

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高職組 農業及生物科技科

佳作

091402

LED 光照組織培養苗

學校名稱：國立民雄高級農工職業學校

作者：	指導老師：
職二 王怡翔	吳慶源
職二 邱靜潒	楊晴惠
職二 林淙欽	
職二 楊千儀	

關鍵詞： LED、組織培養、金線蓮

壹 摘要

以發光二極體(LED)設計組裝作為植物生長箱的人工光源，利用其低耗能特性，達節省能源之目的。金線蓮及嘉德利亞蘭組培過程，以不同光波長，搭配不同照度，與一般燈源作比對，就環境因子：溫度、波長、照度，對生長情形的影響。金線蓮用頂芽微扦插、嘉德利亞蘭以小芽分割直接育苗，以一般燈源為標準，比對 LED 組之白、紅、藍、綠及紅藍混光組樣本進行實驗。試驗量測各光源之溫度及照度，觀察葉、莖、根生長之顏色與形態且量測重量作為指標。實驗結果，所有光源皆能促進生長，以 LED 白光處理之組培苗的質與量最佳，且最低耗能下有最高照度值，以 LED 白光 2.9klux 取代傳統光源，每一植物生長箱，每年至少省 721 度電，達到節省能源且可得到健壯組織培養苗之目的。

貳 研究動機

一、 概述

在油價高漲及京都議定書中 CO₂ 減量壓力下，石油蘊藏有限，但需求日殷，能源危機已具相當急迫性。傳統能源會破壞環境，全世界戮力開發替代性能源之時，解決此問題最直接的方法就是「節能」。

經濟部能源局統計，全國交通號誌燈換裝 LED 燈，年省電近 2 億度⁽⁶⁾；植物生長箱長時間光照，是一耗電量大的設備，因此萌生將其光源改成 LED 燈，期望節能且得到健壯組織培養苗，是本研究的主要動機。

二、組織培養⁽¹⁴⁾⁽²⁵⁾

將植物器官、組織等，自植物上分離，以無菌培養，在適當環境下，使重新生長成完整植物體，謂之組織培養。組培的應用：無菌播種，種子播於培養基上生長成實生苗，是蘭科植物育種不可或缺的技術；器官培養，以莖葉根等使其再生，產生遺傳上相同個體，可達營養繁殖、無病苗株培育與育種目的；另有胚胎、癒合組織及細胞培養等技術。

三、嘉德利亞蘭⁽²⁵⁾

嘉德利亞蘭為複莖著生蘭，原生熱帶中南美洲，適溫 20~30℃，品種繁多，花色瑰麗，是洋蘭代表，譽之「蘭花之王」，為哥斯大黎加、巴西之國花。全台栽培普遍，性強健葉厚根旺耐乾燥易栽植，能自然繁殖，正常照顧，即能綻放美好的花朵，是試養蘭花者的起步台階。有單及雙葉種，單葉花朵大，冬春開花；雙葉種花小，質優色明艷，夏秋開花，雜交種，花大色瑰麗，年開二次花。主要為盆花、胸花及裝飾等。

四、金線蓮⁽¹²⁾⁽¹⁸⁾⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾

金線蓮為蘭科多年生草本地生蘭，分佈於海拔 500~1500 公尺，性喜冷涼高濕，適溫 18~24℃，日照強度 35 ~2500 lux。是本土珍貴藥用植物，有「藥王」稱號。養生風潮日熾，需求甚殷，鮮品價斐，採擷者絡繹不絕，一度影響野生族群自然繁衍，所幸在農政及試驗單位戮力研究、繁殖及保護下，使得森林護育、保種與商業生產得以相輔相成，永續發展。

金線蓮可無菌播種或扦插進行繁殖，無菌播種 4 個月後行繼代移植，再經 4 個月約 5cm 高，2~3 片本葉，於馴化室 2 星期(溫度 25℃，光強度 2000~3500lux)，最後以介質栽培。另外是微扦插繁殖，本研究以此取得試材進行實驗。

金線蓮產值產量仍未有確切數據，農政手冊推估約 1000 公斤/年，近年預防醫學備受矚目，有機蔬菜、膳食療法等因應而生，除中藥草應用外可加入膳食、茶包、飲料。吳氏指出⁽¹⁰⁾德 1933 與美 1997 藥草及製品總值分別為 33 及 15 億美元；美預估 2009 年草藥食品增補劑將達 600 億美元，日本 2005 年富士經濟「健康關連食品市場調查」，達 1 兆 8000 日幣⁽²⁴⁾；劉等人⁽²²⁾，世界植物藥市達 300 億美元且年增幅 10~20%；2006 年台灣保健食品產值約台幣 380 億，經濟部預估 2008 年達台幣 460 億⁽²⁴⁾；2000 年行政院「中草藥產業技術發展五年計畫」；國科會「生技科技於農業的應用」有藥用植物項目，在行政、學術、產業的合作下，未來金線蓮於生技應用上將更為廣泛，其前景是可期的。

五、影響組培苗生長的因子⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁹⁾⁽²³⁾

組培因子：培養基碳源、養份、礦物質、醣量、荷爾蒙、酸鹼值、溫度、濕度、光照量、光質、換氣率、光合有效能量、微生物等因素，組培於無菌狀態，與外界隔絕，避免微生物污染，因此，以上因子除了溫度、光照度、光質可由外在控制外，其他皆屬培養基之調配。

六、光因子⁽¹⁾⁽²⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁷⁾⁽²⁰⁾⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾

「光」提供生命能量，是一切生命要素，植物由光合作用將能量轉為質量，人工光源運用於無病毒或高經濟植物的培育，如傳統組培苗光源，但其成本高且耗能，有學者以不同光質

及光譜之 LED 燈於蝴蝶蘭組培苗應用。

有學者認為光波長對植物光合作用有影響；有則認為沒影響，建議全光譜利用；亦有比較光譜，認為植物對光的敏感區域為 400~700nm 約藍光到紅光；亦有學者認為，藍光與紅光之光合作用結果相同；亦有認為橘光有最大光合作用能力；亦有就植物形態發展而言，植物應該接收各種平衡光源；另有指出影響光合作用的因子乃光量與溫度，而光質會影響組培苗的形態，如苗的高度、葉綠素含量及莖/根比例⁽¹⁷⁾。

在組培上，光線和碳源可部份相互取代，除光合作用外，光還影響生長與分化，涂與李⁽¹³⁾研究，相同糖濃度，光照度提高可增加根生長，指出光及糖具類似作用；台大方煒⁽¹⁾⁽²⁾指出，LED 是封閉農業栽培的優質光源，以 LED 紅藍混光照射馬鈴薯組培苗，可增加生長速率，另可抑制某些病原菌；日本以特定波長 LED 照蔬菜，可提升兩倍重量，維生素 C 含量增加⁽⁶⁾。

成株培養之補光，王與李⁽³⁾研究，蝴蝶蘭高光度生長量高於低光度，且高光度者開花率高，抽梗、開花提早；林與李⁽⁷⁾指出，光度影響抽梗率及抽梗後花朵數；王⁽⁴⁾研究，高光度栽培，生長快，開花早，高開花率，但因環境及品種而異，且高光度者葉片含糖量高。林⁽⁸⁾研究，高光度蘭株抽梗及開花迅速，低光度品質低、延後且花少；楊⁽²¹⁾研究，以三種光度試驗，低光度的蘭花抽梗率最低。

七、發光二極體 (LED) ⁽⁶⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽²⁹⁾

發光二極體 (Light Emitting Diode 簡稱 LED)，受激勵就發出可見光，在 P-N 接合面發生複合，使電子能量轉換成可見光。LED 用於農業是在 1991 年太空農業之研究，近年來亦證明 LED 光源能促進植物生長，不同於鎢絲的熱發光，LED 屬冷光，極小電流便能發光，具有壽命長、省電、體積小等優點。LED 分可見光及不見光，可見光用於背光源，不見光用於通訊，近年來在通訊（手機、PDA 等）、照明、汽車業（儀表、面板、燈等）、顯示器與其他應用如醫療、號誌燈等是市場熱門產業之一。

參 研究目的

人工補光栽培花卉或高經濟作物，如菊花、蘭花等，然傳統光源耗能。研究以 LED 作為光源，進行嘉德利亞蘭及金線蓮組織培養，比對 LED 燈與一般燈源，在不同光強度與光質上組培苗生長的差異。

研究目的乃以組織培養技術，研究組培箱以 LED 燈作為人工光源之可行性，分析組培苗受不同光譜、照度的影響，尋求低耗能且得到健壯之組培苗。

實驗涉及三項操作程序，一為組織培養技術，含培養基之調配、移植等；二為 LED 電子電路的設計、銲接與組裝；三為實驗觀察與量測。

主要探討內容包括如下：

1. 不同光源的耗電分析。
2. 不同光源下之環境溫度。
3. 不同光源的照度流場。
4. 不同光質對二種作物生長情形(質與量)之影響。
5. 不同照度對二種作物生長情形(質與量)之影響。

