

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

佳作

030301

冰「鹽」逆險記~探討冰花在鹽逆境下生長及改善土壤鹽化可行性

學校名稱：高雄市立明華國民中學

作者： 國二 陳亮萱 國二 賴芷絮 國二 王怡心	指導老師： 蘇育弘 李冠徵
---	-----------------------------

關鍵詞：冰花、鹽逆境、土壤鹽化

摘要

「冰花」擁有令人驚訝的耐鹽能力，為了解鹽逆境下的生長，我們種植冰花並從種子開始記錄。水耕冰花在 2% 的鹽水中仍有 80% 以上發芽與存活率；0.5% 及 1% 的鹽逆境下，冰花生長的速度較快，滲透實驗顯示，此濃度間為葉肉的等張溶液。經觀察發現，冰花葉上佈滿明顯的「囊狀」細胞，為儲鹽主要部位，水耕鹽度較高組別，其囊狀細胞內鹽度也會較高。囊狀細胞內的鹽度，葉柄(最大)至葉面有逐漸變小的趨勢。冰花在 0.5% 鹽度的水耕環境 30 天後，再移植至高鹽(5%)水耕或土耕環境，會有最佳的適應與生長。冰花有水中降低總氮的能力，具開發成「海水版」魚菜共生的潛力。冰花可使土壤電導度大幅度下降，顯示具有吸附土壤中無機鹽類的能力，具有改善土壤鹽化的可能性。

壹、研究動機

在網路上看到關於高經濟價值作物「冰花」的新聞，令人好奇的除了價格外，對於其生長描述更令人覺得十分特別，這是一種能夠耐鹽的作物。關於耐鹽植物，較多文獻探討的是紅樹林，這種新興作物相關研究則較稀少，因此我們想要藉由這一系列的實驗來了解這種植物的特殊習性。首先，我們想要了解不同鹽逆境下冰花生長情形，接著探討讓冰花得以閃閃發亮的囊狀細胞與耐鹽的關聯，此外網路資料提及冰花幼年並不耐鹽，這更令我們想知道冰花在何時開始能適應鹽度提升的環境。在冰花應用上，我們想要嘗試「海水版」魚菜共生，了解水質改善可能，最後，我們想到部份台灣沿海地區的土壤鹽化情形嚴重，導致多數作物無法耕種，我們想要試試看冰花是否能在鹽化土壤生長並具有改善土壤鹽化可行性。



圖 1 新興耐鹽作物~冰花

貳、研究目的

- 一、觀察冰花在鹽逆境下的生長情形
- 二、探討囊狀細胞在耐鹽所扮演的角色
- 三、探討冰花適應高鹽環境的關鍵期
- 四、探討冰花的應用可行性
 - (一)改善海水魚菜共生水質的可行性
 - (二)改善土壤鹽化的可行性



圖 2 陽光下發亮的囊狀細胞

參、研究器材與設備

一、冰花種植

冰花(*Mesembryanthemum crystallinum* L.)，番杏科、松葉菊屬，為雙子葉一年生植物。為了解冰花的生長情形，我們由種子開始(圖 3)，於室內水耕環境種植。



圖 3 冰花種子



圖 4 文具用的方格進行育苗



圖 5 室內水耕 LED 光源

二、種植條件

1. 鹽逆境環境：以人工海鹽配製不同濃度進行培育；育苗(圖 4)至第二對葉片移至大水槽
2. 室內環境栽培：LED 4 呎白燈*6；光週期：12/12；照射距離：20cm(圖 5)
3. 土壤鹽化改善：(1)模擬鹽化土壤~培養土加鹽；(2)濕地取回土壤

三、測量器材與設備

1. 生長培育觀察

冰花種子、空心菜種子(對照組用)、文具小方格收納盒、排水集氣透明水槽、燒杯、水耕用海棉、細毛筆、電子游標尺

2. 囊狀細胞的觀察與測定

解剖針、培養皿、烘箱、筆電、電子目鏡、解剖顯微鏡、顯微測距軟體、電子天平、方格紙、投影片、鹽度計、蒸餾水、微量滴管

3. 魚菜共生水質改善與土壤鹽化改善可行性

1 呎魚缸*3、小丑魚*20、沉水馬達、氨測試劑、電源供應器、三用電錶、銅線

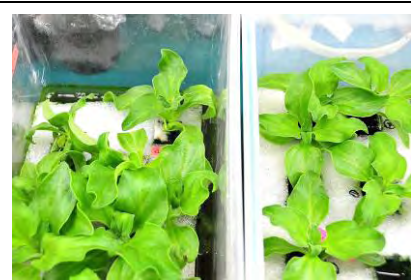


圖 6 水耕冰花種植情形



圖 7 改善土壤鹽化種植情形

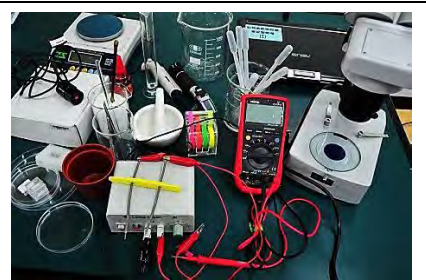


圖 8 測量及記錄用器材

肆、研究過程及方法

◎查閱相關文獻

(一)冰花基礎資料

冰花原產南非海邊，為一種耐鹽植物，葉面上具有透明水珠的控鹽細胞，內含豐富的礦物質營養。幼苗時並不耐鹽，在特定的生長期間若遭受到高鹽或是乾旱等逆境，會誘導特定的反應以適應逆境，發育至成熟階段時，冰花植株對鹽分環境的耐受性提高。佐賀大學教授分析成份，發現冰花中含有肌醇三磷酸以及松醇，對人體有益，是一種好吃又有益健康的高檔新興食材。其中肌醇可以促進脂肪的燃燒；而松醇這種成分，則是具有降低血糖的效果。

(二)文獻一、粟之高禾~探討小米不為人知的耐鹽機密(中華民國第 56 屆中小學科學展覽)

1. 將小米和稻米種植在鹽逆境下，觀察到小米的根長、葉長及側根生長狀況都比稻米來的好，且小米有花青素累積的現象。
2. 小米體內過氧化物質累積、過氧化酵素活性及滲透壓調節相關機制(脯胺酸、澱粉酶)上都與稻米有程度上的明顯差異，皆提升了小米在鹽逆境下的生存能力。

(三)文獻二、溼地的勇士~海茄苳呼吸根與抗鹽逆境之研究(中華民國第 48 屆中小學科學展覽)

1. 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。
2. 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。發現：海茄苳、海馬齒、馬氏濱藜可以泌鹽方式排鹽；林投、水筆仔等植物可以拒鹽方式排鹽；三、鹽定及海馬齒可以落葉方式排鹽。

一、觀察冰花在鹽逆境下的生長情形

文獻中並未提及冰花在不同鹽逆境下生長情形，因此我們由種子開始種植並進行型態記錄。

(一)水耕環境育苗及發芽率

1. 配製不同鹽濃度(0、0.5、1、2、3%)的鹽水。
2. 利用文具用收納小方格進行育苗，並將育苗用海棉以上述不同濃度鹽水浸濕後放種子。
3. 由播種開始，計算不同鹽逆境下的發芽率，並設立對照組(空心菜)。種子數 N=48，重覆三次實驗取平均。



圖 9 配製不同濃度的鹽水



圖 10 空心菜進行耐鹽比較

(二) 探討不同鹽逆境下的根葉生長及生長曲線

1. 為了解不同鹽逆境下根系生長情形，每隔 15 日，也就是第 15 天、30 天、45 天、60 天，分別將不同鹽逆境冰花小心取出，以電子游標尺測量該時間點根及最大葉片面積。
2. 對照組(空心菜)，鹽逆境設計條件和冰花相同，觀察記錄生長情形。
3. 生長曲線方面，冰花葉序為對生(圖 12)，由下而上分別命名為第 1 對、第 2 對…，亦即老葉至新葉，觀察記錄不同鹽逆境下，對葉的出現時間點。



圖 11 於 1% 培養 45 天根長



圖 12a 冰花葉子對生，側面



圖 12b 冰花葉子對生，正面

(三) 冰花葉肉組織細胞滲透濃度

在不同鹽逆境下的根葉及生長曲線測量等外部型態測定後，我們想要進一步了解這是否是由於冰花植株細胞組織滲透壓(胞質濃度)影響，因此我們進行滲透濃度的實驗。

1. 將冰花葉肉組織切片置於玻片，分別滴入 0、0.5、1、2、3% 的鹽溶液，靜置 10 分。
2. 以複式顯微鏡(100 倍)，檢視不同鹽濃度玻片，計算發生質壁分離比例(分離數/總數)。

(四) 花青素的形成條件

在種植的過程中，發現幾盆置於戶外陽光下的冰花，於葉緣及葉背出現紫色現象，因此我們想要了解這是陽光或是澆灌水的不同所造成的。

1. 光源實驗：於 1% 生長至 30 天冰花，置培養土中，設為陽光組(圖 13b)及室內 LED 組。
2. 鹽逆境實驗：室外(陽光組)及室內(LED 組)，再區分以淡水(0%)及鹽水(3%)濃度澆灌，水量為每日 30CC。記錄花青素出現時間及位置。進行二重覆實驗，取平均值。

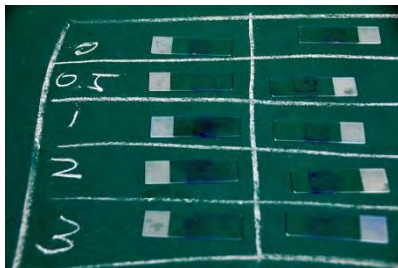


圖 13a 不同鹽濃度切片，了解等張濃度



圖 13b 室外陽光組，測定花青素形成

二、探討囊狀細胞在耐鹽所扮演的角色

在進行冰花於不同鹽逆境下的觀察記錄後，由根莖葉進行外部觀察，以了解耐鹽情形。此外，在陽光下閃閃發亮的囊狀細胞是否會隨著鹽度不同而有所變化？我們針對囊狀細胞出現的時間與數量，並測定面積大小，進一步測定囊狀細胞內鹽度以了解其扮演的角色。

(一) 冰花外部型態觀察與儲鹽情形探討

1. 將培養於 0.5% 鹽逆境 30 天的冰花取出，觀察記錄不同部位(根莖葉)的型態。
2. 將取出的冰花，置於烘箱中(溫度設定 50 度)，待 8 小時後取出。
3. 分別取根、莖、葉各 0.2g 磨碎，加入 0.8g 的水，待澄清後取出以鹽度計測試。(N=3)

(二) 探討不同鹽逆境下，囊狀細胞的數量及出現時間

1. 由第 1 對葉子開始，觀察記錄囊狀細胞出現的時間，以了解不同鹽逆境下的影響。
2. 囊狀細胞的數量計算：冰花條件~不同鹽逆境(0、0.5、1、2%)下生長 45 天(N=3)
 - (1) 密度：將不同鹽逆境下的冰花對葉分別取下(圖 14a)，以 $0.5 \times 0.5 \text{cm}^2$ 投影片進行數量計算，葉背及葉面均隨機取三個採樣點再取平均值。三重覆實驗，求平均值。
 - (2) 葉面積：將冰花對葉取下，置於方格紙上描出其外形並將其剪下。將單位面積 ($0.5 \times 0.5 \text{cm}^2$) 方格紙稱重，並與冰花描外形的方格紙重量相比較，取得葉面積。



圖 14a 取不同鹽逆境冰花葉



圖 14b 量測投影片內細胞數量



圖 14c 將葉放於方格紙上描繪

(三) 比較不同鹽逆境下，囊狀細胞分佈區域及面積

上述計算囊狀細胞數量後，取單葉囊狀細胞數量最多的對葉來進行面積大小測定。

1. 於解剖顯微鏡下觀察不同鹽逆境下生長 45 天、囊狀細胞數量最多的對葉，記錄不同區域，包含葉正面、背面及葉柄基部及葉緣的囊狀細胞。
2. 利用電子目鏡拍攝不同部位之囊狀細胞，並使用測量軟體測量不同區域之囊狀細胞面積大小，每個部位 N=10 取平均值。比較面積大小與鹽逆境之間有無關聯。

(四) 探討不同鹽逆境下，囊狀細胞的濃度差異

1. 將生長不同鹽逆境下 45 天冰花取出，並將每一片葉分為葉柄及葉片兩部分(圖 15a)。
2. 單葉鹽度梯度測量：利用解剖針處理上述葉柄及葉片(取葉背)囊狀細胞(圖 15b)，並以微量滴管將囊狀細胞內的液體吸出，置於鹽度計測量並記錄不同對葉的葉柄及葉背囊狀細胞濃度。每個鹽逆境冰花 N=3
3. 老葉至新葉鹽度測量：利用解剖針處理不同鹽逆境下的冰花葉由老葉至新葉，並吸出置於鹽度計下測量(圖 15c)，以比較老葉至新葉的鹽度情形。每個鹽逆境冰葉 N=3



圖 15a 取冰花分葉柄及葉片



圖 15b 利用解剖針處理細胞

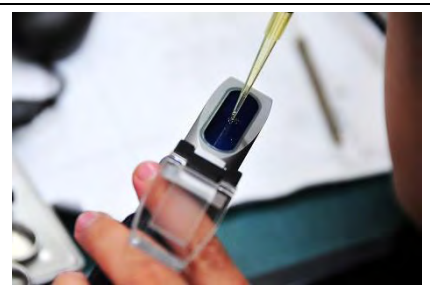


圖 15c 將取出液體滴於鹽度計

三、探討冰花適應高鹽環境的關鍵期

查閱文獻有提到冰花幼苗時期並不耐鹽，成熟時耐鹽能力增強，但卻查不到較清楚的資料，因此我們針對何時開始適應高鹽能力及適應的情況進行實驗。

(一) 探討冰花在高鹽環境下適應能力的時間點

1. 調配較高鹽度，分別於 250cc 燒杯，加入 3% 及 5%(模擬海水濃度)的鹽水各 200cc。
2. 將 0、0.5 及 1% 冰花，生長至 15 天(第 2 對葉)及 30 天(第 5 對葉)分別取出。
3. 將 15 天、30 天不同時間點的冰花置入 3% 及 5% 的高鹽環境組，並設立原環境對照組。
4. 設立組別如右：

生長至第 15 天冰花及第 30 天冰花		
0%控制組	0->3%組	0->5%組
0.5%控制組	0.5->3%組	0.5->5%組
1%控制組	1->3%組	1->5%組

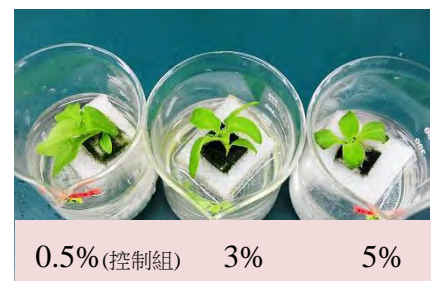


圖 16 0.5% 生長至 30 天移至高鹽

5. 待 15 天及 30 天組別，分別移至高鹽環境後 30 天，記錄各組存活率。
各組 N=2，二重覆實驗取平均值。

(二) 探討冰花轉至高鹽環境下的生長狀況

1. 實驗設計及條件如(一)探討高鹽環境下時間點。生長情形以「鮮重」質量作為記錄。
2. 為了解移至高鹽環境的生長，在計算質量增加率之後，我們想要以質量增加率比值進行比較，以了解移至高鹽環境，所增加的質量與原環境對照組的差異性

註：質量增加率： $(\text{移至高鹽環境後 30 天質量} - \text{原質量}) / \text{原質量} * 100\%$

質量增加率比值： $\text{移至高鹽組質量增加率} / \text{對照組質量增加率}$

當比值愈高，表示適應高鹽環境能力愈好

四、探討冰花的應用可行性

由研究一至研究三，可以得知冰花在鹽逆境下的發展、耐鹽與高鹽適應情形，接著我們想到是否能應用到海水版的魚菜共生及作為改善土壤鹽化作物的可行性。

(一) 作為改善海水魚菜共生水質的可行性

1. 選取 3 個海水魚養殖缸，養殖缸大小為 1 呎，容量為 6 公升。
2. 配製人工海水濃度為 3.5%，分別加入 3 個缸子中，並以氨測試劑測定。
3. 設立空白組(無魚、無冰花)，以及小丑魚組、小丑魚+冰花組。其中冰花在 1%鹽度培養下，生長 45 天，；小丑魚組及小丑魚冰花組分別加入等重的小丑魚(各約 10 隻，總重約為 30 克)
4. 設定光週期為 12 小時，每兩日餵食小丑魚 1 公克(飼料皆被食用完畢)，每隔 2 日取出水樣進行氨檢測，共檢測 3 次(6 天)。各組 N=1，二重覆實驗取平均值。

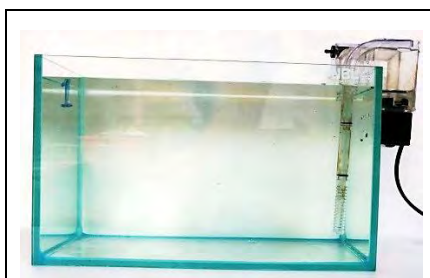


圖 17a 海水魚缸空白組



圖 17b 海水魚缸加冰花組

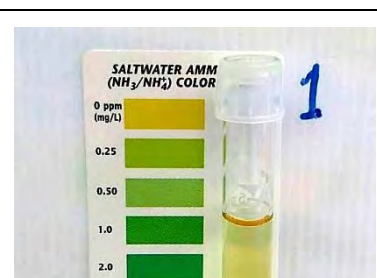


圖 17c 水中氨檢測試劑

(二) 作為改善土壤鹽化的可行性

水耕與土耕的生長條件差異很大，因此我們先從種子開始種起，並考慮水耕培養一段時間再移植的可行性，最後取回濕地土壤了解實際改善鹽化的可能。

1. 探討冰花在土壤鹽化下的生長情形

- (1) 將培養土置入烘箱烘乾(50 度 C)12 小時，稱量乾燥後等重的培養土約 70g。
- (2) 配製不同鹽度的鹽水，分別為 0、0.5、1、2%各 300cc。
- (3) 將小盆子連同培養土一起浸入不同鹽度人工海水中，浸泡 4 小時使充分混合。
- (4) 陰乾一天後，每個盆子皆置入 15 個冰花種子，觀察記錄其存活率。

