

新北市 104 學年度中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：植物學科

組 別：高中組

作品名稱：馬齒突長~馬齒莧科植物超進化型態之研究

關鍵詞：馬齒莧、維管束鞘、C 3-C 4 交替型

編 號：



馬齒突長~馬齒莧科植物超進化型態之研究

作品說明書目錄

摘要	1
壹、研究動機	1
貳、研究目的	1
參、研究設備及器材	2
肆、研究過程或方法	2
伍、研究結果	5
陸、討論	13
柒、結論	15
捌、參考資料	16

馬齒突長~馬齒莧科植物超進化型態之研究

摘要

馬齒莧生命力強健，全株營養豐富，含有人類不能有效在體內合成的 Ω -3 脂肪酸等，極具發展成為實用與藥用價值新興蔬菜的潛能。本實驗透過持續光照與水份控制處理下，由結果顯示馬齒莧科之芽體枝條經保鮮瓶套袋經光照培植測試可持續生長；馬齒莧與樹馬齒莧芽點以藻膠酸鈉包覆形成造粒誘導再生約有 20~30% 存活率，乾燥後復水亦有芽點存活 10 天的效能。依形態在逆境下變化配合與二氧化碳濃度測試，了解馬齒莧科有可能為環境驟變時為適應存活而轉換使用 C4 型或 C3 與 C4 型中間型生理代謝，而樹馬齒莧在遇乾旱逆境時也傾向由 C3 轉換為 CAM 型碳固定之運作，使生長速率減緩而提高自身的存活率。

壹、研究動機

生物課本提到影響光合作用的因子有生物與非生物因素，連想到家裡種的馬齒莧為何能展現極強的生命力，依文獻蒐集了解這類植物在光合作用中碳的固定與耐旱的型態進化機制一直是耐人尋味的，有鑒於未來溫室效應造成環境氣候變遷日趨嚴重，所以想藉由馬齒莧科植物逆境處理來觀察型態變化差異，並以藻膠酸鈉包覆馬齒莧芽體人工造粒方式，進一步探討馬齒莧抗逆境存活再生進化的機制，以利未來環境驟變時植物馴化型態轉換的參考。

貳、研究目的



- 一、比較不同碳固定作物種類與馬齒莧科植物生理代謝的差異
- 二、探討以光照與水分逆境處理馬齒莧科植物頂芽枝條存活的潛能
- 三、研究不同逆境處理馬齒莧科植物外表與解剖顯微觀察型態的轉換
- 四、測試馬齒莧科植物以頂芽造粒誘導活體再生長根超進化與可馴化能力

參、研究設備與器材

一、使用設備器具材料

電子秤、游標尺、PH 廣用試紙、數位相機、試管架、複式顯微鏡、藻膠酸鈉、量杯、解剖顯微鏡、二氧化碳偵測器、植物生長箱、保鮮管、透明塑膠杯、搗鉢、塑膠滴管、5~8 號封口袋、量筒、氯化鈣、蔗糖、馬齒莧、紅梗馬齒莧、松葉牡丹、樹馬齒莧

二、設備器材示意圖





			
電子秤	游標尺	PH 廣用試紙	藥品
			
解剖顯微鏡	二氧化碳偵測器	植物生長箱	保鮮管
			
紅象草	馬齒莧	豌豆	石蓮
			
落地生根	樹馬齒莧	紅梗馬齒莧	松葉牡丹

肆、研究過程與方法

一、比較不同碳固定作物種類與馬齒莧科植物生理代謝的差異

將不同二氧化碳固定類型的植物(紅象草 *Pennisetum purpureum schumab cv.*、馬齒莧 *Portulaca oleracea Linn.*、豌豆 *Pisum sativum L.*、樹馬齒莧 *Portulacaria afra*、石蓮 *Graptopetalum paraguayense*、落地生根 *Bryophyllum pinnatum*)等，剪取重量一致莖葉約

15 克，用搗鉢搗取莖葉汁液，分別以 PH 廣用試紙測試 PH 值；將這些植物以顯微鏡觀察氣孔的差異，並分別剪取重量長度大約一致的枝葉裝進封口袋，放置自然環境下，每隔 12 小時以二氧化碳偵測器偵測記錄 CO₂濃度變化，再觀察封口袋內所剪取的枝葉維持存活的情形。

			
1.秤同重量莖葉	2.取莖葉汁液測 PH 值	3.以顯微鏡觀察氣孔	4.測 CO ₂ 濃度變化

二、探討以光照與水分逆境處理馬齒莧科植物頂芽枝條存活的潛能


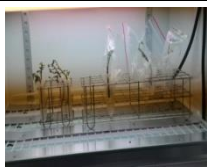

取長度約 15 公分的馬齒莧(*Portulaca oleracea* Linn.)、樹馬齒莧(*Portulacaria afra*) 頂梢枝條，依環境控制項設計分別插放入加水 10 cc、2 cc、0 cc 的保鮮瓶每瓶一枝各 36 瓶，其中 18 個各別放入封口袋，將這些材料放置在自然光照環境與固定每天 24 小時約 35 燭光光照處理和不透光的瓦楞紙箱子內，三種光處理參試植物各 2 瓶重複，定時觀察記錄其二氧化碳濃度及生存情況差異。

			
1.取同長度葉片數枝條	2.枝條插入保鮮瓶	3.部分套上封口袋	4.固定於紙箱內暗處理

三、研究不同逆境處理馬齒莧科植物外表與解剖顯微觀察型態的轉換




溫度逆境實驗，將紅梗馬齒莧(*Portulaca oleracea* L.)、馬齒莧(*Portulaca oleracea* Linn.)、樹馬齒莧(*Portulacaria afra*)、松葉牡丹(*Portulaca grandiflora* Hook.) 3 吋盆栽加水杯，及分別剪取約 15 公分長枝條裝入加有 10cc 水的保鮮管中每種各 8 瓶，每種參試植物各取 2 瓶分別套上封口袋以便偵測紀錄二氧化碳濃度變化，再分別將這些參試材料依處理設計分別放於恆溫 25°C 12 小時光照的生長箱與對照組自然環境(2 月份戶外平均溫約 10°C、光照約 8 小時)，定時測量二氧化碳濃度變化並持續觀察生長型態的差異。於 14 天