肆 研究設備及器材

- 一、精密電子分析天秤(精度:0.0001g 範圍:0~220g)。如圖 4-1 所示。
- 二、植物生長箱(精度:±0.5℃ 範圍:0~40℃ 加熱器 700W 壓縮機 1/2HP)。如圖 4-2 所示。
- 三、數位式照度計。如圖 4-3 所示。
- 四、溫、濕度感測器。
- 五、快速滅菌器 (壓力 1.2KGS、121℃、2.7KW)。如圖 4-4 所示。
- 六、高亮度 LED 燈泡，有白、紅、綠、藍，W/L:460~625nm IV:1000~6000 VF:1.9~3.2DC，LED 燈組如圖 4-5 至 4-12 所示。
- 七、無菌操作台、鑷子、解剖刀、酒精燈、三角瓶、培養皿等。
- 八、電腦與多功能記錄器連接溫度感測元件量測各 LED 燈試驗時之溫度。如圖 4-13 所示。



圖 4-1 精密電子分析天秤



圖 4-2 植物生長箱



圖 4-3 數位式照度計



圖 4-4 快速滅菌器

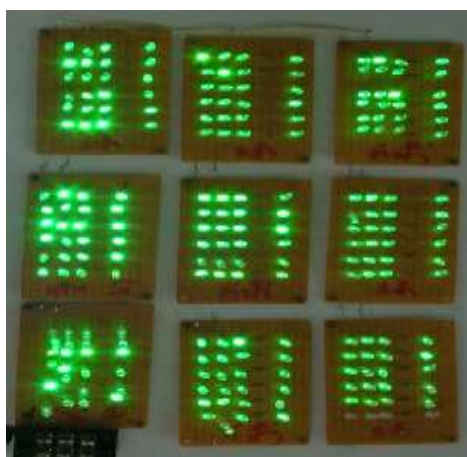


圖 4-5 LED 綠光 (216 顆)

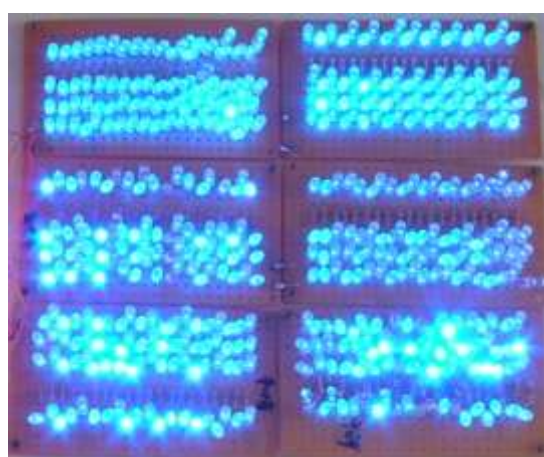


圖 4-6 LED 藍光 (480 顆)

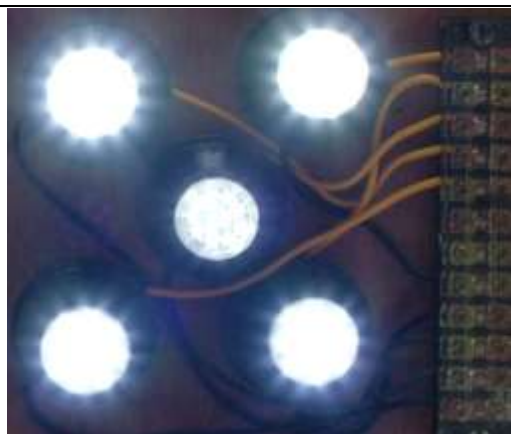


圖 4-7 LED 白光 (低、50 顆)

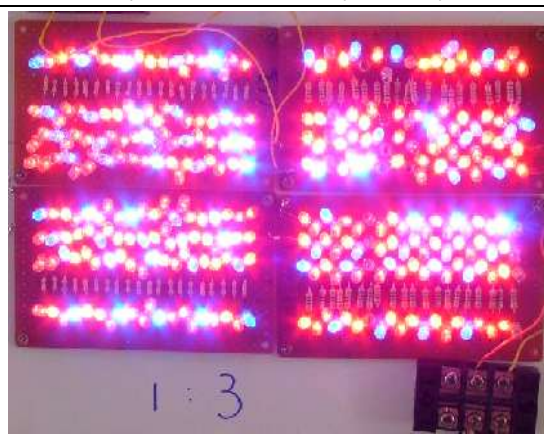


圖 4-8 LED 藍紅混光 藍 1：紅 3
(共 320 顆)

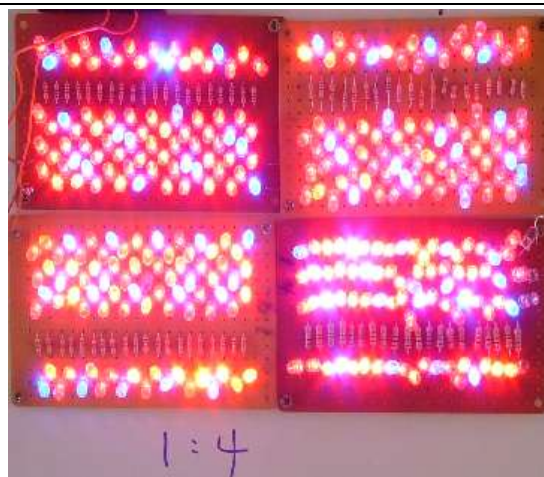


圖 4-9 LED 藍紅混光 藍 1：紅 4
(共 320 顆)

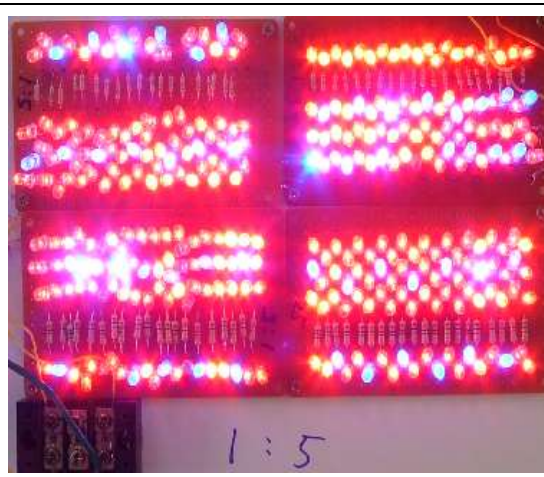


圖 4-10 LED 藍紅混光 藍 1：紅 5
(共 320 顆)



圖 4-11 LED 紅光 (共 320 顆)

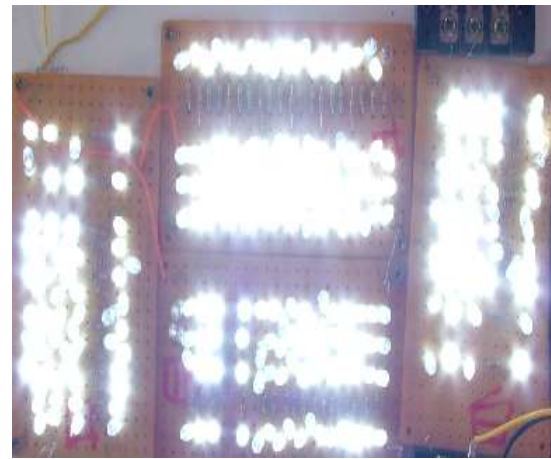


圖 4-12 LED 白光 (高、共 320 顆)

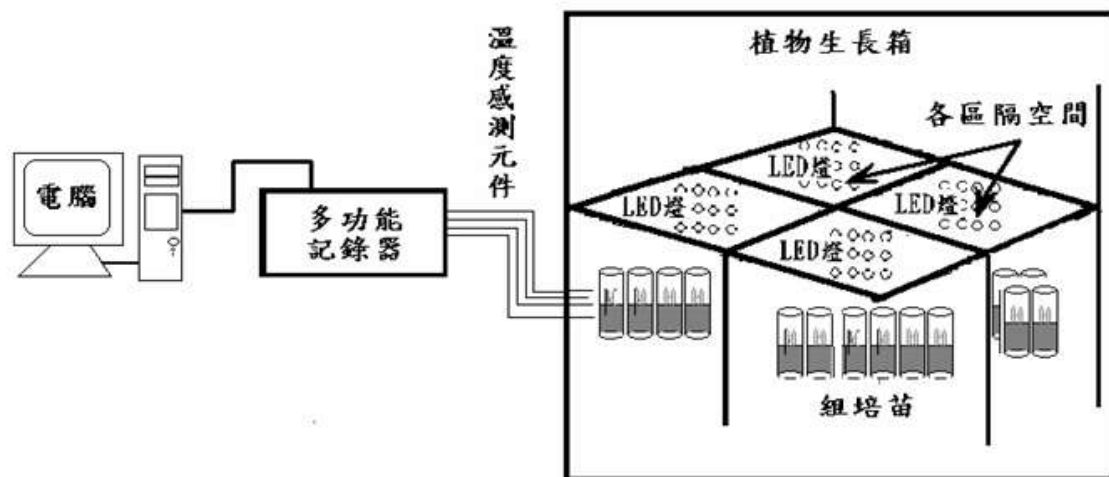


圖 4-13 電腦與多功能記錄器連接溫度感測元件

伍 研究過程與方法

以 LED 作為植物培養箱光源，比對白晝燈與植物生長燈，在不同光強度與光質下，進行嘉德利亞蘭及金線蓮組織培養，比較組培苗生長情形。實驗設計與步驟分述如下。

一、實驗材料

實驗材料為嘉德利亞蘭及金線蓮，選取母株瓶中外觀完好之不同生長階段植株，高 0.5~3 公分，作為實驗材料。

二、實驗設計

實驗設計如圖 5-1 所示，利用不同光源作比對，以了解各光源對組培苗生長的差異，實驗共分為 2 品种植物，12 種不同光源。溫度設定為 25℃，連續 16 小時補光。

