.1	19.3 ± 1.6	19.8 ± 3.8
	葉面積比 (LAR) ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	71.6 ± 8.7 ^{NS}	74.1 ± 5.2	72.2 ± 6.7	68.0 ± 7.0
	比葉面積 (SLA) ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	158.9 ± 7.1 ^{NS}	158.9 ± 4.1	156.9 ± 3.5	155.1 ± 5.5
	葉重比 (LWR)	0.45 ± 0.04 ^{NS}	0.47 ± 0.04	0.46 ± 0.03	0.43 ± 0.04
120天	相對生長速率 (RGR) ($\text{g g}^{-1} \text{week}^{-1}$)	0.46 ± 0.04 ^b	0.65 ± 0.14 ^a	0.41 ± 0.08 ^b	0.41 ± 0.07 ^b
	淨同化速率 (NAR) ($\text{g m}^{-2} \text{week}^{-1}$)	14.8 ± 1.2 ^{NS}	12.9 ± 1.3	14.2 ± 1.4	16.5 ± 2.0
	葉面積比 (LAR) ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	75.0 ± 3.5 ^{ab}	79.2 ± 5.1 ^a	78.1 ± 5.3 ^{ab}	69.4 ± 4.7 ^b
	比葉面積 (SLA) ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	145.4 ± 14.8 ^{NS}	166.2 ± 11.0	160.0 ± 12.3	161.7 ± 14.8
	葉重比 (LWR)	0.53 ± 0.04 ^a	0.49 ± 0.03 ^a	0.48 ± 0.02 ^{ab}	0.42 ± 0.02 ^b

至於苗木 LWR 已隨鹽度的增加而降低，尤其是 3.0 % 處理苗木之 LWR 已較其他三種處理為低。

5. 苗木之水分狀態

(1) 葉、莖及根部含水率

不同鹽度處理 30、60、90 及 120 天後，各處理苗木之葉部含水率並無顯著差異，大致維持在 76~80 % 間 (圖 3)。苗木莖及根部含水率在處理 30、60 及 90 天後，各處理間均無明顯之差異，而維持在 73~81 % 間；但

在處理 120 天後，3.0 % 處理者之莖部及根部含水率已較其他處理為低 (圖 3)。

(2) 成熟葉片之相對水分含量

繖楊苗木成熟葉之相對水分含量 (RWC) 在處理 60 天時，雖然以 0 及 0.75 % 二處理較高，但四種處理之 RWC 並無顯著差異 (圖 4)。當鹽分處理 90 天後，3.0 % 處理之葉片 RWC 已較其他三種處理為低；而鹽分處理增加至 120 天時，此處理苗木之 RWC 更明顯降低至 69.2 %。