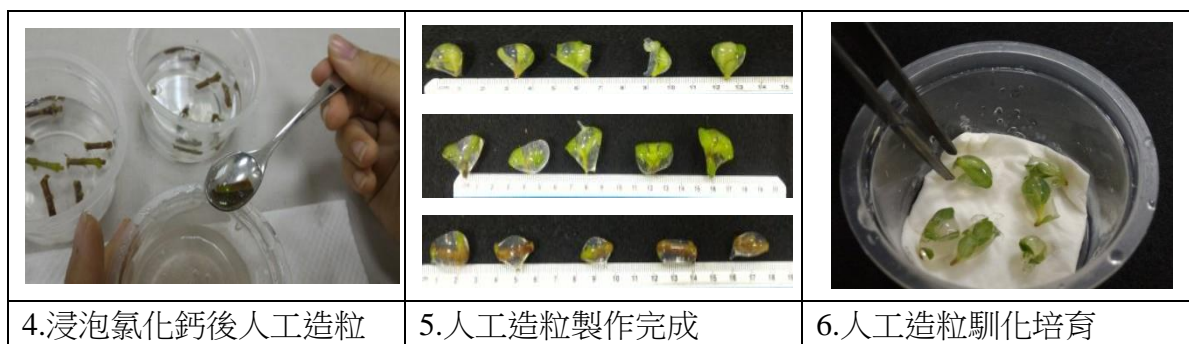
後取出，連同實驗(二)水分與光照逆境實驗的參試植物一併取樣觀察並比較外表及莖葉橫切面在解剖顯微鏡下型態差異變化。

			
1.置入保鮮管中	2.分組放入生長箱中	3.於生長箱中的情形	4.對照組盆栽觀察
			
5.自然環境袋內材料	6.切取莖及葉橫切面	7.製作完成的切片	8.以解剖顯微鏡觀察

四、測試馬齒莧植物以頂芽造粒誘導活體再生長根超進化與可馴化能力

馬齒莧及樹馬齒莧頂芽生長點和樹馬齒莧帶芽枝條直徑約 0.3 公分，分別取下長度約 1~1.5 公分作為參試材料備用。先將藻膠酸鈉分別以 1%糖水及純水加熱溶解後調成 4%膠狀藻膠酸鈉溶液，再將各生長點及帶芽枝條(培植體)分別放入在溫水隔水保溫的藻膠酸鈉溶液，取出裹上藻膠酸鈉的培植體分別再浸於 4%氯化鈣水溶液中使表面凝固，5 分鐘後以湯匙取出並置於清水杯中洗滌完成頂芽與帶芽枝條造粒。將造粒後培植體各 5 個放入底面鋪紙巾加 5 cc水分的透明布丁杯中加上蓋子置於恆溫 25°C 12 小時光照的生長箱，定時加水及觀察記錄培植體存活差異。各取 5 個造粒培植體一樣放入透明杯不加蓋子，每種作物兩個重複且定時稱重量變化，7 天後覆水吸水後再放入加水的透明杯中加上蓋子觀察記錄培植體存活生長的差異。此外將實驗(二)及實驗(三)的枝條，也做持續觀察存活枝條長根與型態轉換生長馴化的變化。

		
1.取馬齒莧頂芽生長點	2.樹馬齒莧頂芽生長點	3.生長點裹上藻膠酸鈉



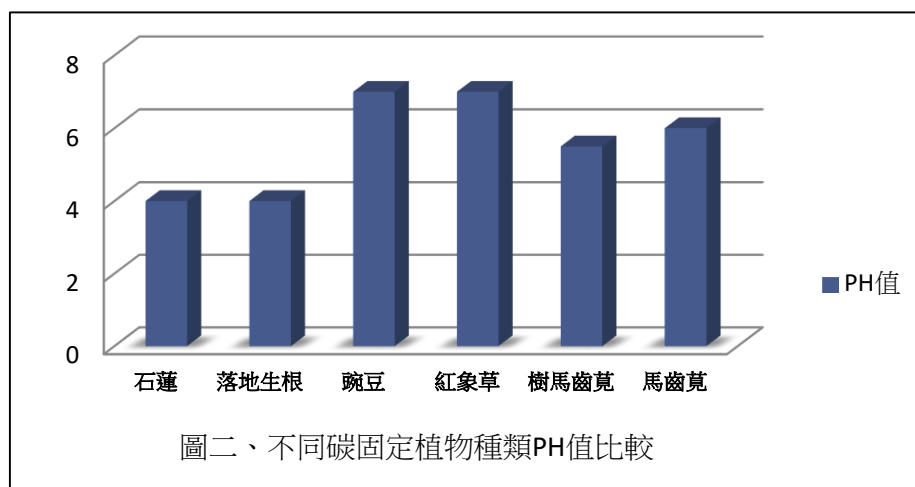
伍、研究結果

一、比較不同碳固定作物種類與馬齒莧科植物生理代謝的差異

(一) 不同碳固定作物種類測試莖葉枝液 PH 值結果如圖(一、二)，顯示 CAM 植物如景天科石蓮、落地生根 PH 值達 4 以下呈酸性，C4 植物禾本科紅象草及馬齒莧科的馬齒莧與 C3 植物豆科的豌豆皆呈現中性或弱酸性，樹馬齒莧則 PH 值達 5.5 左右較偏中弱酸。

