

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 植物學科

最佳(鄉土)教材獎

052106

馬齒突長—馬齒莧科植物超進化型態之研究

學校名稱：新北市立新北高級中學

作者： 高一 李映漾	指導老師： 謝進生 鄭重慶
---------------	---------------------

關鍵詞：馬齒莧、維管束鞘、C4-CAM 交替型

摘要

馬齒莧科植物的生命力非常強健，全株富含營養且具有在人體內不能有效合成的 Ω -3 脂肪酸，極具發展成為食用與藥用價值新興作物的潛能。本實驗透過照光與水份逆境處理，結果顯示剪下馬齒莧科植物帶芽枝條 3 天在未給水狀態下，莖基部仍會產生不定根。馬齒莧、樹馬齒莧與松葉牡丹頂芽以藻膠包覆造粒，培植再生約有 70~85% 存活率，頂芽造粒乾燥經 21 天後復水培育亦有長根存活 70% 的效能。依形態在乾旱逆境下葉脈 Z 字形圖案產生扭曲的現象與二氧化碳濃度變化的偵測調查，推論 C4 型馬齒莧與松葉牡丹可能為適應環境驟變會轉換成為 C4-CAM 交替型的生理代謝以利存活；而樹馬齒莧遇乾旱逆境時傾向由 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，而不同類型植物有其適應環境的生命潛能。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型態的機制一直是耐人尋味的，有鑒於未來溫室效應所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其型態變化差異，並以藻膠酸鈉包覆馬齒莧芽體之造粒方式，進一步探討馬齒莧抗逆境存活與再生進化的機制，以利未來環境驟變時植物馴化型態轉換的參考。








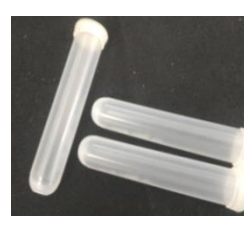


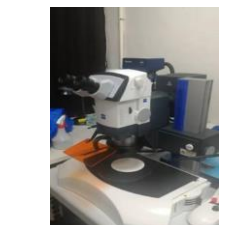

貳、研究目的

- 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

電子秤、游標尺、pH 廣用試紙、數位相機、試管架、複式顯微鏡、冷風乾燥機、藻膠酸鈉、量杯、解剖顯微鏡、二氧化碳偵測器、植物生長箱、複式螢光顯微鏡(Z1)、震盪切片機、螢光解剖顯微鏡、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

一、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
			
複式螢光顯微鏡 z1	震盪切片機	螢光解剖顯微鏡	冷風乾燥機

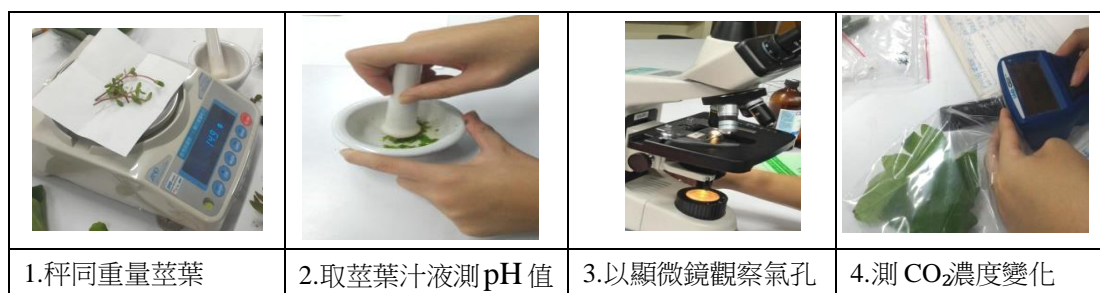
二、不同碳固定植物研究材料示意圖

			
豌豆 (C3 植物)	紅象草(C4 植物)	石蓮(CAM 植物)	落地生根(CAM 植物)
			
馬齒莧(C4-CAM 植物)	紅梗馬齒(C4-CAM 植物)	松葉牡丹(C4-CAM 植物)	樹馬齒莧(C3-CAM 植物)

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，剪取莖葉重量一致約 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，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。



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(約 15 燭光)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 瓶重複以求平均值，並定時觀察記錄二氧化碳濃度及生存情況的差異。



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


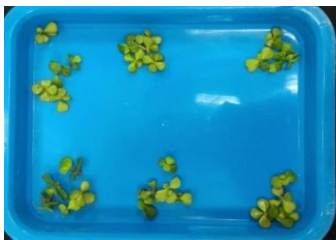


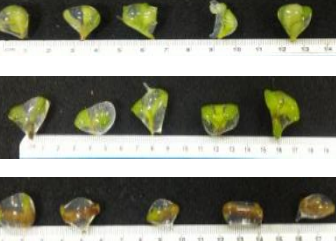




溫度逆境實驗，將紅梗馬齒莧(*Portulaca oleracea* L.)、馬齒莧(*Portulaca oleracea* Linn.)、樹馬齒莧 (*Portulacaria afra*)、松葉牡丹(*Portulaca grandiflora* Hook.)3 吋盆栽

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 CO₂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 CO₂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，觀察外表及莖葉橫切面在解剖顯微鏡下型態變化，並以複式螢光顯微鏡 Z1 進行葉表和經震盪切片機切出的葉橫切面進行葉綠體排列差異的拍照，以供進一步逆境型態轉換分析之比較。

			
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

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 1.5~2.3 公分作參試材料備用。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放入冷風乾燥機 15°C 進行 72 小時乾燥處理，每種作物皆進行重複處理且定時秤重量變化。造粒頂芽乾燥後經第 7 天與 21 天再分別覆水置於透明杯中加上蓋子培育觀察記錄培植體存活生長的差異，並以螢光解剖顯微鏡拍攝根原體的發生。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
		
4.浸泡氯化鈣後人工造粒	5.人工造粒製作完成	6.人工造粒馴化培育
		
7.頂芽造粒進行冷風乾燥	8.造粒乾燥後型態變化	9.造粒乾燥後覆水培育

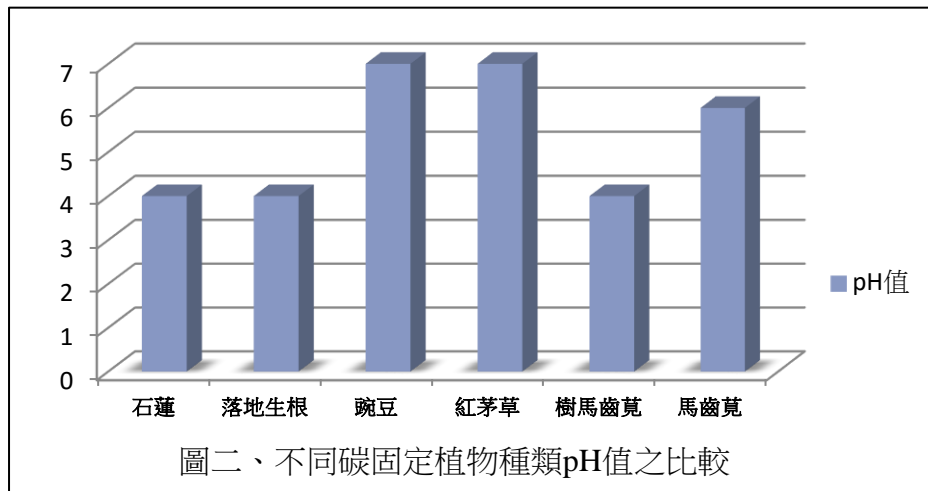
伍、研究結果

一、不同碳固定作物種類與馬齒莧科植物的生理代謝差異

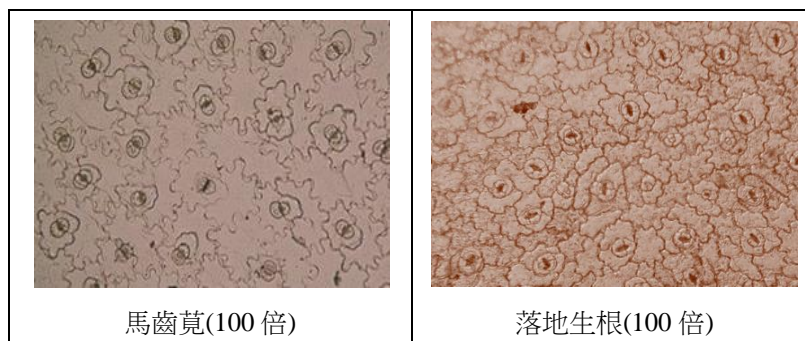
(一)不同碳固定作物種類測試莖葉枝液 pH 值結果如圖(一、二)，顯示 CAM 植物如景天科的石蓮、落地生根 pH 值達 4 以下呈酸性，C4 植物禾本科的紅象草及馬齒莧科的馬齒莧與 C3 植物豆科的豌豆皆呈現中性或弱酸性，樹馬齒莧則 pH 值達 5.5 左右較偏中弱酸。