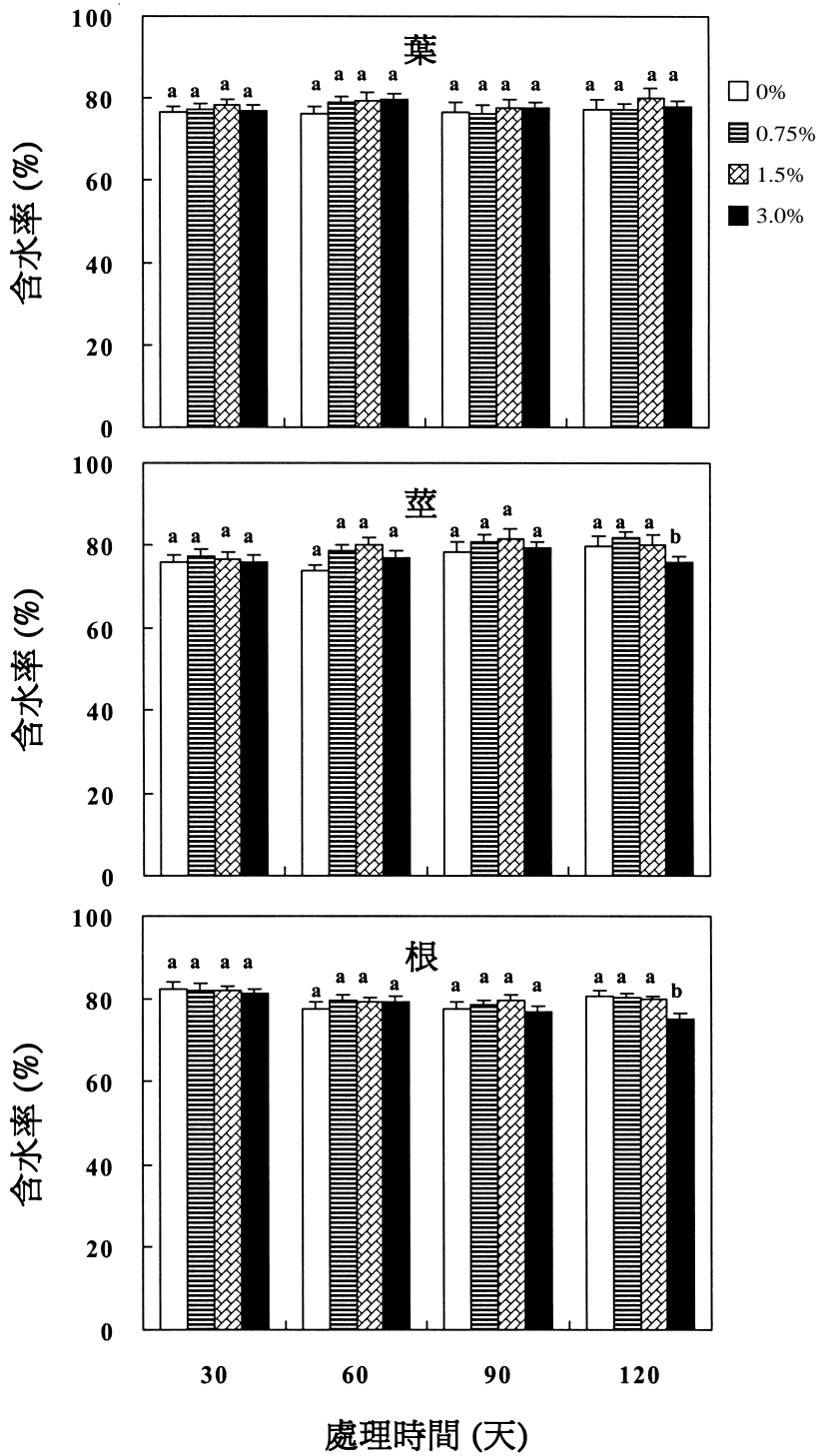


圖 3. 不同鹽度處理 30、60、90 及 120 天後繖楊苗木各部位含水率

Fig. 3. Water content of various tissues of *T. populnea* seedlings grown in different salinity for 30, 60, 90 and 120 days.