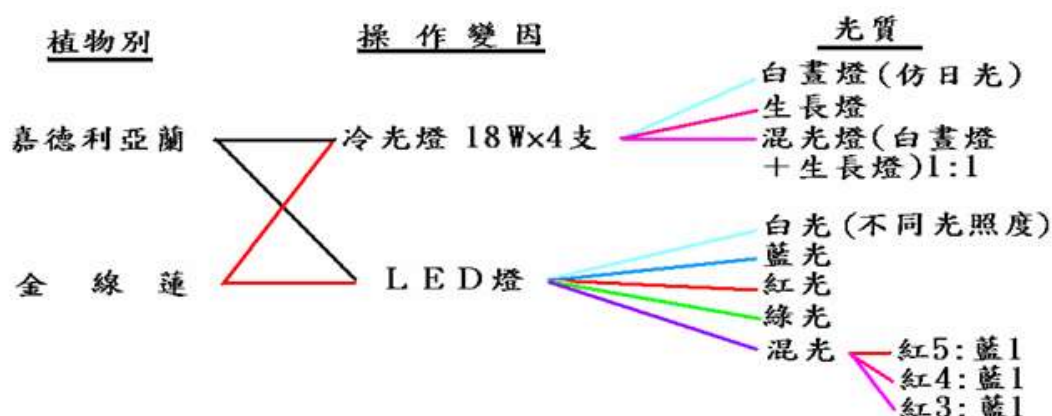


圖 5-1 光照組織培養苗實驗設計

三、LED 燈照明設備製作與架設

(一)依 LED 使用電壓(DC 2~3V)及供電源(DC 12V 1A)，配合電阻(100Ω~180Ω)，

以錫銲將 LED 燈以 4 個串連一組，再並聯 20 組銲接於電路板上。所設計之電路示意圖如圖 5-2 所示。

(二)以直流測功計量取每盤的電流量，並計算其耗電量。

(三)將電路板(3~6 板)固定於木板上並裝於組織培養箱內。

(四)以照度計量測每種燈源的照度(lux)。

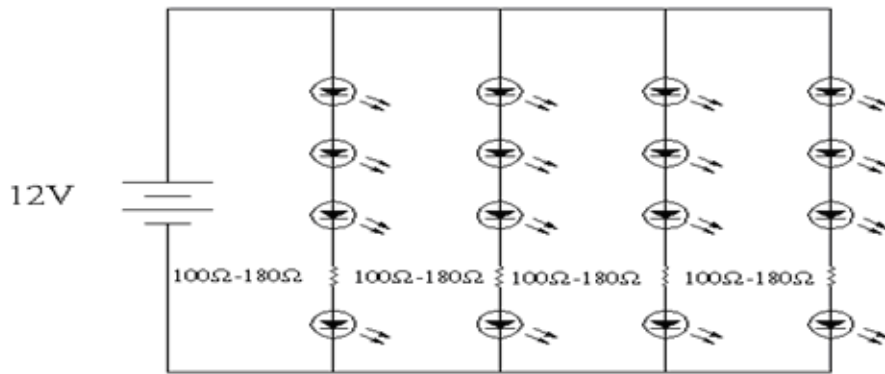


圖 5-2 LED 燈照明設計電路板示意圖

四、培養基調配

- (一)材料有:花寶 1 號(N、P、K 各佔 7% 6% 19%)3g、檸檬酸 2 cc、活性碳 1g、糖 20g、洋菜粉 11~12g。
- (二)取 700~800g 蒸餾水加入花寶 1 號、檸檬酸 2 cc及糖，混合後定量至 1000 cc，再加入洋菜粉及活性碳，放於微波爐中 5 分鐘。
- (三)將 1000 cc分裝各三角瓶或試管中。
- (四)於殺菌釜 1.05 kg/cm^2 高壓下 30 分鐘，並保持 121°C 高溫 15 分鐘殺菌。
- (五)殺菌器釋壓後取出，於常溫下凝固備用。

五、組培苗移植

- (一)操作台以紫外燈殺菌一小時。
- (二)用 72%酒精消毒器皿。
- (三)所有器具，如鑷子、解剖刀等用酒精燈烤過。
- (四)由母株瓶中將植株移至培養皿上。
- (五)金線蓮以微扦插，嘉德利亞蘭以分株為實驗操作。
- (六)扦插苗與分株苗移植到新的培養基中。

六、實驗方法與步驟

主要有：光源照度測試、金線蓮及嘉德利亞蘭生長觀測。

(一) 光源照度測試

1. 以照度計量取各光源之照度(lux)。
2. 取不同高度位置之截面。
3. 各截面均分成九宮格。
4. 九宮格平均數值，即為該高度下之照度值。

(二) 金線蓮及嘉德利亞蘭生長觀測

1. 量測培養基(含試管)重量。
2. 量測各植株重量，移植至試管中再量測總重量。
3. 每隔 2 日量取各試管之重量。
4. 觀察並拍攝植株生長情形。
5. 最後取出植株量測鮮物重。

陸 研究結果

一、金線蓮幼芽組培

採用無菌頂芽扦插法進行育苗，如圖 6-1 所示，樣本分成 12 組，每組 6~9 株（對照組每組 9 株，LED 組 6 株），幼芽樣本切下後秤重，且依序分配各組，使各組樣本均勻分配，分配過程保持無菌狀態，第一次試驗受污染，使整批材料發霉，如圖 6-2 所示，三角瓶試驗，如果其中一棵受污染則整瓶報銷，圖中白色部份為霉菌，因此改以試管進行實驗，每一試管扦插一株並以橡皮筋及塑膠袋密封。



圖 6-1 金線蓮頂芽扦插



圖 6-2 培養試驗受污染情形

二、光與溫度環境

蕭氏⁽²⁶⁾指出，金線蓮之自然生長環境，白天光照 35~2500lux，溫度 18~24℃，組培苗出瓶前之馴化培養(幼芽 1.5~2.5 葉至 2~3 葉 5 公分)，光照 2000~3500lux，溫度 25℃；何氏⁽³⁰⁾指出，金線蓮光照 2000lux、需 8 小時，溫度 20~22℃；陳氏⁽¹⁸⁾建議光照 3000~5000lux，溫度 20~30℃；農民淺說：組培環境為 22±1℃，超過 25℃ 瓶內發育不良，甚至褐化死亡⁽¹⁸⁾。

黃氏⁽³¹⁾指出，嘉德麗亞蘭栽培，光照 1~2klux，補光 16~24 小時，溫度 22~27℃；張氏等⁽¹⁴⁾指出，無菌播種之培養室，溫度 20~25℃，發芽前放黑暗處，發芽後需給予光亮之光線。因此試驗時溫度採用 25℃，光照度則採用各種不同的光源，照度約 450~3620lux，金線蓮與嘉德麗亞蘭同時置於試管架上培育。

試驗時植物各 12 組樣本，對照組有三組(白晝燈、植物生長燈及混光燈組：白晝燈 1 支+植物生長燈 1 支)，LED 組有白光(高、中、低)、紅、藍、綠及藍紅混光組(1:3、1:4、1:5)，試驗量測各光源照度，結果如表 6-1 所示，測試結果 LED 白光有較高的亮度，一般燈管亮度之均勻度最佳；燈源與受光距離成反比，距離愈遠照度愈低，測點距光源 15 公分；LED 燈的排列，影響照度流場均勻度，主要因為 LED 燈的視角(8~13 度)，LED 燈投射有其局限，側邊光線較差，因此組裝時必須使 LED 能均勻分佈，試驗結果在光度流場上照度不平均，此和饒與方氏⁽²⁸⁾研究中 LED 光量子立體圖與等高線圖中看出相同的現象，為避免不均勻現象影響植株受光，造成生長的差異，試驗過程中，樣本測重後隨機變換植株位置；試驗中各截面均分成九宮格，各空間之數值為 9 點平均，對照組照度為 2.97~3.62klux，LED 組為 0.45~2.90klux。