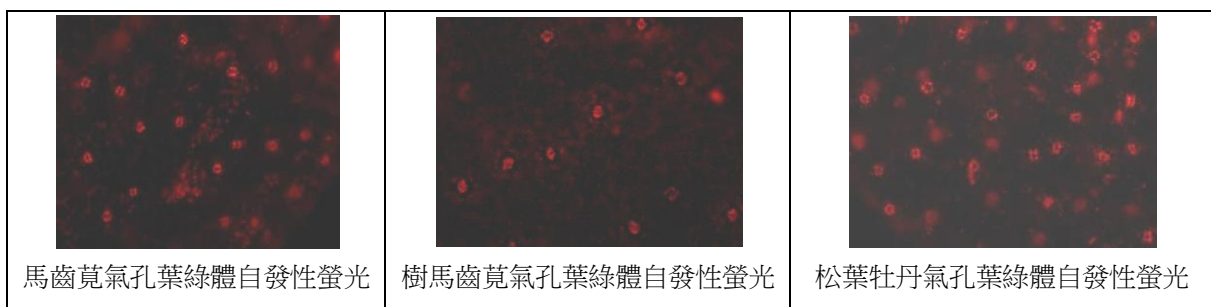
圖一、不同碳固定作物種類測試莖葉枝液 pH 值結果



(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。而三種馬齒莧科植物以複式螢光顯微鏡 Z1 拍攝如圖(四)，從氣孔葉綠體自發性螢光亦可看出單位面積出現氣孔頻率的指數百分比以松葉牡丹與馬齒莧多於樹馬齒莧的數量。

