

中華民國第 59 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

探究精神獎

052109

斑斑可考—斑葉植物與環境因子

學校名稱：國立彰化高級中學

作者：  高二 郭永漢  高二 吳英彰  高二 陳景元	指導老師：  鄭乃彧
---	------------------

關鍵詞：斑葉、光合作用、環境因子

# 摘要

本研究藉由調控各項環境因子，歸納斑葉植物與環境因子間的交互作用，進而比較不同成因、屬性的斑葉植物應變相同環境因子的策略差異。研究顯示，光限制、非光限制均會讓化學性斑葉植物啟動自體調節，且在相同控制變因項中，葉綠素濃度變化量與斑紋面積比例之增減多成負相關。越高的溫度、光合有效輻射值和灌溉源 pH 值，以及過多藍光，會使葉綠素濃度的變化量下降；且每日八小時的光照，相對而言是最不利於斑紋成長的光期。我們也比較了面對低光環境時，兩種成因不同的斑葉植物。黃金葛與銀后粗肋草各葉區的葉綠素濃度變化，化學性斑葉——黃金葛在低光環境的葉綠素濃度變化量較正常情況為低；物理性斑葉——粗肋草則完全相反。

## 壹、研究動機

冬天到了。為了平衡這陰冷的氣息，媽媽從正在特賣的花店買了盆黃金葛回家，種在窗口的那方陽光下；過了一陣子，原先僅是碧綠的葉竟然泛出了點點金黃——這讓我們開始好奇：除了基因之外，哪些因子也參與、並促發了斑紋展現的偉大工程？結合選修生物第二章〈維持生命現象的能量〉、第四章〈植物的生殖與生長〉，我們展開了以下研究。

## 貳、研究目的

- 一、比較黃金葛與銀后粗肋草的斑葉成因差異。
- 二、觀察黃金葛斑葉面對溫度、澆灌源酸鹼、光量、光期、光質等環境因子調控所產生的改變：
  - (一) 葉片葉綠素濃度的變化
  - (二) 斑紋占整葉面積比例的變化
- 三、探討黃金葛與銀后粗肋草，面對低光環境葉綠素濃度變化之差異。

## 參、研究設備及器材

- 一、植物：黃金葛 (*Epipremnum aureum*)、銀后粗肋草 (*Alphonse-Karr* cv. 'Silver Queen')
- 二、藥品：醋酸、碳酸氫鈉
- 三、器材：單面刀、蓋玻片、滴管、載玻片、燈泡(Glowlux 10W LED)、燈座(附開關、自動計時裝置)、紙箱、鋁箔紙、濾光片、隔板、黑紗網
- 四、器儀：複式顯微鏡、解剖顯微鏡、恆溫培養箱、葉綠體計 SPAD-502PLUS、PAR 計 LI-250A、相機、電腦、Arduino Nano、DS18B20 溫度感測器
- 五、軟體：
  - | 斑紋面積統計：ImageJ
  - | 文書處理：WPS Office Writer、Google Drive、Microsoft Office、小畫家 3D

## 肆、研究過程或方法

### 一、斑葉機制

就斑紋的形成而論，斑葉大致上可分為「物理性（構造型）斑葉」與「化學性（色素性）斑葉」兩類。前者的斑紋來自於細胞結構與排列之獨特（如秋海棠科植物葉斑處表皮細胞與葉肉細胞間的空隙、柏拉木 (*Blastus cochinchinensis*) 葉斑處上表皮可增加光反射的草酸鈣結晶），帶斑區的顏色多是光線經過不同介質漫射而成，色素之分布並非斑紋生成的主因。但黃金葛、斑葉薛荔等化學性斑葉的黃（白）色斑紋，卻是該區塊缺乏葉綠體／素、使綠光不被反射的結果——這種因為色素匱乏或充沛而讓葉面呈現繽紛色塊者，稱之化學性斑葉。

巨觀上，我們可由迎光時葉背（即逆光）的斑紋情形進行初步研判：化學性斑葉之葉背可見得斑紋，而大部分物理性斑葉的葉背綠區（無斑區）、白區（有斑區）之分野並不明顯。但這只是通則，並非絕對之綱領。本研究在比較同種植物面對不同環境因子之葉綠素調控機制的同時，亦將進一步確認本次實驗選定的材料黃金葛 (*Epipremnum aureum*)、銀后粗肋草 (*Algonema* cv. 'Silver Queen') 之斑葉差異。



圖 4-1 銀后粗肋草



圖 4-2 黃金葛

### 二、環境因子的選擇

Frederick Frost Blackman 認為：光反應產物可用於暗反應，故光量較低時，光反應的速率限制了光合作用的整體效率；而當高光量會造成光反應產物過多、暗反應的反應速率便成了光合作用整體效率的限制因子。最慢的反應步驟會限制整體反應的效率（即限制因子律），而光合

作用具有光與非光（如二氧化碳與溫度）兩種限制因子，有學者稱之為光限制（light-limited）與暗限制（dark-limited）。

我們將影響斑葉植物調整自身狀態的環境因子，也分為「非光」與「光」。

### （一）非光

#### 1. 溫度：

黃金葛與粗肋草之原產地屬於熱帶，全年月均溫皆不低於 20 °C。故我們揀選了 20 °C、30 °C 作為變因「溫度」之觀察指標，以模擬熱帶地區的不同季節。惟自然狀態下，「恆溫」環境存在之可能性甚低，故同時以「未經任何溫度調控處理」的植株參為對照。

#### 2. 澆灌源之酸鹼

隨著空氣污染的加劇，「酸雨」逐漸改變了土壤的性質、更對無數生命與非生命造成了莫大影響。我們好奇著所在環境之土壤酸鹼是否也會對斑葉植物產生影響，故也將酸鹼性不同的澆灌源列入了變因規劃。

### （二）光

#### 1. 光量：光合有效輻射（Photosynthetically active radiation, PAR）

常用的光量單位 lux（1 lux=10 cd）是以人體視覺感受為依據，適用於人類活動環境的光量論述。植物的生長速率亦直接受光照射的影響，但植物感應最敏感、主要吸收的，實為波長在 400 nm 到 700 nm 的區段。此光帶的輻射光能稱為光合有效輻射(PAR)，光子通量時率單位  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，多為植物生理學論述所採。

因黃金葛等 C3 植物的光飽和點約在 500~1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，並考量到一般情況下室內的光強度，本研究以 PAR=50  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、PAR=150  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、PAR=250  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  作為實驗的三種光量調控。

#### 2. 光期

黃金葛屬陰性植物，故設定之每日光照時間長均少於 12 小時：以每日 2 小時、5 小時、8 小時作為實驗之光期調控。

#### 3. 光質

綠葉植物幾乎能完全反射綠光，故以紅光(波長 630 nm~700 nm，在此取 650nm 為標準值)、藍光(波長 440 nm~470 nm，在此取 450 nm 為標準值)、作為照明光源，探討斑葉隨著光合作用波段不同而產生的變化。

(因濾光器材之裝設會對光量造成影響，故未將全波段納入討論。)

### 三、實驗設計

#### (一) 實驗一：探討黃金葛與粗肋草的斑葉屬性

##### 1. 名詞定義：

(1)白區：斑葉植物的有斑區。

(2)綠區：斑葉植物的無斑區。

##### 2. 測量葉綠素濃度

於 12 盆黃金葛、12 盆銀后粗肋草之葉片綠區、白區各取三個樣本點後，以 SPAD-502PLUS 量測兩種植物葉片各區葉綠素濃度(SPAD 值)，就數據製作盒鬚圖，進行後續比對分析。

##### 3. 解剖顯微鏡觀察

事先挑選斑紋區塊大且完整的健康黃金葛、粗肋草葉片，置於解剖顯微鏡，以上光源、下光源照射並觀察。

##### 4. 徒手切片法

事先挑選斑紋區塊大且完整的健康黃金葛、粗肋草葉片，利用單面刀徒手切片，並挑選合適的樣本製作水埋玻片，以複式顯微鏡觀察之。

##### 5. 壓縮葉片法

以指甲或鑷子鈍端輕刮黃金葛、粗肋草葉片的帶斑區塊，使細胞充分合攏，並注意勿傷害到葉片表皮，觀察兩種植物的差異。

#### (二) 實驗二：黃金葛斑葉因應環境因子變化之試驗

物理性的粗肋草，因其斑葉主要成因並不在於葉面各區葉綠素濃度之差異，無法以葉綠素濃度的變化推估葉斑的消長，故未將粗肋草納入實驗二的探討。

##### 1. 實驗地點

本校科教大樓生物實驗室二樓，有遮蔭、面朝西方，冬季每日最大 PAR 值隨天候狀態之不同，約在  $100\sim 200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  之間浮動。

##### 2. 環境因子之操縱

###### (1)溫度

使用恆溫培養箱創造攝氏 20 度與 30 度的恆溫環境，並另於室內陰涼處以紙

箱遮蔽、並以燈泡照明，營造作為對照的非恆溫空間。

## (2)澆灌源 pH 值

以酸鹼計作為輔助，分別以碳酸氫鈉及醋酸調製鹼性、酸性溶液，取代澆灌植物使用的純水。每日澆灌一次。

*(註：除經(2)項處理者，每株植物每日澆灌純水一次。)*

## (3)光量

在三個大小一致的紙箱中置設不同光量的光源，利用反光平面令光能均勻散佈，使空間中光子通量時率分別為  $PAR=50 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、 $PAR=150 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、 $PAR=250 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

因難以避免不同試驗空間中光源與反光平面所造成的不同熱能，故同時設計散熱機制保持控制變因之一致、並以 Arduino 模組自動計溫監控。

## (4)光期

準備三個尺寸相同的紙箱，置於陰涼處，使用相同型號光源、並以 PAR 計確認空間中光合作用有效輻射均接近  $50 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。以自動計時裝置調節裝設在紙箱內之燈泡開關，光期分別為（一天）二小時、五小時、八小時。

## (5)光質

將燈泡分別以紅色、藍色玻璃紙包覆，裝設於大小一致的紙箱中，以控制植物所收受的主要光波段。

## 3. 觀察時間

以三十五天作為觀察總時長。

## 4. 觀察方法

雖然無法確定在觀察時間內黃金葛的斑葉能否有肉眼清晰可辨、且幅度能超出 ImageJ 辨識誤差範圍的斑紋變化，但已知植物體葉綠素存在一定代謝週期、且「黃金葛」較低的葉綠素濃度能對應到葉片的斑紋區塊，因此，我們推測**黃金葛**葉片之平均葉綠素濃度的增減，能反映實際上斑紋消長之趨勢、可作為斑葉植物斑紋變化的前驅判別因子。

### (1)葉綠素測定：SPAD 計

每株黃金葛取二葉採計、每片葉子劃分為 15 個樣區，每個樣區隨機取一點為樣本。利用非破壞型的葉綠素計（chlorophyll meter）SPAD-502PLUS 測得每樣本點

SPAD 值，以 15 個值之平均代表該葉片的葉綠素濃度，比較經過五周處理後，最終測量值與初始值的相對變化。

(2)葉面斑紋面積測定：ImageJ 圖像分析軟體

以 ImageJ 進行圖像分析，計算白(斑)區面積所佔葉片面積的百分比。比較經過五週不同處理後，最終結果與初始條件的相對變化。

### (三) 實驗三：低光環境對黃金葛斑葉葉綠素濃度影響之試驗

根據實驗二的研究結果（詳見第五部分），發現光量對於黃金葛葉片之葉綠素濃度、斑紋占葉總面積比例的變化，產生了一定程度的影響。因前項實驗關於光量改變的設計未涵蓋「低光環境」，故在此進行探討。

此實驗也將葉綠素濃度之觀察對象，切割成不同年齡段的葉片、有斑及無斑的區塊，以比較低光環境對各葉區所造成的不同影響

#### 1. 名詞定義：

- (1)新葉：每株植物最靠近頂芽的健康展開葉片。
- (2)舊葉：每株植物最靠近根部的健康展開葉片。
- (3)白區：斑葉的有斑區。
- (4)綠區：斑葉的無斑區。

#### 2. 實驗地點

同實驗二。期間不做任何操縱變因以外的人為調控，光質、光期、環境溫度等均為該地的自然條件。每天以純水澆灌一次。

#### 3. 低光環境的模擬

以黑色紗網包覆整個葉片。經量測，經此處理的樣本所能收受之 PAR 量值約為  $8\sim 12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