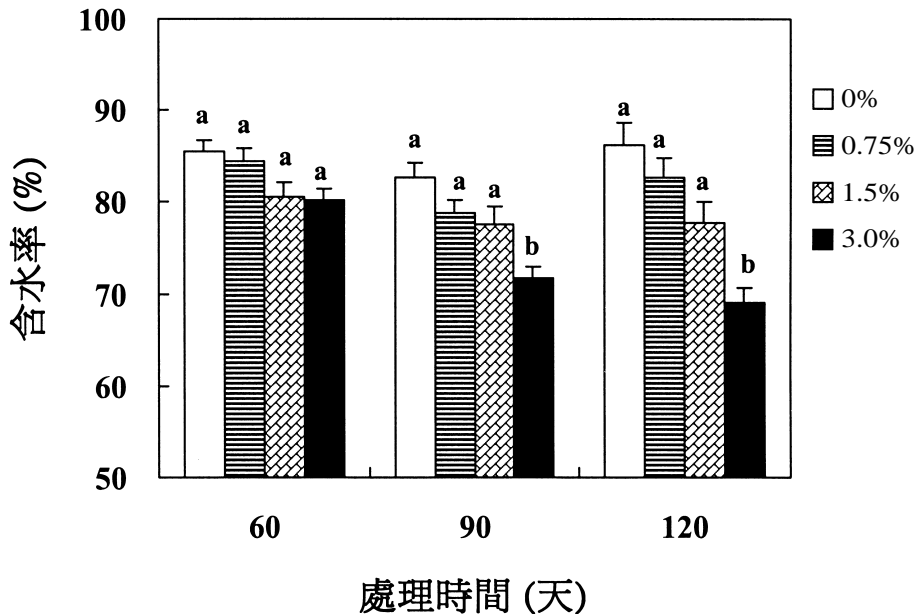


圖 4. 不同鹽度處理 60、90 及 120 天後繖楊苗木成熟葉片含水率

Fig. 4. Relative water content (RWC) of the fully expanded leaves of seedlings grown in different salinity for 60, 90 and 120 days.

6. 葉綠素濃度

繖楊苗木在處理 60、90 及 120 天後，各鹽度處理苗木間之葉綠素 a、b 及總葉綠素濃度等均未呈顯著差異（表 4）；僅在處理 120 天後，可看出 3.0% 高鹽度處理者，葉片之光合作用色素較其他處理略高。

四、討論

(一) 苗木形質生長之變化

當植物生長於鹽分逆壓環境時，植物的代謝路徑、生長反應及發育形式會立即有一些改變；若長期的逆壓環境已超過植物的負荷，則最後會引起植物的傷害或死亡 (Munns, 1993; Larcher, 1995)。本試驗結果顯示繖楊苗木以不同鹽度處理 60 天後，0、0.75 及 1.5% 三種處理苗木已呈現較佳之苗高、地徑（圖 1、2）及乾物重（表 1）；而 3.0% 此高鹽度已使苗木之生長受到抑制。鹽分處理

至 120 天時，苗木在 0.75% 鹽度之生長表現最佳；惟鹽度約等於海水鹽度之 3.0% 時，苗木各項生長則明顯受抑制。此種低鹽分濃度促進苗木生長，高鹽分濃度抑制生長現象，與學者以紅樹林為材料所進行之室內試驗結果相似，即最適合紅樹林苗木生長之鹽分濃度是在海水濃度的 10 及 25%（約等於 0.3 及 0.75% NaCl）(范貴珠等, 1999a; Downton, 1982; Ball, 1988; Hwang and Chen, 1995)。

植物之光合組織面積與活力與生長有很大的關係，其中葉片的生長速率為決定植物生產力的主要因子 (Hunt, 1990; Munns, 1993; Munns *et al.*, 1995)。繖楊苗木在處理初期 (30 天)，各處理之葉片參數並未呈現顯著差異 (表 2)；但至第 120 天時，0.75% 此低鹽度處理苗木之葉片發育狀況最佳。Ball (1988) 研究指出，羊角木屬之 *Aegiceras corniculatum* 及海茄苳在低鹽度下同化作用速率相似，但

表 4. 不同鹽度處理 60、90 及 120 天後繖楊苗木葉片之葉綠素濃度 (mg g⁻¹)

Table 4. Chlorophyll concentrations of *T. populnea* seedlings grown in different salinities for 60, 90 and 120 days (mg g⁻¹).