存活率定義：15 天內長出第 2 對葉片。各組 N=2，二重覆取平均值。

2. 探討先水耕再土耕的高鹽適應能力

- (1) 將水耕生長 30 天之 0、0.5%冰花取出，分別稱量記錄後，置入各個模擬鹽化土壤中(3、4、5%)。
- (2) 待生長 30 天後，記錄存活率及質量增加率，以了解土耕適應高鹽能力。

各組 N=2，二重覆取平均值。



圖 18a 浸於 3%人工海水模擬土壤鹽化



圖 18b 水耕生長 30 天移至鹽土生長

3. 探討冰花種子於低鹽度土耕下的鹽化改善情形

- (1) 測量鹽化土壤電導度：模擬不同鹽化程度的土壤(0、1.5、1%)，並將已處理好土壤放進烘箱烘乾((50 度 C)12 小時。烘乾後，加入約 70cc 的蒸餾水，待 4 小時後過濾取出倒至 250cc 燒杯。
- (2) 以電源供應器(1.5V)連接三用電錶，並以固定距離銅線(4.5cm)置入土壤取出液中，測量上述的電流值，再換算為電導度，單位為 ds/m 。
- (3) 每個盆子皆置入 15 個種子，待生長 30 天後移除植株，進行土壤電導度測量。每個組別 N=2，二重覆取平均值。

4. 探討冰花幼苗於高鹽度土耕下的鹽化改善情形

- (1) 模擬較高鹽度的土壤(3、4、5%)，並進行土壤電導度測量，記錄數值。
- (2) 將水耕生長 30 天之 0、0.5%冰花，移至高鹽度盆子中，待生長 30 天後移除植株，進行土壤電導度測量。各組 N=2，二重覆取平均值。

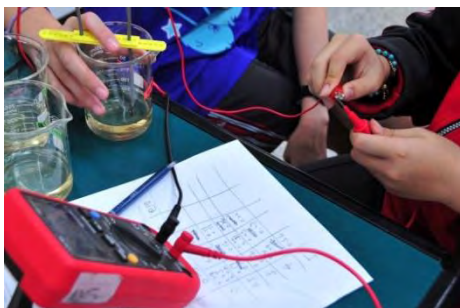


圖 19a 利用三用電表進行電導度測量



圖 19b 銅線電極置入土壤取出液中

5. 探討冰花於濕地土壤的鹽化改善情形

- (1) 至附近濕地取回土壤，將土壤放進烘箱烘乾((50 度 C)12 小時。取等重的烘乾土壤，並加蒸餾水，測量濕地土壤的電導度。
- (2) 取 0.5%水耕 30 天的冰花，移至濕地土壤中，待生長 30 天後移除植株，測量土壤電導度。N=2，二重覆取平均值



圖 20a 學校附近濕地的紅樹林



圖 20b 將濕地土壤取回實驗

伍、研究結果

一、觀察冰花在鹽逆境下的生長情形

(一)觀察不同鹽逆境下的發芽率及存活率

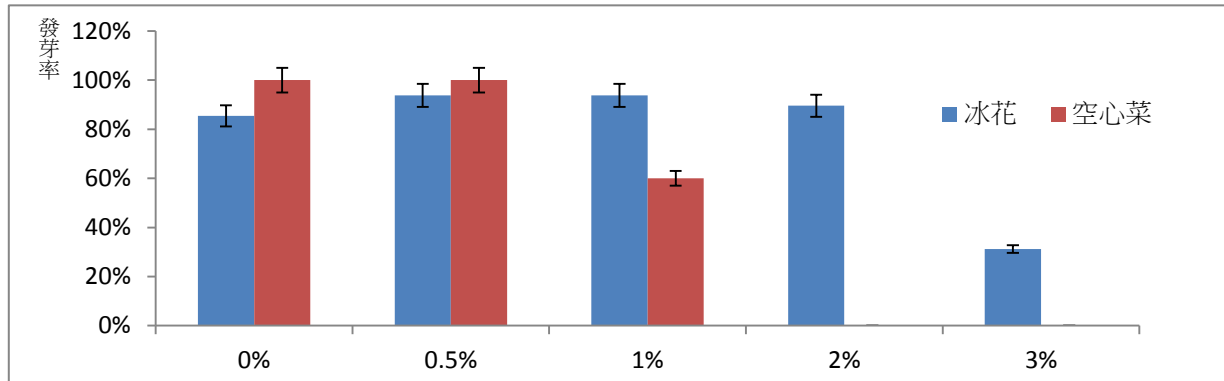


圖 21a 不同鹽逆境下的發芽率

在水耕於不同鹽逆境的發芽率結果，除了相當於海水濃度的 3% 外，大致皆有 80% 以上，而對照組的空心菜，鹽度提升至 0.5% 時仍有 100% 的發芽率，但在繼續提升鹽度為 1%，即下降至約 60%。大於 2% 的鹽逆境下，僅有冰花能夠發芽。

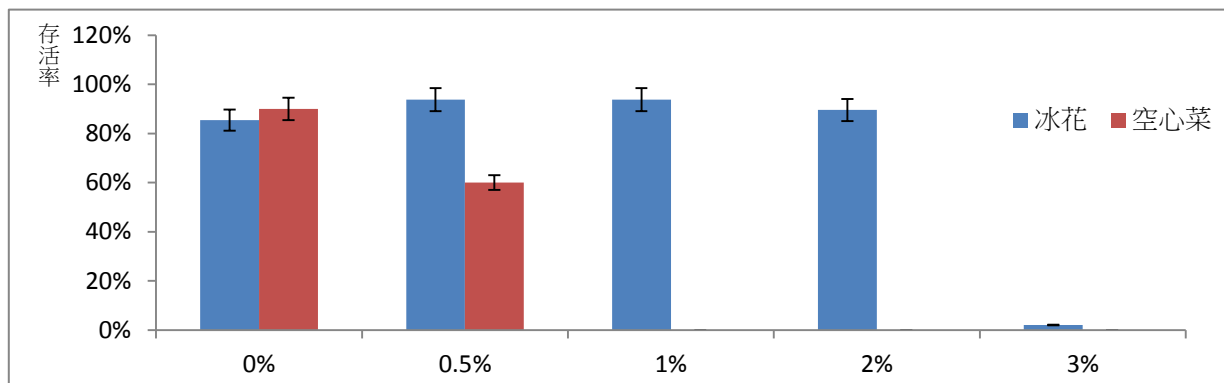


圖 21b 不同鹽逆境下存活率(以生長出第 2 對葉片為記錄依據)

存活率以 15 天內，生長出第 2 葉片為主(圖 21c)。相當海水的 3% 組別，生長緩慢，長出第一對子葉約 20 天，因此未列入記錄。存活率的部份，冰花不管在什麼鹽逆境，皆有 80% 以上的存活率，而對照組空心菜則於 0.5% 鹽度下出現鹽害現象，第 2 葉片長出約 5 天即枯萎。

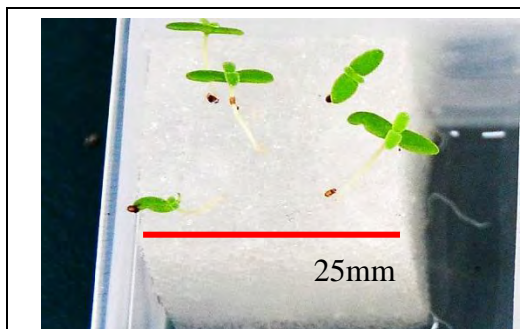


圖 21c 生冰花長出第 2 對葉片的照片



圖 21d 空心菜生長 20 天(0、0.5、1、2%)

(二)探討不同鹽逆境下的根葉生長情形

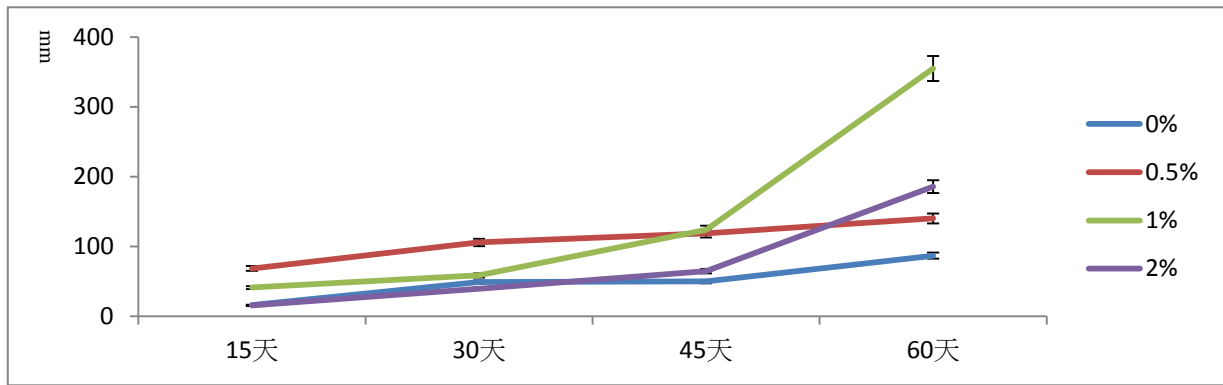


圖 22a 不同鹽逆境下，不同天數的根長比較

根是植物吸收與直接接觸鹽逆境的主要器官，在測量結果上，生長初期，無鹽度及較高鹽度，根的生長情形較不良。30 天時，1%的組別可能已適應鹽度環境，根開始生長加快，至第 45 天時已逐漸超越原本生長較快的 0.5%組別，2%的根長，則在 60 天時超越 0.5%的組別。

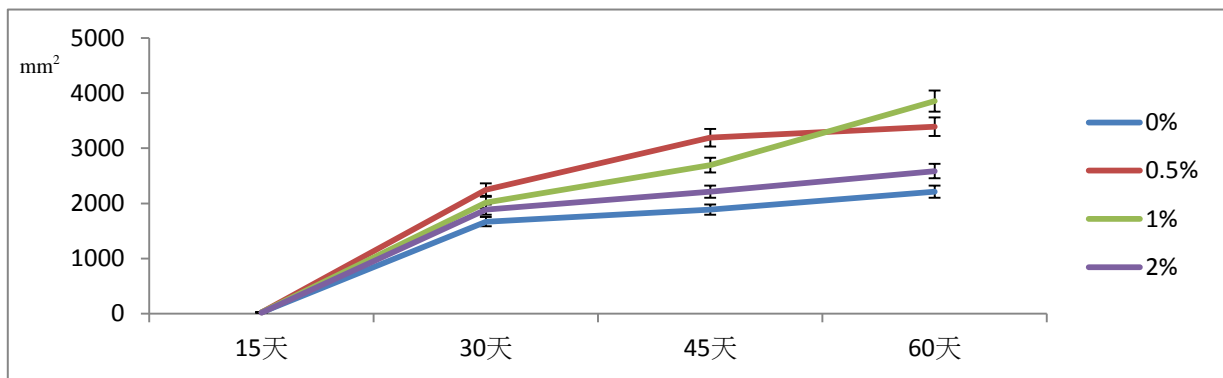


圖 22b 不同鹽逆境下，不同時間的最大葉面積

除了根長，我們也同時測量該時間點的最大葉面積。測量結果與根長有類似的結果，60 天前以 0.5 及 1%的鹽度下具有最大葉面積，生長至 30 天，1%葉子開始快速生長，此結果根長開始加速生長的時間點類似。



圖 22c 不同鹽逆境下(左至右為 0、0.5、1、2%)，不同生長天數的根及葉長

(三)記錄不同鹽逆境下的生長曲線

目前文獻資料均未有較完整的生長記錄，因此我們調控了不同的鹽逆境，由種子開始，記錄不同對葉的出現天數，以了解冰花的生長情形。

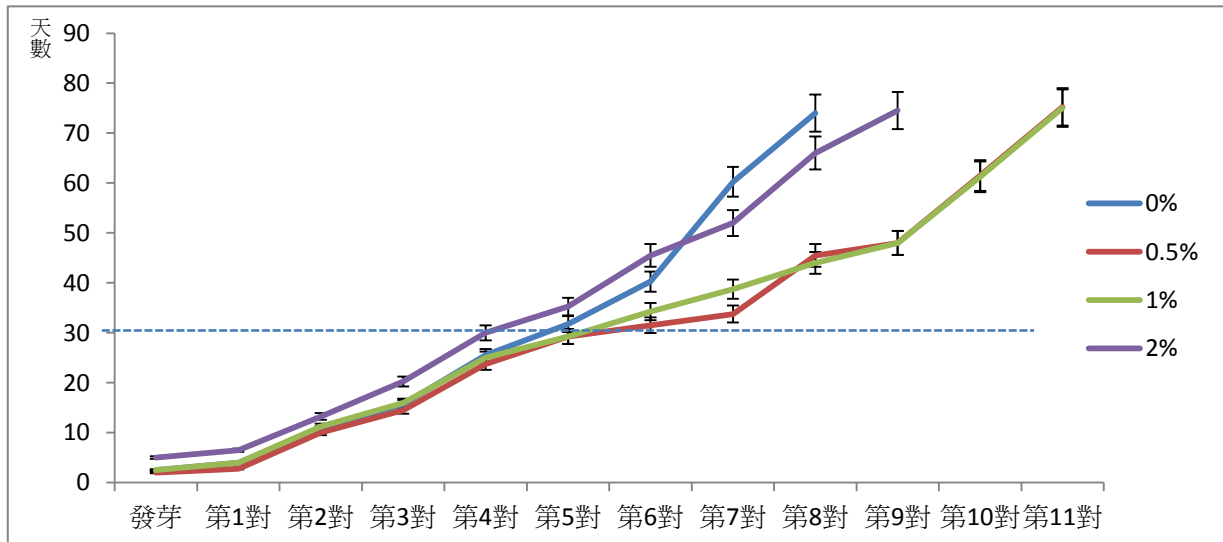


圖 23a 不同鹽逆境下，冰花生長曲線的比較

相當於海水濃度的 3%，由於發芽率及存活率偏低(圖 21a)，在發芽及生長時間均相當緩慢(生長至第 2 對葉約 55 天)，因此未列入比較。圖中縱軸表示所需時間，所需的時間愈短表示生長的速度愈快，結果顯示 0.5 及 1% 的鹽逆境下，冰花生長的速度較快，30 天時這兩組已長至第 5 對，而較高鹽度的 2% 則生長相對較慢。值得一提的是 30 天是一個關鍵時間，經過了這個時間點，0.5 及 1% 的組別生長速度開始與 0、2% 分開。整體來看，過低及過高的鹽度 (0%、2%) 的環境下，冰花的生長速度較慢，而介於中間的 0.5、1% 的鹽度則較適合冰花生長。

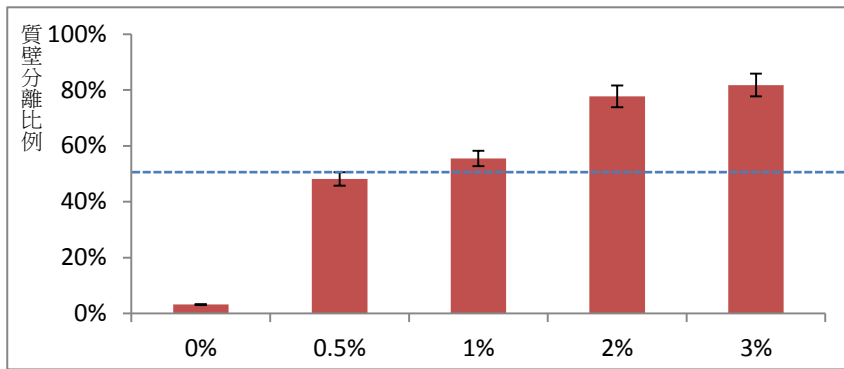


圖 23b 生長 30 天時比較(左至右為 0、0.5、1%)



圖 23c 生長 60 天時比較(左至右為 0.5、1%)

(四)探討冰花葉肉組織細胞的滲透濃度



質壁分離現象

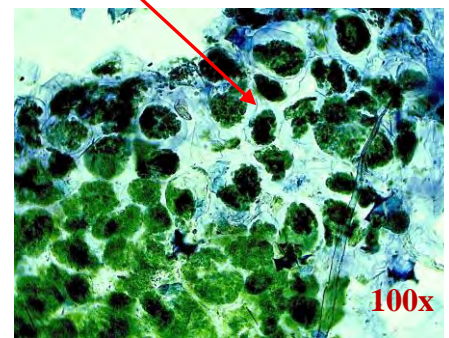


圖 24a 不同鹽濃度下，葉肉組織的質壁分離比例。(N=32)

圖 24b 0.5%溶液(質壁分離約50%)

浸於鹽濃度為 0.5~1%的溶液，冰花葉肉組織細胞發生質壁分離比例接近 50% (註：質壁分離比 50%時為等張溶液)，此外較高鹽度~2%及 3%組別，分別為 77.1%、81.8%，顯示冰花葉肉胞質濃度可能介於 0.5~1%間，這與我們在生長曲線測量結果(大致以 0.5、1%鹽逆境下生長情形較好)相似，可能由於此鹽度接近冰花細胞滲透壓，使得冰花生長情形較為良好有關。

