

# 中華民國第 60 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**

052201

**網紅的秘密 - 紅網室對番茄生長的複利效應**

學校名稱：國立佳冬高級農業職業學校

作者：  職二 邱敏妍  職二 邱瀨儀  職二 李芷綺	指導老師：  林鈺澤  林文彬
---	-----------------------------

關鍵詞：紅網室、光複利效應、玉女番茄

## 摘要

本研究結果在紅色網室下栽培的番茄植株，其植株高度、莖徑、產量、總重量、缺病株及開花節位果實重量上都顯著其它組。在商品果方面挑選可上市銷售的果實約在 10~20g 為主，以紅網室取得果實總重量達 14230.4g 大於露天對照組及白網室。在感官品評中，各組口感表現上軟硬適中；以白網室果實的風味較有甜味，比較對照組甜酸味及紅網室微甜味有明顯差異。本研究發現紅網室的低透光率及藍綠紅光適當比例的光強度可能創造了光飽和點的時間差，形成光複利效應，故不需耗費多餘能量來抵抗陽光，多出的能量就能提供營養生長及生殖生長，促進植物生長的速度、延長生長期、增加植物產量、使植株與果實增大、更減少網室內病蟲害發生。

## 壹、研究動機

2018 年臺灣鮮食番茄栽培面積為 4416 公頃，集中於嘉義縣、高雄市、臺南市、雲林縣及南投縣等地(行政院農業委員會，2018)。小果番茄果粒約在 10~20 公克，形狀及色澤多樣化，品質風味特優，營養價值高，含有茄紅素、類胡蘿蔔素及各種維生素，食用方便又耐儲運(劉依昌、黃瑞彰、蔡孟旅、黃秀雯，2016)。**近年來設施小果番茄價格明顯高於露天栽培，2020 年 3 月果菜拍賣市場設施“玉女”番茄價格為 107 元/公斤(當季好蔬果，2020)。**

番茄(*Solanum lycopersicum* Mill.)為茄科陽性植物，光需求大。每日光期在 12~14 小時之間；光量以不超過光飽和點為限 (1,396~1,485  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$  或 7~7.5 萬 lux)，但不得低於光補償點 (49~54  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$  或 4,000 lux)。番茄需水量大，但需依據生長情形灌溉給水，於定植至著果期間，灌水量以不使土壤極度乾燥為宜。植株著果後適當灌水以促進果實肥大，惟須注意水分不宜過多，以免造成裂

果。乾濕變化大，容易發生裂果或果實腐爛病，特別是嫁接苗更需注意。採收時期要減少灌水量，以利果實糖份累積(劉依昌等人，2016)。

我們所栽種玉女番茄種植特點是適合秋冬種，是目前市場上常見的小果番茄品種。植株高，花穗大，產量高，播種到採收約 90 天。雖然好吃但抗病較弱，以設施栽培為主。玉女番茄外觀、食味特色上，其果形整齊，果實呈長橢圓狀，外觀為鮮紅色，種子少，皮薄，肉質細緻，汁多，味甜，甜度可達 10 度以上，取代聖女番茄在市場上的地位(農業知識入口網，2018)。

為了穩定作物之產量與品質，國內園藝作物利用設施生產的面積逐年增加。然而夏季時強日射量引起內部高溫，光線強度也不適合作物生長。為了減少陽光進入設施內部比例，用以紓解熱累積，並能維持作物之需求光量，遮陰網因而被普遍採用。許多作物對於陽光十分敏感，光量過強造成葉片日燒等生理障礙，在光量不足時，作物莖葉徒長，花芽發育不良，著果率減低，而品質低劣。因此為了維持作物良好的生長環境，光量必須維持在適當範圍(陳加忠、許欣正、洪正城，2010)。

另外植物生長和發育會因網色而異，Oren-Shamir 等人提出其中紅網促進莖伸長，藍網縮短莖長。除了光質和光量的作用外，網子的使用還可以防止害蟲進入網室內危害作物，這可能有助於減少農用化學品的使用及農藥的費用(Oren-Shamir et al, 2001)。

二年級蔬菜課學習種植玉女番茄，花卉課本之作物生理作用有提到番茄屬於 C3 型植物，一般陽性 C3 型植物之光飽和點約在全光度的 1/2~1/4 之間；C4 型植物則幾可至全光度(廖麗雅，2012)。如圖 1 所示 C3 型植物的光飽和點在全光度的 1/4 時，其光合作用光譜範圍約在光強度 25% 左右，意即在全光度的 1/4 時已可供植物行光合作用。。

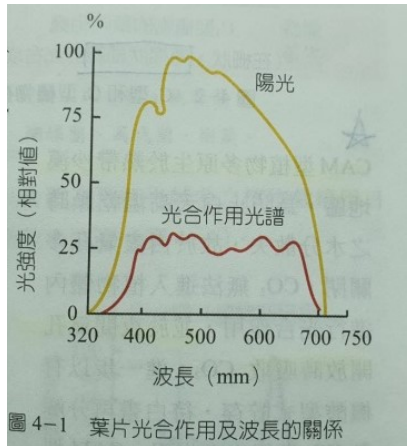


圖 1.葉片光合作用及波長關係圖 (廖麗雅，2012)

因此，老師在課堂講解後，帶領我們去瞭解學校一座特別的紅色網室，紅色網室內栽培著香莢蘭植物，而我們最好奇的是紅色網室內的香莢蘭居然比平常所看到的蘭科植物來的健康與粗壯。

因此我們突發奇想假如我們運用紅色網室來種植茄果類(番茄)會不會也是一樣的結果，其番茄產量是否會增加呢?紅色網室與白色網室栽培番茄會有差異嗎?這個問題讓我們感到無比好奇，因此上網搜尋相關訊息，發現無任何農家或研究單位採用紅色網室種植番茄，因此我們決定試驗探討此紅網室栽培番茄可能帶來何種效應。

## 貳、研究目的

- 一、不同顏色網室對番茄之株高、莖徑、產量、可溶性固形物、感官品評的影響。
- 二、不同顏色網室栽培番茄之光度、光譜的分析。
- 三、紅網室及白網室之栽培差異。

## 參、研究設備及器材

### 一、研究器材



			
32 目紅網室	白網室	露天網室	量尺
			
電子溫度計	電子秤	電子尺	糖度計
			
光度計	剪鋏夾	量杯	20 公升水桶
			
手機	光譜儀		

圖 2. 研究器材

### 二、研究材料

		
嫁接玉女番茄苗	葉綠精	禾昌旺(立肥)

圖 3. 研究材料

## 肆、研究過程與方法

### 一、研究流程圖

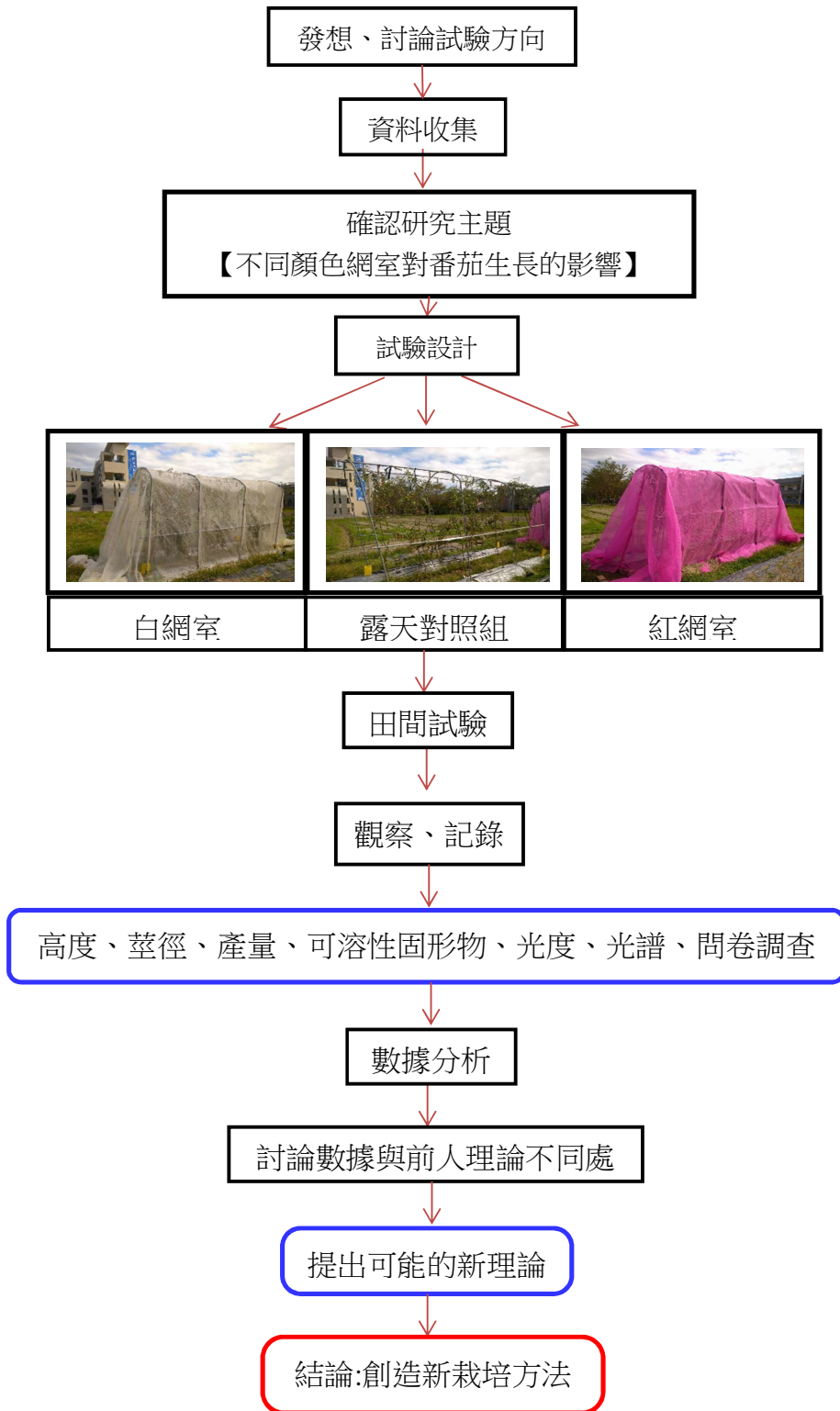


圖 4. 研究流程圖

## 二、試驗設計

### (一)實驗區設置

本實驗區設置 3 個同為長 400 cm×寬 150 cm×高 230cm 栽種區，分別搭建白網室(White nets)、紅網室(Red nets)作為實驗組，及設置一無網室的露天栽培對照組(CK)。

### (二) 不同顏色網室對作物生長之比較

本實驗採用玉女番茄為實驗材料，分別比較白網室、紅網室及露天栽培對番茄生長的高度、莖寬表現及總產量、果重、果實糖度、口感及風味。

### (三)不同顏色網室光強度及光譜的表現

本實驗分別比較白網室、紅網室及露天栽培於番茄生長過程中之光強度、光譜的差異。

## 三、實驗過程

### (一)番茄種植棵數

於 108 年 10 月 5 日定植於田間栽培試驗，白網室、紅網室及露天栽培組每組各種植 15 株，行株距 100cm×50cm，作 2 行畦，畦寬 55cm、畦長 400cm，各組於 2 畦中間處放置 5 株 3.5 吋盆苗備用 (做為補植材料)。