#### 4. 觀察時間

十四天。

#### 5. 觀察方法

、葉綠素測定：SPAD 計

將植物三株一組、共分為四組，每組所受調控如表 4-1。採新葉、舊葉各一片，每片葉子的綠區、白區各取固定三點為樣本。利用葉綠素計 SPAD-502PLUS 測得

每樣本點 SPAD 值，以三值之平均代表該葉綠/白區的葉綠素濃度，比較經過二周處理後，最終測量值與初始值的相對變化。

	A	B	C	D
新葉受光	低光	低光	正常光	正常光
舊葉受光	低光	正常光	低光	正常光
<b>表 4-1 實驗三/實驗四 各組植物所受光的調控</b>				

#### (四) 實驗四：低光環境對銀后粗肋草斑葉葉綠素濃度影響之試驗

因實驗三的觀察將不同葉區（新／舊、綠／白）的情況分開闡釋，已跳脫了「以葉綠素濃度推估斑紋消長」的框架；故實驗四將讓物理性斑葉接受同實驗三的處理，比較之著眼點在於「斑葉植物」而非「斑葉之斑紋」，觀察不同成因的斑葉植物在面對低光環境時是否會有一致的表現。

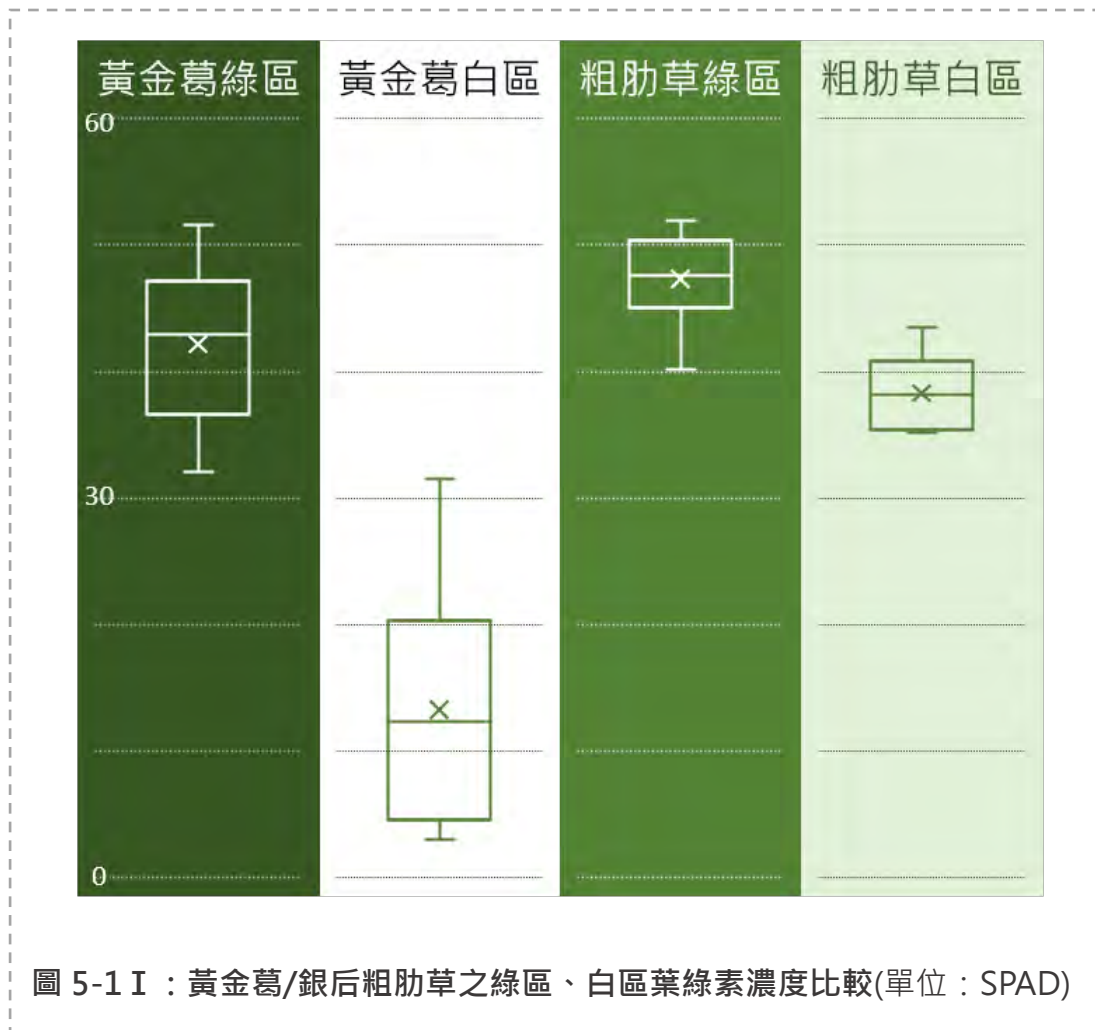
實驗地點、低光環境的模擬、觀察時間和觀察方法皆與實驗三相同。



## 伍、研究結果

### 一、分析實驗材料黃金葛與粗肋草之斑葉形成機制

#### (一) 葉綠素濃度之比較



根據 contrast-ratio 的對比度分析，黃金葛之綠、白區對比度為 3.9，粗肋草為 3.64，顏色之組合均達對比明顯(AA 級)，肉眼可明顯分辨。若將 SPAD-502PLUS 測得之原始數據呈現如圖 5-1 I 的盒狀圖，可看出：無論為有斑區或無斑區，黃金葛葉片之葉綠素濃度分布均較粗肋草離散，且綠區之葉綠素濃度較白區高出甚多，中位數、平均值都差了 30 SPAD 以上。而粗肋草綠區與白區的葉綠素濃度雖仍有差異，但差距總體而言已縮小到了 10 SPAD 以內。

二種斑葉之綠區、白區對比度相近，在綠區、白區葉綠素濃度的比較存在相當差異。

## (二) 解剖顯微鏡觀察

A表示葉片白區、B表示葉片綠區。由圖 5-1Ⅱ、圖 5-1Ⅲ可以看出，黃金葛無論正面、背面，上光源、下光源，白區均相當明顯；銀后粗肋草葉片在上光源照射背面時，幾乎完全看不出綠白區的分野、且在下光源的照射下，綠白區之邊界亦變得較不明顯。