(五)探討冰花的特別型態發生~花青素的形成

我們發現放置於戶外的冰花有特別的紫色出現，因此進行光源及鹽度實驗，了解花青素形成條件，是否與鹽逆境有所相關。

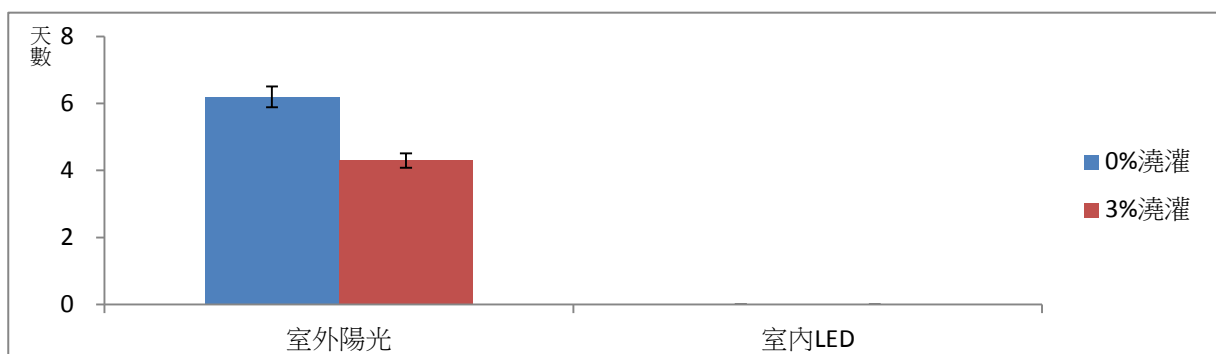


圖 24c 不同光源及澆灌鹽度，花青素出現平均時間。

室外陽光，以 3%海水濃度澆灌組，花青素出現的時間平均為 4.3 天，0%則為 6.2 天；室內 LED 組則無花青素生成。有趣的是，其它室內 LED 光源的冰花培養超過 3 個月，仍無花青素。

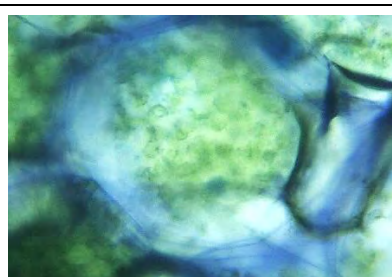


圖 24d 葉肉質壁分離(2%，400 倍)

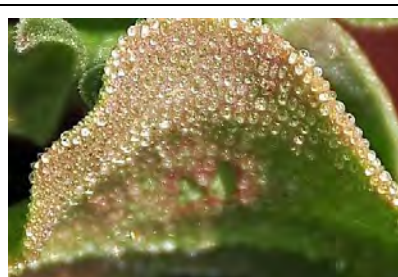


圖 24e 戶外 3%澆灌第 4 天花青素



圖 24f 戶外 3%組第 11 天花青素

二、探討囊狀細胞在耐鹽所扮演的角色

(一)觀察冰花外部型態及儲鹽情形

由研究一了解到冰花於鹽逆境下的生長情形，接著將由根莖葉的外部型態開始，逐步探討冰花耐鹽的情形。



由外部型態的觀察結果，發現於冰花葉上佈滿明顯的「囊狀」細胞，而根及莖則無，且不同鹽逆境下生長出的冰花，於葉上皆有大量囊狀細胞的出現。推測這些為數不少的囊狀細胞可能與冰花能在鹽逆境下生存有所關聯，為了解具有大量囊狀細胞的葉子是否有儲鹽的功能，我們將不同鹽逆下培養的冰花置入烘箱烘乾以進行測試，結果如下：

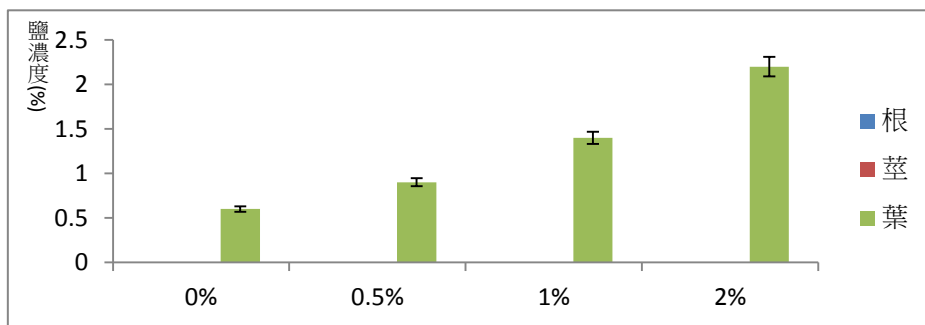
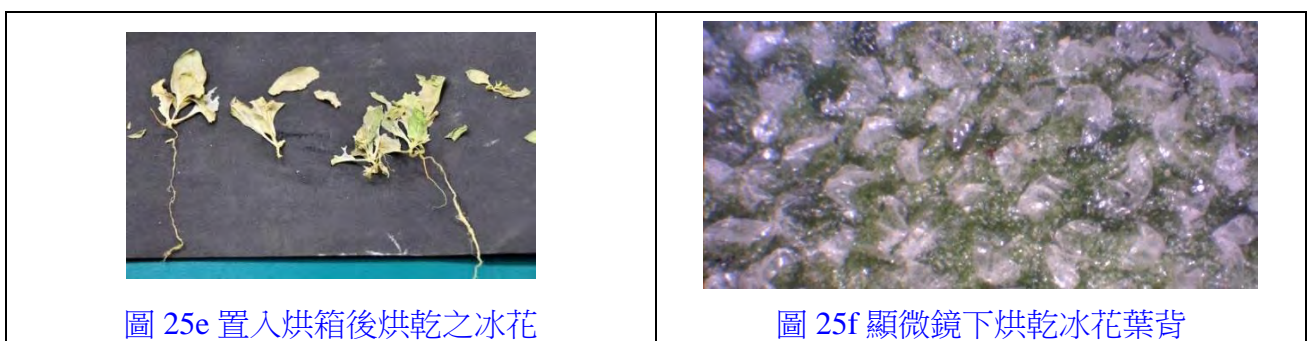


圖 25d 冰花不同部位含鹽比較。

由實驗結果可知，不同鹽逆境下培養的冰花，根及莖在鹽度計下皆無法測得鹽度，而葉則能測得鹽分存在，此外，葉的含鹽量也隨著鹽逆境環境的不同而有所差別。由外部型態及不同部位含鹽比較結果可知，「葉」上的囊狀細胞可能是儲鹽的部位。



(二)不同鹽逆境下，囊狀細胞的數量及出現時間比較

在了解葉子為主要儲鹽的部位後，我們針對葉上分佈明顯的囊狀細胞進行計算，以了解不同鹽逆境下所培養的冰花，囊狀細胞數量是否有所差異。

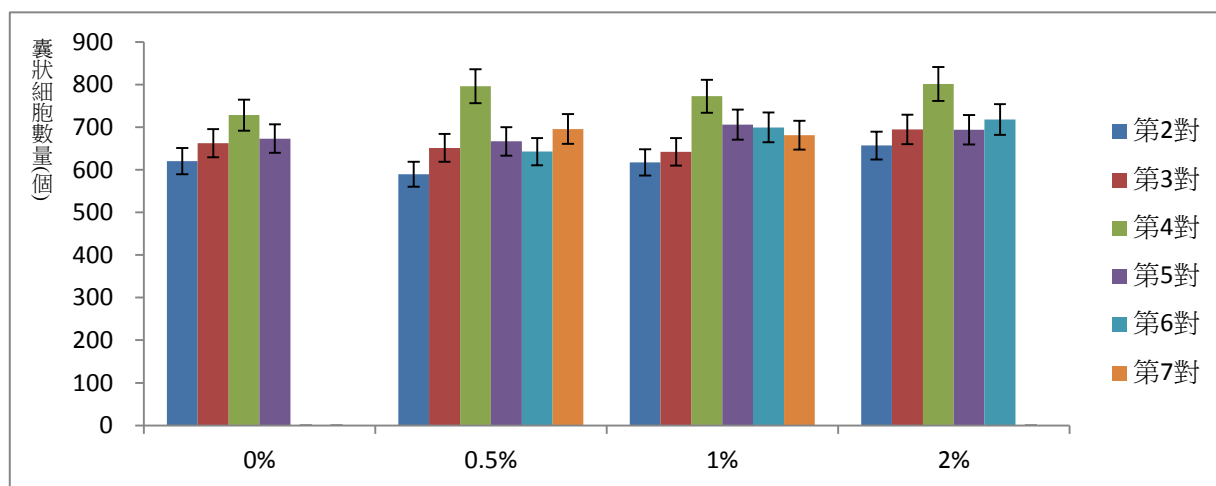


圖 26 不同鹽逆境下，冰花葉(正反面)囊狀細胞數量比較(生長 45 天)

由囊狀細胞數量計算的結果可知，第 2 對(老葉)至新葉的分佈，以中間(第 4 對)葉具有最多的囊狀細胞數目，除了第 4 對葉之外，其餘的葉上所具有囊狀細胞的數量皆大致相同，且沒有明顯的分佈趨勢。0%於 45 天時僅生長至第 5 對葉。

囊狀細胞的數量分佈與鹽逆境之間似乎沒有明顯的關聯性，因此我們將針對囊狀細胞分佈的區域與面積進行測量，以了解囊狀細胞在不同鹽度的反應情形。

在進行囊狀細胞數量計算時，我們發現不同鹽逆境下，囊狀細胞皆於第 2 對葉片生長時出現，出現時間結果如下：

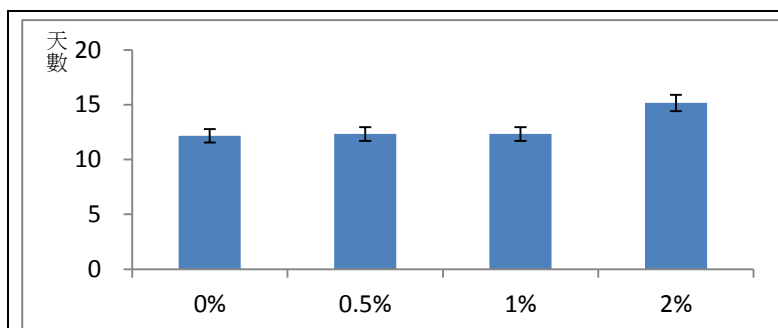


圖 27a 不同鹽逆境下，出現囊狀細胞的時間

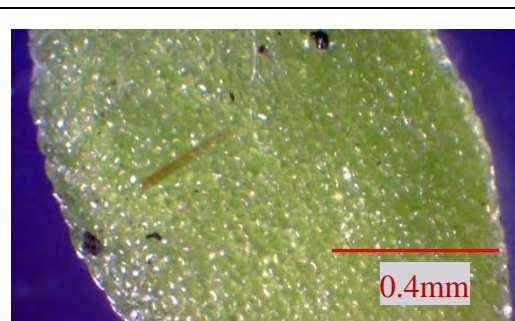


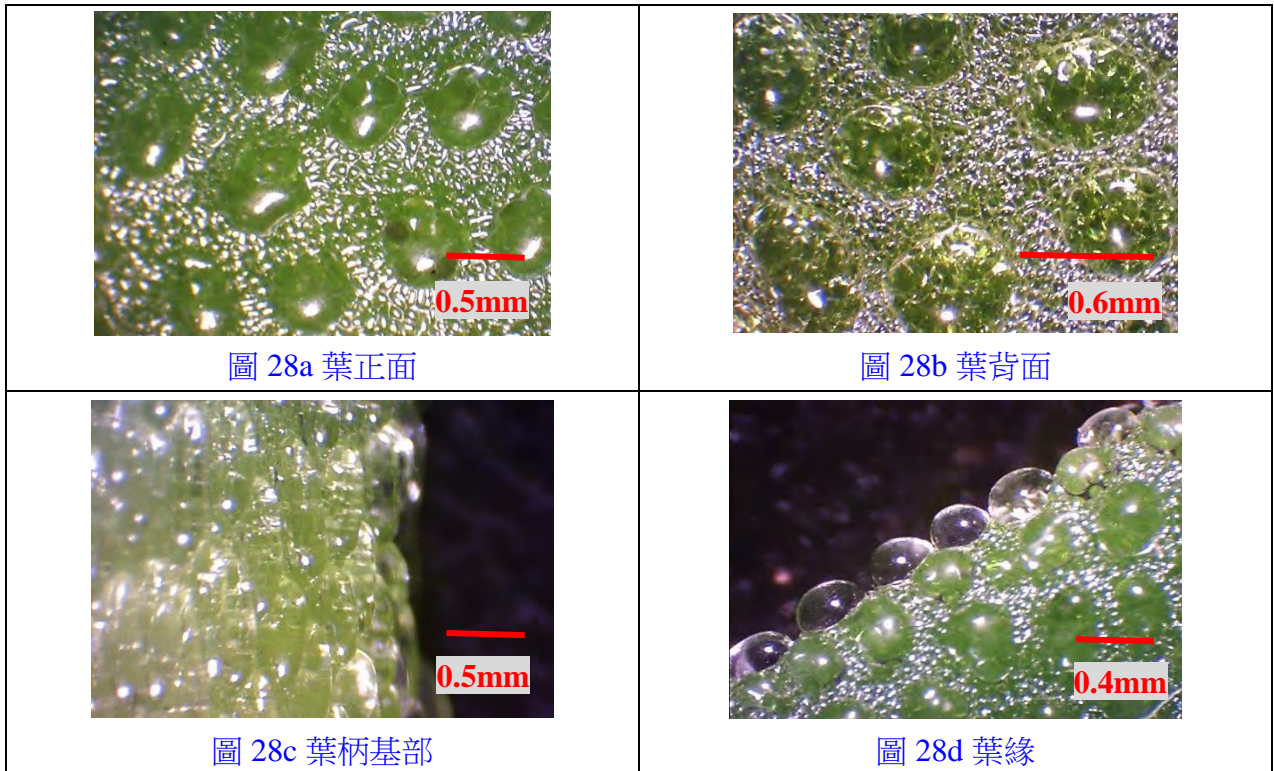
圖 27b 第 2 對葉出現囊狀細胞

不同鹽逆境下，甚至在無鹽的控制組，囊狀細胞皆於第 2 對葉片形成時出現，而此時 2% 鹽逆境組的生長較慢，因此囊狀細胞較慢出現。第 1 對子葉葉片上經顯微鏡觀察並無囊狀細胞。

(三)比較不同鹽逆境下，囊狀細胞分佈的區域及面積大小

囊狀細胞的數量分佈與鹽度並沒有太大的關聯，僅第 4 對葉的囊狀細胞都較多，因此我們取不同鹽逆境的第 4 對葉片，來進行囊狀細胞面積的比較。

1. 觀察囊狀細胞於葉上分佈的情形(2%鹽度下)



2. 不同區域囊狀細胞的面積大小比較

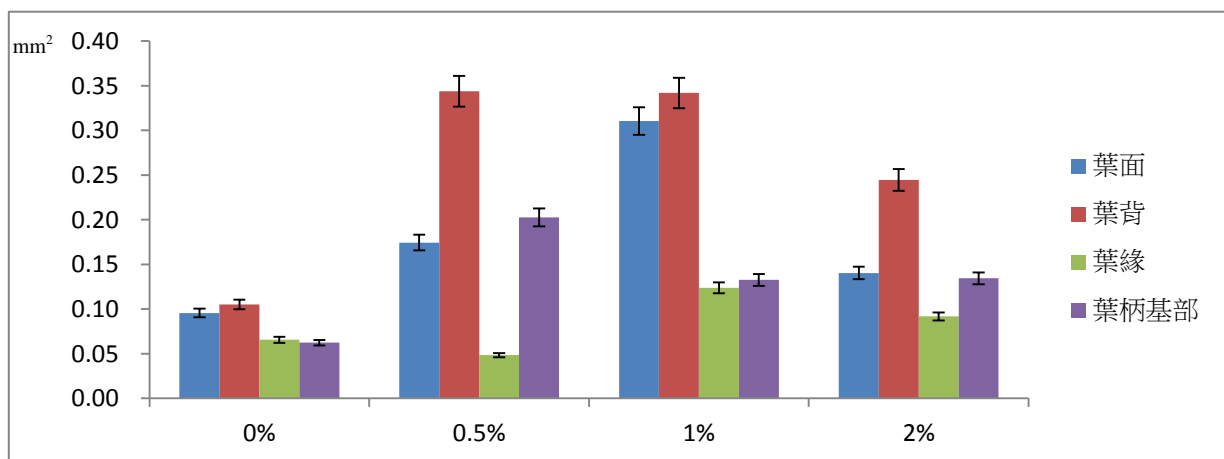


圖 29 不同鹽逆境下，生長 45 天、第 4 對葉片不同區域囊狀細胞面積平均值

由囊狀細胞面積測量結果可知，不管在什麼樣的鹽逆境下，皆以葉背的囊狀細胞面積相對較大，其餘區域則無明顯的差別。隨著鹽度的提升，並無觀察到囊狀細胞面積有增大趨勢，因此囊狀細胞的面積大小似乎與鹽逆境間無太大關聯。

