

# 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 農業與食品學科

**第二名**

052204

訂製美好食光—不同光策略的 LED 應用於芝麻  
菜與萵苣生產之研究

學校名稱：新北市立北大高級中學

作者：  高二 鄭雅文  高二 謝筑安  高二 王紹宇	指導老師：  黃鈺翔
---	------------------

關鍵詞：植物工廠、遠紅光、UVB

# 摘要

本研究以植物工廠為平台，探究光質對紅貝塔齒葉萵苣和野生芝麻菜的生長影響，以節省能源為目標，並建立口感與光質之間的關係。紅貝塔齒葉萵苣在燈源紅光比藍光比值為9、7至23點光源強度韻律變化、每日23至01點遠紅光處理、第15至18天的13至14點低劑量UVB處理、逐日提升日總光量DLI值、於21天收成，可顯著增加鮮重、乾重，節省耗電度數約36%；野生芝麻菜在燈源紅光比藍光比值為20、7至23點光源強度韻律變化、逐週提升日總光量DLI值、於28天收成，可顯著增加鮮重、乾重，節省耗電度數約42%，為最佳種植策略。再者，也發現低劑量UVB會使萵苣植株高度降低，而遠紅光處理則可逆轉UVB所造成的影響。

## 壹、前言

### 一、研究動機

我們高一學習生物（全）課程時，曾提及植物生長是將太陽的光能轉為化學能儲存，且其生長受到陽光、溫度與土壤成分等外在因素的影響，這些環境因子也會導致植物展現不同的性狀，例如減少光線種植出韭黃、或改變土壤酸鹼度使繡球花呈現不同色彩等〔1〕。再者，室外種植作物容易受到天候、蟲害與農藥影響品質與產量，且不當的使用肥料也容易造成土壤酸化與河川優養化，反觀全環控的植物工廠是利用人造光及其他人為可操控之因素控制蔬菜的生產品質，並運用立體結構來增加單位面積中蔬菜的產量，對於肥料的環境污染較小，且以最少之土地達到最大的效益，充分運用土地資源；另外，也不因為氣候異常狀況如風災、雨災等天然災害造成植物死亡〔2〕。根據人口基金會的統計，現今人口達到77億以上〔3〕，在21世紀中葉可能就會達到近100億的人口〔4〕，屆時將會導致可利用的土地大幅度減少，而占地小、高產值的植物工廠可能透過提高單位面積產量解決耕地不足之問題〔2〕。若全環控植物工廠建立在學校中，學校師生就能輕易得到美味安全的蔬菜，還節省了運輸過程會產生的碳排放量，可謂落實「在地生產」蔬菜。因此我們研究發想，透過文獻探討了解光控制植物發育之機制，且利用植物工廠之光質、光強度與日韻律的調整，建立光刺激與蔬菜口感、產量之關係，在營養價值與能源效益中建立平衡，讓同學們或消費者訂製各自喜愛的生菜口感，促進本土農業走向精緻化與客製化，從而打入高端消費市場，用較低的生產成本創造超越進口生菜品質之產品，提升產品定位。

### 二、研究目的

- (一)利用不同光質、光強度(光子通量密度PPFD)與日韻律培育紅貝塔齒葉萵苣，以降低能耗比、提高植株鮮重、乾重與糖度為目標。
- (二)利用不同光質、光強度(光子通量密度PPFD)與日韻律培育野生芝麻菜，以降低能耗比、提高植株鮮重、乾重與糖度為目標。
- (三)進行品評分析，藉此了解同學們對於紅貝塔齒葉萵苣與野生芝麻菜的色澤、香氣及口感的喜好程度，並訂製專屬口感之生菜。

### 三、文獻回顧

#### (一)植物工廠

##### 1.垂直農法(Vertical Farming)〔5〕

在都市中以建築物內利用垂直結構栽種的產業，可運用在各種被廢棄的空間內，如貨櫃，也可以在現有的空間內進行，例如辦公室等。垂直農法可以減少耕地和水的使用，更不受季節交替的影響，盡可能得到最大收成量。據統計，最多可省下95%的水資源。其中水培法(Hydroponics)，無使用任何土壤，是垂直農法中最常見的例子，也是本次實驗主要運用的方式。運作方式為植株的上方接受光源的照射，根部浸泡在養液中，而養液會不斷循環利用，並且可以隨時進行監測。

## 2.優點〔6〕〔7〕：

- (1)充分利用土地：廢棄的倉庫、無人使用的空間等都可以進行植物工廠，所需土地面積不大。
- (2)可透過人為操控環境狀況以少量人力即可全年生產作物的目的：可操控因子包括溫度、光照、水、二氧化碳濃度等，透過精細的調整使其在不受到自然環境影響，以少量人力即可全年生產作物的目的。
- (3)保證無毒：在嚴密控管下植物工廠沒有蟲害問題，所以不需噴灑農藥，也不需擔心土地是否有重金屬污染的問題。
- (4)輕鬆愉快的勞動：無論是工作繁忙的上班族，還是退休的長者，乃至身心障礙者都可以在公司或家中進行簡單的勞動，不但可以為一成不變的生活增添樂趣，還可以獲得額外的收入。
- (5)減少碳足跡：因為可耕種地點彈性，可以實現在地生產、在地消費，也可以減少過度包裝和遠程運輸的情形，對於生產者、消費者和環境達到三贏目的。
- (6)提高就業率：在人口大量流失的農村，植物工廠相對比傳統農業輕鬆許多，可以有效提高該地就業率，也能縮小城鄉差距。

## 3.缺點〔8〕〔9〕〔10〕〔11〕：

- (1)成本高：要運作植物工廠首先要有廠房建物、供植物生長的層架，而且燈具的照明、溫度的管控，都需要大量用電，再加上肥料、種子及人力工資，一般農民恐怕負擔不了。
- (2)耕種作物種類少：目前植物工廠大多生產葉菜類作物，根莖類、花卉、生產期較長以及植株較大的植物都不適合栽種。
- (3)食品衛生：許多業者都以「植物工廠」作為噱頭，卻沒有較好的廠房規劃，人員進出動線、物料運送路線甚至參觀及逃生路線等都是需要考量的，若未妥善規劃，易淪為口號。

## (二)影響光合作用之光質(Light Measurements and Photosynthesis)

- 1.光合有效輻射(Photosynthetically active radiation，簡稱PAR)：太陽輻射光中對植物光合作用有效的光譜成分，主要為波長範圍400~700nm。
- 2.光合作用光子通量密度(Photosynthetic Photon Flux Density，簡稱PPFD)：指光合有效輻射PAR的光通量密度，其為單位時間單位面積上在400~700nm波長範圍內入射的光量子數。建議單位為 $\mu\text{mol}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。
- 3.Photosynthetic irradiance (PI)：指光合有效輻射PAR入射於曲面時每單位面積的功率。建議單位： $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。〔12〕
- 4.生理有效輻射(Photo Biologically Active Radiation，PBAR)：太陽輻射光中對植物光合作用有效的光譜成分，主要為波長範圍280~800nm，其中包括UVA、UVB、PAR與FR。〔13〕
- 5.日累積光量 Daily Light Integral (DLI)：一天24小時，植物收到的光量總和。DLI = PPFD×L ×3.6/1000，L：每日給光時數(光期)，建議單位： $\text{mol m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ 。

## (三)光質對植物的影響

- 1.光合作用：植物與其他的自營性生物是環境中的生產者，其是利用太陽能將二氧化碳及水合成有機分子。而在植物細胞中進行光合作用的地點為葉綠體，此胞器中內含類囊體且在此構造上具有光合作用所需之光合色素。植物中具有大量綠色細胞的部位主要為葉片，葉片經光合作用產生單醣後，再將其縮合成蔗糖，經葉脈輸出至不能行光合作用的部位。而植物的生存亦需要消耗約50%光合作用所產生的碳水化合物，其餘部分則被轉化為其他分子，如構成細胞壁的纖維素，儲存性的有機質如澱粉、油脂與蛋白質或其他次級代謝物等，並儲存於根、莖、葉、果實及種子中。〔14〕
- 2.植物的四種感光受體(Phototropins)與光對於植物之影響

- (1)光敏素(Phytochrome)：植物感應黑暗期的色素是光敏素，也是感應光中斷的主要物質。〔15〕，其分成兩種形式：一種可以吸收紅光，稱之為「光敏素Pr」，另一種可以吸收遠紅光，稱之為「光敏素Pfr」，此兩種形式的光敏素可以互換，當Pr照紅光時會轉換成Pfr，反之則會互換。學者發現，當Pfr相較於Pr多時，植物的生理反應會較旺盛，產量會較高。
  - (2)隱花素(cryptochrome)：只吸收藍光，CRY1控制植物幼莖的生長，CRY2控制植物開花時間〔16〕
  - (3)向光素(Phototropin)：負責感應長波紫外光/藍光並偵測光照射方向，是植物向光性反應的主要光受體，且控制氣孔開合與葉綠體移動。〔17〕
  - (4)UVR8：主要是UV-B光感受器啟動分子信號傳導途徑，導致基因表達產生變化，並且產生紫外線防護或修補作用。UVB光可以促進其光型態發生，而讓黃酮醇累積在細胞內，而此信號傳導結果在低劑量UVB下，會增加多種葉綠體蛋白質的基因表現，長期下來可能可以提高植物的光合作用效率，增加產量。〔18〕〔19〕
- 3.遠紅光對植物影響：直射陽光的葉子會吸收幾乎所有的紅光，反射或透射遠紅光，此時下部葉片所接受的遠紅光比例較大，植物會對此產生反應，將莖伸長，長出較大的葉子，以增加表面積來捕獲紅光。〔20〕〔21〕
- 4.UVB光對於阿拉伯芥生長的影響：阿拉伯芥(Arabidopsis)在存在UVB光的情況下會使植物生長較矮。UVR8也會影響葉子面積，透過表皮細胞數量減少來抑制葉片擴張，且UVB可以促進氣孔數。因此UVR8是在UVB光照下調節表皮細胞擴張和分化所必需。〔22〕

#### (四)日韻律(Circadian Rhythm)

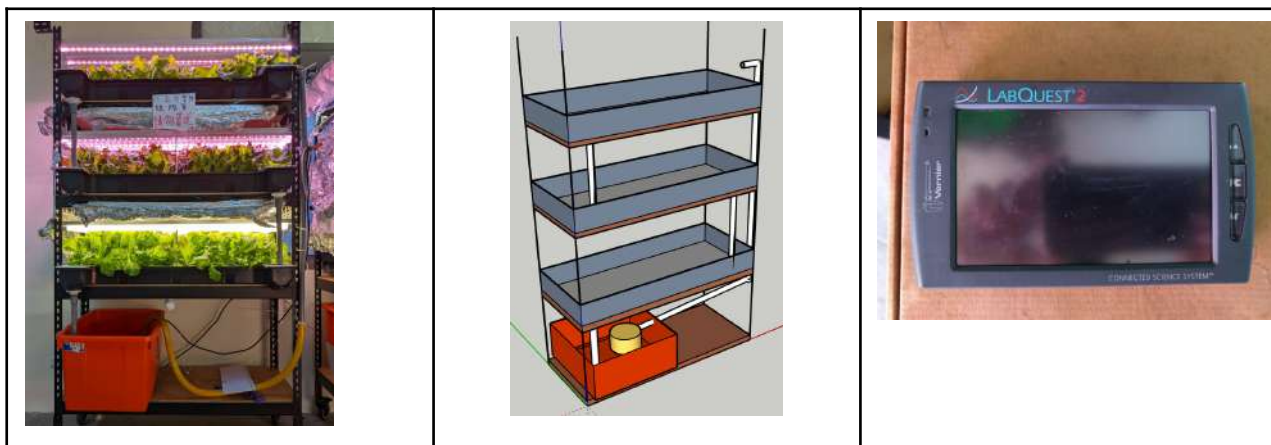
- 1.定義：主要是對光線的強弱做反應，造成生物體身心的改變，例如人們白天比較清醒，晚上會想睡覺。〔23〕
- 2.運作流程：每個生物在基因中都有特定的基因，控制著生物體的作息，讓作息符合大環境的狀態。〔23〕

#### (五)植物的營養元素

植物所需之養分有很多，可分為大量元素、次元素與微量元素。大量元素及次元素的量佔有植物全身的0.1~1.5%，而微量元素需要的比例非常少，彼此的差異甚至可以達百萬倍。大量元素：碳、氫、氧、氮、磷、鉀，其中碳、氫、氧可從空氣中獲取。氮、磷、鉀(肥料三要素)在土壤中的含量通常不夠，特別需要補充。次元素：鈣、鎂、硫，其需求量較大量元素來的少。微量元素：鐵、錳、銅、鋅、硼、鋁、氯、鈷、鎳〔24〕

## 貳、研究設備及器材

### 一、實驗設備



<p><b>圖1</b>、立體栽培層架(左)與3D示意圖(右)：          (1)可調光譜與光量 LED 植物照明燈管(宏鑫光電科技股份有限公司)(左圖上層)〔25〕          (2)LED T8 燈管(左圖下層)(KAO'S展沂股份有限公司)</p>	<p><b>圖2</b>、資料分析收集器          LABQUEST 2(威尼爾儀器)</p>	
		
<p><b>圖3</b>、多功能防水測試筆(瑞光儀器有限公司)</p>	<p><b>圖4</b>、烘箱 (dengyng)</p>	<p><b>圖5</b>、經濟型超純水製造機 (Merck Millipore)</p>
		
<p><b>圖6</b>、UV-VIS 分光光度計(威尼爾儀器)</p>	<p><b>圖7</b>、PAR光合有效輻射感應器(威尼爾儀器)</p>	<p><b>圖8</b>、Conductivity Probe (威尼爾儀器)</p>
		
<p><b>圖9</b>、UV-A與UV-B 感應器 (威尼爾儀器)</p>	<p><b>圖10</b>、UV-B燈管(SANKYO 三共)</p>	

## 二、材料

### (一)萵苣(*Lactuca sativa*)

- 1.品種：紅貝塔齒葉萵苣(RED BETA)
- 2.來源：蔬菜之家園藝資材行
- 3.生長天數：25~50天〔26〕
- 4.植物光週期：短夜植物〔27〕
- 5.特性說明：全年皆適合種植，原產地為義大利，立葉品種(*var. longifolia L.*)、葉形為波浪狀，口感柔嫩，葉色深紅美麗，可做為寶貝菜使用，適合沙拉生菜食用。〔28〕

6.營養成分：(每100g的萵苣)〔29〕

【表 1、萵苣成分表】

分析項目	熱量	蛋白質	脂肪	碳水化合物	葡萄糖	果糖	維生素A	$\beta$ -胡蘿蔔素	維生素B群	維生素C	水分
數值	16	1.3	0.2	2.3	0.2	0.3	1250	722	0.83	6.5	95.6
單位	kcal	g	g	g	g	g	IU	$\mu$ g	mg	mg	g

其中萵苣內的芬香烴淨化酯可以分解致癌物質亞硝酸胺，故有文獻指出食用萵苣可預防癌症，也可能延遲癌細胞轉移的時間；除此之外，亦有利尿、產婦分泌乳汁、骨骼生長等益處。〔30〕〔31〕〔32〕〔33〕

## (二)芝麻菜(*Eruca sativa*)

- 1.品種：野生芝麻菜(Wild Rocket)
- 2.來源：蔬菜之家園藝資材行
- 3.生長天數：35天〔34〕
- 4.特性說明：全年皆適合種植，原產地為歐洲、中亞，常見葉形有圓葉與裂葉兩種〔35〕，本研究使用裂葉之品種，吃起來芝麻香氣濃厚〔36〕，合生菜食用，是普遍西方國家常用之生菜，在臺灣生產方式主要為水耕為主。
- 5.營養成分：(每100g的芝麻菜)〔37〕

【表 2、芝麻菜成分表】

分析項目	熱量	蛋白質	脂肪	碳水化合物	維生素A	$\beta$ -胡蘿蔔素	葉黃素 & 玉米黃素	維生素B9	維生素K
數值	25	2.6	0.6	3.6	2373	1424	3555	94	108.6
單位	kcal	g	g	g	IU	$\mu$ g	$\mu$ g	$\mu$ g	$\mu$ g

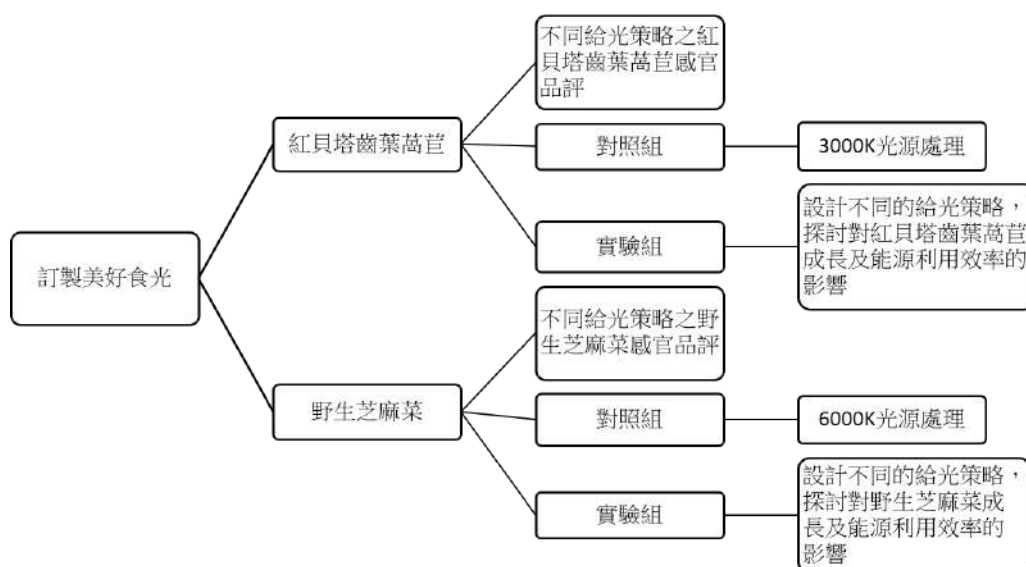
其中每100克芝麻菜內的葉酸(維生素B9)高達每日攝取量20%、維生素A為15%，且維生素K更高達103%，以上營養價值皆高出萵苣類生菜不少，可與萵苣類共同食用，互補不足之營養素。

## (三)水耕養液

本實驗採水耕栽培，EC值維持 1.2 mS·cm<sup>-1</sup>，pH值6.0，使用Chung (2019) 調整之山崎氏養液配方〔38〕。

# 參、研究過程或方式

## 一、研究架構



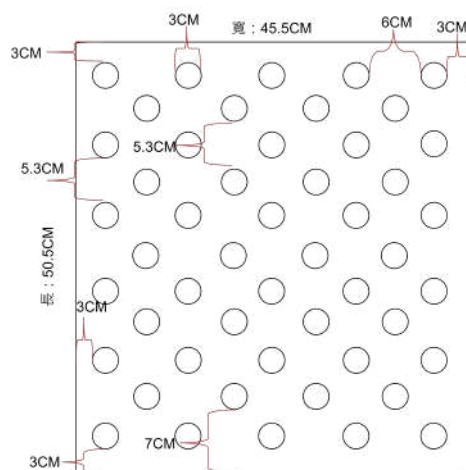
【圖11、研究架構圖】



## 二、實驗方法

### (一)生菜栽培方法及設施

栽培層架由角鋼組成，層架尺寸為123cm × 50 cm × 200 cm，有3層水栽培槽尺寸為114cm × 55cm，每層間距50 cm，養液深度9.5cm，水槽內定植浮板尺寸為54.5cm × 50.5cm，浮板上栽培孔位交錯排列共50孔(如圖12所示)，層架最下方放置養液水槽(90公升)，以沉水馬達將養液送至最上層，每層開孔並PVC水管連接至下一層，養液以流經各層後回流到最下層之養液水槽，並持續重新循環使用，LED燈光源設置於離水槽浮板17cm處，每層6支燈管(如圖1所示)。



