

利用補光改善蔬菜育苗品質¹

游之穎²、廖婉蓁³、鍾雨橋⁴、林立⁵

摘要

宜蘭秋冬季易受東北季風影響而連月持續霪雨。長時間低光高溼環境易促使植物產生避陰綜合症 (shade-avoidance syndrome; SAS)，造成蔬菜苗徒長、下胚軸伸長、根系生長緩慢及對病蟲害防禦性減弱等問題，進而導致蔬菜育苗時間延長且品質下降。本研究探討不同光質補光處理，對設施內小白菜育苗品質之影響。試驗處理分別以紅藍光比 R:B=1:0、R:B=2:1、R:B=1:1、R:B=0:1 (LED 燈管) 與白光 (冷白日光燈管) 於每日 08:00-18:00 進行補光處理，並以溫室內自然光源為對照組。試驗結果顯示，小白菜 R:B=1:1 補光處理苗株有較佳的生育表現，下胚軸長度為對照組之 45.7%，壯苗指數為對照組 3 倍，絕對生長速率為對照組 2.16 倍。補光處理能顯著改善有機蔬菜育苗之避陰綜合症，並提升宜蘭地區秋冬季蔬菜育苗品質及生長速率。

關鍵字：避陰綜合症、下胚軸伸長、紅藍光比、補光

-
1. 農業部花蓮區農業改良場研究報告 311 號。
 2. 農業部花蓮區農業改良場蘭陽分場助理研究員。
 3. 農業部花蓮區農業改良場蘭陽分場前研究助理。
 4. 農業部花蓮區農業改良場蘭陽分場研究助理。
 5. 農業部花蓮區農業改良場作物環境科副研究員。

前言

宜蘭地區因特殊的喇叭口地形，秋冬季東北季風進入宜蘭地區時，帶來充足水氣，且太平洋高壓仍在臺灣南部未明顯南移，阻擋冷空氣南下，因而造成進入宜蘭地區的東北季風容易滯留，形成氣流不斷灌入宜蘭平原並向西移動，而當氣流西進遇山後由於爬坡效應，水氣上升凝結使得雲雨量明顯增多，相對日照量也隨之減少（徐與曾，2007）。而近年氣候變遷，導致極端氣候現象發生更頻繁，加劇宜蘭地區秋冬季連續降雨及強降雨情形。宜蘭地區秋冬季長時間低光高溼，嚴重影響作物生長發育與產量。當植物生長於遮蔭或光線不足的環境下，如低 R:FR、低藍光及低 UV 等，影響植物荷爾蒙的產生及分布，促進生長荷爾蒙—生長素（IAA）、激勃素（GA）、及萜素內酯（BR）的信號傳導及反應；抑制防禦性荷爾蒙—茉莉酸（JA）及水楊酸（SA）的信號傳導及反應，使植物產生形態與生理變化（Ballaré and Pierik, 2017; Shafiq *et al.*, 2021; Song *et al.*, 2019）。這系列反應統稱為避陰綜合症。避陰綜合症又稱避蔭效應、遮蔭迴避、遮蔽效應等，避陰綜合症包括促進下胚軸生長、節間和葉柄快速伸長、葉片向上運動（偏下生長 hyponasty）；加強頂端優勢及向光性、抑制分枝；限制根系生長，改變地上部與地下部之資源分配；早熟，提早開花；加速葉片老化；免疫系統減弱，易感病蟲害；細胞壁組成成分改變，莖強度減弱；產量下降，結實率減少，果實發育受阻及種子發芽率下降等（Ballaré and Pierik, 2017; Courbier and Pierik, 2019; Fittinghoff, 2008; Formisano *et al.*, 2022; Lin, 2002; Liu *et al.*, 2021; Morelli and Ruberti, 2000）。宜蘭地區秋冬季靈雨低光高濕環境，栽培設施內光強度下降及光質比例變化，加劇蔬菜育苗產生避陰綜合症。尤其設施內蔬菜育苗，因長時間低光高溼環境，易使蔬菜苗出現徒長、下胚軸過長、植株纖弱、根系生長緩慢等問題，導致蔬菜育苗時間延長且品質降低，影響作物產量甚鉅。