### (二)高度測量

使用捲尺作為測量工具，從莖的第一節量到頂芽，於 108 年 10 月 23 日起至 109 年 2 月 12 日止，每 3 天測量一次單位。

### (三)莖徑及葉片數測量

用膠帶黏在固定一節，使用電子尺作為測量工具，於 108 年 10 月 23 日起至 109 年 2 月 12 日止，每 3 天測量一次。葉片數從 108 年 10 月 23 日起至 109 年 1 月 1 日止，共調查 17 次。

### (四)澆水

每組每次澆水使用管徑相同之水管並定時 3 分鐘於栽種區澆水。栽種初期:每天早上 9:00 澆水 (10/5-11/27)。栽種後期:每 7 天澆一次水 (11/27-2/12)。

#### (五)施肥

- 1.自 108 年 10 月 23 日起至 11 月 30 日每星期三及星期六，使用葉綠精 (5-10-15-2)，稀釋 500 倍，每株灌注 250cc。
- 2.自 108 年 10 月 23 日起至 11 月 30 日每月一次，使用禾昌旺粒肥(4.5-2.5-2)，各組各施 165g 當追肥用。

#### (六)產量及果實可溶性固形物的測量

- 1.自 109 年 1 月 15 日起開始採收至 109 年 2 月 12 日結束，將各組所採收之果實進行總產量、果徑之測量及果重在節位的表現。
- 2.將採收測量完畢後之果實，分送 40 位不同族群進行番茄口感及風味表現之問卷調查

#### (七)光度測量

自 108 年 12 月 11 日起至 109 年 2 月 12 日，於實驗組及對照組的中間 (有照到陽光處)，每一週於中午 12:00 測量一次，總共測量 10 次。

#### (八)光譜測量

以光譜儀(DISPLAY PLATFORM (LM801) 測定光譜 340~850nm 之光譜及網室透光率。

#### (九)土壤溫度測量

自 108 年 10 月 23 日至 108 年 12 月 11 日，以電子溫度計(HE603)測量每個禮拜三測一次，早上中午 12:00 分，每次測 20 分鐘。

### 四、統計分析

採用電腦統計分析軟體 sigmaplot 進行資料分析，分別計算平均數、標準差及變異數分析(ANOVA)，若各組之間沒有明顯差異，則進一步以 LSD 最小顯著差異來分析各實驗組平均值間是否有顯著差異存在( $P < 0.05$ )。



## 伍、研究結果

### 一、不同顏色網室栽培對番茄生長在株高表現之影響

本實驗記錄各組在定植後第 20 天至第 130 天栽培期內的平均株高。如圖 5 所示，在第 130 天栽培日的平均株高生長表現分別為：紅網室(Red net)為  $374.09 \pm 6.20\text{cm}$ 、白網室(White net) $293.21 \pm 8.69\text{cm}$ 、露天對照組(CK) $280.7 \pm 7\text{cm}$ ，紅網室株高明顯高於其他兩組。且在所記錄之 130 天栽培期間內株高生長表現以紅網室最高，其次為白網室，最低者為露天栽培者。

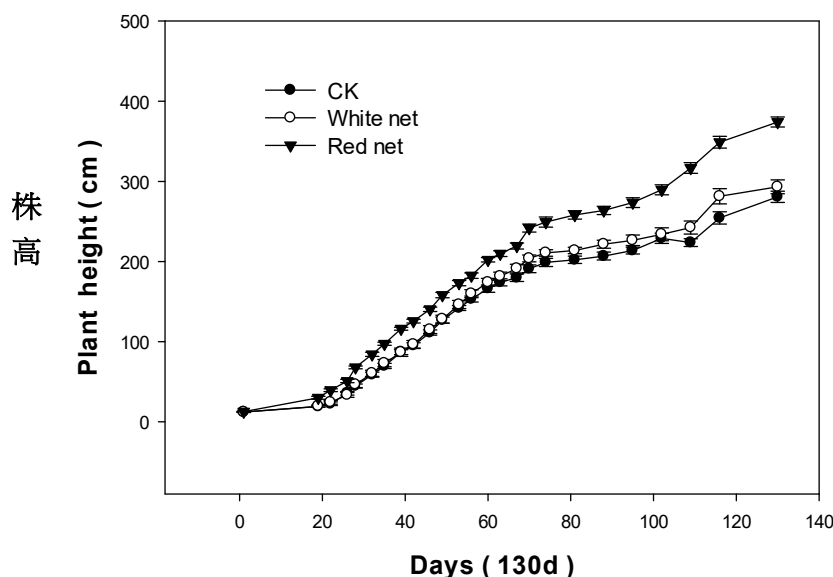


圖 5.不同顏色網室栽培對番茄株高表現之影響

### 二、不同顏色網室栽培對番茄生長期莖徑及葉片數量表現之影響

栽培期間之植株平均莖徑乃採用各組之番茄植株經標記定位測量點後，於定植後第 20 天開始做觀察記錄，結果如圖 6 所示。在第 116 天栽培日時，三組平均單幹莖徑為：紅網室  $18.75 \pm 0.35\text{mm}$ 、白網室  $17.70 \pm 0.45\text{mm}$ 、露天栽培對照組  $17.40 \pm 0.35\text{mm}$ 。在紅網室內栽種的番茄植株之平均莖徑測量數值高於其他兩組。葉片數量上的比較，從 108 年 11 月 20 日起至 109 年 1 月

1 日止，紅網室與白網室顯著於露天對照組，有更多的葉片數量，增加其光合作用效率，由於本實驗觀察到最後，實際上紅網室內的植株，仍在增加葉片數及株高的生長，而露天對照組及白網室的植株已經接近生長結束，產生萎凋現象。

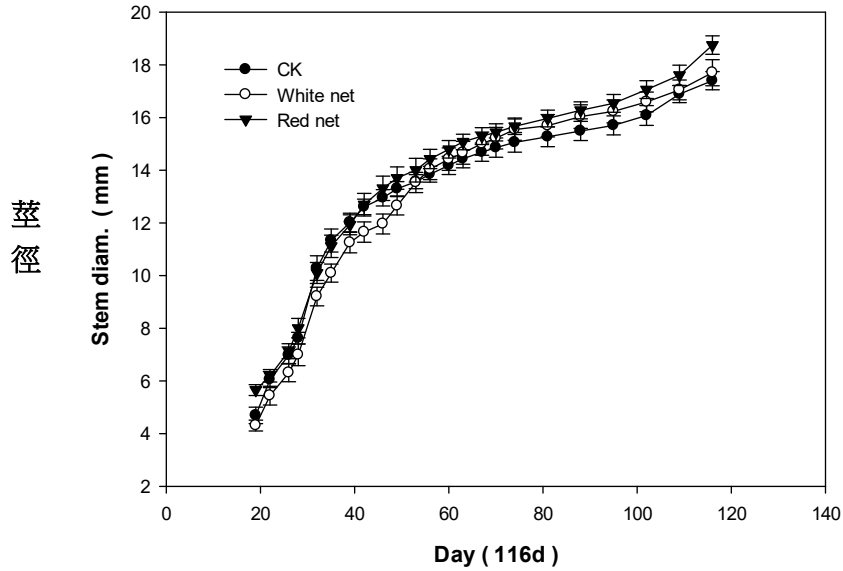


圖 6.不同顏色網室栽培對番茄莖徑表現之影響

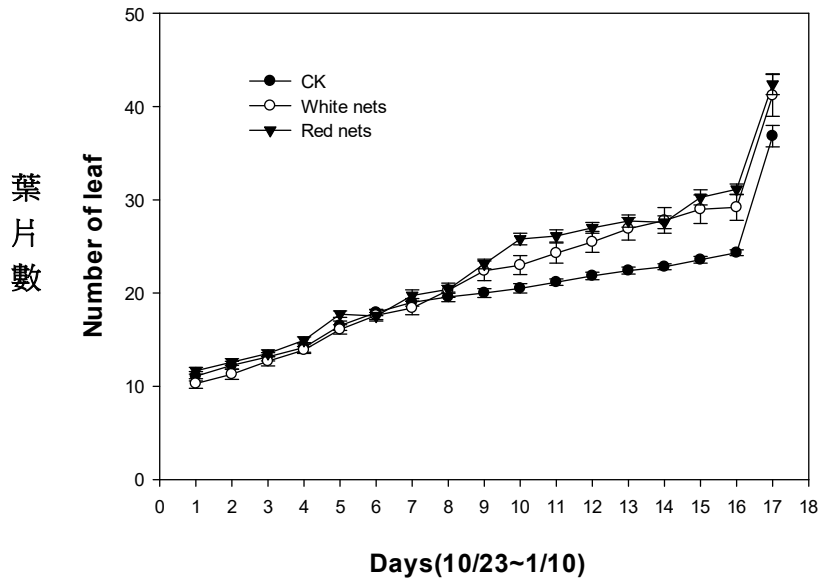


圖 7.不同顏色網室栽培對番茄葉片數量表現

### 三、不同顏色網室栽培對番茄果實總產量、總重量、商品果、果徑表現之影響

如表 1 所示，各組中紅網室在果實總產量(果實粒數)、總重量(果實秤重量)較其他兩組多且重。

在栽培期間缺病株方面，紅網室栽培的番茄植株無任何病蟲害發生，白網室有得病株 3 株及病死 2 株合計 5 株缺病株；露天對照組得病株 3 株。

根據實驗結果各組單株產量最高分別為：對照組編號 8 為 1241.9g、白網室編號 8 為 1028.8g、紅網室編號 1 為 1433.2g。而在商品果表現方面為挑選可上市銷售的果實商品，其挑選條件為果實重量落在 10~20g 且排除畸形果之番茄果實，紅網室取得商品果之果實總重量達 14230.4g，明顯大於露天對照組及白網室(見表 1)。對農民而言，商品果重量是經濟收益上重要的因素，能取得較多的商品果，具有較大的經濟收益。

果徑測量則分為果實之果長與果寬。果長表現以紅網室之果實最長；果寬表現則以露天對照組果實較寬(表 1)。綜合而言，紅網室之番茄果實較長而飽滿，露天栽培之番茄果實較短而飽滿，白網室之番茄果實相對較小(圖 8)。