處理 天數	測定項目	鹽分濃度			
		0%	0.75%	1.5%	3.0%
60天	葉綠素 a	1.57 ± 0.37 ^{NS}	1.66 ± 0.26	1.58 ± 0.22	1.65 ± 0.20
	葉綠素 b	0.42 ± 0.09 ^{NS}	0.49 ± 0.02	0.43 ± 0.03	0.49 ± 0.01
	葉綠素 a+b	1.99 ± 0.46 ^{NS}	2.15 ± 0.25	2.01 ± 0.25	2.13 ± 0.21
90天	葉綠素 a	2.35 ± 0.41 ^{NS}	2.50 ± 0.58	2.80 ± 0.28	2.63 ± 0.21
	葉綠素 b	0.74 ± 0.10 ^{NS}	0.69 ± 0.16	0.77 ± 0.22	0.69 ± 0.09
	葉綠素 a+b	3.09 ± 0.45 ^{NS}	3.19 ± 0.73	3.57 ± 0.50	3.31 ± 0.30
120天	葉綠素 a	2.10 ± 0.47 ^{NS}	2.19 ± 0.36	2.13 ± 0.17	2.99 ± 0.57
	葉綠素 b	0.68 ± 0.23 ^{NS}	0.62 ± 0.09	0.59 ± 0.05	0.76 ± 0.11
	葉綠素 a+b	2.70 ± 0.40 ^{NS}	2.81 ± 0.45	2.72 ± 0.21	3.74 ± 0.66

Aegiceras corniculatum 之葉片相對生長速度較快，因而苗木生長量較佳；因此 0.75 % 處理繖楊葉片生長表現最佳，應為苗木生長最佳的關鍵因子。大多數植物在處理鹽度增加時，葉面積減少為植物生長量下降的主要原因（范貴珠等，1999a; Ball, 1988; Hwang and Chen, 1995）。而 3.0 % 鹽度已造成繖楊苗木葉片參數明顯受限制，葉片相對生長速率僅 0.73 cm² cm⁻² week⁻¹，為 0.75 % 處理者之 16 % 左右，因此 3.0 % 鹽度處理繖楊苗木生長量明顯受抑制。

許多學者認為在鹽分環境下，雙子葉鹽性植物組織多汁性與其耐鹽能力有關，可以做為一耐鹽之指標（Tomlinson, 1994; Larcher, 1995）。紅茄苳屬、假紅樹屬（*Laguncularia*）、聚合果屬（*Conocarpus*）（Popp *et al.*, 1993）及欖李（范貴珠等，1999a）等非泌鹽種紅樹林，葉部肉質程度與氯離子含量間呈正相關性；木賊葉木麻黃浸於 0.7 及 1.4 % 之鹽水時，小枝會有膨大而肉質化情形（郭幸榮等，1999）。而繖楊苗木葉片肉質程度

至處理 90 及 120 天時始呈現顯著差異（表 2），與欖李苗木以同樣鹽度處理結果（范貴珠等，1999a）相較，各處理苗木之葉片肉質程度明顯較小。葉部肉質性的生理功能至今仍難有完整的解釋，一般認為主要是使細胞能隨著鹽分的吸收而穩定吸收水分，使細胞在伸展期間的鹽分濃度維持一定（Larcher, 1995; Keiffer and Ungar, 1997）；或具有儲存無機鹽類及有機代謝物等滲透溶質作用（Marcum and Murdoch, 1992; Suarez and Sobrado, 2000）；亦或耐鹽植物組織的多汁性，係因要增加膨壓而增加生長所致（Munns, 1993; Munns *et al.*, 1995）。繖楊苗木葉片肉質程度並不明顯，而且鹽分增加已導致全株的葉片數及葉面積減少（表 2），因此並不具增加苗木生長的效應。

繖楊苗木各處理之相對生長速率（RGR）在初期並無顯著差異，至處理 120 天時，0.75 % 處理苗木之 RGR 才明顯較高（表 3），此與范貴珠等（1999a）以欖李為研究材料結果相似。由於 RGR 表示複合速率的改變，因此即使在統計上無法測得微小的速率變化，最