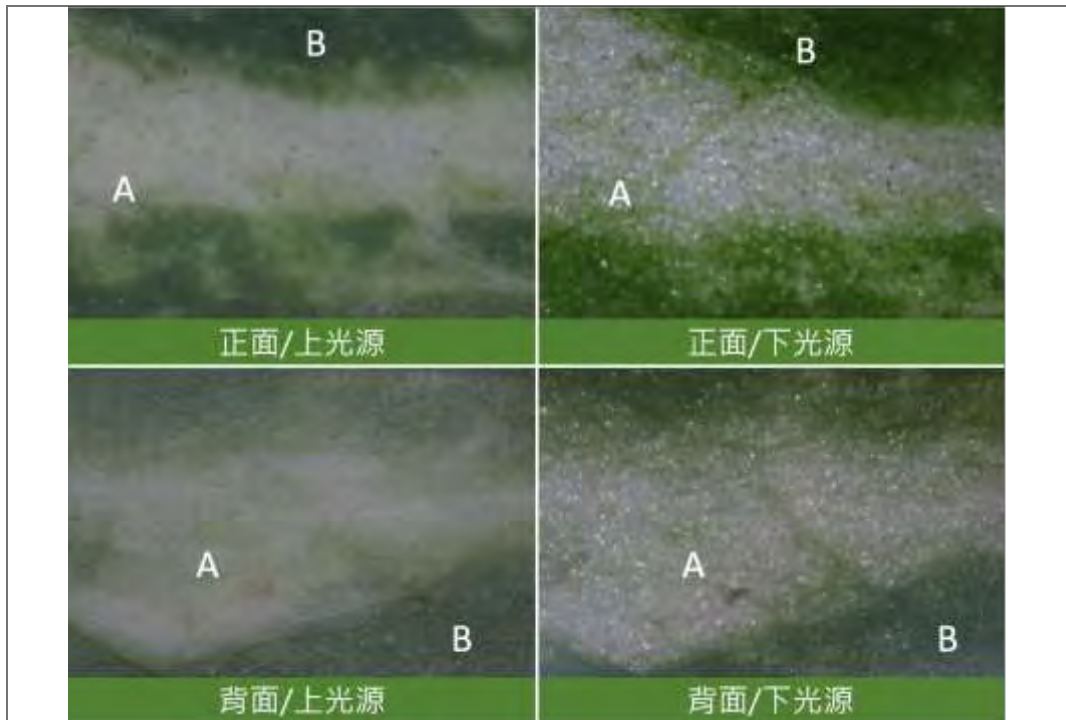


圖 5-1Ⅱ：解剖顯微鏡下的黃金葛葉片

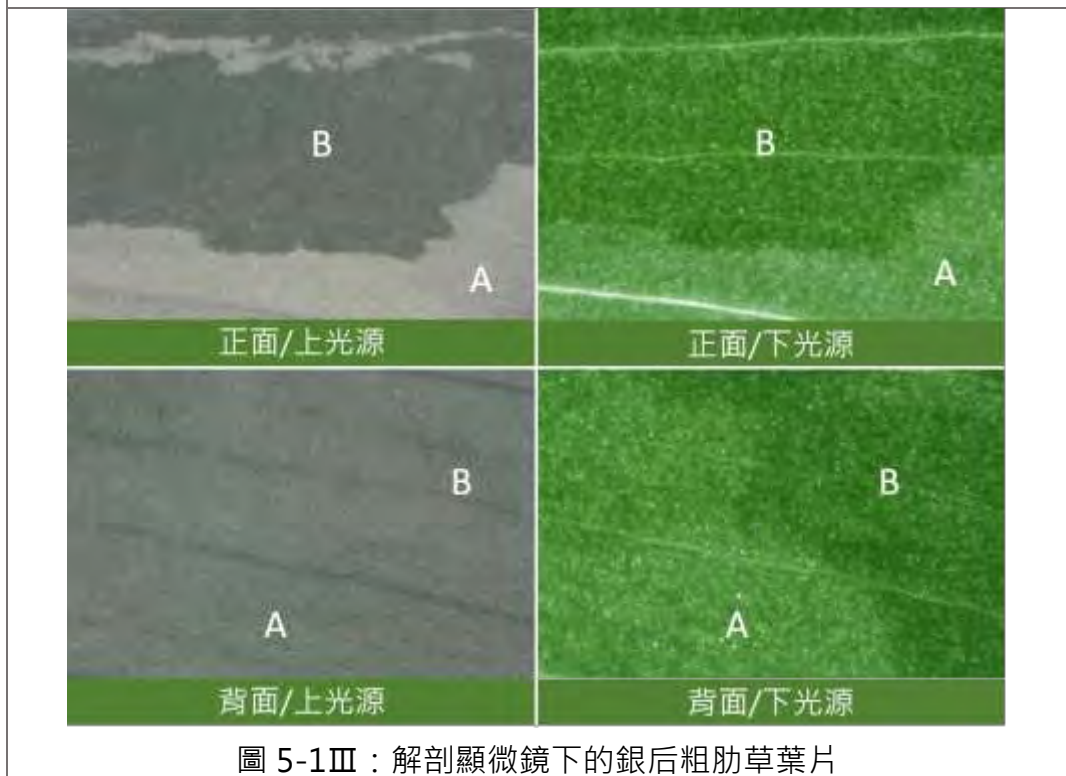


圖 5-1Ⅲ：解剖顯微鏡下的銀后粗肋草葉片

(三) 組織切片的觀察

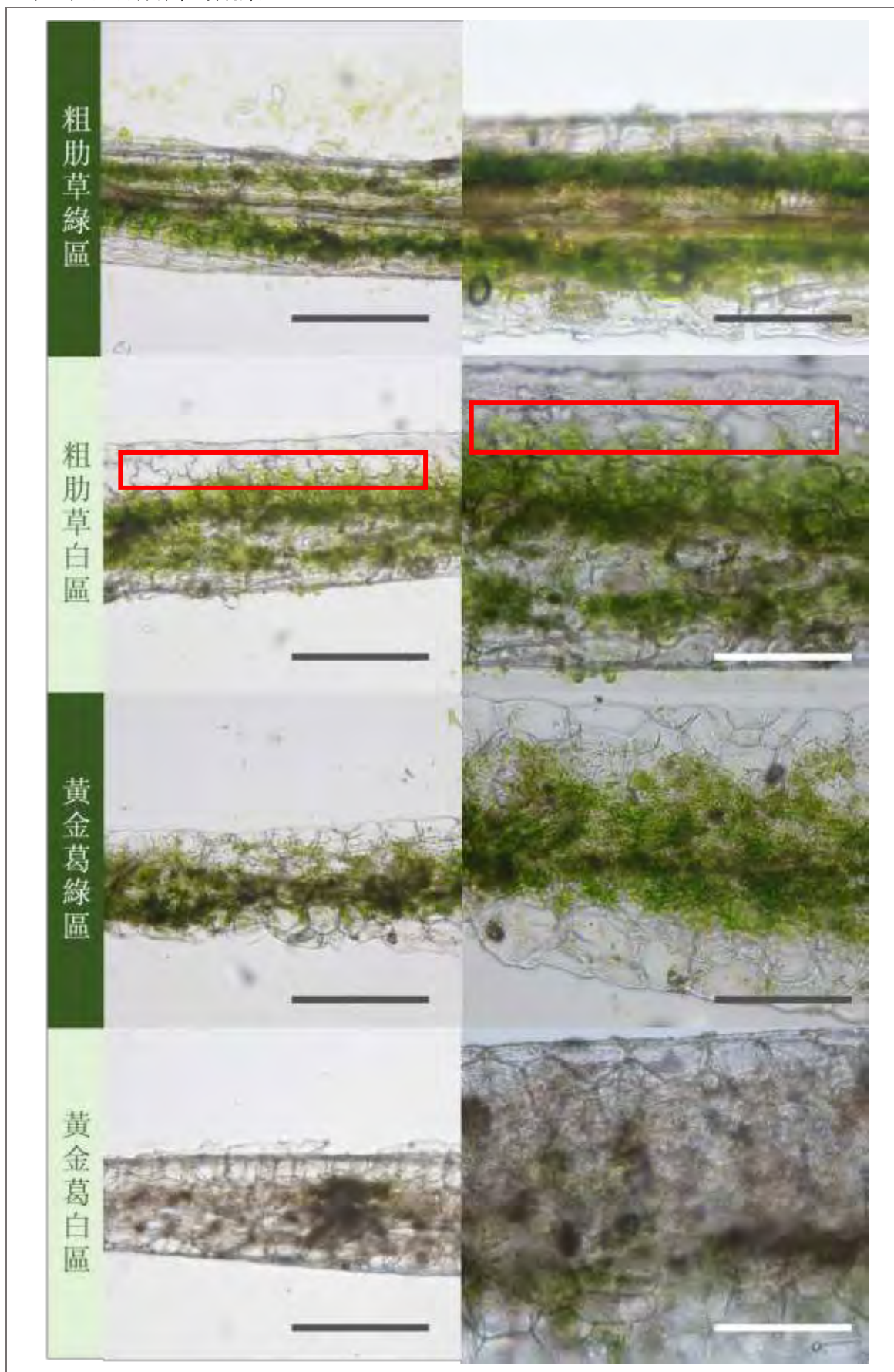


圖 5-1IV：複式顯微鏡下的葉片橫切面  
(比例尺：左行為 0.5 mm，右行為 0.25 mm)



組織切片可直觀呈現組織層級的葉綠體數量及分布。由圖 5-1D 可知，黃金葛綠區含有大量葉綠體，白區的葉綠體數量則少而分布不均，差異頗大；銀后粗肋草的綠區與白區，均含有分佈密集的葉綠體。

在綠白區葉綠體數量之比較上，兩種斑葉存在差異。

另，上表皮與柵狀組織間的「細胞間隙」能增加光線散射，是物理性葉斑的成因之一，在粗肋草白區可見得之，如圖 5-1IV 的紅框標示處。

#### (四) 被壓平前/後的白區



圖 5-1V：被壓平前後的葉片白區（上：黃金葛，下：粗肋草）

接下來，我們試圖驗證粗肋草的斑葉確實是細胞間隙所致。圖 5-1V 顯示，在葉斑被壓平之後，粗肋草白區明顯轉變為與綠區相同的顏色，意味著表皮細胞與葉肉細胞的中隔被破壞；而黃金葛的葉斑區塊，壓平前後沒什麼差異。

綜合以上，我們確認了銀后粗肋草與黃金葛的斑葉成因與屬性：銀后粗肋草為物理性斑葉，白區、綠區的分野在於表皮細胞與葉肉細胞間是否有中隔，兩區葉綠素濃度差異不大；黃金葛的葉斑則是純粹因著葉綠素濃度的低量所致。

## 二、環境溫度變化對黃金葛葉片之影響

### (一) 葉綠素濃度

由於各植物體原始葉綠素含量存在既有差異，故本研究以「變化量」做為觀察指標。又，且 Markwell, Osterman, Mitchell(1995) 發現，SPAD-502PLUS 測量值(x)對實際葉綠素濃度值(y)的函數圖形，為二次曲線  $y=10.6+7.39x+0.114x^2$ ，在計算變化量時不宜直接以 SPAD 值相減運算，故以下內容將以  $\mu\text{mol m}^{-2}$  作為葉綠素濃度的單位，並已據每次試驗前的校準值進行數據調整。

圖 5-2 A 顯示，三個組別的葉綠素濃度均呈現正增長。經 20 °C 恆溫處理之植物葉片葉綠素濃度增長值為 56.05 ( $\mu\text{mol m}^{-2}$ )，較置於

非恆溫環境（室溫，RT）高了 6.16 ( $\mu\text{mol m}^{-2}$ )，然 20 °C 組數據的標準差極大、故難以與任何一組形成顯著差異；30 °C 恆溫處理者葉綠素濃度成長最小，僅每平方公尺 18.37 微莫耳，經 t-test 分析，與 RT 組達成統計上的高顯著差異( $p<.01$ )。

(註：本研究所有資料樣本均在變異數分析之後，才進行 t-test 分析。)

### (二) 斑紋占總面積比例

圖 5-2 B 顯示，三個組別的斑紋占葉正面之面積比例均有微幅上升，「室溫」組成長 1.60%、「20 °C」組成長 1.00%、「30 °C」組成長 2.56%，以「30 °C」組成長幅度最高，「室溫」次之，「20 °C」更次。

### (三) 葉綠素濃度與斑紋面積之關聯

葉綠素濃度變化量隨溫度上升而下降，斑紋面積變化量隨溫度下降而上升，兩者

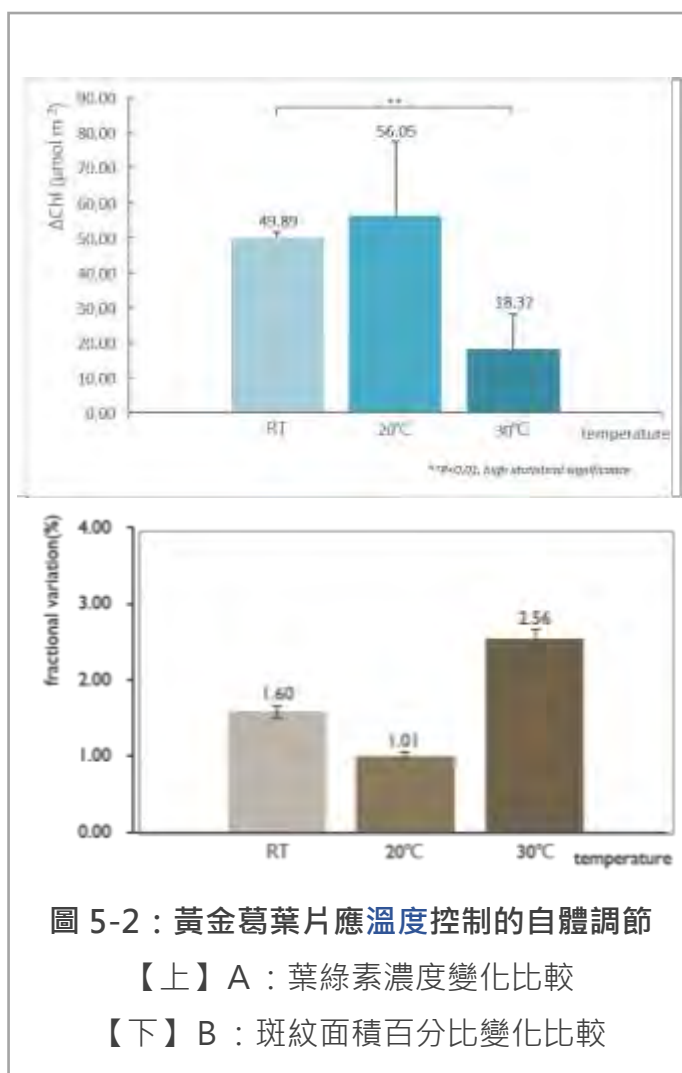


圖 5-2：黃金葛葉片應溫度控制的自體調節

【上】A：葉綠素濃度變化比較

【下】B：斑紋面積百分比變化比較

之間成負相關。

### 三、黃金葛應澆灌源酸鹼控制的變化

#### (一) 葉綠素濃度

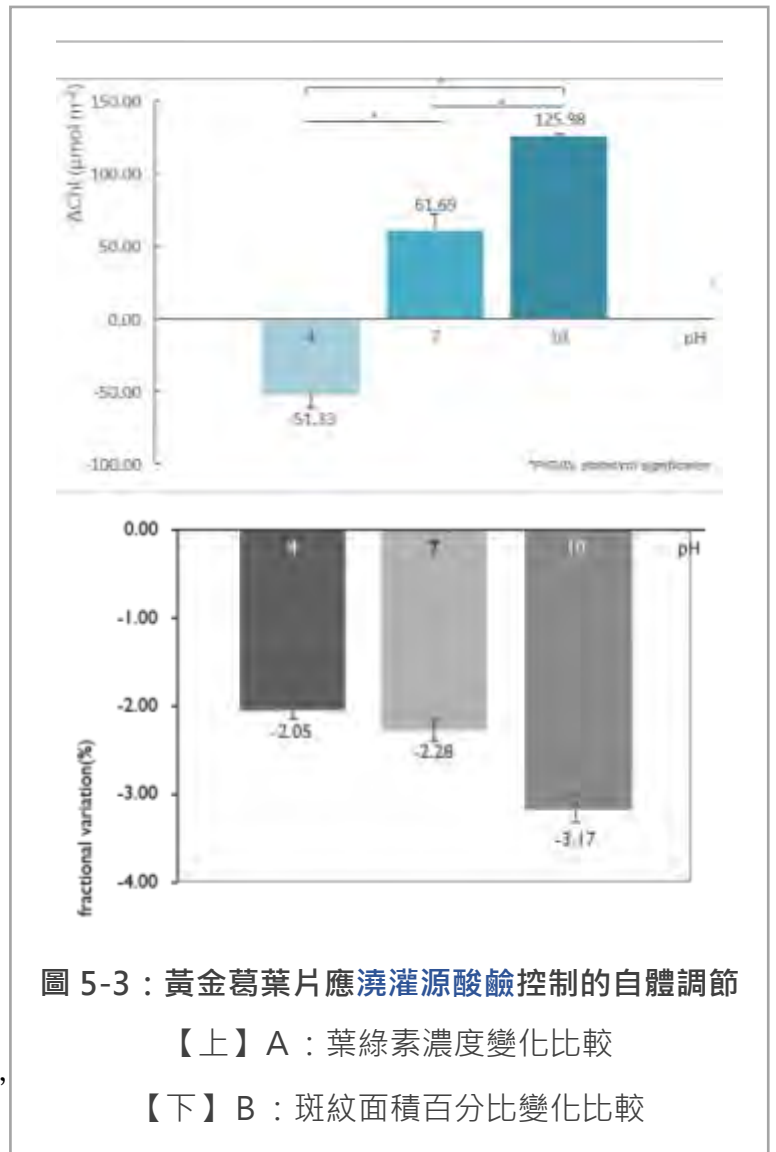
經過五個星期，葉片葉綠素濃度僅在酸性(pH4)澆灌源的處理下呈現負成長；整體而言，pH值與葉片葉綠素濃度之增減呈正相關。在 pH4 的醋酸溶液澆灌下，植物葉綠素濃度降低了  $51.33 \mu\text{mol m}^{-2}$ ；澆灌源 pH 值為 7、為 10 的組別，則分別擁有 61.69 與  $125.98 \mu\text{mol m}^{-2}$  的增長。經 t-test 分析，兩兩之間的比較均達顯著差異( $p < .05$ )