【圖12、定植浮板】

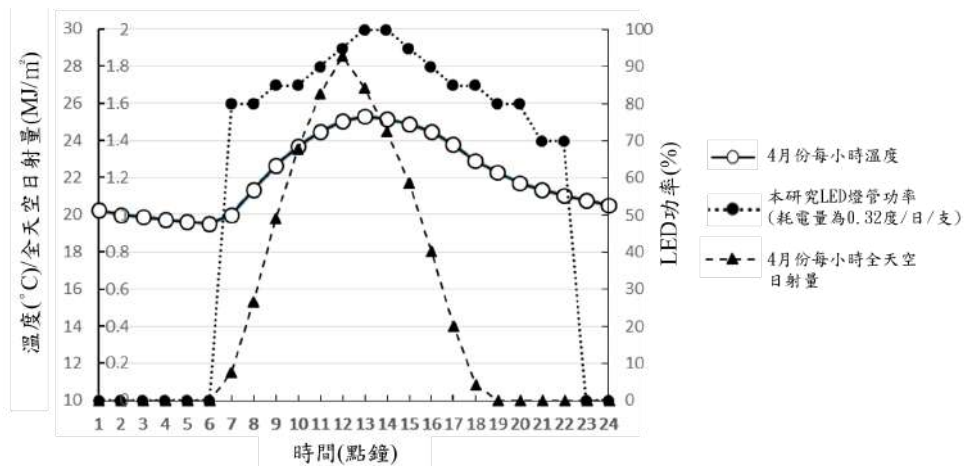
### (二)LED植物照明燈管照明模式

我們利用中央氣象局觀測資料查詢系統分析三峽地區2018年至2021年4月份平均每日每小時溫度與板橋地區2018年至2021年4月份平均全天空日射量( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) [39]，發現氣溫從0時至14時升至最高，並於15時至24時逐漸下降；而全天空日射量(Global Horizontal Irradiance, GHI)從6時至12時升至最高，再從12時至19時降至最低(如圖13)。從上述資料可得知，氣溫變化與全天空日射量有高度相關(皮爾森相關係數： $r = 0.86$ ,  $p < 0.001$ )(如表3)，主要是陽光照射至地表後增加該區域的氣溫，當陽光消失時氣溫則會慢慢下降。再者，影響植物光合作用主要因素為陽光與氣溫，因此本研究擬依據三峽地區氣溫變化擬定給光策略。綜合以上，我們使用宏鑫光電科技股份有限公司生產之4尺可調光譜與光量 LED 植物照明燈管，設計24小時LED給光策略(如圖13)，並進行本研究之實驗，且依照耗電量不同設計出8種模式(如圖16)。

【表3、氣溫變化與全天空日射量相關性分析】

		溫度	全天空輻射量
溫度	皮爾森 (Pearson) 相關性	1	.864**
	顯著性 (雙尾)		<.001
	N	24	24
全天空輻射量	皮爾森 (Pearson) 相關性	.864**	1
	顯著性 (雙尾)	<.001	
	N	24	24

\*\* 相關性在 0.01 層級上顯著 (雙尾)。



【圖13、三峽地區2018至2021年4月份每日每小時平均溫度、全天空日射量與本研究給光策略圖】

### (三)鮮重及乾重測量方法

實驗結束後，將植株上部(葉片)與下部(根部)切離，以電子天平測量上部鮮重，後以75°C 烘乾植株上部72 小時，再以電子天平測量其乾重、並磨成粉末，儲存於-20°C 備用。

### (四)能耗比的分析方法

能耗比的定義是每生產100公克的蔬菜時，需要使用幾度電(kW·h/100g)。

### (五)省電效率(能耗比減少率)的分析方法

能耗比減少率是實驗組較當次實驗的對照組能耗比減少的百分比。

$$\frac{\text{對照組能耗比}-\text{實驗組能耗比}}{\text{對照組能耗比}} \times 100\%$$

### (六)葉綠素含量分析方法

參考張等(2011)的方法〔40〕，隨機選取5株生菜，各剪取葉片1g，共計5g放置於研鉢中。而後將20 mL 80% 丙酮加入研鉢中研磨萃取。之後使用濾紙過濾萃取液至錐形瓶中，以10 mL 80% 丙酮洗下留在研鉢中與濾紙上的色素，最後將所有丙酮萃取液置於同一錐形瓶中，並以80% 丙酮稀釋至總體積為100mL，並使用分光光度計測量樣品之波長663 nm、646 nm的吸光值，將其吸光值帶入公式(1)和(2)即可求出葉綠素含量。

$$Chla. = \frac{(12.25 \times A_{663} - 2.55 \times A_{646}) \times V}{1000} \times W \quad (1) \quad ; \quad Chlb. = \frac{(20.31 \times A_{646} - 4.91 \times A_{663}) \times V}{1000} \times W \quad (2)$$

其中，Chla.= 葉綠素 a 含量(mg/g)；Chlb.= 葉綠素 b 含量(mg/g)； $A_{663}$ ：波長663nm的吸光值； $A_{646}$ ：波長646nm的吸光值；V：80% 丙酮萃取液的體積(mL)；W：樣品重量(g)。

### (七)糖度分析

樣品處理與分析：將實驗採收支植株上部以75°C 烘乾72小時後磨成粉狀，取1克置於15mL離心管中，加入10mL去離子水以70°C 水浴30分鐘，隨後以10,000 rpm 離心10分鐘。取離心後澄清液0.2mL，滴於折光稜鏡上，觀測其糖度數值。

### (八)數據統計分析方法

成對樣本t檢定：比較兩組成對樣本的平均值是否有差異(以SPSS套裝軟體進行檢定)。

### (九)生菜感官品評

本實驗感官品評分析主要是在同一養液配方下，藉由改變生菜生產過程之光質進行實驗測試，光質來源分成3000K LED燈管、6000K LED燈管、可調光譜與光量 LED 植物照明燈管與UVB燈管，藉由改變光策略生產生菜並進行品評比較，其對象為本校師生，盡並針對所收集之數據進行喜好程度之成對樣本T檢定。品評的項目為：1.色澤：食物的顏色和光澤。2.香氣：食物為愉悅性的氣味，是指嗅覺所聞到的感覺。3.甘甜味：食物經進入口中後甜度是否喜歡。4.彈性：食物經進入口中後彈牙程度是否喜歡。5.多汁性：食物經進入口中後水分含量是否喜歡。6.風味：當食物進入口中所感受之氣味與滋味的總和。



- 7.苦味：食物入口後之苦味的感覺是否喜歡。8.青草味：食物入口後之青草味是否喜歡。  
9.整體喜好度：對於視覺、嗅覺、味覺整個接受度給與評價。

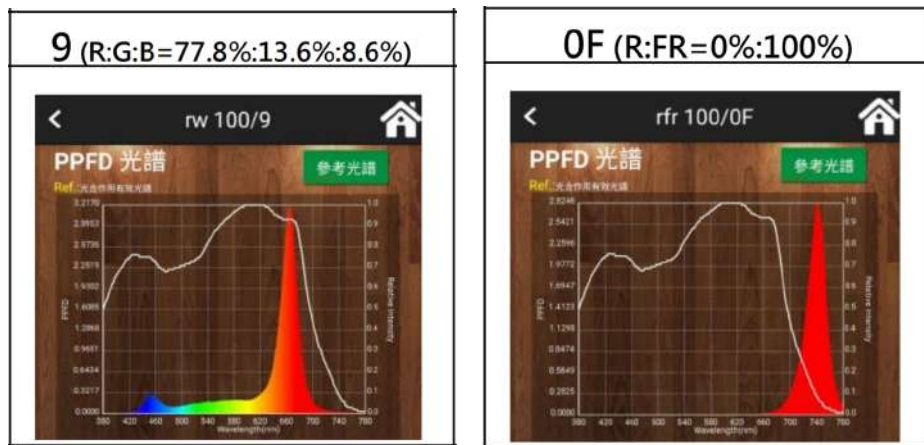
### 三、實驗過程

光合作用是植物在陽光的照射下將二氧化碳與水同化為碳水化合物，其效率取決於有效光的多寡，而太陽輻射光中對植物光合作用有效輻射(Photosynthetically Active Radiation, PAR)，主要為波長範圍400~700nm；對植物生理有效輻射(Photo Biologically Active Radiation, PBAR)，主要為波長範圍280~800nm，包括UVA、UVB、PAR與FR。我們將兩種生菜以不同的植物生理有效輻射配比進行處理並進行分析，且將所生產之生菜進行感官品評。

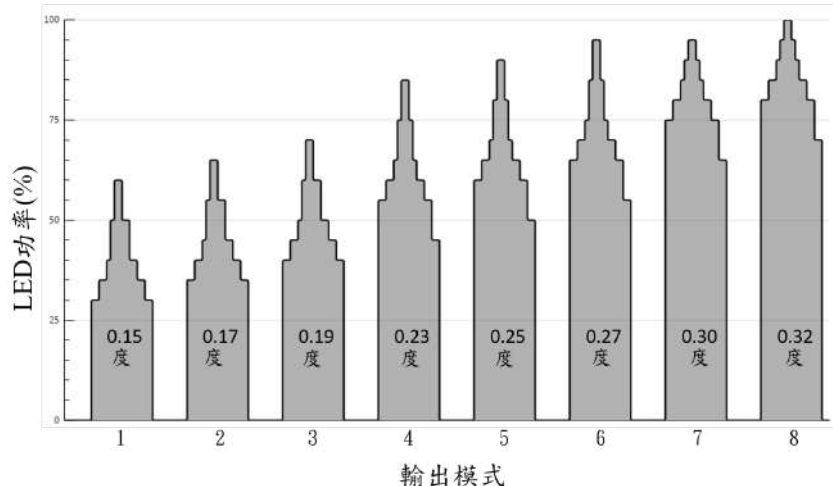
#### (一)實驗一：設計不同的給光策略，探討對紅貝塔齒葉萵苣成長及能源利用效率的影響

##### 1.前言

因為我們希望萵苣軟嫩且降低苦味以符合同學們的口味，所以選用含有較少藍光的3000K燈管作為對照組(Red:Green:Blue=44.79%:35.15%:20.06%)，實驗組使用R/B LED燈光量子比9 (Red:Green:Blue=77.8%:13.6%:8.6%)(如圖14)〔25〕與R/FR LED燈光量子比0 (R:FR=0%:100%)(如圖15)〔25〕進行設計，並依據不同光策略調配可調光譜與光量 LED 植物照明燈管輸出模式(如圖16所示)進行紅貝塔齒葉萵苣之實驗，探討其生長狀態。



【圖14、R/B光量子比9的光譜圖】 【圖15、R/FR光量子比0的光譜圖】



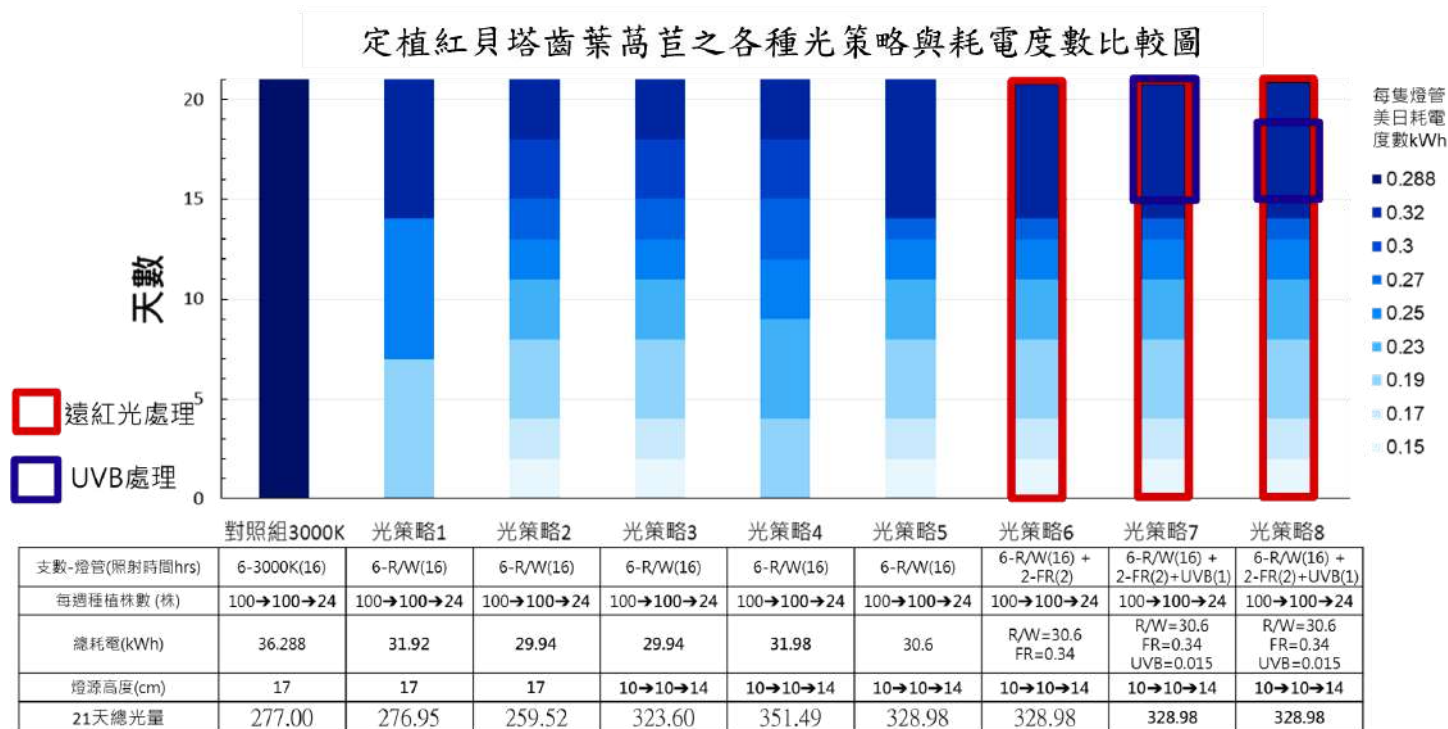
【圖16、8種單支可調式LED燈管24小時之輸出模式與日耗電度數圖】

##### 2.實驗步驟

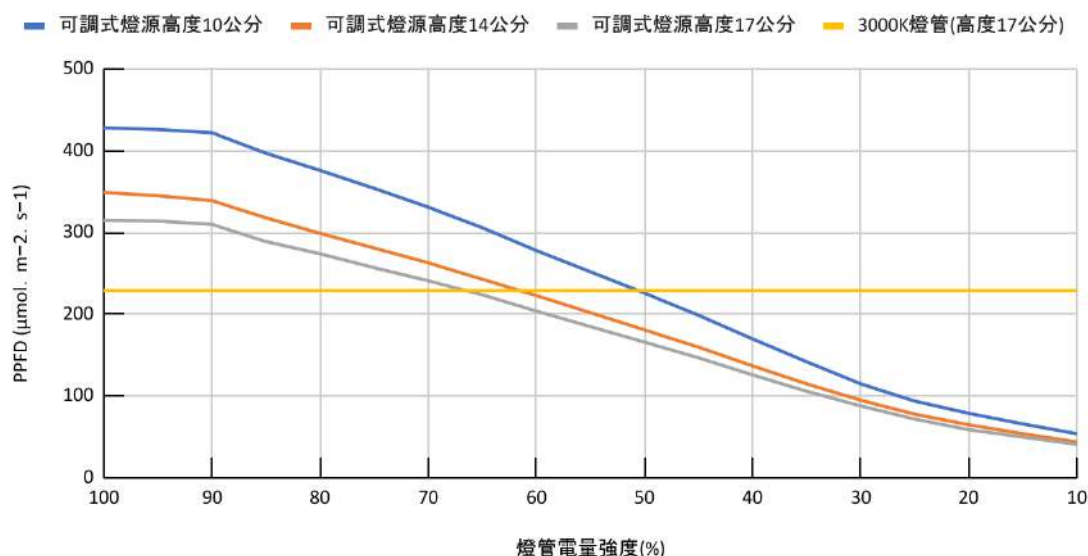
本實驗光譜處理詳列於表4，光源排列方式如圖18、19，每日光處理期間為上午7時至下午23時(光處理時間第0~16小時)，共計16小時，各光策略之光期處理如圖20所示。光策略2實驗組在鮮重能耗比大於對照組(如圖29)，可發現當實驗組光強度降低，而燈具與植株距離未變時，其生長情況不佳；另外，我們測量了本研究中不同光處理

之PPFD數值(如圖17-2、17-3)，在未調整燈源強度的狀況下，若調降燈源高度將可增加光合光子通量密度(PPFD)與日總光量(DLI)，因此後續實驗以此結果調整實驗組光源高度的方式進行種植。

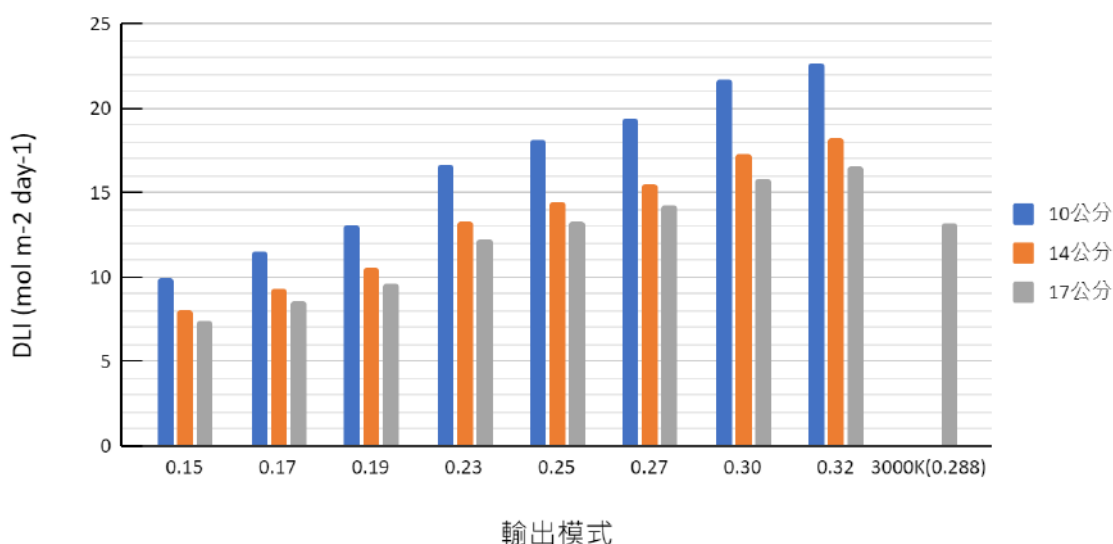
因本研究非在恆濕恆溫空間進行，每次實驗皆會有氣候條件的改變，因此在不同光策略進行實驗時，皆以相同對照組作為分析之對照，並使用同一循環之養液(如圖1)。以下針對各種光策略進行說明(如圖17-1)：



【圖17-1、定植紅貝塔齒葉萵苣之各種光策略比較圖】



【圖17-2、可調式燈管改變高度與電量之PPFD與3000K燈管PPFD變化圖】



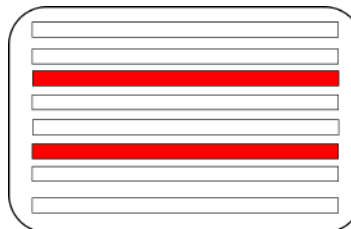
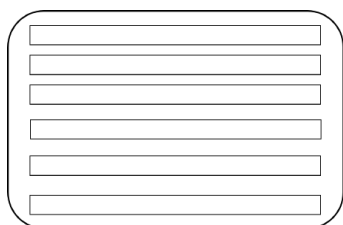
【圖17-3、可調式燈管不同輸出模式與高度之DLI直條圖】

- (1)對照組3000K：以6支3000K燈管作為光源，固定燈源高度為17公分，定植100株14天後疏苗至24株，並於21天採收進行分析(如圖17-1)。每支燈管每日耗電量為0.288度，6支燈管21天總耗電量為36.288度。
- (2)光策略1：以6支R/W燈管作為光源，紅藍光比值為9(如表4)，定植、分析、燈源高度與對照組3000K相同。將燈源強度設計為3個階段(如圖17-1)，6支燈管21天總耗電量為31.92度。
- (3)光策略2：以6支R/W燈管作為光源，紅藍光比值為9(如表4)，定植、分析、燈源高度與對照組3000K相同。將燈源強度設計為8個階段(如圖17-1)，6支燈管21天總耗電量為29.94度。
- (4)光策略3：以6支R/W燈管作為光源，紅藍光比值為9(如表4)，調整定植高度為前兩週燈源高度為10公分，最後一週燈源高度為14公分，其餘定植、分析、燈源強度設計方式與光策略2相同，6支燈管21天總耗電量為29.94度(如圖17-1)。
- (5)光策略4：以6支R/W燈管作為光源，紅藍光比值為9(如表4)，定植、分析、燈源高度變化與光策略3相同。將燈源強度設計為6個階段，6支燈管21天總耗電量為31.98度(如圖17-1)。
- (6)光策略5：以6支R/W燈管作為光源，紅藍光比值為9(如表4)，定植、分析、燈源高度與光策略3相同。將燈源強度設計為7個階段，6支燈管21天總耗電量為30.60度(如圖17-1)。
- (7)光策略6：以光策略5增加FR燈管排列如圖19，每日光處理如圖20之6-R/W(16) + 2-FR(2)光期所示，以R/W光源照射16小時後，再以FR光源照射2小時(如圖17-1)。
- (8)光策略7：以光策略6在第15~21日每日增加UVB光源照射1小時(每日13~14時)，其每日劑量為 $1.98 \text{ kJ/m}^2 (10^{-3} \times 3600 \text{ s} \times 0.55 \text{ W/m}^2)$ (如圖17-1)。
- (9)光策略8：以光策略6在第15~18日每日增加UVB光源照射1小時(每日13~14時)，其每日劑量為 $1.98 \text{ kJ/m}^2 (10^{-3} \times 3600 \text{ s} \times 0.55 \text{ W/m}^2)$ (如圖17-1)。