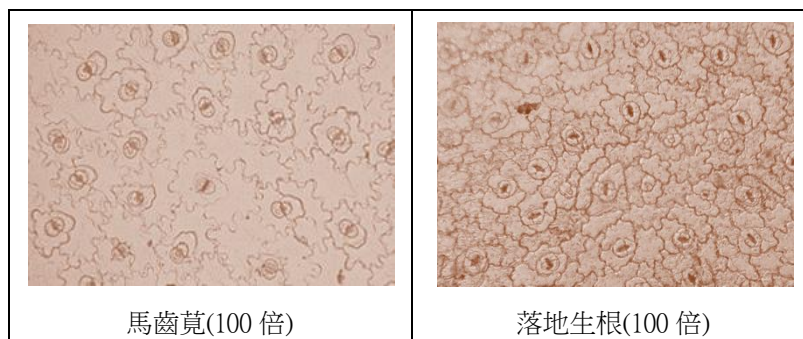


圖一、不同碳固定作物種類測試莖葉枝液 PH 值結果



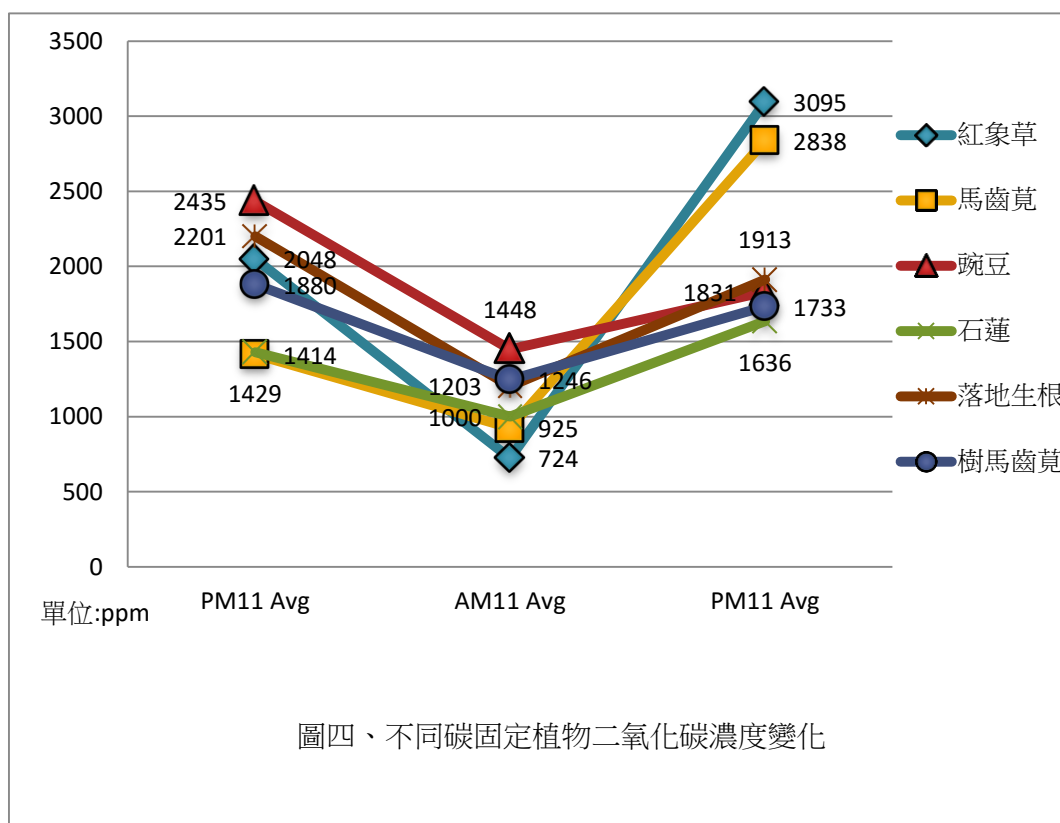
圖二、不同碳固定植物種類PH值比較

(二)不同碳固定作物種類葉片氣孔的差異如圖(三)，型態樣貌皆不同，以馬齒莧所觀察測得氣孔大小長約 $3.85 \pm 0.36 \mu\text{m}$ 、寬約 $3.12 \pm 0.12 \mu\text{m}$ (Mean \pm S.E)，與 CAM 植物的落地生根氣孔相比較大，但每單位面積出現氣孔頻率指數百分比較低即氣孔數量較少。



圖三、不同碳固定作物種類葉片氣孔之比較

(三)不同碳固定作物種類葉片氣孔的差異如圖(四)，C4 植物紅象草與馬齒莧晚上二氧化碳較高 3095 與 2838 ppm，白天則因光合作用行碳固定所測得 CO_2 濃度平均值較低約 724 與 925 ppm，CAM 落地生根、石蓮晚上所測得 CO_2 濃度平均值較低約 1636 與 1831 ppm，較特別是同樣馬齒莧科的樹馬齒莧跟馬齒莧兩者所測得 CO_2 濃度平均值大相逕庭。