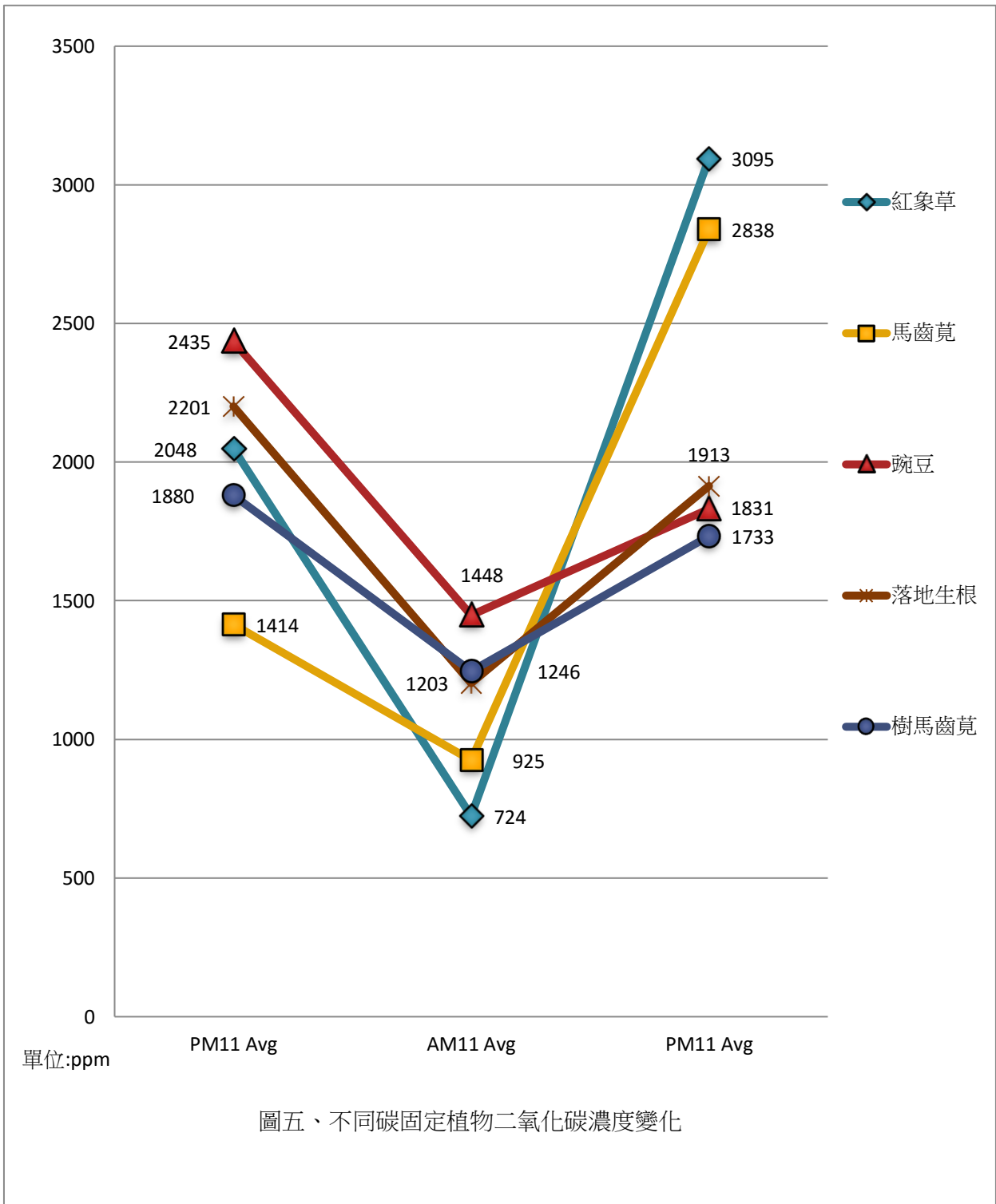


圖三、不同碳固定作物種類葉片氣孔之比較



圖四、不同碳固定作物種類葉片氣孔之比較

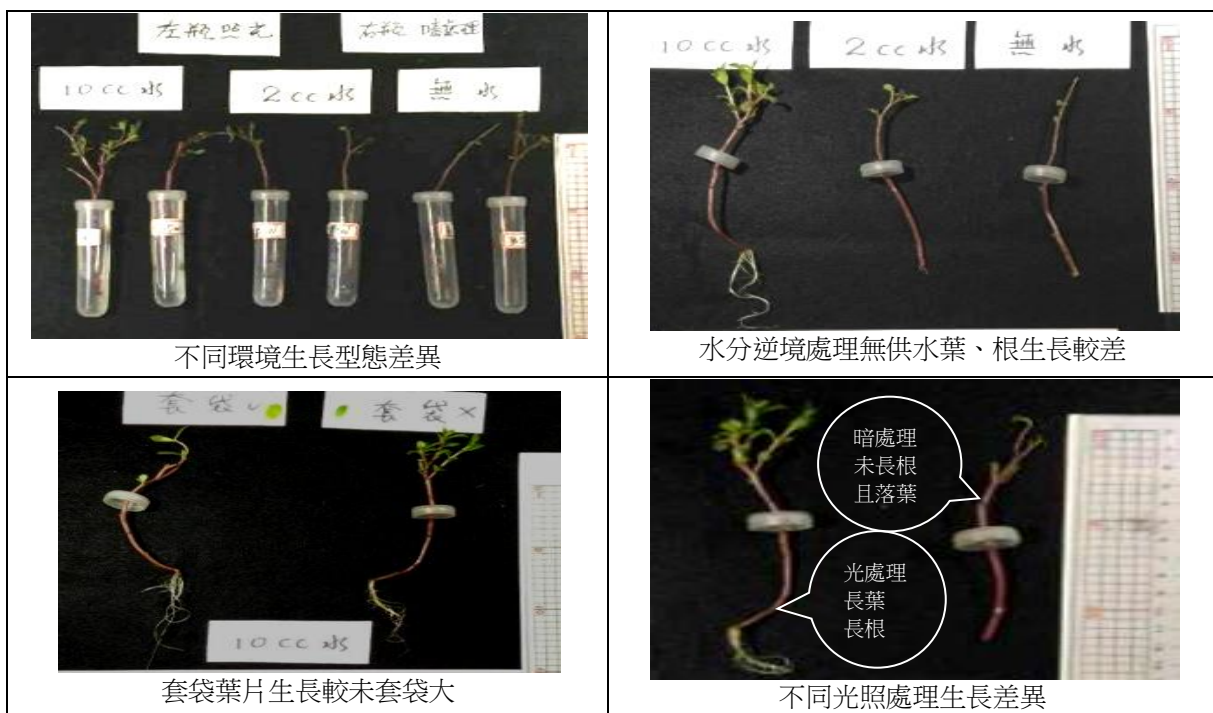
(三)不同碳固定作物種類二氧化碳濃度的差異如圖(五)，C4 植物紅象草與馬齒莧晚上 11 點所測得的 CO₂ 濃度較高分別為 3095 與 2838 ppm，白天則因光合作用行碳固定所測得 CO₂濃度平均值較低約 724 與 925ppm，CAM 型的落地生根晚上 11 點所測得 CO₂濃度平均值較低約 1913 ppm，較特別是同樣馬齒莧科的樹馬齒莧跟馬齒莧兩者所測得 CO₂濃度平均值大相逕庭。



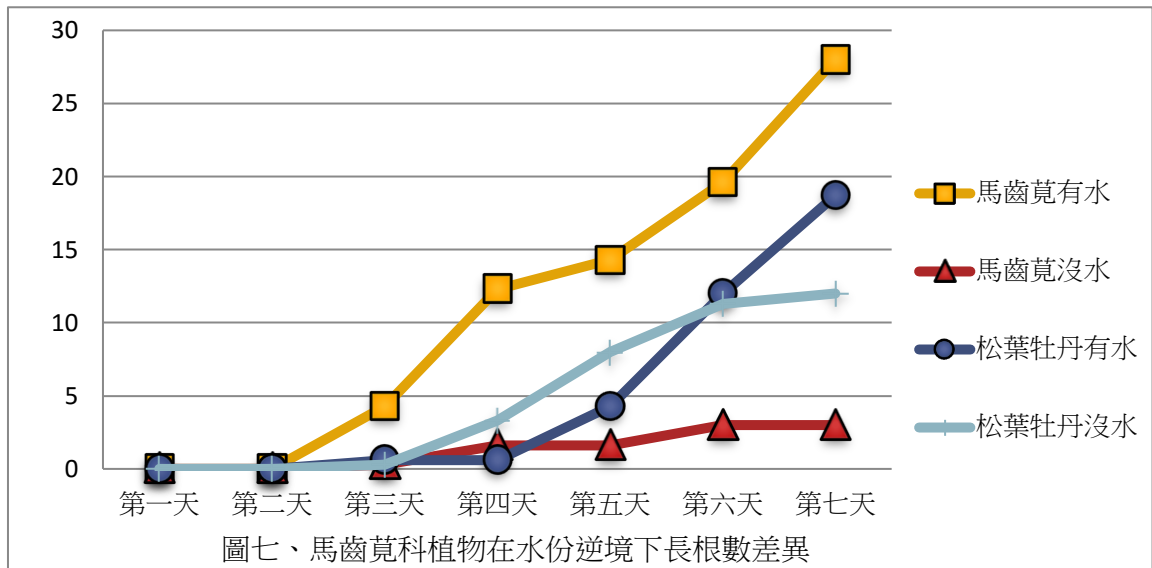
二、以光照與水分逆境處理探討馬齒莧科植物頂芽枝條存活的潛能

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(六)，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。以水逆境有無比較馬齒莧與松葉牡丹長根數量與長根長度如(圖七、八)，觀察測試結果顯示在水分逆境 5 天後仍會長根，且松葉牡丹優於馬齒莧生長如(圖九)。

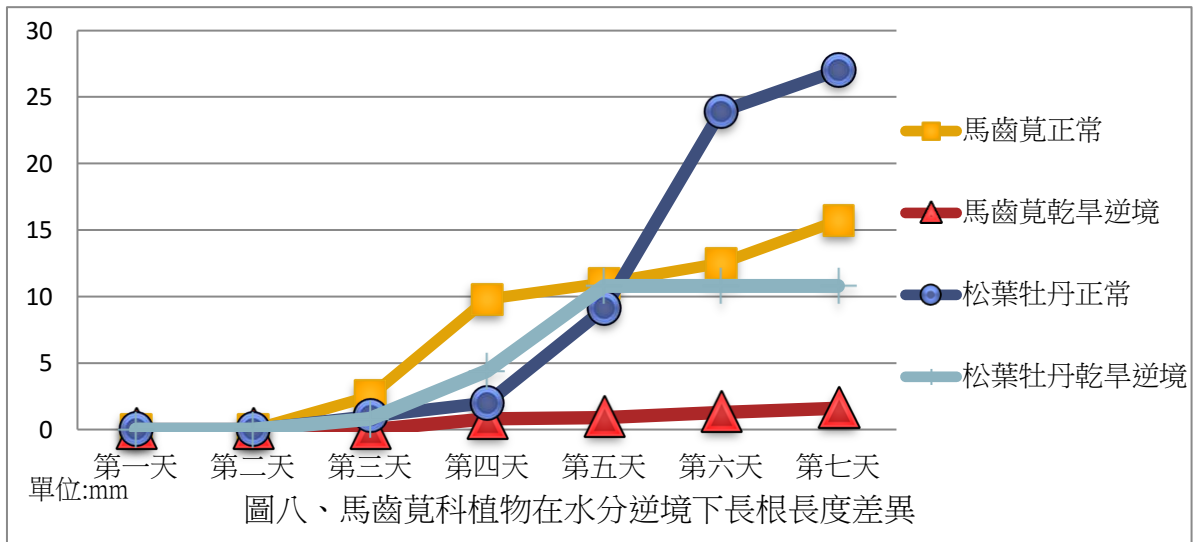
樹馬齒莧在面對光處理、暗處理及水分逆境時如圖(十)，不似馬齒莧，生長雖較緩慢，但光處理較暗處理、有套袋較未套袋都生長較好。光處理在供水時生長差異不大，僅暗處理葉片數量相對較少但經 3 星期葉片還宿存 3~4 片。馬齒莧與樹馬齒莧在不同環境處理測試 CO₂濃度結果如表(一)，在不同時段測得兩種參試材料所呈現的 CO₂濃度平均值並不同，暗處理且無加水處理 CO₂濃度平均值皆較有加水、有照光的高，顯示持續進行耗能動作。持續照光較自然光照處理的 CO₂濃度平均數值高低變化大，且 CO₂濃度平均數值較低，顯示持續照光二氧化碳的利用率較自然光照與暗處理的高。



