

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

第二名

031722

溼地的勇士－海茄苳呼吸根與抗鹽逆境之研究

學校名稱：新竹市立培英國民中學

作者： 國二 彭佑寧	指導老師： 黎心穎
-------------------	------------------

關鍵詞： 呼吸根、抗鹽逆境、鹽腺

溼地的勇士

—海茄苳呼吸根與抗鹽逆境之研究

壹、前言

紅樹林植物生長在熱帶及亞熱帶區沿海潮間帶之溼地。目前全世界的紅樹林面積約為 1400 萬公頃，其中分布密度最高的是在印度洋和西太平洋的臨海地帶，集中於赤道兩側南北緯 0 度至 25 度間。台灣紅樹林植物有水筆仔、五犁跤、海茄苳、欖李等植物。

新竹市香山溼地位於新竹客雅溪出海口，擁有新竹最豐富紅樹林群集。其中分布最廣的植物族群就是海茄苳。溼地的土壤保水力強，導致泥土表面中的氣體與空氣無法交換，加上微生物旺盛的分解作用，消耗大量氧氣，故泥土即形成極度缺氧的環境。這種惡劣環境就是紅樹林生長的地形，當然對紅樹林植物產生諸多的影響，如葉片生長速率減緩、光合作用及呼吸作用效率減緩等⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁶⁾。大量的鹽分累積在根部更阻礙了植物根部對水分、養分的吸收。因此紅樹林植物及海濱植物在演化上勢必發展出抗鹽分逆境的機轉，根據學者研究溼地植物常見以下列三種方式抗鹽分逆境：一、泌鹽：將多餘的鹽分經由葉部特化的鹽腺收集起來，當蒸發時，水份從氣孔排走，多餘的鹽分會以結晶方式殘留。二、拒鹽：這些植物細胞壁及細胞膜對某些鹽離子(尤其是毒性高的鈉離子)的滲透性很小，拒絕一些離子過多地進入細胞。對已被吸收的離子，植物將它在細胞內作區域分配，讓它只累積在根部的細胞裡，不會向上運輸，減低其對其它細胞的傷害。三、落葉：將鹽分聚集在老葉，當鹽分過多時將老葉脫落使鹽分排除⁽⁹⁾。

海茄苳 (*Avicennia marina*) 是馬鞭草科喬木，為台灣紅樹林中數量最多且最廣泛者。生存在含有大量有機腐質土之潮溼鹽沼地帶，每當漲潮時，海茄苳莖部和根部浸泡在水中，無法自土壤中獲取充分的氧氣。而且不論在漲潮或退潮時，溼地土壤都有高量的鹽分，所以海茄苳長期處於不利生長的狀態。海茄苳根系分布廣，並可在鬆軟土壤固著生長。海茄苳呼吸根有 4 種⁽¹¹⁾⁽¹⁴⁾，內部具有通氣組織，每株呼吸根系分布可達 7~8 公尺，使海茄苳可以獲得充足的氧氣，不致於淹死，也可在土質不穩固的地區屹立不倒。葉片具有緊密的柵狀組織，葉片角皮層厚，葉背密布由毛狀體包覆的鹽腺，可以把鹽分排出體外。海茄苳沒有屈服於惡劣的鹽地環境，得歸功於上述的呼吸根，以及特殊的鹽腺組織。

在本研究中，我們將會觀察比較海茄苳四種根在形態學上的異同，並以複式顯微鏡及相位差顯微鏡觀察其組織構造；探討海茄苳演化發展出呼吸根之可能原因；比較常見紅樹林植物的抗鹽分逆境機制；比較海茄苳在不同鹽分濃度環境下的泌鹽量、存活天數及生長速率，同時發表海茄苳抗鹽逆境的構造—「鹽腺」的顯微鏡照片，這是以往在文獻上很少見的資料。

貳、摘要

本研究觀察海茄苳四種呼吸根在形態學上的異同，並以顯微鏡觀察四種呼吸根的構造，推論四種呼吸根的功能：出水呼吸根為露出土面吸收大氣中的氣體；纜狀根為支持植物本體及運送由出水呼吸根吸收之氣體至植物本體；支持根為支持植物本體；營養根主要為吸收土壤中的水分及養分。其次觀察海茄苳與其它植物葉片的構造、氣孔數量、氣孔型態、土壤的差異並測量植物二氧化碳產生量，推論海茄苳需要呼吸根的原因為：一、葉片氣孔數量過少，二、生長環境嚴酷不利於吸收養分及空氣，三、呼吸作用率較差。然後觀察海茄苳在不同濃度鹽分的逆境下之泌鹽量、根部生長速率、葉片及根莖形態及存活天數。最後測量葉片表面的導電度、內部電阻值及觀察有無老葉的方式，來推論海濱植物抗鹽分逆境的方法，發現：一、海茄苳、海馬齒、馬氏濱藜可以泌鹽方式排鹽，二、林投、水筆仔等植物可以拒鹽方式排鹽，(3)三、鹽定及海馬齒可以落葉方式排鹽。

參、研究動機：

曾經，我有個疑問：「平常的植物都是用淡水來澆水。可是溼地植物住在海邊，海水是鹹的，為什麼溼地植物可以忍受海水的鹽分環境呢？」後經查證，得知植物都會發展一套求生的方法，而海茄苳是以「鹽腺」來抗鹽，而海茄苳還有一種特殊的呼吸根系統可以幫助它呼吸。那時起我就想徹底了解海茄苳及其它溼地植物，它們是借助什麼特殊機制來忍受鹽分逆境，在惡劣的自然環境下求生存？以及呼吸根對海茄苳的生存有什麼幫助？

肆、研究目的

- 一、觀察海茄苳四種呼吸根及葉片的功能、形態、及內部組織構造的差異。
- 二、探討海茄苳演化發展呼吸根之原因。
- 三、比較海茄苳在不同濃度中的泌鹽量、根部生長速率、葉片及根莖形態及存活天數。
- 四、比較海茄苳與其它海濱植物的抗鹽分逆境方法。

伍、實驗設備及器材

一、實驗設備：

複式顯微鏡、倒立相位差顯微鏡(Nikon TMD)、SEM 電子顯微鏡(JSM5330、JSM5610 SERIES)、顯微鏡照相設備、數位相機、三用電錶、果汁機、電子秤、烘箱、二氧化碳測試計(TES-1370)

二、實驗器材：

載玻片、蓋玻片、鑷子、尺、切片刀、培養皿、燒杯、洗滌瓶、試管、廣用試紙、玻璃紙、指甲油、量筒、游標卡尺

三、生物材料：

海茄苳及其它海濱植物(表 1)採集地點為新竹市香山溼地。因其生長環境不易控制所以僅能暫時培養於自家陽台。將濕地採集回來的土壤及海茄苳放入大塑膠盆，並加水，必要時(植物有枯萎現象)加少許鹽分(約 0.5%)，此保存方法僅為觀察所使用，如需做實驗則會重新採集。

俗名	學名
海茄苳	<i>Avicennia marina</i>
林投	<i>Pandanus odoratissimus</i>
海馬齒	<i>Sesuvium portulacastrum</i>
水筆仔	<i>Kandelia cande</i>
海欖果	<i>Pandanus odoratissimus</i>
鹽定	<i>Suaeda nudiflora</i>
馬氏濱藜	<i>Atriplex maximowicziana</i>
蔓荊	<i>Vitex rotundifolia</i>
黃槿	<i>Hibiscus tiliaceus</i>

表 1.生物材料

陸、研究方法及過程

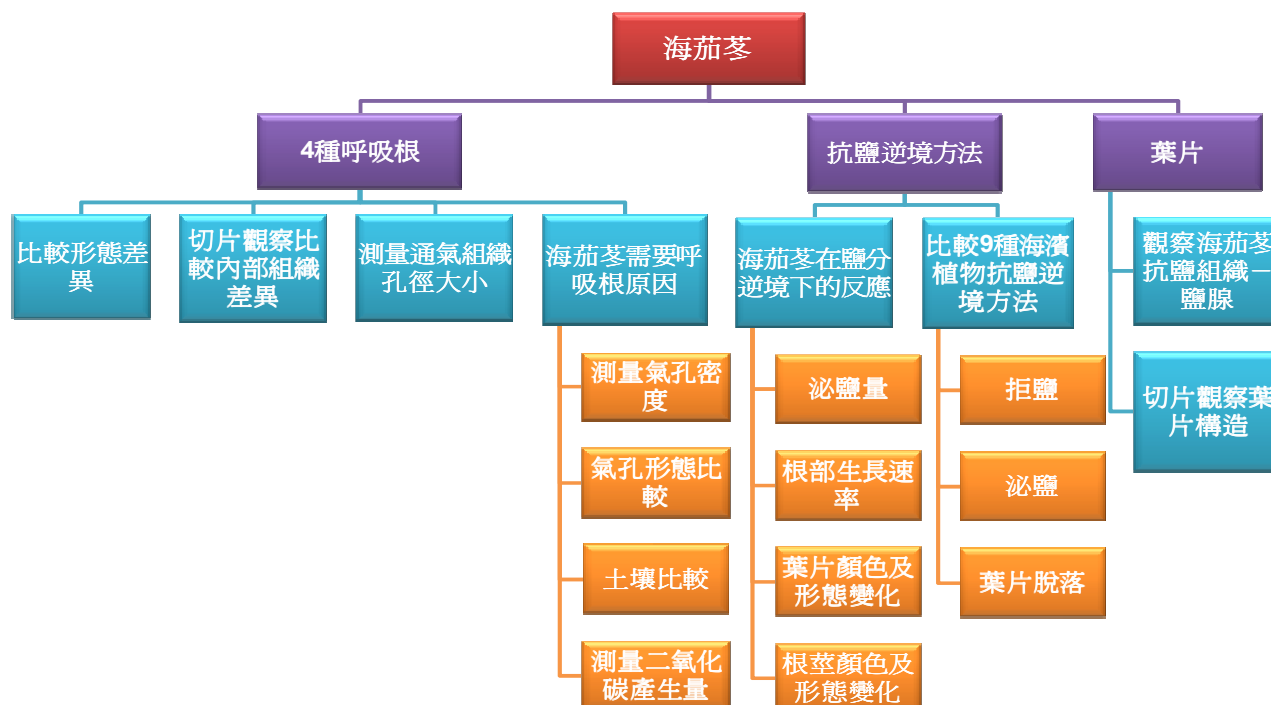


圖 1.流程圖

一、探討海茄苳四種根及葉片的構造、功能及差異

實驗步驟：

- (一) 將採集好的海茄苳呼吸根及葉片分成兩組，一組直接切片，另一組烘乾處理。
- (二) 直接切片組為計算通氣組織孔徑大小用，避免烘乾後的標本尺寸縮水。
- (三) 將挑選好的呼吸根及葉片放進烘箱以 60℃ 烘乾 6 小時。
- (四) 烘乾後的樣本在切片前一天用水泡 6 小時，再自然風乾至隔夜。
- (五) 將樣本徒手切片，放入裝水之培養皿中選片。
- (六) 以水包埋後以複式顯微鏡及相位差顯微鏡觀察。