【表4、實驗一各組別之光譜處理表】

	燈具代號支數-燈管(照射時間hrs)	Red %	Green %	Blue %	FR %	R/B	R/FR
對照組 3000K	6-3000K(16)	44.79%	35.15%	20.06%	-	2	-
光策略1	6-R/W(16)	77.80%	13.60%	8.60%	-	9	-
光策略2	6-R/W(16)	77.80%	13.60%	8.60%	-	9	-

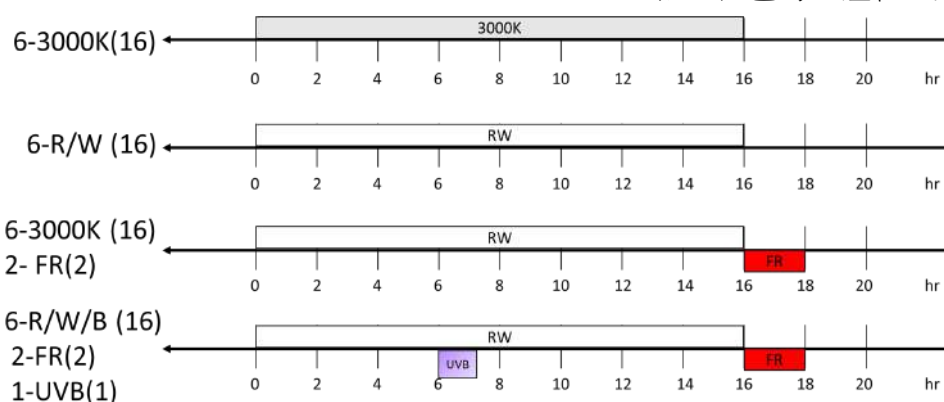
光策略3	6-R/W(16)	77.80%	13.60%	8.60%	-	9	-
光策略4	6-R/W(16)	77.80%	13.60%	8.60%	-	9	-
光策略5	6-R/W(16)	77.80%	13.60%	8.60%	-	9	-
光策略6	6-R/W(16) + 2-FR(2)	77.80%	13.60%	8.60%	68.31%	9	1.14
光策略7	6-R/W(16) + 2-FR(2)+UVB(1)7d	77.80%	13.60%	8.60%	68.31%	9	1.14
光策略8	6-R/W(16) + 2-FR(2)+UVB(1)4d	77.80%	13.60%	8.60%	68.31%	9	1.14



【圖18、6-R/W、6-3000K燈管排列圖】

【圖19、6-R/W + 2-FR & 6-R/W(16) + 2-FR(2)+UVB燈管排列圖】

\*註：紅色為FR燈管、紫色為UVB燈管



【圖20、4種不同燈具代號之光期處理圖】

本實驗先針對紅貝塔齒葉萵苣定植後21天成長情況進行觀察，且再擬定每種光策略生產之生菜進行實驗1-1~1-8之研究紀錄與分析(如表5)。其包括鮮重、乾重、對照組與實驗組鮮重能耗比(kW h/100g)、對照組與實驗組鮮重能耗比減少比率(%)、對照組與實驗組乾重能耗比(kW h/5g)、對照組與實驗組乾重能耗比減少比率(%)、葉綠素(mg/g)與糖度(%)、葉片橫切面觀察與葉片厚度等。

【表5、實驗一實驗設計】

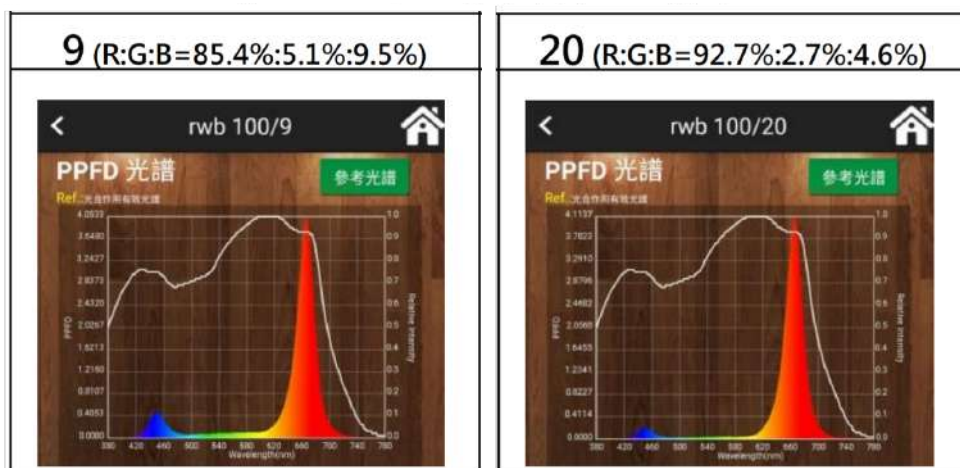
實驗項次	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8
控制組	3000K					3000K	3000K	3000K
實驗組	光策略1	光策略2	光策略3	光策略4	光策略5	光策略5&6	3000K+UVB、光策略5~7	光策略5、7、8

## (二)實驗二：設計不同的給光策略，探討對野生芝麻菜成長及能源利用效率的影響

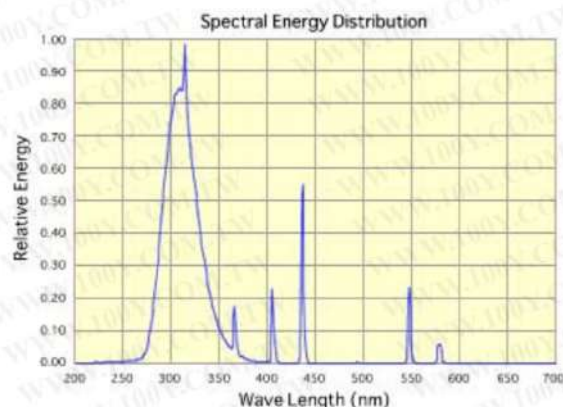
### 1.前言

因為我們希望芝麻菜增加味道強度及對身體有益的次級代謝物產量，供希望健康的受眾食用，所以選用含有較多藍光比例的6000K燈管作為對照組(Red : Green : Blue= 32.20% : 33.76% : 34.04%)，實驗組使用R/W/B LED燈光量子比9(Red : Green : Blue= 85.4% : 5.1% : 9.5%)(如圖21) [ 25 ]、R/W/B LED燈 光量子比20(Red : Green : Blue= 92.7% : 2.7% : 4.6%)(如圖22) [ 25 ] 與UV-B燈(波長280nm~360nm，峰值306nm)(如圖23) [ 41 ] 進行設計，並依據不同光策略調配可調光譜與光量 LED 植物照明燈管輸出模式與UVB處理方式(如圖16所示)進行野生芝麻菜之實驗，探討其生長狀態。





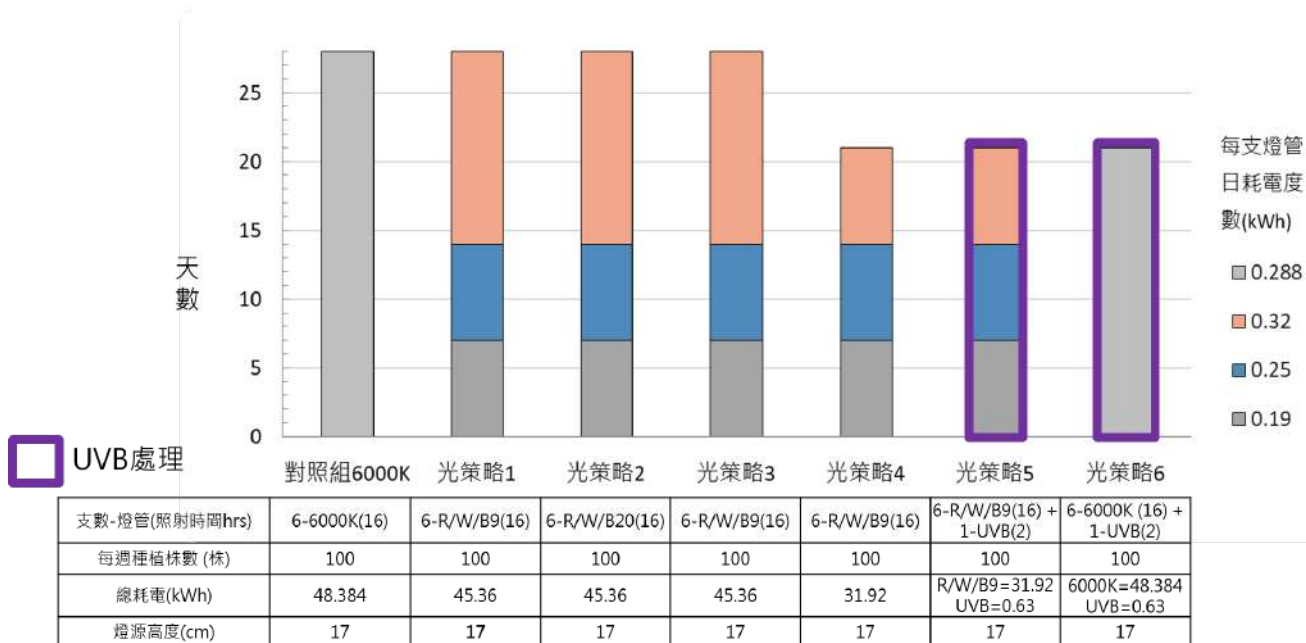
【圖21、R/W/B 光量子比9的光譜圖】 【圖22、R/W/B 光量子比20的光譜圖】



【圖23、UV-B燈的光譜圖】

## 2. 實驗步驟

本實驗光譜處理詳列於表4，光源排列方式如圖25、26，每日光處理期間為上午7時至下午23時(光處理時間第0~16小時)，共計16小時，各光策略之光期處理如圖27所示。因本研究非在恆濕恆溫空間進行，每次實驗皆會有氣候條件的改變，因此在不同光策略進行實驗時，皆以相同對照組作為分析之對照，並使用同一循環之養液。以下針對各種光策略進行說明(如圖24)：



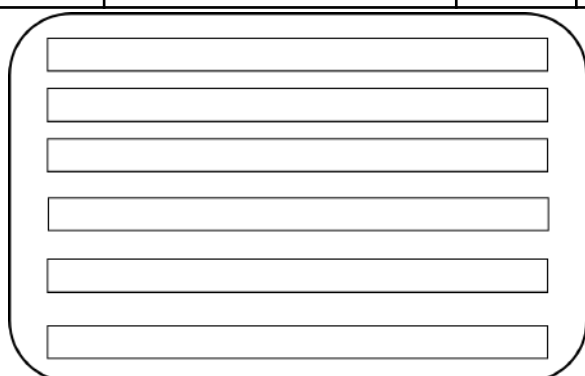
【圖24、定植野生芝麻菜之各種光策略比較圖】



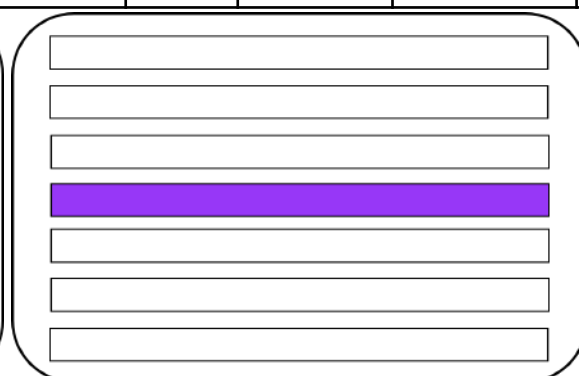
- (1)對照組：以6支6000K燈管作為光源，固定燈源高度為17公分，定植100株，並隨實驗組種植天數而訂定對照組的種植天數採收進行分析(如圖24)。每支燈管每日耗電量為0.384度，6支燈管28天總耗電量為48.384度。
- (2)光策略1：以6支R/W/B燈管作為光源，紅藍光比值為9(如表6)，定植、分析、燈源高度與對照組6000K相同。將燈源強度設計為3個階段，6支燈管28天總耗電量為45.36度(如圖24)。
- (3)光策略2：以6支R/W/B燈管作為光源，紅藍光比值為20(如表6)，定植、分析、燈源高度與對照組6000K相同。將燈源強度設計為3個階段，6支燈管28天總耗電量為45.36度(如圖24)。
- (4)光策略3：以6支R/W/B燈管作為光源，紅藍光比值為9(如表6)，定植、分析、燈源高度與對照組6000K相同。將燈源強度設計為3個階段，6支燈管28天總耗電量為45.36度(如圖24)。
- (5)光策略4：以6支R/W/B燈管作為光源，紅藍光比值為9(如表6)，固定燈源高度為17公分，定植100株並於21天採收進行分析。將燈源強度設計為3個階段，6支燈管21天總耗電量為31.92度(如圖24)。
- (6)光策略5：以6支R/W/B燈管及1支UVB燈管進行實驗設計(如表6)，此燈管在距離光源17公分處量測UVB光強度，平均值為  $0.55 \text{ W/m}^2$ 。在6-R/W/B9光處理第5小時開始同時照射UVB 2小時(如圖27)(每日12時至14時)其每日劑量為  $3.96 \text{ kJ/m}^2$  ( $10^{-3} \times 7200\text{s} \times 0.55 \text{ W/m}^2$ )，總耗電量為31.95度(如圖24)。
- (7)光策略6：以6支6000K燈管及1支UVB燈管進行實驗設計(如表6)，在6-6000K光處理第5小時開始同時照射UVB 2小時(如圖27)(每日12時至14時)其每日劑量為  $3.96 \text{ kJ/m}^2$  ( $10^{-3} \times 7200\text{s} \times 0.55 \text{ W/m}^2$ )，總耗電量為48.41度(如圖24)。

【表6、實驗二各組別之光譜處理表】

燈具代號	支數-燈管(照射時間hrs)	Red %	Green %	Blue %	UVB強度 ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )	UVB每日劑量 ( $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )	R/B
對照組	6-6000K(16)	32.20%	33.76%	34.04%	-	-	1
光策略1	6-R/W/B9(16)	85.40%	5.10%	9.50%	-	-	9
光策略2	6-R/W/B20(16)	92.70%	2.70%	4.60%	-	-	20
光策略3	6-R/W/B9(16)	85.40%	5.10%	9.50%	-	-	9
光策略4	6-R/W/B9(16)	85.40%	5.10%	9.50%	-	-	9
光策略5	6-R/W/B9(16) + 1-UVB(2)	85.40%	5.10%	9.50%	0.55	3.96	9
光策略6	6-6000K(16)+ 1-UVB(2)	32.20%	33.76%	34.04%	0.55	3.96	1

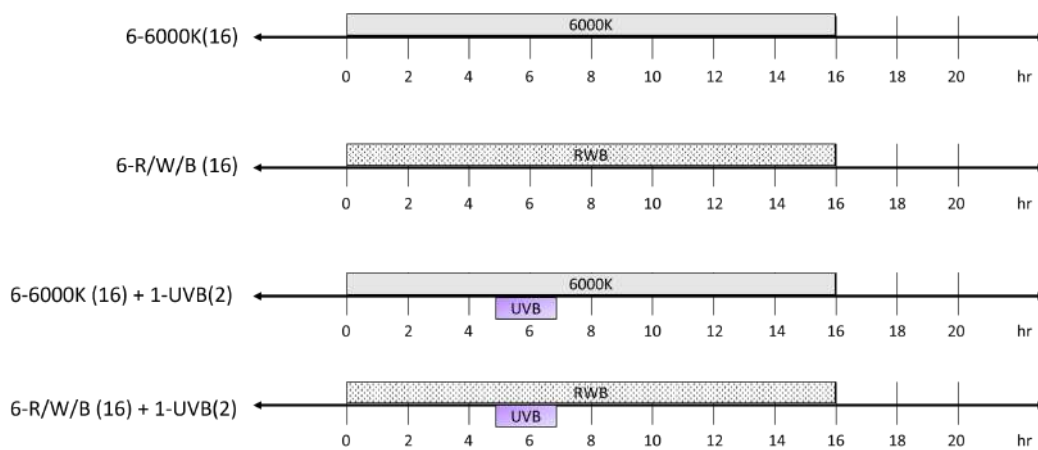


【圖25、6-R/W/B、6-6000K燈管排列圖】



【圖26、6-R/W/B + 1-UVB燈管排列圖】

\*註：紫色為UVB燈管



【圖27、不同燈具代號之光期處理圖】

本實驗擬定每種光策略生產之生菜進行實驗2-1~2-6之研究紀錄與分析(如表7)，其包括鮮重、乾重、對照組與實驗組鮮重能耗比(kW h/100g)、對照組與實驗組鮮重能耗比減少比率(%)、對照組與實驗組乾重能耗比(kW h/5g)、對照組與實驗組乾重能耗比減少比率(%)、葉綠素總含量(mg/g)與糖度(%)、葉片橫切面顯微觀察、葉片厚度、葉片下表皮氣孔觀察等。另外，在進行2-5與2-6實驗前，我們針對野生芝麻菜於高濃度CO<sub>2</sub>、6000K、21.4°C條件下，進行3小時CO<sub>2</sub>濃度變化追蹤實驗，觀察定植21天後野生芝麻菜對於CO<sub>2</sub>利用效率是否會受到低劑量UVB影響。

【表7、實驗二實驗設計】

實驗項次	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6
控制組	6000K				光策略4	6000K
實驗組	光策略1	光策略2	光策略3	光策略4	光策略5	光策略6

### (三)實驗三：不同給光策略之生菜感官品評

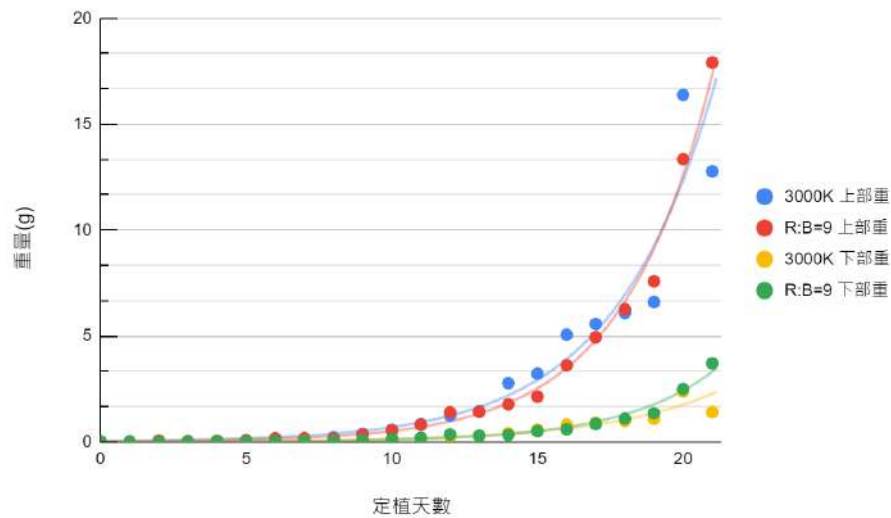
本研究感官品評分析主要是改變給光策略，分為對照組與實驗組，對照組為固定光譜LED燈管處理之生菜；實驗組則是不同光策略處理之生菜。我們利用七分制嗜好評分法，請受試者依據色澤、香氣、甘甜味、彈性、多汁性、風味、苦味、青草味與整體喜好度進行個人喜好的評比(1-非常不喜歡，7-非常喜歡)。七分制嗜好性評分法之數據則以平均數比較感官因素間之差異，所採用的是SPSS套裝軟體以進行差異性檢定。