表 1. 不同顏色網室對番茄果實總產量、總重量、商品果、果徑的影響

網室	總產量 (顆)	總重量 (g)	缺病株 n=15	商品果 (10~20g)	果徑(mm)	
					果長	果寬
<b>CK</b>	1372	15428.4	3	10171.7	30.19±0.12 <sup>y</sup> <b>b</b> <sup>x</sup>	22.87±0.07 <b>a</b>
<b>White nets</b>	1297	11487.5	5	5995.9	30.39±0.12 <b>b</b>	20.46±0.09 <b>c</b>
<b>Red nets</b>	1761	19219.8	0	14230.4	32.10±0.15 <b>a</b>	21.85±0.08 <b>b</b>

x 英文字母相同者表示 LSD 測驗在 5%水準差異不顯著

y Mean±SE 為平均值±平均值標準誤差



圖 8. 鮮採商品果玉女番茄

#### 四、不同顏色網室栽培對不同結果節位及其果實重量影響

在測量果重時，有依不同節間生長出的果實果重做分組測量，比較三組是否有差異；如圖 9 所示，大致而言紅網室在不同節間所長出之果實總重量多於其他兩組。

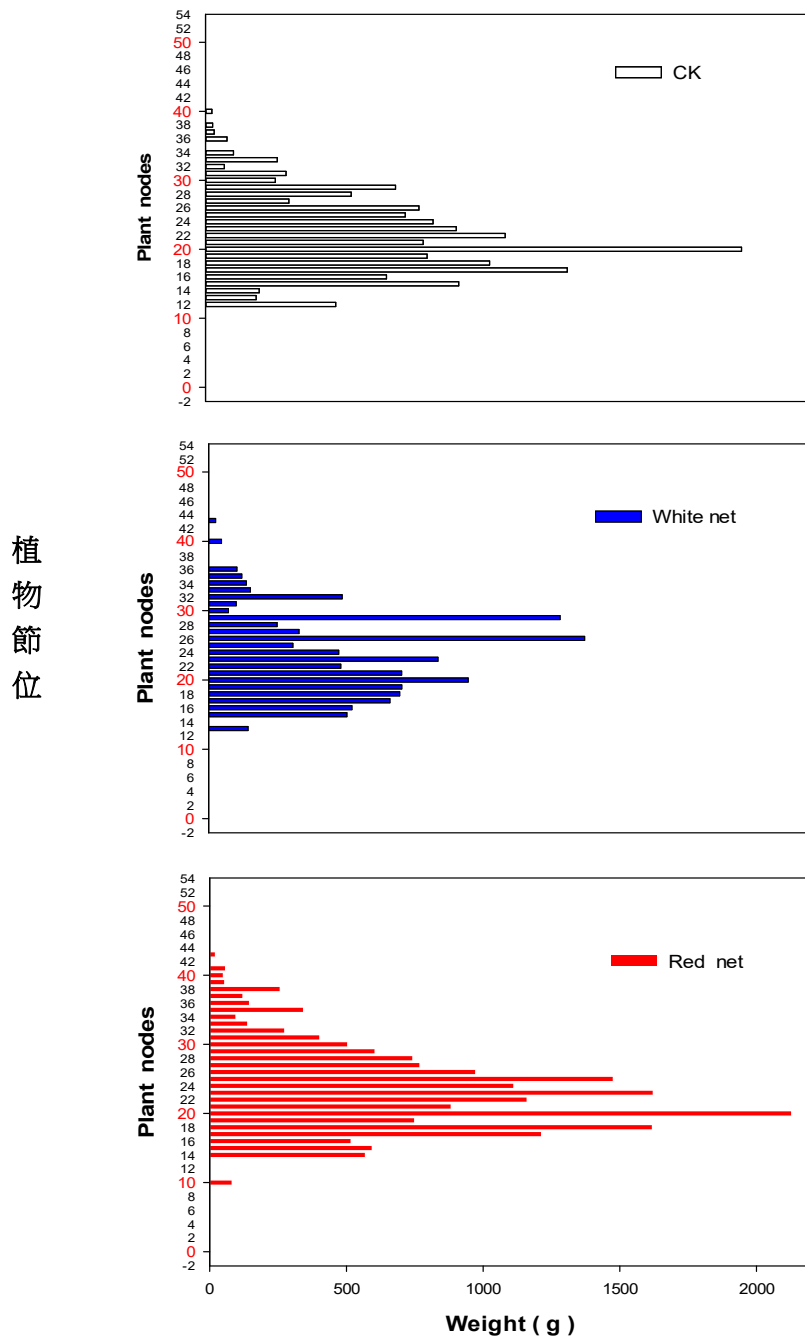


圖 9.不同顏色網室栽培對番茄開花節位及果實重量影響

## 五、果實可溶性固形物之比較

果實的可溶性固形物呈現的是糖度上的差異。白網室之果實測得數據為  $9.68 \pm 0.39$  Brix，露天對照組為  $8.56 \pm 0.35$  Brix，紅網室為  $8.56 \pm 0.44$  Brix，白網室之果實可溶性固形物比較其它處理組有顯著差異(圖 10)。

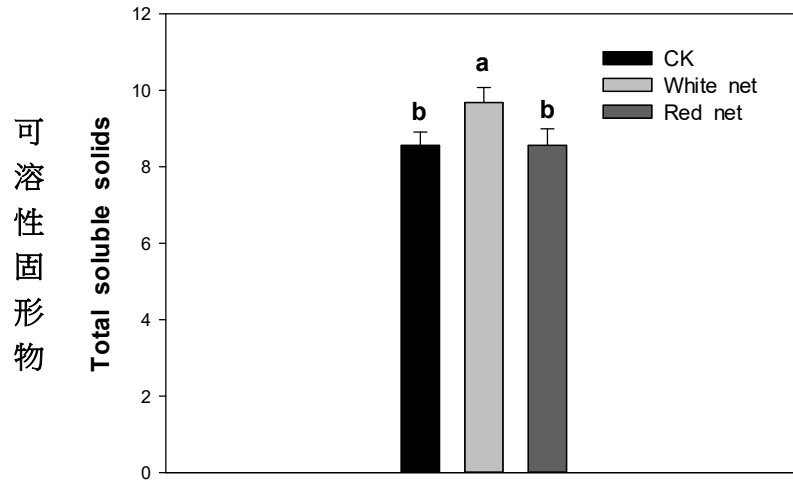


圖 10.不同顏色網室果實可溶性固形物的比較  
(英文字母相同者表示 LSD 測驗在 5%水準差異不顯著)

## 六、感官品評之果實口感比較

各組間在感官品評問卷中，針對軟、脆、硬三種口感表現上無明顯差異，軟硬適中(圖 11)。

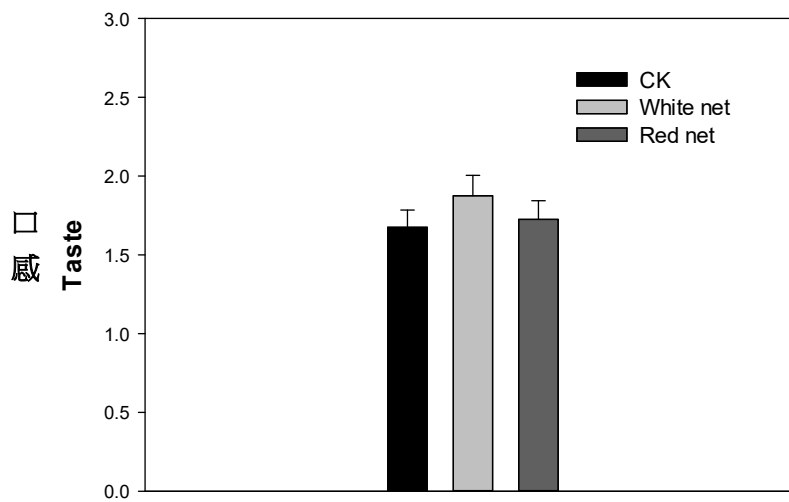


圖 11.不同顏色網室對果實口感的影響(1=軟、2=脆、3=硬)

## 七、感官品評之果實風味比較

在感官品評問卷中，針對酸、甜風味分成 6 個等級，1=甜、2=微甜、3=不甜、4=酸甜、5=微酸、6=酸，數值越低越甜，數值越高越酸。調查結果以白網室果實的風味  $1.83\pm 0.23$  最佳，其次為紅網室  $2.6\pm 0.26$ ，最酸者為對照組  $4.03\pm 0.22$  (圖 12)。

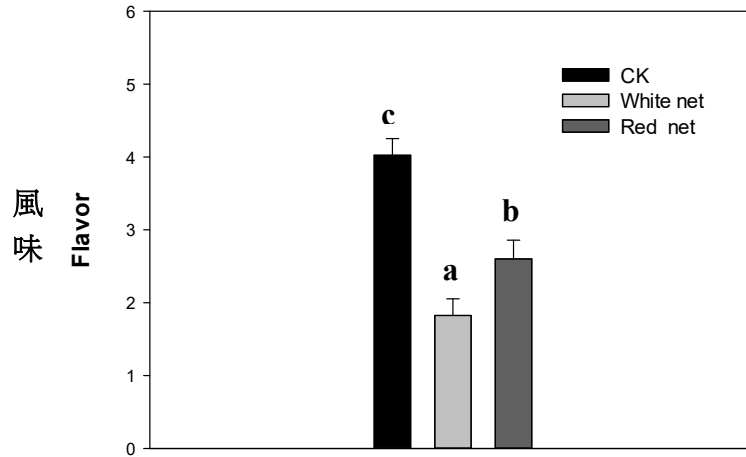


圖 12.不同顏色網室對果實風味的影響

## 八、不同顏色網室光度比較

自 108 年 12 月 11 日起至 109 年 2 月 12 日止，共 10 週於中午 12:00 分測量。經光度計測量，露天對照組光度平均值為  $114,400\pm 30.60$  lux、白網室平均值  $92,400\pm 24.37$  lux，紅網室平均值  $76,700\pm 14.27$  lux，三組有光度上的差異，如圖 13 所示。劉依昌等人(2016)提出光量以不超過光飽和點為限 7~7.5 萬 lux(紅色虛線)。

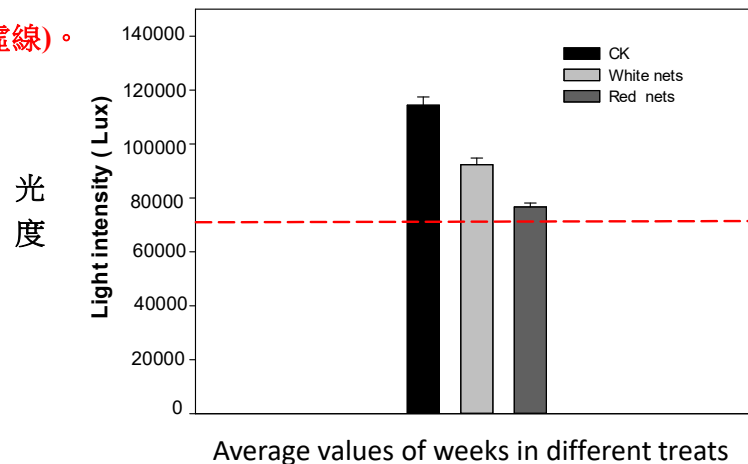


圖 13.不同顏色網室光度比較

## 九、不同顏色網室光譜及透光率之分析比較

圖 14、15 為 109 年 2 月 27 日在正中午陰天 12：30 所測量露天光譜 340~850nm 不同波長光譜分布及網室透光率，400~500nm 波長為藍光範圍，600~700nm 波長為紅光範圍，**最重要是紅光及藍光這兩段波長，對植物光合作用的影響相當重要**，當日為陰天全光度下所測得光量子通量密度(PPFD)為 500.967  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ (圖 14、表 2)；光度在 21,781 lux。我們再比較紅網室及白網室間透光率及光度差異，紅網室在 400~500nm 波長透光率測得約在 35.85%，白網室為 43.85%；紅網室在 600~700nm 波長透光率測得約在 42.24%，白網室為 46.19%，紅網室內測得光度為 11,675 lux，白網室測得光度為 13,513 lux。**兩段藍、紅波長皆是以紅網室測得透光率及光度較低**，各段波長測得之透光率整理如圖 15 及表 3。