光對植物生理作用的影響包括光週期、光強度及光質（Casal and Yanovsky, 2005; Chen *et al.*, 2004; Folta and Childers, 2008）。其中光強度直接影響植物的光合速率，當光強度大於植物的光補償點時，隨著光強度增加，植物的光合作用速率隨之增加。光強度每增加 1%，作物產量也會隨之增加約 1%，直至植物的光飽和點（Marcelis *et al.*, 2006）。已有許多研究指出提升光強度能增進苗株品質與產量，如光強度 $400 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 下的萵苣幼苗鮮重較 $60 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 提高了 475%，最終收穫鮮重提高 174%，且苗期和最終收穫時的葉數，與幼苗的類胡蘿蔔素濃度皆增加（Givens *et al.*, 2023）。光強度提升能使黃瓜接穗和砧木下胚軸長度縮短，並提高迪克森指數（Dickson Quality Index, DQI）、緊實度和幼苗健康指數（Yang *et al.*, 2023）。且能通過提高煙草幼苗從芽到根的蔗糖輸出，促進根系生長（Walter and Nagel, 2006）。設施內多採用人工光源補光以提升光強度，可有效改善作物徒長、下胚軸過長、植株纖弱、根系生長緩慢等避陰綜合症，如用發光二極體燈管（light-emitting diode; LED）補光可顯著增加苦瓜幼苗的葉面積、提高葉綠素含量、降低株高、增加莖粗，能有效抑制苦瓜苗徒長，有利於在早春低溫陰雨期間培育苦瓜壯苗（童等，2018）。

補光光質亦會影響作物生長，光質是指光線中不同波長之分佈情形，即光譜。不同波長之光線呈現不同光質顏色，藍光（波長範圍約 400-520 nm）對光合作用影響大，可抑制植株徒長，降低株高（Mortensen and Strømme, 1987）及莖長（Nanya *et al.*, 2012）。促進幼苗光形態發生（Photomorphogenesis），有助於幼苗生長。促進植物細胞分化，促進地下部根系生長強壯（Johkan *et al.*, 2010）。增加花青素和葉綠素的含量，因此藍光下生長的葉色較深（Mortensen and Strømme, 1987; Mizuno *et al.*, 2011）。增加植物次級代謝物的產生，從而保護植物免受害蟲和食草動物的侵害。紅光（波長範圍約 610-720 nm）對光合作用與光週期有顯著影響。有利於光合作用，增加生物量，促進葉片生長，增加葉面積以及增加葉綠素的合成（Lefsrud *et al.*, 2008）。提高作物產量和品質，影響開花與種子發芽。而黃綠光（波長範圍約 520-610 nm）綠色植物葉綠素反射大部分綠色波長，吸收率不高。但對植物生理也有影響（Samuolienė *et al.*, 2012），照射黃綠光會促進植物伸長（徒長）使植株高度增加，增加葉面積，且葉片顏色會較淺（Mizuno *et al.*, 2011; Mortensen and Strømme, 1987; Stutte *et al.*, 2009）。綠光可穿透樹冠，提供植物下位葉能量，減少下