## 肆、研究結果

### 一、實驗一：設計不同的給光策略探討對紅貝塔齒葉萵苣成長及能源利用效率的影響

#### (一)在3000K與可調式燈管燈源下，育苗7天後定植21天紅貝塔齒葉萵苣之生長情況。

由圖28的3000K與可調式燈管燈源定植21天紅貝塔齒葉萵苣之生長情況變化圖可知，萵苣生長的前兩週，對照組上部鮮重略重於實驗組；然而到了第三週時，兩組的上部鮮重皆快速提升，此時實驗組的重量已超過對照組。若觀察兩者的下部鮮重，可發現實驗組的植株根較重，其比對照組的影響較佳。再者，我們在後續實驗中將UVB處理設計在第15~21天，是參照此實驗結果，萵苣於此期間生長成指數上升，植株能快速增長，如輔以UVB刺激，或可增加其長勢。









【圖28、不同光處理之萵苣生長變化圖】

(二)不同給光策略對紅貝塔齒葉萵苣生長之影響

由表8可知實驗組(光策略3~8)皆較3000K之植株鮮重更重、乾種比率較高，型態上光策略1~8葉面皆有花青素之色澤表現。

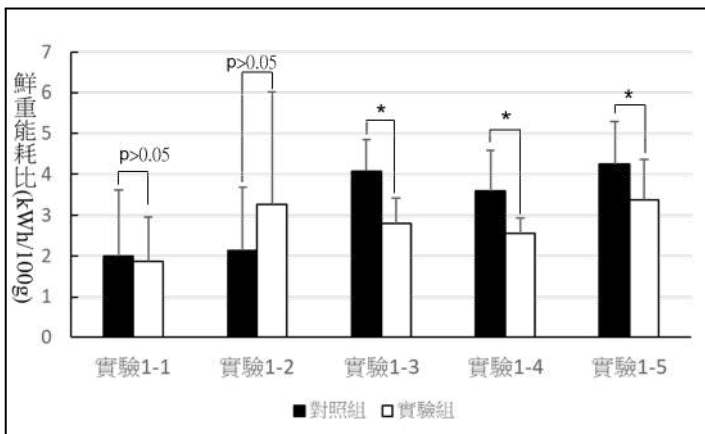
【表8、各實驗的紅貝塔齒葉萵苣數值總表】

植株前視圖								
光處理	3000K	光策略1	3000K	光策略2	3000K	光策略3	3000K	光策略4
	實驗1-1(樣本各19株)		實驗1-2(樣本各17株)		實驗1-3(樣本各24株)		實驗1-4(樣本各24株)	
上部鮮重(g)	37.52±19.98	39.82±15.93	35.21±18.82	21.52±15.26*	18.31±3.32	25.11±5.1*	20.68±4.09	28.45±4.4*
乾重比率(%)	4.75%	5.27%	4.16%	6.52%	5.43%	5.70%	4.93%	5.38%
糖度(%)	3.3	3.9	4	4.15	3.95	4.1	4.1	4.15
鮮重能耗比(kW h/100g)	1.99±1.63	1.87±1.09	2.12±1.57	3.27±2.75*	4.07±0.77	2.8±0.61*	3.61±0.97	2.55±0.38*
植株前視圖								
光處理	3000K	光策略5	3000K	光策略5	光策略6	3000K	3000K+UVB	光策略5
	實驗1-5(樣本各24株)		實驗1-6(樣本各24株)			實驗1-7(樣本各24株)		
上部鮮重(g)	17.51±3.82	21.65±6.78*	16.31±4.66	20.18±4.79*	24.01±5.05*	14.31±6.78	11.14±4.3	17.83±3.94*
乾重比率(%)	5.33%	6.38%	4.75%	4.47%	5.26%	4.48%	4.72%	5.07%

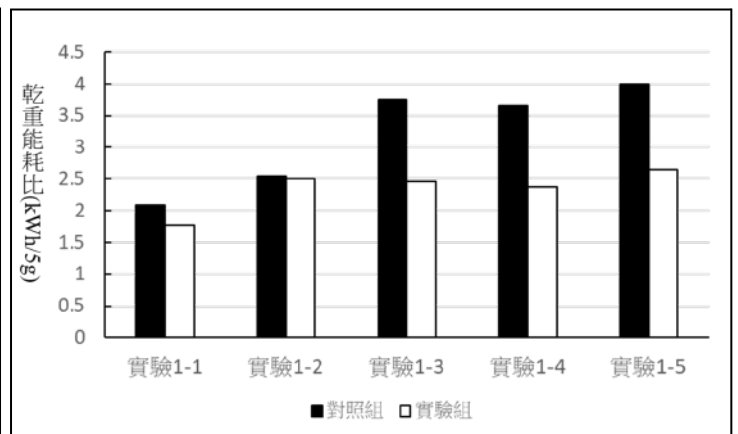
糖度(%)	4	4.1	4.4	5	4.4	3.85	2.8	4.6
鮮重能耗比(kW h/100g)	4.26±1.04	3.38±0.99*	4.57±1.59	3.66±1.06*	3.05±0.61*	5.21±2.9	6.73±3.41*	4.1±0.78*
葉片厚度(μm)	190±20	253.3±26.58*	231.67±17.22	305±30.82*	213.33±10.33*	196.67±28.8	213.33±56.1	248.33±53.1
氣孔數(個/0.45mm <sup>2</sup> )	41.4±16.9	31.4±7.12	-	-	-	36.13±4.94	41.50±3.18*	33.75±2.31
植株前視圖							*代表p<0.05，皆與該次實驗對照組比較。	
光處理	光策略6	光策略7	3000K	光策略5	光策略7	光策略8		
	實驗1-7(樣本各24株)			實驗1-8(樣本各24株)				
上部鮮重(g)	22.85±8.97*	20.24±5.35*	19.02±7.95	24.28±3.59*	26.43±3.25*	30.21±5.54*		
乾重比率(%)	4.69%	4.58%	4.24%	4.15%	4.29%	5.43%		
糖度(%)	4.9	4.35	-	-	-	-		
鮮重能耗比(kW h/100g)	3.22±0.76*	3.66±1.06*	3.92±2.96	3.01±0.47*	2.8±0.35*	2.45±0.51*		
葉片厚度(μm)	191.67±21.4	248.33±76.5	225±27.4	213.33±49.7	323.33±88*	246.67±45.5		
氣孔數(個/0.45mm <sup>2</sup> )	29.86±4.06*	29.00±2.45*						

### (三)不同給光策略對紅貝塔齒葉萵苣生長之能耗結果

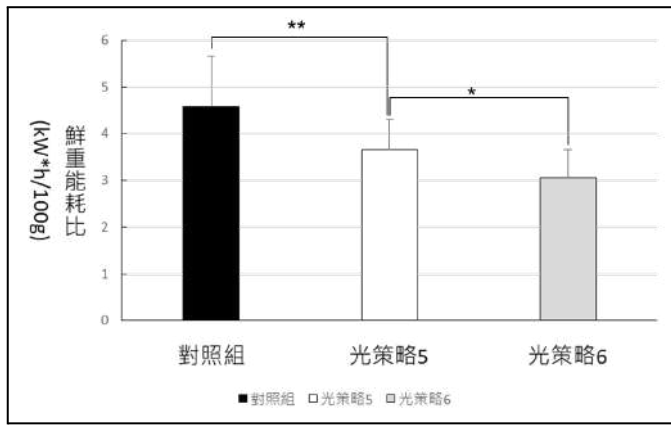
光策略1、2及3000K+UVB之鮮重能耗比與對照組無顯著差異，而光策略3~8之鮮重能耗比皆顯著低於對照組；乾重能耗比除3000K+UVB高於對照組，其餘光策略之乾重能耗比皆低於對照組。



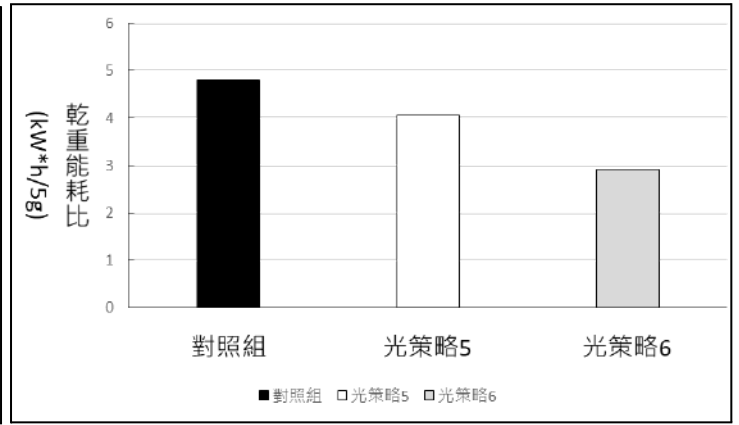
【圖 29、實驗1-1~1-5紅貝塔齒葉萵苣鮮重能耗比長條圖】



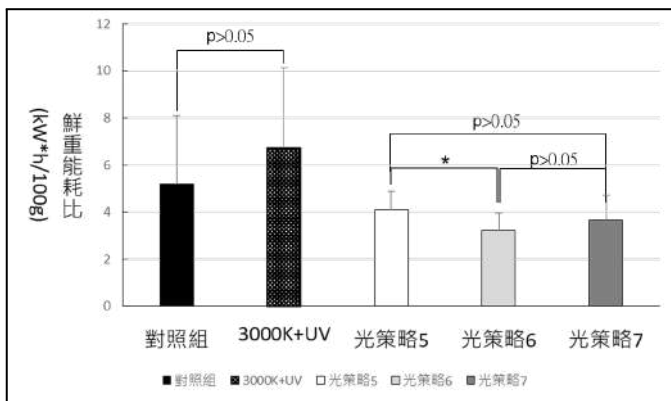
【圖 30、實驗1-1~1-5紅貝塔齒葉萵苣乾重能耗比關係長條圖】



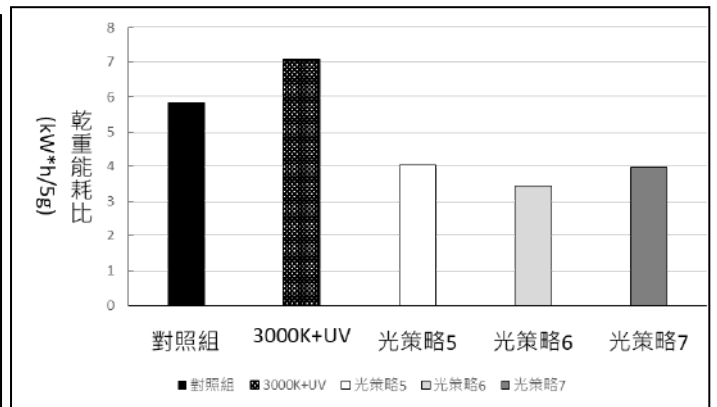
【圖 31、實驗1-6紅貝塔齒葉萵苣鮮重能耗比長條圖】



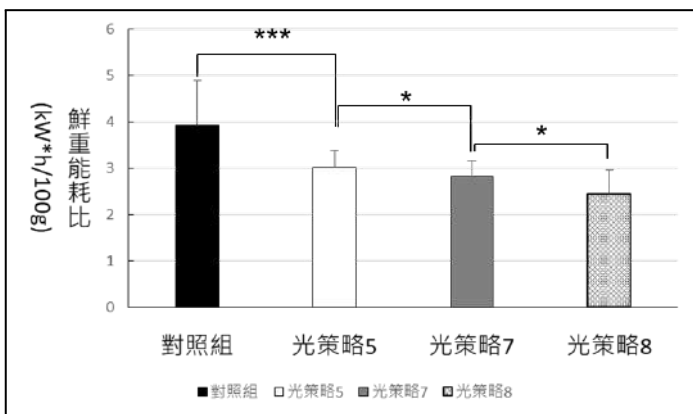
【圖 32、實驗1-6紅貝塔齒葉萵苣乾重能耗比長條圖】



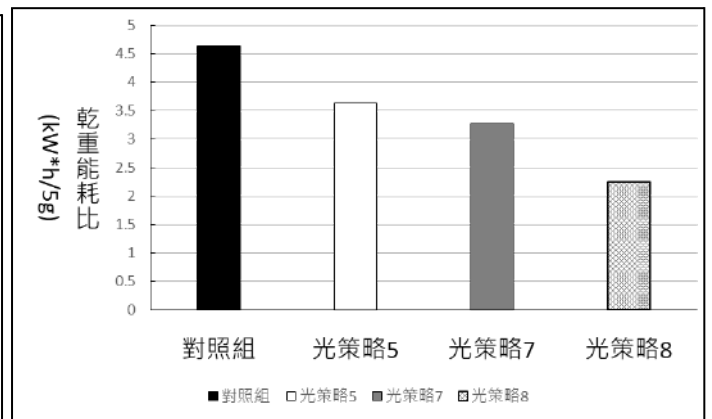
【圖 33、實驗1-7紅貝塔齒葉萵苣鮮重能耗比長條圖】



【圖 34、實驗1-7紅貝塔齒葉萵苣乾重能耗比長條圖】



【圖 35、實驗1-8紅貝塔齒葉萵苣鮮重能耗比長條圖】

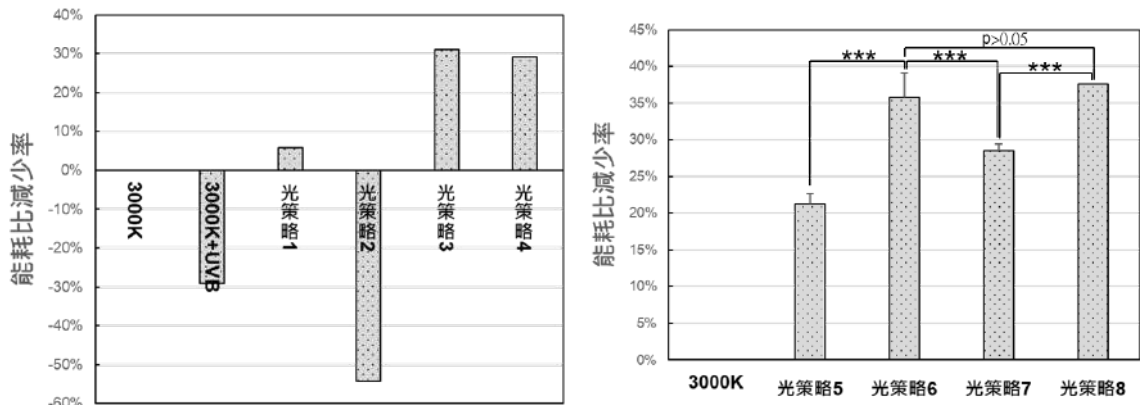


【圖 36、實驗1-8紅貝塔齒葉萵苣乾重能耗比長條圖】

\*為p<0.05, \*\*為p<0.01, \*\*\*為p<0.001

光策略1在生長速度緩慢的前期降低光量，以減少耗電。光策略2為了進一步降低耗電量，在燈源高度不變的情況下降低光強度，結果導致產量大幅下降，能耗比減少率約為-50%。光策略3降低了燈源高度，在總耗電與光策略2持平的情況下，提升光量，能耗比減少率大幅增加。光策略4沿用光策略3的高度設定，並在前期進一步提高光量，希望提高產量，但結果只是徒增耗電，能耗比減少率較光策略3下降。萵苣生長曲線圖顯示第三周植株生長快速(如圖28)，因此光策略5降低前兩周的光量，增加第三周，讓大部分光量集中在第三周照射。光策略6以光策略5為基礎，增加每日遠紅光2小時照明，鮮重能耗比減少率比僅使用可調式燈管來的多，可知使用遠紅光確實能增加產量。光策略7以光策略6為基礎在第三周增加每日1小時UVB照明但鮮重能耗比減少率不如只使用遠紅光的策略6來的多。光策略8以光策略6為基礎，在第三周前四天加入每日1小時UVB照明發現其鮮重能耗比減少率與光策略6無顯著差異。



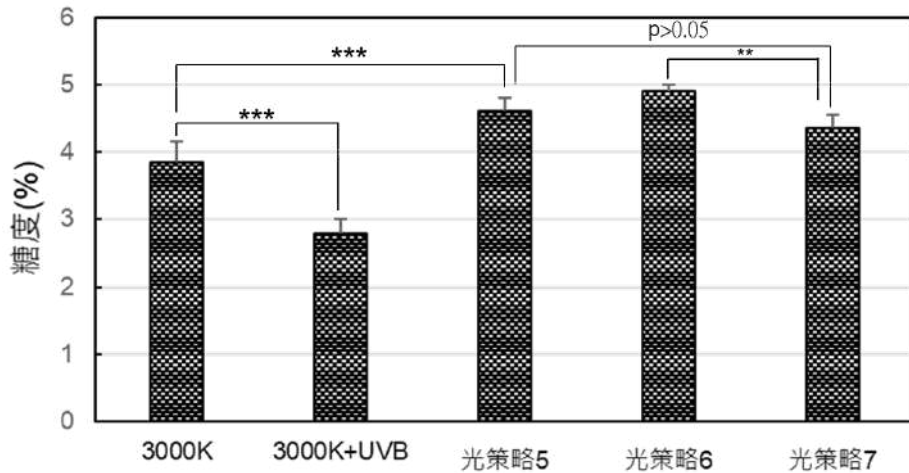


【圖37、紅貝塔齒葉萵苣鮮重能耗比減少率關係長條圖】

\*為p<0.05，\*\*為p<0.01，\*\*\*為p<0.001

#### (四)實驗1-7紅貝塔齒葉萵苣糖度比較

在糖度測定中(如表8所示)增加遠紅光與7天UVB的處理(如圖38)，雖可使植物乾重、鮮重增加(如表8)，但可溶性糖類不一定增加，可能原因是遠紅光與UVB會刺激植物光型態發生，而導致植物要花較多的能量去增長體積、質量、花青素、黃酮醇等物質，因而將貯存的可溶性糖類代謝產生能量或轉換成纖維素、蛋白質等其他物質構成體質。