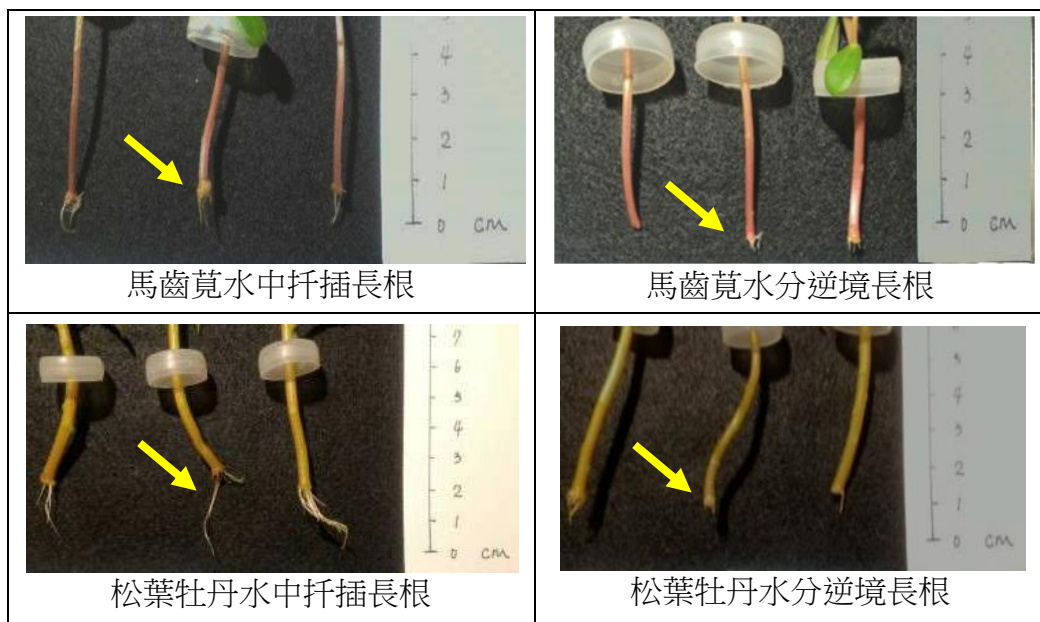
圖六、馬齒莧頂梢枝條以光照與水分逆境處理生長差異



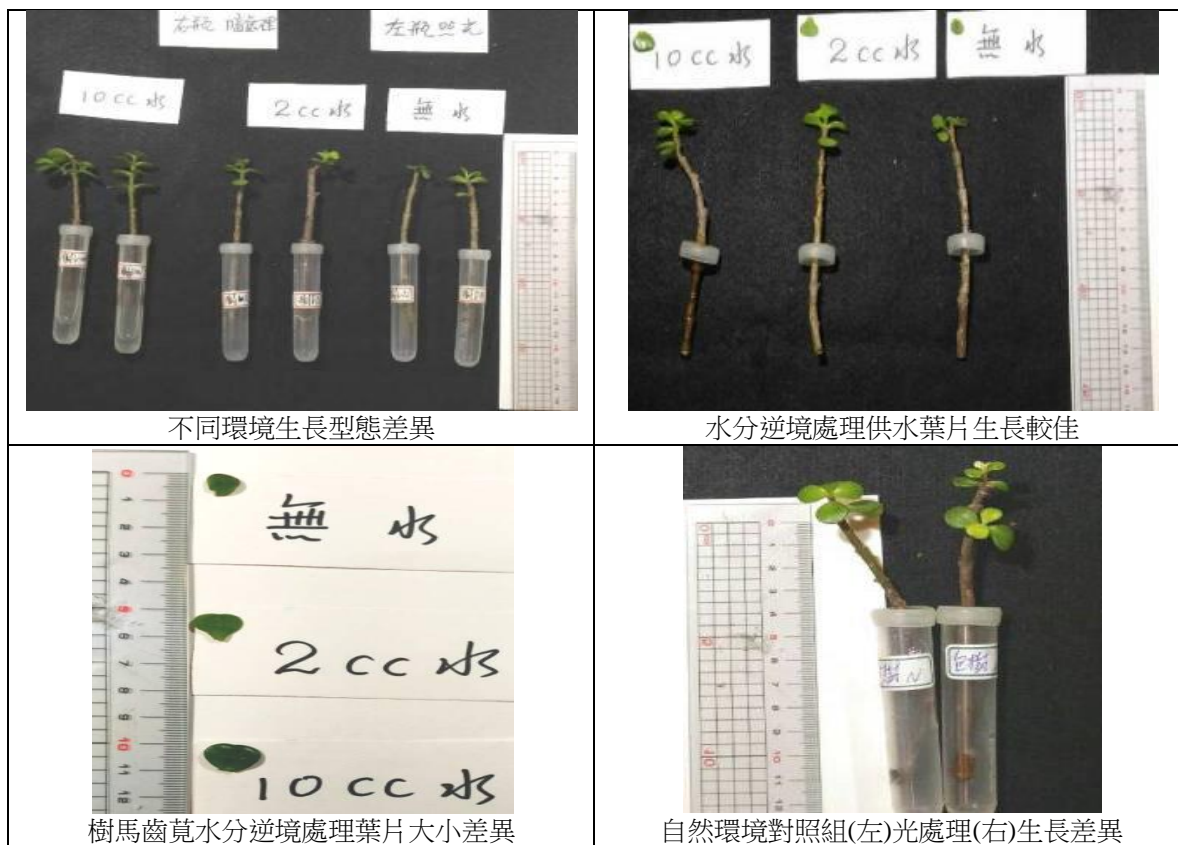
圖七、馬齒莧科植物在水份逆境下長根數差異



圖八、馬齒莧科植物在水分逆境下長根長度差異



圖九、馬齒莧科植物在有無水分逆境 5 天長根的差異



圖十、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)	
	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
暗處理 +10cc 水	1337	1390	1150	1226	1090	1276
暗處理 無加水	1346	1512	1161	1203	1121	1446
自然光照 +10cc 水	1402	1318	1139	1042	1020	1239
自然光照 無加水	1355	1267	1084	1008	1060	1311

註:1. CO₂Avg:二氧化碳平均值，單位 ppm

2. 無加水:保鮮瓶內未置水，+10cc 水:保鮮瓶內置水 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寒害凍傷葉片數增加少且平均生長的葉寬也較小如圖(十一)。在不同環境處理測試馬齒莧科植物 CO₂濃度結果如表(三)，生長箱內各參試材料所呈現的 CO₂濃度平均值皆比自然環境對照組低，顯示無寒害且光照穩定的環境下二氧化碳利用率相對較高。

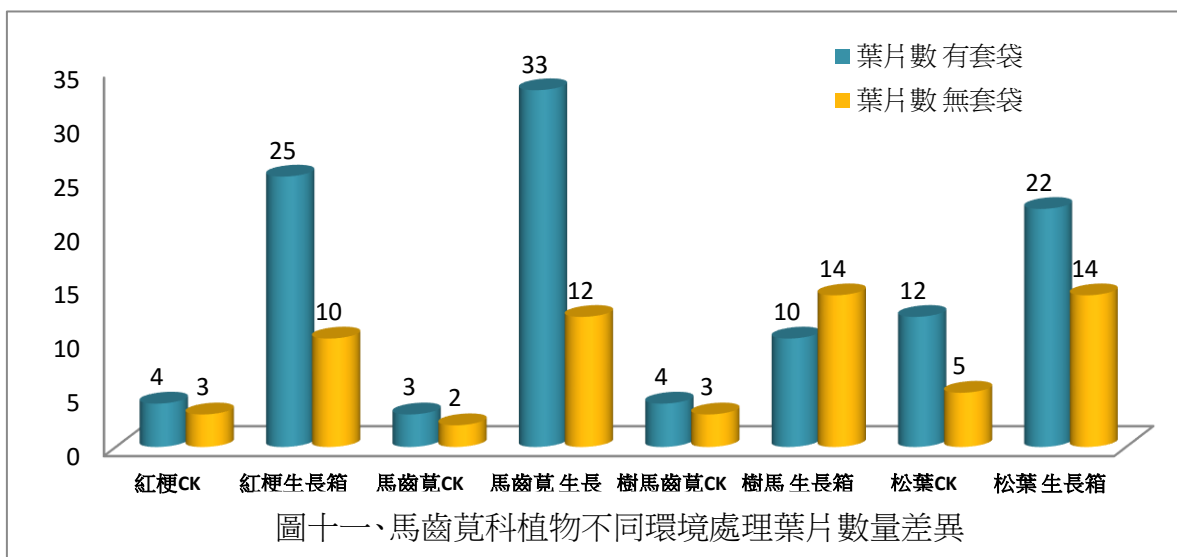
在所有參試馬齒莧科分析的樣品葉與莖橫切面中，除樹馬齒莧維管束鞘較不明顯外，其餘都有明顯 C4 植物所擁有的特徵維管束鞘如圖(十二、十三)。葉解剖也觀察到有些馬齒莧、松葉牡丹具有 C4 植物特點，非靠近維管束鞘的遠軸面，葉肉細胞與海綿組織較膨大鬆散，柵欄葉肉細胞有更多蓄水細胞，當這些植物受寒害或乾旱時維管束鞘遠軸側的葉肉細胞會扭曲變形，葉片上的葉綠體所呈現 Z 字圖會跟著變化，這可能是馬齒莧與松葉牡丹為適應環境驟變時所表現的型態轉換如圖(十四)。