#### (二) 斑紋占總面積比例

圖 5-3 B 顯示，斑紋占葉正面之面積比例與澆灌源 pH 值呈現負相關：「澆灌源 pH4」組與初始葉片斑紋面積相較減少 2.05%，「澆灌源 pH7」組下降 2.28%，「澆灌源 pH10」組下降 3.17%。然斑紋總面積的變化皆未與彼此形成顯著差異。

#### (三) 葉綠素濃度與斑紋面積之關聯

葉綠素濃度變化量與斑紋面積變化量成負相關。



#### 四、黃金葛應環境光量控制的變化

##### (一) 葉綠素濃度

如圖 5-4 A 所示，經過五周不同強度的光處理後，環境 PAR 值為  $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  者之葉綠素濃度變化為（正） $49.89 \mu\text{mol m}^{-2}$ ；環境 PAR 值為  $150$ 、 $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  的組別均呈負成長，分別為  $-17.60$  及  $-41.76 \mu\text{mol m}^{-2}$ 。經 t-test 分析，光合有效輻射  $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  者與其餘兩組之比較均達高顯著差異 ( $p < .01$ )。

可知在  $50 \sim 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  區段中，光合作用有效輻射對葉綠素濃度變化量存在可觀影響、環境光量超過一定值時將使葉綠素濃度呈現負成長；光越強，葉綠素濃度減少的幅度越大。

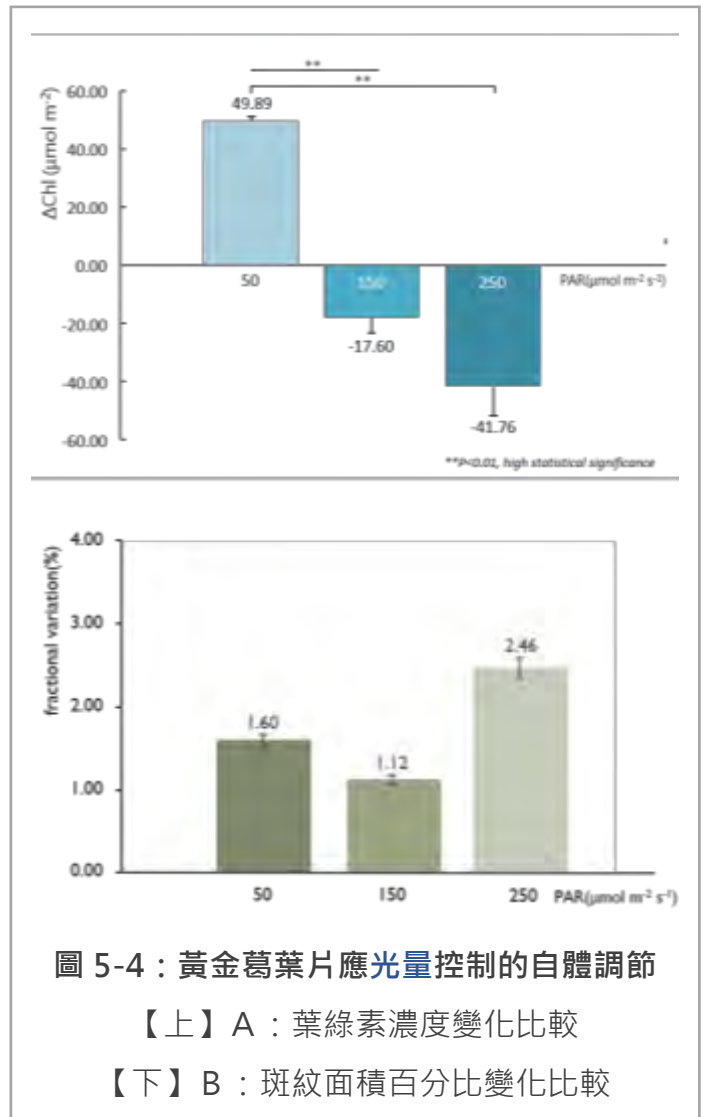


圖 5-4：黃金葛葉片應光量控制的自體調節

【上】A：葉綠素濃度變化比較

【下】B：斑紋面積百分比變化比較

##### (二) 斑紋占總面積比例

圖 5-4 B 顯示，三個組別的斑紋占葉正面之面積比例均有微幅上升，「PAR=50  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 」組成長 1.60%、「PAR=150  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 」組成長 1.12%、「PAR=250  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 」組成長 2.46%，以「PAR=250  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 」組成長幅度最高，「PAR=50  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 」次之，「PAR=150  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 」再次。然斑紋總面積的變化皆未與彼此形成顯著差異。

##### (五) 葉綠素濃度與斑紋面積之關聯

在「250  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 」與較低光量的比較之中，葉綠素濃度變化量均隨斑紋面積變化量之較高而呈現不足；「50  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 」及「150  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 」間的比較卻與此

規則不相符。

惟「葉綠素濃度變化量」、「斑紋面積變化量」二組資料之相關係數仍小於零。

## 五、黃金葛應光期控制的變化

### (一) 葉綠素濃度

經過為期五周的光期控制，每日受二小時光照的黃金葛葉片濃度較初始值下降了  $72.90 \mu\text{mol m}^{-2}$ ，亦是唯一呈現負成長的組別；每日受 5 小時光照者葉綠素濃度有著  $49.89 \mu\text{mol m}^{-2}$  的增長，低於每日受八小時的  $61.45 \mu\text{mol m}^{-2}$ 。經 t-test 分析，光週期 2 小時與 5 小時之間呈高顯著差異 ( $p < .01$ )，5 小時與 8 小時的比較呈顯著差異 ( $p < .05$ )，2 小時與 8 小時的比較達極顯著差異 ( $p < .001$ )。

據此推測，在每日五小時以上的光照環境中，黃金葛葉片之葉綠素濃度成長值會隨光照時間的加長而增加；若光期低至某一限度

(如二小時)，黃金葛葉片之葉綠素濃度將轉而呈現負成長。

### (二) 斑紋占總面積比例

圖 5-5 B 顯示，斑紋占葉正面之面積比例會隨光期之調控呈現不同的變化：「每日光照二小時」組與初始值相較增長 2.11%，「每日光照五小時」組增長 1.62%，「每日光照八小時」組下降 0.16%。

### (三) 葉綠素濃度與斑紋面積之關聯

葉綠素濃度變化量與斑紋面積變化量成負相關。

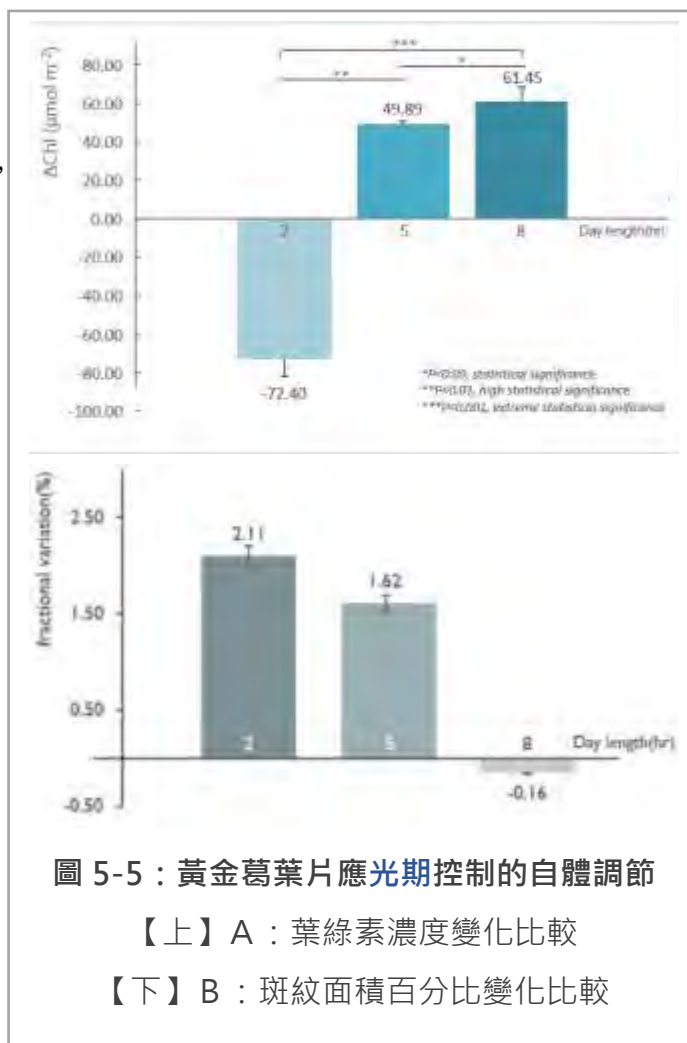


圖 5-5：黃金葛葉片應光期控制的自體調節

【上】A：葉綠素濃度變化比較

【下】B：斑紋面積百分比變化比較



## 六、黃金葛應光質控制的變化

### (一) 葉綠素濃度

經過為期五周的光質調控，在峰值波段約 450 nm 的藍光照射下，黃金葛平均葉綠素濃度下降了  $54.96 \mu\text{mol m}^{-2}$ ；照射峰值波段約 650 nm 紅光者，葉片葉綠素濃度成長  $116.80 \mu\text{mol m}^{-2}$ ，與前者呈現相反的變化。經 t-test 分析，450 nm 與 650 nm 之間呈高顯著差異( $p < 0.01$ )

### (二) 斑紋占總面積比例

圖 5-6 B 顯示，斑紋占葉正面之面積比例會隨光質之調控呈現不同的變化：「光波長 450 nm」組與初始值相較擁有 2.40% 的正增長，「光波長 650 nm」組則為 4.92% 的負成長。