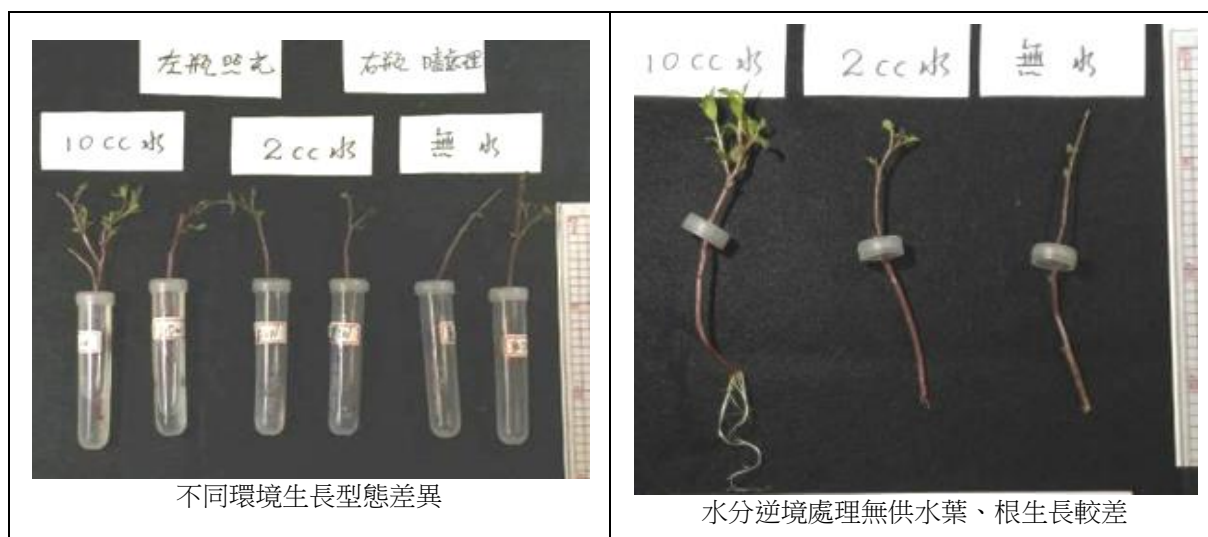
圖四、不同碳固定植物二氧化碳濃度變化

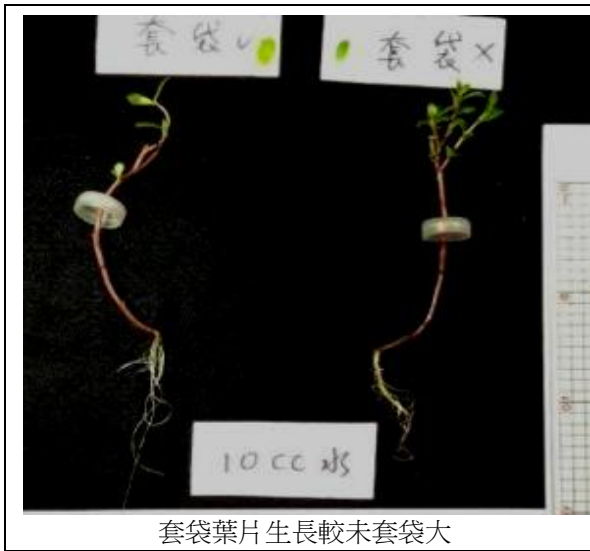
二、探討以光照與水分逆境處理馬齒莧科植物頂芽枝條存活的潛能

馬齒莧科植物以光照和水分逆境處理與自然對照組生長差異如圖(五)，光照處理加水 10 cc處理經 3 星期後平均長出 5 片葉且莖基部長根、無落葉現象；加水 2 cc的平均長出 3 片葉且無長根、有落葉；光照未加水處理僅落葉剩下 1~2 片葉子且無長根。暗處理皆莖基部未長根，加水 10 cc葉子較光處理加水 10 cc的葉片稀疏很多，加水 2 cc的亦是如此，葉片數平均僅剩 1~2 片。有套袋的光處理較未套袋葉片生長較大，莖長與發根數較長較多。

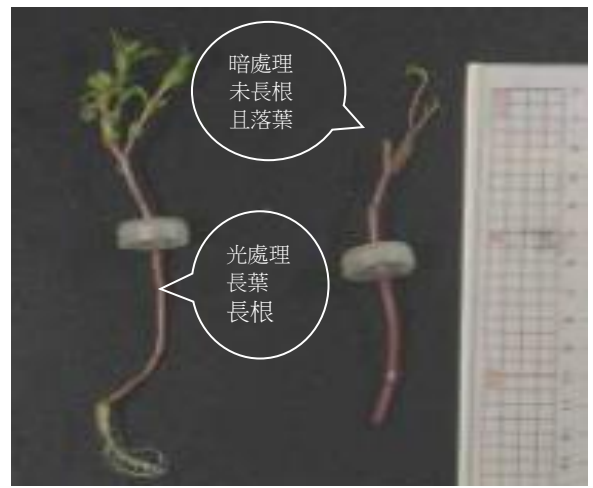
樹馬齒莧在面對光處理、暗處理及水分逆境時如圖(六)，不似馬齒莧，觀察生長雖較緩慢，但光處理較暗處理、有套袋較未套袋都生長較好。光處理在水分 2 cc跟 10 cc 生長差異不大，僅暗處理葉片數量相對較少但經 3 星期葉片還宿存 3~4 片。

馬齒莧與樹馬齒莧在不同環境處理測試二氧化碳濃度結果如表(一)，在不同時段測得兩種參試材料所呈現的二氧化碳濃度平均值並不同，無光照且無加水處理二氧化碳濃度平均值皆較有加水、有照光的高，顯示持續進行耗能動作，較少進行光合作用。持續照光較自然光照處理的二氧化碳濃度平均數值高低變化大，且二氧化碳濃度平均數值較低，顯示二氧化碳的利用率較自然光照與無光照處理的高。



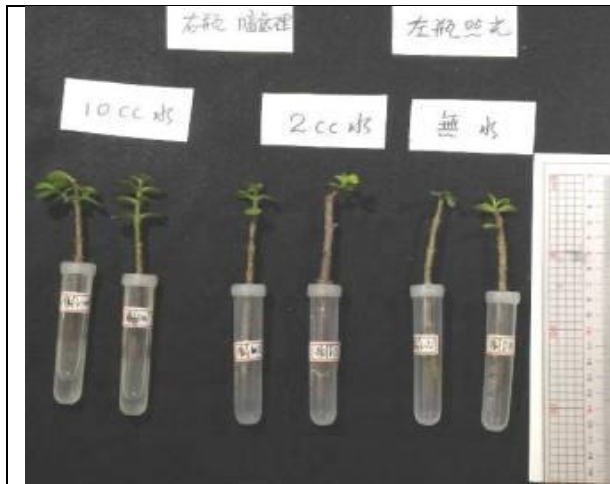


套袋葉片生長較未套袋大



不同光照處理生長差異

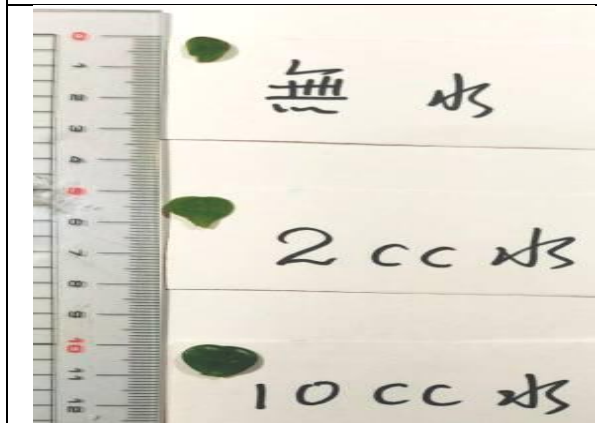
圖五、馬齒莧頂梢枝條以光照與水分逆境處理生長差異



不同環境生長型態差異



水分逆境處理供水葉片生長較佳



樹馬齒莧水分逆境處理葉片大小差異



自然環境對照組(左)光處理(右)生長差異

圖六、樹馬齒莧頂梢枝條以光照與水分逆境處理生長差異

表一、馬齒莧與樹馬齒莧在不同環境處理二氧化碳濃度差異調查表

測試時間 作物種類	12/27(22:00)		12/28 (18:00)		12/29(10:00)	
處理項目	馬齒莧 CO ₂ Avg	樹馬齒莧 CO ₂ Avg	馬齒莧 CO ₂ Avg	樹馬齒莧 CO ₂ Avg	馬齒莧 CO ₂ Avg	樹馬齒莧 CO ₂ Avg
24hr 光照 +10cc 水	1167	1312	956	985	874	973
24hr 光照 無加水	1143	1325	959	988	924	1159
無光照 +10cc 水	1337	1390	1150	1226	1090	1276
無光照 無加水	1346	1512	1161	1203	1121	1446
自然光照 +10cc 水	1402	1318	1139	1042	1365	1239
自然光照 無加水	1355	1267	1084	1008	1160	1311