進一步將逆境型態以複式螢光顯微鏡 Z1 進行比較馬齒莧與松葉牡丹、樹馬齒莧的葉表和葉橫切面葉綠體排列所呈現 Z 字圖與透由葉綠體自發性螢光拍照，可以比對乾旱時維管束鞘周圍細胞萎縮且 Z 字形圖案顯得細長而疏離，寒害時維管束鞘周圍細胞變形 Z 字形圖則呈現不規則型，觀察差異分析如圖(十五、十六)，確認參試材料中的馬齒莧科植物在型態演化上以松葉牡丹及馬齒莧兩者因皆具明顯的維管束鞘故親緣關係較為接近，在寒害與乾旱逆境下葉綠體排列 Z 字圖型態轉換都極為類似，而樹馬齒莧則與兩者在葉的生理構造差異較多。不同的馬齒莧科植物因外表型態差異，渡過逆境方式也不同，松葉牡丹葉片小而狹長，馬齒莧則以葉片向上閉合方式；而樹馬齒莧因葉片表皮細胞肥厚富含蠟質可減少葉片水分喪失及寒害的發生，除此也會降低自身生理的代謝而躲避環境逆境，以增進存活機率如圖(十七)。

表二、馬齒莧科植物生長環境改變 14 天後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), CK(對照組)

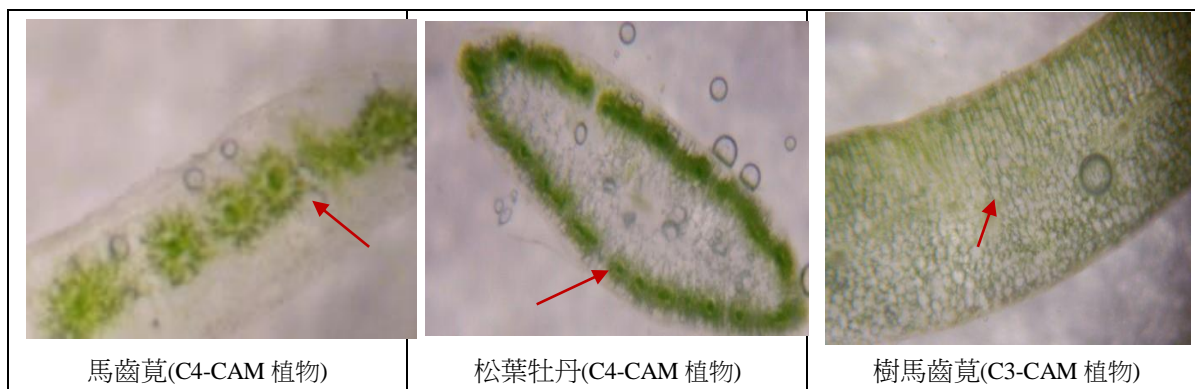


表三、馬齒莧科植物在不同環境處理二氧化碳濃度差異調查表

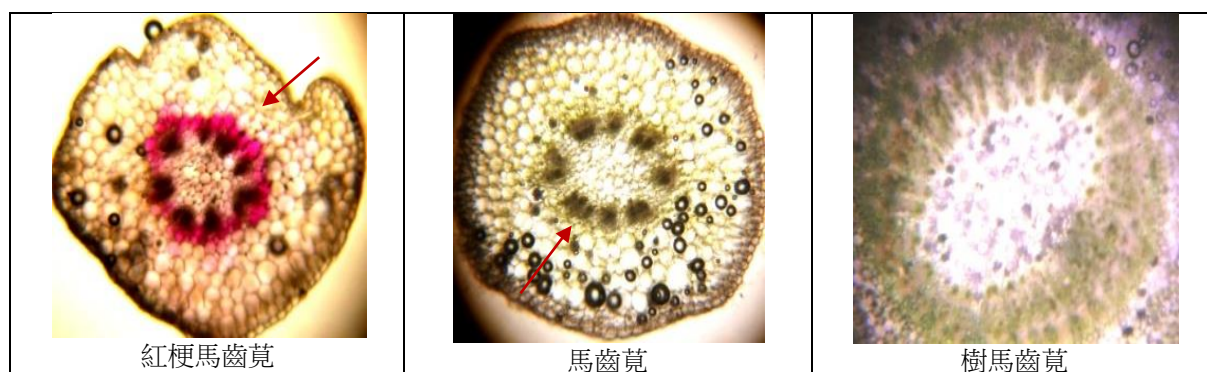
作物種類 CO ₂ Avg 量測時間	紅梗馬齒莧		馬齒莧		樹馬齒莧		松葉牡丹	
	生長箱	CK	生長箱	CK	生長箱	CK	生長箱	CK
1/25 AM12	1411	1817	1574	1815	1578	1723	1437	1632
1/26 AM 9	1743	792	1484	805	1358	1136	1816	819
1/26 AM12	841	1419	1174	1767	845	1093	956	1167
1/26 PM 4	734	744	830	930	737	784	741	764
1/2 6PM 9	1098	1427	1403	1587	1285	1336	1233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