二、比較四種呼吸根通氣組織孔徑大小的差異

實驗步驟：

- (一) 呼吸根不需經乾燥處理，防止樣本縮水。
- (二) 將之徒手切片，並在顯微鏡下觀察。

(三) 觀察葉片構造：

- 1.將葉片樣本以烘箱烘乾製成標本，並徒手切片。
- 2.以相位差顯微鏡及複式顯微鏡觀察葉片構造並拍照。

(四) 測量二氧化碳排放量：

- 1.將植物樣本及二氧化碳測量計置於玻璃缸中，並將二氧化碳測量計連接電腦。(圖 2)
- 2.玻璃缸上方以木板蓋住，並以膠帶完全封住，並以暗箱蓋住。(圖 3)
- 3.啟動電腦及二氧化碳測量計，每兩分鐘測量二氧化碳含量，共紀錄 2 小時。



圖 2.測量二氧化碳排放量實驗中裝置圖



圖 3.觀測箱內部擺設

四、探討 9 種海濱植物的抗鹽方式

實驗步驟：

(一) 測量葉片內部電阻值

- 1.至新竹市香山濕地及海邊採集 9 種植物。
- 2.將植物葉片摘下，分類置於不同容器中。
- 3.每種葉片各秤重 10g，各加蒸餾水 80ml。
- 4.用果汁機完全打碎，將變成漿狀的溶液裝到燒杯中。
- 5.將燒杯中的溶液以濾紙過濾後，取 25ml 不含植物殘渣之溶液。
- 6.用木筷固定三用電錶兩個電極，電極距定為 6cm，電極不碰觸到燒杯，測量溶液的電阻值並紀錄。

(二) 測量葉片表面電阻值

- 1.將植物葉片以蒸餾水洗乾淨，以標籤標識，並紀錄時間。

2.2-3 小時後，將葉片剪成矩形(以鑷子操作)，並再次記錄時間。

3.將蒸餾水裝進洗滌瓶中，沖洗葉子表面，將水溶液 20ml 裝進乾淨的小瓶子中保存。

4.帶回實驗室，將三用電錶電極距設定為 6cm，測量其電阻值五次並取平均值。

5.將其結果換算成平均每秒、每平方公分產生鹽分之導電度。

五、探討海茄苳在不同鹽分濃度環境下的生長情形

實驗步驟：

(一) 將海茄苳分成 12 組

對照組：海茄苳原生長環境(新竹市香山濕地)的海水，共 1 組

實驗組：含氯化鈉 0%、0.5%…，至 5%之水溶液，共 11 組

(二) 觀察項目：

1.根的生長速率：每天以游標卡尺測量根的生長量，共四天。

2.葉片泌鹽多寡：每天以洗滌瓶(含蒸餾水)沖洗葉片表面鹽分至容器中，以三用電表測量電阻值，電極距定為 6 公分。

3.根及葉片的變化：每天記錄各組別根及葉片的顏色及狀態，共 30 天。

4.海茄苳之存活天數：觀察各組別海茄苳之存活時間。

柒、實驗結果

一、海茄苳四種呼吸根型態及內部組織切片之觀察



圖 4.海茄苳



圖 5.香山溼地海茄苳族群

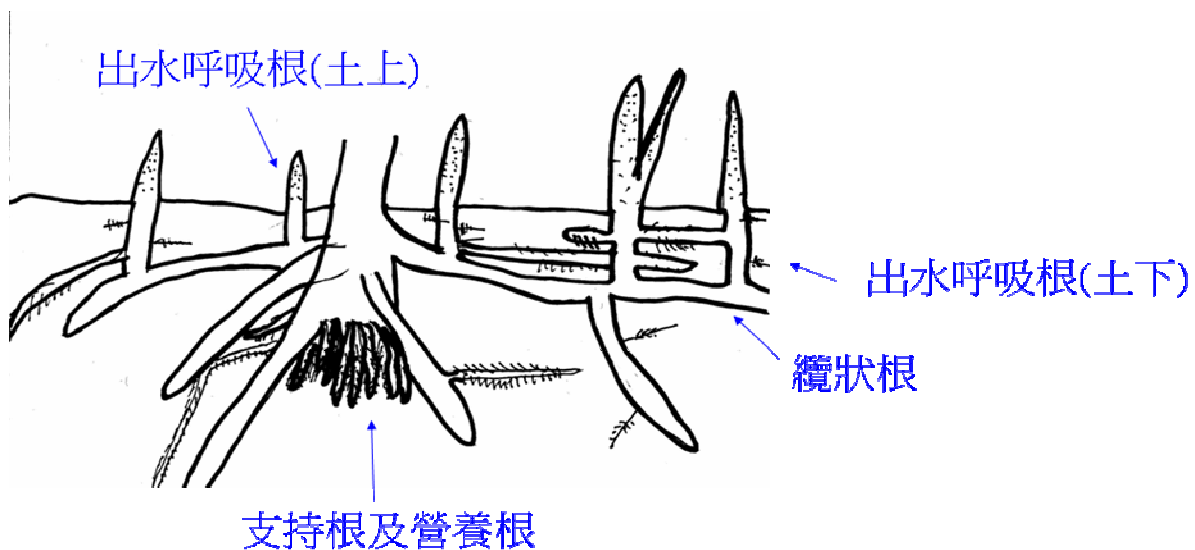


圖 6.海茄苳四種根相對位置示意圖（手繪）

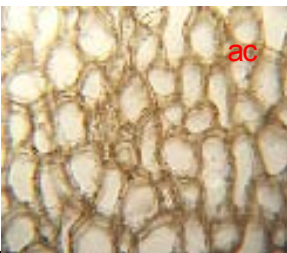
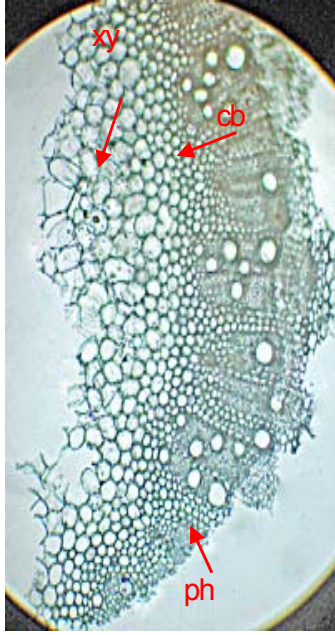
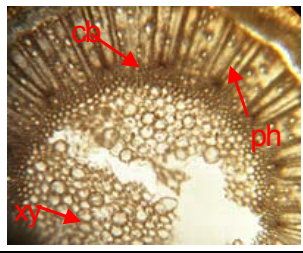
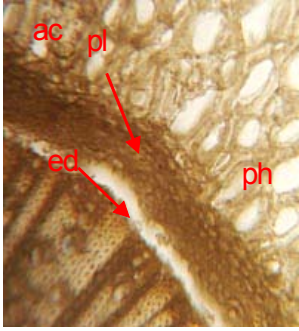
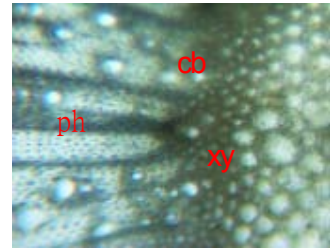
（一）纜狀根

1.形態學觀察

表皮顏色：橘色。**直徑：**0.8~2cm。**內部構造：**大部分為通氣組織，質地柔軟，表皮易與通氣組織分離。只有小部份為中心柱，質地堅硬。**特色：**通氣組織孔徑大，根冠堅硬。因其中心柱堅硬，可支持植物本體。可再長出其它纜狀根形成分枝，並長出出水呼吸根露出土面。纜狀根主要功能為運送空氣至本體，所以在切片結果下可見通氣組織孔徑很大。

圖7.纜狀根形態		
纜狀根橫切面	纜狀根堅硬的前端	纜狀根構造
		

2.內部組織切片：

纜狀根組織切片構造		
		
圖8.通氣組織(ac)(150X)		圖11.中心柱(100X) 由外至內依序為韌皮部(ph)、形成層(cb)、木質部(xy)。
		
圖 9：由外而內為通氣組織(ac)、木栓形成層(pl)與韌皮部(ph)(150x)	圖 10：維管束(150X) 由外而內為韌皮部(ph)、形成層(cb)、木質部(xy)	圖12.韌皮部與木質部(150X)