後仍可引起很大的累積量改變 (Hunt, 1990; Cramer *et al.*, 1994)。0.75 % 鹽分處理苗木在初期有較高之 RGR (表 3)，此應為 120 天後，苗高、地徑及各部位乾物量生長最佳的原因之一 (圖 1、2、表 1)。此外，NAR 為植物的生產效率 (productive efficiency) 指數，NAR 值愈高表示植物光合作用的生產效率愈高 (Hunt, 1990)。欖李苗木在 3.0 % 以上鹽分濃度，因光合作用速率減少及呼吸作用速率增加，才會使苗木 NAR 降低 (范貴珠, 2000)。是否 3.0 % 高鹽度處理在 120 天時，仍未影響繖楊苗木之光合作用及呼吸作用速率，因此苗木之 NAR 並無明顯差異 (表 3)，則有待進一步探討。

葉面積比 (LAR) 是表示植物葉部繁茂程度的型態指數，與光合作用及呼吸作用間有關，係測定收入 (income) 及支出 (expenditure) 間之支付平衡關係。繖楊苗木在鹽分處理 120 天後，苗木之 LAR 以 0、0.75 及 1.5 % 等 3 處理較高，但 3.0 % 高鹽度之 LAR 則已降低 (表 3)。此與羊角木、海茄苳 (Ball, 1988) 及欖李 (范貴珠等, 1999a) 等紅樹林苗木，在低鹽度處理會有較高 LAR 的結果類似；顯示繖楊苗木在三種鹽度中生長，苗木之光合作用及呼吸作用間收支較為平衡。比葉面積 (SLA) 是測定葉片的密度或厚度，而葉重比 (LWR) 係葉部生物量佔總生物量之比，用以測定植物的生產投資 (productive investment) 程度 (Hunt, 1990)。雖然欖李苗木之 SLA 隨鹽度增加而增加 (范貴珠等, 1999a; 郭幸榮等, 2000)，但本研究顯示繖楊苗木葉片厚度及密度等，並未因不同鹽分濃度而產生差異 (表 3)。惟鹽分處理至 120 天後，3.0 % 高鹽度處理苗木之 LWR 始有降低趨勢。范貴珠等 (1999a) 指出欖李苗木鹽度高於 4.5 % 以上時，葉片會呈現肉質而使 LWR 及生長量明顯降低；因此繖楊苗木在 3.0 % 鹽度處理中，LWR 降低顯示葉片功

能受損，已經影響苗木之乾物量生長 (表 1)。

(二) 苗木水分狀態之變化

植物體各部位水分含量之變化，可做為植物水分平衡的指標 (Larcher, 1995)。通常在不同鹽度處理後，海茄苳 (Downton, 1982)、水筆仔 (Hwang and Chen, 1995) 及欖李 (范貴珠等, 1999b; 郭幸榮等, 2000) 等苗木，各部位之水分含量均有所差異。對大部份植物而言，若地上部的含水率低於 50 至 75 % 時是屬於致死的水分含量 (Keiffer and Ungar, 1997)。繖楊苗木葉部之含水率大致維持在 76 至 80 % 之間，各處理間並無明顯的差異 (圖 3)；但 3.0 % 高鹽度處理者，在處理第 120 天後，莖部及根部的含水率即已降至 75.9 及 76.9 %，此應為苗木生長受限的原因之一。

通常葉片水分狀況與土壤水之有效性有關，葉片含水量的變化會明顯反應土壤水缺乏的程度 (Socias *et al.*, 1997)。一般耐鹽植物可以利用累積無機離子、合成有機物質及喪失水分等不同機制，使組織內的水分潛勢降至比土壤水分潛勢更低，以進行滲透調節作用 (Pardossi *et al.*, 1998; Suarez *et al.*, 1998)。本研究並未進行葉片水分潛勢等相關測定以為佐證，但葉片的相對水分含量 (RWC) 是以一定標準，測定葉片實際的含水量相對於飽和狀態時的含水量 (Larcher, 1995)。本研究的繖楊葉片其 RWC 係隨著鹽度增加而降低，其中 3.0 % 處理之葉片 RWC 在第 120 天時最低，僅約為 69.2 % (圖 4)。因此推測繖楊與海茄苳屬之 *Avicennia germinans* (Suárez *et al.*, 1998) 及欖李 (范貴珠等, 1999b) 相似，藉由降低葉片相對水分含量方式，累積不同滲透調節物質以維持一定的葉片含水率 (圖 3)，使苗木在此高鹽度下仍能持續生長。