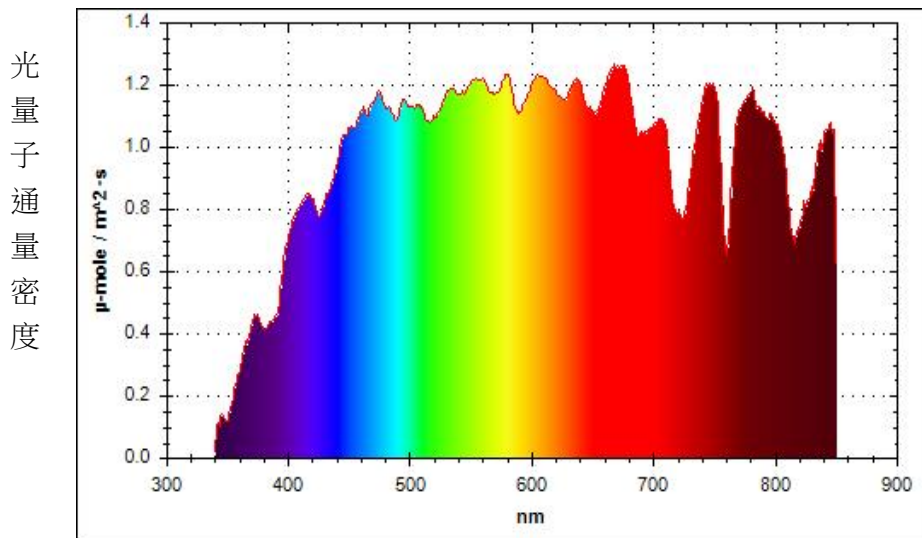


圖 14. 中午 12：30 分露天光譜 340~850nm、PPFD：500.967、光度 21,781 lux(陰天狀況下)

表 2.光量子通量密度對照表

Wavelength(nm)	Intensity( $\mu\text{-mole} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$ )
400~500(藍光)	0.703054786 ~ 1.125888109
600~700(紅光)	1.199027777 ~ 1.065035343



網室透光率

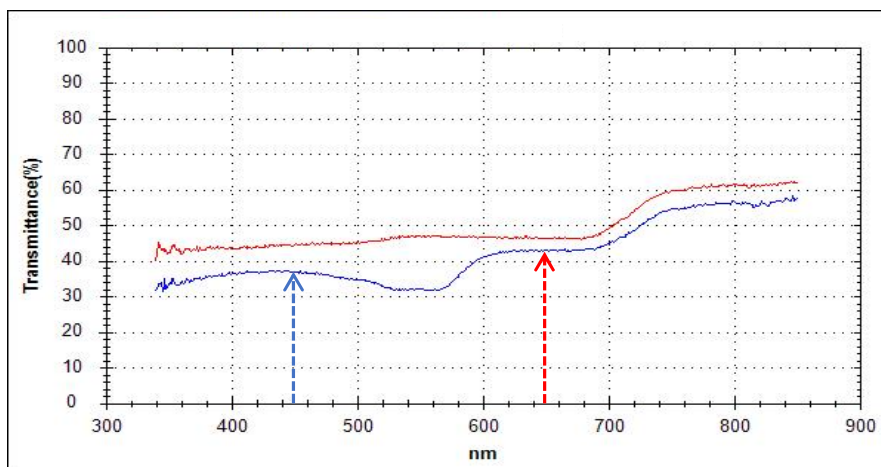


圖 15. 紅網室(藍色線)及白網室(紅色線)透光率

表 3. 紅網室及白網室在不同光譜下測得之透光率

光譜範圍	白網	紅網室
W01 (340-850)	48.91%	41.58%
W02 (400-700)	45.30%	37.17%
<b>W03 (400-500)</b>	<b>43.84%</b>	<b>35.85%</b>
W04 (500-600)	45.86%	33.43%
<b>W05 (600-700)</b>	<b>46.19%</b>	<b>42.24%</b>
W06 (700-850)	58.54%	53.36%
W07 (340-400)	42.79%	34.11%
W08 (700-760)	55.33%	50.08%
W09 (340-380)	42.63%	33.56%
W10 (760-850)	60.71%	55.57%

## 陸、討論

本研究根據以上試驗結果及數據分析，發現幾個很奇特的現象，我們討論並提出以下幾個問題：

### 一、紅色網室低光度下為何能促進植株生長產量提高：

根據我們實驗結果在紅網室雖然測得光度較低(見圖 13)，但所栽培的番茄植株，其植株高度(圖 5)、莖徑(圖 6)、產量、總重量、缺病株(表 1)及開花節位果實總重量上(圖 9)都優於其它兩組。

可能原因：

- (一) **紅色網室能有效驅離昆蟲**，減少昆蟲干擾及蟲體身上可能所帶來的病害菌種，減少植株病害發生。**Thwe, A.A.等人(2020)報告指出紅網室也具有降低病蟲害的發生率。因此，上述研究與本試驗調查的缺病株(紅網室 0 株、白網室 5 株、露天對照組 3 株)有相似的結果。**
- (二) **紅色網室的低光度可能與番茄葉片光合作用及生長有很大相關性。根據 Thwe, A.A.等人(2020)報告指出紅網室具有低藍光及紅光的比例 (BLUE/RED ratio (400~500nm/600~700nm))，從第 8~12 週的調查結果，紅色網室對番茄的外觀型態上有很大的影響及改變，例如葉片的葉面積增加、葉片厚度較薄、植株高度較高、增加果實的重量及果實長度較長並提高總產量。因此，上述研究與本試驗調查的植株高度(紅網室 374 cm>白網室 293.2 cm >露天對照組 280.7 cm)、莖徑(紅網室 18.75+0.35mm、白網室 17.70+0.45mm、露天栽培對照組 17.40+0.35mm)、總產量(紅網室 1,761 顆、白網室 1,297 顆、露天對照組 1,372 顆)、總重量(紅網室 19,219.8 g、白網室 11,487.5 g、露天對照組 15,428.4 g)、總葉片數(紅網室 636 片、白網室 412 片、露天對照**

組 442 片)及**開花節位果實總重量**(紅網室 10~43 節、白網室 13~43 節、露天對照組 12~40 節)**上相呼應**。

## 二、為何網室的**低光度與植物光合作用有很大的相關性**?

可能原因：

- (一) 一般光合速率與光照強度成正比關係，若光度增高無法再增加光合速率，則此時的光強度便是此植物的光飽和點。光飽和點隨植物種類不同而異。**一般陽性 C3 型植物之光飽和點約在全光度的 1/2~1/4 之間**；C4 型植物則幾可至全光度。番茄屬於 C3 型植物；以光質來說，則藍、紫、橙、紅光對光合速率較有影響(宋芬玫、謝素芬，2014)。
- (二) **如果將陽性植物栽種在光照不足的環境中，則會發生莖葉黃化或纖弱徒長現象(曹幸之、羅筱鳳，2014)**，但在本次實驗中，未見紅網室栽培之番茄有此現象，故推測紅網室之番茄無光照不足現象(圖 5、圖 6、圖 9)。
- (三) 劉依昌等人(2016)提出番茄是陽性植物，光需求大；**每日光期在 12~14 小時之間，光量以不超過光飽和點為限(1396~1485  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$  或 7~7.5 萬 lux)**，但不得低於**光補償點(49~54  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$  或 4000lux)**。根據本實驗研究結果紅網室透光率均低於白網室，再分析圖 13 中午 12:00 分所測得的光度，露天對照組光度平均值為 **114,400±30.60 Lux**、白網室平均值 **92,400±24.37 Lux**，紅網室平均值 **76,700±14.27 Lux**，露天對照組及白網室都超過光飽和點(圖 13)。**因此採用紅網室的低光度可以確保提供足夠光源給植物葉片行光合作用，並阻擋過多太陽光進入網室，使葉片能輕鬆進行光合作用不抵抗陽光耗損自身能量。**
- (四) 在 **Thwe, A.A.等人(2020)報告中觀察到紅網室的低 B/R 比率有助於增加植物的生長，葉面積可增加約 34%**，因葉面積增加可提高光合作用，

產生更多的碳水化合物。在本試驗中，紅網室的 B/R 比率都較白網室為低，呼應 Thwe, A.A.等人(2020)研究結果，如表 4 所示。

表 4. 紅網室、白網室、露天對照組的 B/R 比率

B/R 比率 (400~500nm/600~700nm)	
露天對照組	65.17%
白網室	57.73%
紅網室	49.89%

### 三、哪一種顏色網室透光率及光譜比例是適合玉女番茄栽培生長？

圖 16 左顯示葉片光合作用之光強度及波長的關係，從圖 16 左來看，露天陽光下光強度(相對值)為 100%，根據花卉課本廖麗雅(2012)提出一般陽性 C3 型植物之光飽和點約在全光度的 1/2~1/4 之間，因此葉片吸收光合作用光譜比例在光強度(相對值)25~30%之間。再根據吳炎東(2016)指出植物使用光譜頻率範圍，藍光區 400~500nm、綠光區 500~600nm、紅光區 600~700nm，以上三個藍綠紅光區佔太陽光譜的比率，大約是藍+綠+紅=20% + 30% + 50% = 100%；而植物對陽光需求的藍+綠+紅光比例為 6% + 3~4% + 20% = 30%光強度，符合圖 16 左全日照下光強度 30%左右即是光合作用光譜比例。我們將此適合植物光合作用光譜比例 30%作為標準範圍並套用在圖 16 右網室透光率比例 30% (圖 16 右所標示紅虛線)。適當低透光率及光量比例，如紅網室可以調整藍綠紅光比例在 30%以上適當的光量比例，就能提高玉女番茄生長量及產能增加。白網室雖有低透光率及果實可溶性固形物(圖 10)及風味上較紅網室微甜外(圖 12)，但在植株高度(圖

5)、莖徑(圖 6)、產量、總重量、缺病株(表 1)及開花節位果實總重量上(圖 9)都低於紅網室。

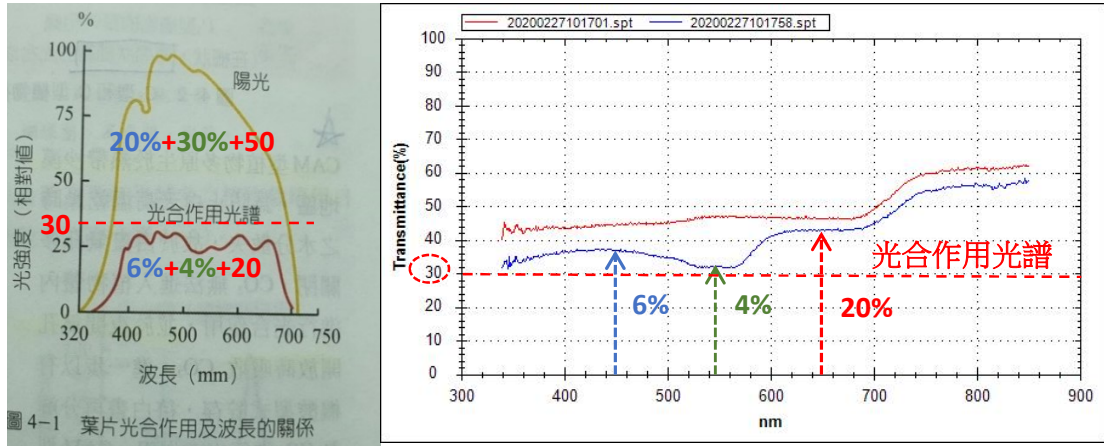


圖16.光合作用光譜及光強度比例(左) (廖麗雅，2012) 比較紅網室與白網室之透光率(右)