試驗時因設備不足，為得到最多組別樣本，且使各光線不相互干擾，將生長箱各層以木箱區隔，如圖 4-13 所示，單層隔成 4 個空間，各單獨空間等同封閉系統，雖控溫 25℃，但封閉系統內各 LED 燈源之溫度皆不相同，以電腦與多功能記錄器連接溫度感測元件，於植株高度的截面上量測 8 個溫度點，各區隔空間平均溫度如表 6-1 所示，溫度約介於 26.5~34.5℃，表中紅色 LED 燈及紅藍混光的溫度皆在 30℃ 以上，咎其主因是在組裝時，各顏色 LED 燈的額定電壓及電流皆不同，而供電壓及電流(DC 12V 1A)固定，紅光疑有過負載現象，使 LED 燈發熱，另一原因是封閉系統與生長箱控溫未充分循環所致。

表 6-1 光、溫度環境與耗電量

燈別	一般植物生長箱燈管			LED								
光質	對照組			白光			紅光	藍光	綠光	紅藍混光		
組別	白晝燈	植物生長燈	混燈組(1:1)	高	中	低				1:3	1:4	1:5
照度	2.97	3.45	3.62	2.90	1.33	0.57	0.66	0.45	0.56	0.83	1.23	0.92
溫度	25±0.5			29.0	27.7	27.0	34.5	27.0	26.5	30.9	32.5	33.2
功率	36	54	54	5.1	2.2	5	35.1	4.5	2.3	2.5	23.1	16.8
單位	溫度:℃、光照度:Klux、功率:瓦特											

三、金線蓮生長情形(量的評估分析)

金線蓮每 2~3 日測重一次並拍照，生長情形如圖 6-3 所示，圖為 LED 高白光編號 31 樣本，35 天重量由 0.12mg 至 0.36mg。圖 6-4 為 LED 高白光組樣本。

12 組樣本數據迴歸統計，結果如圖 6-5 及表 6-2 所示，表中對照組生長率約 0.043~0.067mg/天、LED 白光約 0.045~0.057mg/天、藍光 0.053mg/天、綠光 0.060mg/天、紅光及混光的生長率最差，以對照組為標準，則 LED 白、藍、綠光皆可作為金線蓮組培光源，而紅及混光可能溫度過高影響生長，此亦可由 LED 高與中照度白光(表 6-1)之比較看出，高照度達 29℃，生長率不及中照度(表 6-2)；若以照度比對，藍、綠、低白光照度約 450~570lux，但生長率不見得低，此說明溫度對生長率之影響遠大於照度因素，此可能與金線蓮生理特性有關(自然環境 35~2500lux)。由實驗結果得知金線蓮照度可能不用高至 2000~3500lux(大多文獻建議)的值，而溫度方面則與陳氏⁽¹⁸⁾建議溫度 20℃~30℃相符。

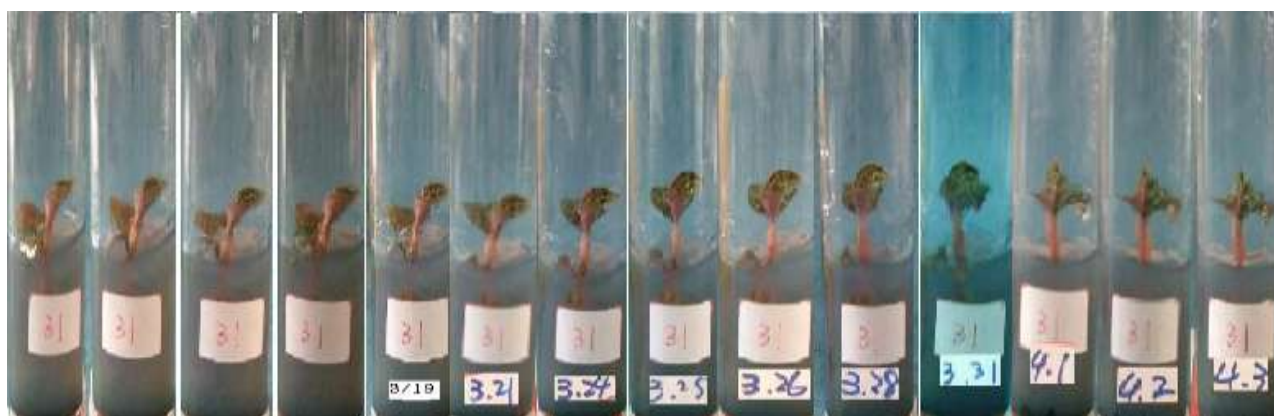


圖 6-3 金線蓮 LED 白光(高) 樣本 31 生長情形



圖 6-4 金線蓮LED白光(高)組 樣本植株

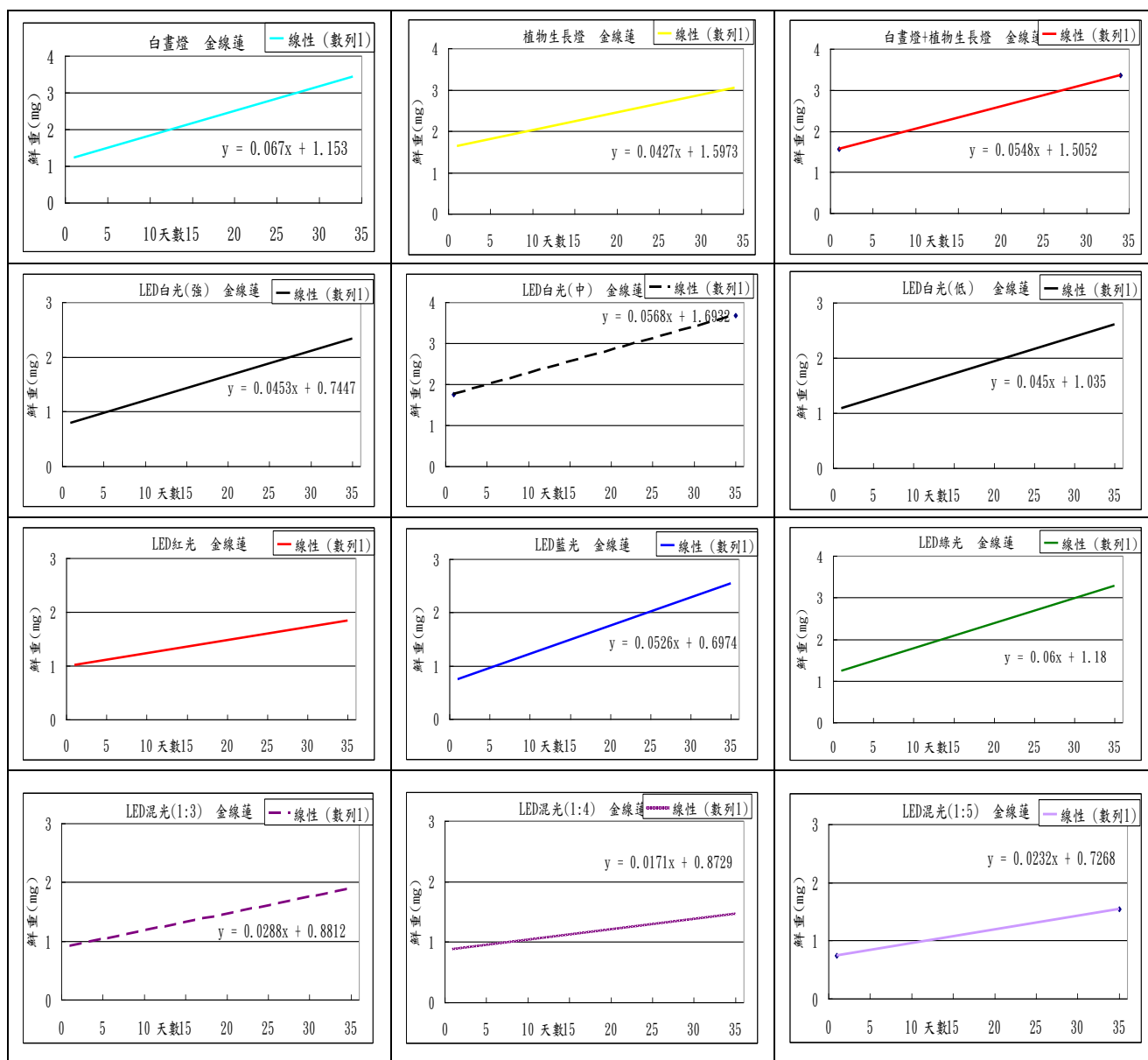


圖 6-5 金線蓮 12 組樣本之生長迴歸曲線

表 6-2 金線蓮 12 組樣本之生長迴歸方程式

組別	生長迴歸方程式	組別	生長迴歸方程式
白晝燈	$y = 0.0670x + 1.1530$	LED 紅光	$y = 0.0244x + 0.9856$
植物燈	$y = 0.0427x + 1.5973$	LED 藍光	$y = 0.0526x + 0.6974$
白晝燈+植物燈	$y = 0.0548x + 1.5052$	LED 綠光	$y = 0.0600x + 1.1800$
LED 白光(高)	$y = 0.0453x + 0.7447$	LED 混光(藍紅 1:3)	$y = 0.0288x + 0.8812$
LED 白光(中)	$y = 0.0568x + 1.6932$	LED 混光(藍紅 1:4)	$y = 0.0171x + 0.8729$
LED 白光(低)	$y = 0.0450x + 1.0350$	LED 混光(藍紅 1:5)	$y = 0.0232x + 0.7268$