(四)探討不同鹽逆境下，囊狀細胞的濃度差異

在進行囊狀細胞數量及面積測量，發現與鹽度之間沒有太大關聯，在面積差異上以葉背囊狀細胞相對較大，因此我們將葉背的囊狀細胞中液體取出進行量測。

1. 單葉囊狀細胞鹽度是否存在鹽度梯度

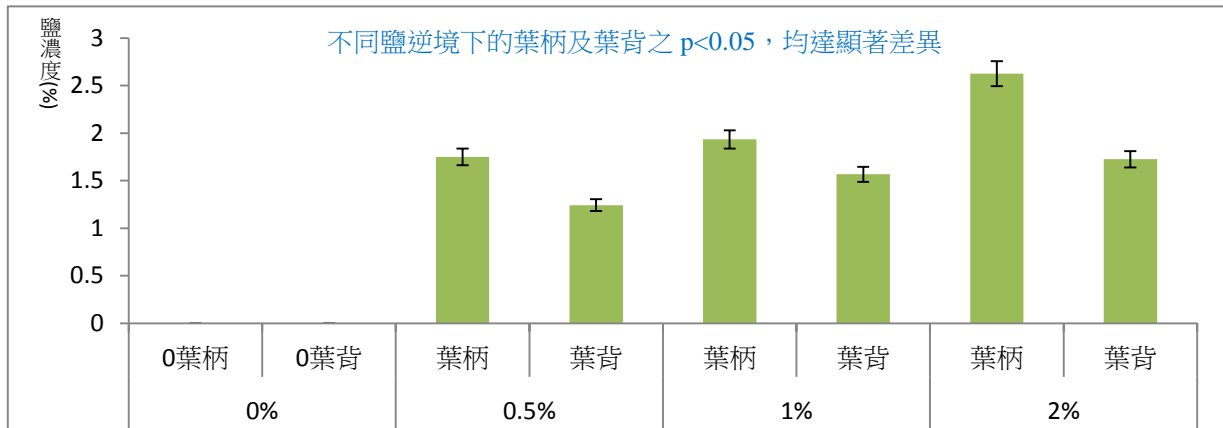


圖 30 a 不同鹽逆境下(0~2%)生長 45 天，不同部位的囊狀細胞濃度比較

由測量結果可知，在不同的鹽逆境環境下，葉柄上囊狀細胞內有較大的鹽度，且均大於葉背內的鹽度(達顯著差異)，顯示冰花單一葉片的囊狀細胞內鹽濃度在葉柄最大，進入葉面則變小。



2. 不同對葉(老葉→新葉)的囊狀細胞濃度差異

圖 30b 囊狀細胞鹽濃度葉柄最大

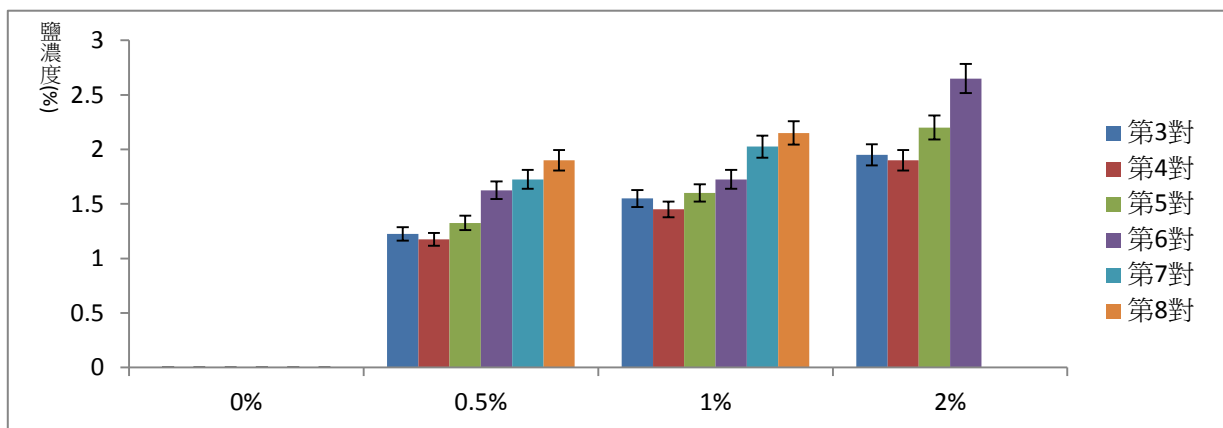


圖 30c 不同鹽逆境下，生長 45 天不同對葉的囊狀細胞濃度比較

在不同對葉的囊狀細胞濃度差異結果，大致上以愈接近新葉(第 6~8 對)的鹽度最高，而較接近底部的老葉，囊狀細胞內的濃度則較低，2%的組別此時生長較慢，僅生長至第 6 對葉片，可能是因為鹽度較高的關係，第 6 對葉片內的囊狀細胞濃度是所有組別中最高的。整體來看，水耕環境的鹽度差異會影響冰花囊狀細胞內的濃度差異。

三、探討冰花適應高鹽環境的關鍵期

(一)探討冰花在高鹽環境下適應能力的時間點

目前並無資料顯示冰花於什麼時間點具有較高的耐鹽能力，在研究一的結果顯示，冰花於相當於海水 3%的環境中，發芽率極低且近乎無法生長。因此，這個部份我們希望能了解冰花何時開始有較好的耐鹽能力。

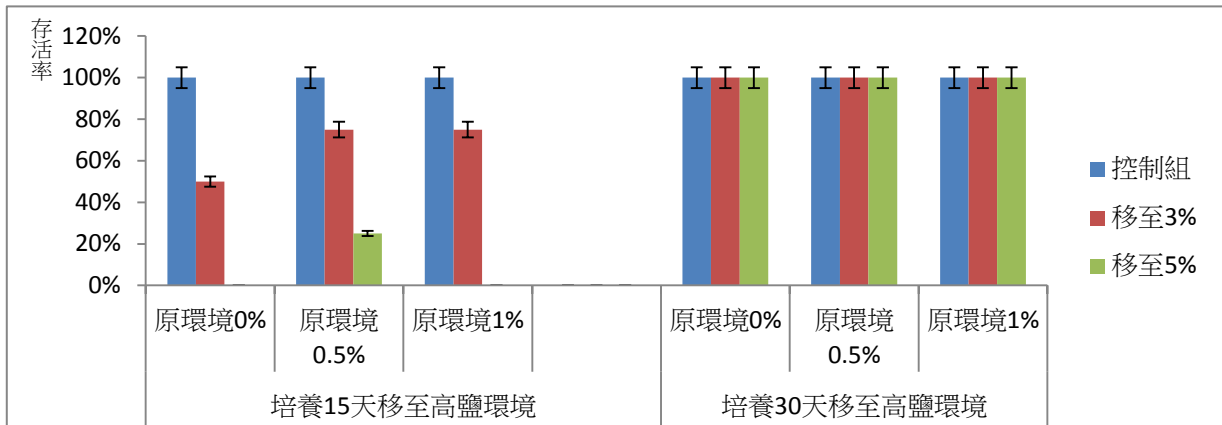


圖 31a 不同培養時間點，轉至高鹽環境後 30 天之存活率。(各組 N=4)

冰花生長至 15 天(第 2 對葉)、30 天(第 5 對葉)，移至高鹽水耕環境結果顯示，15 天組別的存活率(移至 3%)以原環境 0.5 及 1%較高，原本無鹽度 0%環境則存活率較低，0.5%→5%可能因 0.5%的生長效率較好(圖 23a)，有少數存活。培養 30 天再轉至高鹽組別，存活率皆為 100%

(二)探討冰花轉至高鹽環境下的生長狀況

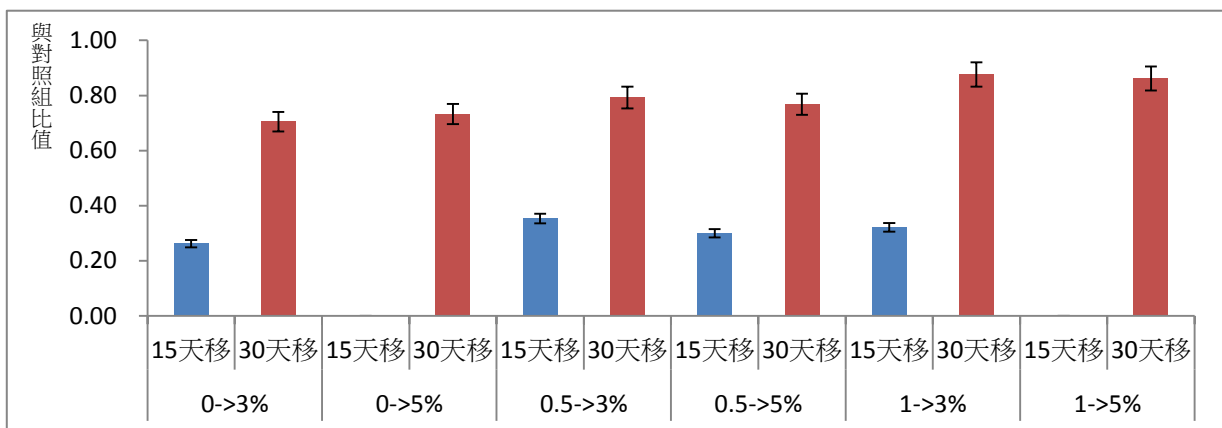
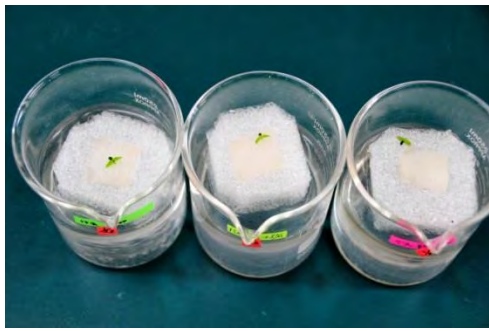


圖 31b 冰花於不同時間培養，轉至高鹽環境後 30 天之質量增加率比值。比值為與對照組相比

我們秤量移盆前後的鮮重，以了解質量增加率，並與對照組(比值~1)相比，比值較高表示相對質量增加愈高。整體來看，原環境培養 30 天的組別，適應高鹽環境(3、5%)皆有不錯的生長，質量增加率皆大於 0.5，而 15 天幼苗組則生長情形不甚良好，且有葉片出現黃化現象。高鹽適應實驗結果顯示，當冰花生長至 30 天後，較能適應高鹽環境。



30 天後



生長 15 天幼苗，原水耕環境為 0% 組，由左至右分別為 0% (控制組)、3%、5%。

由左至右，分別為 0%、3%、5% 的生長情形。轉至 5% 組別，約 1 週後無法適應而枯萎。



30 天後



生長 15 天幼苗，原水耕環境為 0.5% 組，由左至右分別為 0% (控制組)、3%、5%。

由左至右，分別為 0.5%、3%、5% 的生長情形。圖中可見除對照組外，生長情形不良。



30 天後



生長 15 天幼苗，原水耕環境為 1% 組，由左至右分別為 1% (控制組)、3%、5%。

移盆培養 30 天後，由左至右，分別為 1%、3%、5% 的生長情形。

圖 32 不同環境下培養，移至高鹽環境的生長情形

我們也好奇冰花最大耐鹽程度，因此我們將生長 30 天冰花移至 10% 及飽和鹽水濃度 (配製時濃度為 19%)，了解其生長情形。轉至高鹽培養後，10% 及 19% 的冰花皆能持續生長，但移盆約 2 週後，接近基部的老葉都有出現葉片黃化及枯萎現象，經測量囊狀細胞內濃度，19% 組別的葉柄及葉背濃度分別高達 7.2% 及 6.8%。



圖 33 轉至 19% 高鹽培養 30 天後冰花

四、探討冰花的應用可行性

(一)作為改善海水魚菜共生水質的可行性

魚菜共生主要概念就是利用魚類產生的含氮廢物，作為菜生長所需的肥料，一方面減少肥料的使用，另一方面維持水體環境的乾淨。由前述的實驗結果可以了解，冰花能在高鹽度下生長，若能吸收海水魚所產生的主要含氮廢物~氨，則作為海水版的魚菜共生則大為可行。

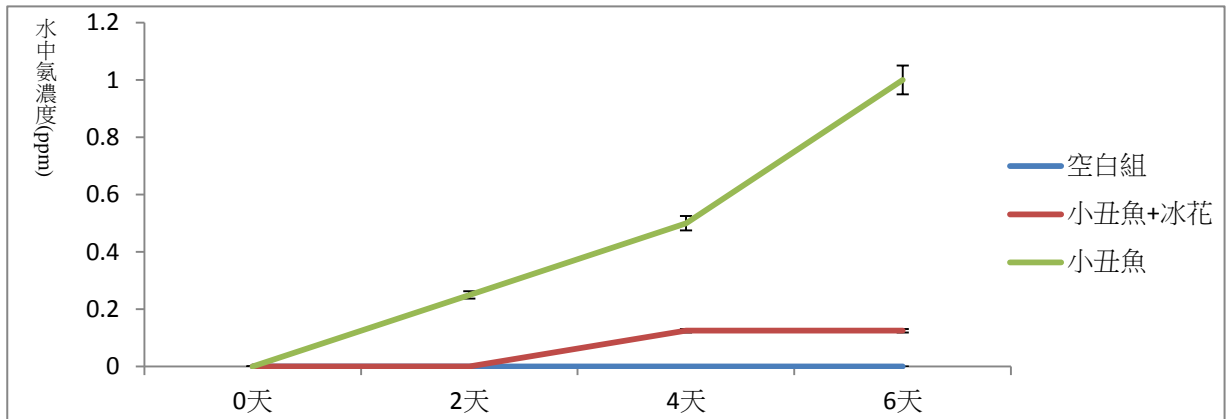


圖 34 不同條件下，水中含氮廢物(氨)的比較

實驗結果上，僅有小丑魚飼養的環境，水中氨濃度自飼養開始即逐步上升，而加入冰花的組別，則在第 2 天才緩慢上升，且至第 4 天氨濃度維持不變。初步的實驗結果顯示，加入冰花的海水魚缸，具有維持水中含氮廢物於較低濃度的能力。

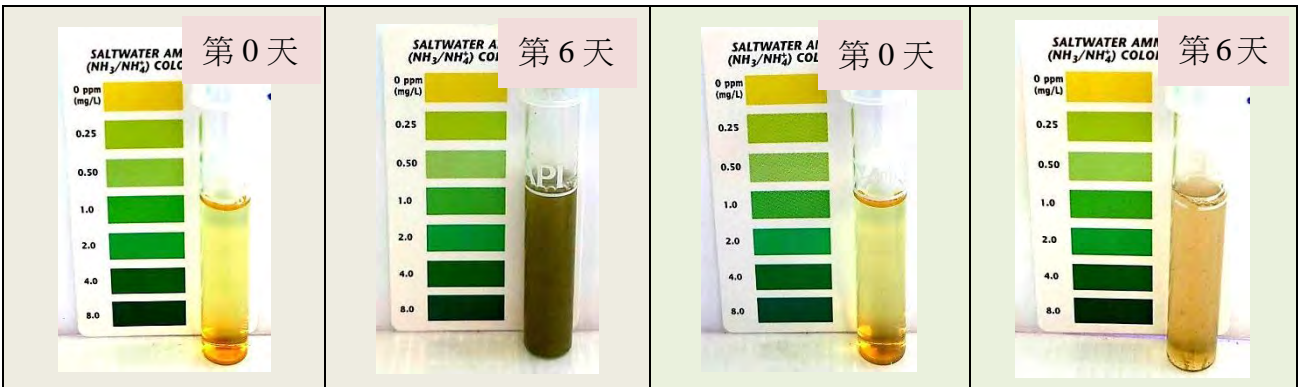


圖 35a 僅飼養小丑魚的氨測試結果

圖 35b 小丑魚+冰花的氨測試結果



圖 35c 僅飼養小丑魚的魚缸



圖 35d 加入冰花建立魚菜共生的魚缸

(二)作為改善土壤鹽化的可行性

上述的實驗中，了解冰花能夠於高鹽水耕環境中生長後，我們想到台灣沿海有許多的土壤有鹽化問題，這個部分，我們將冰花栽種於鹽化土壤並測定是否有改善鹽化情形。

1. 探討冰花在土壤鹽化下的生長情形

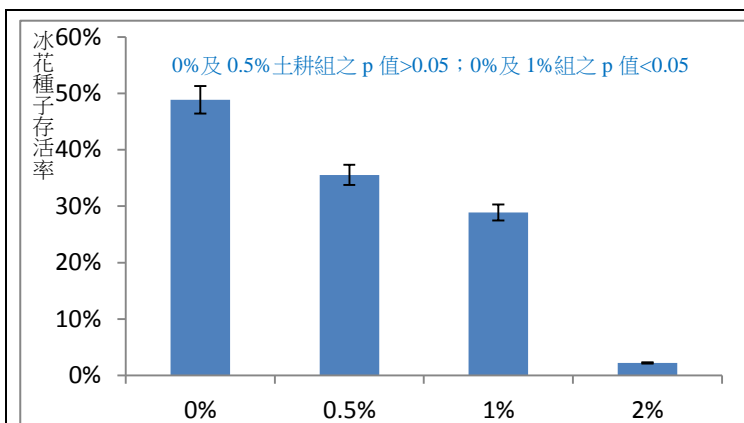


圖 36 冰花種子於不同鹽化程度的土壤存活率

由種子開始栽種的土耕結果上，存活率均不高(均未達 50%)，0.5%以上鹽土的存活率與控制組(0%)達顯著差異，顯示有鹽土環境下較不利生長，尤其 2% 鹽土之存活率更是未達 3%，若將冰花直接種於較高鹽害鹽土，可能無法順利生長。

2. 探討先水耕再土耕的高鹽適應能力

由上述結果可知，種子幾乎無法在高鹽度土壤生長，在研究三了解，若冰花於水耕下生長 30 天，會具有較好的高鹽適應力(圖)，我們將 0.5% 水耕培養的冰花轉至高鹽土壤中。