位葉損失。植物對遠紅光（波長範圍約 720-1,000 nm）的吸收率低，植物將大量的遠紅光解釋為處於陰影中，刺激細胞延長，促進植物伸長（徒長）。遠紅光亦影響植物種子發芽、開花與避陰綜合症等。近紫外光（波長範圍約 315-400 nm）葉綠素吸收少，影響光週期效應，阻止莖伸長（抑制徒長），促進花青素合成，增加葉厚度。促使植物啟動物理和化學防禦機制，並產生抗氧化劑來保護自己（Kendrick and Kronenberg, 1986）。相同光強度補光處理，對作物苗株品質的影響會因光質而異。與螢光燈相比，藍光 LED 提高萵苣幼苗葉片葉綠素含量，有較高的 PSII 活性和較低的 PSI 活性，對提高葉用萵苣葉片光合能力具有明顯優勢（李等, 2010）。蘿蔔芽苗於紅光及遠紅光處理組的下胚軸明顯長於對照組，而藍光處理組下胚軸長度短於對照組；紅光與藍光處理組植株鮮重高於對照組，而遠紅光處理組明顯低於對照組。紅光處理對蘿蔔芽苗生長影響顯著，下胚軸長、子葉面積、植株鮮品質及乾品質均達到最大值，且顯著高於對照。紅光與紅藍光組合處理下，可溶性糖與澱粉含量均顯著高於對照（張等, 2009）。

為改善宜蘭地區秋冬季有機蔬菜育苗時間長，苗株容易徒長影響品質等問題。本研究利用紅藍可調式 LED 燈管及冷白日光燈管作為補光光源，探討不同光質（R:B=1:0、R:B=2:1、R:B=1:1、R:B=0:1、白光）補光處理，對設施內有機蔬菜小白菜育苗之品質影響。

材料與方法

一、試驗材料

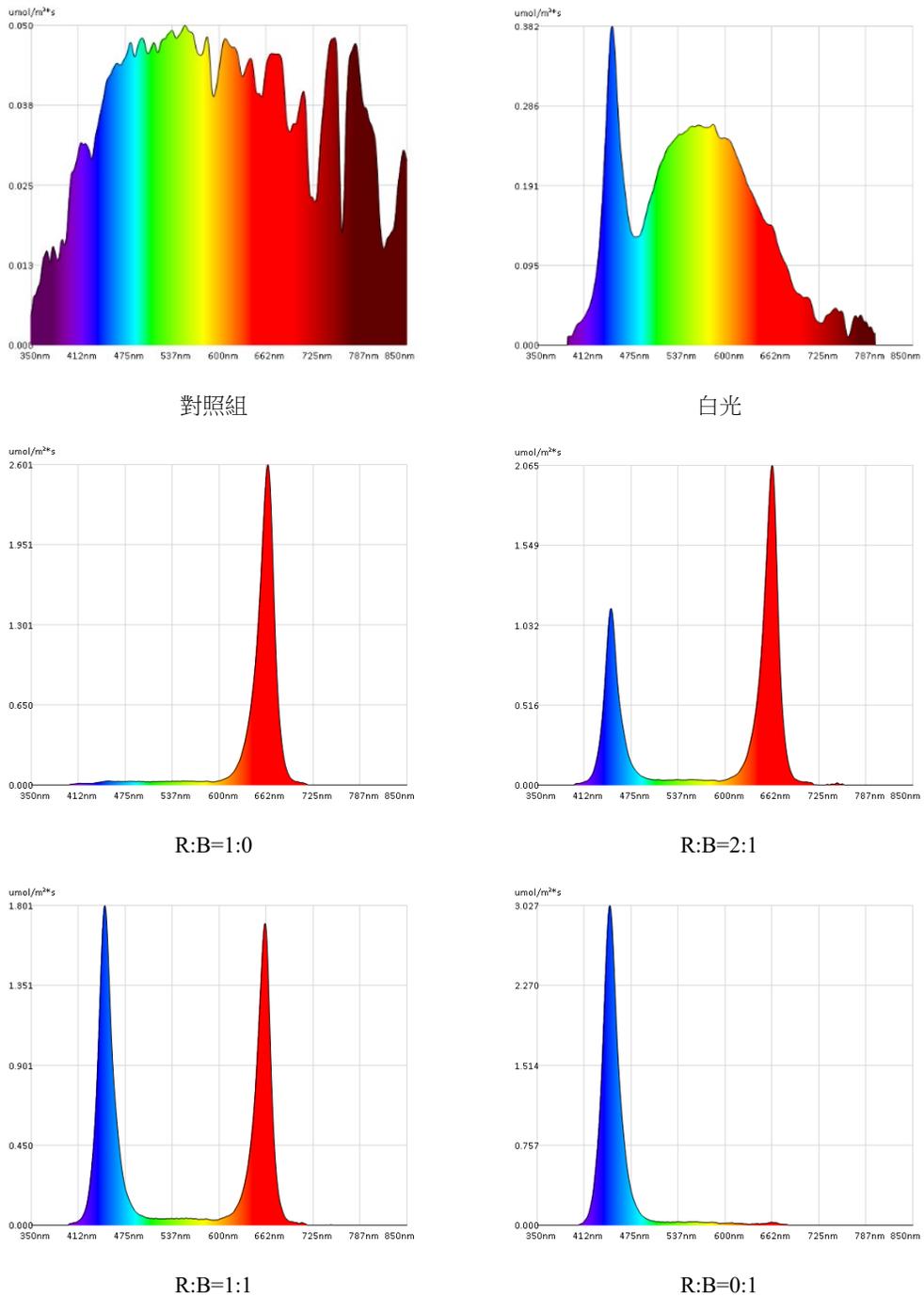
1. 供試品種：本試驗以農友種苗公司出產的小白菜‘蜜雪兒’為供試品種。
2. 育苗介質：栽培介質為紐荷仕泥炭土（登記字號：進輔 0565005）。