(三) 葉綠素濃度與斑紋面積之關聯

葉綠素濃度變化量與斑紋面積變化量成負相關。

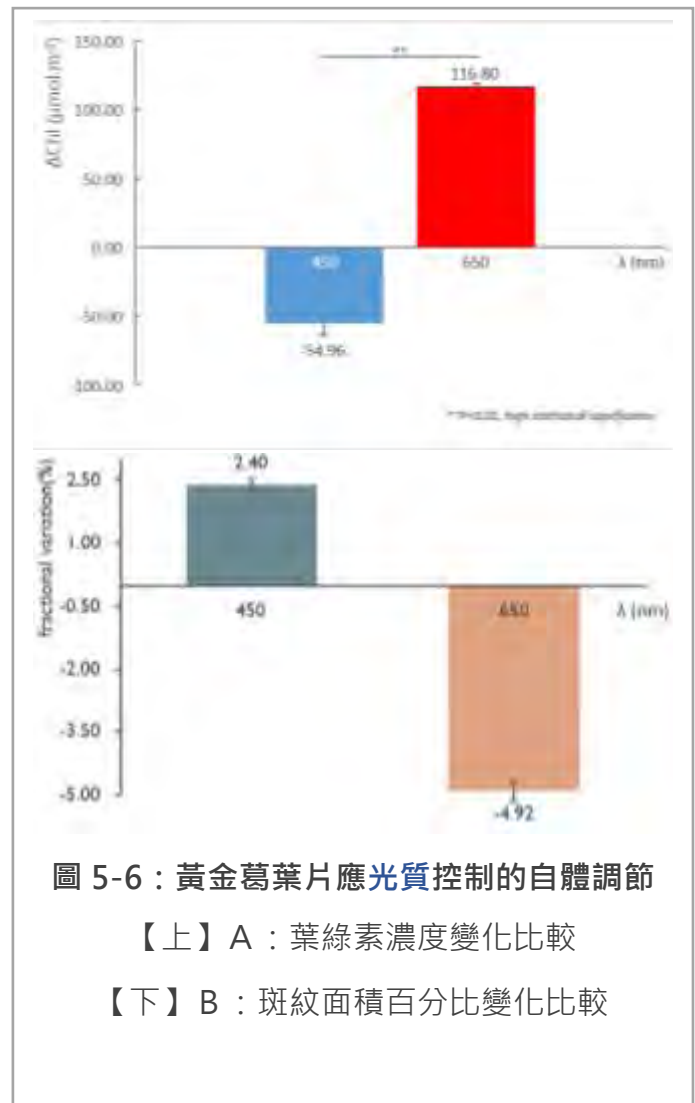


圖 5-6：黃金葛葉片應光質控制的自體調節

【上】A：葉綠素濃度變化比較

【下】B：斑紋面積百分比變化比較

## 七、黃金葛與粗肋草因應低光控制的變化

### (一) 黃金葛

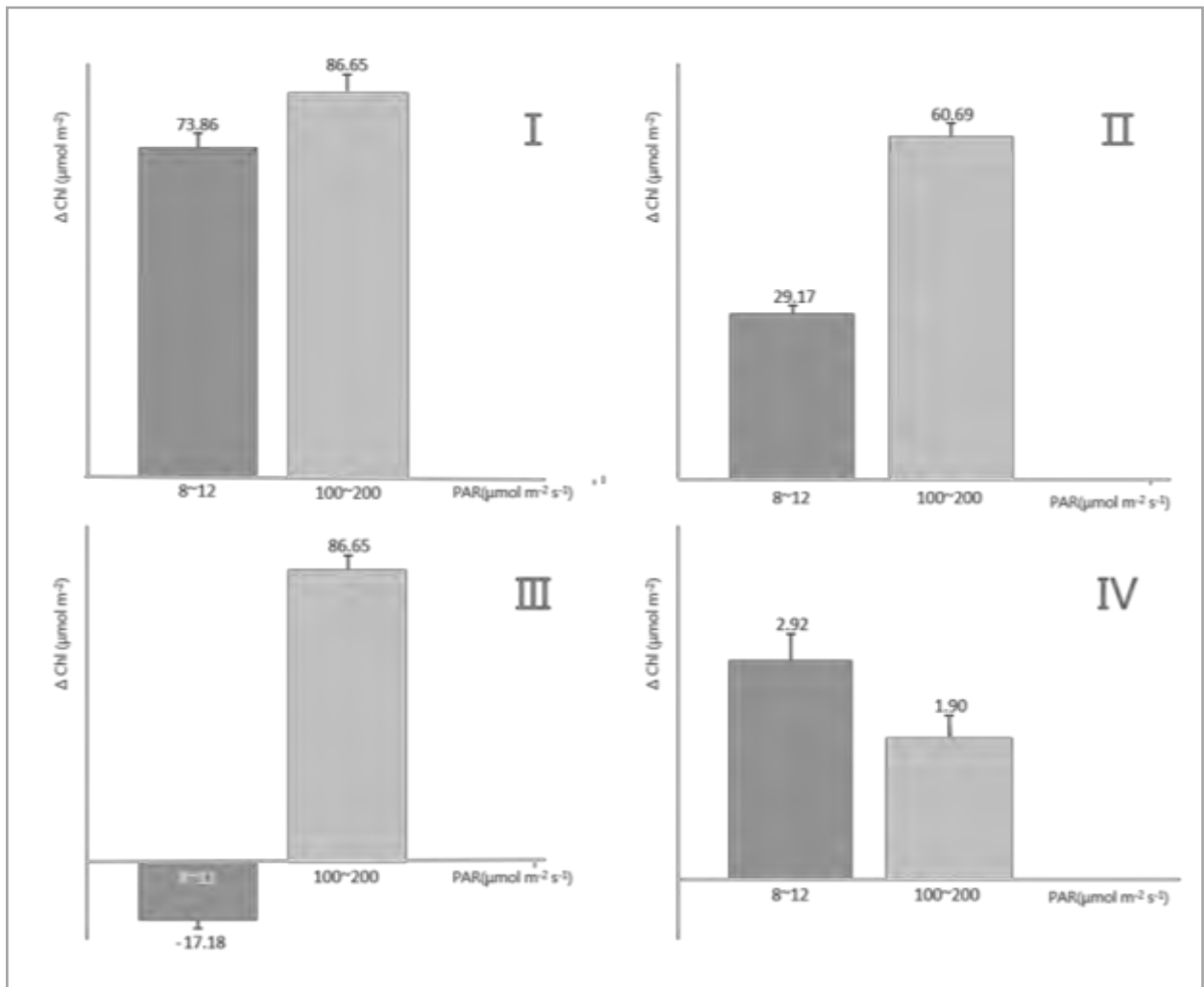


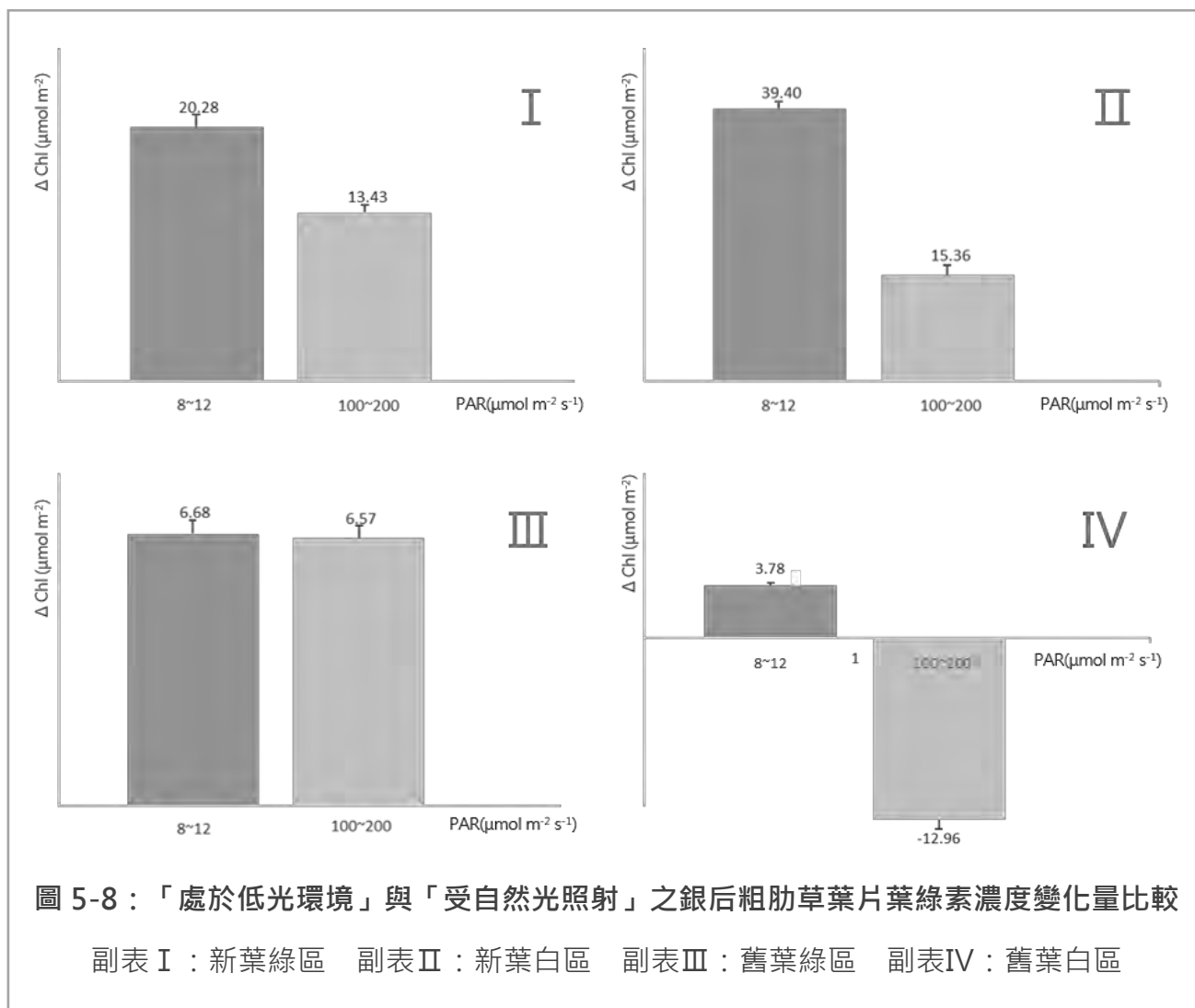
圖 5-7：「處於低光環境」與「受自然光照射」之黃金葛葉片葉綠素濃度變化量比較

副表 I：新葉綠區 副表 II：新葉白區 副表 III：舊葉綠區 附表 IV：舊葉白區

為屏除並比較不同葉區所造成的先天影響，圖 5-7 共分為四個副表，分別呈現黃金葛之新葉綠區、新葉白區、舊葉綠區、舊葉白區的，應低光與自然光照射之葉綠素濃度變化量。

在十四天的控制週期後，黃金葛新葉綠區、新葉白區、舊葉綠區的葉綠素濃度變化量均以受自然光處理者較受低光處理者為高，比值分別為 86.65/73.86、60.69/29.17、86.65/-17.18，以在舊葉綠區的葉綠素濃度變化差異最大；低光中的舊葉白區葉綠素濃度成長值為 1.90  $\mu\text{mol m}^{-2}$ ，較受自然光處理者的 2.92  $\mu\text{mol m}^{-2}$  為低，且兩者的變化量均明顯低於其他葉區的消長。

## (二) 粗肋草



為屏除並比較不同葉區所造成的先天影響，圖 5-8 共分為四個副表，分別呈現銀后粗肋草之新葉綠區、新葉白區、舊葉綠區、舊葉白區，應低光與自然光照射之葉綠素濃度變化量。

在十四天的控制週期後，銀后粗肋草新葉綠區、新葉白區、舊葉綠區、舊葉白區的葉綠素濃度，成長量均以受低光處理者較受自然光處理者為高，比值分別為 20.28/13.43、39.40/15.36、6.68/6.52、5.78/-12.96。就差值論，舊葉葉綠素濃度變化量均較新葉為低，而受不同處理的銀后粗肋草，舊葉綠區的葉綠素濃度變化差異最不明顯。

## 陸、討論

### 一、35 天之黃金葛葉斑面積變化率具有代表性與否

從第零天到第三十五天，SPAD-502PLUS 之葉綠素測定結果有著明顯的數據增減、且經不同處理的植株，其值之變化趨勢亦有著相當差異，在不損害植物本體的前提下，稱得上相當不錯的觀察器儀。另一方面，黃金葛之葉斑的分布零碎、色彩跨度又大，並無明確形式而能讓 ImageJ 輕鬆判讀，葉斑面積比例的推算可能並不那麼精確，是以經 t-test 分析，各組葉斑面積變化百分率之比較均未達顯著差異。

操縱變因	均葉綠素濃度變化	葉斑面積變化	相關係數 (R)
溫度 (°C)	20>RT>30	30>RT>20	<0
澆灌源 pH 值	10>7>4	4>7>10	<0
PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	50>150>250	250>50>150	<0
光週期 (hr)	8>5>2	2>5>8	<0
光波長 (nm)	650>450	450>650	<0

表 6-1 「葉綠素濃度變化」與「斑紋面積比例變化」總表

但仍可以發現「黃金葛葉面斑紋面積變化」與「整體葉片平均葉綠素濃度增減」在實驗二的各變因操作組內仍存在著某種關聯——兩者呈現負相關（表 6-1），以下將以葉綠素濃度的變化為參酌之主要標的，並以 ImageJ 的斑紋面積計算作為輔助，進行分析與討論。

### 二、葉綠素濃度所代表的生理意義

本研究推測，**葉綠素含量越低者的健康植物葉片、其光系統之光合作用效率越佳。**

雖然光合色素不僅僅只有葉綠素 A、葉綠素 B 兩種，但其他光合色素（如類胡蘿蔔素）的顏色往往為葉綠素所掩蓋、且葉綠素濃度之差異仍是調控化學性斑葉表現的重要指標，故本研究以對葉綠素的探討為主。

葉綠素與其他存在於生物體內的有機物質一樣，不斷的進行代謝、更新，故濃度之增減為正常現象，但變化幅度的大小根據本實驗之研究結果仍存在著相當差異。Robert Emerson(1929) 指出，相同條件下的葉綠素濃度與植物之最大（總）光合作用效率接近完全正（線性）相關。考量植物本身資源及能量之最佳配置，我們推測，在環境有益於光合作用進行的情況下，植物

便不需要再耗費額外的精力去將體內葉綠素濃度提的更高，反之亦然。但當環境惡劣到某種程度、使葉綠素本身的形成受到影響，光合作用可能將因資源利用效率不足、而無法進行，葉綠素濃度自然也會隨之下降。葉綠素濃度變化量的差異、究竟聯繫著哪種設想，仍需要考慮植物整體的生長來做出判斷，而我們也在實驗過程中日日確認植物的健康狀態（葉片有無枯黃、萎頓、缺水等）。以下便是考量所觀察到的植物生長狀況、並結合理論推測與前人實證所做出的討論。