(二) 出水呼吸根

出水呼吸根分為兩部分，一部分露出土面，另一部分則在土面下連接纜狀根。

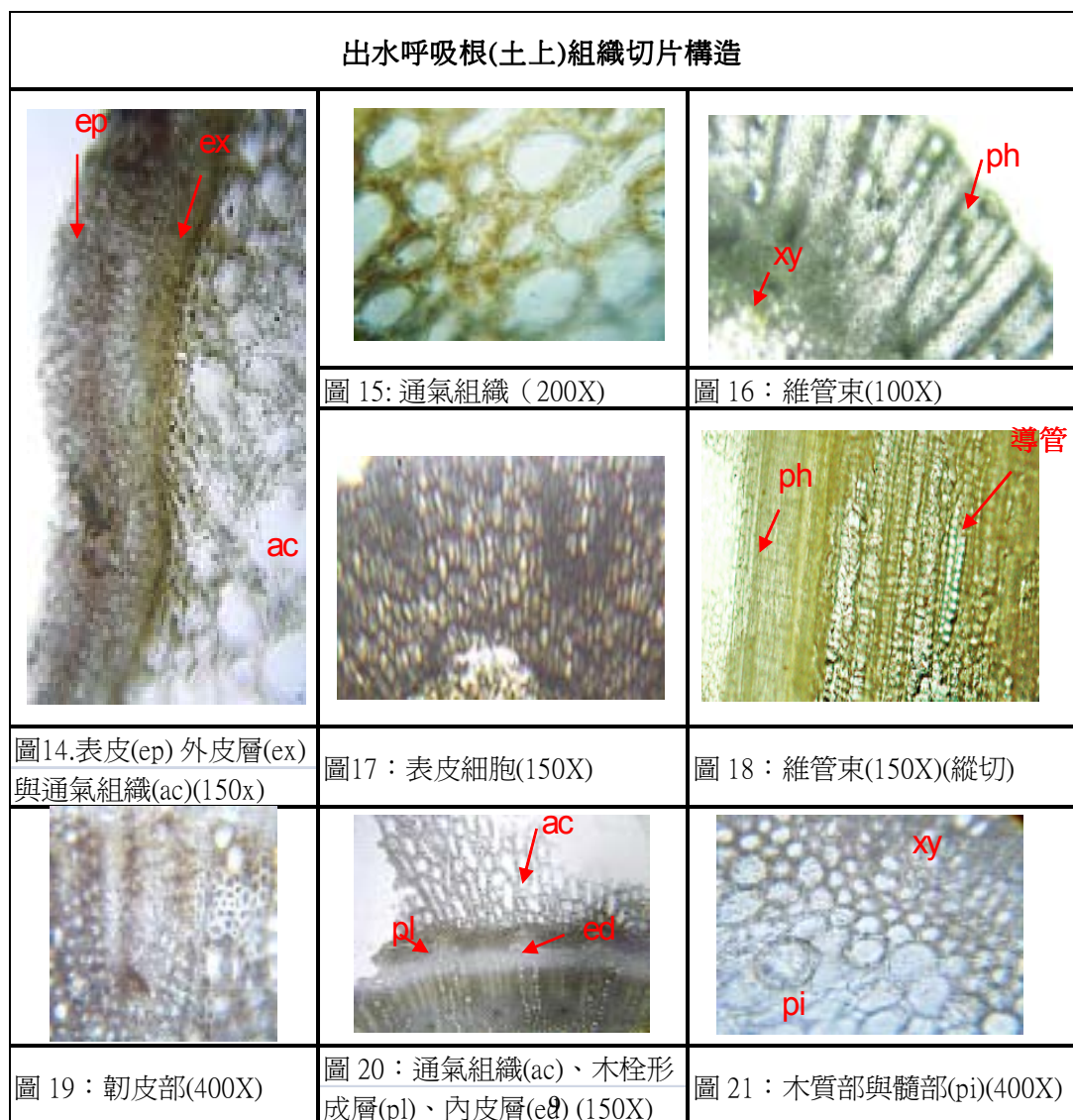
1.土上

(1) 形態學觀察

表皮顏色：大部分為綠色。**直徑：**約 0.5~1.5cm。**內部構造：**內部有通氣組織，表皮堅硬、具有皮孔。中心柱較不堅硬。**特色：**由纜狀根延伸露出表面。前端堅硬，穿透土壤表面呼吸。有些會分岔成 2~5 個分支（圖 13）。



(2) 內部組織切片：



2.土下

(1) 形態學觀察

表皮顏色：橘色。**直徑：**約 0.8~1.3cm。**內部構造：**表皮柔軟，無皮孔。內部的中心柱堅硬。

特色：內部通氣組織較露出土面部分大，並可長出營養根協助攝取水分及養分。

外觀：



圖 22.出水呼吸根(下)之相對位置

(2) 內部組織切片：

出水呼吸根(土下)組織切片構造	
圖 23：中心柱與通氣組織(100X)	圖 24：表皮及通氣組織(150X) 外而內為表皮(ep)、外皮層(ep)、通氣組織(ac)。
圖 25：中心柱外緣(150X)	圖 26：中心柱與通氣組織(100X)

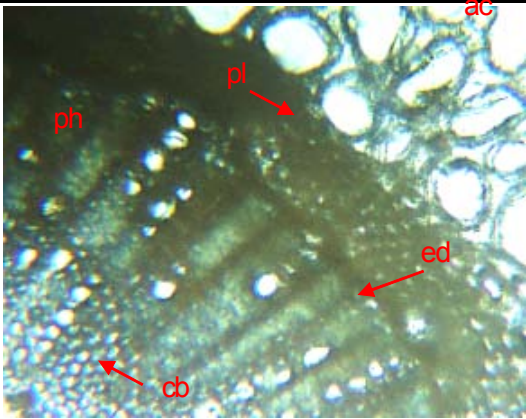
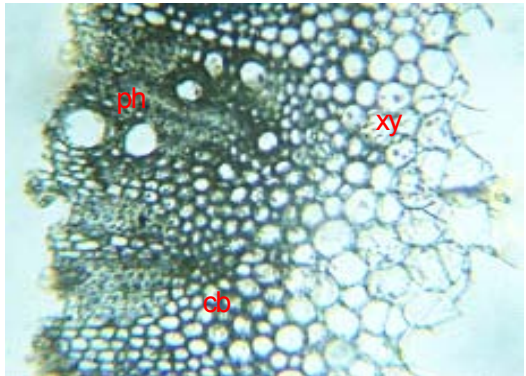
(三) 支持根

1. 形態學觀察

表皮顏色：褐色。**直徑：**約 0.2~0.5cm。**內部構造：**表皮堅硬，無皮孔，具有通氣組織，但較纜狀根薄。中心柱與根部比例較纜狀根大。**特色：**通氣組織較薄，長出密集的营养根協助吸收水分及養分。自海茄苳主幹向下延伸，質地最堅硬，長度較短，但分佈密集。支持根的形狀彎曲，可有較大的抓地力。支持根亦為營養根吸收水分及養分運輸至植物本體的通道。

外觀：

2. 內部組織切片：

支持根組織切片構造	
	
圖27. 通氣組織(400X)	圖28. 中心柱與通氣組織(100X)
	
	圖29. 維管束(150X)

(四) 營養根

1. 形態學觀察

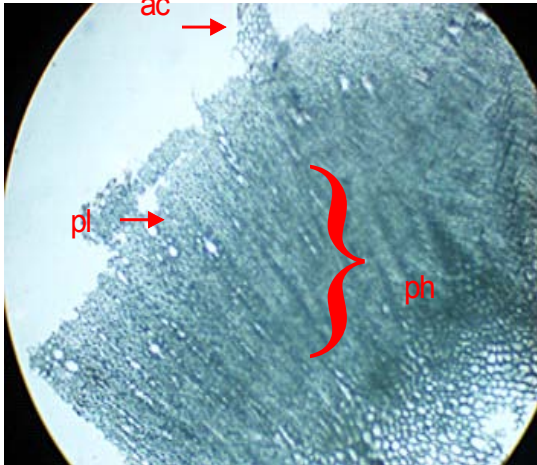
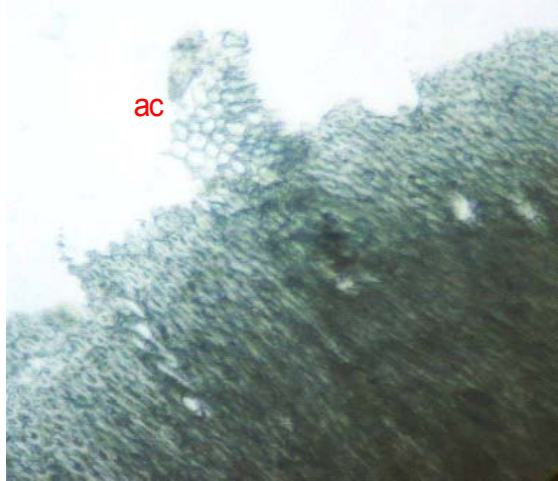
表皮顏色：褐色。**內部構造：**通氣組織最小，但維管束佔極大部分，質地柔軟，細小。**特色：**為四種根相對最細小的根，主根寬度不到 1mm（圖 30）。在成熟及尚未成熟的纜狀根、出水呼吸根土壤下部份及支持根長出，吸收之營養由支持根傳送到植物本體。營養根有主根及鬚根，可形成樹枝狀結構擴大範圍。營養根主要功能為吸收水分及養分。

外觀：



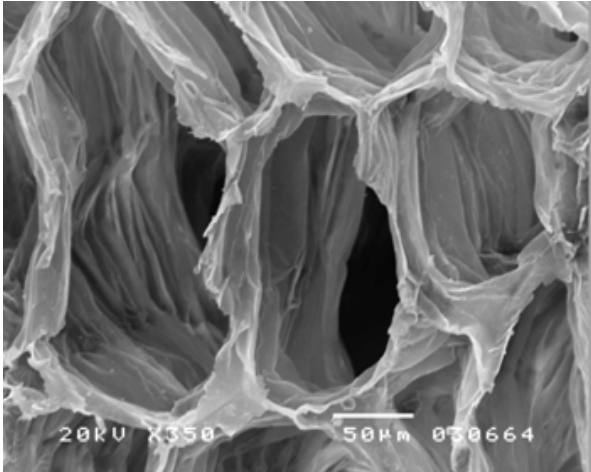
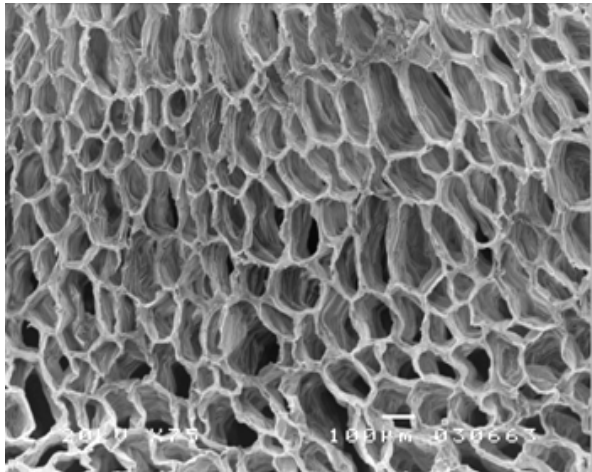
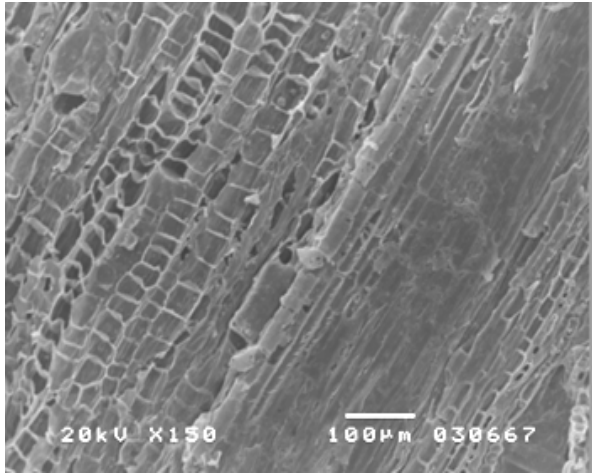
圖 30.營養根