註:1. CO₂Avg 二氧化碳平均值，單位:ppm

2.無加水:保鮮瓶內位置水，+10cc 水: 保鮮瓶內位置水 10cc

三、研究不同逆境處理馬齒莧科植物外表與解剖顯微觀察型態的轉換

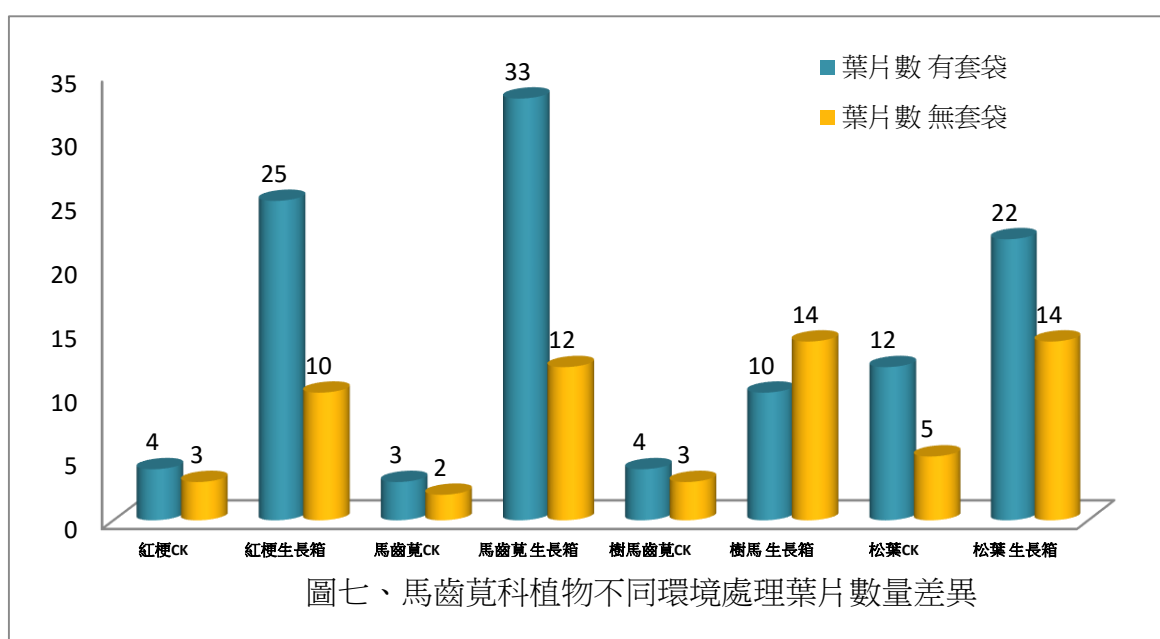
比較溫度逆境實驗，置於恆溫 25°C 每天光照 12 小時生長箱比自然環境對照組保鮮瓶枝條與盆栽植株生長 14 天的結果皆顯示在葉片數、葉寬、根長及生根數均較佳如表(二)。分別比較有套袋與無套袋的葉片數生長差異，經套袋皆可增加葉片數，只有生長箱的樹馬齒莧未套袋數量較套袋平均多增加 4 片，馬齒莧放置生長箱內有套袋葉片增加數量最多達 33 片，自然對照組因戶外氣溫下降有還害凍傷葉片數增加少且平均生長的葉寬也較小如圖(七)。在不同環境處理測試馬齒莧科植物二氧化碳濃度結果如表(三)，生長箱內各參試材料所呈現的二氧化碳濃度平均值皆比自然環境對照組低，顯示無低溫寒害且光照穩定的環境下二氧化碳利用率相對較高。在均一生長箱設定的環境內各參試材料所呈現的二氧化碳濃度彼此未必相同，但下午 4 點進入暗期前二氧化碳濃度平均值普遍有降低的趨勢。

在所有參試馬齒莧科分析的樣品葉與莖橫切面中，除樹馬齒莧維管束鞘較不明顯外，其餘都有明顯 C4 植物所擁有的特徵維管束鞘如圖(八、九)。葉解剖也觀察到有些馬齒莧科植物具有 C3 植物特點，非靠近維管束鞘的遠軸面，葉肉細胞與海綿組織較膨大鬆散，柵欄葉肉細胞有更多蓄水細胞，當這些植物受寒害或乾旱時維管束鞘遠軸側的葉肉細胞會扭曲變形，葉片上的葉綠體所呈現 Z 字圖也會跟著變化，這可能是型態為適應環境驟變時所表現的轉換如圖(十)。

表二、不同馬齒莧科植物生長環境改變形態差異調查紀錄表

作物種類與處理	長葉片數		平均葉寬 (單位 mm)		長根數	
	有	無	有	無	有	無
紅梗馬齒莧 CK	4	3	2.8	2.2	3	0
紅梗馬齒莧生長箱	25	10	5.6	4.2	6	3
綠梗馬齒莧 CK	3	2	3.7	3	1	0
綠梗馬齒莧生長箱	33	12	5.4	4	7	5
樹馬齒莧 CK	4	3	4	3.6	2	0
樹馬齒莧 生長箱	10	14	8.8	5.8	5	2
松葉牡丹 CK	12	5	2.1	1.7	3	2
松葉牡丹 生長箱	22	14	2.5	2.3	6	3