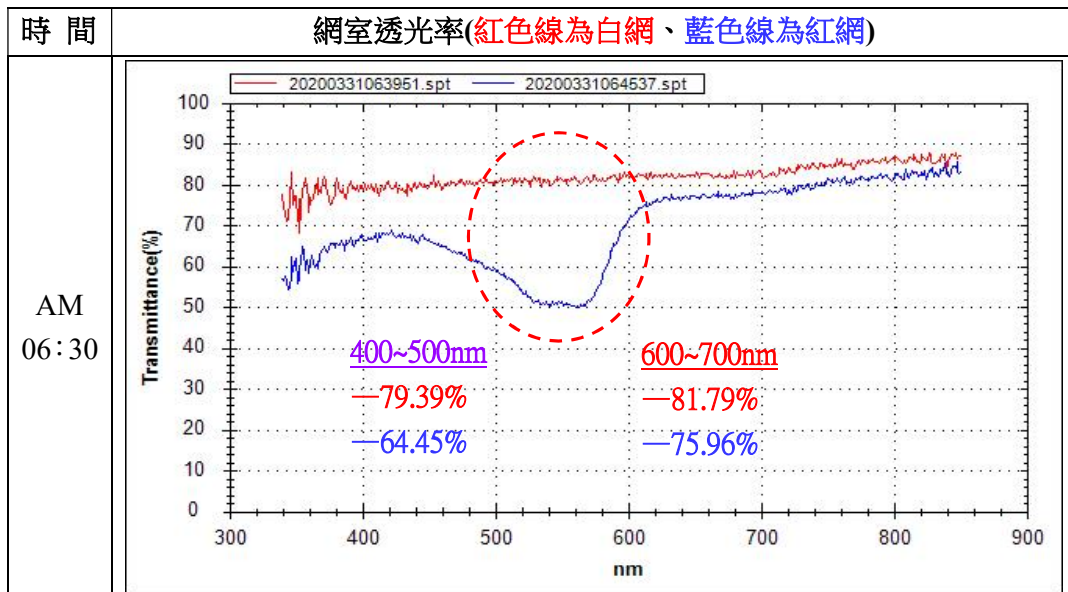
#### 四、白網室與紅網室的關鍵差異：

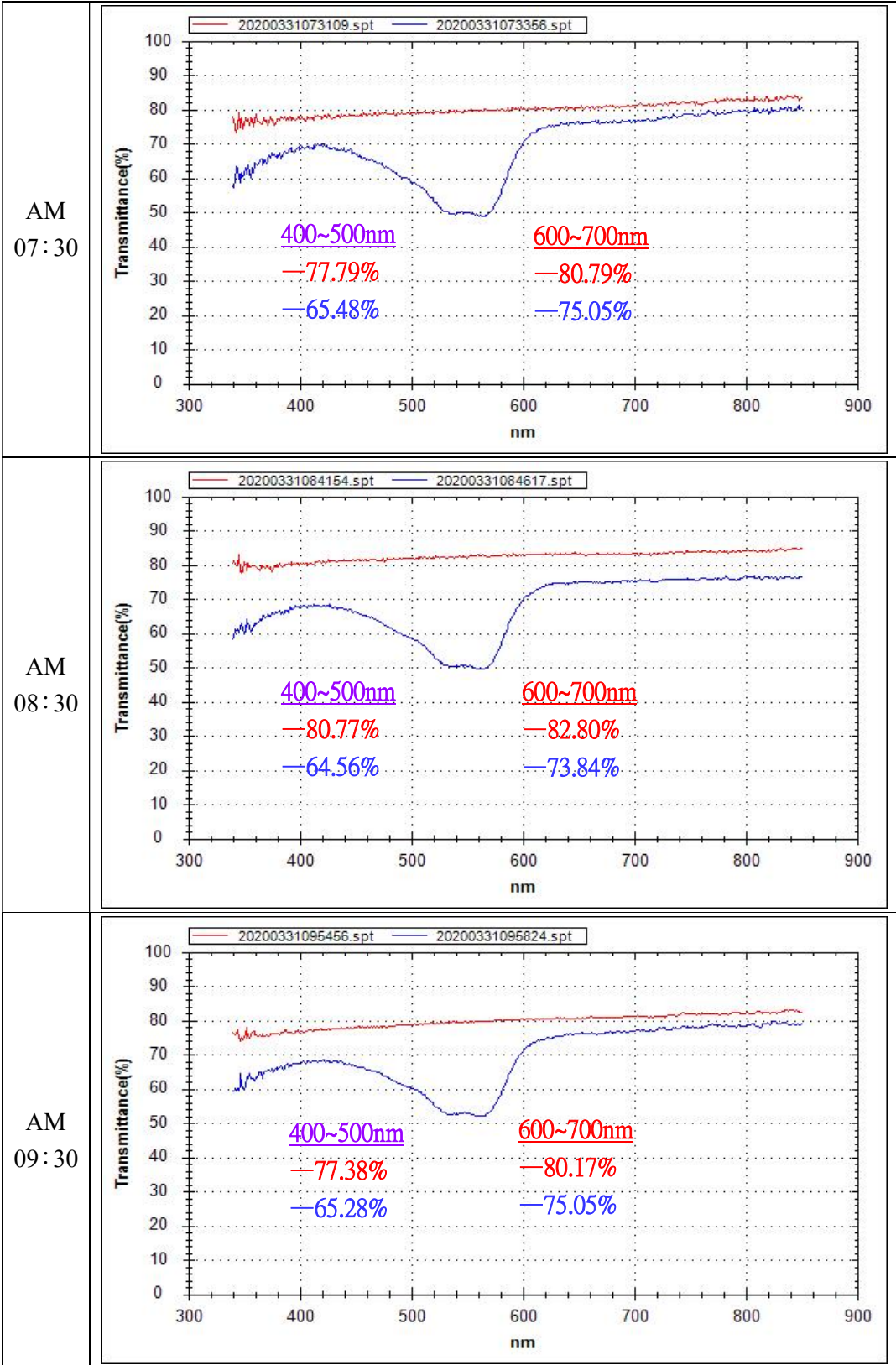
在全日照之下，30%光強度就足夠植物光合作用工作產生能量及自身產量。給植物過量的太陽光，會造成植物生理障礙及增加對陽光的抵抗，而阻礙植物的光合作用，增加呼吸作用，消耗自身能量，而抑制植物生長。如果能選擇具有抵抗強陽光的網子，且有適當的低透光度及調整藍綠紅光比例(B/R ratio)，這樣植物生長就減少抵抗強陽光，可增加光合作用速率。如圖17所示，我們做一個新紅網及白網的透光率試驗，從早上 06：30~12：30，每隔一小時測網子下的光譜數據。從圖17中，得出紅網比較白網為較低的透光率。再分析植物吸收紅光及藍光波長範圍，發現紅網在整個早上06：30~12：30的藍光(400~500 nm)波長範圍的透光率維持在 $64.96 \pm 0.2\%$ 比較白網透光率 $78.65 \pm 0.5\%$ (圖17)有顯著差異；紅光(600~700 nm)波長範圍的紅網透光率維持在 $75.87 \pm 0.5\%$ 比較白網透光率 $81.49 \pm 0.4\%$ 有顯著差異，紅網有低透光率的顯著效應，似乎將多餘光量與多餘的光質(如綠光)排除，使植物負擔減少，長

得好又健康，這就是減少抵抗陽光的好處(圖17、圖18)。

另外，再從圖17來看，紅網與白網在綠黃光區470~600nm間(圖17，AM 06 : 30 紅色圓圈虛線處)，其白網不能調節減少綠光及黃光的大量進入，而紅網能調節減少綠黃光區間470~600nm的光量進入。紅網能減少綠黃光區間470~600nm，而大量增加紫光區間380~430nm、藍色光區間430~470nm、橙色光區間590~640nm、紅色光區間640~760nm，符合紫、藍、橙、紅光對植物光合速率的影響(宋芬玫、謝素芬，2014)。因此紅網能調節太陽光藍綠紅光的比例及適當光量進入，可以降低光量(圖19)，減少抵抗強陽光，更符合植物光合作用需求。

因此，推論紅網室能降低光量，調整藍光與紅光的適當比例，使植物不需耗費多餘能量來抵抗陽光，多出的能量就能提供營養生長(長根莖葉)及生殖生長(花果實種子)，所以紅網室番茄的株高與莖寬會較白網室來得大，我們的實驗結果與Thwe, A.A.等人(2020)研究報告不謀而合。