2. 內部組織切片：

營養根組織切片構造	
	
圖31.營養根維管束(200X)	圖32.營養根的通氣組織及韌皮部(400X)

(五) 以 SEM 電子顯微鏡觀察呼吸根之通氣組織

四種呼吸根皆有通氣組織，我們只以通氣組織孔徑最大的纜狀根的電子顯微鏡觀察。由圖 3 及 34 明顯觀察出通氣組織的構造，而圖 34 顯示通氣組織密集生長。圖 35 顯示纜狀根木質部的導管。圖 36 為通氣組織與表皮，可觀察出表皮凹凸不平的構造。

支持根組織切片構造	
	
圖 33：纜狀根的通氣組織(350X)	圖 34：纜狀根的通氣組織(75X)
	
圖35. 木質部縱切(150X)	圖 36：通氣組織及表皮(80X)

(六) 計算通氣組織孔徑大小

海茄苳的四種根皆有通氣組織，但其孔徑大小都不一致（表 7）。孔徑最大者為纜狀根，因其為出水呼吸根吸收空氣運送至本體的管道，必須具有大的通氣組織孔徑以利空氣傳送。營養根的功能主要為吸收營養及水分，所以維管束很大，但相對的通氣組織則很小。

根種類	平均通氣組織孔徑(mm)
出水呼吸根(上)	0.115
出水呼吸根(下)	0.120
纜狀根	0.125
支持根	0.061
營養根	0.021

表 2.四種根通氣組織孔徑大小比較

二、探討呼吸根對海茄苳之重要性

(一) 海茄苳與其它植物的葉片氣孔密度之比較

分別計算 8 種植物葉片的氣孔密度(表 3 及圖 30)。可明顯看出海茄苳的氣孔數，遠少於其它種類植物，不論是陸生植物或是溼地植物。而且海茄苳只有上表皮具有氣孔，下表皮並沒有氣孔。

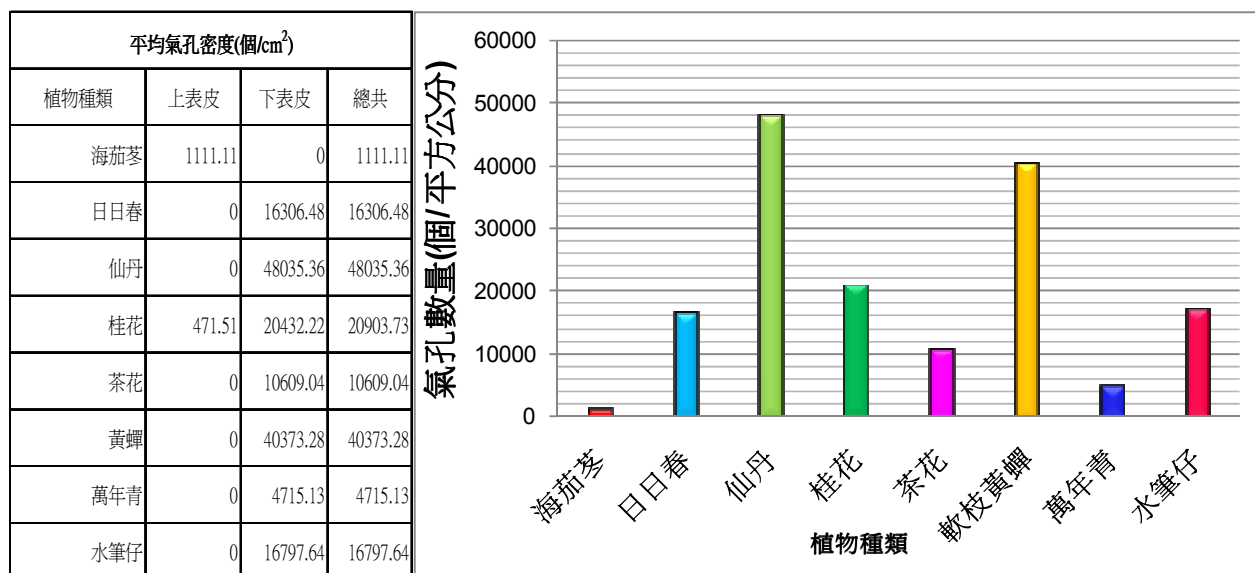
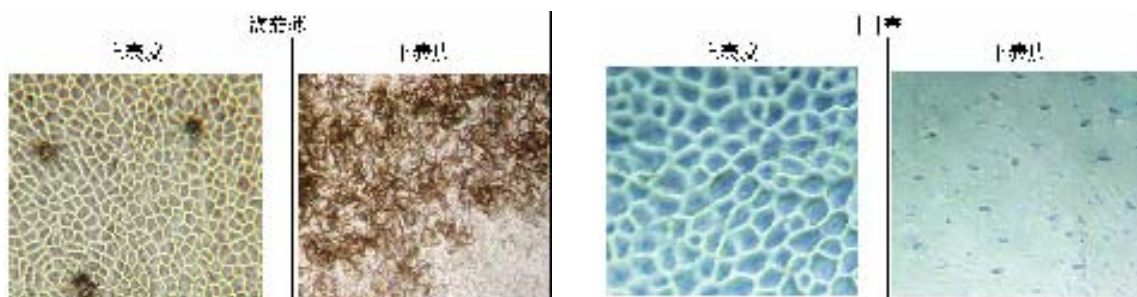


表 3.海茄苳與其它植物氣孔密度比較 圖 37.海茄苳與其它植物氣孔密度比較

(二) 海茄苳上下表皮與其它植物上下表皮比較

下圖都為同一視野下拍攝的照片，也發現海茄苳之氣孔數遠較其它植物都少。



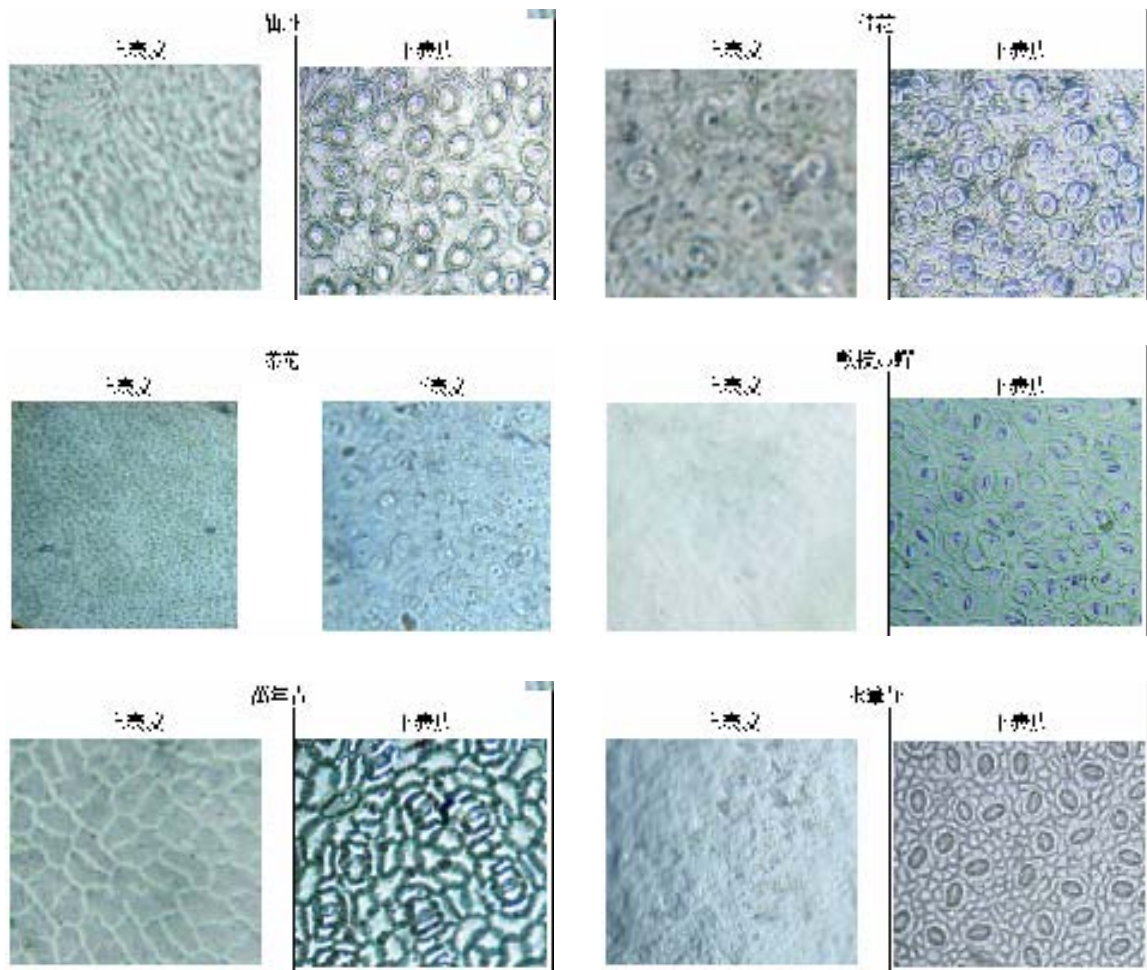


圖 38 海茄苳與其它植物上下表皮氣孔比較

(三) 濕地土壤與其它土壤之比較

由表 6 觀察到海茄苳生長環境的土(濕地土)的含水率高，且有異味、較黏膩且鹽分含量高，不利於一般植物生長。



圖 47.濕地土



圖 48.栽培土



圖 49.腐植土

土壤比較				
種類	採集地點	測定項目		特徵
溼地土	香山溼地	pH值	7.5	灰黑色，富含貝殼等生物屍體碎片及石塊，水分含量高，會結成塊狀。鹽分及有機質含量高，有臭味。
		溼重(g)	566.4	
		乾重(g)	368.1	
		溼重-乾重(g)	198.3	
		含水率(%)	53.87%	
栽培土	自行購買	pH值	6	紅褐色，顆粒細小，含白色小石塊，較鬆軟，乾燥。含死亡植物的根，無臭味。
		溼重(g)	115.7	
		乾重(g)	81.3	
		溼重-乾重(g)	34.4	
		含水率(%)	42.3100	
腐植土	自家後院	pH值	8	灰黑色，含腐葉，石塊及植物屍體碎片，土會結成塊狀，無臭味。
		溼重(g)	215.7	
		乾重(g)	153.2	
		溼重-乾重(g)	62.5	
		含水率(%)	40.79	