註:1. CO₂Avg(二氧化碳平均值), 單位 ppm

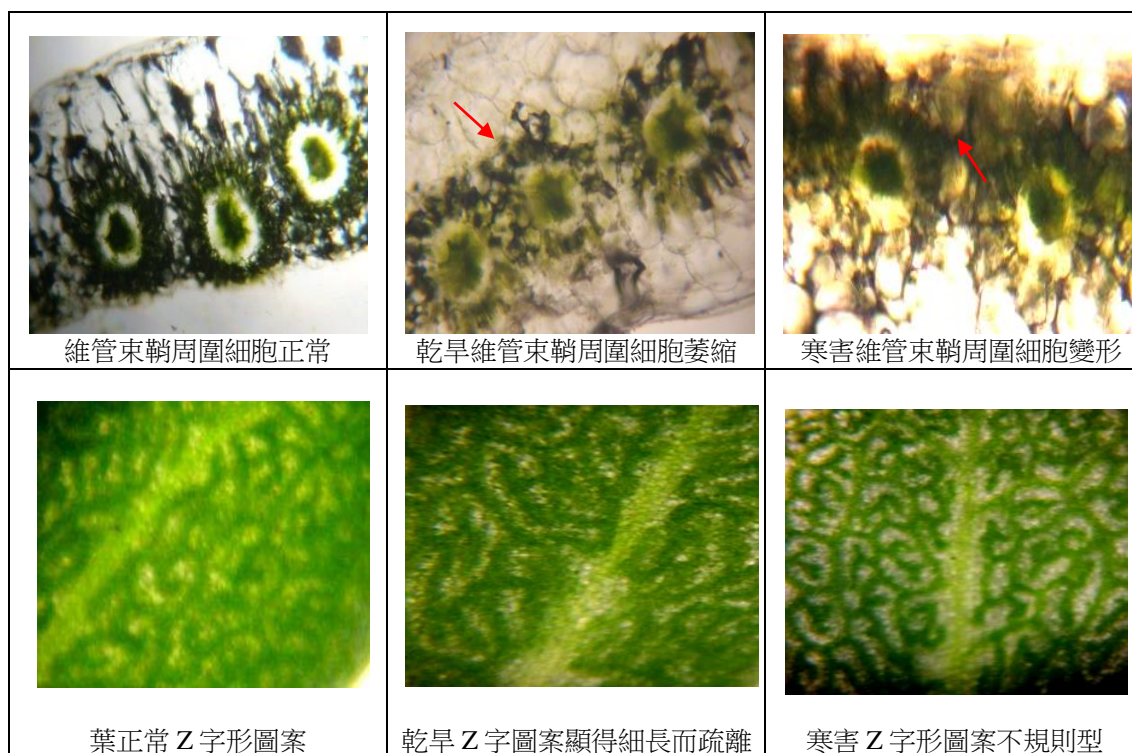
2. CK 為對照組, 生長箱為植物生長箱



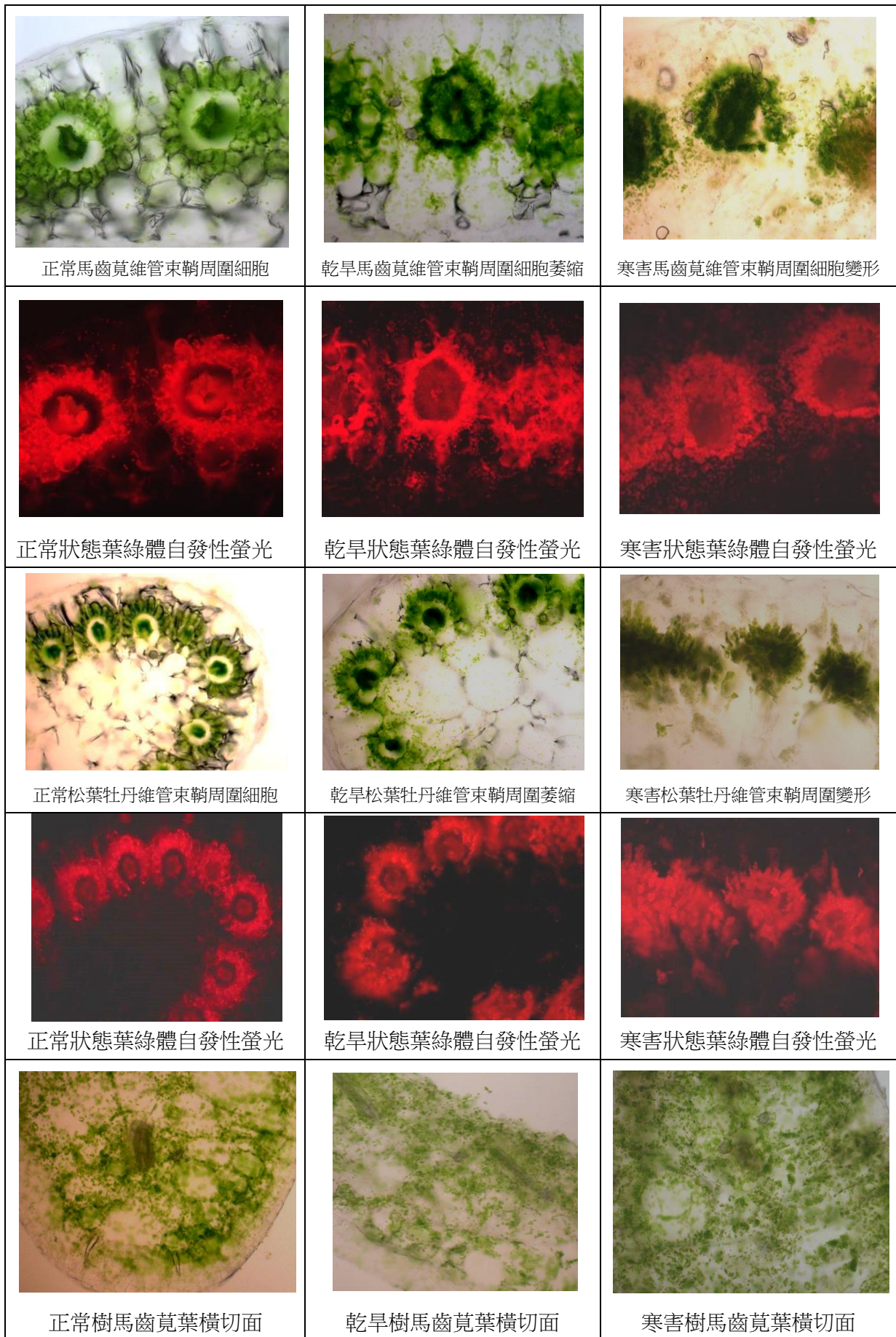
圖十二、馬齒莧科植物葉片橫切面在解剖顯微鏡(40 倍)維管束鞘型態差異



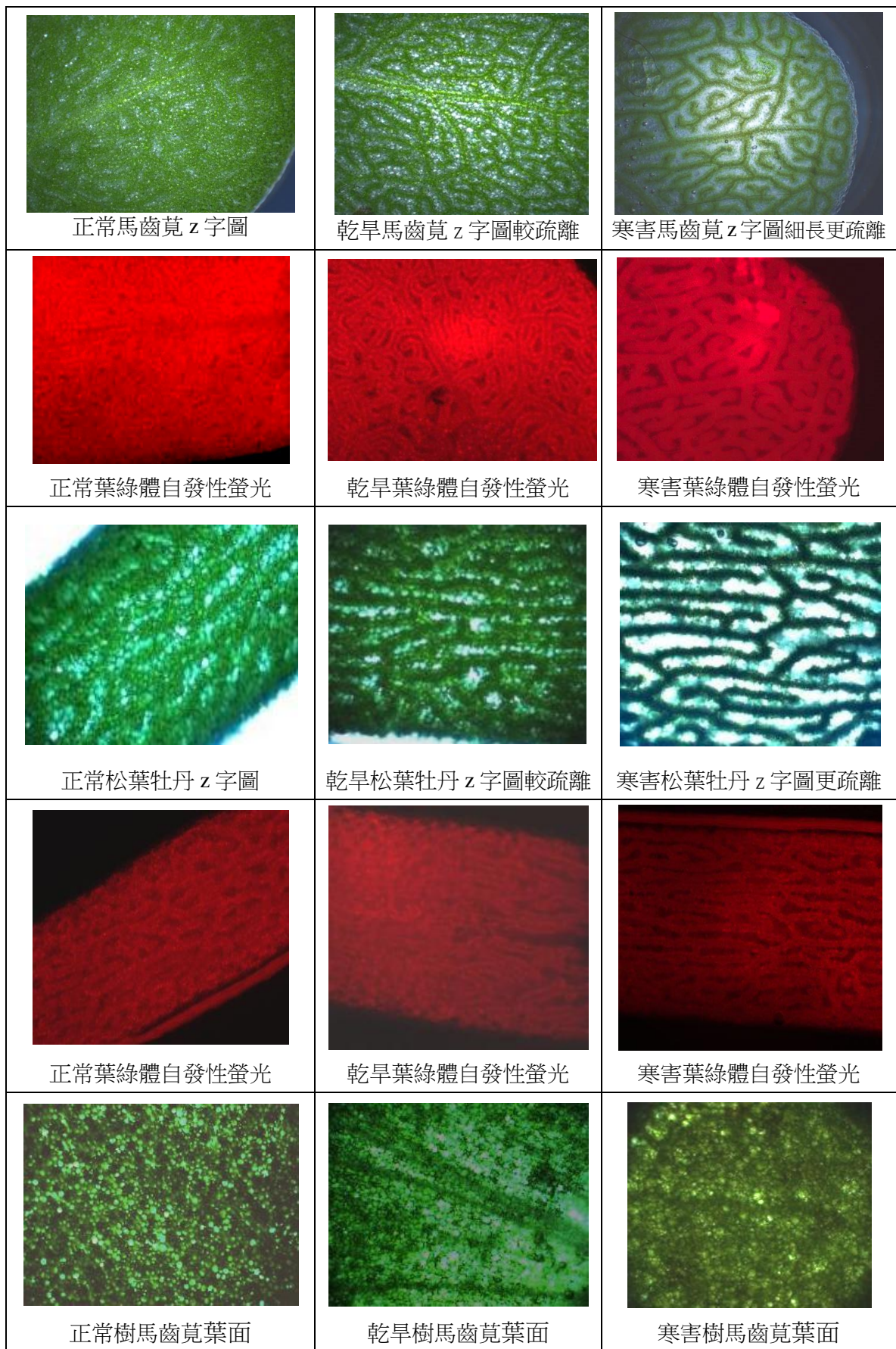
圖十三、馬齒莧科植物莖橫切面在解剖顯微鏡(10 倍)下維管束鞘型態差異



圖十四、馬齒莧於不同環境葉面結構體型態轉換的差異



圖十五、複式螢光顯微鏡 Z1 (200 倍)馬齒莧科植物逆境下葉片橫切面之比較



圖十六、複式螢光顯微鏡 Z1 (25 倍)馬齒莧科植物逆境下葉面 z 字圖之比較



圖十七、馬齒莧科植物(左剛剪下，右剪下一個月)頂芽型態之比較

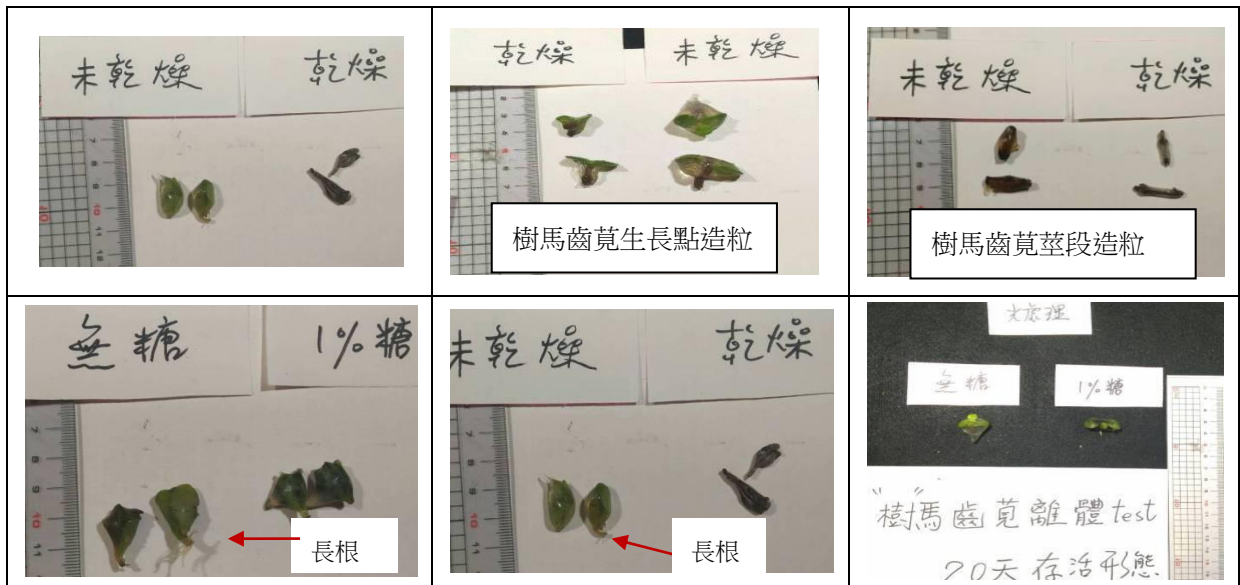
四、測試馬齒莧科植物以頂芽造粒誘導活體再生長根超進化與可馴化能力

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(十八)，在照光與保濕的狀態下 2 星期可見到芽體生長點突破藻膠且莖基部根原體形成逐漸長根且仍維持活性，三星期後馬齒莧、松葉牡丹與樹馬齒莧頂芽造粒長根存活數分別為 85% 及 75%，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。