二、試驗處理

種子播種於 128 穴盤內，播種後將穴盤置於蘭陽分場玻璃溫室內植床上進行栽培管理。試驗處理為不同光質比例補光處理，分別為 R:B=1:0、R:B=2:1、R:B=1:1、R:B=0:1、白光，並以未補光玻璃溫室內自然光源為對照組。播種後即開始處理，於每日 08:00-18:00 進行補光，播種後第 21 d 進行調查分析。

三、補光光源

使用紅藍可調式 LED 燈管（Red 660 nm, Blue 450 nm, 宏鑫光電科技股份有限公司, 臺灣）及冷白日光燈管（飛利浦）作為補光光源，各補光處理及對照組光譜如圖二所示。



圖一、補光光質波長分布

Fig. 2. The wavelength distribution of supplementary light quality. (Investigation date: March 28, 2022, 16:00, the weather was cloudy)

表一、補光光質波長分布與比例

Table 1. The wavelength distribution and ratio of supplementary light quality

Treatment	PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	IR ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Red ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Green ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Blue ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	UV ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	R/B	R/IR
Control	67.9	24.3	21.4	25.6	20.8	3.5	1.03	0.88
R:B=1:0	276.6	80.5	133.0	82.6	61.1	6.9	2.24	1.88
R:B=2:1	243.5	66.5	100.9	70.4	72.2	6.0	1.39	1.73
R:B=1:1	156.7	22.2	58.8	36.9	61.1	2.0	0.96	2.87
R:B=0:1	149.8	14.7	26.4	34.0	89.4	0.8	0.30	1.83
White	266.1	95.2	90.6	102.6	72.9	7.9	1.23	0.97

四、調查與分析

於播種後第 21 d 進行調查分析，詳細量測方式如下：

株高：將植株壓平以量尺測量基部至葉片頂端的長度。

下胚軸長：將植株壓平以量尺測量基部至子葉基部的長度。

葉長：取目測葉面積最大的葉片，將葉片壓平後利用量尺測量葉片最長的長度（含葉柄）。

葉寬：取目測葉面積最大的葉片，將葉片壓平後利用量尺測量葉片最寬的寬度。

莖長：利用游標尺測量子葉節至頂芽節之長度。

莖粗：利用游標尺量測苗株最大寬度的莖。

葉片數：完全展開且長度 1 cm 以上之葉片數量。

葉面積：將苗株所有葉片分離後，把所有葉片壓平夾於透明軟墊，並利用葉面積測量儀（LI-3000C Area Meter, LICOR, USA）量測總葉面積。

地上部與地下部鮮重與乾重：將植株地上部與地下部去除介質清潔後，以電子天平分別量測鮮重。於 50°C 烘乾植體 48 h 後量測乾重。

壯苗指數：採用方與張（2007）文獻之穴盤苗壯苗指數計算公式： $[\text{莖粗 (cm)} / \text{株高 (cm)} + \text{地下部乾重 (g)} / \text{地上部乾重 (g)}] \times \text{全株乾重 (g)}$ ，計算各處理之壯苗指數。