表 4 不同種類土壤含水率、pH 值及外觀比較

(四) 二氧化碳產生量比較

由圖 39 可明顯觀察得知海茄苳產生之二氧化碳量遠低於對照組。因香山溼地最大植物族群為海茄苳及水筆仔，而由圖 38 觀察到軟枝黃蟬氣孔數量遠大於海茄苳，因此選擇水筆仔及軟枝黃蟬做為對照組。實驗結果得知軟枝黃蟬二氧化碳產生量為最高，水筆仔為次之，海茄苳最少。

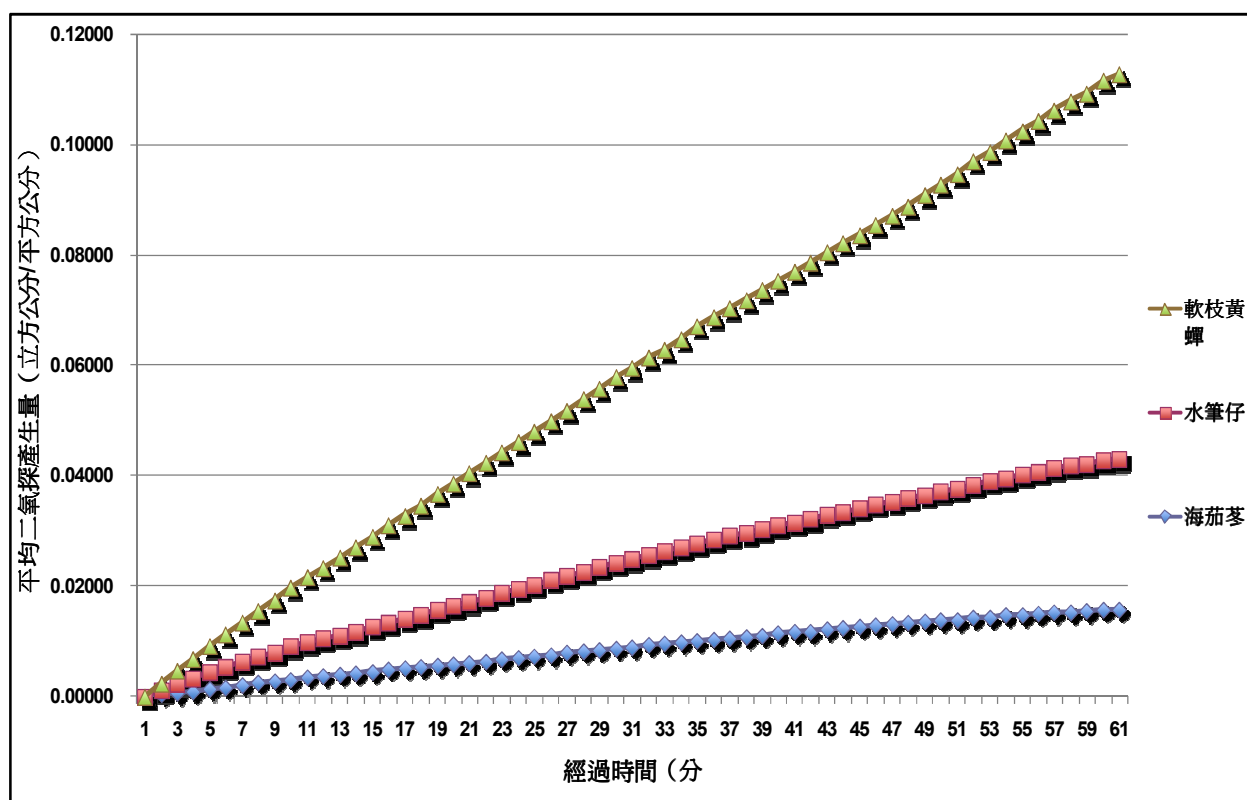


圖 39. 二氧化碳產生量比較

三、海茄苳葉片構造之觀察

(一) 實驗組-海茄苳

海茄苳葉片有以下特徵：

- (1)上表皮光滑，下表皮長有許多毛狀體。
- (2)上表皮具有通氣組織(圖 40.41)
- (3)上表皮的氣孔爲下陷型(圖 43.44)
- (4)下表皮具有毛狀體(圖 45)
- (5)下表皮無氣孔(圖 45.46)
- (6)下表皮有鹽腺(圖 46.47)

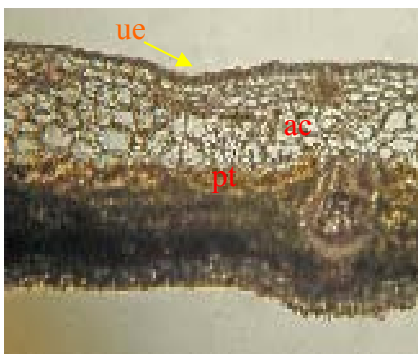


圖 40：海茄苳葉片縱切(150X)



圖 41：海茄苳葉片縱切(150X)

海茄苳葉片由上而下的構造爲上表皮(ue)、下陷氣孔(ss)、通氣組織(ac)、柵狀組織 (pt)、海綿組織(st)、鹽腺(sg)、毛狀體及下表皮。

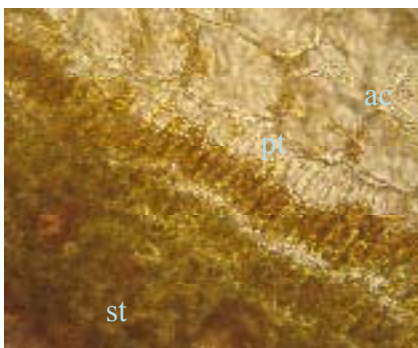


圖 42：柵狀組織及海綿組織(250X)



圖 43：氣孔(450X)



圖 44：氣孔(指甲油拓印) (450X)



圖 45：下表皮的毛狀體(450X)

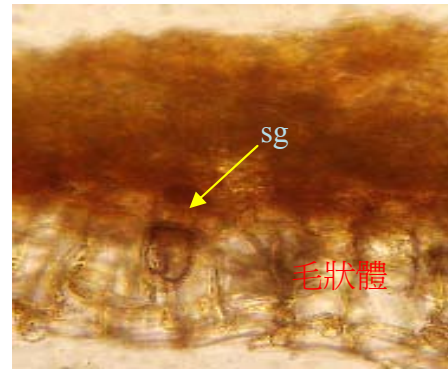


圖 46：下表皮的鹽腺(250X)

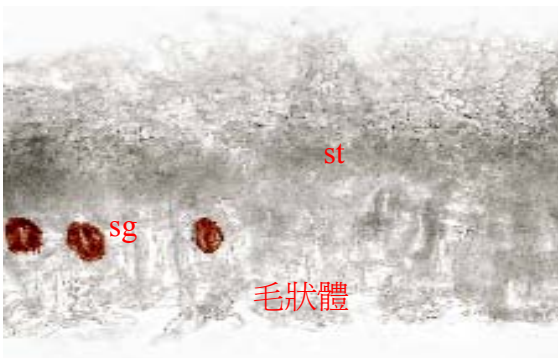


圖 47：下表皮的鹽腺(250X)(以電腦上色)

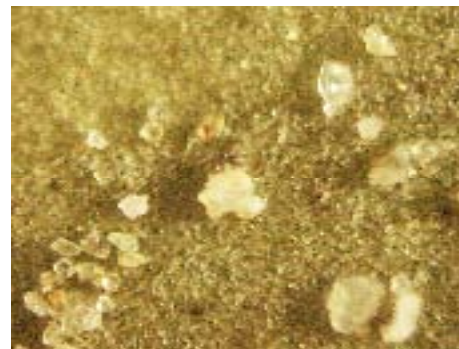


圖 48：鹽腺分泌的氯化鈉結晶(50X)

(二) 對照組：桂花葉片的構造

桂花葉片有以下特徵：

- (1)上下表皮皆有氣孔。
- (2)無毛狀體。
- (3)無鹽腺。
- (4)無通氣組織。

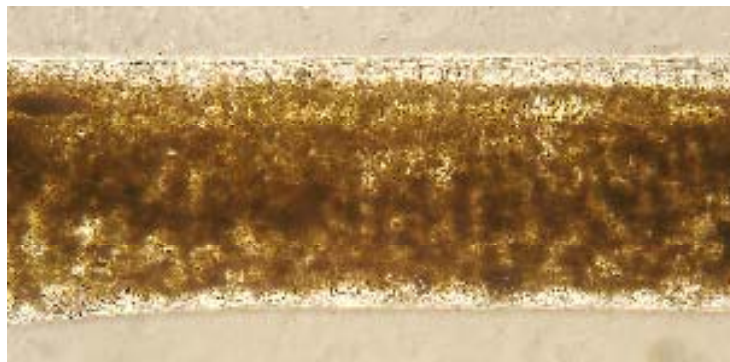


圖 49.桂花葉片縱切(150X)