頂芽造粒經冷風乾燥 72 小時後，水分含量分別測得樹馬齒莧僅剩 20%、馬齒莧僅剩 7%、松葉牡丹僅剩 10%。分別將頂芽、造粒頂芽、乾燥 8 小時造粒頂芽、乾燥 21 天的造粒頂芽，同時進行覆水培育測試，經 14 天後長根情形如表(四)，此三种植物培植體仍具有活性，且以馬齒莧最快長出根原體，頂芽造粒培植體經乾燥 21 天後覆水培育實驗仍能維持 70% 活性，順利長根，發育成長為獨立的個體如圖(十九、二十)。

以 10 倍螢光解剖顯微鏡解剖比較在頂芽未造粒培育長根與頂芽未造粒乾旱逆境型態觀察上，發現即時未給水環境下經 14 天後經基部癒合後仍有根原體的發生如圖(二十一)。另外，也分別觀察到馬齒莧單一葉片在葉基部也會自動傷口癒合並長根，松葉牡丹節間處會長絨毛以幫助吸收潮濕空氣中的水分如圖(二十二)，此更可以了解馬齒莧科植物具有適應逆境求生存的特殊型態轉化構造之發生。

前(二、三項)實驗，保鮮瓶以水將頂芽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且長出更多葉片及新芽如圖(二十三)。

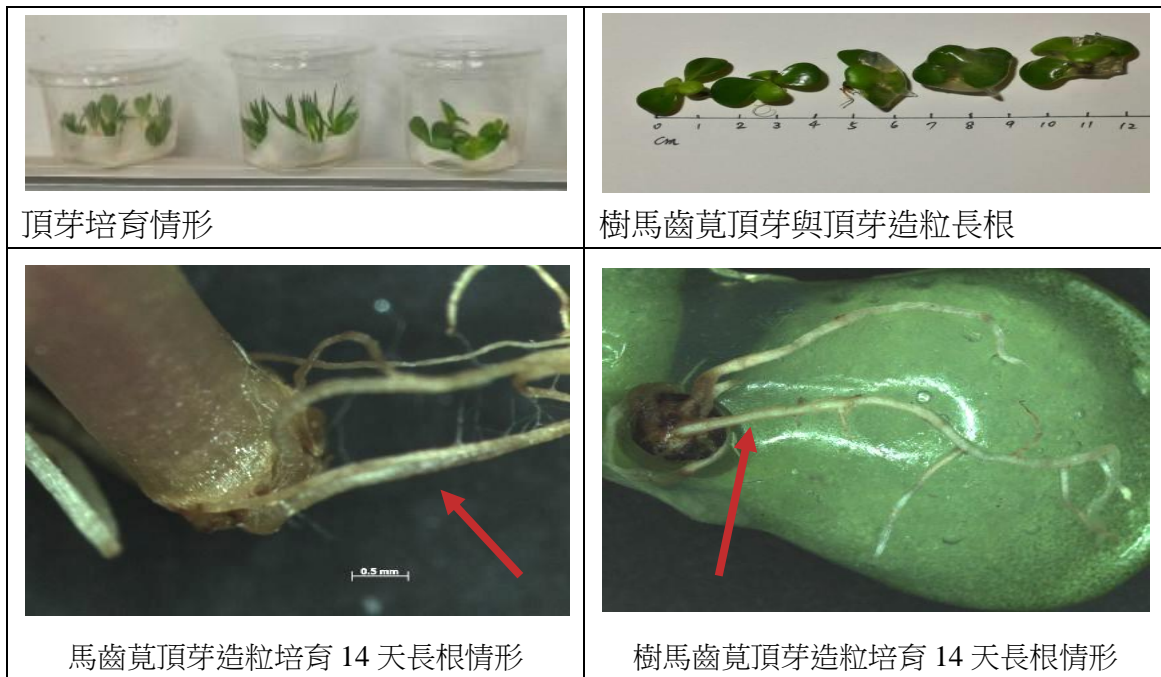


圖十八、不同培植體造粒乾燥與未乾燥與長根存活狀態

表四、馬齒莧科植物頂芽造粒覆水培育 14 天根生長差異之比較

植物種類 根生長狀態 造粒狀態	馬齒莧		松葉牡丹		樹馬齒莧	
	根數	根長	根數	根長	根數	根長
未造粒頂芽	10	8.4	7	3.7	4	2.8
造粒頂芽	8	4.2	6	2.8	3	2.5
造粒頂芽乾燥 8 小時	6	3.5	5	2.5	2	2.1
造粒頂芽乾燥 21 天	3	1.5	2	0.9	1	0.3