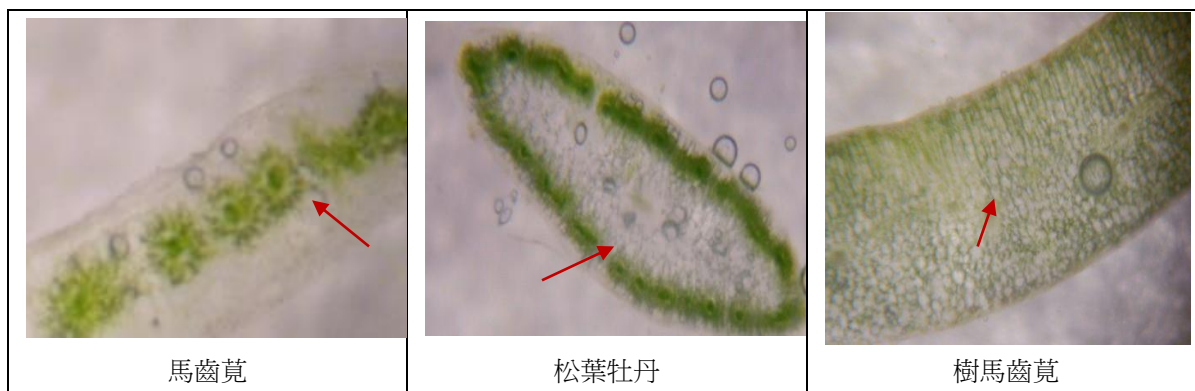
備註：有(有套袋)，無(未套袋)



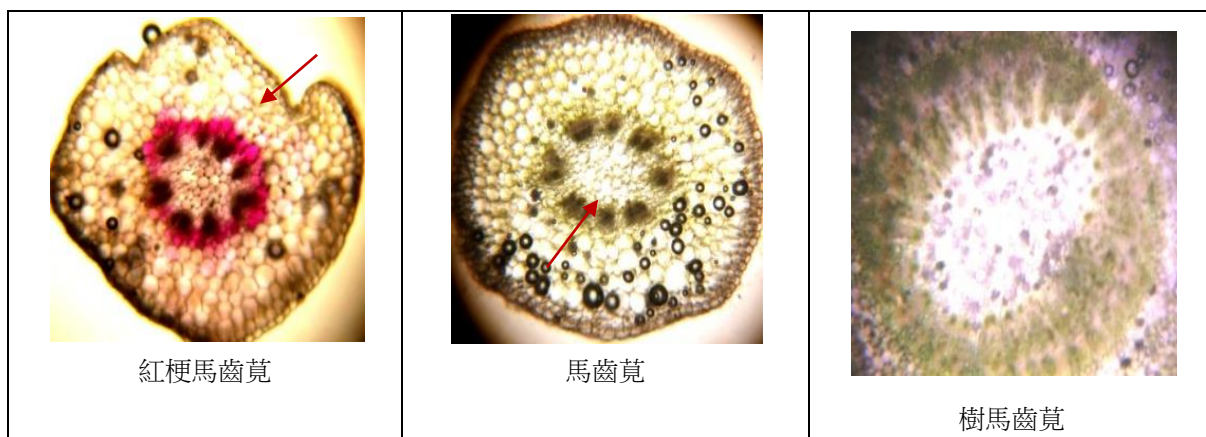
表三、馬齒莧科植物在不同環境處理二氧化碳濃度差異調查表

作物種類 CO ₂ Avg 量測時間	紅梗馬齒莧		馬齒莧		樹馬齒莧		松葉牡丹	
	生長箱	CK	生長箱	CK	生長箱	CK	生長箱	CK
1/25 AM12	1411	1817	1574	1815	1578	1723	1437	1632
1/26 AM 9	1743	792	1484	805	1358	1136	1816	819
1/26 AM12	841	1419	1174	1767	845	1093	956	1167
1/26 PM 4	734	744	830	930	737	784	741	764
1/2 6PM 9	1098	1427	1403	1587	1285	1336	1233	1394