### （一）溫度

光合作用速率會隨溫度的上升而提高，故溫度越高、葉綠素濃度增加量越低。

根據氣象監測資料，實驗期間室內環境溫度約莫在 19~25 °C 間浮動；是故對照組 (RT) 葉綠素濃度變化量，在三組調控裡位居中庸，且較接近 20 °C 組的平均值。

至於 20 °C 恆溫處理者之葉綠素濃度變化量何以分布極其離散(標準差達 21)，可能是因為低溫的培養箱須一直藉由水氣的蒸發來吸收過剩的熱量，而學校的培養箱並無濕度調控機制、我們只能自力更生的在培養箱裡置設若干個盛滿水的燒杯，培養箱的容積龐大、此法終有其空間上的侷限性，故可能造成植物保水量的差異、進而影響實驗結果。

光合作用的光反應部分受溫度的影響小，甚至不受溫度影響；而暗反應是一系列酶促反應，明顯地受溫度變化影響和制約。在光合作用的冷限溫度到最適溫度之間，光合作用速率表現會隨溫度的上升而提高，一般每上升 10 °C、光合速率可提高一倍左右。若我們視對照組(RT)為相對低溫，則解釋了為何該組植物葉片葉綠素濃度增長值( $49.89 \mu\text{mol m}^{-2}$ )，會高出經 30 °C 恆溫處理者將近兩倍以上。

此外，20~30 °C 為葉綠素合成的最適溫度，而本實驗未涉及的極端狀態——冷限溫度以下和熱限溫度以上，則會對光合作用產生種種不利影響。過低與過高溫均會鈍化、甚至破壞酶促反應，而在低溫下，植物需經呼吸作用產生更多的能量以抵禦寒冷，因此低溫會加劇呼吸作用、增加乾物質的消耗，並延續根系的生長和抑制水分的吸收、造成葉子水分虧缺和氣孔關閉；溫高於光合作用的最適溫度時，葉子將失水嚴重，造成氣孔關閉，使二氧化碳供應不足，並導致葉綠體結構發生變化和受損，植物的呼吸作用亦會加劇，而且使二氧化碳溶解度的下降超過氧溶解度的下降，結果利於光呼吸而不利於光合作用。

## (二) 澆灌源酸鹼

葉綠素濃度在鹼性溶液澆灌下會達最大增加量，斑紋面積亦在此酸鹼度達到最大的減少值。

水光解會產生氫離子，植物受鹼性溶液灌溉、體內氫氧根濃度相對較高時，若氫氧根離子能順利進到細胞內部，則氫氧根離子可能就會在碳反應進行前先行與氫離子結合，進而使 NADP+接收電子時無法與氫離子一起結合，光合作用效率變差。

光合作用之進行有賴於氣孔之開閉、氣孔開閉由鉀離子進行調控，而若氫氧根離子難以進入細胞、細胞內液之 H+濃度便會相對增加，鉀離子便傾向離開保衛細胞，使其滲透壓減低、從而膨壓下降，氣孔關閉。

## (三) 光量

當未達光飽和點時，隨光合有效輻射之增強，光合作用速率會逐漸提高（但光使用效率則將下降），葉片葉綠素濃度變化量因光資源之利用效率提高而下降，而葉斑面積或擁有增加的趨勢。

而當光線強度過高時，光合作用效率不會再隨光線強度增加而提升，葉綠素甚至可能受過強的光分解、破壞。本研究選定的光合有效輻射範圍(PAR=50~250  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )為可能在冬季出現的自然光量、且三組調控中，僅兩組較高光量(PAR=150  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、PAR=250  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )之葉綠素濃度變化量比較未達顯著差異，似乎也可以與「接近光飽和點，光合作用效率的增長趨緩」之說呼應。

實驗結果符合未達光飽和點的情況，故可確認對於黃金葛而言，此光量區間適宜。但在葉綠素濃度的資料結構方面，所有參與實驗二的黃金葛葉片中，只有收受較高光量的兩組(即 PAR=150  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、PAR=250  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )，在實驗後的全距以及標準差均小於初始條件，綜合圖 5-4A 所示，可以推論：太高的光強度可能會使化學性斑葉植物（黃金葛）整葉發黃，觀葉價值從而減低、甚或影響植物健康。而就肉眼與 ImageJ 的觀察，植物翠綠依舊、斑紋面積亦有所增長，這或許顯示本研究設計之光合有效輻射強度尚不稱極端，仍可作為園藝上育成斑葉植物的參考。

## (四) 光期

光期可能影響光反應所進行的時間，進而對整體光合作用產生影響，與葉片葉綠素濃度變化、葉斑的變化趨勢關聯密切。

就實驗結果推測：黃金葛葉片的單個光系統會在較短光期（二小時／日）達到最有效率之應用，而每天八小時的光照將使其光合作用之效率達到最低、故需要較高的葉綠素濃度。

### （五）光質

光質雖無法直接影響光合作用的反應效率，但隨著光合色素（含天線色素、中心色素）對於不同色光吸收程度的不同，不同的波長仍對光合作用有著一定影響。是以受峰值波長為 450 nm 的光照射之黃金葛葉片，會有較受紅光者差異頗大的，葉綠素濃度的負成長。

光源射出的光子能量會因波長而不同，例如波長 400 nm（藍光）的能量為 700 nm（紅光）能量的 1.75 倍。但是對於光合作用而言，波長對於整體反應並無太大影響，藍色光譜的能量轉變為熱量的比例因而較高。換言之，植物光合作用速率是由 400~700 nm 中植物所能吸收的光子數目決定，而與各光譜所送出的光子數目並不相關。整體而言，葉綠素與類胡蘿蔔素對於波長 400~520 nm 的光吸收比例最大；波長 610~700 nm 的紅光吸收率雖低，但 PS I、PS II 分別在 700 nm、680 nm 達峰值吸光度，故仍對光合作用存在顯著影響。

關於光質調控對於光合作用的影響，學界已有眾多論述，但隨著選用材料的不同，不同波長的光對於植物體的影響仍眾說紛紜。故，以藍光為主波段的電磁波可能有利於黃金葛光合作用之進行、也可能造成阻礙。且適量的來自連續輻射光源的光對於植物的生長其實更加重要。

## 三、黃金葛、粗肋草應對低光環境之不同

根據實驗二，已知在越高的光量刺激下，黃金葛的葉綠素濃度成長會趨緩、甚至達到負成長；但實驗三的結果卻顯示，無論新、舊、有斑、無斑，黃金葛處於低光環境中的葉片葉綠素濃度變化量普遍低於正常情況。實驗四中，銀后粗肋草葉片的變化恰好相反，可見在低光環境中，其葉綠素合成系統仍能保持正常運作。

黃金葛的光補償點高於  $PAR=8\sim 12 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ 、且要比銀后粗肋草的高，是可能的推測，而光補償點的不同亦可能與斑葉性質有關：粗肋草為物理性斑葉、可行光合作用的面積大於化學性斑葉黃金葛，故耐受低光的程度亦會優於後者。然真實原因仍待進一步釐清與確認。

我們又發現植物健康狀態並未肉眼可見的變差，或許是在該片葉片行光合作用遭受阻礙之

後，由同株黃金葛其他未遮光的葉片較高的葉綠素濃度提供足夠能量來源。

#### 四、新葉、舊葉應對低光環境之不同

黃金葛新葉的葉綠素濃度普遍較舊葉有著更高的成長量。在低光環境中，舊葉綠區的葉綠素濃度漸少、而新葉綠區仍有著微幅上升，不過整體來講，仍是受正常光的葉綠素濃度變化量高於受低光者。而絕大多數黃金葛幼葉通體翠綠、且斑紋是在葉子成長的過程中慢慢出現的，故新葉之白區應還在分化的過程中，葉綠素濃度尚未降至太低、仍能進行相當程度的光合作用，是以葉綠素濃度的變化差異與新舊葉綠區一致；舊葉白區或許已沒有太大光合作用的功能，故葉綠素濃度之變化甚微，面對低光環境、正常環境葉綠素增減之比較，也與其他葉區不同。

銀后粗肋草新葉各區，明暗之間的葉綠素濃度成長量差異，較舊葉更為顯著，且無論所受處理為何，新葉的葉綠素濃度均沒有負向的變化。推測是新葉仍在成長階段、需要持續創造較高的葉綠素濃度，且對環境之感應較舊葉為劇烈所致。

#### 五、應用與展望

##### （一）應用方向

研究成果可初步應用於園藝上觀葉植物之斑紋培養。或藉更細部的實驗調控、加長調控與觀察的時間，取得分布更完整緻密的樣本資料，將斑葉應環境因子的變異函數化，進而建構用斑葉植物比較不同空間、不同時間環境資料的平台。

##### （二）未來展望：葉面影像攝製的再精進

實驗二中，「斑紋面積占總葉面比例」的觀測結果不如預期，未來除了將觀察之時間軸拉長、期能使各控制組間差異更為顯著，我們也希望藉由支架、透明夾板等輔助（如圖 6-1），令拍照時鏡頭與葉片達成平行、影像不致變形，將 Image 計算面積之誤差降至更低。



葉片本身可能會有捲曲的現象，為求能拍出更為精確的照片，使用二透明薄片將

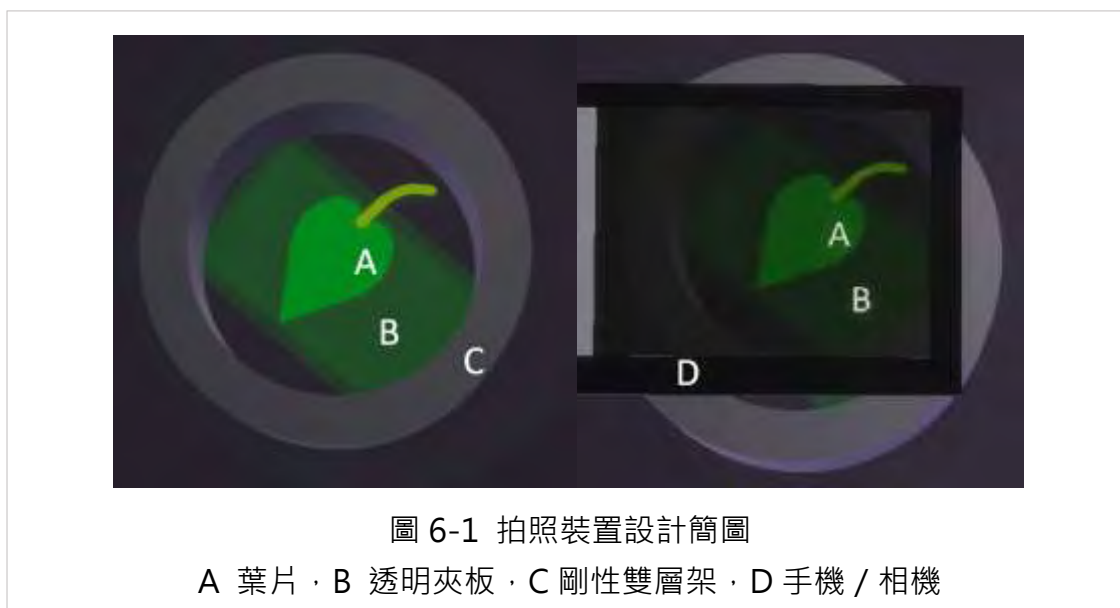


圖 6-1 拍照裝置設計簡圖

A 葉片，B 透明夾板，C 剛性雙層架，D 手機 / 相機

葉片夾住，使葉片能攤平，但保留些微空隙，確保不會傷到植物，再將薄片置於平行的雙層架的下層，上層則放置手機，確保能拍出平行葉片且角度一致的照片。

### （三）未來展望：物理性斑葉的定量分析

本研究之分析建立在前、後的數值對比，是故所謂的觀察標的，亦必須能在不傷害植株本生的情況下被連續記錄。實驗二以 ImageJ（斑紋面積占比）、SPAD-502PLUS（葉綠素濃度）的數據，闡釋化學性斑葉（黃金葛）在不同環境因子下的調適。至於物理性斑葉，目前學界的觀察均以解剖葉片、鑽研其細胞與組織層級之構造為大宗，研究材料多得於野外採集、直接就已長成的葉片探討，略去了調控環境因子與栽培的步驟，然而這無法適用於本研究之論述架構：一來，切片能呈現白區與綠區的差異（見實驗一），我們欲比較的「斑紋面積占比」卻無法據此得知、更遑論「變化量」；再者，所設計的環境因子跨度廣而雜，實在找不到那麼多已固生在迥異環境中的樣本。