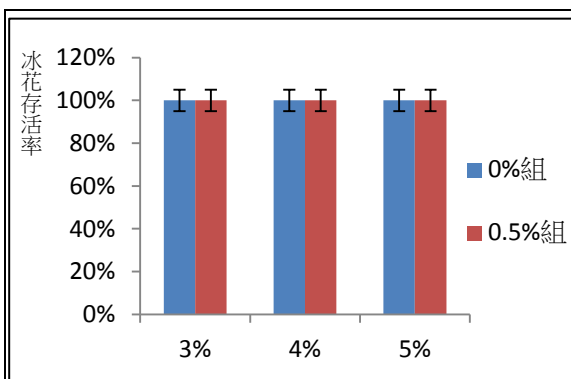


圖 37a 水耕 30 天後移至土耕之存活率

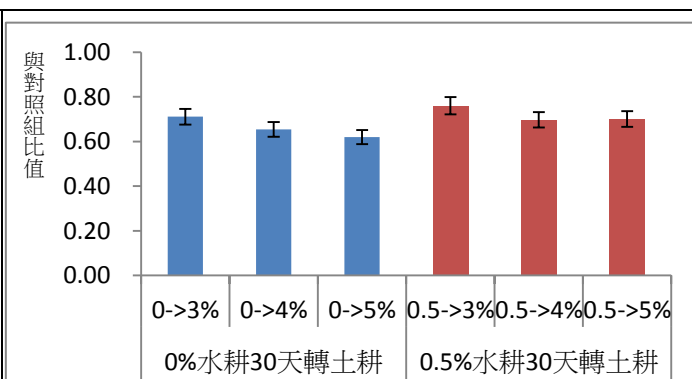


圖 37b 水耕 30 天移土耕之質量增加率比值

實驗結果顯示，水耕轉高鹽土耕的存活率皆為 100%，水耕 30 天時的冰花已具有較高的鹽度適應能力。與對照組之質量增加率比值皆大於 0.6 以上，且 0.5% 組的生長情形較好。



圖 37c 水耕 30 天後移至土耕(3-4-5%)

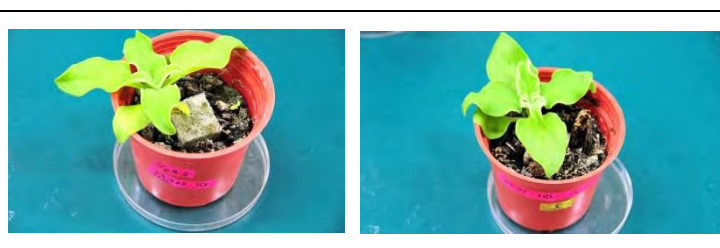


圖 37d 移盆後 30 情形(左為 0.5% 對照, 右為 5% 鹽土)

3. 探討冰花種子於低鹽度土耕下的鹽化改善情形

由上個階段的實驗，可以了解到冰花能於 0~1% 下的鹽土下種植。我們將種子由較低鹽度的土壤開始種植以了解改善鹽化情形。

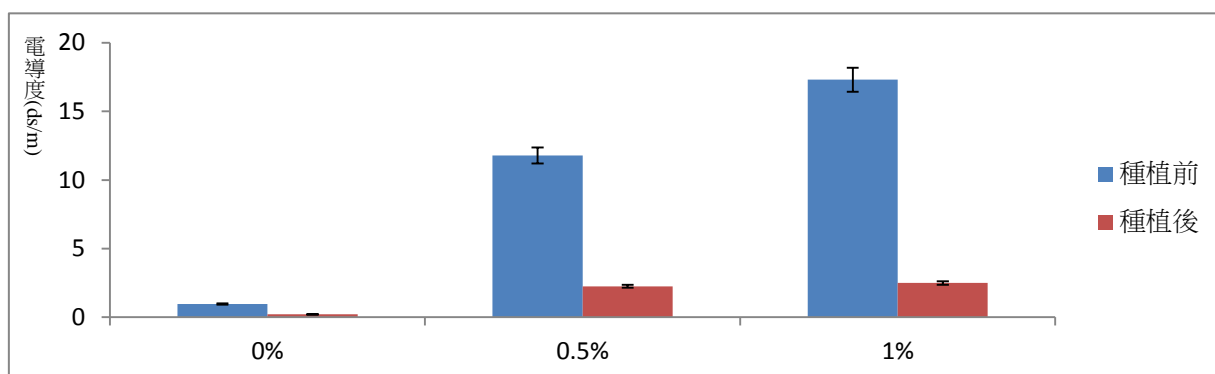


圖 38a 冰花種子種植 30 天後土壤電導度比較(單位：ds/m)

由實驗結果可以看出，冰花在 30 天的生長時，吸收不少土壤中的無機鹽類，使得土壤電導值下降，無論是控制組(0%)或是較低鹽度土壤(0.5、1%)皆有下降跡象，且在 1% 土壤中生長的冰花，能讓土壤電導度由 17.31 下降至 2.49，表示成長過程中能吸收大量鹽類。

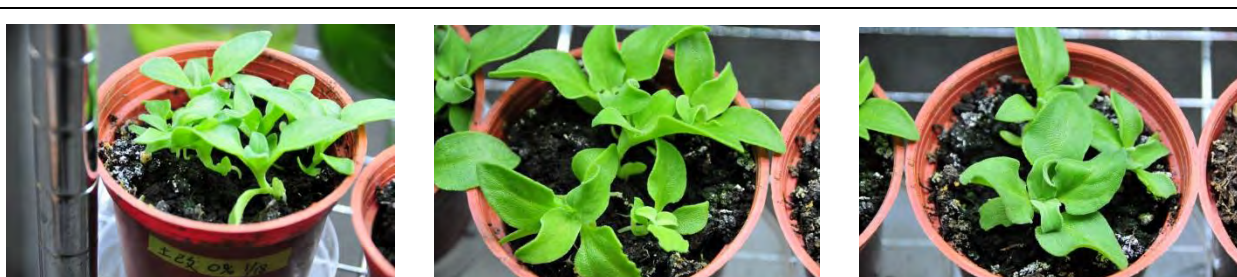


圖 38b 由種子開始種植 30 天後生長情形(0、0.5、1% 土壤鹽度環境)

4. 探討冰花幼苗於高鹽度土耕下的鹽化改善情形

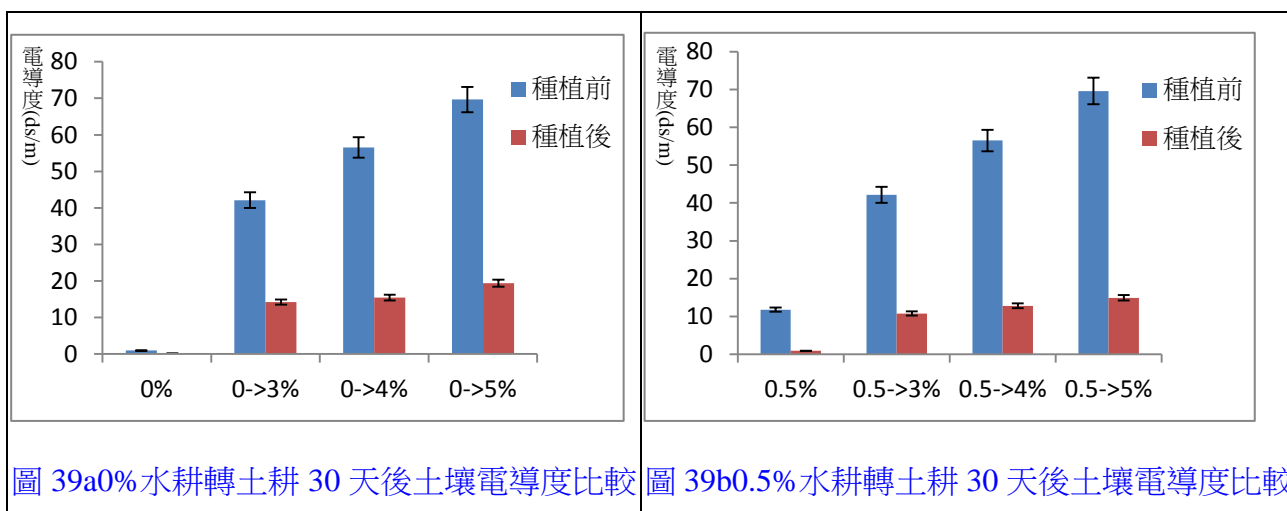


圖 39a 0% 水耕轉土耕 30 天後土壤電導度比較 圖 39b 0.5% 水耕轉土耕 30 天後土壤電導度比較

較高鹽度的土耕下，我們將在水耕生長 30 天後的冰花，轉至不同鹽度土壤。結果顯示冰花在 5% 的鹽土環境下生長，仍能吸收大量鹽類，使得土壤電導度大幅度下降。

5. 探討冰花於濕地土壤的鹽化改善情形

在室內土耕~模擬土壤鹽害的實驗中，我們了解到藉由冰花吸附鹽類的能力能夠改善土壤鹽化的情形，因此我們進一步想要知道冰花在戶外濕地土壤的生長情形。

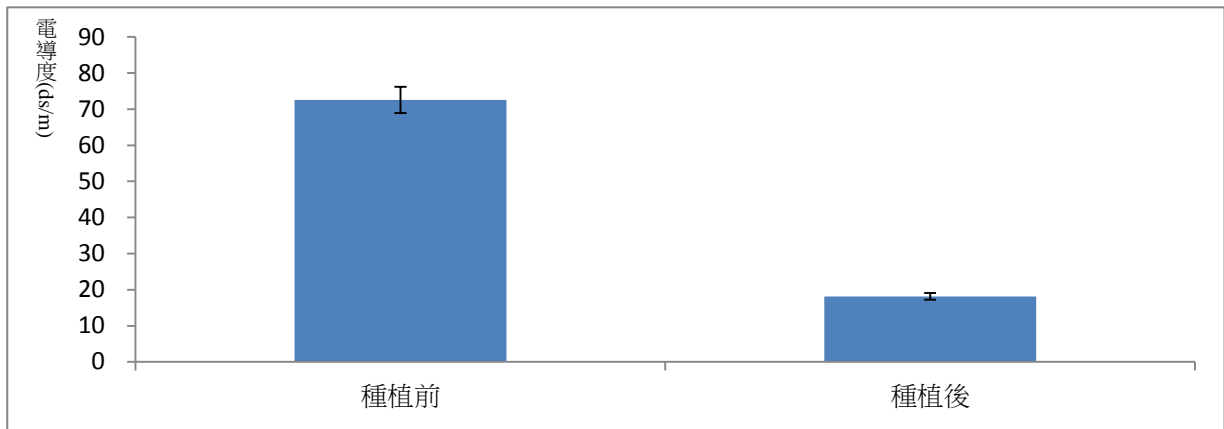


圖 40a 0.5%、30 天水耕轉附近濕地土壤土耕電導度(ds/m)比較

種植於附近濕地土壤的結果顯示，冰花具有吸附土壤中無機鹽類的能力。濕地土壤電導度高達 72.59，較我們於室內模擬鹽害的土壤(5%)之電導度高，而冰花於濕地土壤生長 1 個月，除了生長情形良好外，也能改善濕地土壤中累積較高的鹽類情形。

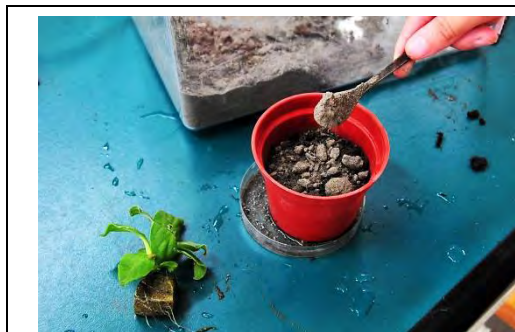


圖 40b 將水耕冰花種於取回濕地土壤



圖 40c 移盆 30 天後冰花生長情形

陸、討論

動物和植物最大的差別就是植物無法自由的移動，因此當植物遭受週遭環境不利生存時，有些會演化出能夠生存的特殊本領，在逆境中生長，如同我們研究的主題~冰花，利用特化的囊狀細胞來調節高鹽逆境環境。

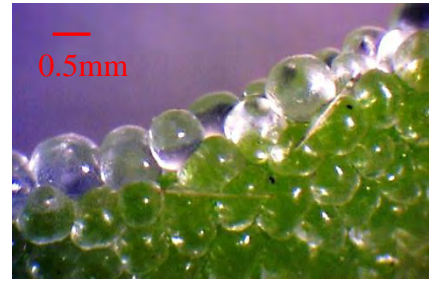


圖 41 冰花耐鹽關鍵~囊狀細胞

鹽分逆境會使得植物根部調節滲透壓的功能異常，此外，若高濃度的鹽分進入植物體內，過多的 Na^+ 會傷害膜的構造和抑制酵素作用，造成一般代謝失常的問題，進而毒害植物，因此在較高鹽度環境下，如海邊、鹽澤地或是地下水鹽化地區，若鹽濃度大於 0.3%，一般植物很難生存。張永達(2009)於植物對鹽分逆境一文提及，植物對鹽害反應可分第一類為鹽土植物，如台灣海邊濕地的紅樹林，可耐鹽濃度至 2.9%；第二類為能忍受高鹽環境，但卻生長緩慢，如蕃茄；第三類則為非鹽土植物，如稻米，鹽濃度若達 0.29%，則幾乎無法生長。因此，我們在進行研究時，將冰花的鹽逆境環境設定為以下：

0%	0.5%	1%、2%、3%
淡水環境	一般植物鹽害上限	高鹽度環境，3%為海水濃度、紅樹林能生長

冰花，番杏科植物，原產於非洲，與同科的植物一樣為多肉植物，多年前引進台灣作為高級、高價料理食材，顯著的特徵即為滿佈的囊狀細胞。網路及文獻資料偏於料理或是基因



圖 42 冰花？改善土壤鹽化？

層次研究方面，關於鹽逆境生長的基礎知識反而幾乎查詢不到，僅了解到幼苗時期不耐鹽，這讓我們非常好奇冰花在鹽逆境下的基礎生長情形。此外，在耐鹽方面，我們並假設囊狀細胞的數量及大小會被不同鹽逆境所影響，幼苗時接受鹽分刺激會具有較好的耐鹽能力並試著找出所謂的幼苗時期耐鹽關鍵時間點。最後，了解冰花卓越的耐鹽能力後，我們聯想到冰花是否能夠作為海水魚菜共生中的「菜」，吸附魚菜共生系統中最重要

的含氮廢物~氨？台灣土壤鹽化問題嚴重(鹽化土壤約佔耕作面積 3%)，面對土壤鹽化，是否能利用冰花作為積極改善的利器，並成為經濟來源？以下就是我們這一系列實驗相關討論：

一、觀察冰花在鹽逆境下的生長情形

1. 發芽率與 3% 高鹽環境：在發芽率部分，直接使用相當海水濃度(3%)來進行，仍有 31.25% 的發芽率，2% 培養下接近 90%，這與陳慶芳(1995)提及紅樹林中的欖李發芽鹽度相當

(1.5%發芽較好，大於 3%發芽率明顯受到抑制)。有趣的是 3%下冰花發芽率不錯，生長卻受極大抑制，顯示幼苗無法忍受海水濃度。

2. 生長曲線與滲透壓：觀察結果顯示 0.5、1%鹽度下的冰花生長效能較好，且比對根長及最大葉面積，也是如此。在胞質滲透壓的實驗中(圖 24a)，顯示接近質壁分離比例 50%上下的 0.5~1%可能

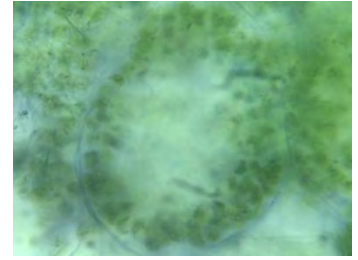


圖 43 0.5%下葉肉無質壁分離

為胞質濃度，值得一提的是大於 2%的溶液對葉肉而言雖然為高張溶液，但冰花生長過程中可能利用囊狀細胞儲存多餘的鹽份，以調整組織間滲透壓，因此仍能在高鹽環境下生長。冰花的胞質濃度可能介於 0.5~1%之間，較適合生長、使得生長迅速，這與邱志郁(1996)的實驗結果相仿，指出水筆仔於海水濃度 1/4 處理下(0.88%)的生長狀況最好。適度的鹽分處理是生長所必需的，但其中的機制還有待進一步的研究討論。

3. 花青素：花青素是植物抵抗紫外線、缺水、營養缺乏時形成，有助植物渡過逆境。在研究過程中，意外發現置於戶外陽光下的冰花葉緣及葉背囊狀細胞有花青素累積，在室內 LED 照射組別卻不會出現，LED 燈缺乏紫外線，是否因陽光中紫外線誘導花青素的形成，還需進一步確認。不論是淡水或是鹽逆境下，皆會產生花青素，顯示誘導因素為光源，這與楊茜雯(2016)進行小米鹽逆境實驗，有光條件下形成花青素的結果類似。

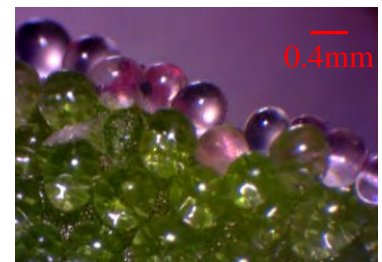
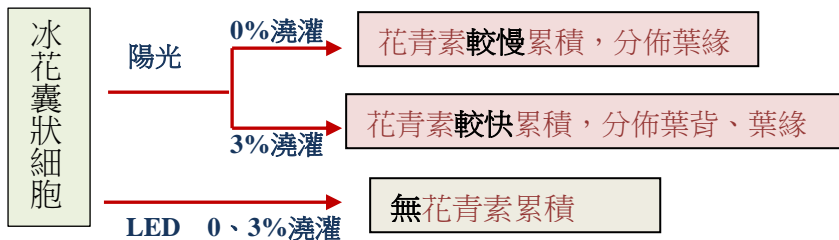
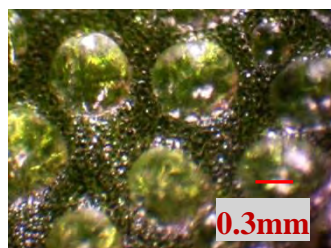
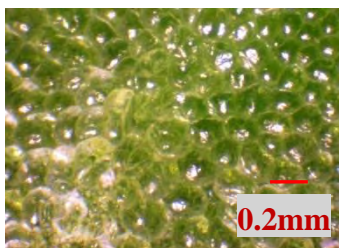