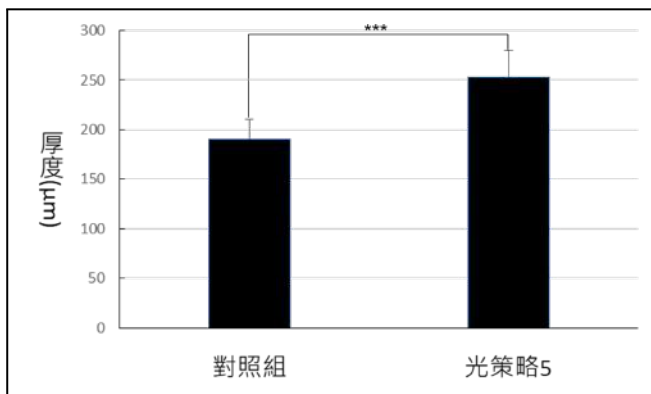


【圖38、實驗1-7紅貝塔齒葉萵苣糖度比較圖】

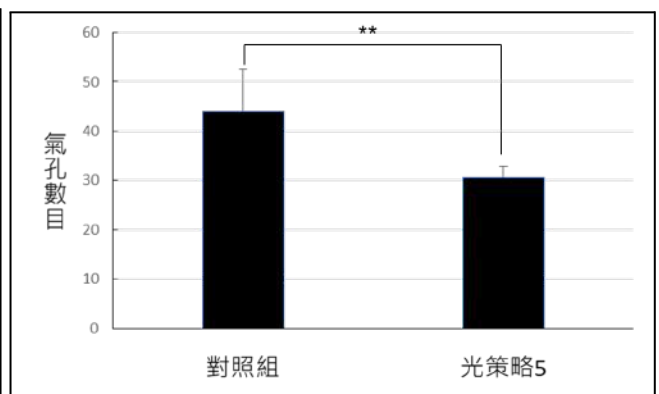
\*為p<0.05，\*\*為p<0.01，\*\*\*為p<0.001

#### (五)實驗1-5紅貝塔齒葉萵苣葉片型態比較

依據實驗1-5可發現鮮重較輕者(對照組)，葉片厚度較薄，氣孔數量較多；而鮮重較重者(實驗組)，葉片厚度較厚，氣孔數量較少。

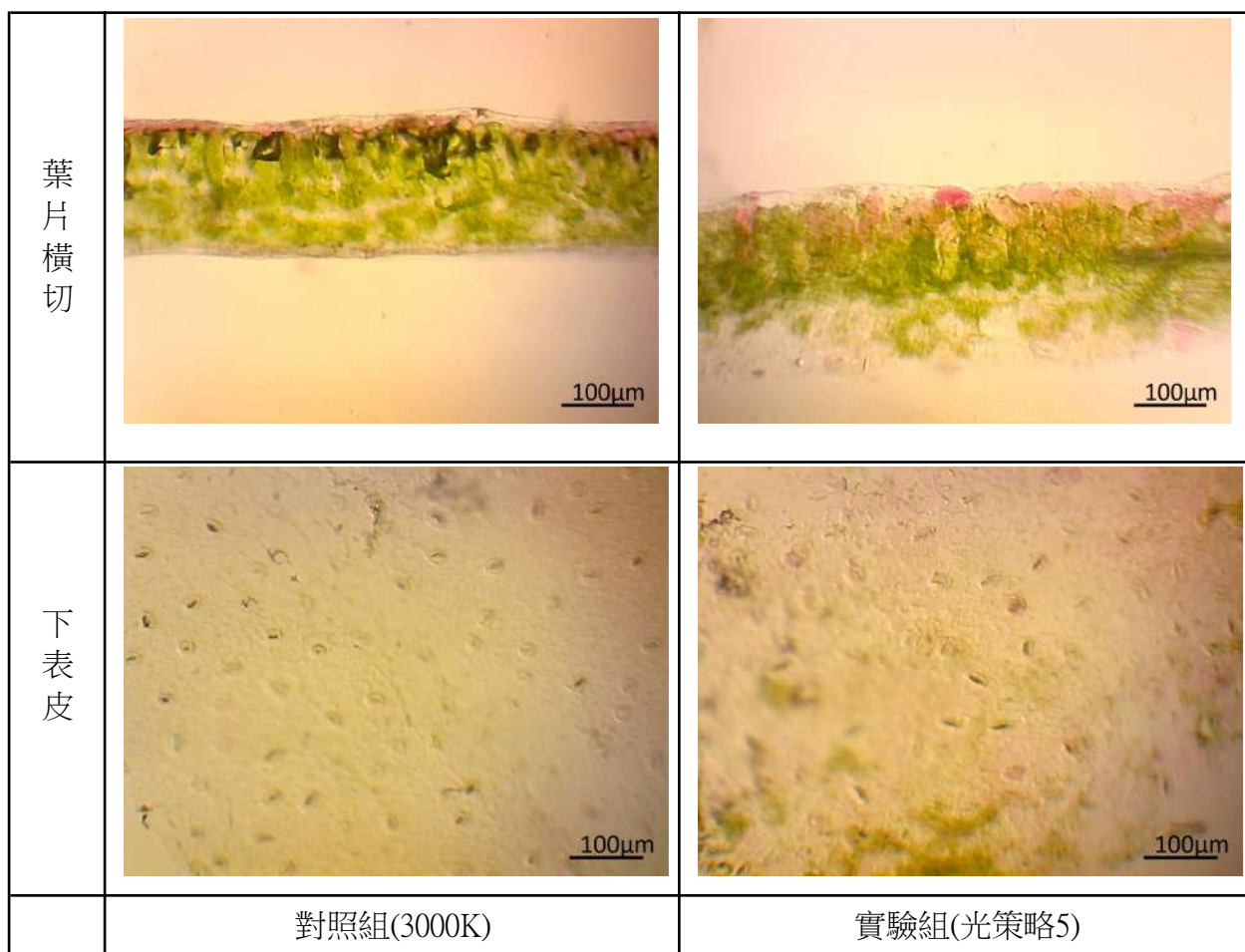


【圖39、實驗1-5萵苣葉片厚度比較圖】



【圖40、實驗1-5萵苣下表皮氣孔數目比較圖】

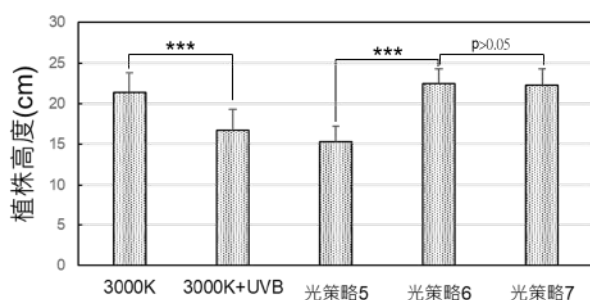
\*為p<0.05，\*\*為p<0.01，\*\*\*為p<0.001



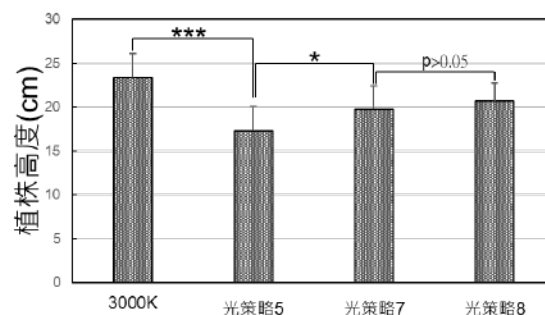
【圖41、實驗1-5紅貝塔齒葉萵苣葉片橫切與下表皮顯微圖】

#### (五)實驗1-7與1-8各種光策略處理之紅貝塔齒葉萵苣高度比較

3000K+UVB處理之植株高度較3000K之植株矮，可推測UVB處理會降低植株生長高度，但光策略6、光策略7、光策略8植株高度無顯著差異，推測遠紅光能逆轉UVB造成的影響。



【圖42、實驗1-7萵苣高度比較圖】

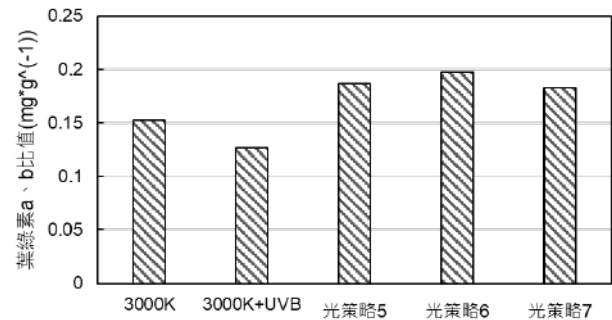
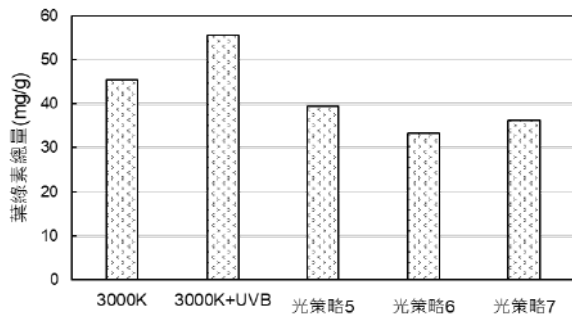


【圖43、實驗1-8萵苣高度比較圖】

\*為 $p < 0.05$ ，\*\*為 $p < 0.01$ ，\*\*\*為 $p < 0.001$

#### (六)實驗1-7之紅貝塔齒葉萵苣葉綠素總量與a/b比值比較

依據實驗1-7葉綠素測定之結果(如圖44、圖45)，鮮重最輕者(3000K)葉綠素含量最多，而鮮重最重者(光策略6)葉綠素含量最少(如圖44)。而3000K+UVB處理組別可發現葉綠素含量最高且葉綠素a/b比值最低(如圖45)，可推測UVB可能使葉綠素增加，且葉綠素b增加的量較多。次之，比較光策略5與6可發現，植株處理遠紅光可能降低葉綠素含量、增加葉綠素a/b比值，顯示葉綠素b減少的幅度較多。



【圖44、實驗1-7萵苣葉綠素總量比較圖】 【圖45、實驗1-7萵苣葉綠素a、b比值比較圖】

## 二、實驗二：設計不同的給光策略，探討對野生芝麻菜成長及能源利用效率的影響

### (一)不同給光策略對野生芝麻菜生長之影響

為使野生芝麻菜產量再提升，經查詢相關論文研究指出，UVB光可以促進其光型態發生，讓黃酮醇累積在細胞內，此信號傳導結果，在低劑量UVB下會增加多種葉綠體蛋白質的基因表現，長期下來可能可以提高植物的光合作用效率，增加產量〔18〕〔19〕。但本研究實驗2-5、2-6之實驗組皆發育不良，可發現在定植的21天中，每日2小時低劑量UVB會使幼小植株無法正常發育甚至死亡。(如表9)

依據實驗2-4葉綠素測定之結果，鮮重較輕者(對照組)葉綠素含量較少，氣孔數量也較少，而鮮重較重者(實驗組)葉綠素含量較多，氣孔數量也較多，與萵苣的情形有所差異，可知不同種類的植物會呈現不同的情況，其原因尚需進一步參照其他文獻。

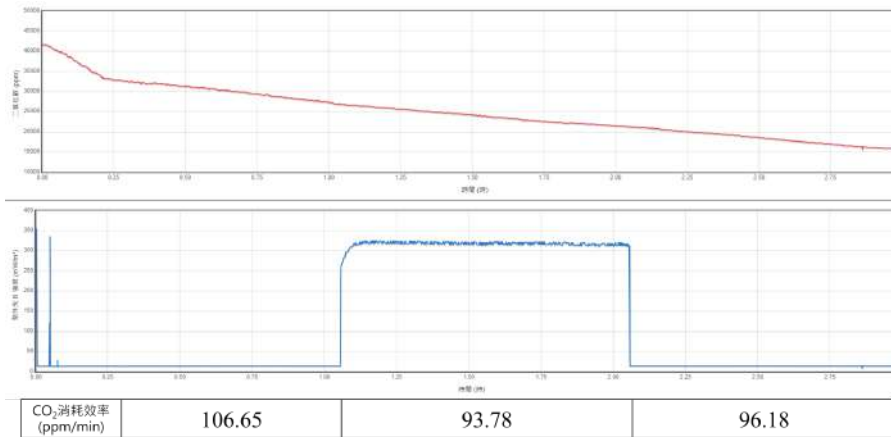
【表9、各實驗的野生芝麻菜數值總表】

植株前視圖						
	對照組6000K	光策略1	對照組	光策略2	對照組	光策略3
	實驗2-1		實驗2-2		實驗2-3	
上部鮮重(g)	21.48	34.79	12.5	23.17	10.63	19.51
顯著性(雙尾)	0.009*		0.000*		0.000*	
上部乾重(g)	1.68	2.54	0.95	1.91	0.63	1.14
葉綠素總含量(mg/g)	-	-	-	-	20.24	35.67
植株前視圖						
策略	對照組	光策略4	光策略4	光策略5	6000K	光策略6
	實驗2-4		實驗2-5		實驗2-6	
上部鮮重	3.95	5.87	2.31	發育不良	0.9	發育不良

(g)						
顯著性 (雙尾)	0.006*		-		-	
上部乾重 (g)	0.29	0.39	0.16	-	0.06	-
葉綠素總 含量(mg/g)	16.09	22.54	35.81	-	20.24	- *代表p<0.05

### (二)低劑量UVB(平均值：0.317W/m<sup>2</sup>)對定植第21天野生芝麻菜CO<sub>2</sub>利用效率之影響

為了進一步了解UVB對於野生芝麻菜之影響，我們將定植21天野生芝麻菜處理1小時UVB(平均值為0.317W/m<sup>2</sup>)，可發現CO<sub>2</sub>利用效率由106.65ppm/min降至93.78ppm/min，指出短暫的低劑量UVB處理已成熟的野生芝麻菜有可能會降低CO<sub>2</sub>利用效率或光合作用效率(如圖46所示)。因此如果以此UVB劑量的2倍時間對幼苗進行照射，可能對其光合作用抑制程度較高，更可能使植株發育不良甚至畸形。本實驗如要再進一步修改，或可於2週後再照射低劑量UVB，期待能增加植株之產量。

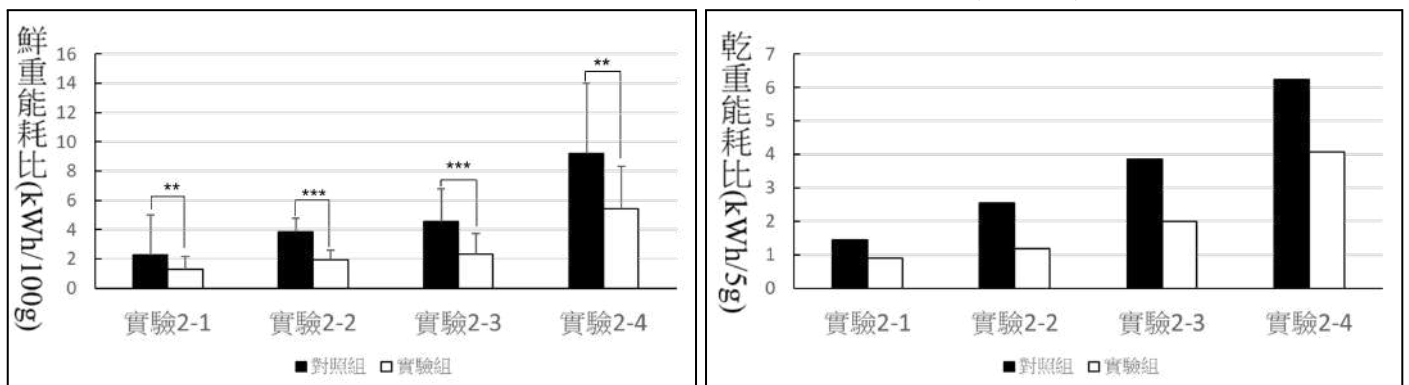


【圖46、暴露1小時UVB(平均值為0.317W/m<sup>2</sup>)對定植第21天野生芝麻菜CO<sub>2</sub>利用效率圖】

### (三)不同給光策略對野生芝麻菜生長之耗能結果

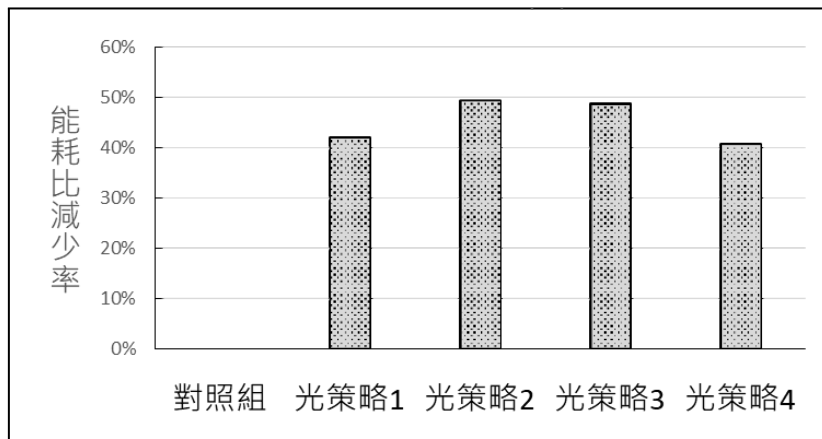
本研究之實驗2-1~2-3定植天數為28天，其上部鮮重都是實驗組重於對照組且具顯著差異(p<0.05)。如圖47所示，3個實驗的實驗組之鮮重能耗比皆較對照組低42%以上，顯示不論光質比R:B=9或20，在相同的耗電度數下產量皆較對照組高。

野生芝麻菜在實驗進行至28天時，會有部分植株開始抽花梗或是已經開花，可能會使之老化，導致芝麻菜口感不佳，故將實驗2-4定植時間縮減至21天。然而發現實驗2-4的鮮重能耗比與乾重能耗比皆高於實驗2-1~2-3，可能原因是植株成長與開花的快速期約為第4週，在第4週質量的累積較快，而使得前後的實驗能耗比差近2倍。如果只比較實驗2-4之對照組與實驗組的鮮重能耗比減少比率為40.79%，其與實驗2-1~2-3差異較小，為了使芝麻菜業口感不老柴，此後實驗將固定定植天數為21天進行實驗。(如圖49)





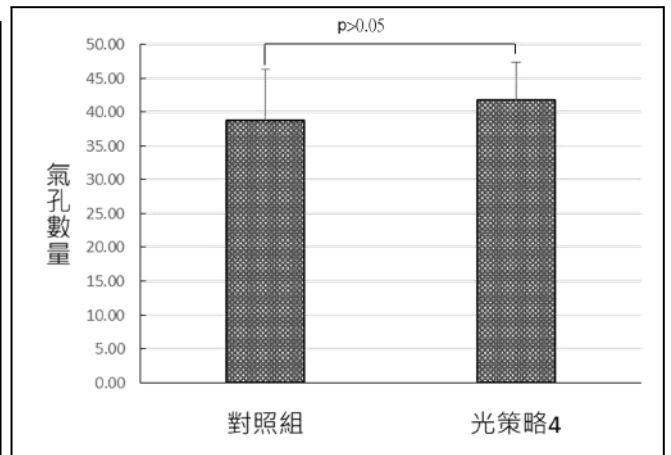
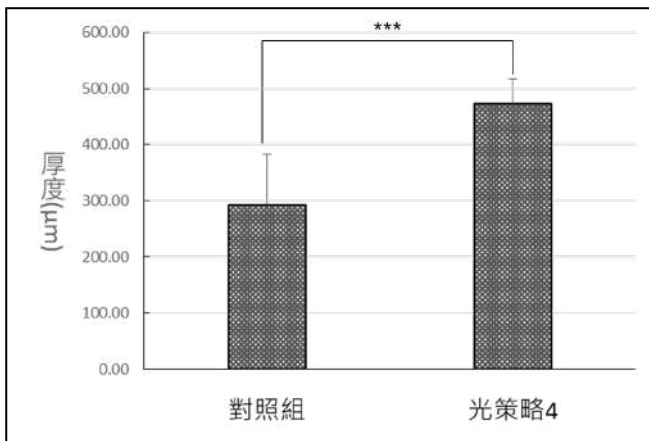
【圖47、野生芝麻菜鮮重能耗比關係長條圖】 【圖48、野生芝麻菜乾重能耗比關係長條圖】



【圖49、野生芝麻菜鮮重能耗比減少比關係長條圖】

(四)實驗2-4野生芝麻菜葉片型態比較

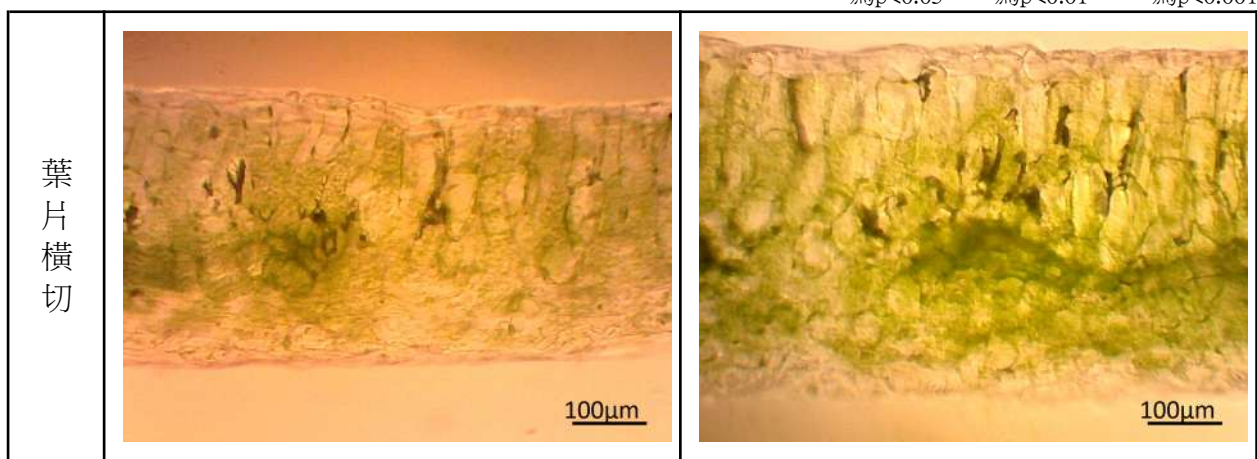
由圖50葉片厚度比較圖可知光策略4顯著高於對照組( $p < 0.001$ )，而下表皮氣孔數量則兩組之間沒有顯著差異。(圖51)