四、海茄苳在鹽分逆境下之反應

(一) 不同鹽分濃度生長環境下葉片產生鹽分的導電度。

本實驗以植物葉片表面產生鹽分之導電度的高低來比較各種植物泌鹽量多寡。本實驗以低濃度組(綠色)及高濃度組(藍色)與對照組(紅色)進行比較。

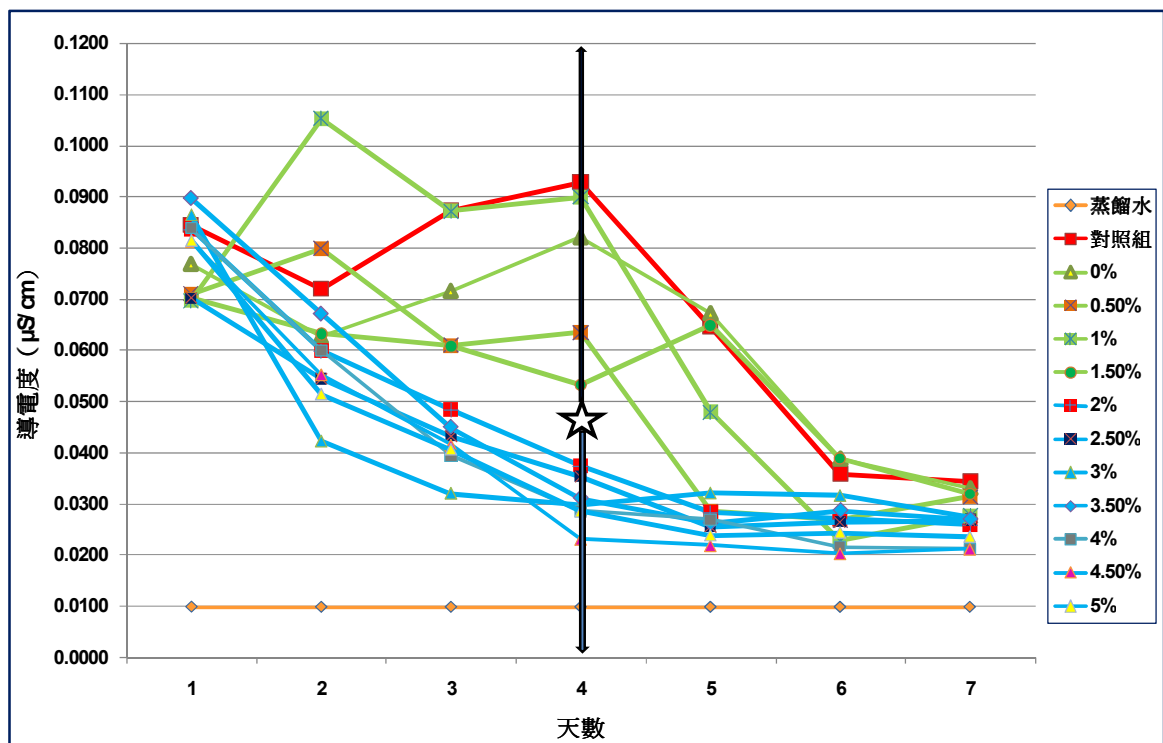


圖 50.海茄苳在不同鹽分濃度生長環境下產生鹽分導電度的變化

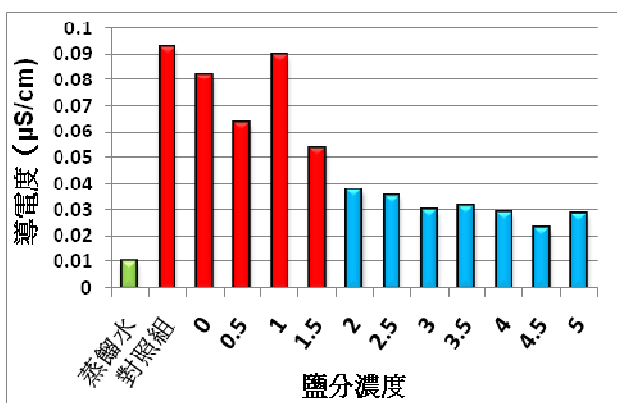


圖 51.第 4 天時產生鹽分的導電度。
在鹽分逆境下，1~4 天各組的差異最為明顯，尤其在第四天時，低濃度組(紅色)泌鹽量明顯較多，高濃度組(藍色)則較少。

(二) 不同鹽分濃度生長環境下根的生長速率。

由圖 50 發現第 1~4 天時各組的差異較明顯，因此測量 1~4 天根的生長量。低濃度組的生長速率趨勢與對照組相似，為起伏不定（圖 52），表示生長速率在低濃度組(0%~1.0%)不受影響。在中濃度(1.5%~3%)組，生長速率隨天數改變稍微下降(圖 53)。在高濃度組(3.5%~5%)，生長速率明顯受天數及濃度增加而減少(圖 54)，鹽分濃度 5%在第四天時生長速率近似於 0。因受限於游標卡尺之刻度，故本實驗的誤差約為 ± 0.005 。

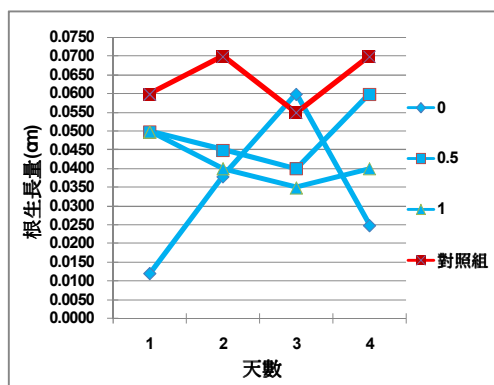


圖 52.低濃度組根生長速率

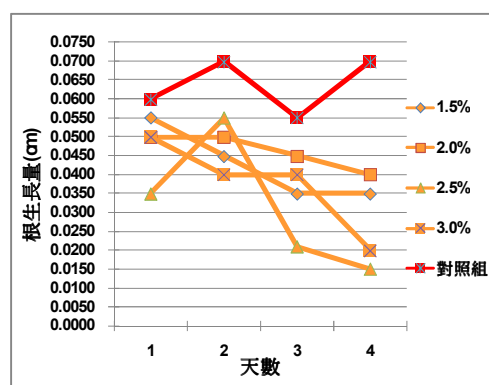


圖 53.中濃度組根生長速率

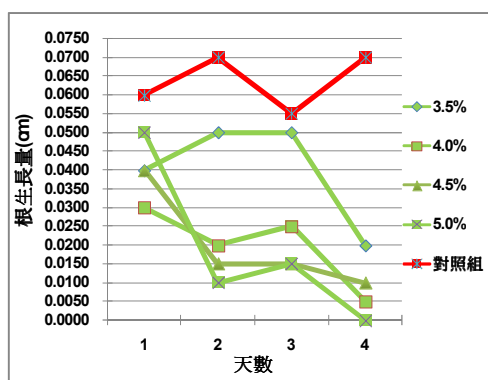


圖 54 高濃度組根生長速率

(三) 在鹽分逆境下海茄苳葉片的觀察

1. 葉片顏色變化：

本實驗記錄自採集當天(定為第 1 天)起，每天記錄海茄苳葉片之顏色變化，連續 30 天，或至植物死亡為止(附錄 1)。海茄苳從第 1 天到死亡時的葉片顏色變化情形都依循一定模式。葉片會由外緣漸漸變為褐色，面積漸漸擴大，直至葉片脫水死亡，為淺褐色。(圖 55)。

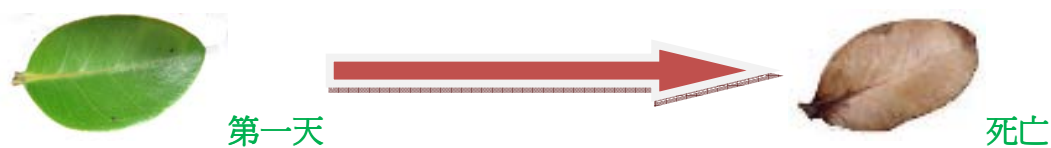


圖 55.葉片顏色變化

2. 葉片形態變化：

本實驗記錄自採集當天(定為第 1 天)起，每天記錄海茄苳葉片之形態變化，連續 30 天，或至植物死亡為止(附錄 2)。由 30 天記錄中可歸納出海茄苳葉子狀態變化：葉片漸漸乾枯。之後葉片開始卷曲，卷曲程度愈來愈大，之後會捲曲成棒狀並完全脫水死亡。

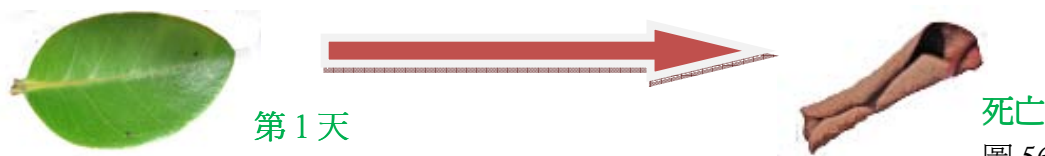


圖 56.葉片形態變化

(四) 在鹽分逆境下根莖形態的觀察：

根莖會在第 7 天之後漸漸乾枯，其乾枯程度會愈來愈大，直至死亡。根在死亡時上面會覆蓋一層氯化鈉結晶(圖 57,58)，切開之後通氣組織也會佈滿結晶。但在 0%~1%組別則不明顯。



圖 57.58 根部上面的氯化鈉結晶

(五) 海茄苳在鹽分逆境下之存活天數

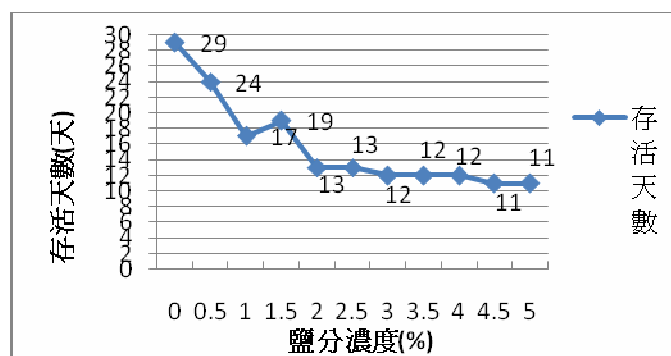


圖 59.海茄苳在不同鹽分濃度環境存活天數

海茄苳的生存天數隨著鹽分濃度增加而減少。在 2%~5%組別之存活天數明顯較 0%~1.5%少。

五、海濱植物抗鹽方法之探討

(一) 葉片內部電阻之測量(代表植物之拒鹽性)

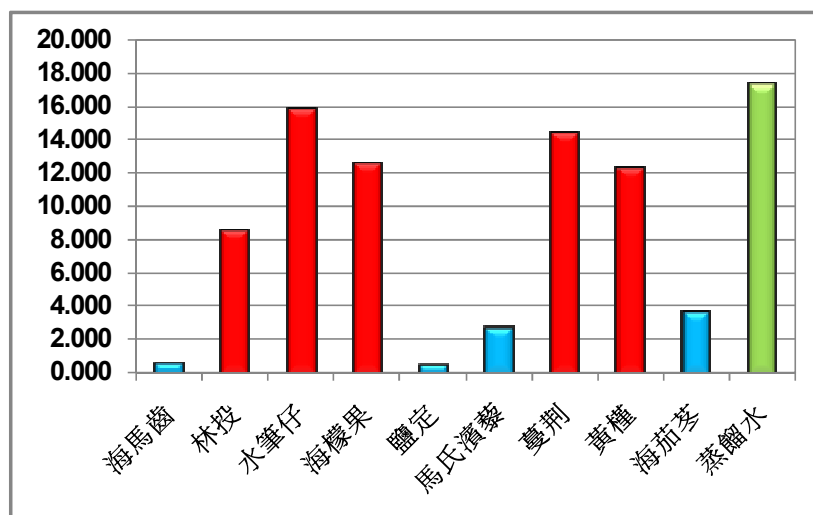


圖 60.內部電阻值(以蒸餾水之電阻值(幾乎不導電)做為電阻值高低之參考。)