圖 44 花青素累積於囊狀細胞

二、探討囊狀細胞在耐鹽所扮演的角色

1. 囊狀細胞數量具有鹽誘導性？初步觀察不同鹽逆境下的冰花葉，我們原本假定囊狀細胞是會被不同鹽逆境所誘導，也就是為了克服鹽逆境而產生較多的囊狀細胞，但經過統計數量與面積大小卻發現無一定規律傾向出現。不同鹽度下，囊狀細胞的面積皆隨著葉子的面積



增大而逐漸增大，囊狀細胞的密度也大致隨著面積而下降，葉面積較大的囊狀細胞之間的距離加大。

圖 45 隨著葉面積增大，囊狀細胞間距及面積增大(2%培養，第 3 對葉，左為新葉，右為 15 天後)

2. 鹽逆境與囊狀細胞濃度。在進行囊狀細胞溶液鹽度測定後，發現有鹽度梯度的存在，我們推測由於新葉生長時需要光合作用來提供養分，使得水分向上運輸(蒸散作用)增加，在吸收較多的水分情況下，連帶也吸入較多的鹽分(根可能無法拒鹽，需進一步研究)，此時冰花將吸入的較多鹽分存入新生葉囊狀細胞中，隨著運輸由葉柄基部朝向葉面，鹽分儲存也由基部開始，因此出現鹽度梯度的存在，這與邱志郁(1995)提及水筆仔的鹽度分佈剛好相反，水筆仔體內的鹽度是由根部往葉逐漸遞減，水筆仔具備拒鹽的能力。由囊狀細胞的鹽濃度可以了解冰花主要耐鹽的狀況，這與一般紅樹林植物不同，以下為台灣耐鹽植物與冰花的比較：

冰花	林投、紅樹林	海茄苳	鹽定、海馬齒
葉囊狀細胞儲鹽	根部細拒鹽	葉鹽腺泌鹽	落葉方式排鹽

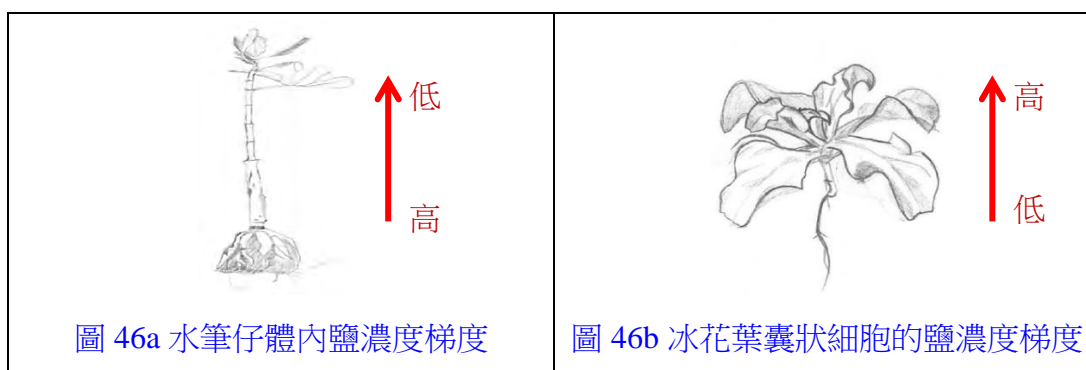


圖 46a 水筆仔體內鹽濃度梯度

圖 46b 冰花葉囊狀細胞的鹽濃度梯度

三、探討冰花適應高鹽環境的關鍵期

1. 適應高鹽的關鍵期：於鹽逆境下的冰花生長曲線的結果得知，冰花於 3% 鹽度的發芽及生長曲線皆不良，文獻也未提到適應高鹽環境的關鍵期，我們設計生長至 15 天及 30 的時間點進行，一方面了解適應高鹽的時間點，另一方面作為移入高鹽環境參考。幼苗(15 天)時期，僅有第 2 對葉片，體內對抗鹽逆境的機制尚未健全，30 天時已生長至第 5 對葉，葉面囊狀細胞及體內對抗鹽逆境機制可能已發展較完整，因此此時期能做為移至高鹽的關鍵時期。

2. 低鹽刺激？較能適應高鹽環境？除了找關鍵時期外，我們更想知道的是原生長環境的低鹽刺激是否會造成較好的高鹽適應能力，如邱志郁(1995)所提及，水筆仔需適度的鹽刺激，目前並無報告指出紅樹林能在非鹽分環境下繁殖下一代。



圖 47 生長至 15 天及 30 天時，冰花大小比較

在低鹽(0.5、1%)刺激下質量增加率比值分別與 0%比較，皆達顯著差異($p<0.05$)。低鹽刺激對於冰花的耐鹽機制是有一定的必要性，生長至 30 天的 0%組已具有耐高鹽特性，但低鹽刺激卻具有較好的生長質量。

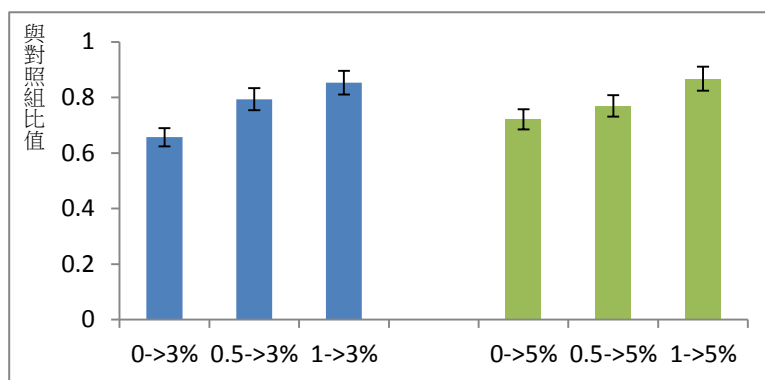


圖 48 不同鹽逆境生長 30 天，移至高鹽質量增加率比值

四、探討冰花的應用可行性

1. 魚菜共生：魚菜共生是近年很流行的生態養殖概念，但市場上並無海水系統的魚菜共生，主要原因是一般維管束植物，幾乎無法在海水鹽度下生長。我們利用冰花能夠耐高度鹽的特性來進行魚菜共生的可行性，研究結果顯示冰花在生長時能夠有效除去海水體中的氨濃度，這也是魚菜共生系統主要產生的廢物。但卻有一些問題仍需克服，例如楊清富(2016)著

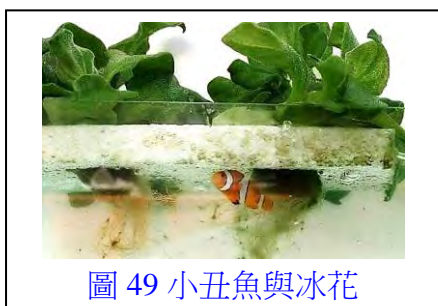


圖 49 小丑魚與冰花

作中提及一般魚菜共生的菜，是由種子開始種植，但我們研究的冰花卻幾乎無法在 3.5%鹽度下生長(圖 21b)，因此在進行這個系統時，必需先將冰花種子在低鹽度下發芽，生長至 30 天之後才能轉移(圖 31a)，與一般淡水魚菜共生差異頗大。

2. 土壤鹽化改善的可行性：台灣沿海地區由於人為或是天災，土壤鹽化(大於 0.3%、土壤電導度 $>4\text{ds/m}$)問題嚴重。我們利用模擬鹽化的土壤及取回的濕地土壤來進行鹽化改善的可行性，由我們土耕的結果顯示種子開始種植僅能在低鹽度(1%以下)有較好的生長情形，在 0.5、1%的模擬鹽土中種植 30 天後，土壤電導度降至 2~3 ds/m 之間，已能降低土壤鹽化($>4\text{ds/m}$)的現象，雖未能達到 2 ds/m 的淡土地步，但降低的能力是可以被期待的。在土耕種植的問題，與魚菜共生類似，皆遇到在高鹽度環境下無法由種子種植，解決的方法目前皆是需在室內水耕環境下培養至 30 天再移至土耕。在濕地土壤改善的部分，由於學校附近的濕地土壤電導度高達 73 ds/m ，冰花種植雖能使電導度下降至 18 ds/m ，但仍超過土壤鹽化的標準，且可能濕地土壤的成份複雜，生長相當緩慢。冰花在生長過程會吸附鹽類的特性，或許能改善土壤鹽化的問題，雖然目前僅止於室內模擬實驗，但如同許清水(2010)於鹽地種出蕃茄一般，冰花一方面作為農作物，另一方面改善海邊土壤鹽化的能力是可以被期待的。

柒、結論

在土壤學中，所謂的鹽漬土，就是土壤物質受到鹽的影響，或指正常土壤受到海水的淹沒、浸漬及破壞所形成的土壤。全世界鹽漬土佔乾燥區總面積的 39%。而在台灣現存鹽漬土的面積，約有 5 萬 3 千多公頃，其中大多發生在台灣西部沿岸，由於長期抽超的下水而導致的海岸地層下陷，以及颱風帶來海水倒灌，都讓土壤鹽化更為嚴重。近年來，從雲林、屏東、甚至到宜蘭都有土壤鹽化面積日趨擴大的現象存在，對農業的衝擊也漸顯著。如何預防與改善土壤鹽化，也成了更需要被關注的議題。

土壤鹽化嚴重時，一般植物很難成活。原產自非洲的「冰花」，擁有令人驚訝的耐鹽能力，能在高鹽環境生長良好，但文獻上對於其鹽逆境下的生長及生理機制的描述卻相對缺乏。為了進一步了解，我們從種植冰花種子開始紀錄，找尋耐鹽能力的關鍵時間點，並對其生長做紀錄、探討其與魚菜共生及土壤鹽化改善方面的應用，獲得以下數點結論：

1. 水耕冰花在不同鹽度的組別，2%的鹽水中仍有 80%以上發芽率與存活率，但在 3%的鹽水中則發現發芽率與存活率大幅下降。對照組空心菜則於 0.5% 鹽度下出現鹽害現象。
2. 發芽初期，以較低鹽度刺激的 0.5%、1%的根生長較快；1 個月之後，1%以上的組別生長開始加快，最大葉長測量結果與根長類似。1%的組別在第 45 天時已超越原本生長較快的 0.5%組別；鹽度 2%的根長，則在 60 天時超越 0.5%組。葉長方面，生長至 30 天，鹽度 1%的葉長開始快速生長，與根開始加速生長的時間點類似。
3. 水耕冰花生長曲線，顯示在 0.5%及 1%的鹽逆境下，冰花生長的速度較快(對葉出現時間)，較適合冰花生長。
4. 冰花葉肉滲透壓的實驗顯示在 0.5%~1%之間，可能為葉肉細胞的等張溶液。
5. 室外陽光，會促使花青素出現，鹽水澆灌則會加速此過程。5 天內即可觀察到花青素的產生；室內 LED 光源組別，至 80 天仍無花青素。
6. 由外部型態觀察，發現於冰花葉上佈滿明顯「囊狀」細胞，葉的總含鹽量也隨著鹽逆境的不同而有所差別。囊狀細胞由葉柄(較大)向葉面、新葉(較大)至老葉變小的趨勢。
7. 整體來看，鹽度的差異對囊狀細胞的數量、分佈與其面積之影響並不明顯；但明顯的會

影響囊狀細胞內的鹽度。較高鹽度組別的囊狀細胞內鹽度也會較高。

8. 高鹽適應能力的時間點，相較 15 天移植組別，30 天移植的組別也都有較好的相對生長。冰花生長至 15 天與 30 天後移至不同鹽度水耕環境(0%、3%、5%)，結果顯示，30 天進行移植的組別存活率皆為 100%，而在 15 天移植的組別於 5% 鹽度中的存活率為 0。
9. 冰花有水中降低總氨的能力，具開發成「海水版」魚菜共生的潛力。僅有小丑魚飼養的環境，水中氨濃度自飼養開始，第四天即上升到 1ppm；而小丑魚加冰花的組別，總氨濃度緩慢上升，且至第 4 天維持在約 0.25ppm 以內，尚在安全範圍。
10. 由種子開始栽種，鹽土環境下不利生長，尤其 2% 鹽土之存活率更是未達 3%。整體而言，存活率均不高(均未達 50%)，若將冰花種子種於較高鹽害鹽土，可能無法順利生長。
11. 先進行水耕，再移至高鹽土耕生長情形較好。冰花於 0.5% 鹽度水耕下生長 30 天，移植至高鹽土壤的存活率皆為 100%，且生長情形較其他組別好。
12. 較低鹽度(0~1%)下的鹽土，冰花由種子開始種植，種植 30 天時，皆會吸收土壤中的無機鹽類，使得土壤電導值下降。在鹽度 1% 土壤中生長的冰花，能讓土壤電導度由 17.31 下降至 2.49，相對降幅最大。
13. 較高鹽度(3、5%及濕地)下的鹽土，先進行水耕(生長 30 天後)再移至土耕，能夠使土壤電導值下降。研究結果顯示冰花在 5% 的鹽土環境下生長，仍能吸收大量鹽類，使得土壤電導度大幅度下降。種植於附近濕地土壤的結果也顯示，冰花具有吸附土壤中無機鹽類的能力，具有改善土壤鹽化的可能。

小小冰花，大大驚奇。成株後不只是海水澆灌，即便在飽和鹽水下，仍可生長良好。讓人難以想像的耐鹽能力在我們的初步實驗探索中，初窺其奧秘。其耐鹽生理機制的詳細研究與日後的推廣應用，尚存在許多努力空間，希望本篇實驗能為日後研究立下小小基石，讓「冰、鹽逆險記」開拍續集呀！

捌、參考資料與其他

一、參考資料

1. 李郁淳(2014)。新興作物~冰花。臺南區農情月刊 213 期第三版。
2. 王定澤、巴洛克、楊茜雯(2016)。粟之高禾~探討小米不為人知的耐鹽機密。中華民國第 56 屆中小學科學展覽作品。
3. 彭佑寧(2006)。溼地的勇士~海茄苳呼吸根與抗鹽逆境之研究。中華民國第 48 屆中小學科學展覽作品。
4. 張永達(2009)。植物對鹽分逆境 (Salinity Stress) 的反應。取自：教育部高瞻自然科學教學資源平台。<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1077>
5. 陳慶芳(1995)。不同鹽分濃度對欖李種子發芽及幼苗生長之影響。嘉義農專學報 42:29-38
6. 邱志郁(1996)。植物王國裏的「大內高手」：紅樹林和沼澤環境的依存關係。中央研究院植物研究所。
7. 楊清富(2016)。魚菜共生的系統與方法。行政院農業委員會台南區農業改良場
8. 如何改善土壤鹽化問題。取自：
http://www.greenagro.net/ftp/writings/20131024_saline_soil/20131024_saline_soil.html
9. 許清水(2010)鹽地種出蕃茄報導。取自：<http://www.watchinese.com/article/2010/2305>

【評語】 030301

1. 此科展作品主題藉由觀察冰花在高鹽逆境下的生長情形及其關鍵時期，探討囊狀細胞在耐鹽所扮演的角色，最後評估冰花的推廣應用可行性，選題構想很好。
2. 研究忠實紀錄冰花在高鹽逆境下的各項觀察到的科學數據與資料，進行歸納與分析，進而推導出科學假說，整體邏輯思考性良好，但冰花生長與形態學的探討屬已知內容，高鹽適應期的分析亦已有文獻記載。
3. 所採用的實驗設計及方法大致合理可行，不過，在報告中均提到「各組 N=2，二重覆取平均值」，此敘述不是很明確，應該要詳述組別數、每組樣品數及重複次數。此外，建議可進行三重覆實驗，以利正確的統計分析。
4. 實驗數據雖顯示可降低水中含氮廢物及改善土壤鹽化，其可行性及實際應用性需再深入評估（要考慮魚的種類及大小、培養及種植的經濟效益）。此外，用外來物種的冰花來改善土壤鹽化的實驗之前，更應注意對生態影響之評估。全篇的原創性有些不足，實驗設計可更周詳。某些實驗設計（如將

冰花種植於飽和濃鹽水中)的基本科學概念不足，海水魚菜共生的應用探討應加入可供比較的對照組。

5. 同學報告態度誠懇，思慮清晰有條理，答題時有切中要領。

作品海報

摘要

「冰花」擁有令人驚訝的耐鹽能力，為了解鹽逆境下的生長，我們種植冰花並從種子開始記錄。水耕冰花在2%的鹽水中仍有80%以上發芽與存活率；0.5%及1%的鹽逆境下，冰花生長的速度較快，滲透實驗顯示，此濃度間為葉肉的等張溶液。經觀察發現，冰花葉上佈滿明顯的「囊狀」細胞，為儲鹽主要部位，水耕鹽度較高組別，其囊狀細胞內鹽度也會較高。囊狀細胞內的鹽度，葉柄(最大)至葉面有逐漸變小的趨勢。冰花在0.5%鹽度的水耕環境30天後，再移植至高鹽(5%)水耕或土耕環境，會有最佳的適應與生長。冰花有水中降低總氮的能力，具開發成「海水版」魚菜共生的潛力。冰花可使土壤電導度大幅度下降，顯示具有吸附土壤中無機鹽類的能力，具有改善土壤鹽化的可能性。