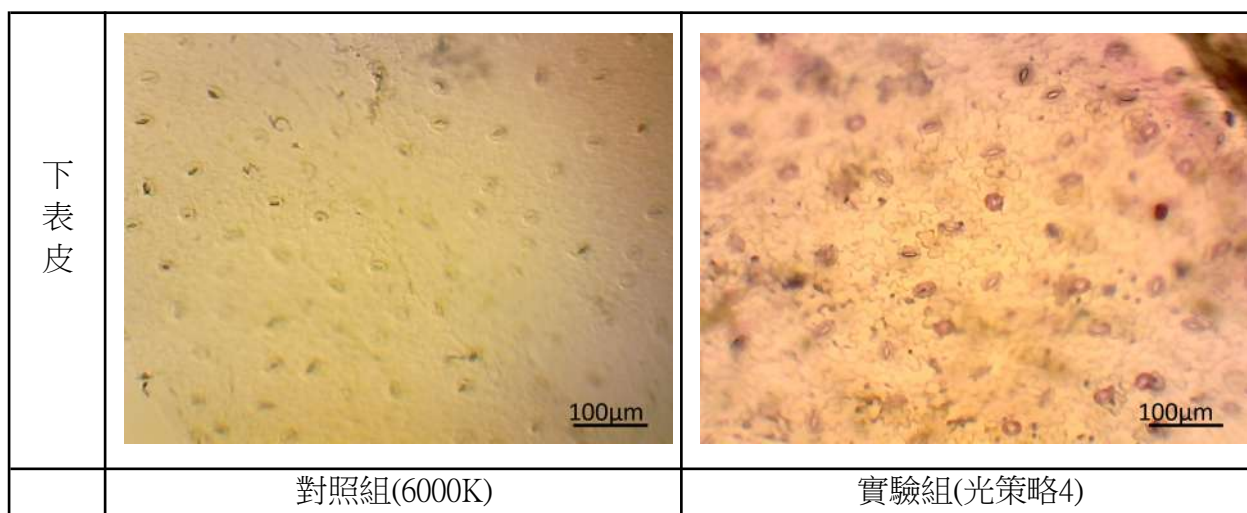
【圖50、實驗2-4芝麻菜葉片厚度比較圖】

【圖51、實驗2-4芝麻菜下表皮氣孔數目比較圖】

\*為 $p < 0.05$ ，\*\*為 $p < 0.01$ ，\*\*\*為 $p < 0.001$







【圖52、實驗2-4芝麻菜葉片橫切與下表皮顯微圖】

### 三、實驗三：不同給光策略之生菜感官品評分析

#### (一)紅貝塔齒葉萵苣感官品評分析

##### 1.受試者人口變項分布情形統計表

本研究由此 51 位有效樣本進行實驗組與對照組之差異比較(如表10)，其中43位為本校學生、8位教職員工。

【表 10、紅貝塔齒葉萵苣喜好程度品評人口變項分布情形統計表】

不同背景變項		次數	百分比
性別	男性	30	58.8%
	女性	21	41.2%
	總和	51	100%
教育程度	國高中	43	84%
	大學	2	4%
	研究所(含以上)	6	12%
總和		51	100%

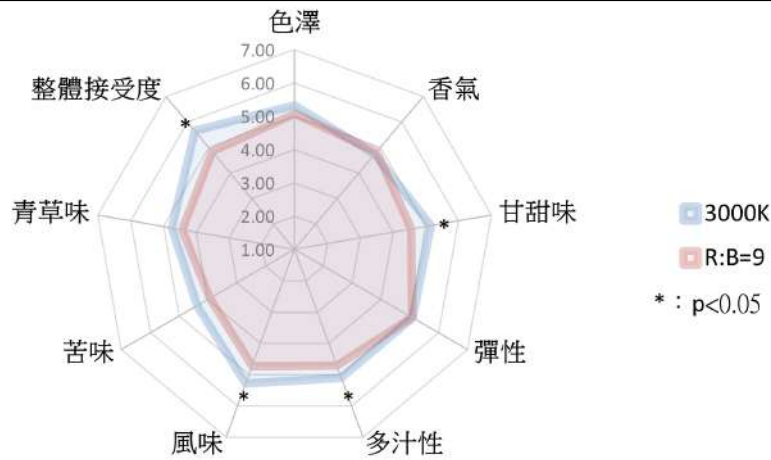
##### 2.受試者九項感官因素喜好程度之統計分析

本校師生對於實驗組樣品在九項感官因素喜好程度之平均數，分別為色澤5.08分、香氣4.84分、甘甜味4.56分、彈性5.08分、多汁性4.71分、風味4.72分、苦味3.94分、青草味4.43分、整體接受度4.84分。而對於對照組樣品喜好程度之平均數分別為色澤5.33分、香氣4.74分、甘甜味5.16分、彈性5.10分、多汁性5.10分、風味5.28分、苦味4.38分、青草味4.75分、整體接受度5.67分。將所得數值簡略整理成圖 53 所示。由上述平均數中，實驗組除了在香氣上平均數高於對照組之外，其餘八項感官因素上均低於對照組。而在標準差方面，師生對實驗組樣品在九個感官因素喜好程度之標準差，分別介於 1.113 至 1.845 間，而對照組樣品在九個感官因素喜好程度之標準差，分別介於 1.100 至 1.455 之間，如表 11 所示。

【表11、紅貝塔齒葉萵苣喜好程度之平均數與標準差】

感官因素	對照組3000K		可調式燈管(R:B=9)	
	平均數	標準差	平均數	標準差
色澤	5.33	1.306	5.08	1.426
香氣	4.74	1.139	4.84	1.113
甘甜味	5.16	1.315	4.56	1.487
彈性	5.10	1.182	5.08	1.368
多汁性	5.10	1.100	4.71	1.474

風味	5.28	1.294	4.72	1.604
苦味	4.38	1.455	3.94	1.845
青草味	4.75	1.129	4.43	1.628
整體接受	5.67	1.227	4.84	1.666



【圖53、紅貝塔齒葉萵苣喜好程度之平均數雷達圖】

為了進一步確認，對於實驗組和對照組間之感官因素喜好程度是否存在統計上之顯著差異，因此本研究進一步進行成對樣本 t 檢定。結果發現，兩者在色澤(p=0.328)、香氣(p=0.617)、彈性(p=0.918)、苦味(p=0.1)、青草味(p=0.128)上無顯著差異，但在甘甜味(p=0.028)、多汁性(p=0.04)、風味(p=0.042)、整體接受度(p=0.004)上，均達 95%以上之顯著差異，如表 12 所示。結果表示，對照組在本校師生之感官品評得分較佳，確實受到師生之接受度。

【表12、紅貝塔齒葉萵苣喜好程度之成對樣本T檢定】

感官因素	成對差異				t	自由度	顯著性(雙尾)	
	成對平均數差	成對平均數差之標準差	成對平均數差之標準誤	差異的95%信賴區間				
				下限				上限
色澤	0.255	1.842	0.258	-0.263	0.773	0.988	50	0.328
香氣	-0.1	1.403	0.198	-0.499	0.299	-0.504	49	0.617
甘甜味	0.6	1.874	0.265	0.068	1.132	2.264	49	0.028*
彈性	0.02	1.363	0.193	-0.367	0.407	0.104	49	0.918
多汁性	0.392	1.328	0.186	0.019	0.766	2.109	50	0.04*
風味	0.56	1.897	0.268	0.021	1.099	2.087	49	0.042*
苦味	0.44	1.853	0.262	-0.087	0.967	1.679	49	0.1
青草味	0.314	1.449	0.203	-0.094	0.721	1.546	50	0.128
整體接受	0.824	1.936	0.271	0.279	1.368	3.038	50	0.004*

\*代表p<0.05

## (二)野生芝麻菜感官品評分析

### 1.受試者人口變項分布情形統計表

本研究由此 59 位有效樣本進行實驗組與對照組之差異比較(如表13)，其中48位為本校學生、11位教職員工。

【表13、野生芝麻菜喜好程度品評人口變項分布情形統計表】

不同背景變項		次數	百分比
性別	男性	32	54.2%
	女性	27	45.8%

	總和	59	100%
教育程度	國高中	48	81%
	大學	2	3%
	研究所(含以上)	9	15%
	總和	59	100%

## 2. 受試者九項感官因素喜好程度之統計分析

本校師生對於實驗組樣品在九項感官因素喜好程度之平均數，分別為色澤5.20分、香氣4.51分、甘甜味3.66分、彈性4.44分、多汁性4.09分、風味3.66分、苦味2.81分、青草味3.71分、整體接受度3.76分。而對於對照組樣品喜好程度之平均數分別為色澤5.34分、香氣4.69分、甘甜味3.76分、彈性4.64分、多汁性4.38分、風味3.83分、苦味2.98分、青草味3.76分、整體接受度3.83分。將所得數值簡略整理成圖 54 所示。由上述平均數中，實驗組在九項感官因素上均低於對照組。而在標準差方面，師生對實驗組樣品在九個感官因素喜好程度之標準差，分別介於 1.215 至 2.014 間，而對照組樣品在九個感官因素喜好程度之標準差，分別介於 1.169 至 2.035 之間，如表 14 所示。

【表 14、野生芝麻菜喜好程度之平均數與標準差】

感官因素	對照組6000K		可調式燈管	
	平均數	標準差	平均數	標準差
色澤	5.34	1.169	5.20	1.215
香氣	4.69	1.453	4.51	1.278
甘甜味	3.76	1.548	3.66	1.481
彈性	4.64	1.411	4.44	1.368
多汁性	4.38	1.361	4.09	1.502
風味	3.83	2.035	3.66	2.014
苦味	2.98	1.676	2.81	1.697
青草味	3.76	1.579	3.71	1.762
整體接受	3.83	1.763	3.76	1.888



【圖 54、野生芝麻菜喜好程度之平均數雷達圖】

為了進一步確認，對於實驗組和對照組間之感官因素喜好程度是否存在統計上之顯著差異，因此本研究進一步進行成對樣本 t 檢定(如表 15)。結果發現，兩者在色澤 ( $p=0.442$ )、香氣 ( $p=0.3$ )、甘甜味( $p=0.611$ )、彈性( $p=0.193$ )、多汁性( $p=0.133$ )、風味 ( $p=0.456$ )、苦味( $p=0.453$ )、青草味( $p=0.761$ )、整體接受度( $p=0.759$ )上均無顯著差異，如表 15 所示。結果表示，對照組與實驗組在本校師生之感官品評得分並無差異。

【表15、野生芝麻菜喜好程度之成對樣本T檢定】

感官因素	成對差異					t	自由度	顯著性 (雙尾)
	成對平均 數差	成對平均 數差之標 準差	成對平均 數差之標 準誤	差異的95%信賴區間				
				下限	上限			
色澤	0.136	1.345	0.175	-0.215	0.486	0.774	58	0.442
香氣	0.186	1.371	0.178	-0.171	0.544	1.045	58	0.3
甘甜味	0.103	1.541	0.202	-0.302	0.509	0.511	57	0.611
彈性	0.203	1.186	0.154	-0.106	0.512	1.317	58	0.193
多汁性	0.293	1.463	0.192	-0.092	0.678	1.526	57	0.133
風味	0.169	1.734	0.226	-0.282	0.621	0.751	58	0.456
苦味	0.169	1.724	0.224	-0.28	0.619	0.755	58	0.453
青草味	0.051	1.279	0.166	-0.282	0.384	0.305	58	0.761
整體接受	0.068	1.69	0.22	-0.373	0.508	0.308	58	0.759

\*代表 $p < 0.05$

## 伍、討論

一、利用不同光質、光強度(光子通量密度PPFD)與日韻律培育紅貝塔齒葉萵苣，以降低能耗比、提高植株鮮重、乾重與糖度為目標。

- (一)紅貝塔齒葉萵苣實驗中**光策略6**(額外提供2小時遠紅光處理)與**光策略8**(額外提供2小時遠紅光處理與第15~18天UVB 1小時處理)較**對照組**(3000K光處理)之**能耗比減少率約為36%左右**，皆是本研究產量與能耗比最優之光策略(如圖37)。
- (二)低劑量UVB處理植株會造成萵苣產量下降、葉片厚度增加、葉綠素總量上升、葉綠素a/b比值下降、糖度下降、能耗比提升、植株高度降低，**但於每日23~01時處理遠紅光**，可逆轉低劑量UVB對高度造成的影響。
- (三)**光策略8**(額外提供2小時遠紅光處理與第15~18天UVB 1小時處理)較**光策略7**(額外提供2小時遠紅光處理與第15~21天UVB 1小時處理)更能有效增加產量，可知低劑量UVB有其最佳暴露時間與時長。
- (四)已研究出紅貝塔齒葉萵苣口感爽脆或柔軟與光質之關係，以下是各種處理可歸納的特徵：

- 1.以**3000K**光源處理，其植株呈現**質地柔軟**之情況，葉片較薄。(如圖39)
- 2.以可調式燈管**光質紅比藍為9**處理，其植株呈現**質地厚實**，葉片較清脆爽口。(如圖39、圖41)

二、利用不同光質、光強度(光子通量密度PPFD)與日韻律培育野生芝麻菜，以降低能耗比、提高植株鮮重、乾重與糖度為目標。

- (一)野生芝麻菜在可調式燈管光質R:B=9、20、光源日韻律變化、逐週增加PPFD與DLI處理下，較6000K光處理可顯著增加其鮮重、乾重、葉片厚度、葉綠素含量與葉下表皮氣孔數。在以產量為前提下，**光策略2**之**能耗比減少比率為49.43%**，是本研究產量與能耗比**最優之光策略**。
- (二)野生芝麻菜幼苗時期，每日暴露2小時低劑量UVB，會使其發育不良甚至死亡(如表9)，故UVB應於植株生長後期給予較合適。

三、進行品評分析，藉此了解同學們對於紅貝塔齒葉萵苣與野生芝麻菜的色澤、香氣及口感的喜好程度，並訂製專屬口感之生菜。

- (一)嗜好性品評試驗中，發現本校師生對於紅貝塔齒葉萵苣多是喜好對照組，對於甘甜味、多汁性、風味與整體接受度上有顯著差異，透過此分析結果可得知，如果想符



合本校師生之口味，應減少PPFD與DLI，讓萵苣生長狀況趨近於對照組，並同時節省能源使用。

(二)嗜好性品評試驗中，發現本校師生對於野生芝麻菜感官品評得分並無顯著差異，透過此分析結果可得知，目前之光策略所生產之芝麻菜除產量提升外，並與6000K燈管之光處理無感官品評之差異，可持續以增加產量與減少能耗比為實驗目標。

## 陸、結論

綜合以上，本研究目前已找出紅貝塔齒葉萵苣在生產上的最佳策略，但野生芝麻菜在研究過程中因時間與議題龐大，無法盡數完成所有實驗，探討出最佳生產模式與口感變化。最後我們依實驗目標整理出以下貢獻：

### 一、紅貝塔齒葉萵苣生產上的最佳策略：

- (一)光質紅比藍光比值為9。
- (2)光源7點至23點日韻律變化。
- (3)逐日提升光量：DLI從 10 提升至 22.5 mol/m<sup>2</sup>-day。
- (4)每日23~01點遠紅光處理。
- (5)第15~18天低劑量UVB(1.98 kJ/m<sup>2</sup>，10<sup>-3</sup>×3600s×0.55 W/m<sup>2</sup>)處理。

### 二、野生芝麻菜生產上的最佳策略：

- (1)光質紅比藍光比值為9與20。
- (2)光源7點至23點日韻律變化。
- (3)逐週提升光量：DLI從 9.5提升至16.5 mol/m<sup>2</sup>-day。

### 三、本校師生喜愛之生菜：

- (1)紅貝塔齒葉萵苣：對照組。
- (2)野生芝麻菜：對照組與實驗組喜好程度無顯著差異。
- (3)紅貝塔齒葉萵苣之實驗較完善，可建立了紅貝塔齒葉萵苣之花青素色澤、口感爽脆或柔軟與光質關係。

未來我們可再進一步探討低劑量UVB與遠紅光對於兩種生菜之綜合影響，其包括遠紅光、低劑量UVB的強度、暴露的更佳時間點、每日暴露時長、暴露天數...等。希望能再持續探討相關內容，不論是增加我們對植物與環境因子關係的認識，也能為植物工廠之農業型態貢獻研究成果。

## 柒、參考文獻資料

- [ 1 ] 趙大衛、蘇懿生、辛致煒、陳韻安、劉崇文、朱芳琳、湯偉君、林宗穎(2020)。高中生物(全)課本。翰林出版。
- [ 2 ] 群創知識科技股份有限公司(2015)。北臺區域植物工廠示範區計畫總結報告書。新竹。
- [ 3 ] 賴進貴、湯在弘、黃誌川、洪伯邑(2020)。高中地理(二)課本。翰林出版, 69。
- [ 4 ] 人口基金會(2017)。世界人口趨勢。<https://www.unfpa.org/world-population-trends#readmore-expand>。
- [ 5 ] Kashyap Vyas(2021). 13 Vertical Farming Innovations That Could Revolutionize Agriculture. <https://reurl.cc/L7E4GX>。
- [ 6 ] 方煒(2013)。台灣植物工廠發展現況與展望。精密設施工程與植物工場實用化技術研討會專輯。
- [ 7 ] 光電協進會(2016)。植物工廠值不值得推廣?水耕蔬菜安不安全、營不營養?來看專家看法。農業應用研討會。
- [ 8 ] 林秀芬、黃俊霖、吳靖淪(2014)。植物工廠初體驗。國立花蓮高級農業職業學校。花蓮縣。
- [ 9 ] 李秉璋、楊玉婷(2012)。植物工廠應用前景與展望。農業生技市場趨勢及產品行銷論壇。
- [ 10 ] 鄔家琪(2013)。現代農園產品—植物工廠的作物。科學月刊, 五月號。
- [ 11 ] 周瑞仁(2013)。給植物一個舒服的家—植物工廠的工程需求。科學月刊, 五月號。
- [ 12 ] ScienceDirect(2021). <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/photosynthetic-photon-flux-density>。
- [ 13 ] Black Dog LED(無日期)。Photobiologically Active Radiation (PBAR)。<https://www.blackdogled.com/blogs/education/photobiologically-active-radiation-pbar>
- [ 14 ] Neil A. Campbell (1996)。生物學Campbell: 上冊(李家維、徐歷鵬、崔文慧、張立雪、黃璧祈、葉開溫、鍾楊聰譯)。182-200。偉明圖書, 臺北市。
- [ 15 ] 趙大衛、蘇懿生、劉仲康、蕭淑娟(2021)。選修生物II: 生命的起源與植物體的構造與功能(全一冊)教學備課用書。翰林出版。380-384。
- [ 16 ] 白竟楠(無日期)。《科學》刊文揭開隱花色素作用機制, 科學家找到調節植物花期開關。每日頭條。<https://kknews.cc/zh-tw/science/6kpk55v.html>。
- [ 17 ] 錢善勤、王忠、袁秋華、顧蘊潔(2004)。植物向光素。植物生理學通訊, 40, 5, 2-3。
- [ 18 ] Vanesa Eleonora Tossi, Jose Javier Regalado, Jesica Iannicelli, Leandro Ezequiel Laino, Hernan Pablo Burrieza, Alejandro Salvio Escandón, Sandra Irene Pitta-Álvarez.(2019) Beyond Arabidopsis: Differential UV-B Response Mediated by UVR8 in Diverse Species.
- [ 19 ] Jenkins G. I. (2014). The UV-B Photoreceptor UVR8: From Structure to Physiology. The Plant Cell 26:21-37.
- [ 20 ] 陳加忠 (2020)。遠紅光簡介。[http://amebse.nchu.edu.tw/new\\_page\\_985.htm](http://amebse.nchu.edu.tw/new_page_985.htm)
- [ 21 ] 陳加忠 (2021)。遠紅外光對植物影響。[http://amebse.nchu.edu.tw/new\\_page\\_361.htm](http://amebse.nchu.edu.tw/new_page_361.htm)
- [ 22 ] Jenkins G. I.(2014). The UV-B Photoreceptor UVR8: From Structure to Physiology. 4-5.
- [ 23 ] National Institute of General Medical Sciences(2021)。Circadian Rhythms。<https://www.nigms.nih.gov/education/fact-sheets/Pages/circadian-rhythms.aspx>
- [ 24 ] 潘詩怡(2018)。植物施肥的奧祕。科學發展, 545, 6-9。
- [ 25 ] 宏鑫光電科技股份有限公司(2021)。可調光譜與光量 LED 植物照明燈管 AC 版本。<https://www.facebook.com/jpiti.com.tw/>