上述 9 種海邊植物之內部電阻值，結果以圖 60 表示，以此推論出電阻值特別高的植物，如水筆仔、海欖果、蔓荊及黃槿，其抗鹽方式為拒鹽性。

鹽水具有導電性，所以電阻值愈高代表內部鹽量愈少，由內部電阻值愈高代表植物的根

抵擋鹽類離子進入的功能愈佳。圖中紅色部分為相較電阻值較高的植物，以拒鹽方式抗鹽。藍色則是相較電阻值較低的植物，不以拒鹽方式抗鹽。

(二) 測量葉片表面導電度(代表植物之泌鹽性)

導電度愈大代表產生的鹽分愈多，這也代表植物的泌鹽功能愈佳。海茄苳、馬氏濱藜及海馬齒(紅色部分)葉片表面導電度明顯高於其它植物(藍色部分)，尤其為海茄苳最為明顯。推論海茄苳、馬氏濱藜及海馬齒的抗鹽方式為泌鹽性(圖 61)。

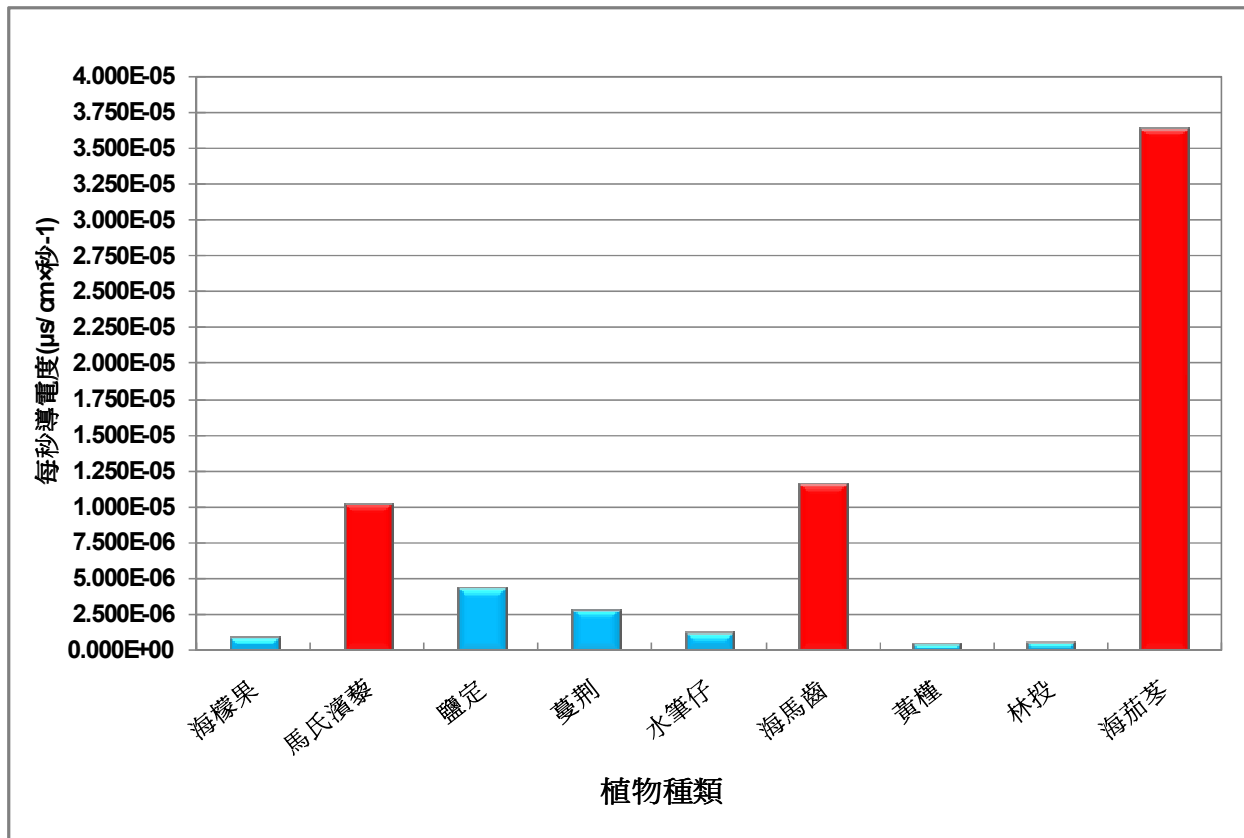


圖 61.不同植物葉片表面導電度的差異

(三) 有無老葉及落葉之觀察(代表植物以葉片脫落方式抗鹽)

以落葉脫落方式為抗鹽分逆境方式的植物的由大量易脫落的老葉，為黃色及紅色。由此可判斷出何種植物以落葉脫落方式抗鹽。實驗觀察得知鹽定及海馬齒具有明顯的落葉現象，推論以葉片脫落方式抗鹽。(表 5)

植物種類	有無老葉
海欖果	×
馬氏濱藜	×
海茄苳	×
鹽定	✓
蔓荊	×
水筆仔	×
海桐	×
海馬齒	✓
黃槿	×
林投	×

表 5 觀察植物有無老葉

✓：以葉片脫落方式抗鹽 ×：不以葉片脫落方式抗鹽

捌、討論

一、海茄苳 4 種呼吸根構造及內部組織切片之觀察

(一) 外部形態

海茄苳的 4 種呼吸根：纜狀根、出水呼吸根、支持根及營養根的構造受其功能的影響有很大的差異(圖 62)。



圖 62. 4 種呼吸根之形態

觀察總結出四種根的構造整理如下：

根的種類	構造特色
纜狀根	1.通氣組織孔徑最大
	2.表皮易脫落
	3.維管束佔根的比例最小
出水呼吸根(上)	1.具有皮孔
	2.維管束佔根的比例較纜狀根大
出水呼吸根(下)	1.通氣組織孔徑為第二大
	2.可長出營養根
	3.維管束佔根的比例小
支持根	1.通氣組織孔徑較小
	2.維管束佔根的比例較大
營養根	1.通氣組織孔徑最小
	2.維管束佔根的比例最大

表 6.構造特色

(二) 內部組織切片之觀察

海茄苳四種根之內部組織構造都大同小異，由外而內為表皮、外表皮、通氣組織、木栓形成層、內皮層、韌皮部、形成層、木質部及髓部。其不同處為通氣組織及維管束佔根中的比例大小。唯一與其它種類呼吸根不同的是出水呼吸根在表皮外具有皮孔。

(三) 通氣組織孔徑大小

直接觀察海茄苳四種根形態及內部組織差異，並且以顯微鏡觀察海茄苳之組織結構，發現四種根皆具有通氣組織，其平均孔徑大小排列如下： 纜狀根(0.125mm)>出水呼吸根(土下)(0.120mm)>出水呼吸根(土上) (0.115mm)>支持根(0.061mm)>營養根(0.021mm)。

呼吸根通氣組織孔徑大小取決於本身之功能。纜狀根主要功能為運送出水呼吸根與外界交換之氣體至植物本體，故通氣組織較大。出水呼吸根功能為與外界交換氣體，通氣組織較纜狀根略小。支持根主要功能不在於運送氣體，故通氣組織與纜狀根及出水呼吸根相較之下小很多。營養根本身尺寸本來就較小，且其主要功能為運送水分及養分輔助海茄苳與其它呼

二、海茄苳四種呼吸根功能之探討

海茄苳四種根皆有其獨特的功能，互相輔助維持海茄苳的生命。我們以觀察其外部形態、內部切片組織構造、測量通氣組織孔徑等方法統整出 4 種呼吸根主要功能如下表：

根的種類	主要功能
纜狀根	1.擴大呼吸根的範圍。
	2.吸收水分及運送由出水呼吸根吸收氣體
	3.支持植物本體。
出水呼吸根(上)	1.以皮孔與外界交換氣體，並藉由纜狀根將氣體傳送至植物本體。
出水呼吸根(下)	1.運送由土壤表面的出水呼吸根吸收的空氣至纜狀根。
	2.延伸出營養根吸收支持出水呼吸根所需的營養。
支持根	1.支持海茄苳本體。
	2.為營養根吸收養分運送至植物本體的通道。
營養根	1.為海茄苳較有效率吸收水分及養分的根。
	2.協助未成熟的根吸收水分及養分。

表 7.主要功能

實驗中亦觀察到在未成熟的纜狀根上，因其維管束尚未成熟且本身較小，吸收水分及養分能力不足，因此生長出濃密的營養根協助吸收水分及養分。纜狀根成熟後，就不會生長出營養根，支持根及出水呼吸根(土下)還是會生長出營養根協助吸收水分及養分。

三、海茄苳演化發展呼吸根原因之探討

(一) 氣孔密度

我們的實驗證明(圖 38)，海茄苳只有上表皮具有氣孔，下表皮則無。海茄苳的氣孔數量遠低於其它種類植物，尤其是陸生植物，差距甚至可達約 40 倍(如與仙丹及軟枝黃蟬相比較)。因海茄苳氣孔數相對地不足，推論海茄苳呼吸作用效率較及它植物差。

(二) 海茄苳生長濕地土壤與其它陸地土壤比較

觀察海茄苳土壤的形態與測量海茄苳土壤的 pH 值及含水率，得知海茄苳生長環境的土壤有以下特徵：

溼地土壤特徵		
觀察項目	結果	分析
ph值	7.5	土壤酸鹼值微微偏鹼。
含水率	53.87%	含水率與較陸地土壤高，植物需有良好的抗淹能力，否則容易造成根部潰爛死亡。
氣味	具有臭味	因位居出海口，排放之廢水滲入土壤中使土壤具有臭味。
鹽度	約0.6%	一般植物不易在這個鹽度環境生長，必須具有抗鹽分逆境機制以生存。
其它特徵	含大量生物屍體	生物死亡，微生物將屍體分解，過多的微生物消耗土壤中氧氣，造成溶氧量不足。

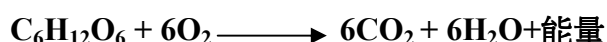
表 8.土壤特徵

由上表可以了解海茄苳生長之海濱河口沼澤地，生長環境惡劣。因含水率高，有機質含量高，微生物大量消耗氧氣，使含氧量低，根部不易以擴散作用吸收土壤中氣體，因而演化發展出水呼吸根以皮孔直接與大氣進行氣體交換。