壹、研究動機

在網路上看到關於高經濟價值作物「冰花」的新聞，令人好奇的除了價格外，對於其生長描述更令人覺得十分特別，這是一種能夠耐鹽的作物。我們藉由這一系列實驗來了解這種植物的特殊習性。首先，由不同鹽逆境下冰花生長開始，接著探討讓冰花閃閃發亮的囊狀細胞與耐鹽的關聯。網路資料提及冰花幼年並不耐鹽，這更令我們想知道冰花在何時開始能適應鹽度提升的環境？在冰花應用上，我們想要嘗試「海水版」魚菜共生，了解水質改善可能，最後，我們想到部份台灣沿海地區的土壤鹽化情形嚴重，導致多數作物無法耕種，我們想要試試看冰花是否能在鹽化土壤生長並具有改善土壤鹽化可行性？

貳、研究目的

- 一、觀察冰花在鹽逆境下的生長情形
- 二、探討囊狀細胞在耐鹽所扮演的角色
- 三、探討冰花適應高鹽環境的關鍵期
- 四、探討冰花的應用可行性
 - (一)改善海水魚菜共生水質的可行性
 - (二)改善土壤鹽化的可行性

參、研究器材與設備

一、實驗材料：

冰花(*Mesembryanthemum crystallinum* L.)，番杏科、松葉菊屬，為雙子葉一年生植物。



圖5 冰花種子

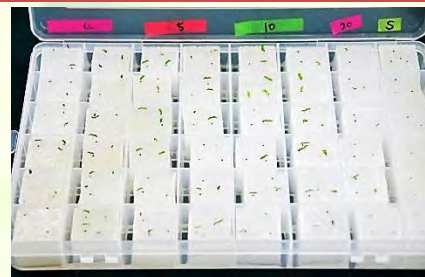


圖6 文具用的方格進行育苗



圖7 測量及記錄用器材

- 1. 水耕：透明水槽、燒杯、水耕培養棉、
- 2. 囊狀細胞：電子目鏡、筆電、鹽度計、微量滴管、投影片、方格紙
- 3. 魚菜及土壤鹽化：小丑魚、水缸、三用電錶等

二、鹽逆境配製與種植條件：

(一)鹽逆境：人工海鹽配製0、0.5、1、2、3%(二)室內光源：LED，光週期12hr(三)土壤鹽化：培養土加海水、濕地土壤

肆、研究過程與方法

一、冰花基礎資料

冰花原產南非海邊，為一種耐鹽植物，葉面上具有透明水珠的控鹽細胞，內含豐富的礦物質營養。

文獻指出：冰花在幼苗時並不耐鹽，在特定的生長期間若遭受到高鹽或是乾旱等逆境，會誘導特定的反應以適應逆境，發育至成熟階段時，冰花植株對鹽分環境的耐受性提高。

二、實驗流程

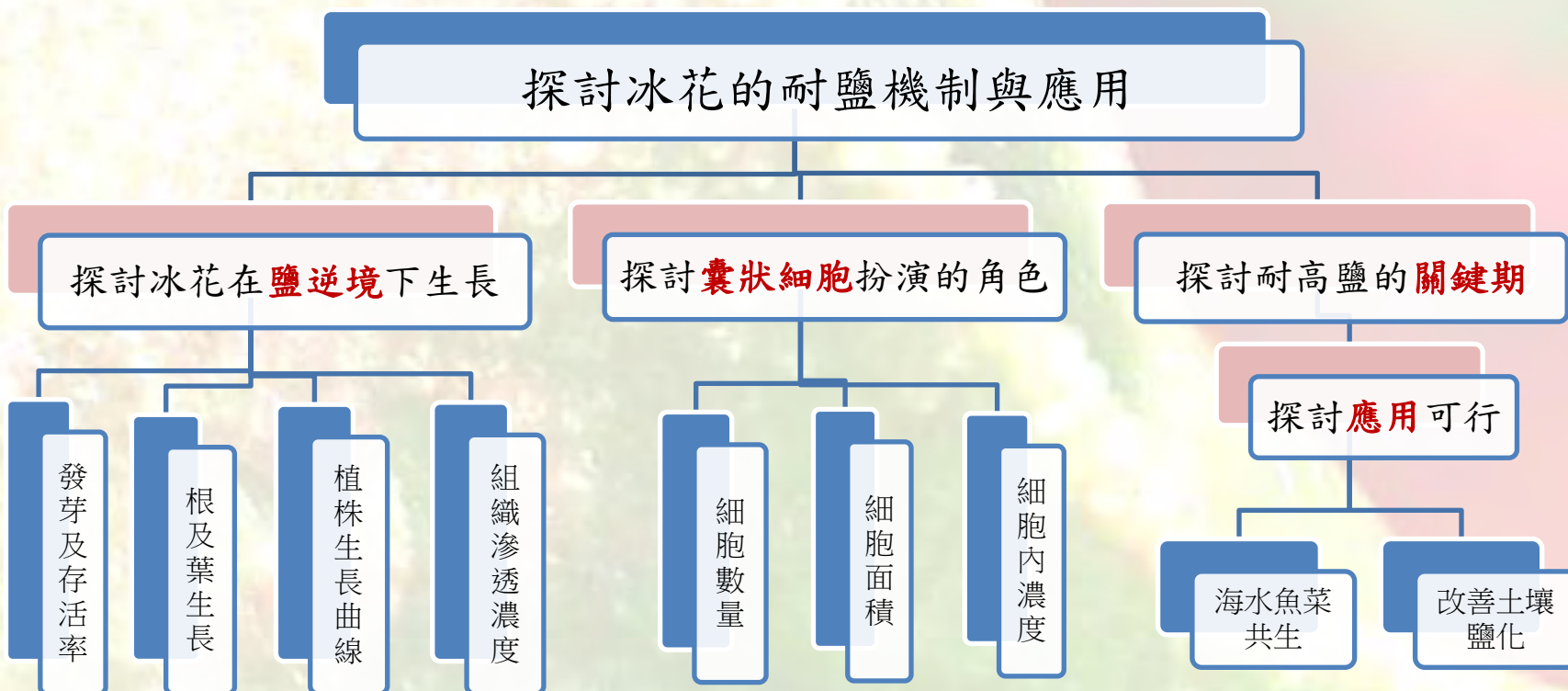


圖8 冰花葉子為對生(最下為第1對)

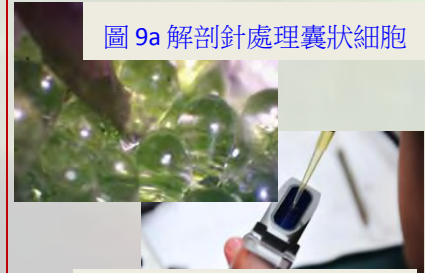


圖9a 解剖針處理囊狀細胞



圖9b 取出液體置於鹽度計



圖10 海水魚缸加冰花組

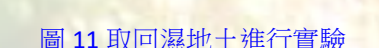


圖11 取回濕地土進行實驗

伍、研究結果

一、觀察冰花在鹽逆境下的生長情形

(一)不同鹽逆境下的發芽及存活率

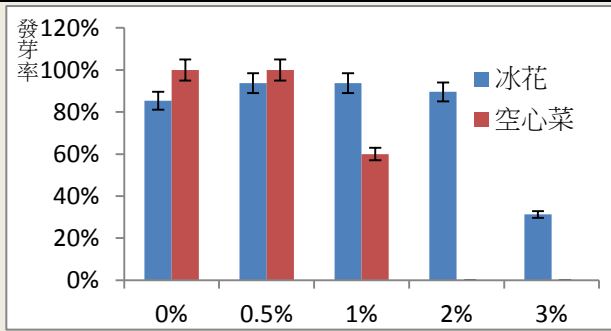


圖 12a 不同鹽逆境下的發芽率

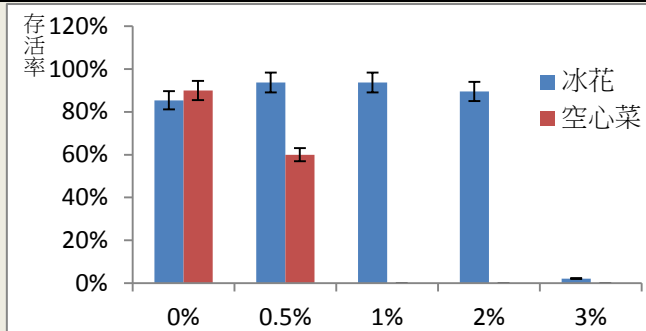


圖 12b 不同鹽逆境下存活率(生長出第 2 對葉)

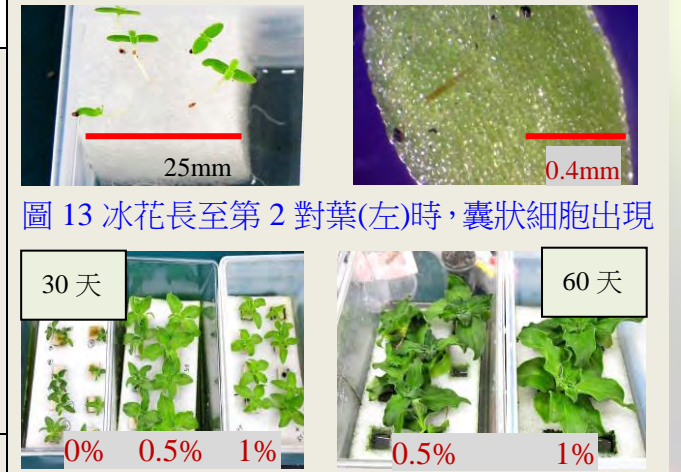


圖 13 冰花長至第 2 對葉(左時, 囊狀細胞出現

圖 14 水耕冰花於不同鹽逆境下比較

水耕於不同鹽逆境的發芽率結果, 除了相當於海水濃度的 3% 外, 大致皆有 80% 以上。

冰花除 3% 鹽逆境外, 有 80% 以上存活率, 對照組空心菜則於 0.5% 鹽度下出現鹽害現象。

(二)不同鹽逆境下的根葉生長情形

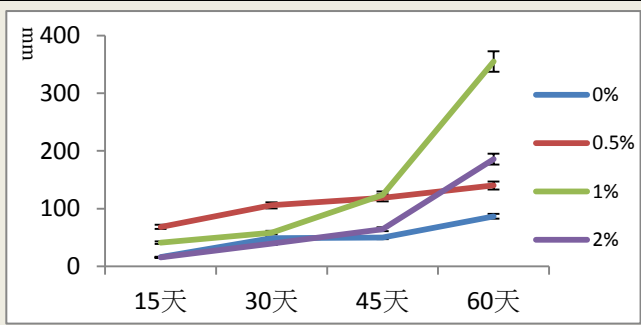


圖 15a 不同鹽逆境下, 不同天數的根長比較

根長測量上, 生長 30 天時, 1% 的組別可能已適應鹽度環境, 根開始生長加快。

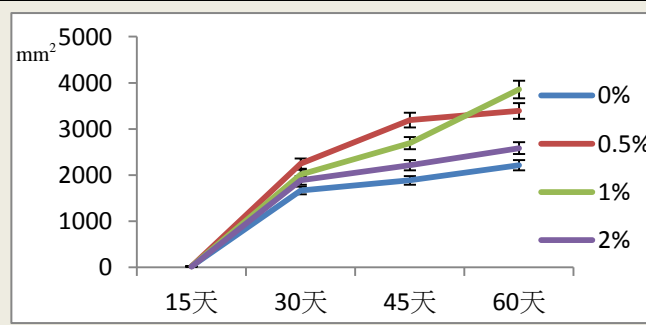


圖 15b 不同鹽逆境下, 不同時間最大葉面積

測量結果與根長有類似的結果, 60 天前以 0.5% 及 1% 的鹽度下具有最大葉面積。

(三)不同鹽逆境下的生長曲線

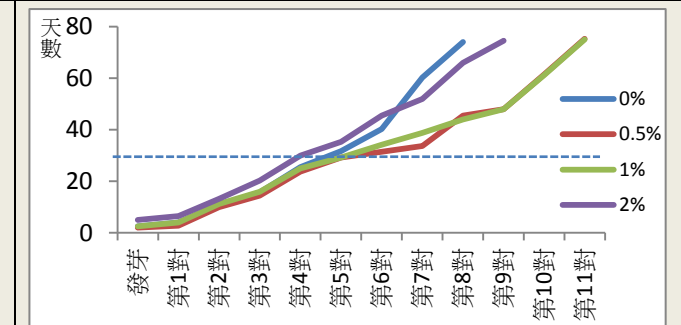


圖 16a 不同鹽逆境下, 冰花生長曲線的比較

圖中縱軸表示天數, 時間愈短表示生長速度愈快, 0.5 及 1% 的鹽逆境, 冰花生長速度較快。

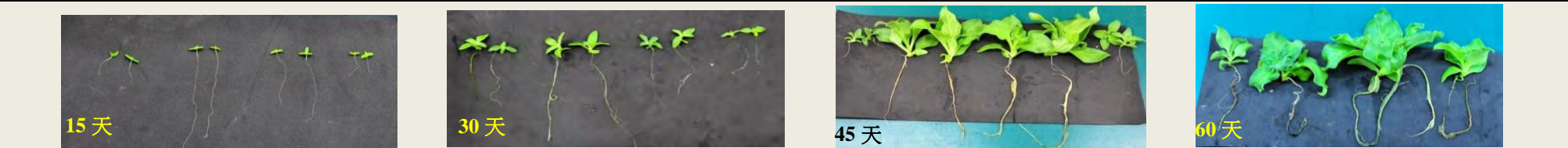


圖 16b 不同鹽逆境下(左至右為 0、0.5、1、2%), 不同生長天數的根及葉長

(四)探討冰花葉肉組織細胞的滲透濃度

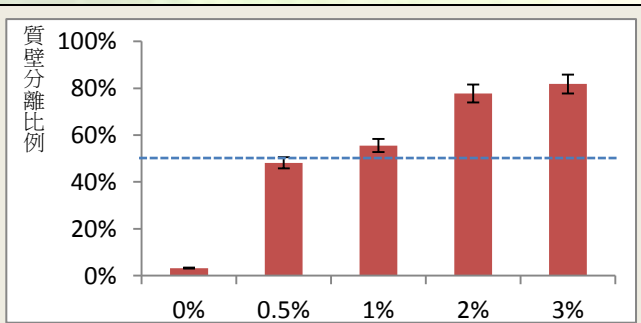


圖 17a 不同鹽濃度, 葉肉組織質壁分離比例

浸於鹽濃度為 0.5~1% 的溶液, 組織細胞發生質壁分離比例接近 50% (此濃度為等張溶液)

(五)特別型態發生~花青素的形成條件

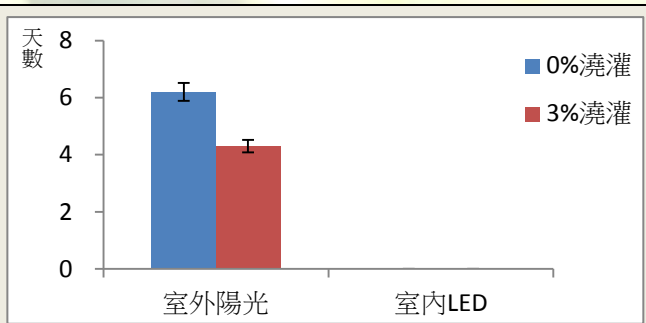


圖 18a 不同光源及澆灌鹽度, 花青素出現時間

室外陽光, 以 3% 海水濃度澆灌組, 花青素較快出現; 室內 LED 組則無花青素生成。

質壁分離現象

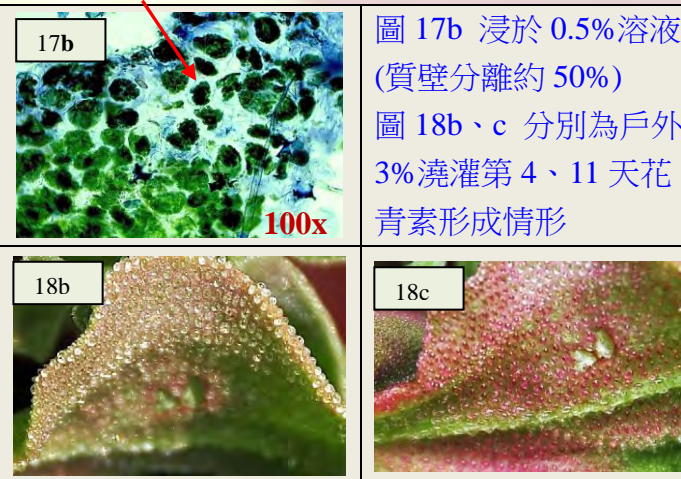


圖 17b 浸於 0.5% 溶液 (質壁分離約 50%)
圖 18b、c 分別為戶外 3% 澆灌第 4、11 天花青素形成情形

二、探討囊狀細胞在耐鹽所扮演的角色

(一)探討冰花不同部位的儲鹽情形

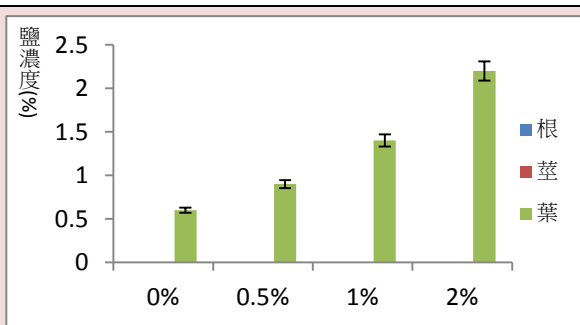


圖 19 冰花根、莖、葉的含鹽比較

由外部型態觀察及不同部位含鹽比較結果, 葉上的囊狀細胞可能是儲鹽的部位

(二)不同鹽逆境, 囊狀細胞的數量比較

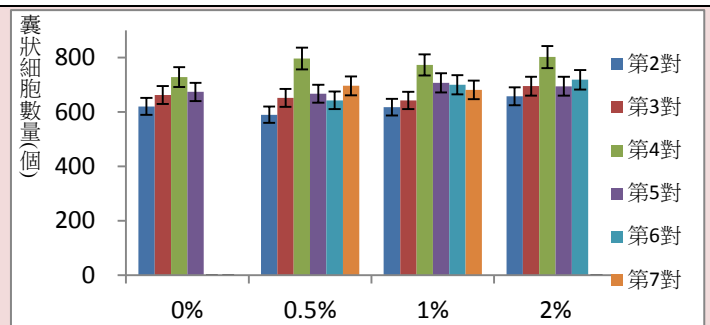


圖 20 冰花葉(正反面)囊狀細胞數量比

生長至 45 天冰花, 第 2 對(老葉)至新葉的分佈, 以中間(第 4 對)葉具有最多的囊狀細胞數目。

(三)不同鹽逆境, 囊狀細胞在不同區域面積比較

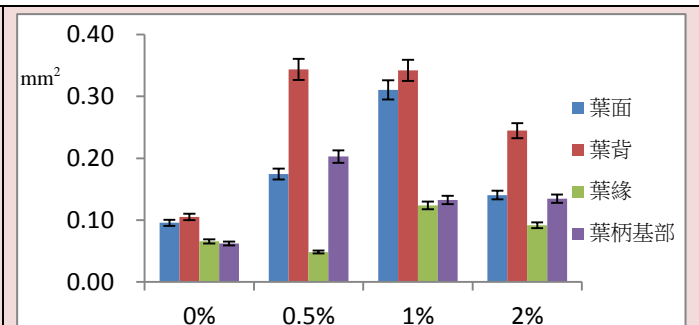


圖 21 第 4 對葉片不同區域囊狀細胞面積平均

生長至 45 天冰花, 以葉背的囊狀細胞面積相對較大, 其餘區域則無明顯的差別



圖 22 囊狀細胞於葉上分佈的情形。(第 4 對葉片、2% 鹽度下)