四、金線蓮的根、莖、葉生長情形(質的評估分析)

金線蓮培植過程，LED 紅光系列者，生長較差，葉片有燒焦(可能為溫度太高)，且有黃化現象如圖 6-6 及 6-7 所示，圖中標示箭頭處為燒焦葉片處；另紅光植株葉片近淺紅色，且根系發展肥大，或根系發育較差，如圖 6-8 6-9 所示；LED 綠光有徒長的現象，如圖 6-10 所示，可能是綠光對植物之光合作用效能較差；而低照度方面，LED 低白光與綠光之照度相近(0.57klux 及 0.56klux)，但 LED 低白光生長正常如圖 6-11 所示，而藍光照度最低(0.45lux)，葉片微有黃化但根部發育正常，如圖 6-12 所示；LED 白光系列與對照組皆屬正常，皆有新芽長出，且其生長形態(質)差異不明顯，如圖 6-13 所示。由以上之 12 組樣本比較結果列表於 8-1 所示。



圖 6-6 紅光樣本生長情形



圖 6-7 紅 5:藍 1 光樣本生長情形



圖 6-8 紅 3:藍 1 光樣本生長情形



圖 6-9 紅 4:藍 1 光樣本生長情形



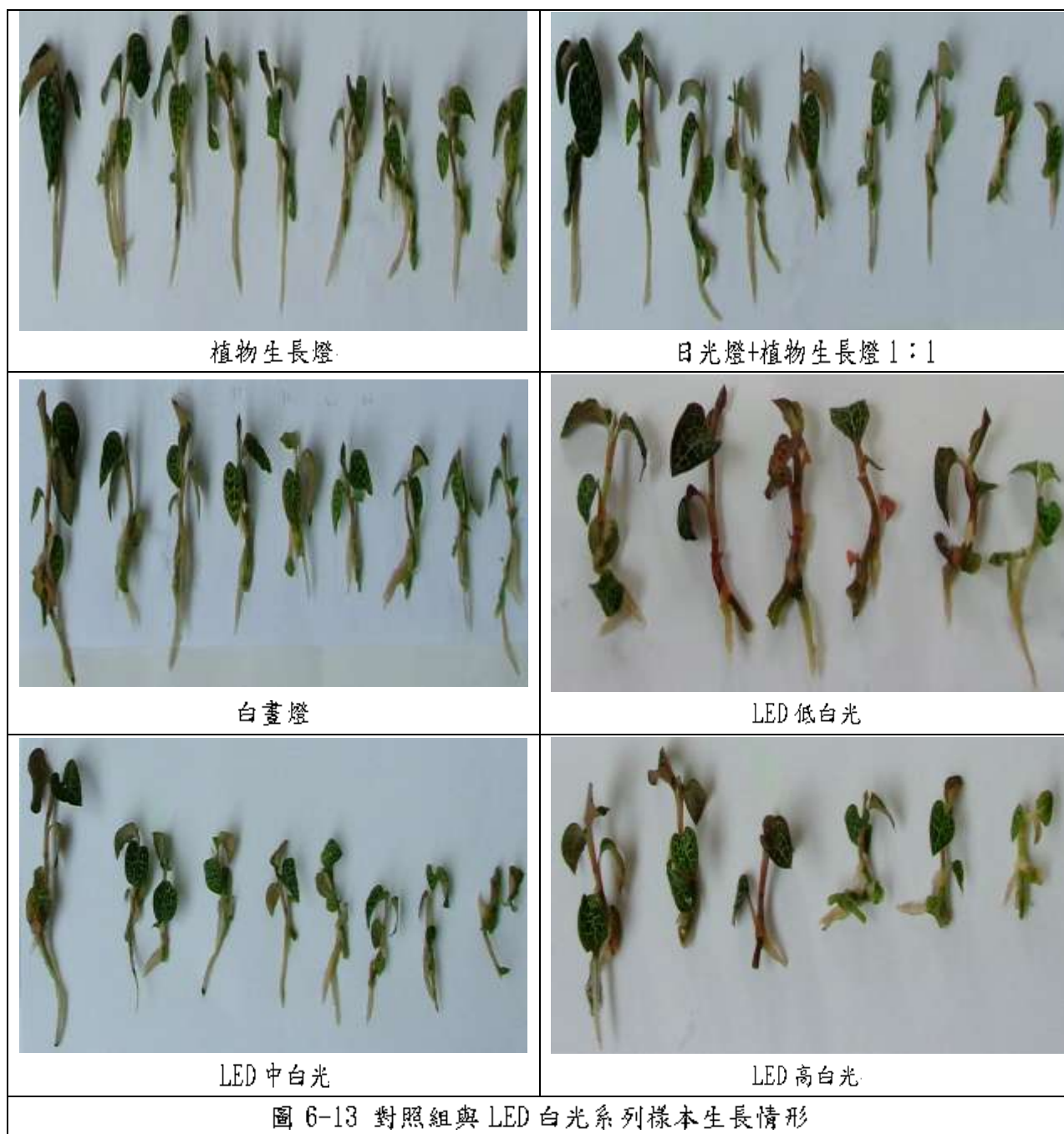
圖 6-10 綠光樣本生長情形



圖 6-11 LED 低白光樣本生長情形



圖 6-12 藍光樣本生長情形



四、嘉德麗亞蘭小芽分割直接育苗

研究採用小芽分割直接育苗，芽球樣體生長至株高 0.5~3 公分並長出根時分割培育，如圖 6-14 所示，試驗樣本 12 組，每組 13~16 株（對照組 16 株，LED 組 13~14 株），將新芽秤重，一試管植一新芽，以鋁鉚紙、塑膠袋及橡皮筋密封，並貼上標籤編號，再將樣本依重量順序分配各組，使各組樣本之植株均勻分配，以試管架置放於生長箱中培育。



圖 6-14 嘉德麗亞蘭育苗

五、嘉德麗亞蘭生長情形(量的評估分析)

12 組樣本數據迴歸統計，結果如表 6-3 所示，表中對照組生長率約 0.1261~0.1539mg/天之間，以對照組之白晝燈為標準，則 LED 白光(高、中)及紅藍混光(3:1)比白晝燈的生長速率快，其他的 LED 燈源皆比白晝燈的生長速率差，同時發現低光照度(表 6-1)樣本之生長速率較慢。

表 6-3 嘉德麗亞蘭 12 組樣本之生長迴歸方程式

組別	生長迴歸方程式	組別	生長迴歸方程式
白晝燈	$y = 0.1261x + 2.3239$	LED 紅光	$y = 0.1194x + 2.8806$
植物燈	$y = 0.1539x + 2.6261$	LED 藍光	$y = 0.1061x + 2.6739$
白晝燈+植物燈	$y = 0.1436x + 2.5164$	LED 綠光	$y = 0.1100x + 2.5500$
LED 白光(高)	$y = 0.1346x + 2.8154$	LED 混光(藍紅 1:3)	$y = 0.1271x + 2.6429$
LED 白光(中)	$y = 0.1591x + 3.5309$	LED 混光(藍紅 1:4)	$y = 0.1053x + 2.4447$
LED 白光(低)	$y = 0.1029x + 3.3471$	LED 混光(藍紅 1:5)	$y = 0.0976x + 2.7224$

六、嘉德麗亞蘭根、莖、葉生長的形態(質的評估分析)

(一)LED 光源與一般光源比較

以 LED 白光及綠光與對照組作型態的比較，五個處理如圖 6-15 所示，對照組三組樣本及 LED 白光(高)，在型態上無明顯差異。植株生長正常且多數增生新芽。LED 綠光有黃化現象且無新芽增生。

(二)LED 不同比例紅光與藍光混合之比較

以 LED 不同比例紅光與藍光混合(紅光、藍光、3:1、4:1、5:1)等五個處理中，如圖 6-16 所示，以藍光處理效果最佳，但皆無任何新芽增生。藍光處理根部生長正常，但無新芽增生，而其他的處理根部肥大，紅光處理葉片微有黃化現象。