(三) 苗木葉綠素濃度之變化

鹽分會造成敏感性植物葉綠體腫脹、變

形、細微結構受損，亦或使葉綠素醇素 (chlorophyllase) 活性增加而使葉綠素崩解，導致葉綠素合成減少及影響光合作用速率 (Hernandez *et al.*, 1995; Iyengar and Reddy, 1996)。惟繖楊苗木在不同鹽度處理中，無論是葉綠素 a、b 或總葉綠素濃度均未呈現顯著差異 (表 4)。此與土壤鹽分會明顯降低大葉山欖等四種樹種之葉綠素濃度結果 (郭幸榮與郭秀桃, 1998)，及欖李在低鹽分處理時苗木光合色素濃度較高，但鹽度增加時會明顯降低之結果有所不同 (范貴珠等, 2001)，主要係因樹種、鹽分處理濃度、處理時間及方法有所差異所致。

綜合上述結果顯示，繖楊苗木在 0、0.75 及 1.5 % 鹽度下均能生長良好；尤其以 0.75 % NaCl 能刺激苗木有最佳的葉片發育及相對生長速率，因此各項形質生長均最佳，表示此為適合繖楊苗木生長之鹽分濃度。而 3.0 % 之高鹽度則會造成苗木葉面積、相對生長速率及植物體含水率降低，進而導致苗木生長量受抑制；因此未來若欲復育此稀有紅樹林伴生樹種時，應選擇鹽度適合之生育地進行。

五、致謝

本研究感謝高雄港務局經費支援，特此致謝。並感謝國立屏東科技大學森林系張志遠、陳儀貞及吳禎祺等同學之協助，使本文得以順利完成，在此謹致最誠摯之謝忱。

六、引用文獻

行政院農業委員會 (1996) 台灣稀有及瀕危植物之分級彩色圖鑑 (I)。行政院農業委員會。163頁。

范貴珠、許博行、張峻德 (1999a) 鹽分對欖李苗木生長之影響。中華林學季刊 32(3):299-312。

范貴珠、許博行、張峻德 (1999b) 鹽分對欖李苗木水分狀態、葉綠素螢光反應與細胞

活性之影響。中華林學季刊 32(4):469-480。

- 范貴珠 (2000) 土壤鹽度對欖李苗木生長及生理反應之影響。國立中興大學森林學研究所博士論文。123頁。
- 范貴珠、許博行、張峻德 (2001) 土壤鹽度對欖李苗木光合作用之影響。林業研究季刊 23(3):47-62。
- 高清、孫岩章、陳峰南 (1997) 木本植物吸收二氧化硫能力的評估。台大實驗林研究報告 11(2):125-138。
- 翁建堯、林鴻淇 (1998) 水筆仔 (*Kandelia candel*) 之無機營養。中國農業化學會誌 36(5):483-492。
- 郭幸榮、郭秀桃 (1998) 鹽分對四種台灣原產闊葉樹之危害。中華林學季刊 31(4):361-376。
- 郭幸榮、劉佳瑜、許世宏 (1999) 低海拔闊葉樹種淹鹽水之症狀及形態適應。台大實驗林研究報告 13(3):211-223。
- 郭幸榮、林如森、許世宏、梁亞忠 (2000) 供水方式和土壤鹽分對欖李生長及形態之影響。中華林學季刊 33(2) : 217-230。
- 徐國士 (1985) 墾丁熱帶海岸林復舊造林技術研究。墾丁國家公園印行。87頁。
- 張焜標 (1994) 恆春半島原生樹種綠化苗木培育。行政院農委會、國立屏東科技大學森林系出版。64頁。
- 經濟部工業局 (1999) 台灣地區濱海型工業區綠化實用圖鑑。林業試驗所林業叢刊第 95 號。251頁。
- 劉業經、呂福原、歐辰雄 (1994) 台灣樹木誌。國立中興大學農學院出版委員會出版。925頁。
- 戴雍發、柯天雄、邱展臺 (2000) 台灣熱帶原生植物之栽培利用 (十) — 繖楊。農業世界雜誌 207:32-33。
- Ashton, E. C. and Macintosh, D. J. (2002)