- [ 26 ] 張簡秀容(1999)。葉萵苣栽培管理。台灣農業，35，1。
- [ 27 ] 農業知識入口網(2009)。萵苣概述。https://kmweb.coa.gov.tw/subject/subject.php?id=8566
- [ 28 ] 有機農業全球資訊網(2018)。葉萵苣栽培管理。https://info.organic.org.tw/3404/
- [ 29 ] eat this much(2021)。Lettuce:Red leaf, raw。http://gg.gg/xgxa3
- [ 30 ] 全秀華(2005)。萵苣的營養成分。財團法人台灣癌症基金會。http://gg.gg/xgxa5
- [ 31 ] 行政院農業委員會萵苣主題館(2007)。營養成分與利用。  
https://kmweb.coa.gov.tw/subject/subject.php?id=8921
- [ 32 ] 陳惠惠、羅建怡(2014)。萵苣／葉酸含量豐 減重好食材。聯合新聞網元氣網。  
https://health.udn.com/health/story/6037/346217
- [ 33 ] 丁彥伶 (2020)。萵苣、A菜、鵝仔菜…營養師大推天然解毒劑 吃烤肉、香腸、火腿的絕配。健康2.0。https://health.tvbs.com.tw/nutrition/325835
- [ 34 ] 興農種苗(2021)。葉菜類種子芝麻菜。https://www.hnseeds.com/seed/ns1412.html
- [ 35 ] 維基百科(2021)。芝麻菜。https://reurl.cc/dxYLZz
- [ 36 ] 吳宇軒、郭豐慶、林承翰(2019)。二氧化碳補充對於芝麻菜生長差異研究。國立屏東科技大學生物機電工程系。
- [ 37 ] U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTUR (2019)。Arugula, raw。  
https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169387/nutrients=
- [ 38 ] Chung, H. Y. (2019)。Regulating Light and Nutrient Recipes to Produce Value-Added Sprout and Lettuce in Plant Factory.
- [ 39 ] 中央氣象局觀測資料查詢系統v6.32 (2021)。觀測資料查詢CODiS。http://gg.gg/xgx9x
- [ 40 ] 張明毅、鍾興穎、詹耀宗、方煒(2011)。隨株高自動調整光源高度立體栽培層架之研製。2011農機與生機論文發表會。
- [ 41 ] 勝特力(2021)。SANKYO-DENKI\_UV-B產品說明書。http://www.100y.com.tw/。

## 【評語】 052204

一、研究主題：對於進行高經濟價值蔬菜生產之業者與對特殊族群消費者具有吸引力與實用性。

二、創意、學術或實用價值：本研究以植物工廠為平台，研究不同波長 LED 燈光對於紅貝塔齒葉萵苣和野生芝麻菜的生長影響，探討最佳光源組成與照射時間，結果發現在特定的紅藍光比值及光源強度韻律變化確實可增加紅貝塔齒葉萵苣和野生芝麻菜的鮮重、乾重，具有學術與實用參考價值。

三、科學方法之適切性:

1. 本研究選擇”紅貝塔齒葉萵苣”以及”野生芝麻菜”來進行對比實驗的立論要更明確說明。
2. 如何決定與設計兩種植物不同之光策略(slide 3 & slide 5)，要再進一步說明。
3. 建議後續能對於生產成本進行計算，並對於此條件下生產之蔬菜營養成分與植化素等含量，進行比較。
4. 本研究結果認為建立了紅貝塔齒葉萵苣之花青素色澤、口感爽脆或柔軟與光質關係。對未來在商業應用上的潛力可以加以討論。

四、展示及表達能力：

1. 作者說明了研究目的、詳細列出實驗材料與器材，也提供相關照片佐證實驗結果。
2. 部分圖表之顯著差異分析法與標示可再加強（例如表 8、圖 44、圖 45 等）。
3. 文獻回顧與背景介紹應再加強。
4. 作者利用照片、圖表來整理結果並呈現，讓讀者可一目了然，討論也詳盡。



## 作品簡報

# 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

科別：農業與食品學科

組別：高級中等學校組

編號：052204

作品名稱：訂製美好食光—不同光策略的LED應用於  
芝麻菜與萵苣生產之研究

關鍵詞：植物工廠、遠紅光、UVB

## 名詞解釋

**1. 能耗比**: 每生產100公克的新鮮蔬菜時，需要使用幾度電。

$$\text{能耗比} = \frac{\text{耗電度數}(kWh)}{\text{每}100g\text{植物}}$$

**2. 能耗比減少率**: 實驗組較當次實驗的對照組能耗比減少的百分比。

$$\text{能耗比減少率} = \frac{\text{對照組能耗比} - \text{實驗組能耗比}}{\text{對照組能耗比}} \times 100\%$$

## 壹、實驗目的與實驗規劃

本研究透過文獻探討了解光控制植物發育之機制，且利用植物工廠之光質、光強度與日韻律的調整，**建立光配方與蔬菜口感、產量之關係**，在營養價值與**能源效益**中建立平衡，讓同學們或消費者**訂製各自喜愛的生菜口感**，促進本土農業走向精緻化與客製化，從而打入高端消費市場，用較低的生產成本創造超越進口生菜品質之產品，提升產品定位。

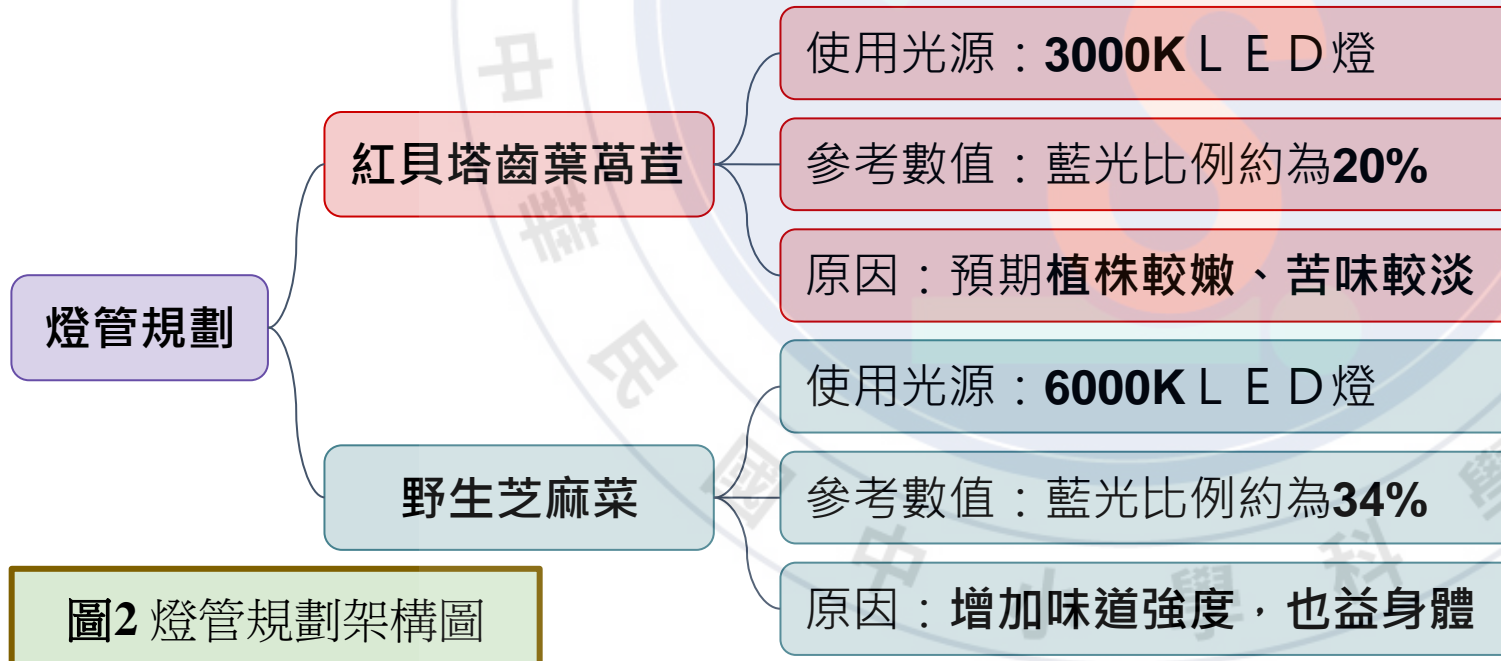
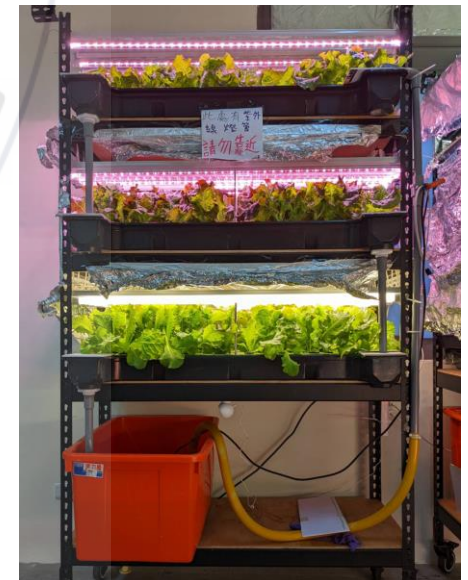
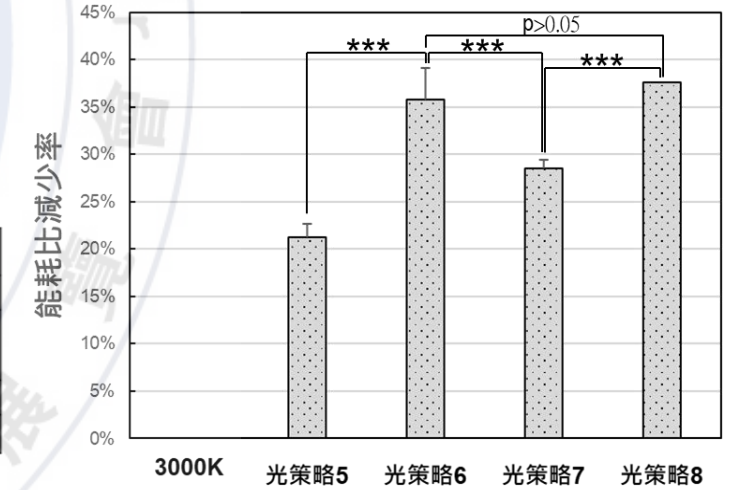
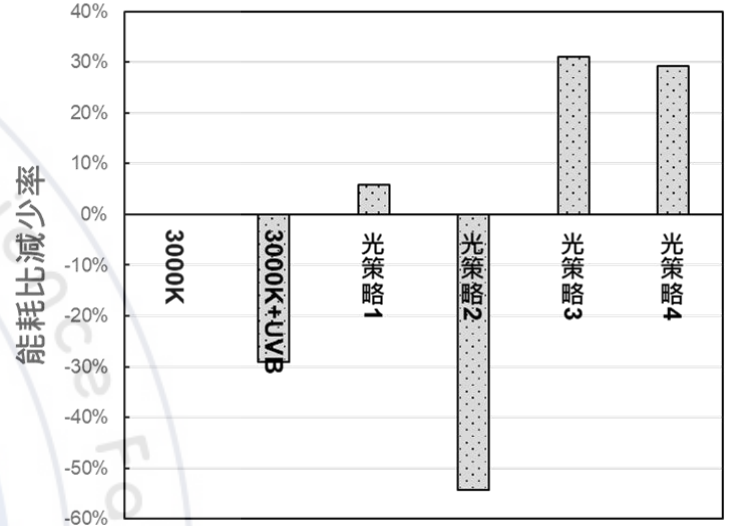
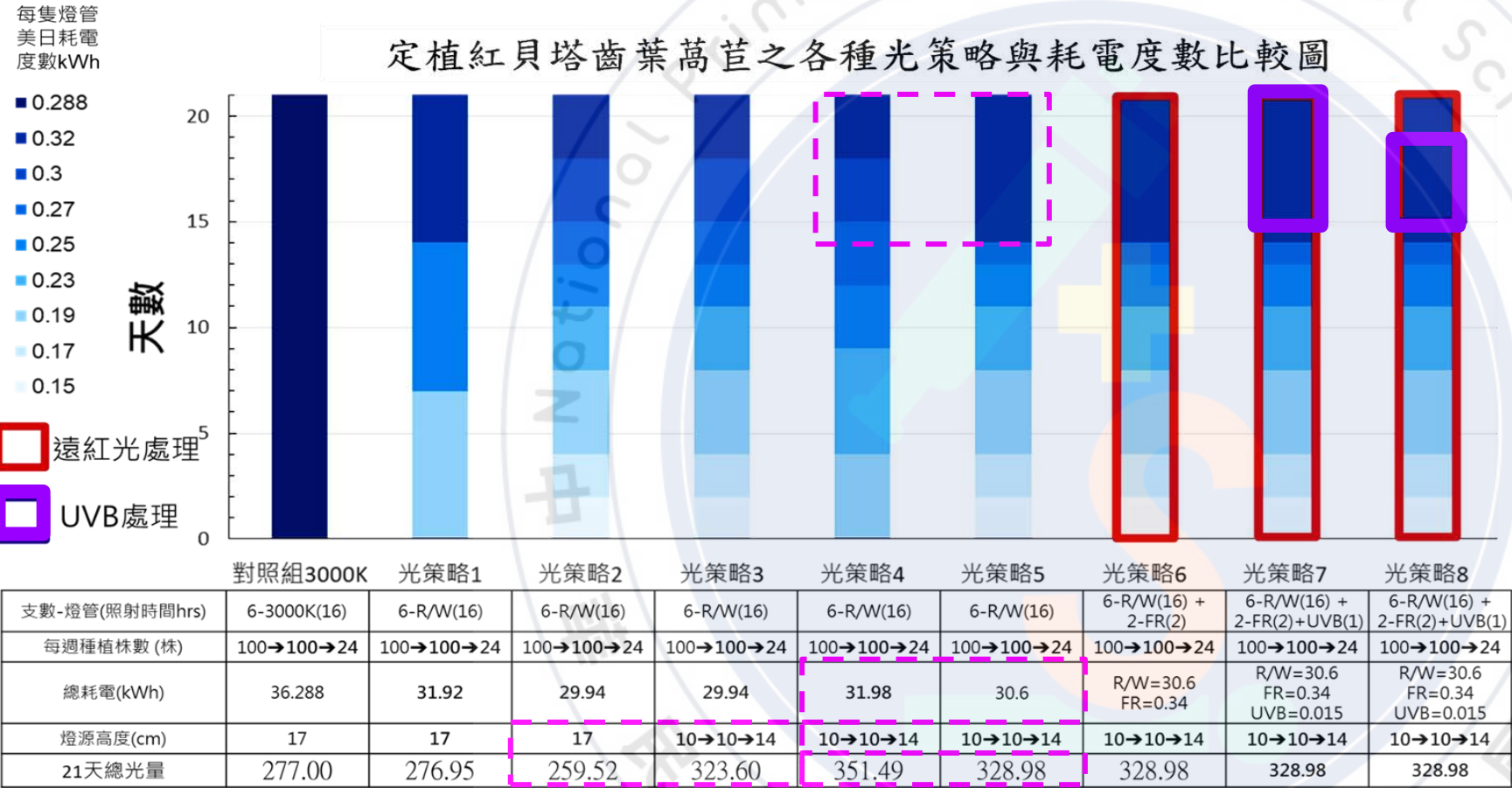


圖1 立體栽培層架



# 貳、實驗一：設計不同的給光策略，探討對紅貝塔齒葉萵苣成長及能源利用效率的影響

**圖3 定植紅貝塔齒葉萵苣之各種光策略比較圖**



**圖4 紅貝塔齒葉萵苣鮮重能耗比減少率關係長條圖**

(一)光策略6與光策略8較對照組之能耗比減少率約為36%，皆是本研究產量與能耗比最優之光策略。  
 (二)光策略8較光策略7更能有效增加產量，可知低劑量UVB有其最佳暴露時間與時長。



圖5 實驗1-7萵苣高度比較圖

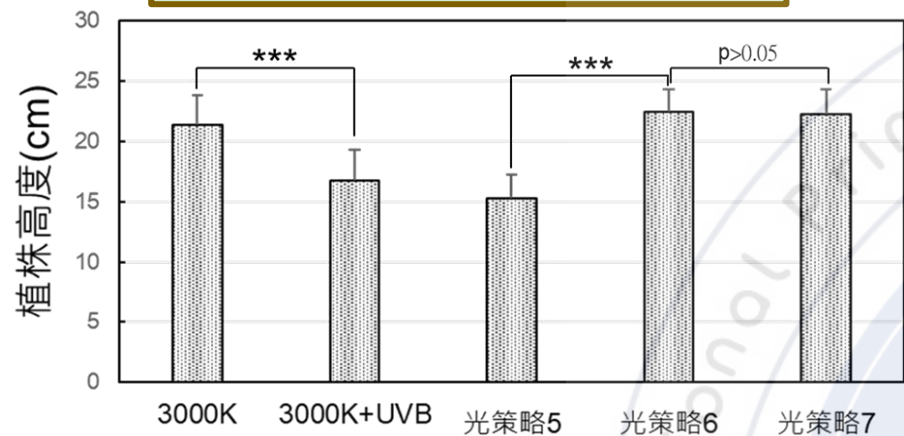


圖6 實驗1-8萵苣高度比較圖

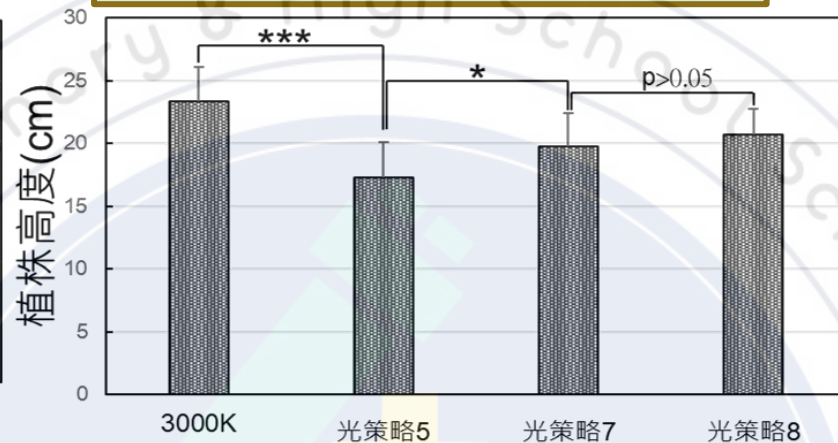


圖7 實驗1-7萵苣葉綠素總量比較圖

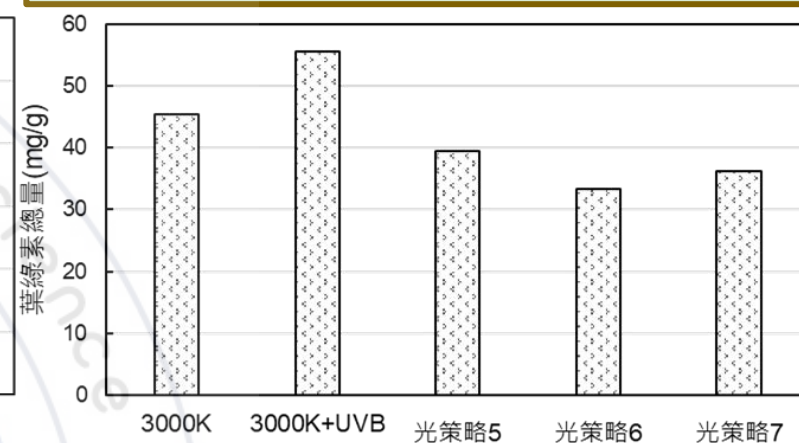


圖8 實驗1-5萵苣葉片厚度比較圖

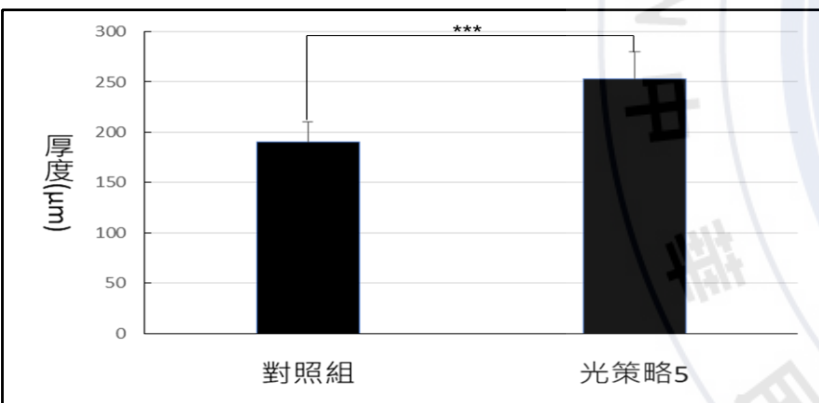


圖9 實驗1-5萵苣下表皮氣孔數目比較圖

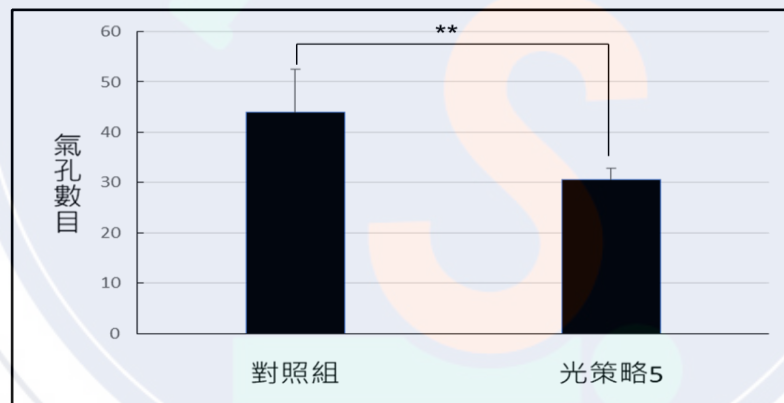
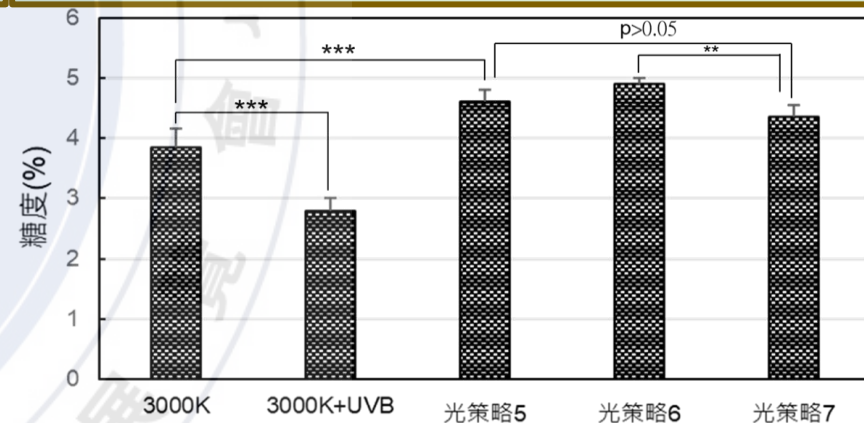