(三)LED 單一光源之比較

以 LED 單一光源白光、綠光、藍光及紅光四個作型態的比較，如圖 6-17 所示，以白光處理的效果較佳。白光處理型態生長正常且有新芽增生而綠光、藍光及紅光等三個處理並無任何新芽增生且整株微有黃化現象。

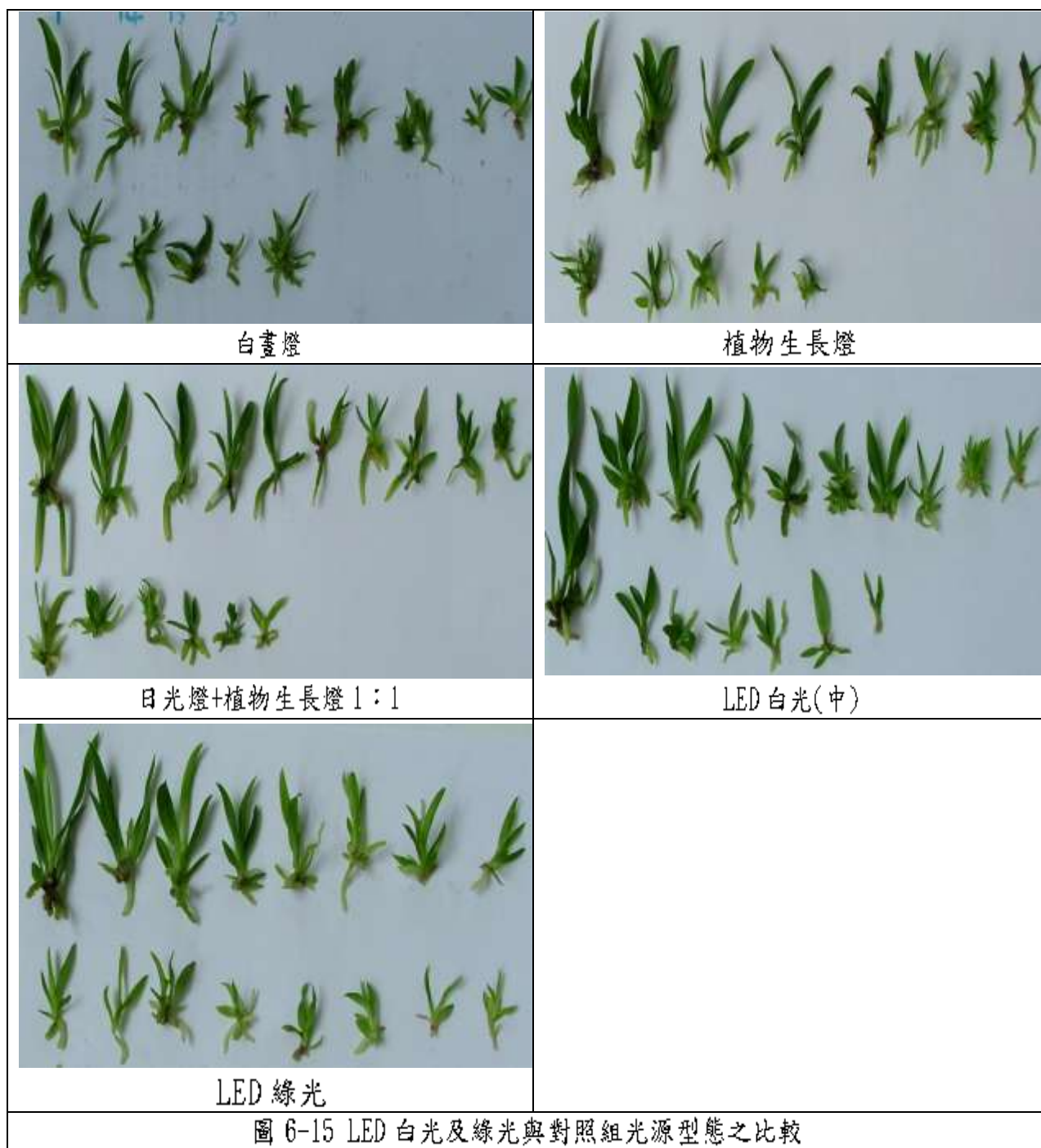
(四)LED 白光不同光強度之比較

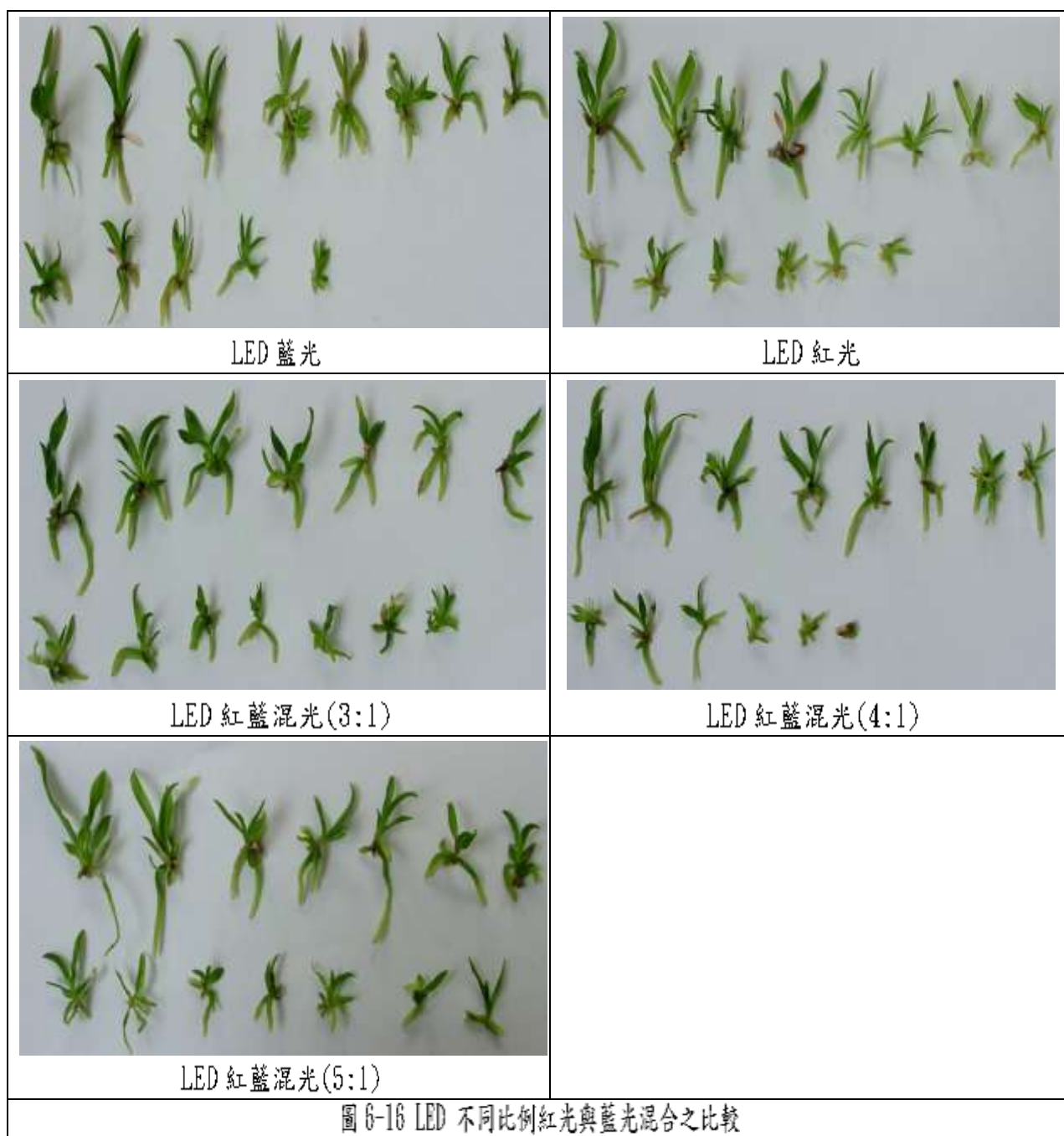
以 LED 白光不同光強度比較，在型態上生長皆屬正常、皆有新芽增生，如圖 6-18 所示。以 LED 白光(中)生長勢較佳，高照度根部有肥大現象，三者皆有新芽增生。