溼地受潮汐影響，滿潮時海水幾乎淹沒海茄苳，浸泡在高鹽分濃度之海水裡。因此海茄苳必須有良好的抗鹽分逆境方法與呼吸根在如此惡劣的環境中生存。

(三) 測量海茄苳二氧化碳產生量

由氣孔密度無法直接判斷海茄苳呼吸作用效率，因此設計實驗測量海茄苳二氧化碳排放量，並以水筆仔及軟枝黃蟬作為對照。發現海茄苳二氧化碳產生量遠低於對照組，植物呼吸作用反應式如下：



由二氧化碳產生量約可以代表呼吸作用效率，證實海茄苳呼吸作用效率不僅較陸生植物(如軟枝黃蟬)相差很多，甚至與同為溼地植物的水筆仔相較，亦落後甚多。因此演化發展呼吸根協助進行呼吸作用，才能在大自然殘酷的淘汰機制中存活至今。

四、海茄苳在鹽分逆境下之反應

(一) 葉片泌鹽量之影響

在鹽分逆境下，海茄苳泌鹽量會隨著鹽分濃度增加及天數增加而漸漸減少。實驗中發現愈高鹽分濃度的組別，泌鹽量反而較少，原因是鹽腺遭破壞失去功能、木質部運輸機制遭高濃度鹽分破壞、以及根部吸收能力下降，根部吸收鹽分能力下降原因為過量鈉離子及氯離子

使根部細胞膜受損，使根部吸收水分能力降低⁽¹²⁾。

低濃度組別(0%~1.5%)之生長狀況在第 1~4 天較高濃度組別(2%~5%)良好，自第 4 天起至第 7 天所有組別的泌鹽量皆下降。根據學者研究，鉀離子可提高植物抗鹽分逆境之功能，鉀離子也可經由植物細胞膜上的鉀鈉幫浦平衡細胞內鈉離子的濃度⁽¹³⁾。本實驗只單考慮鈉及氯離子，並無提供鉀離子，故海茄苳細胞會吸收過量的鈉離子而無鉀離子幫助其排出，使細胞漸漸死亡。因此本實驗觀察到至第 4 天起，本來在 1~4 天生長狀況較佳的低濃度組(0%~1.5%)泌鹽量也漸漸隨天數而降低。且本實驗無法提供與溼地完全相同之環境，所以對照組在第 4~7 也有泌鹽量下降的趨勢。

由實驗中發現海茄苳在 0%鹽度的環境中存活天數最高(圖 59)，但在 0%鹽度中仍會出現葉片乾枯及卷曲成棒狀的現象，所以並不表示海茄苳可生長在淡水中。

(一) 葉片顏色變化之觀察

海茄苳從第 1 天到死亡時的葉片顏色變化情形都依循以下模式：外緣及內部局部首先出現褐色，接著幾乎整片葉子變為褐色。到了死亡前幾天，葉片顏色因大量脫水漸漸變淺，最後死亡，為淺褐色。

(二) 葉片形態變化之觀察

海茄苳從第 1 天到死亡時的葉片形態變化情形都依循以下模式：葉片隨天數增加漸漸乾枯，之後葉片開始卷曲，最後捲曲成棒狀並漸漸乾燥死亡。

(三) 根莖形態變化之觀察

根莖會在第 7 天之後漸漸乾枯，且乾枯程度會隨天數增加而更加明顯，直至死亡。根在死亡時上面會覆蓋一層氯化鈉結晶(圖 25,26)，切開之後通氣組織也會佈滿結晶。但在 0%~1%組別則不明顯。結晶之形成原因為高濃度鹽分使根內的滲透壓大於環境之滲透壓，使鹽分無法進入，破壞根部運輸鹽分能力。在通氣組織內部的結晶可能為已進入根部的鹽分無法由被破壞的維管束運輸至葉背的鹽腺排出，而滯留於根部。

本實驗最後證實海茄苳在鹽分濃度介於 0.5%~1.5%之環境下存活天數比在高濃度組環境下的存活天數來得久、泌鹽量也較高濃度組別高，因此海茄苳在鹽度介於 0.5%~1.5%之環境下生長狀況較佳。據前人研究溼地的鹽度大約為 0.6%⁽¹⁰⁾，與本實驗結果相符合。

五、海濱植物抗鹽分逆境的機制

海濱植物各自有不同的抗鹽分逆境方法，經由測量葉片內部電阻值、葉片表面電阻值及觀察有無老葉脫落等方法，推論各種植物分別是以泌鹽、拒鹽或落葉方式抗鹽，綜合整理如下表：依據實驗的結果，內部電阻值與比其它植物明顯較高者，判定為以拒鹽方式抗鹽；表面電阻值明顯比其它植物高者，判定為以泌鹽方式抗鹽；觀察有明顯老葉脫落情況者，判定為以老葉脫落方式抗鹽。

植物種類 \ 抗鹽方式	泌鹽	拒鹽	落葉
馬氏濱藜	✓	×	×
海茄苳	✓	×	×
海馬齒	✓	×	✓
海檬果	×	✓	×
蔓荊	×	✓	×
水筆仔	×	✓	×
黃槿	×	✓	×
林投	×	✓	×
鹽定	×	×	✓

表 9. 抗鹽方式 ✓代表該植物會以那種方式抗鹽，×則無。

六、海茄苳葉片構造之觀察

葉片結構相當特別，只有上表皮具有氣孔，下表皮則無。由實驗發現氣孔數量遠較其它陸生植物少，且氣孔為下陷型。上表皮與柵狀組織之間具有通氣組織，下表皮密集生長鹽腺及毛狀體。鹽腺為雙細胞構造，聚集海茄苳體內多餘的鹽分排除至體外⁽⁵⁾，為海茄苳為適應溼地環境賴以維生的組織，因此被濃密的毛狀體包圍，毛狀體功能類似其它植物葉背的絨毛，防止外界空氣中的灰塵附著於葉背影響鹽腺泌鹽的效率。

鹽腺之照片在文獻上很少被刊載，幾乎只有手繪圖。本研究的過程中，很幸運地照到幾張鹽腺組織切片之照片(圖 46,47)，殊為難得，特此提出供大家參考。

玖、結論

一、海茄苳四種呼吸根主要功能如下：

(一)纜狀根：1.支持植物本體 2.運送氣體 3.擴大呼吸根範圍。

(二)出水呼吸根：1.土上部分：與大氣交換氣體。

2.土下部分：運送土上部分與吸收之氣體至纜狀根。

(三)支持根：1.支持植物本體 2.營養根吸收之水分及養分運送至海茄苳本體的通道。

(四)營養根：1.吸收植物本體所需要的營養及水分 2.輔助其它 3 種呼吸根未成熟時吸收營養及水分 3.輔助成熟的出水呼吸根吸收養分及水分

二、呼吸根對海茄苳的意義：

(一) 海茄苳因氣孔數量過少，呼吸作用不佳，呼吸根是協助海茄苳吸收氣體的重要器官。

(二) 海茄苳的生長環境土質不佳、含水量過高、過多有機物質使微生物滋生，造成溶氧量低，必須以呼吸根協助吸收氣體和密集的營養根吸收養分及水分。

(三) 海茄苳的呼吸作用效率很差，需靠出水呼吸根與外界交換氣體，氣體經由纜狀根運送至植物本體。

三、高鹽分逆境對海茄苳生理作用的影響如下：

(一)泌鹽量下降。

(二)葉片枯萎、卷曲及脫落，最後海茄苳會死亡。

(三)根的生長速率減緩。

所以鹽腺對海茄苳生存很重要，鹽腺的主要功能是排除植物體內多餘的鹽分。

四、常見的海濱植物的抗鹽方式如下表：

植物種類 \ 抗鹽方式	泌鹽	拒鹽	落葉
馬氏濱藜	✓	×	×
海茄苳	✓	×	×
海馬齒	✓	×	✓
海欖果	×	✓	×
蔓荊	×	✓	×
水筆仔	×	✓	×
黃槿	×	✓	×
林投	×	✓	×
鹽定	×	×	✓

拾、參考文獻

- 1.范貴珠、陳儀真 (2003)。土壤鹽度對苦檻藍扦插苗生長、水分狀態。臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告，17(3), 160~161
- 2..黃國書 (2003)。鹽分逆境對結縷草坪建立過程生育及品質之影響。屏東科技大學/熱帶農業暨國際合作研究所，1~11
- 3.蔡淑華 (2005)。植物解剖學。台北市，國立編譯館。
- 4.蔡淑華 (2000)。植物組織切片技術綱要。台北市，茂昌圖書有限公司，18~29。
- 5.劉志華，趙可夫 (2005)：鹽脅迫對獐茅生長及 Na⁺及 K⁺含量的影響。植物生理與分子生物學報。31，311-315。
- 6.盧廷瑋 (2001)。囊叢枝菌根菌對繖楊、草海桐及臺灣海桐苗木生長及生理特性的效應。國立嘉義大學/林業研究所，1~18
- 7.新竹市政府 (2006)。港南海濱植物之美。新竹市。
- 8.新竹市政府 (2004)。香山溼地導覽手冊。新竹市，中華民國荒野保護協會。
9. 抗鹽鹼的“勇士”。中國科協資訊中心，2001 年 06 月 12 日，取自
http://big5.cast.org.cn/gate/big5/anima.cpst.net.cn/zwjs/2001_06/991451569.html
- 10.溼地。維基百科，取自
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B9%BF%E5%9C%B0>
- 11.Allaway G., Curran M., Hollington L.M. et al (2004). Gas space and oxygen exchange in roots of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. var. *australasica* (Walp.) Moldenke ex N. C. Duke, the Grey Mangrove. *Wetlands Ecology and Management*, 9, 211~214
- 12.Cakmak I., Marschner H. (1992). Magnesium Deficiency and High Light Intensity Enhance Activities of Superoxide Dismutase, Ascorbate Peroxidase and Glutathione Reductase in Bean Leaves. *Plant Physiol*, 98, 1222-1227
- 13.Campbell, Neil A. & Reece, Jane B. (2005)：生物學，第六版。台北市，台灣培生教育公司。
- 14.Visser E.J.W., Voesenek L.A.C.J., Vartapetian B.B. et al (2003). Flooding and plant growth. *Annals of botany*, 91, 107-109.

【評語】 031722

1. 觀察力強，思考性亦佳。
2. 資料之收集應加強，在台灣以往對於根及葉之切片均有報告。
3. 結果之解釋甚佳，但有些未進一步解釋殊為可惜。
4. 名詞之解釋及應用不要過度擴張以致失焦。