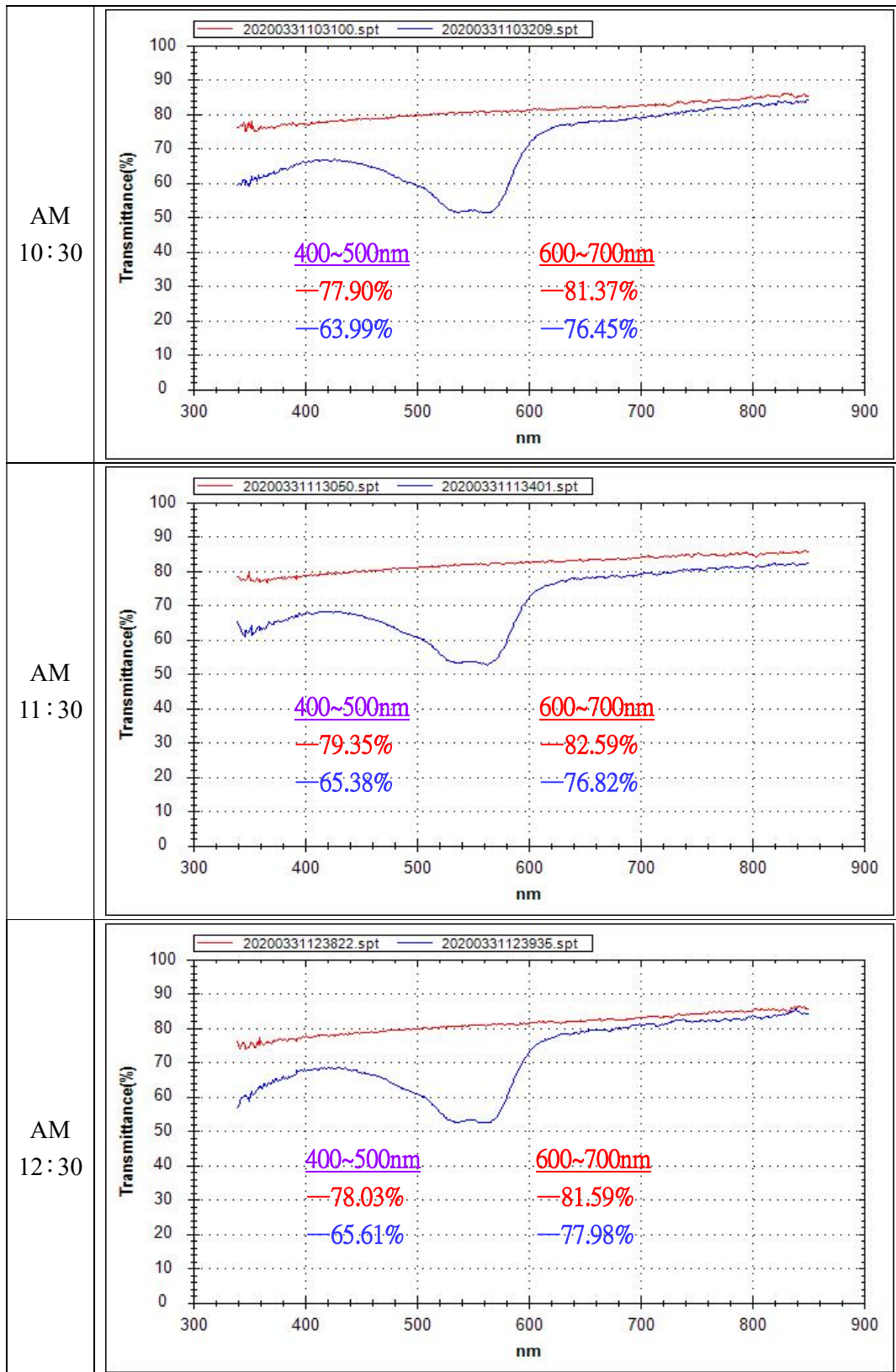


圖17.新紅網與白網的透光率比較



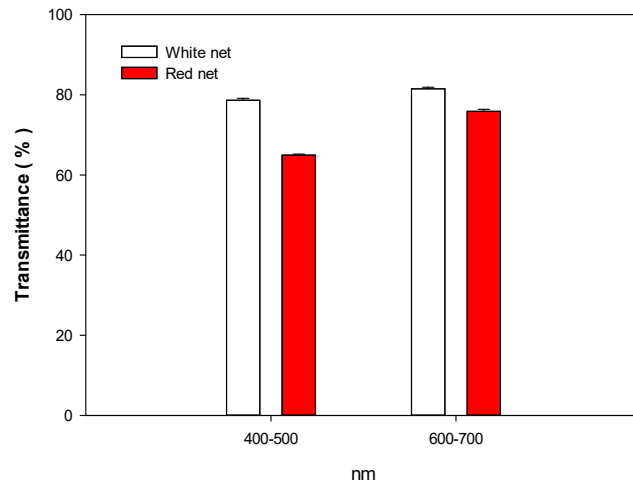


圖 18.紅網與白網 400~500nm 及 600~700nm 透光率比較

### 五、紅網室創造“光複利效應”

為何紅網室在生長量及產量上都超越白網室及露天對照組呢？我們討論後發現紅網室的低透光率及調節藍綠紅光比例可能創造了光飽和點的時間差，形成光複利效應(The compound effect of light)(圖 19)；為了要瞭解紅網室是如何創造光複利效應，我們重新做一個新紅網及白網的透光率試驗(圖 17)，從早上 06：30~中午 12：30，每隔一小時測網子下的光譜數據，將光度數據製作成圖 19，根據圖示推測紅網室內的植物可能是在早上 8：30~09：30 時間範圍內搶在白網室植物抵抗強陽光時，約有 1 小時內可以全力工作爭取最高的光合作用率，達到最高產量，不須耗能量去抵抗強光，隨著每日時間累積 1 小時的光合作用就能複利累積產能，減少耗能。如果每天都累積 1 小時的產能，累計 3 個月後就有 90 天的複利產能，這就是光複利效應的作用。反推露天對照組及白網室可能在早上 8：30~12：30 已經在抵抗強陽光，不斷消耗能量，增加呼吸作用，植物同時也有可能製造抵抗陽光的物質，使果實具有酸性，如感官品評之果實風味比較上，試吃者一致認為露天對照組果實雖有甜度但仍具有強烈酸味(圖 12)。

何謂光複利效應(The compound effect of light)？我們從「複利」的定義來看，就是「利(A)上加利(B)」=效應(C)，如下表 5 所示：

表 5.光複利效應表

利(A)=紅網	利(B)=植物	效應(C)=人事成本
低透光率	增加葉片數、高度、莖徑、產量	增加工作時間
低光度	延長光合作用時間	增加工作效益產能
調整藍綠紅光比例	減緩達到光飽和點時間	減少噴藥次數
降低土壤溫度	溫度低減緩呼吸作用	減少農藥費用
減少病蟲害發生	不需耗能來抵抗陽光	減少人事成本

由於紅網室具有調整遮陽比例形成適當光量造成透光率低，並且在調整遮陽後的藍綠紅光比例適合番茄生長，同時也降低網室內溫度。所以紅網室遮陽後土壤溫度為  $22.6\pm 0.4^{\circ}\text{C}$  比較露天對照組土壤溫度  $24.27\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  低約  $2^{\circ}\text{C}$  左右，有顯著性差異(圖 20)。

李美娟(2004)報告指出番茄在30,000-50,000燭光以上的光強度方能正常生長，光度足夠時，苗生長快而健壯。紅網室下栽培番茄爭取光複利效應時間在早上8：30~09：30 (圖19)；在早上10：30~12：30之間，紅網室比較白網室有較好的遮陽效果，能大幅度減少強陽光進入網室內。

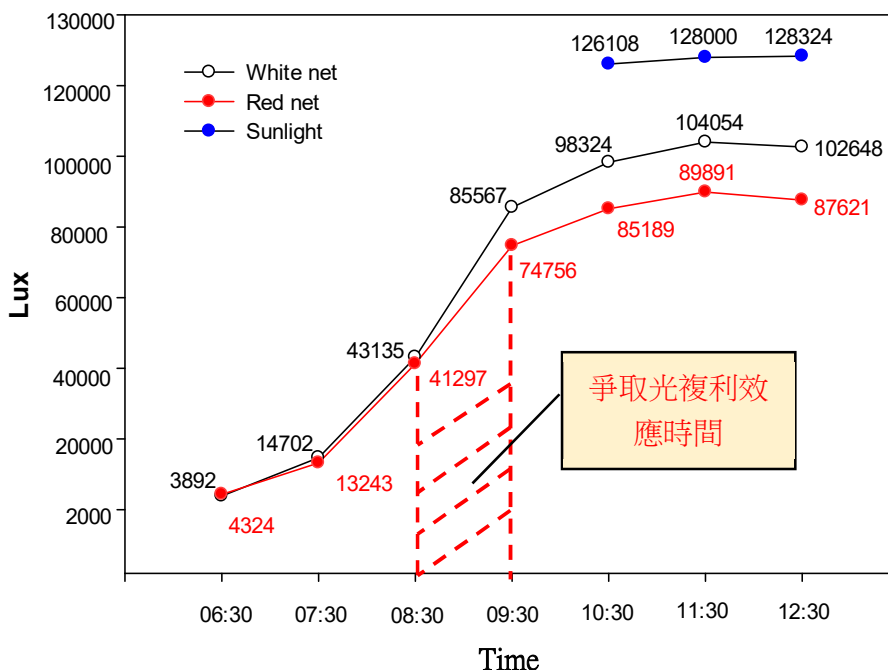


圖19.紅網與白網在AM06：30~12：30的光度比較

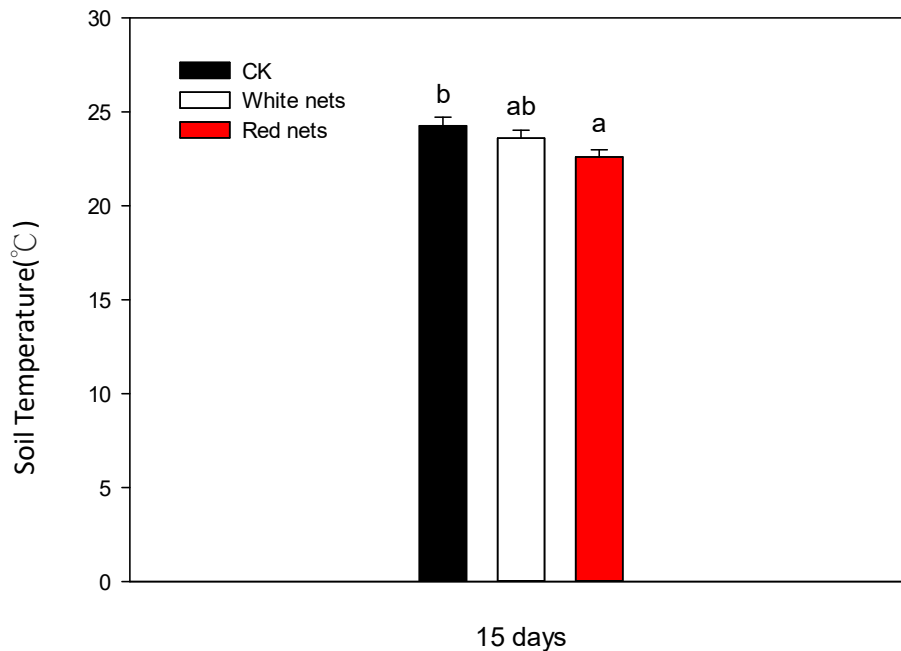


圖20.露天對照組(CK)、白網室(White nets)與紅網室(Red nets)的土壤溫度比較  
(英文字母相同者表示 LSD 測驗在 5%水準差異不顯著)

## 柒、結論

本研究結果在紅色網室栽培下的番茄，其植株高度、莖徑、產量、總重量、缺病株及開花節位果實重量上都顯著於其它組別。紅網室因降低多餘陽光(光量及光質如綠光)及降低植物溫度，使植物減少負擔，越少負擔，植物就能長得好；故植物不需耗費多餘能量來抵抗陽光，多出的能量就能提供營養生長及生殖生長，所以紅網室的株高、莖寬與產量會較白網室來得更有顯著成果。另外要注意網室栽培隨著使用時間拉長，要特別定時清理網室上的灰塵及髒污問題，如果長時間未清理網室髒污灰塵，會造成網室光度下降，植物接收光照量能就會減少，如圖 15 之白網與紅網室之透光率(使用 5 個月)比較圖 17 新白網與紅網的測試，兩者透光率有差異，因此建議要定期清理網室灰塵等，以保持適當光強度進入網室內。

另外發現紅網室的低透光率及藍綠紅光適當比例的光強度，可能創造了光飽和點時間差形成光複利效應，推論紅網室內番茄可能多利用早上 1 小時內或者下午時間，全力工作爭取最高的光合作用率，達到最高產量，不耗能量去抵抗強光，隨著每日累積 1 小時的光合作用就能複利累積產能。

綜合以上我們得知紅網室能促進植物生長的速度、延長生長期、增加植物產量、使植株與果實增大、更減少網室內病蟲害發生。我們具體貢獻期望能採用新科技產品運用紅色網子，透過實際試驗數據及提出新理論突破目前農業栽培上的限制，找出農業新契機，為番茄農民帶來新栽培技術與方向，能使農民提高網室栽培經濟效益，收穫滿滿；並且找到我們這一代青農為這片臺灣土地打造出未來的智慧農業。