絕對生長速率(absolute growth rate, AGR)：採用戴等（2002）計算公式： $\text{全株乾重 g} \times 100 / \text{生育日數}$ 。

五、統計分析方法：

試驗設計為隨機完全區集設計（Randomized complete block design, RCBD），每處理 6 重複，每重複 64 株。以 CoStat 6.4 (CoHort Software, Monterey, CA) 統計軟體，進行變方分析及最小顯著差異分析 (Least significant difference, LSD) 比較各處理間是否具有顯著差異 ($P < 0.05$)。

結 果

一、不同光質補光處理之苗株生育性狀調查

小白菜‘蜜雪兒’在不同光質補光處理下育苗之植株性狀表現，如表一及圖三所示。未補光之對照組株高最高為 7.98 cm，各補光處理組株高皆顯著低於對照組，其中以 R:B=1:1 處理組株高 6.44 cm 最矮，抑

制株高伸長達 19.3%。下胚軸長度亦是未補光之對照組最長為 1.16 cm，各補光處理組下胚軸皆顯著短於對照組，其中以 R:B=1:1 補光處理組之下胚軸長度 0.53 cm 最短，為未補光對照組之 45.7%，可顯著縮短下胚軸長度 54%，R:B=1:1 補光處理組抑制下胚軸徒長效果顯著。莖長部分以對照組及白光處理組較長，分別為 2.75 及 2.78 mm，以 R:B=1:1 補光處理莖長最短 2.22 mm，各補光處理僅以 R:B=1:1 處理組，縮短莖長達顯著差異。莖粗部分，對照組 1.79 mm 顯著低於各補光處理組，補光處理以 R:B=2:1 及 R:B=1:0 莖粗較粗，分別達 2.62 及 2.50 mm。未進行補光之對照組植株高度顯著較高，下胚軸長度較長，與各補光處理均達顯著差異，呈現植物避陰綜合症之徒長型態。本試驗中，各補光處理均能顯著抑制苗株株高及下胚軸徒長問題，其中以 R:B=1:1 補光處理組，在抑制株高、下胚軸及莖長徒長，效果最為顯著。

表二、小白菜‘蜜雪兒’苗株在不同光質補光處理下植株生長 21 d 之情形

Table 1. The growth condition of bok choy ‘Michelle’ seedlings supplement with different light quality for 21 days.

Treatment	株高 (cm)	下胚軸長 (cm)	莖長 (mm)	莖粗 (mm)
Control	7.98 a ^z	1.16 a	2.75 a	1.79 d
R:B=1:0	7.66 b	0.77 b	2.65 a	2.50 a
R:B=2:1	7.13 c	0.78 b	2.64 a	2.62 a
R:B=1:1	6.44 e	0.53 c	2.22 b	2.32 bc
R:B=0:1	6.85 d	0.59 c	2.47 ab	2.33 b
White	7.26 c	0.76 b	2.78 a	2.18 c
Sig.	***	***	*	***

^z Means within each column followed by the same letters not significantly different at $P < 0.05$ by LSD test.