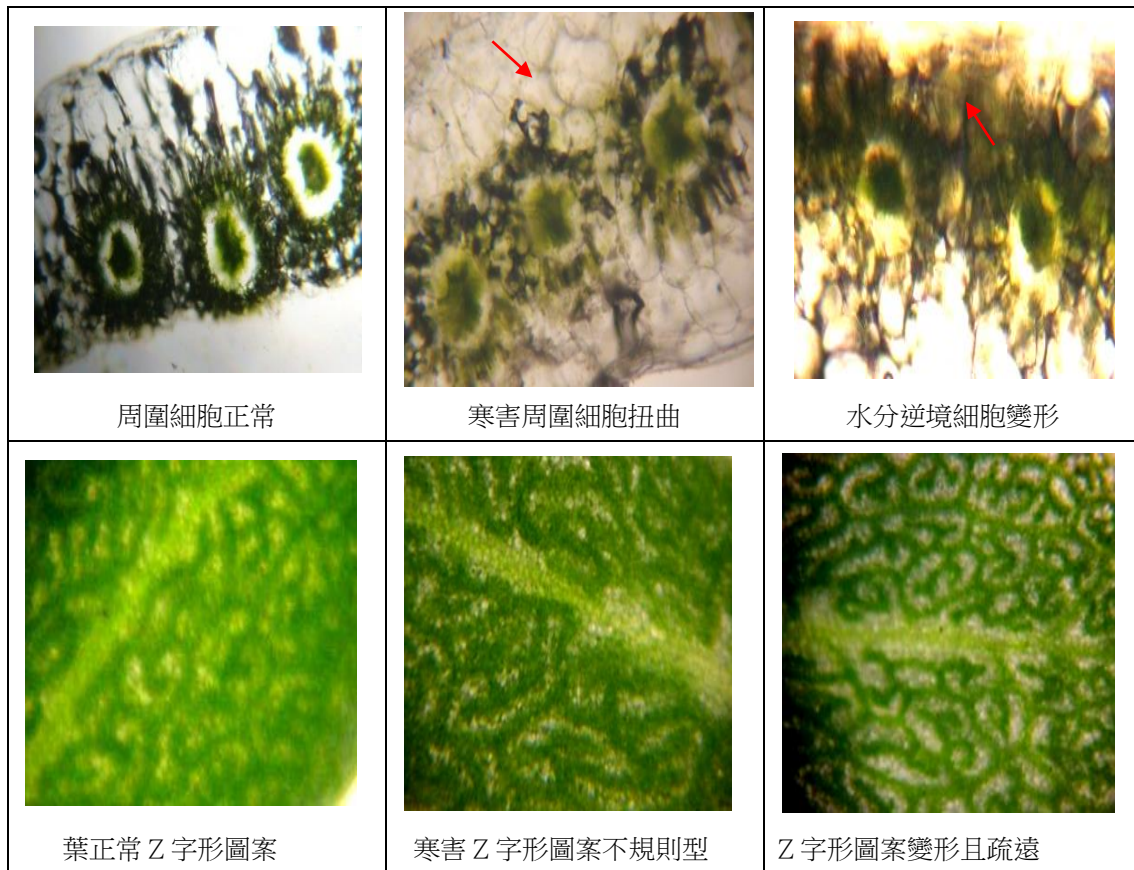
註: CO₂Avg(二氧化碳平均值), 單位 ppm



圖八、馬齒莧科植物葉片橫切面在解剖顯微鏡維管束鞘型態差異



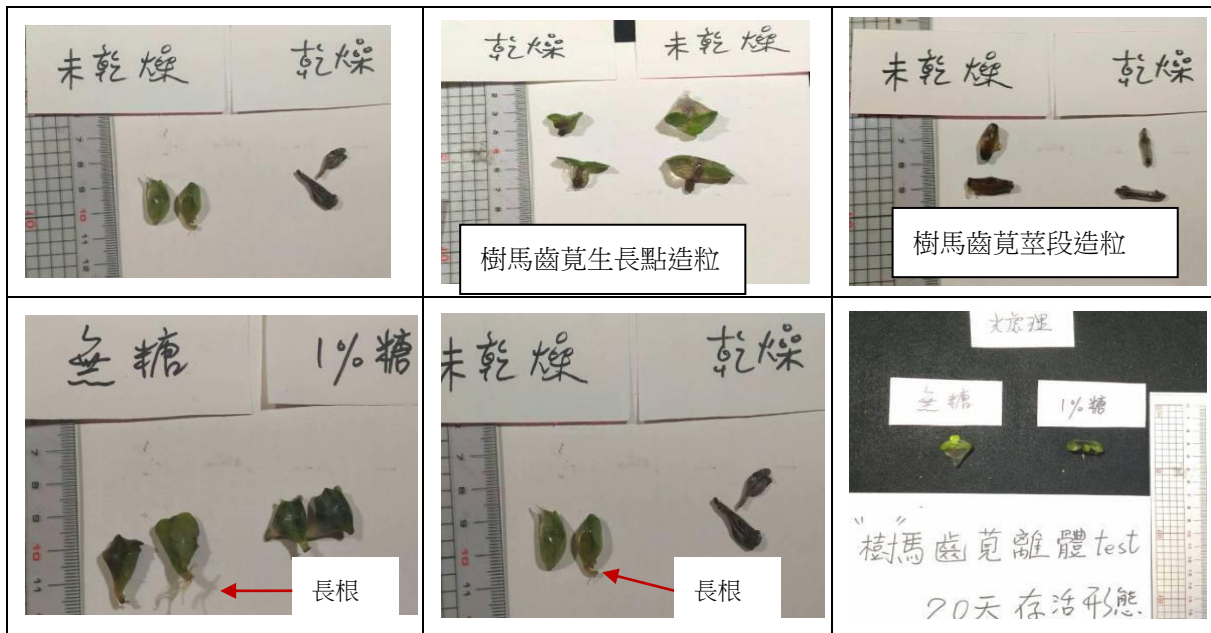
圖九、馬齒莧科植物莖橫切面在解剖顯微鏡維管束鞘型態差異



圖十、馬齒莧於不同環境葉面結構體型態轉換的差異

四、測試馬齒莧植科物以頂芽造粒誘導活體再生長根超進化與可馴化能力

以馬齒莧及樹馬齒莧頂芽生長點和樹馬齒莧帶芽枝條培植體進行造粒後，測試再生與存活實驗結果如圖(十一)，在持續照光與保濕的狀態下 2 星期可見到生長點的芽點突破藻膠生長且仍維持活性，三星期後無糖馬齒莧與樹馬齒莧頂芽造粒長根數分別為 20% 及 30%，含糖造粒培植體大都產生發霉逐漸壞死但樹馬齒莧則持續維持活性較久。馬齒莧莖段造粒持續維持活性約 3 星期後逐漸壞死，未見長芽長根。乾燥造粒七天後復水實驗，培植體馬齒莧僅能維持 3 天以上的活性，樹馬齒莧則能維持 10 天的活性但因未施於營養源所以也逐漸壞死。馬齒莧與樹馬齒莧頂芽造粒長根則移至培養土繼續培養觀察。前(一、二、三)實驗，保鮮瓶放水插枝參試的馬齒莧科植物，以樹馬齒莧長根較遲緩，經一個月後大都逐漸長根長更多葉片及新芽如圖(十二)。



圖十一、不同培植體造粒乾燥與未乾燥與長根存活狀態



圖十二、經一個月後馴化保鮮瓶放水插枝參試植物逐漸長根及新芽

陸、討論

一、比較不同碳固定作物種類與馬齒莧科植物生理代謝的差異

植物根據其二氧化碳固定合成路徑的不同，可分為三大類：C₃（一般植物）、C₄（高溫 / 高水分 / 高可用光線環境型）以及 CAM（高溫 / 低可用水分環境型）植物。景天科和馬齒莧科等植物要在乾旱熱帶地區生存下來，也許須演化出一套生存機制，實驗驗證，景天酸代謝植物液泡液經酸鹼指示劑測得呈酸性如參試植物石蓮與落地生根。此外若能以

顯微鏡觀察氣孔晚間開日間關，則可以推斷該植物為景天酸代謝植物可用。由氣孔觀察型態比較馬齒莧科植物較屬於 C3、C4 植物類型，由於氣孔的中心作用是葉的內部和外部環境之間的氣體交換的調節，包含蒸散作用及葉降溫冷卻，植物需要足夠的 CO₂ 進入葉片進行光合作用，而節約用水，以避免脫水和代謝受阻。了解光合作用 CO₂ 與氣孔控制固定和植物水分關係正在成為不斷變化的氣候條件越來越重要，但部分馬齒莧科的氣孔因取樣時機與技巧會影響觀察結果故須多做型態比較分析，才能進一步判定偏向何種二氧化碳固定合成路徑的類型。