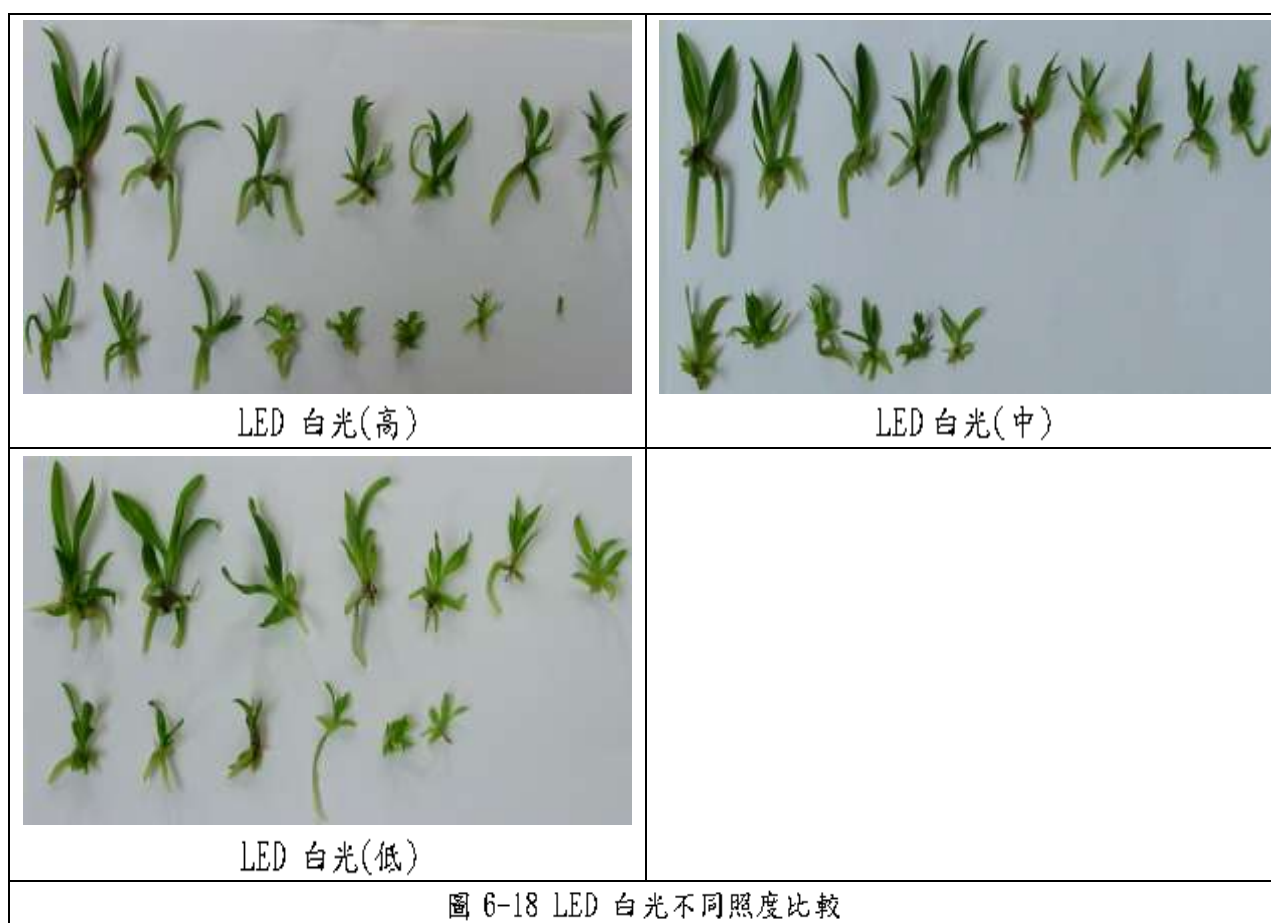
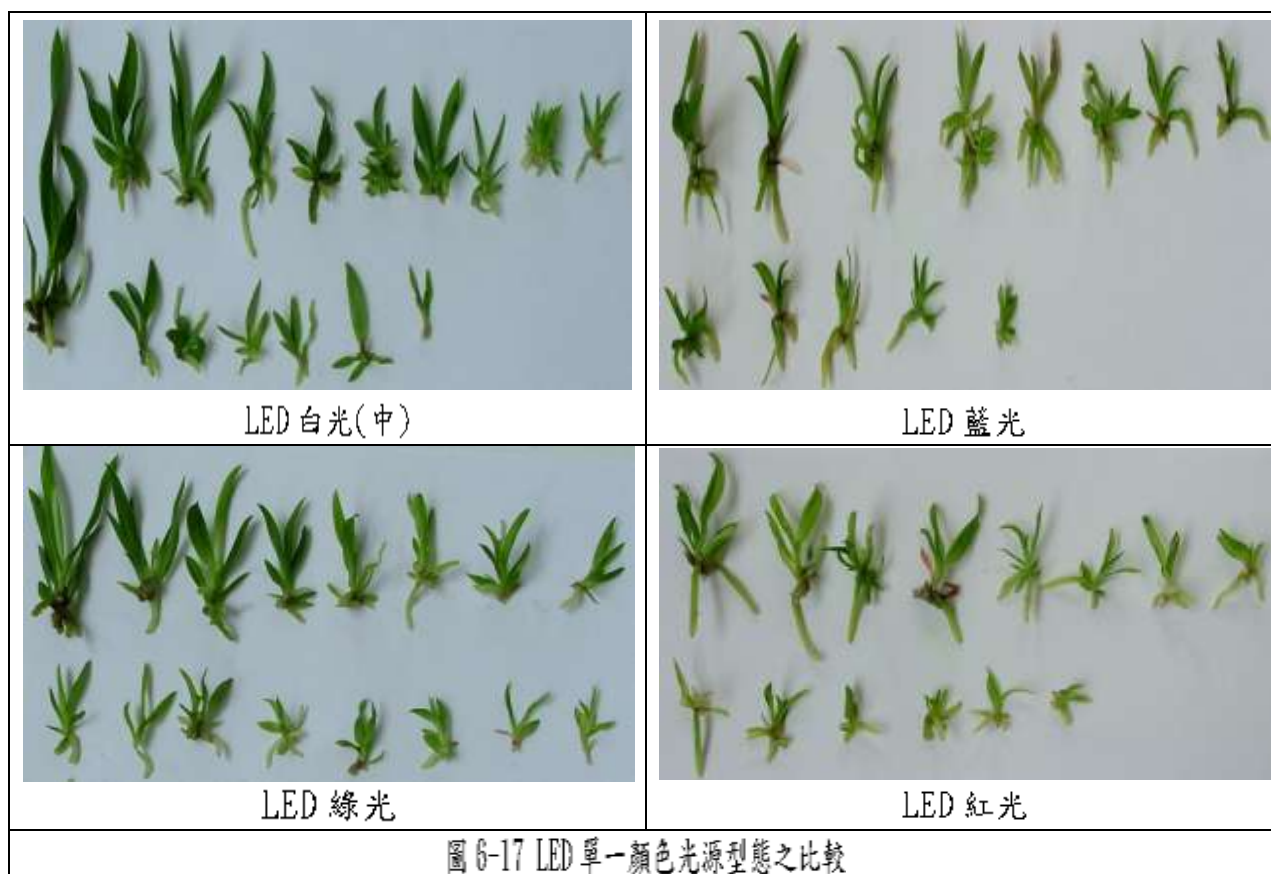
以不同光照條件處理各生長階段之單一植株組織培養苗(嘉德麗亞蘭 12 重複以上，觀察其生長速率及形態上的變化) 12 組樣本比較結果列表於 8-2 所示。

七、光環境的耗電量

LED 電路設計如 5-2 圖所示，實際組裝如圖 4-5 至 4-12 所示，利用電流計串聯量測每排(4 個 LED 及 1 個電阻)LED 的用電量，計算後各燈源用電量表列於 6-1，由以上討論結果，LED 白光可作為人工光源，以一般燈源耗電量 36~54W(燈管 2~3 支)，LED 白光約 2.2~5.1W。以光照度值 2.9KLUX 比較，LED 白光(高)比白晝燈省了近 30.9W 的用電功率，若不考慮光照度的差異，則省電約 30.9W~51.8W，若以試驗之每日光照 16 小時，四層生長箱，則年省電量約 721~1210 度(仟瓦小時)。