二、不同光質補光處理之苗株葉部性狀調查

小白菜‘蜜雪兒’在不同光質補光處理下育苗之苗株葉片性狀表現，如表二所示。葉長（包含葉柄長度）以未補光之對照組最長，達 6.58 cm。而以 R:B=1:1 補光處理組葉長 5.78 cm 最短。葉寬則以 R:B=1:0 補光處理組 3.77 cm 最寬，R:B=1:1 處理組 3.22 cm 最窄。葉片數量以對照組顯著最少，平均為 3.1 片，補光處理 R:B=2:1 及 R:B=1:1 較多，分別平均為 3.8 及 3.7 片。苗株總葉面積以未補光對照組顯著最小，平均為 22.31 cm²，而以 R:B=1:0 補光處理組總葉面積最大，平均為 27.51 cm²，比對照組增加 23.3% 葉面積。未補光對照組因發生植物避陰綜合症，葉柄伸長而使葉長顯著較長，但葉數及葉面積均顯著較小。

表三、不同光質補光處理 21 d 之小白菜‘蜜雪兒’苗株葉片性狀

Table 2. The leaf traits of bok choy ‘Michelle’ seedlings supplement with different light quality for 21 days.

Treatment	葉長 (cm)	葉寬 (cm)	葉數 (No.)	葉面積 (cm ²)
Control	6.58 a ^z	3.31 c	3.1 d	22.31 d
R:B=1:0	6.52 a	3.77 a	3.6 abc	27.51 a
R:B=2:1	6.13 bc	3.51 b	3.8 a	25.36 b
R:B=1:1	5.78 d	3.22 c	3.7 ab	24.41 bc
R:B=0:1	5.94 cd	3.32 c	3.4 bc	23.15 cd
White	6.24 b	3.51 b	3.4 cd	25.31 b
Sig.	***	***	***	***

^z Means within each column followed by the same letters not significantly different at $P < 0.05$ by LSD test.

三、不同光質補光處理之苗株地上部及地下部生物量調查

小白菜‘蜜雪兒’在不同光質補光處理下育苗之總鮮重、總乾重、地上部及地下部鮮、乾重，如表三所示。小白菜苗株總鮮重及總乾重均以未補光對照組顯著較其他補光處理組輕，總鮮重平均僅為 0.696 g，總乾重僅為 0.0564 g。補光處理以光質 R:B=1:0 處理組之苗株總鮮重及總乾重均為最重，分別為 1.151 g 及 0.1297 g。R:B=1:0 補光處理組總鮮重比對照組增加 65.4%，即為未補光之 1.65 倍；總乾重增加 130%，即為未補光之 2.3 倍。地上部鮮重及乾重，均以 R:B=1:0 補光處理組最重，分別是 0.9487 g 及 0.1143 g，而未補光對照組最輕，分別為 0.6329 g 及 0.0496 g。R:B=1:0 補光處理組地上部鮮重比對照組增加 50%，即為未補光之 1.5 倍；地上部乾重增加 130%，即為未補光之 2.3 倍。地下部鮮重以補光 R:B=1:0 處理組最重，為 0.2019 g，地下部乾重則以補光 R:B=1:1 處理組最重，為 0.01657 g，而未補光對照組苗株之地下部鮮重及乾重，均為各處理中最輕，分別為 0.0626 g 及 0.00682 g。R:B=1:0 補光處理組地下部鮮重比對照組增加 223%，即為未補光之 3.23 倍。R:B=1:1 補光處理組地下部乾重較對照組增加 143%，即為未補光之 2.43 倍。

表四、不同光質補光處理 21 d 之小白菜‘蜜雪兒’苗株鮮乾重

Table 3. The fresh weight and dry weight of bok choy ‘Michelle’ seedlings supplement with different light quality for 21 days.

Treatment	總重		地上部		地下部	
	鮮重(g)	乾重(g)	鮮重(g)	乾重(g)	鮮重(g)	乾重(g)
Control	0.696 d ^z	0.0564 d	0.6329 d	0.0496 d	0.0626 d	0.00682 d
R:B=1:0	1.151 a	0.1297 a	0.9487 a	0.1143 a	0.2019 a	0.01540 ab
R:B=2:1	1.022 b	0.1199 ab	0.8746 b	0.1054 b	0.1473 bc	0.01442 b
R:B=1:1	0.997 b	0.1218 ab	0.8320 bc	0.1052 b	0.1651 ab	0.01657 a
R:B=0:1	0.922 c	0.1148 b	0.8023 c	0.1024 b	0.1195 bc	0.01238 c
White	0.897 c	0.0937 c	0.7949 c	0.0828 c	0.1019 cd	0.01091 c
Sig.	***	***	***	***	***	***

^z Means within each column followed by the same letters not significantly different at $P < 0.05$ by LSD test.