二、探討以光照與水分逆境處理馬齒莧科植物頂芽枝條存活的潛能

馬齒莧科植物具有很強的耐乾旱、高溫、營養貧瘠等能力，所以又有長壽植物之稱。由此項實驗結果得知馬齒莧枝條抗乾旱逆境的能力很強，可以利用葉片逐漸凋萎方式至少維持 7 天沒有水分的存活，但是缺乏光照卻成為致命的傷害，在沒有光照的環境下馬齒莧會快速落葉而失去活性，但是樹馬齒莧則可以維持更長的活性保持時間，所以在與二氧化碳不同時段濃度的偵測比對，樹馬齒莧的生理代謝機制較偏向 CAM 的類型。套袋保濕保溫的環境利於馬齒莧科植物在長日照下的生長，有關高溫高濕逆境脅迫的適應性尚須做進一步的研究，但馬齒莧科植物的抗逆境能耐確實可作為作物改良重要的研究參考。

三、研究不同逆境處理馬齒莧科植物外表與解剖顯微觀察型態的轉換

由文獻得知高等植物 C4 和 CAM 植物是在逆境條件下經過長期馴化，從 C3 植物進化而來的。C4 植物與 C3 植物相比由於具有 CO₂ 濃縮機制，能在高光強、高溫及低濃度 CO₂，乾旱等條件下，比 C3 植物有較高的光合速率和營養代謝。由葉片解剖切片觀察馬齒莧葉片中含有大型維管束鞘細胞且其中含有較多的體積較大的葉綠體，維管束與其周圍的葉肉細胞形成明顯的花環結構，屬於典型的 C4 植物，但是像樹馬齒莧卻不明顯，可能在演化與環境適應上較偏 CAM 的類型。

馬齒莧的氣孔在夜間時是開放的，水分蒸散在夜間的量比白天氣孔閉合時多，但葉片閉合使裸露面積減少，蒸發到空氣中的（透明袋中的水分）減少，即閉合使水分蒸發減少，

降低熱量散失，所以葉溫也提高了。馬齒莧葉片開閉雖是生理時鐘，但外界光暗的刺激會加強或改變其強度、頻率。結果顯示，這個感應的受器大部分分布在葉的上表皮，其他地方也有受器分布，但數量較少。而另一重大的發現是光並不是促使葉片開啟的因子，相反的，連續的黑夜才是使葉片開放的因子。

光顯微照片對比馬齒莧科葉片的葉脈 Z 字形圖案，正常環境顯示高脈絡密度特性。當環境不良或缺水時可注意到葉脈 Z 字形圖案會扭曲變形，也觀察到馬齒莧葉及莖表面上會出現柔毛來保護植株，馬齒莧科植物適應逆境型態轉換機制確實耐人尋味。

四、測試馬齒莧植物以頂芽造粒誘導活體再生長根超進化與可馴化能力

以頂芽包覆的方式，雖然會對培植體產生些微逆境，如空氣不流通、濕度提高等，但相對造粒包覆也可以提供傷口保護及保濕環境，造粒與保鮮瓶套袋的復育過程中，也可以觀察到植物會啟動再生與存活長根的機制，面對逆境下一些可以透由型態與生理代謝轉化而提高存活。乾燥的造粒培植體經覆水亦有 10 天存活期，顯示馬齒莧科型態轉化與存活能力特強，但是要適時提供營養源，以維持後續生長茁壯是進一步可以研究設計的。

柒、結論

馬齒莧生命力強健，全株營養豐富含有人類不能有效在體內合成的 Ω -3 脂肪酸等，可增強毛細血管的抗力，可用於防止冠心病、壞血病、肌萎縮等保健功用，極具發展成為實用與藥用價值新興蔬菜的潛能。在環境應溫室效應日趨變遷影響下，如何能加速植物抗逆境生長與迅速增殖的效能，是現今植物學研究的重要課題。本實驗透過持續光照與水份控制處理下，由結果顯示馬齒莧科之芽體枝條經保鮮瓶套袋經照光培植測試可持續生長；馬齒莧與樹馬齒莧芽點以藻膠酸鈉包覆形成造粒後誘導再生約有 20~30% 存活率，乾燥後復水亦有芽點存活 10 天的效能。依形態在逆境下變化配合與二氧化碳濃度測試，了解馬齒莧科植物有可能為適應環境驟變為存活而轉換使用 C4 型或 C3 與 C4 型中間型生理代謝；而樹馬齒莧在遇乾旱逆境時也易傾向由 C3 型轉換為 CAM 型之碳固定運作，使生長速率減緩減少水分散失，而提高自身的存活率。馬齒莧科植物演化與分類歧異特性的研究上，藉實

驗過程中觀察到莖葉會長毛腺與葉脈 Z 字形圖案產生扭曲變化以適應逆境的現象，再一次證實馬齒莧科植物這有趣且超進化型態轉換，是值得再進一步深入探討的。

柒、參考文獻

- 一、台灣博物季刊。植物與光之間的愛恨糾結。第二期 122 (33)卷。
- 二、牛津期刊。科學與數學。植物紀事。第 6 期卷 93。景天酸代謝的生理生態。
- 三、潘瑞熾。(2013)。植物生理學。藝軒圖書出版社。
- 四、蘭花量產與生理光合作用，檢索日期：2016 年 1 月 25 日，
網址 http://bse.nchu.edu.tw/new_page_90.htm
- 五、光合作用，檢索日期：2016 年 1 月 26 日，
網址 <http://web.yust.edu.tw/dmt/v5/teach/biology/912/Photosynthesis.pdf>
- 六、降低蒸散作用的演化性適應，檢索日期：2016 年 1 月 26 日，
網址 <http://www.bio.ncue.edu.tw/~8523037/e4-2-3-10.htm>
- 七、大紀元－鳳梨耐旱秘密揭開，檢索日期：2016 年 1 月 26 日，
網址 <http://www.epochtimes.com/b5/15/11/3/n4565045.htm>
- 八、鳳梨耐旱秘密揭開 有助科學家因應暖化 大紀元 11 月 4 日報導。
<http://www.epochtimes.com/b5/15/11/3/n4565045.htm>
- 九、張邊江。(2013)。兩種生態型馬齒莧的光合生理特性研究 北方園藝 (21) : 89~91。
- 十、Plant-Physiology USA (Apr 1982). v. 69(4) p. 757-761.