柒 討論

- 一、國內組培應用 LED 燈並不多見，有用於蝴蝶蘭、萵苣、馬鈴薯之試驗，但直接改裝植物生長箱，並以 9 種不同光質與照度之 LED 從事金線蓮與嘉德麗亞蘭的研究，並無類似文獻發表，目前由國外進口專利之 LED 燈植物生長箱，其價格為一般生長箱的數倍，且只限於紅藍色系，並無 LED 白光，而照明級 LED 白光，於今年 2008 年其亮度與價格(10 元以內/粒)才為之普及，因此 LED 白光用於植物組培苗之探討與文獻付之闕如。
- 二、燈源與受光的距離成反比，距離愈遠照度愈低，傳統的燈管與瓶苗之距離約 50~60 公分，主要是避免燈管的熱度，影響生長，如以 LED 燈可縮短到 20~30 公分，如此可增加層數，提高產量，此與饒與方⁽²⁸⁾引述發現相同。
- 三、本研究利用低耗能 LED 作為光源，可成功培育組培苗。若再結合台大黃秉鈞教授所提之 LED 太陽能路燈的觀念⁽⁶⁾，結合太陽能則 LED 組培光源可達省上加省的效果。
- 四、LED 燈的排列，影響照度流場均勻度，此與饒與方⁽²⁸⁾研究所繪 LED 光量子立體圖與等高線圖的現象類似。因此廣角度及高亮度的 LED，未來需求更為殷切。
- 五、LED 燈過負載，會使 LED 燈發熱，研究時以恆壓源電路設計，以限流電阻控制電流則穩流受正向電壓而影響其電流量，因此在設計上應注意串聯後的電流量及功率下降問題。
- 六、金線蓮於培植過程中，有 LED 紅光系列者，生長較差，部份葉片燒焦或黃化，且根系發展不好，此可能疑為溫度太高所致，試驗溫度超過陳⁽¹⁸⁾提出之 20~30℃，但與其量測國內培植場實際瓶溫皆在 30℃ 以上且苗仍健壯雷同。
- 七、金線蓮以 LED 綠光培育，植株徒長且莖葉較白，可能是綠光對植物之光合作用效能較差，此與陳⁽¹⁷⁾研究所提，光質影響組培苗形態，如苗高度與葉綠素含量之發現相符。
- 八、金線蓮以 LED 白光三樣本（高、中、低）培育，皆有新芽長出，且其生長差異不明顯。
- 九、嘉德麗亞蘭 LED 白光(高、中)及紅藍混光(3:1)比白晝燈的生長速率快。而形態上以 LED 白光最佳。

捌 結 論

- 一、組織培養試驗須保持無菌狀態，避免污染。
- 二、LED 燈在投射的覆蓋度上有其局限，因此在組裝上必須使 LED 能均勻分佈。
- 三、溫度對於金線蓮及嘉德麗亞蘭生長之影響遠大於光照度因素。
- 四、LED 白光可用來作為金線蓮之組織培養光源。其他光源試驗後之生長形態如表 8-1 所示。
- 五、LED 白光可用來作為嘉德麗亞蘭組培光源。其他光源試驗後生長形態如表 8-2 所示。
- 六、以 LED 白光作為人工光源，就 2.9klux 照度下，每一植物生長箱，每年至少可以省下 721 度(仟瓦小時)電。

表 8-1 金線蓮生長形態

組別	生長率 mg/天	新芽增生	黃化	徒長	根部生長
白晝燈	0.0670	有	-	-	正常
植物生長燈	0.0427	有	-	-	正常
白晝燈+植物生長燈 1:1	0.0548	有	-	-	正常
LED 白光(高)	0.0453	有	-	-	稍肥大
LED 白光(中)	0.0568	有	-	-	正常
LED 白光(低)	0.0450	有	-	-	正常
LED 紅光	0.0244	-	明顯	-	肥大
LED 藍光	0.0526	有	輕微	-	稍肥大
LED 綠光	0.0600	-	-	明顯	正常
LED 紅藍光 3:1	0.0288	-	明顯	-	發根率低
LED 紅藍光 4:1	0.0171	-	明顯	-	發根率低
LED 紅藍光 5:1	0.0232	-	明顯	-	發根率低

表 8-2 嘉德麗亞蘭長形態

組別	生長率 mg/天	新芽增生率	黃化	根部生長
白晝燈	0.1261	40%	-	稍肥大
植物生長燈	0.1539	54%	-	正常
白晝燈與植物生長燈 1:1 混合	0.1436	44%	-	稍肥大
LED 白光(高)	0.1346	40%	-	正常
LED 白光(中)	0.1591	21%	-	稍肥大
LED 白光(低)	0.1029	23%	-	正常
LED 紅光	0.1194	0	輕微	肥大
LED 藍光	0.1061	23%	輕微	稍肥大
LED 綠光	0.1100	0	輕微	正常
LED 紅藍光 3:1	0.1271	0	輕微	肥大
LED 紅藍光 4:1	0.1053	0	輕微	肥大
LED 紅藍光 5:1	0.0976	0	輕微	肥大

玖 參考文獻

1. 方煒。人工光源在生物產業的應用。2006.09.07，取自 <http://ecaaser3.eca.ntu.tw/weifang/led/>。
2. 方煒。光電在電物栽培的應用。<http://nova.ame.ntu.edu.tw/journals/89-90/annual/-report/-research/research-12.htm>。
3. 王明吉、李咩，1991，光度對蝴蝶蘭小苗生長、開花及碳水化合物及葉片酸度變化之影響，中國園藝 37(4):290。
4. 王明吉，1991，蝴蝶蘭幼年性、光度對生長與開花之影響及葉片酸度之變化，國立台灣大學園藝學研究所碩士論文。
5. 李光軒。調整光質的方法及其對波士頓蕁蓴種苗栽培之影響。
<http://ecaaser.eca.ntu.tw/weifang/cea/graduate/李光軒.htm>
6. 何謂 LED 燈發光二極體及用途，<http://www.eclife.com/product/index-led.htm>。
7. 林育如、李咩，1994，光與光合產物分配對蝴蝶蘭開花與碳固定速率之影響，中國園藝學會。
8. 林育如，1994，光、溫度與生長調節劑對蝴蝶蘭生長與開花之影響，國立台灣大學園藝學研究所碩士論文。
9. 吳宛芳。LED 產業報告-白光 LED 發光題材下的 LED 產業。
<http://intra.yuanta.com.tw/pagesA2/hot-issue/9212LED.htm>。
10. 吳昭祥，1999，植物與人生~談植物精油與芳香療法，科學農業 47(1.2):91-96。

11. 松原英多。遠紅外線介紹。<http://lih-harnng.myweb.hinet.net/01-001.htm>。遠紅外線療法的效果實例。
12. 夏奇鈺、陳威臣、曹進義、蕭翌柱，2006，利用組織培養生產保健植物，永續農業，2006/06 第 24 期。
13. 涂美智、李咩，1988，氮素、蔗糖濃度及光強度對蝴蝶蘭種子發芽及幼苗生長之影響，中國園藝 34(4):293-302。
14. 張莉莉、鄭克俊、朱添進、宋芬玫，1992，園藝 種苗生產，園藝科標準本，地景企業股份有限公司。
15. 陳加忠，蘭花組織培養的新近技術介紹，國立中興大學-生物系統工程研究室，http://www.solar_i.com/know.html。
16. 陳加忠，蘭花量產與生理：光合作用，國立中興大學-生物系統工程研究室，http://bse.nchu.edu.tw/new_page_90.html。
17. 陳加忠，光線光譜與植物合作用的關，國立中興大學-生物系統工程研究室，http://bse.nchu.edu.tw/new_page_122.html。
18. 陳加忠，金線蓮-農業的傳奇作物，國立中興大學-生物系統工程研究室，http://bse.nchu.edu.tw/new_page_59.htm。
19. 陳福祺，影響蘭花組織培養種苗品質之因子，台灣花園藝月刊，第 200 期，<http://www.tfda.org.tw/magazine/contenta.phtml?bookid=6066&55ion>。
20. 陳世銘。組織栽培種苗光環境之分析瓶苗換盆作業效率之探討。<http://nova.ame.ntu.edu.tw/journals/89-90>
<http://nova.ame.ntu.edu.tw/journals/89-90>
[annual/-report/-research/research-12.htm](http://nova.ame.ntu.edu.tw/journals/89-90)。
21. 楊學林，1996，溫度、光與無機養分對姬蝴蝶蘭和朵麗蝶生長與開花的影響，國立台灣大學園藝學研究所碩士論文。
22. 劉新裕、林義恭、賴瑞聲、高瑞隆，2006，台灣具發展潛力之中草藥，農業世界雜誌 273 期。
23. 駐哥斯大黎加技術團役男，自己動手做一蘭花組織培養，<http://www.tfda.org.tw/new/no5806.htm>。
24. 蔡淑珍、吳宗諺，2006，保健食品的市場開發，永續農業，2006/12 第 25 期。
25. 薛聰賢，2004，家庭園藝(第 9 輯)——養蘭不難，台灣普綠出版部。
26. 蕭翌柱，2006，珍貴藥用植物-台灣金線蓮之生長習性及種苗培育技術，永續農業，2006/6 第 24 期。
27. 饒瑞佳。組織培養環控人工光源光譜分析與合成。<http://ecaaser3.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/cea/garduate/饒瑞佳.htm>。
28. 饒瑞佳，方煒。2000。組織式紅、藍光發光二極體燈具之給光環境模擬。農業機械學刊，第 9 卷、第 3 期。
29. LED 燈，<http://www.pvlink.com/web/led.htm>。
30. 豐年社，1992，園藝作物組織培養實用技術，何偉貞，金線蓮的組織培養，行政院新聞局。
31. 豐年社，1992，園藝作物組織培養實用技術，黃達雄，嘉德麗亞蘭的組織培養，行政院新聞局。

【評語】 091402

1. 內容表達佳而生動。
2. 能充分應用所學，研究主題具未來產業應用潛力。
3. 實驗變數之控制，有加強空間。