## 捌、參考資料

- 1.宋芬玫、謝素芬（2014）。**基礎園藝**。台南市：復文圖書。
- 2.曹幸之、羅筱鳳（2014）。**蔬菜**。台南市：復文圖書。
- 3.廖麗雅（2012）。**花卉**。台南市：復文圖書。
- 4.行政院農業委員會(2018)。**農業統計要覽**。取自  
<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>
- 5.李美娟（2004）。番茄健康管理。**2004 果菜健康管理**，83-92。取自  
<https://www.tactri.gov.tw/Uploads/Item/8d07414a-0d58-4587-ba44-f9a7219acd37.pdf>
- 6.吳炎東（2016）。如何遮陽讓植物接受的陽光最好?。葆馨科技公司。取自  
<https://reurl.cc/qdOy5D>

- 7.姚銘輝 (2011) 。光度單位轉換問題之探討。農業試驗所技術服務季刊，85，26~29。取自  
[http://ir.tari.gov.tw:8080/bitstream/345210000/2995/1/journal\\_jts\\_85\\_09.pdf](http://ir.tari.gov.tw:8080/bitstream/345210000/2995/1/journal_jts_85_09.pdf)
- 8.陳加忠、許欣正、洪正城 (2010)。遮陰網之光學性質介紹。取自  
<https://wms55313.pixnet.net/blog/post/36561985>
- 9.當季好蔬果 (2020)。小番茄玉女。取自 <https://www.twfood.cc/fruit/>
- 10.劉依昌、黃瑞彰、蔡孟旅、黃秀雯 (2016)。小果番茄設施栽培及健康管理技術。臺南區農業改良場技術專刊。取自  
<https://book.tndais.gov.tw/Brochure/tech96.htm>
- 11.農業知識入口網 (2018)。各國番茄介紹。取自 <https://reurl.cc/3DZzk0>
12. Oren-Shamir, M., Gussakovsky, E.E., Shpiegel, E., Nissim-Levi, A., Ratner, K., Ovadia, R., Giller, Y.E., Shahak, Y., (2001). Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. J. *Hortic. Sci. Biotech.* 76, 353–361.
13. Thwe, A. A., Poonpipope K., Gilles V., Frédéric G., Jessada P., Hélène G., (2020). Impact of red and blue nets on physiological and morphological traits , fruit yield and quality of tomato (*Solanum Lycopersicum* Mill.). *Scientia Horticulturae* 264 : 109185.

## 【評語】 052201

1. 此研究提供利用紅網室栽種台灣玉女番茄的優勢科學證據。雖然 Thwe 等人在 2020 提出紅網與藍網對番茄生理與形態的影響，而此研究亦發現部分新穎的結果，對由高中生獨立完成這項研究來說殊屬不易。
2. 實驗結果證實發現紅色網室栽培的番茄各性狀表現較佳，且取得果實總重量顯著高於白色網室栽培的番茄。實驗結果之量化統計分析可再加強。
3. 不同種植季節或區域是否影響複利效應評估的結果，以及相關之作用機制未來值得研究。
4. 感官品評之果實口感以及果實風味比較上，個人主觀與感受因素會影響結果，如何來達到客觀判定的分數可再加以著墨。三個試驗組的果實大小的呈現，建議可以平攤開來，附一量尺對照。
5. 報告撰寫的建議：
  - (1) 整份報告建議加入總"目錄" (Content) 以及圖、表目錄，較容易閱讀。
  - (2) 摘要的撰寫可以再精進，研究結果的顯著性、重要性與吸引力論述可再加強。例如：第一句可即點出此研究的目的或是想要研究問題的重要性；在摘要結果陳述上只有提到，"以紅網室取得果實總重量達 14230.4g 大於露天對照組及白網室"，但大了多少？幾倍要點出來。

# 網紅的秘密

## 紅網室對番茄生長的複利效應

### 摘要

本研究結果在紅色網室下載培的番茄植株，其植株高度、莖徑、產量、總重量、缺病株及開花節位果實重量上都顯著其它組。最重要的是我們發現紅網室的低透光率及藍綠紅光適當比例的光強度可能創造了光飽和點的時間差，形成光複利效應，故不需耗費多餘能量來抵抗陽光，而多出的能量就能提供營養生長及生殖生長，促進植物生長的速度、延長生長期、增加植物產量、使植株與果實增大、更減少網室內病蟲害發生。

### 壹、研究動機

為了穩定作物之產量與品質，國內園藝作物利用設施生產的面積逐年增加。為了維持作物良好的生長環境，光量必須維持在適當範圍(陳加忠、許欣正、洪正城，2010)。

另外植物生長和發育會因網色而異，Oren-Shamir等人提出其中紅網促進莖伸長，藍網縮短莖長。除了光質和光量的作用外，網子的使用還可以防止害蟲進入網室內危害作物，這可能有助於減少農用化學品的使用及農藥的費用(Oren-Shamir et al. 2001)。

老師帶領我們去瞭解學校一座特別的紅色網室，而我們最好奇的是網室內種植的香菸蘭居然比平常所看到的蘭科植物來的健康與粗壯。

因此我們突發奇想假如運用紅色網室來種植這學期蔬菜課所種植的茄果類(番茄)會不會也是一樣的結果，其番茄產量是否會增加呢?紅色網室與白色網室栽培番茄會有差異嗎?這個問題讓我們感到無比好奇，因此上網搜尋相關訊息，發現鮮少有農家或研究單位採用紅色網室種植番茄，因此我們決定試驗探討此紅網室栽培番茄可能帶來何種效應。

### 貳、研究目的

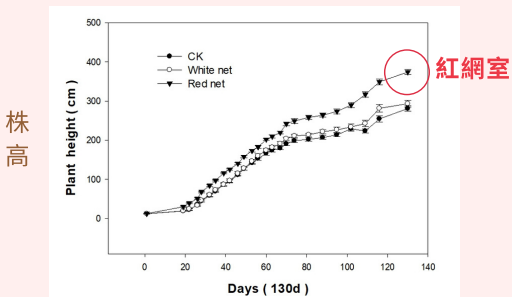
- 一、不同顏色網室對番茄之株高、莖徑、產量、可溶性固形物、感官品評的影響。
- 二、不同顏色網室栽培番茄之光度、光譜的分析。
- 三、紅網室及白網室之栽培差異。

### 參、研究過程與方法



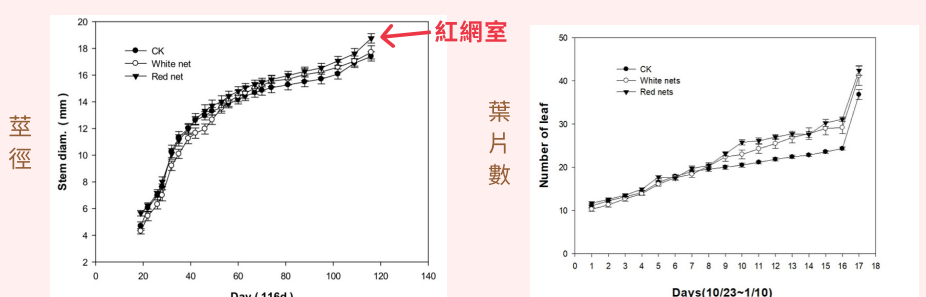
### 肆、結果與討論

#### 一、不同顏色網室栽培對番茄生長在株高表現之影響



圖一、不同顏色網室栽培對番茄株高表現之影響  
紅網室(Red net)為374.09 ± 6.20cm、白網室(White net) 293.21 ± 8.69cm、露天對照組(CK)280.7 ± 7cm，紅網室株高明顯高於其他兩組。

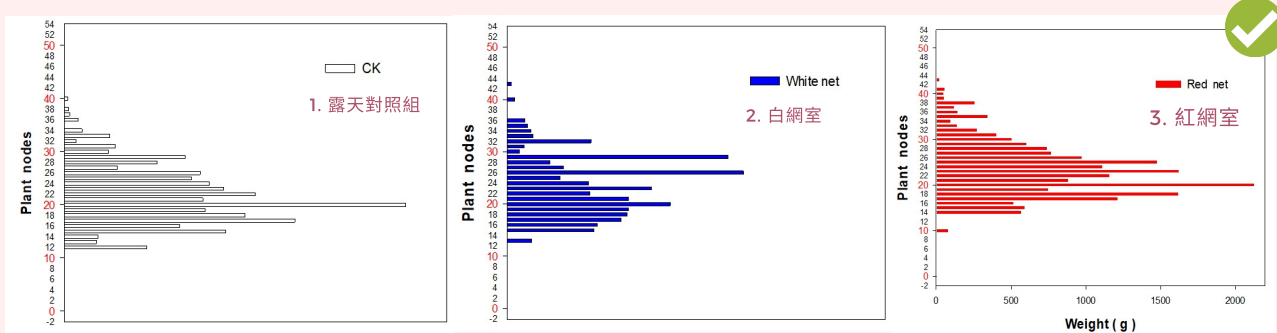
#### 二、不同顏色網室栽培對番茄生長期莖徑及葉片數量表現之影響



圖二、不同顏色網室栽培對番茄莖徑表現之影響  
紅網室18.75 ± 0.35mm、白網室17.70 ± 0.45mm、露天栽培對照組17.40 ± 0.35mm。

圖三、不同顏色網室栽培對番茄葉片數量表現

#### 三、不同顏色網室栽培對不同結果節位及其果實重量影響



圖四、不同顏色網室栽培對番茄開花節位及果實重量影響

#### 四、不同顏色網室栽培對番茄果實總產量、總重量、商品果、果徑表現之影響

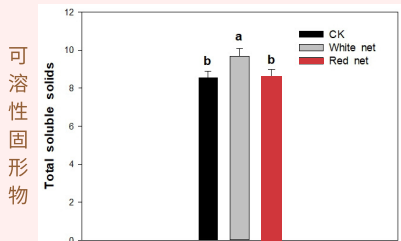
表一、不同顏色網室對番茄果實總產量、總重量、商品果、果徑的影響

網室	總產量 (顆)	總重量 (g)	缺病株 n=15	商品果 (10-20g)	果徑(mm)	
					果長	果寬
CK	1372	15428.4	3	10171.7	30.19±0.12 <sup>b</sup>	22.87±0.07 a
White nets	1297	11487.5	5	5995.9	30.39±0.12 b	20.46±0.09 c
Red nets	1761	19219.8	0	14230.4	32.10±0.15 a	21.85±0.08 b

x 英文字母相同者表示 LSD 測驗在 5%水準差異不顯著

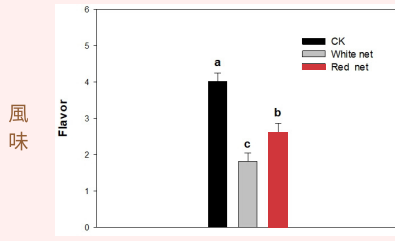
y Mean±SE 為平均值±平均值標準誤差

#### 五、果實可溶性固形物之比較



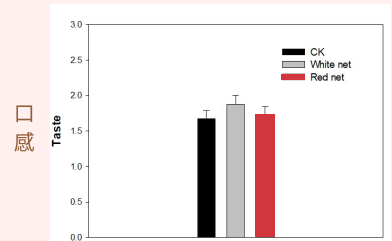
圖五、不同顏色網室果實可溶性固形物的比較

#### 六、感官品評之果實風味比較



圖六、不同顏色網室對果實風味的影響 (1=甜、2=微甜、3=不甜、4=酸甜、5=微酸、6=酸)