是以，我們仍戮力尋找著在 ImageJ 辨識斑紋面積占比以外，第二種能明確量化物理性葉斑變遷情況的方法。以下為其中一構想：

以面光源對粗肋草照射單色光，並用能測量不同波長、光量的器儀接受透過物理性斑葉的光；我們預期，因為結構上的差異，通過綠區（無細胞間隙）、通過白區（有細胞間隙）的光會存在著某種不同（如：光譜、光量）。經過前置作業欲測試後，便可以在器儀接受到光後、換算出斑紋所佔葉面的比例。惟細部調控、面光源之選擇仍待更進一步的釐清與測試。

## 柒、結論

- 一、黃金葛屬化學性斑葉，斑紋之生成與葉綠素濃度有著密切連動。
- 二、粗肋草斑葉的形成機制以物理性之結構為主，有斑區、無斑區的分野在於葉肉細胞與表皮細胞之間有無明顯細胞間隙，葉綠素濃度的少許差異並非形成斑紋的主要原因。
- 三、35 天的觀察週期，已能明顯見得環境因子對於葉綠素濃度變化量的影響，但未能見證「具有代表性」的斑紋面積比例變化。若就數據本身而言，葉綠素濃度變化量與斑紋面積比例變化多成負相關。
- 四、由化學性斑葉的成因分析，葉綠素濃度的變化量可能昭示著未來化學性葉斑表現的趨勢。
- 五、越高的環境溫度，會令植物葉片之平均葉綠素濃度變化量越小、斑紋面積比例增加。
- 六、鹼性溶液之灌溉會讓植物化學性斑葉擁有最高葉綠素濃度增長、斑紋面積比例最巨幅的下降，中性次之、酸性又次。
- 七、越高的光量，會令化學性斑葉平均葉綠素濃度變化量越小、斑紋面積比例增加。
- 八、每天 8 小時的光照，會對黃金葛造成比每天 2 小時或 5 小時光照更大的葉綠素濃度增長。
- 九、主要受藍光照射的植物，葉綠素濃度會呈現負成長，主要受紅光照射者則非。
- 十、低光環境中，黃金葛各區的葉綠素濃度長會較正常情況為低，銀后粗肋草各區的葉綠素濃度之增長則將較正常情況為高。
- 十一、與新葉相比，斑葉植物舊葉之葉綠素濃度因應低光環境的變化較不明顯。

## 捌、參考資料及其他

### 一、中文部分

1. 高鴻磊、諸定昌 (2005)。植物生長與光照的關係。燈與照明，29(4)。
2. 黃炳龍、葉德銘 (民 99)。粗肋草育種與栽培繁殖現況。載於汪澤宏、謝廷芳 (主編)，2010 花卉研究團隊研究現況與展望研討會專刊 (143-154 頁)。臺北市：行政院農業委員會農業試驗所。
3. 廖季葳 (民 103)。葉綠素螢光檢測法評估植物低光環境適應性之研究 (碩士論文)。取自 <http://ir.lib.nchu.edu.tw/bitstream/11455/89216/1/nchu-103-7101032030-1.pdf>
4. 趙大衛 (民 107)。普通高級中學選修生物上冊 (三版)。臺南市：翰林。

### 二、英文部分

1. Emerson R (1929), The relation between maximum rate of photosynthesis and concentration of chlorophyll. *Rockefeller University Press*, 12: 609-622. doi: 10.1085
2. Markwell J, Osterman JC, Mitchell JL (1995). Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynthesis Research*, 46: 467 - 472.
3. Sheue CR, Pao SH, Chien LF, Chesson P, Peng CI (2012). Natural foliar variegation without costs? The case of Begonia. *Annals of Botany*, 109: 1065-1074. doi:10.1093/aob/mcs025
4. Yusho A, Masami M (1963). Chlorophyll amount as an indicator of matter productivity in bio community. *Plant and Cell Physiology*, Volume 4, Issue 1: 29-39.
5. Zheng J, Hu MJ, Guo YP (2008). Regulation of photosynthesis by light quality and its mechanism in Plants. *China Journal of applies Ecology*, 19: 1619-1624.

## 【評語】 052109

1. 本研究主要目的在探討環境因子對斑葉植物生長之影響。結果發現光限制、非光限制均會讓化學性斑葉植物啟動自體調節，而葉綠素濃度變化量與斑紋面積比例之增減多成負相關。在對低光環境時，化學性斑葉——黃金葛的葉綠素濃度變化量較正常情況為低；物理性斑葉——粗肋草則完全相反。
2. 本研究實驗的環境因子以光照為主，偏於對觀察到之現象的描述，應可再做一些較深入之探討。

## 壹、研究動機

為了平衡冬天陰冷的氣息，媽媽從正在特賣的花店買了一盆黃金葛回家，種在窗口的那方陽光下；過了一陣子，原先僅是碧綠的葉竟然泛出了點點金黃——這讓我們開始好奇：除了基因之外，哪些因子也參與促發斑紋展現的偉大工程。

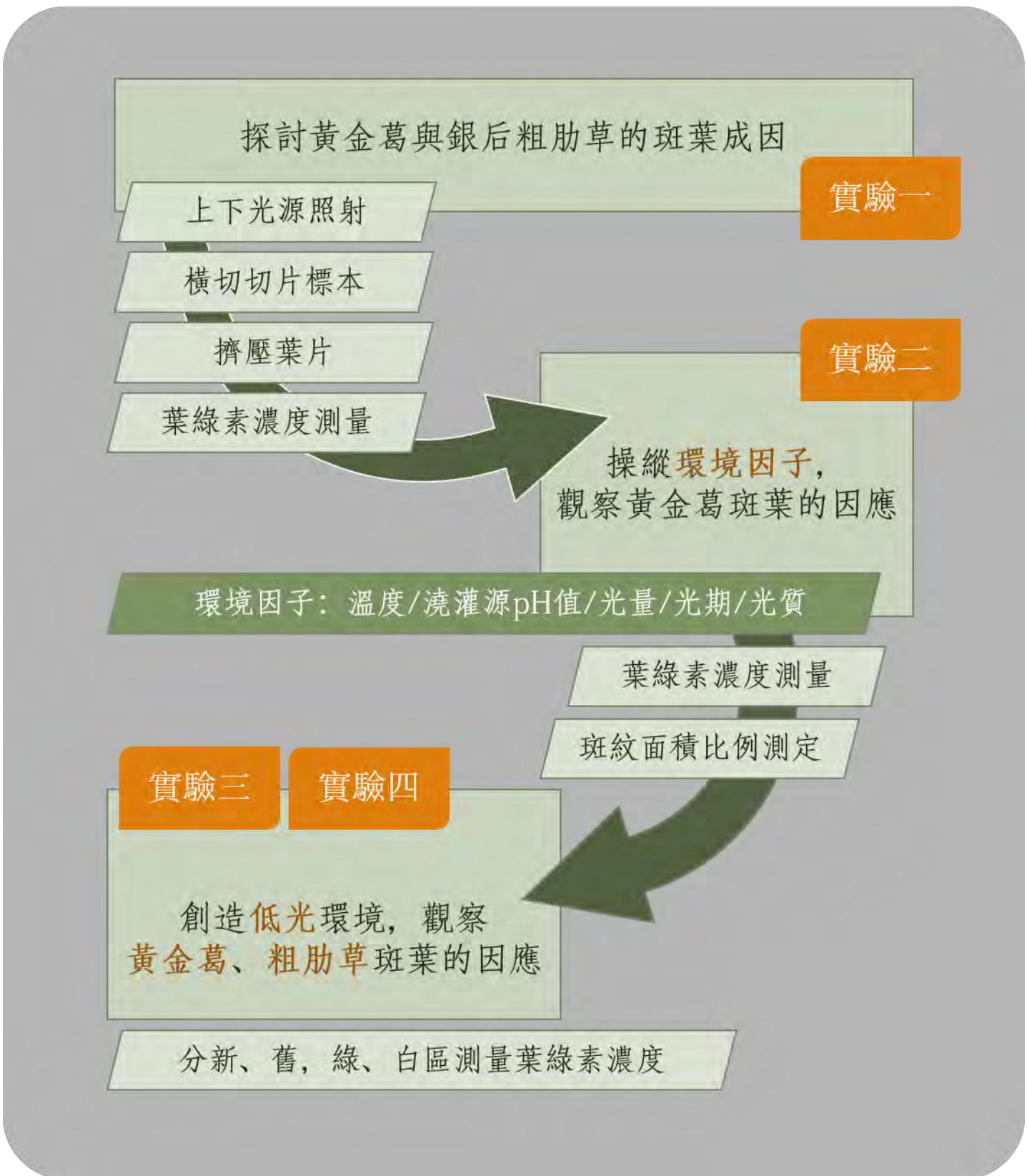
## 貳、研究目的

- 一、比較黃金葛與銀后粗肋草的斑葉成因差異。
- 二、觀察黃金葛之斑葉面對溫度、澆灌源酸鹼、光量、光期、光質等環境因子調控所產生的改變：
  1. 葉片葉綠素濃度的變化
  2. 斑紋占整葉面積比例的變化

三、探討黃金葛與銀后粗肋草，面對低光環境葉綠素濃度變化之差異。

## 參、研究方法

### 一、實驗流程



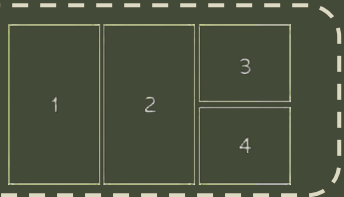
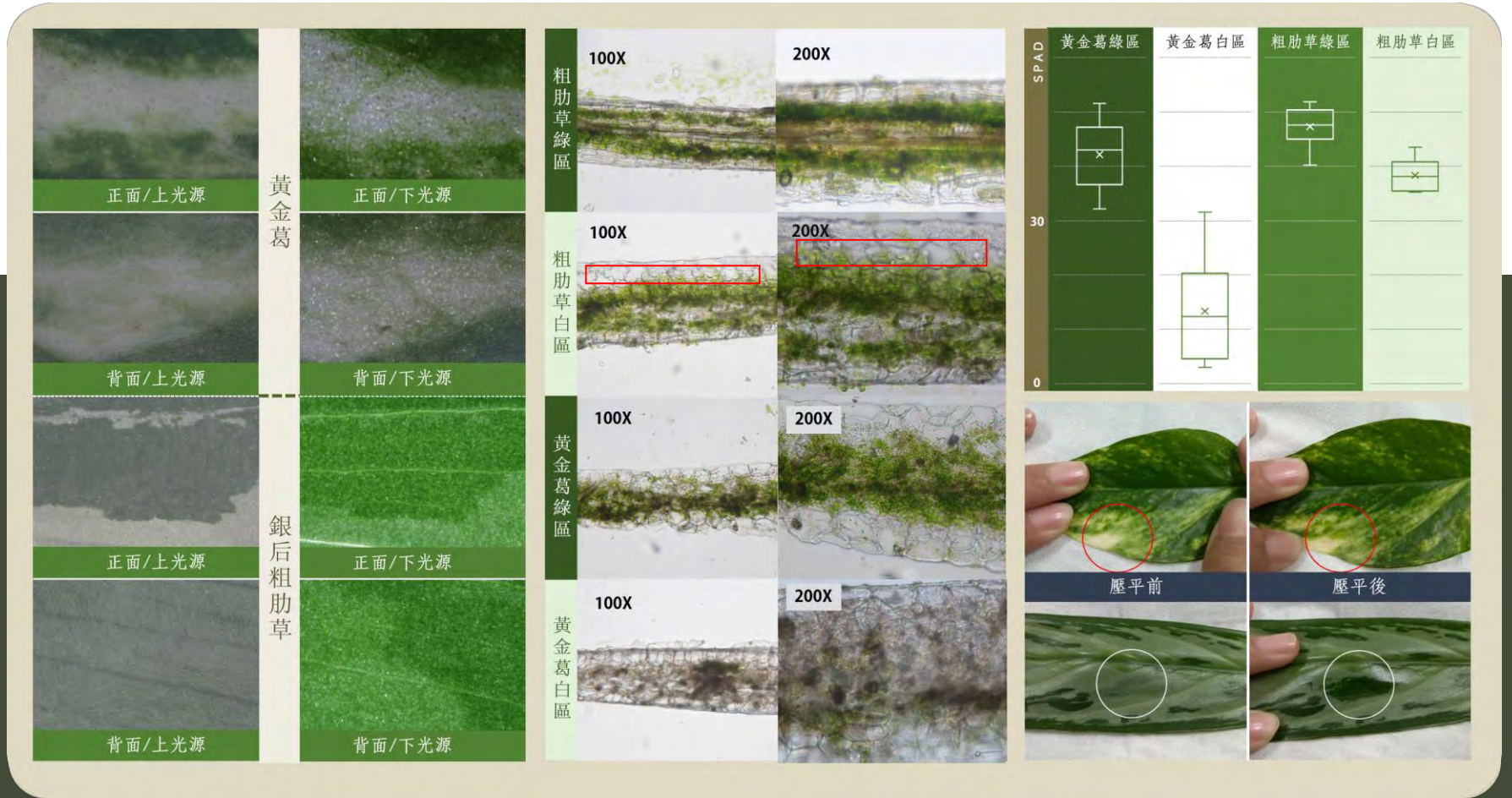
### 二、數據分析