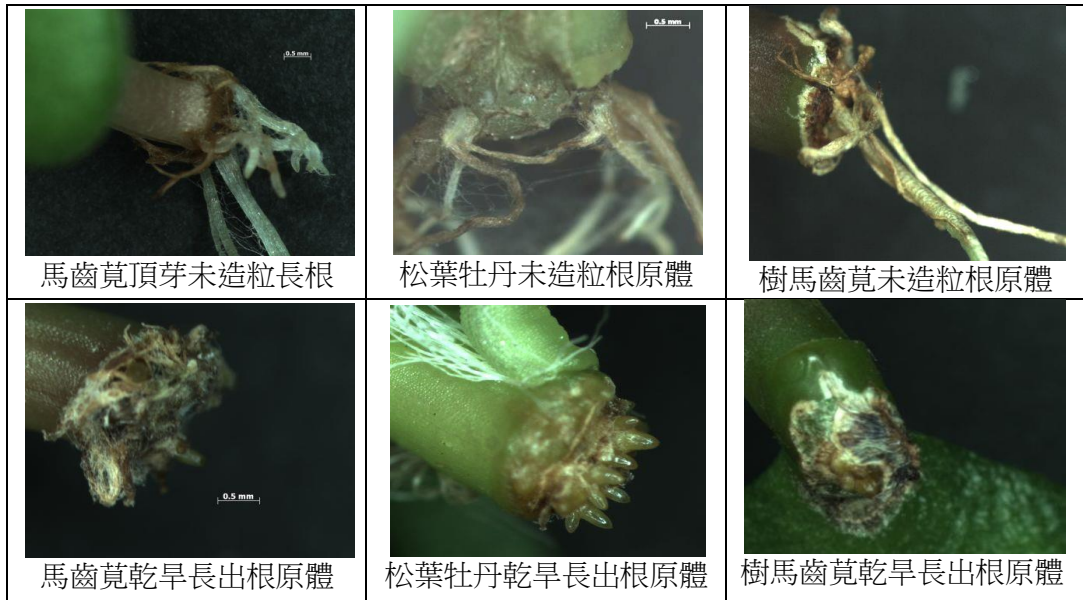
備註:根長單位 mm



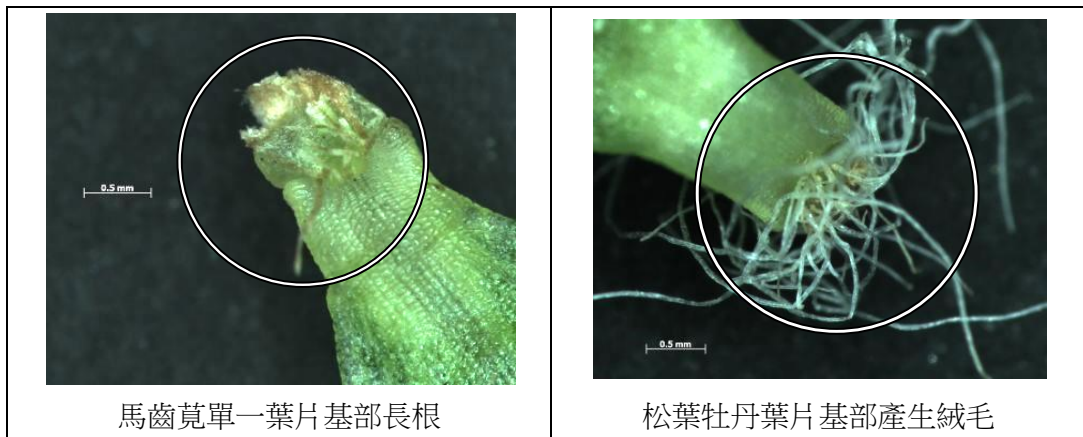
圖十九、頂芽培植體造粒長根存活狀態



圖二十、各種馬齒莧科植物頂芽培植體與造粒長根存活狀態



圖二十一、以螢光解剖顯微鏡(10 倍)觀察頂芽未造粒長根型態之差異



圖二十二、解剖顯微鏡(10 倍) 觀察到馬齒莧科植物特殊生存型態轉化的構造



圖二十三、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、馬齒莧與松葉牡丹是 C4-CAM 交替型，樹馬齒莧是 C3-CAM 交替型

根據二氧化碳固定合成路徑的不同，植物可分為三大類型：C3（一般植物）、C4（適合高溫、高水分、高光照環境型）以及 CAM（低水分環境型）。景天科和馬齒莧科等植物要在乾旱熱帶地區生存下來，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。馬齒莧科植物都有一個能在乾旱逆境下存活共同特色，具備有 CAM 植物在低水分環境生存的能耐，所以應當可以證實馬齒莧與松葉牡丹是 C4-CAM 交替型，樹馬齒莧是 C3-CAM 交替型。

二、馬齒徒長，馬齒莧科植物具有超強勁的存活潛能

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、在逆境下從外表與型態轉換可以了解馬齒莧科植物演化的差異

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，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。馬齒莧葉片氣孔開閉雖是生理時鐘，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氣孔開啟的因子，相反的，連續的黑夜才是使氣孔開放的因子。

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、新創舉 ~馬齒莧科植物頂芽造粒乾燥成功耐旱活性保存法

以頂芽造粒包覆的方式，類似培植體放入果凍中的型態，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，面對逆境下可以透由型態與生理代謝轉化而提高存活。

乾燥 21 天的頂芽造粒，經覆水亦有 70%以上的存活率，除了顯示馬齒莧科植物型態轉化與存活能力特強外，此種**乾燥頂芽造粒成功耐旱的活性保存法**在未來面對環境氣候變遷嚴重的狀況下，馬齒莧科植物將可以藉此有效大量復育，同時也可以做為其他作物馴化改良的參考模式。

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及照光培植測試可持續生長並成為完整的植株；馬齒莧科植物的芽點以藻膠酸鈉包覆形成造粒後誘導再生約有 70~85%存活率，乾燥 21 天後覆水培育芽點亦有存活的效能。依形態在逆境下變化配合與二氧化碳濃度測試，可了解馬齒莧與松葉牡丹會為了適應環境驟變狀態下求存活而使用 C4-CAM 交替型的生理代謝；而樹馬齒莧在遇乾旱逆境時以 C3-CAM 交替型的碳固定運作，使生長速率減緩並減少水分散失，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，藉實驗過程中所觀察到莖葉會長絨毛毛腺與葉脈 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抗逆境超進化型態的轉換是值得再進一步深入探討的。

捌、參考文獻

- 一、張振華。(2013)。生物學。新文京出版社。
- 二、顏佳怡等人。(2015) 乾旱逆境下法國秋海棠形成氣孔簇以減少水分蒸散的機制探討。
科學教育月刊 第 381 期。
- 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、高瑞隆。(2007)。旱田雜草「馬齒莧」之開發與利用。興大農業 62，25~26。
- 九、Ocampo G etc.。(2013)。Evolution of leaf anatomy and photosynthetic pathways in
Portulacaceae。American Journal of Botany vol. 100(12):2388-402
- 十、Karen E. Koch and Robert A. Kenne。(1982)。Crassulacean Acid Metabolism in the Succulent
C4 Dicot, *Portulaca oleracea* L Under Natural Environmental Conditions。Plant-Physiology
USA (Apr 1982). v. 69(4) p. 757-761.

【評語】 052106

1. 本研究以馬齒莧科植物為材料，瞭解逆境下葉綠體的型態變化，
主題及成果具鄉土創意。
2. 建議加強瞭解 Z 字形葉綠體的形成原因及生理意義。
3. 實驗材料之收集及整理頗為完善。