#### 七、感官品評之果實口感比較

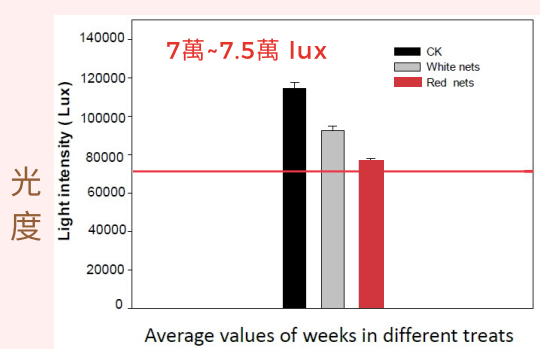


圖七、不同顏色網室對果實口感的影響 (1=軟、2=脆、3=硬)

# 肆、結果與討論 (續)

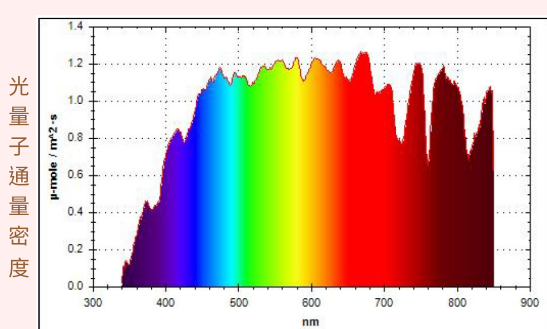


## 八、不同顏色網室光度比較



圖八、不同顏色網室光度比較

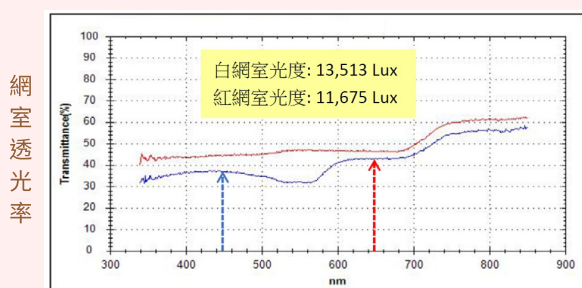
## 九、不同顏色網室光譜及透光率之分析比較



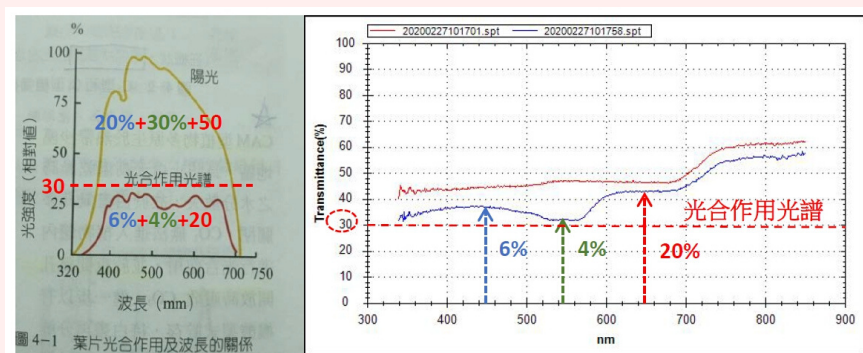
圖九、中午12:30分露天光譜340-850nm, PPFD: 500.967、光度21,781 lux(陰天狀況下)

表二、紅網室及白網室在不同光譜下測得之透光率

光譜範圍	白網	紅網室
W01 (340-850)	48.91%	41.58%
W02 (400-700)	45.30%	37.17%
W03 (400-500)	43.84%	35.85%
W04 (500-600)	45.86%	33.43%
W05 (600-700)	46.19%	42.24%
W06 (700-850)	58.54%	53.36%
W07 (340-400)	42.79%	34.11%
W08 (700-760)	55.33%	50.08%
W09 (340-380)	42.63%	33.56%
W10 (760-850)	60.71%	55.57%

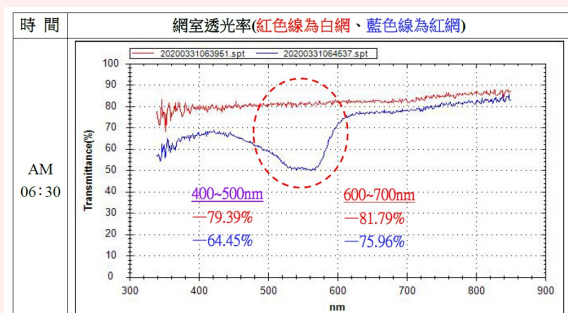


圖十、紅網室(藍色線)及白網室(紅色線)透光率

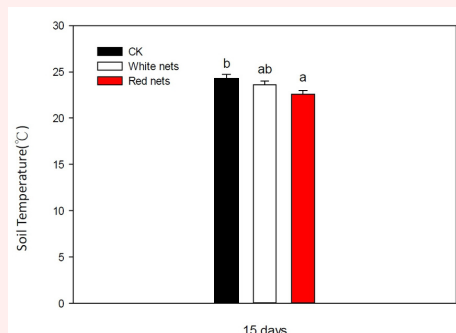


圖十一、光合作用光譜及光強度比例(左)  
(廖麗雅, 2012) 比較紅網室與白網室之透光率(右)

## 十、白網室與紅網室的關鍵差

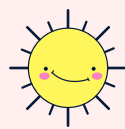


圖十二、新紅網與白網的透光率比較  
AM06:30 ~ AM12:30

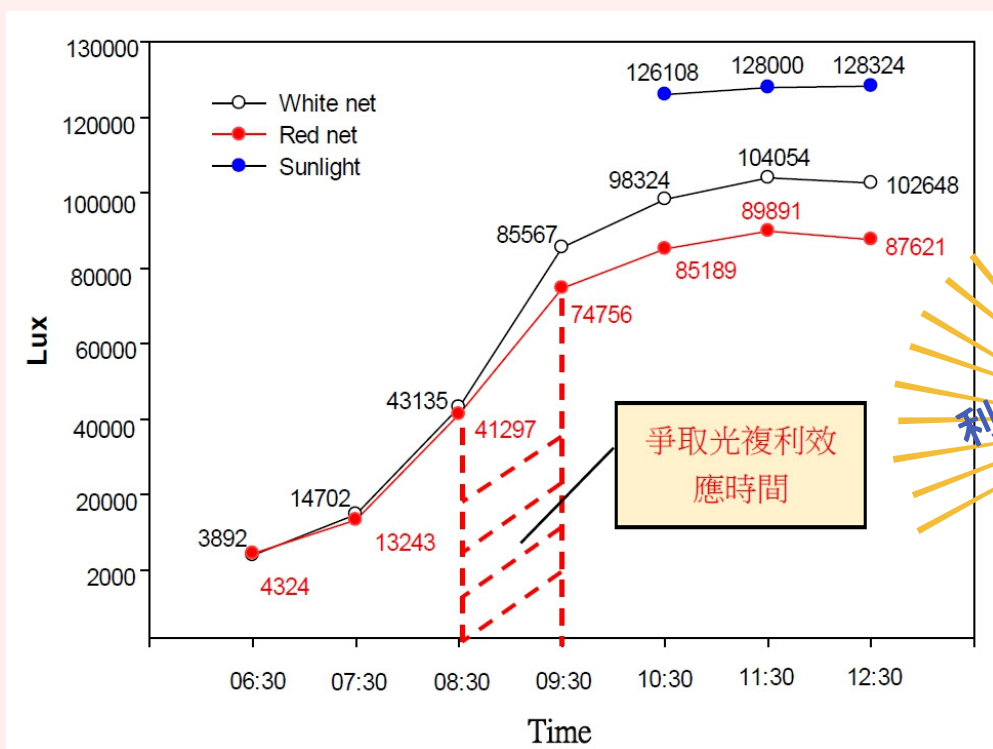


圖十三、露天對照組(CK)、白網室(White nets)與紅網室(Red nets)的土壤溫度比較  
(英文字母相同者表示LSD測驗在5%水準差異不顯著)

# 十一、紅網室創造“光複利效應”



紅網室下栽培番茄爭取光複利效應時間在早上8:30~09:30 (圖十四); 在早上10:30~12:30之間, 紅網室比較白網室有較好的遮陽效果, 能大幅度減少強陽光進入網室內。



圖十四、紅網與白網在AM 06:30~12:30的光度比較

揭  
密

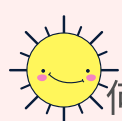
利(A) + 利(B) = ∞







## 伍、結論



何謂光複利效應(The compound effect of light)? 我們從「複利」的定義來看，就是「利(A) + 利(B)」 = ∞效應(C)，如下表三所示：

表三、光複利效應表

利(A)=紅網	利(B)=植物	效應(C)=∞
低透光率	增加葉片數、高度、莖徑、產量	延長可工作時間
低光度	延長光合作用時間	增加工作效益產能
調整藍綠紅光比例	減緩達到光飽和點時間	減少噴藥次數
降低土壤溫度	溫度低減緩呼吸作用	減少農藥費用
減少病蟲害發生	不需耗能來抵抗陽光	減少人事成本

## 十二、破解! 紅網室“光複利效應”



圖十五、紅網室光複利效應之心智圖



## 陸、參考文獻

- 1.宋芬玫、謝素芬(2014)。基礎園藝。台南市：復文圖書。
- 2.曹幸之、羅筱鳳(2014)。蔬菜。台南市：復文圖書。
- 3.廖麗雅(2012)。花卉。台南市：復文圖書。
- 4.行政院農業委員會(2018)。農業統計要覽。取自<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>
- 5.李美娟(2004)。番茄健康管理。2004果菜健康管理，83-92。取自<https://www.tactri.gov.tw/Uploads/Item/8d07414a-0d58-4587-ba44-f9a7219acd37.pdf>
- 6.吳炎東(2016)。如何遮陽讓植物接受的陽光最好?。葆馨科技公司。取自<https://reurl.cc/qdOy5D>
- 7.姚銘輝(2011)。光度單位轉換問題之探討。農業試驗所技術服務季刊，85，26-29。取自[http://ir.tari.gov.tw:8080/bitstream/345210000/2995/1/journal\\_jts\\_85\\_09.pdf](http://ir.tari.gov.tw:8080/bitstream/345210000/2995/1/journal_jts_85_09.pdf)
- 8.陳加忠、許欣正、洪正城(2010)。遮陰網之光學性質介紹。取自<https://wms55313.pixnet.net/blog/post/36561985>
- 9.當季好蔬果(2020)。小番茄玉女。取自<https://www.twfood.cc/fruit/>
- 10.劉依昌、黃瑞彰、蔡孟旅、黃秀雯(2016)。小果番茄設施栽培及健康管理技術。臺南區農業改良場技術專刊。取自<https://book.tndais.gov.tw/Brochure/tech96.htm>
- 11.農業知識入口網(2018)。各國番茄介紹。取自<https://reurl.cc/3DZzk0>
- 12.Oren-Shamir,M., Gussakovsky, E.E., Shpiegel, E.,Nissim-Levi, A., Ratner, K.,Ovadia, R., Giller,Y.E., Shahak, Y., (2001). Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of Pittosporum variegatum. J. Hortic. Sci. Biotech. 76. 353-361.
- 13.Thwe,A. A., Poonpipope K., Gilles V., Frédéric G., Jessada P., Hélène C.,(2020). Impact of red and blue nets on physiological and morphological traits, fruit yield and quality of tomato (Solanum Lycopersicum Mill.). Scientia Horticulturae264: 109185.