圖10 實驗1-7紅貝塔齒葉萵苣糖度比較圖



(一)已研究出紅貝塔齒葉萵苣口感爽脆或柔軟與光質之關係，以下是各種處理可歸納的特徵：

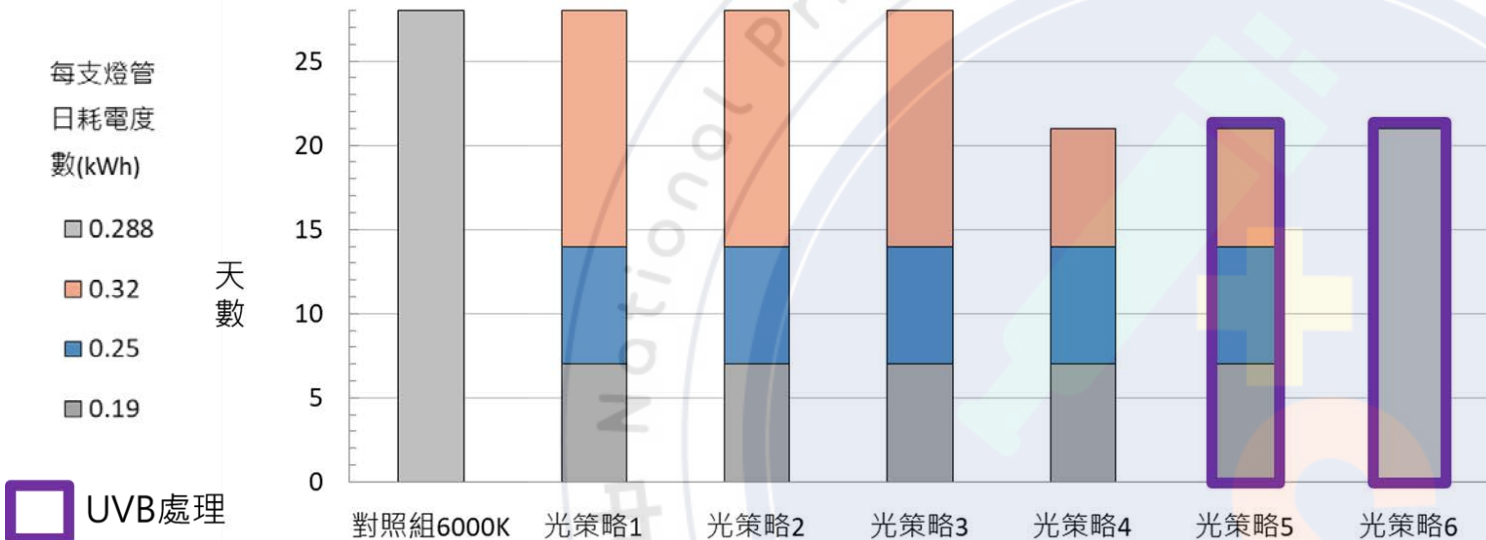
- 1.以**3000K**光源處理，其植株呈現**質地柔軟**之情況，葉片較薄。
- 2.以可調式燈管**光質紅比藍為9:1**處理，其植株呈現**質地厚實**，葉片較清脆爽口。

(二)**低劑量UVB**處理植株會造成萵苣產量下降、植株**高度降低**、葉片厚度增加、葉綠素總量上升、糖度下降、能耗比提升，但於每日23~01時處理**遠紅光**，可**逆轉**低劑量UVB對高度造成的影響。



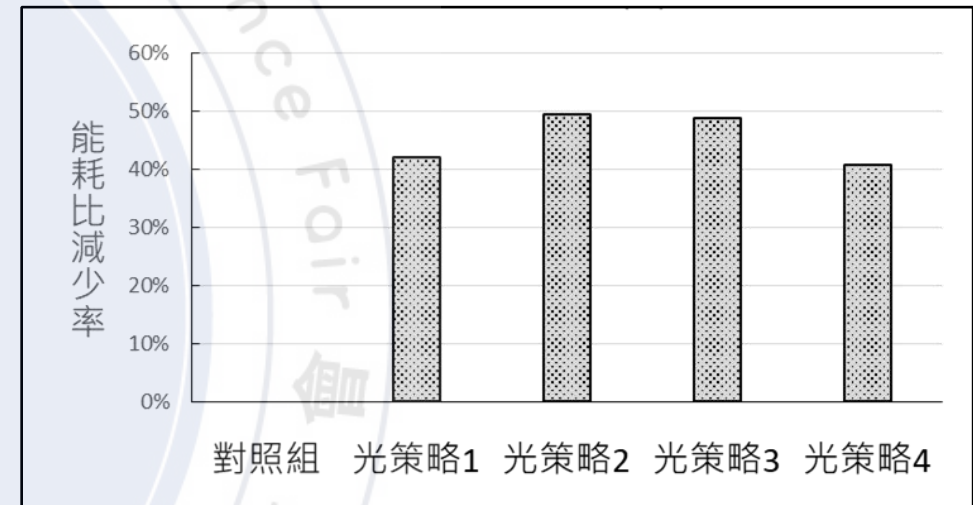
# 參、實驗二：設計不同的給光策略，探討對野生芝麻菜成長及能源利用效率的影響

圖11 定植野生芝麻菜之各種光策略比較圖



支數-燈管(照射時間hrs)	6-6000K(16)	6-R/W/B9(16)	6-R/W/B20(16)	6-R/W/B9(16)	6-R/W/B9(16)	6-R/W/B9(16) + 1-UVB(2)	6-6000K (16) + 1-UVB(2)
每週種植株數 (株)	100	100	100	100	100	100	100
總耗電(kWh)	48.384	45.36	45.36	45.36	31.92	R/W/B9=31.92 UVB=0.63	6000K=48.384 UVB=0.63
燈源高度(cm)	17	17	17	17	17	17	17

圖12 野生芝麻菜鮮重能耗比減少率關係長條圖



(一)在以產量為前提下，光策略2之能耗比減少比率為49.43%，是本研究產量與能耗比最優之光策略。

(二)野生芝麻菜幼苗時期，每日暴露2小時低劑量UVB，會使其發育不良甚至死亡，故UVB應於植株生長後期給予較合適。

圖13 實驗2-4芝麻菜葉片厚度比較圖

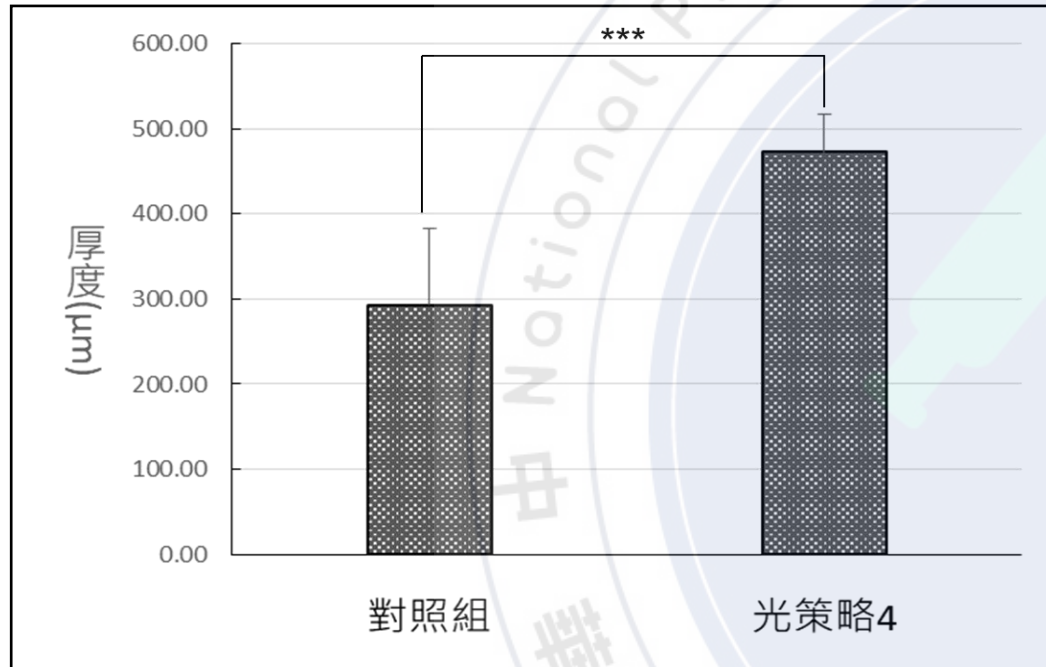
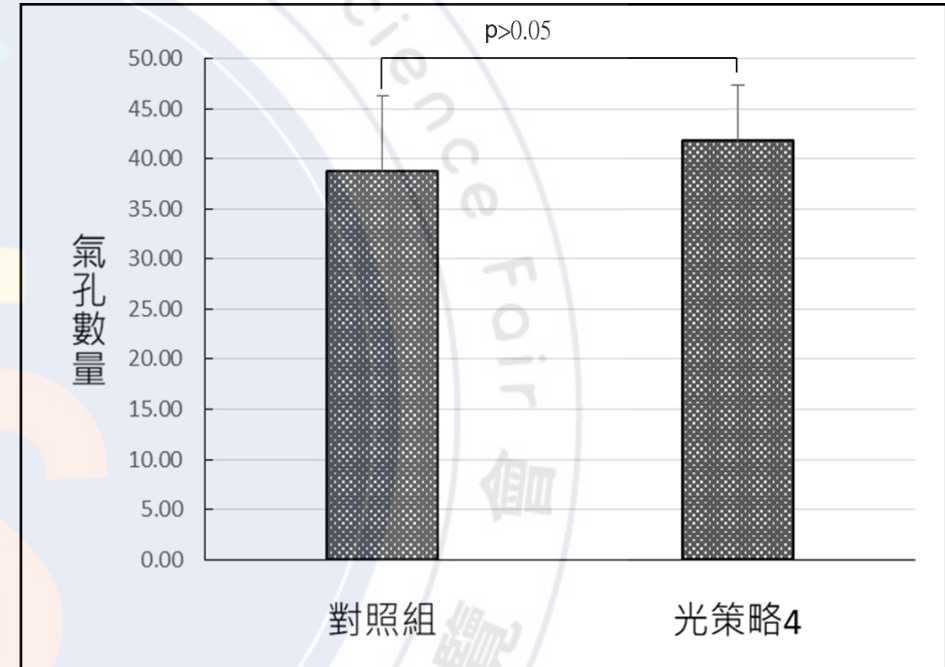


圖14 實驗2-4芝麻菜下表皮氣孔數目比較圖



野生芝麻菜在可調式燈管光質R:B=9:1、20:1、光源日韻律變化、逐週增加PPFD與DLI處理下(實驗組)，較6000K光處理(對照組)可顯著降低能耗比、增加葉片厚度。

## 肆、實驗三：不同給光策略之生菜感官品評

圖15 萵苣喜好程度雷達圖

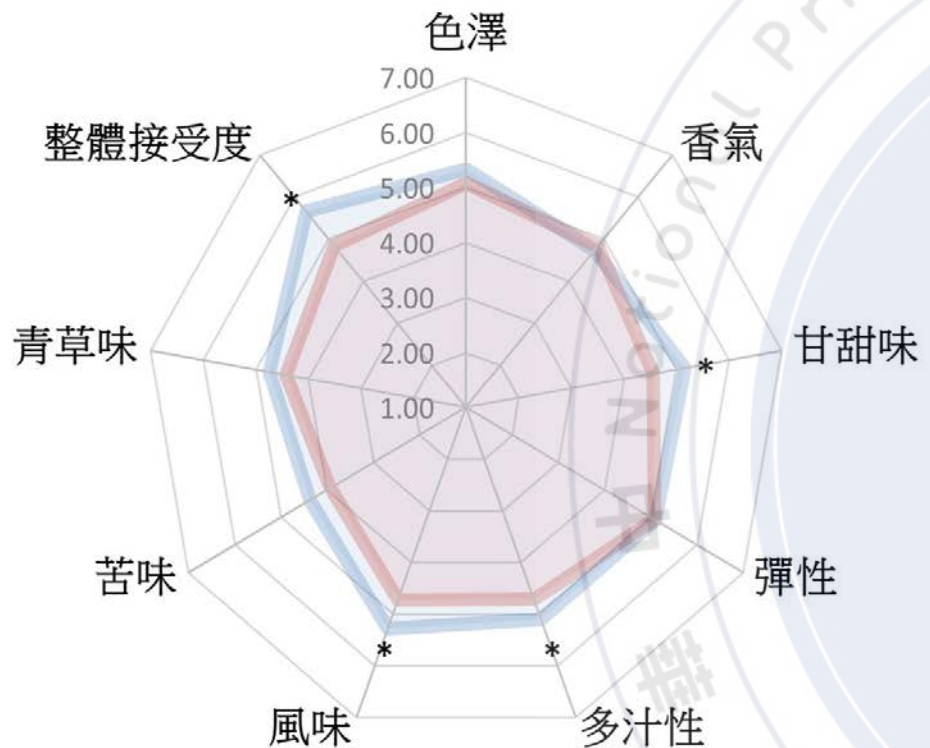
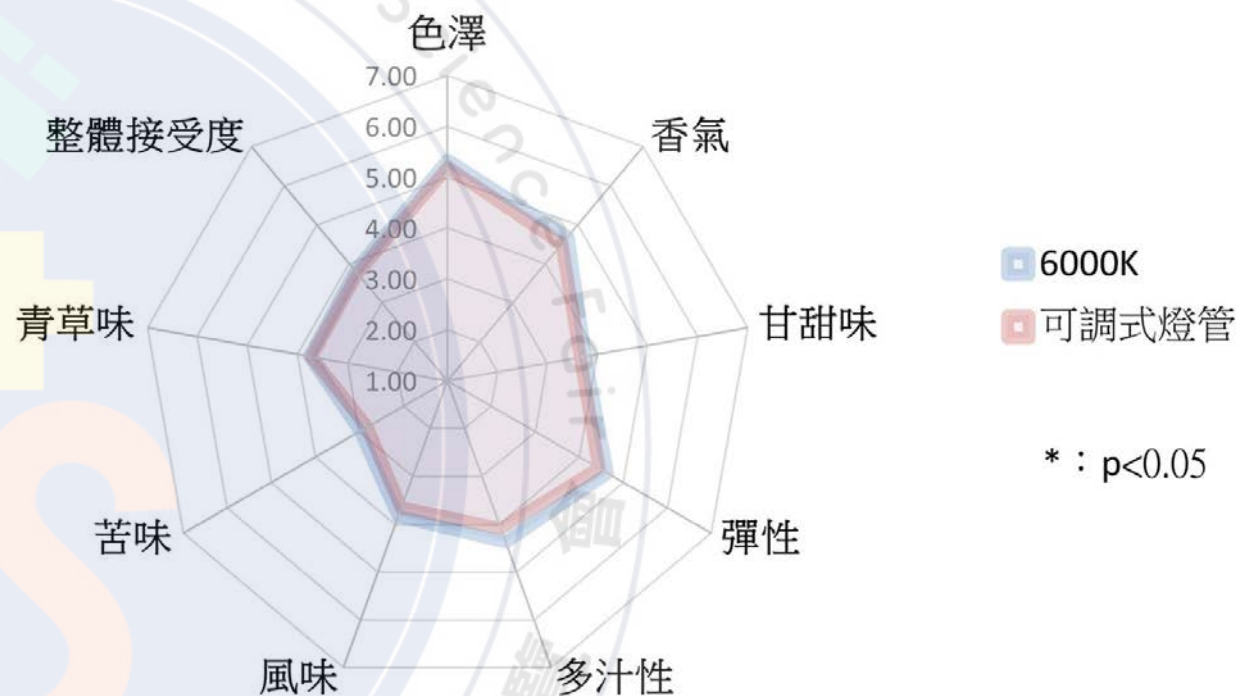


圖16 芝麻菜喜好程度雷達圖



- (一) 萵苣感官品評(左圖)在打星號的四個項度受試者對於對照組的喜好程度高於實驗組，透過此分析結果可知，如果想符合本校師生之口味，應減少PPFD與DLI，同時節省能源使用。
- (二) 野生芝麻菜的感官品評(右圖)並無顯著差異，喜好程度都較低，可持續以增加產量與減少能耗比為實驗目標。



# 伍、結論與展望

## 一、紅貝塔齒葉萵苣和野生芝麻菜生產上的最佳策略：

表1 紅貝塔齒葉萵苣和野生芝麻菜最佳策略統整表

	紅貝塔齒葉萵苣	野生芝麻菜
光質紅比藍光比值	9	9 或 20
日韻律變化時長	7 點至 23 點	7 點至 23 點
逐日提升光量	DLI 從 10 提升至 22.5 mol/m <sup>2</sup> -day	DLI 從 9.5 提升至 16.5 mol/m <sup>2</sup> -day
遠紅光處理	每日 23~01 點	無
低劑量 UVB 處理	第 15~18 天低劑量 UVB (1.98 kJ/m <sup>2</sup> , 10 <sup>-3</sup> × 3600s × 0.55 W/m <sup>2</sup> )	無

## 二、本校師生喜愛之生菜：

- (1)紅貝塔齒葉萵苣：對照組。
- (2)野生芝麻菜：對照組與實驗組喜好程度無顯著差異。
- (3)紅貝塔齒葉萵苣之實驗較完善，可建立了紅貝塔齒葉萵苣之花青素色澤、口感爽脆或柔軟與光質關係。

# 部分重要參考資料

- Kashyap Vyas(2021). 13 Vertical Farming Innovations That Could Revolutionize Agriculture.  
<https://reurl.cc/L7E4GX>
- 趙大衛、蘇懿生、劉仲康、蕭淑娟(2021)。選修生物II：生命的起源與植物體的構造與功能(全一冊)教學備課用書。翰林出版。380-384。
- 白竟楠(無日期)。《科學》刊文揭開隱花色素作用機制，科學家找到調節植物花期開關。每日頭條。  
<https://kknews.cc/zh-tw/science/6kpk55v.html>。
- 錢善勤、王忠、袁秋華、顧蘊潔(2004)。植物向光素。植物生理學通訊，40，5，2-3。
- Vanesa Eleonora Tossi, Jose Javier Regalado, Jesica Iannicelli, Leandro Ezequiel Laino, Hernan Pablo Burrieza,  
Alejandro Salvio Escandón ,Sandra Irene Pitta-Álvarez.(2019)Beyond Arabidopsis: Differential UV-B Response Mediated by UVR8 in Diverse Species.
- Jenkins G. I. (2014). The UV-B Photoreceptor UVR8: From Structure to Physiology. The Plant Cell 26:21-37.
- 陳加忠 ( 2020 )。遠紅光簡介。[http://amebse.nchu.edu.tw/new\\_page\\_985.htm](http://amebse.nchu.edu.tw/new_page_985.htm)
- 陳加忠 ( 2021 )。遠紅外光對植物影響。[http://amebse.nchu.edu.tw/new\\_page\\_361.htm](http://amebse.nchu.edu.tw/new_page_361.htm)
- Jenkins G. I.(2014). The UV-B Photoreceptor UVR8: From Structure to Physiology. 4-5.