本研究採用葉綠素計 SPAD-502PLUS 測量活體植物的葉綠素濃度，由於將以葉綠素濃度變化量為比較基準，故取得樣區之 SPAD 均值後，需再以 SPAD 值(x)對實際葉綠素濃度值(y)的函數  $y=10.6+7.39x+0.114x^2$  換算，再將實驗前後的實際葉綠素濃度值相減得到變化量。

(實際葉綠素濃度單位： $\mu\text{mol m}^{-2}$ )

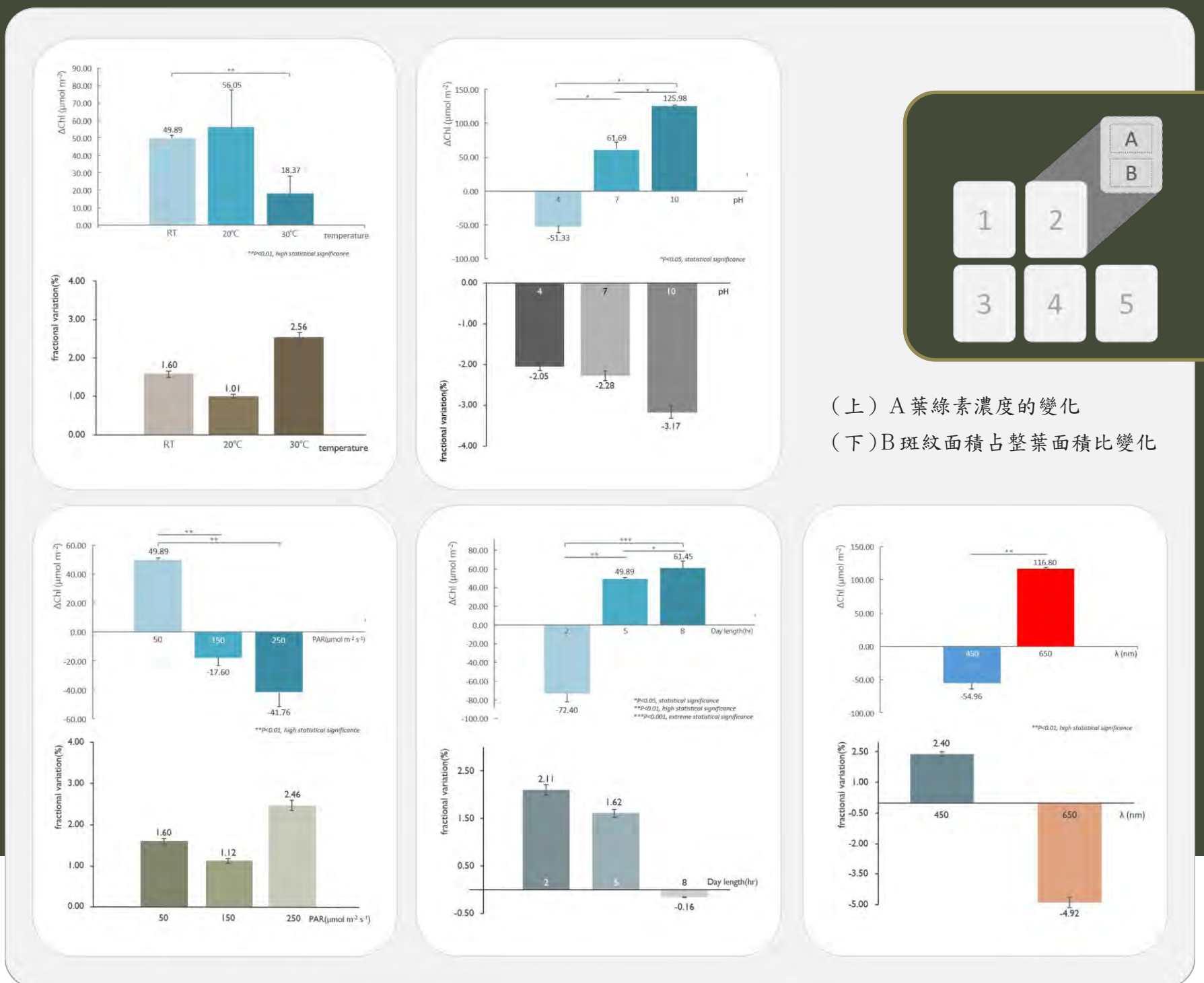


# 肆、研究結果



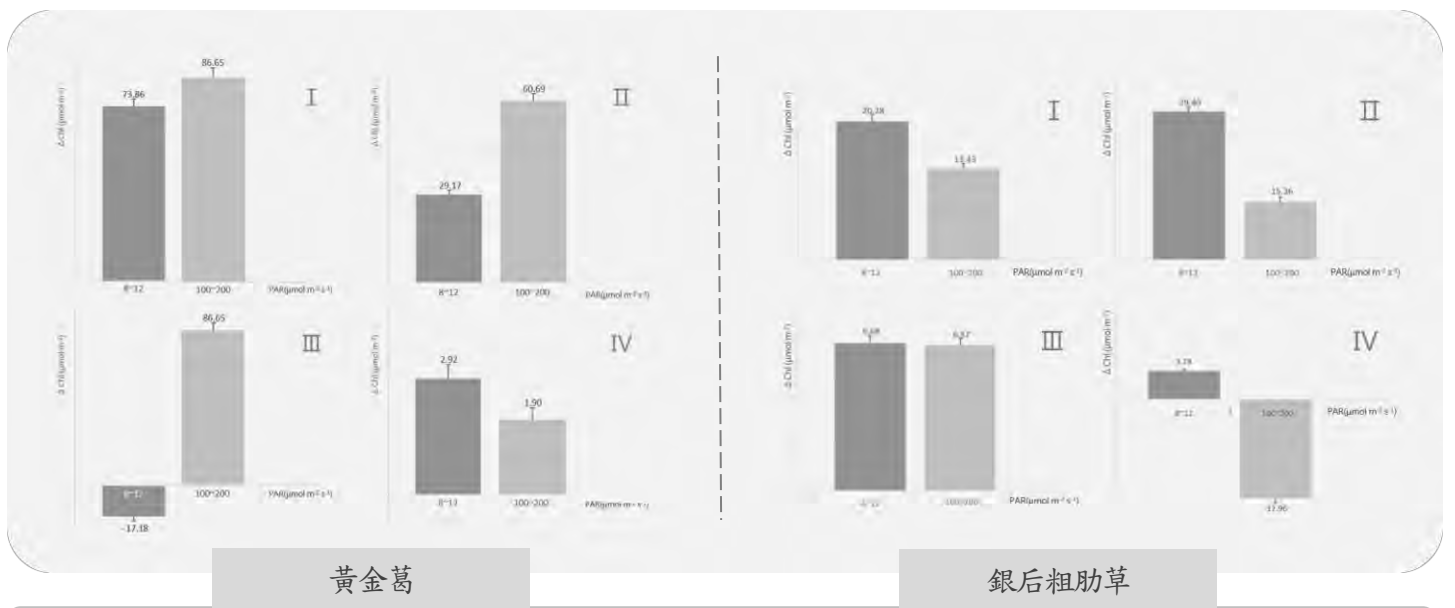
圖一 黃金葛與銀后粗肋草斑葉成因探討：

- 1/解剖顯微鏡上、下光源照射。
- 2/複式顯微鏡切片觀察。
- 3/SPAD-502PLUS 葉綠素濃度量測。
- 4/壓縮葉片、合攏組織。



圖二 黃金葛葉片因應環境因子 (1 溫度、2 澆灌源酸鹼、3 光量、4 光期、5 光質) 之變化比較。





圖四 低光環境與正常光環境中葉片各區(I新葉無斑、II新葉有斑、III舊葉無斑、IV舊葉有斑)葉綠素濃度變化量比較。

## 伍、討論與結論

### 一、黃金葛與銀后粗肋草斑葉之不同：

- (一) 黃金葛的有斑區、無斑區葉綠體數量及葉綠素濃度差異甚大，粗肋草則較小。
- (二) 在下光源照射下，銀后粗肋草的斑紋變得較不明顯，而黃金葛則無此現象。
- (三) 銀后粗肋草有斑區的「表皮細胞與葉肉細胞」的間隔要比無斑區來得明顯。

### 二、環境因子對黃金葛斑葉的影響：

本研究推測，健康的植物葉片葉綠素含量越低者、其光系統之光合作用效率越佳；在有益於光合作用的情況下，植物不需要再提高葉綠素濃度，反之亦然。

- (一) 溫度：本實驗顯示，溫度越高、葉綠素濃度增加量越低。
  - 推測：適當溫度區間中，光合作用酶促反應之速率隨溫度上升而提高。
- (二) 澆灌源酸鹼：黃金葛葉綠素濃度成長值隨澆灌源 pH 值上升。
  - 推測 1：過量 OH 通透類囊體膜，或將奪去水光解而生成的氫離子，令 ATP 與 NADPH 的生成受到阻撓。
  - 推測 2：過量 OH 無法穿越細胞膜，促使鉀離子離開保衛細胞，膨壓降、氣孔閉。
- (三) 光量：隨光合有效輻射之增強，葉片葉綠素濃度變化量下降。
  - 推測：光合作用效率會隨光和有效輻射之增加而逐漸提高。
- (四) 光期：每天八小時的光照創造出較高的葉綠素濃度成長量。
  - 推測：黃金葛葉片在較長光期中的光能利用率較低、光呼吸作用較為旺盛。
- (五) 光質：受峰值波長為 450nm 的光照射之黃金葛葉片，會有較受紅光者差異頗大的，葉綠素濃度的負成長。
  - 推測：光合色素（含天線色素、中心色素）對於不同色光吸收程度有所差異。

### 三、黃金葛、銀后粗肋草應對低光環境之不同：

無論新、舊、有斑、無斑，黃金葛處於低光環境中的葉片葉綠素濃度變化量普遍低於正常情況，銀后粗肋草葉片的變化恰好相反。

- 推測：黃金葛的光補償點高於  $PAR=8-12 \mu mol m^{-2} s^{-1}$  在，銀后粗肋草的光補償點可能更低。故在低光環境中，後者的葉綠素合成系統仍能保持正常運作，前者則非。

### 四、新葉、舊葉應對低光環境之不同：

- (一) 黃金葛新葉的葉綠素濃度普遍較舊葉有著更高的成長量。
- (二) 黃金葛新葉白區葉綠素濃度，因應正常光、低光的變化量差異與新舊葉綠區一致，舊葉白區則否，且其葉綠素濃度增減幅度明顯較小。
  - 推測：新葉之白區應還在分化的過程中，葉綠素濃度尚未降至太低、仍能進行相當程度的光合作用，功能性與綠區相近。
- (三) 銀后粗肋草新葉各區，明暗之間的葉綠素濃度成長量差異，較舊葉更為顯著，且無論所受處理為何，新葉的葉綠素濃度均沒有負向的變化。
  - 推測：新葉仍在成長階段，需要持續創造較高的葉綠素濃度，且對環境之感應較舊葉為劇烈。