囊狀細胞的數量分佈及不同區域的面積大小與鹽逆境之間似乎沒有明顯的關聯性, 因此進行囊狀細胞內液體濃度量測。

(四)探討不同鹽逆境, 囊狀細胞的濃度差異

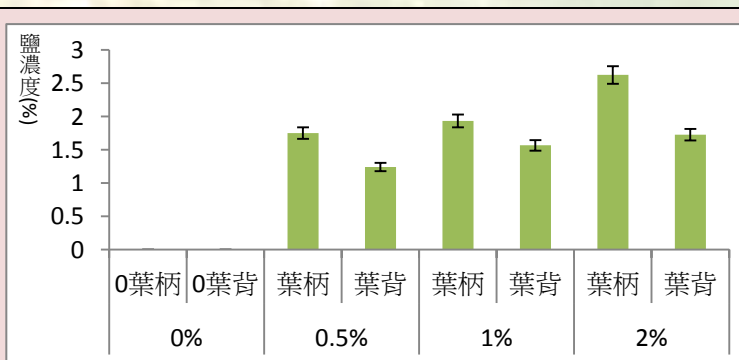


圖 23a 不同鹽逆境下, 不同部位的囊狀細胞濃度比較

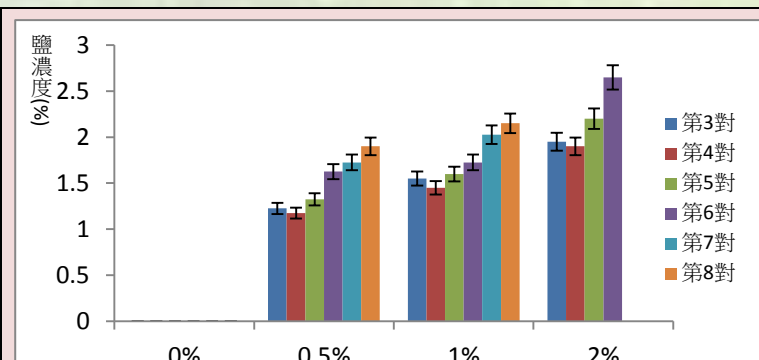


圖 23b 不同鹽逆境下, 不同對葉的囊狀細胞濃度比較

生長 45 天冰花的囊狀細胞濃度比較, 單一葉片葉柄及葉背的囊狀細胞濃度之 $p < 0.05$, 而不同對葉的囊狀細胞濃度則以接近新葉(第 6~8 對)鹽度最高。冰花單一葉片囊狀細胞鹽濃度在葉柄最大, 進入葉面則變小, 水耕環境鹽度則會影響囊狀細胞內濃度。

三、探討冰花適應高鹽環境的關鍵期

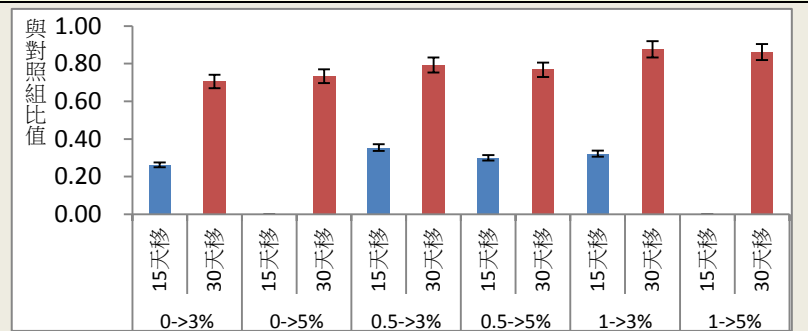
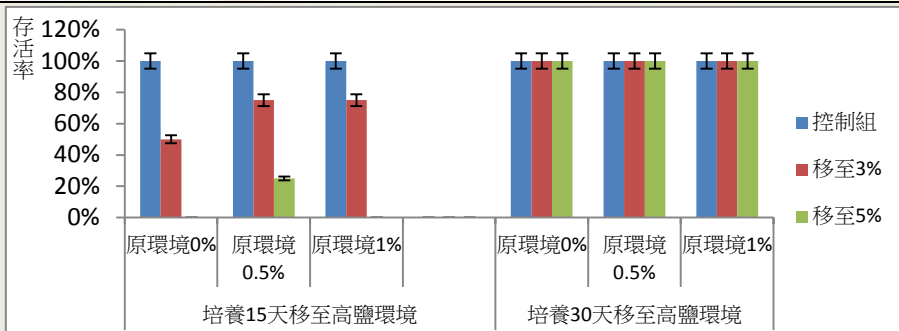


圖 24a 不同培養時間點，轉至高鹽環境後 30 天之存活率。

圖 24b 不同時間培養，轉高鹽後 30 天質量增加率比值

冰花生長至 15 天(第 2 對葉)、30 天(第 5 對葉)，移至高鹽水耕環境結果，培養 30 天再轉至高鹽組別，存活率皆為 100%；並以質量增加率來了解生長情形，結果顯示冰花生長至 30 天後，較能適應高鹽環境(質量增加率皆大於 0.5)。

四、探討冰花的應用可行性

(一)作為改善海水魚菜共生水質的可行性

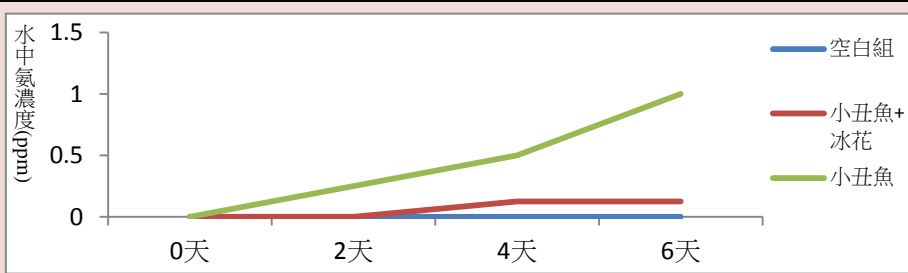


圖 25 不同條件下，水中含氮廢物(氨)的比較

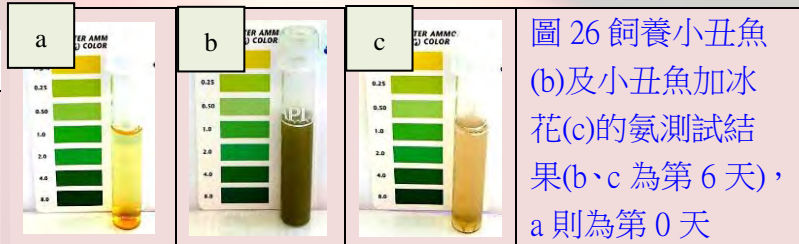


圖 26 飼養小丑魚(b)及小丑魚加冰花(c)的氨測試結果(b、c 為第 6 天)，a 則為第 0 天

初步的實驗結果顯示，加入冰花的海水魚缸(第 2 天氣緩慢上升)，具維持水中含氮廢物於較低濃度的能力

(二)作為改善土壤鹽化的可行性

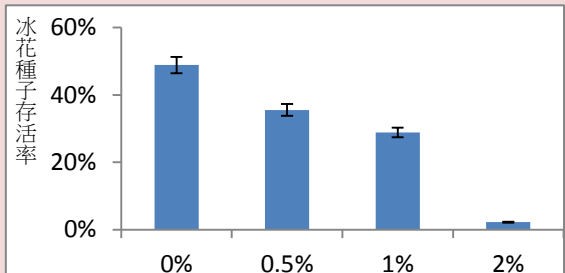


圖 27a 種子於不同鹽化程度土壤存活率

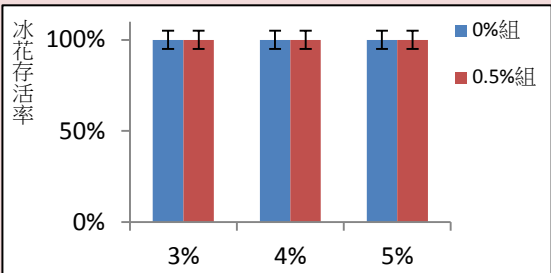


圖 27b 水耕 30 天後移至土耕之存活率

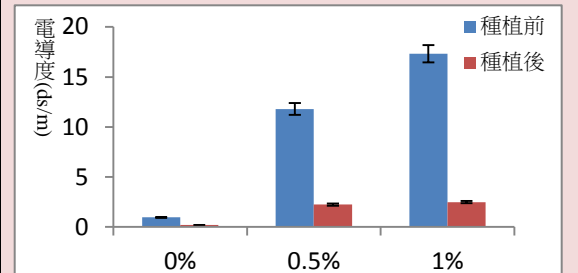


圖 28 種子種植 30 天後土壤電導度

由結果可知，種子幾乎無法在高鹽度(>2%)土壤生長，但水耕 30 天再土耕則可以

低鹽度土壤以種子種植，電導度皆下降

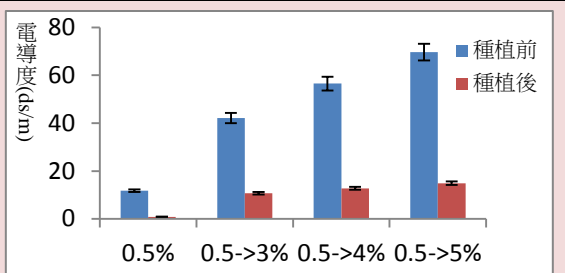


圖 29a 0.5%水耕轉土耕 30 天後電導度

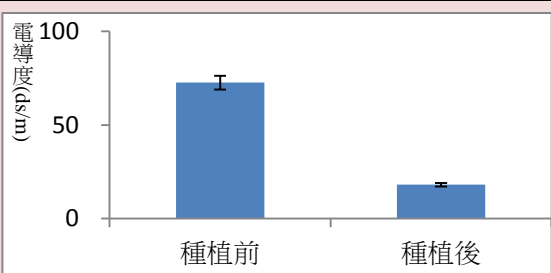


圖 29b 30 天水耕轉附近濕地土壤電導度



圖 29c f 種子種植(0.5%) g 水耕 30 天種濕地土 h 移濕地土 30 天情形

高鹽度土壤，以水耕 30 天後轉土耕(模擬及濕地土)，冰花能吸附鹽類降低電導度

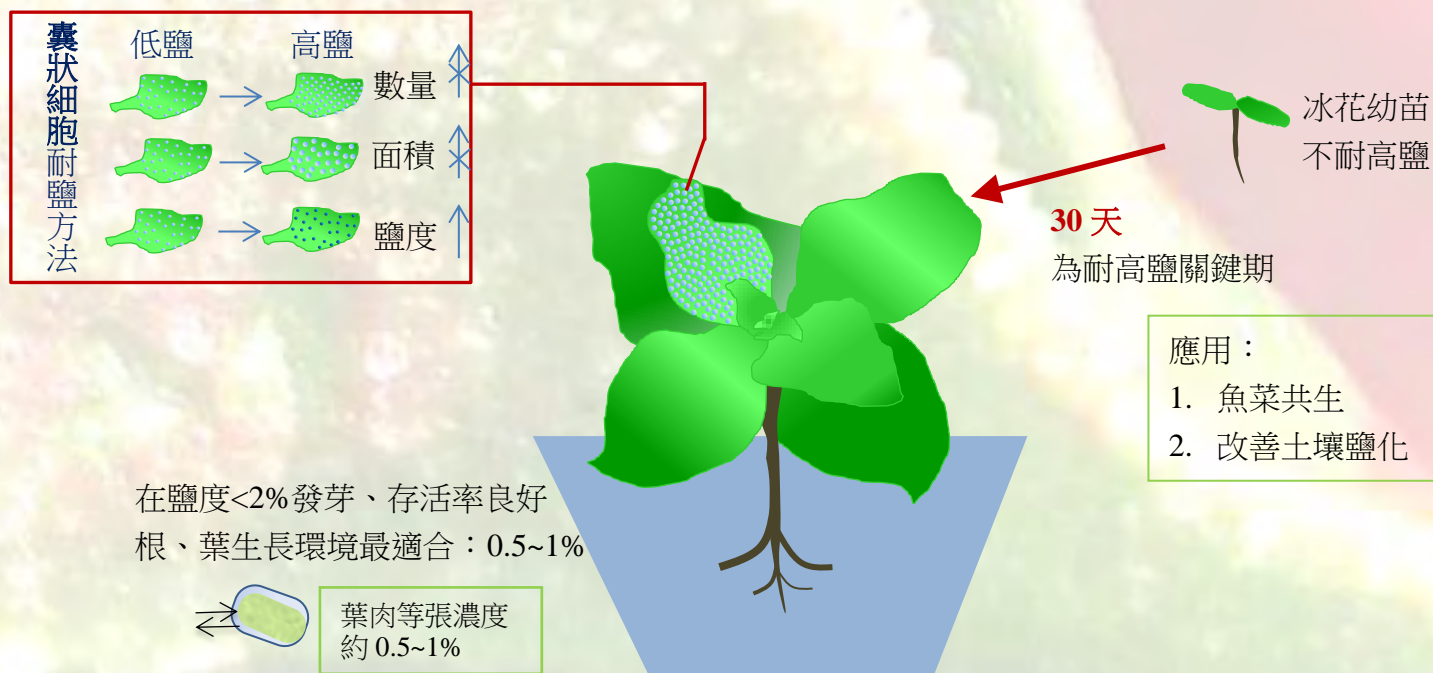
陸、討論與結論

在台灣鹽漬土的面積，約 5 萬 3 千多公頃，大多發生在台灣西部沿岸，近年，從雲林、屏東、甚至到宜蘭都有土壤鹽化面積日趨擴大現象，對農業衝擊顯著。如何預防與改善土壤鹽化，也成了更需要被關注的議題。

0%	0.5%	1%、2%、3%
淡水環境	一般植物鹽害上限	高鹽度環境，3%為海水濃度、紅樹林能生長

土壤鹽化嚴重時，一般植物很難成活。原產自非洲的「冰花」，擁有令人驚訝的耐鹽能力，能在高鹽環境生長良好，但文獻上對於其鹽逆境下的生長及生理機制的描述卻相對缺乏。為了進一步了解，我們從種植冰花種子開始紀錄，找尋耐鹽能力的關鍵時間點，並對其生長做紀錄、探討其與魚菜共生及土壤鹽化改善方面的應用，獲得以下討論與結論：

實驗中，我們發現了耐高鹽的關鍵期為 30 天，此時約為第 4 對葉形成，而第 4 對葉片的囊狀細胞數量也是最多的，在冰花的耐鹽情形中，我們很好奇第 4 對葉扮演了什麼樣的關鍵角色，這是一個值得深入探討的方向。



小小冰花，大大驚奇。成株後不只是海水澆灌，即便在飽和鹽水下，仍可生長良好。讓人難以想像的耐鹽能力在我們的初步實驗探索中，初窺其奧秘。其耐鹽生理機制的詳細研究與日後的推廣應用，尚存在許多努力空間，希望本篇實能為日後研究立下小小基石，讓「冰、鹽逆險記」開拍續集呀！

柒、參考資料

1. 彭佑寧(2006)。溼地的勇士~海茄苳呼吸根與抗鹽逆境之研究。中華民國第 48 屆中小學科學展覽作品。
2. 張永達(2009)。植物對鹽分逆境的反應。取自：<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1077>
3. 邱志郁(1996)。植物王國裏的「大內高手」：紅樹林和沼澤環境的依存關係。中央研究院植物研究所。