- Preliminary assessment of the plant diversity and community ecology of the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia. *Forest Ecology and Management* 166:111-129.
- Ball, M. C. (1988) Salinity tolerance in the mangroves *Aegiceras comiculatum* and *Avicennia marina*. I. Water use in relation to growth, carbon partitioning, and salt balance. *Australian Journal of Plant Physiology* 15:447-464.
- Ball, M. C. (1996) Comparative ecophysiology of mangrove forest and tropical lowland moist rainforest. pp.461-496. In Mulkey, S. S., Chazdon, R. L. and Smith, A. P. eds. *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. Chapman and Hall, New York. pp.675.
- Barnes, J. D., Balauger, L., Manrique, E., Elvirra, S. and Davison, A. W. (1992) A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination chlorophyll a and b in lichens and higher plants. *Environmental and Experimental Botany* 32:85-100.
- Basak, U. C. Das, A. B. and Das, P. (1995) Metabolic changes during rooting in stem cuttings of five mangrove species. *Plant Growth Regulation* 17(2):141-148.
- Bezona, N. Hensley, D., Yogi, J., Tavares, J., Rauch, F. Iwata, R., Kellison, M. and Wong, M. (2001) Salt and wind tolerance of landscape plants for Hawaii. Cooperative Extension Service/CTAHR publications, University of Hawaii. pp.8.
- Cramer, G. R., Alberico, G. J. and Schmidt, C. (1994) Leaf expansion limits dry matter accumulation of salt - stress maize. *Australian Journal of Plant Physiology* 21:663-674.
- Downton, W. J. S. (1982) Growth and osmotic relations of the mangrove *Avicennia marina*, as influenced by salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 9:519-528.
- Grace, J. K., Ewart, D. M. and Tome, C. H. M. (1996) Termite resistance of wood species grown in Hawaii. *Forest Products Journal*. 46(10):57-60.
- Gucci, R., Lombardini, L. and Tattini, M. (1997) Analysis of leaf water relations in leaves of two olive (*Olea europaea*) cultivars differing in tolerance to salinity. *Tree Physiology* 17:13-21.
- Hernandez, J. A., Olmos, E., Corpas, F. J., Sevilla, F. and del Rio, L. A. (1995) Salt-induced oxidative stress in chloroplast of pea plants. *Plant Science* 105:151-167.
- Hunt, R. (1990) *Basic Growth Analysis*. Unwin Haman Inc. London, UK. pp.112.
- Hwang, Y. H. and Chen, S. C. (1995) Salt tolerance in seedlings of the mangrove *Kandelia candel* (L.) Druce, Rhizophoraceae. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 36:25-31.
- Iyengar, E. R. R. and Reddy, M. P. (1996) Photosynthesis in highly salt - tolerant plants. pp.897-909. In Pessarackli, M. eds. *Handbook of Photosynthesis*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Jayatissa, L. P., Dahdouh-Guebas, F. and Koedam, N. (2002) A reviews of the floral composition and distribution of mangroves in Sri Lanka. *Botanical Journal of the Linnean Society* 138:29-43.
- Johnson Inbaraj, J., Gandhidasan, R. and Murugesan, R. (1999a) Photodynamic action of some naturally occurring quinones: formation of reactive oxygen species.

- Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 124:95-99.
- Johnson Inbaraj, J., Gandhidasan, R. and Murugesan, R. (1999b) Cytotoxicity and superoxide anion generation by some naturally occurring quinones. *Free Radical Biology and Medicine* 26(9/10):1072-1078.
- Kathiresan, K. and Bingham, B. L. (2001) Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology* 40:84-254.
- Keiffer, C. H. and Ungar, I. A. (1997) The effects of density and salinity on shoot biomass and ion accumulation in five inland halophytic species. *Canadian Journal of Botany* 75:96-107.
- Larcher, W. (1995) *Physiological Plant Ecology*. Springer - Verlag, Berlin. pp.504.
- Luttge, U. and J. A. C. Smith (1984) Structural, biophysical, and biochemical aspects of the role of leaves in plant adaptation to salinity and water stress. pp.125-150. in Staples, R. C. and Toenniessen, G. H. eds. *Salinity Tolerance in Plants - Strategies for Crop Improvement*. John Wiley and Sons. New York. pp.443.
- Marcar, N. E. (1993) Waterlogging modifies growth, water use and ion concentrations in seedlings of salt-treated *Eucalyptus camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. robusta* and *E. globulus*. *Australian Journal of Plant Physiology* 20:1-13.
- Marcum, K. B. and Murdoch, C. L. (1992) Salt tolerance of the coastal salt marsh grass, *Sporobolus virginicus* (L.) Kunth. *The New Phytologist* 120:281-288.
- Masuda, T., Yonemori, S., Oyama, Y., Takeda, Y., Tanaka, T., Andoh, T., Shinohara, A. and Nakata, M. (1999) Evaluation of the antioxidant activity of environmental plants: Activity of the leaf extracts from seashore plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47:1749-1754.
- Milbrodt, M., König, W. A. and Hausen, B. M. (1997) 7-hydroxy-2,3,5,6-tetrahydro-3,6,9-trimethylnaphtho[1,8-b,c]pyran-4,8-dione from *Thespesia populnea*. *Phytochemistry* 45(7):1523-1525.
- Munns, R. (1993) Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell and Environment* 16: 15-24.
- Munns, R., Schachtman, D. P. and Condon, A. G. (1995) The significance of the two phase growth response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 22: 561-569.
- Pardossi, A., Fernando, M., Oriolo, D., Gucci, R., Serra, G. and Tognoni, F. (1998) Water relations and osmotic adjustment in *Apium graveolens* during long-term NaCl stress and subsequent relief. *Physiologia Plantarum* 102:369-376.
- Popp, M., Polania, J. and Weiper, M. (1993) Physiological adaptations to different salinity levels in mangrove. pp.217-224. In Lieth, H. and Al Masoom, A. A. eds. *Towards the Rational Use of High Salinity Tolerant Plants*, Vol.1. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. pp.521.
- Socias, F. X., Pol, F., Aguilo, F., Vadell, J. and Medrano, H. (1997) Effects of rapidly and gradually induced water stress on plant response in subterranean clover leaves. *Journal of Plant Physiology* 150:212-219.
- Suárez, N., Sobrado, M. A. and Medina, E. (1998)

- Salinity effects on the leaf water relations components and ion accumulation patterns in *Avicennia germinans* (L.) L. seedlings. *Oecologia* 114:299-304.
- Suárez, N. and Sobrado, M. A. (2000) Adjustments in leaf water relations of mangrove (*Avicennia germinans*) seedlings grown in a salinity gradient. *Tree Physiology* 20:277-282.
- Tattini, M., Gucci, R., Coradeschi, M. A., Ponzio, C. and Everar, J. D. (1995) Growth, gas exchange and ion content in *Olea europaea* plants during salinity stress and subsequent relief. *Physiologia Plantarum* 95:203-210.
- Tomlinson, P. B. (1994) *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press. New York. pp.419.