四、不同光質補光處理苗株之壯苗指數及絕對生長速率調查

小白菜‘蜜雪兒’苗在不同光質補光處理下育苗之壯苗指數及絕對生長速率，如表四所示。未補光對照組之壯苗指數及絕對生長速率均顯著較各補光處理組低，壯苗指數為 0.021，絕對生長速率為 0.256。壯苗指數以 R:B=1:1 處理組的數值最高 0.063，較對照組提升 200%，即為對照組之 3 倍，其他補光處理組 R:B=2:1 及 R:B=1:0 亦有良好表現；絕對生長速率以 R:B=1:0 及 R:B=1:1 補光處理組數值最高，分別為 0.589 及 0.553，較對照組提升 116-130%，約為未補光對照組之 2.16-2.30 倍。

表五、不同光質補光處理 21 d 之小白菜‘蜜雪兒’苗壯苗指數及絕對生長速率

Table 4. Seedling indexes and absolute growth rate of bok choy ‘Michelle’ seedlings supplement with different light quality for 21 days.

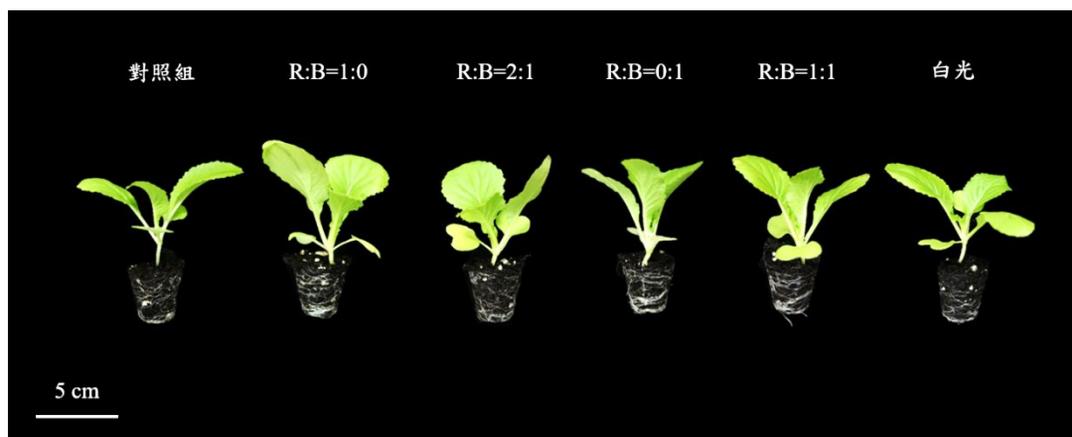
Treatment	壯苗指數 ^z	絕對生長速率 ^y
Control	0.021 d ^x	0.256 d
R:B=1:0	0.060 a	0.589 a
R:B=2:1	0.061 a	0.545 ab
R:B=1:1	0.063 a	0.553 ab
R:B=0:1	0.054 b	0.522 b
White	0.041 c	0.426 c
Sig.	***	***

^z壯苗指數：[莖粗(cm)/株高(cm)+地下部乾重(g)/地上部乾重(g)]×全株乾重(g)

^y絕對生長速率：全株乾重 g×100/生育日數

^x Means within each column followed by the same letters not significantly different at $P < 0.05$ by LSD test.

本試驗結果顯示，補光處理可顯著改善小白菜‘蜜雪兒’育苗徒長情形及促進生長速率。以 R:B=1:1 光質比例補光處理組，抑制小白菜‘蜜雪兒’苗株之株高、莖長及下胚軸徒長情形效果最顯著，且有最佳之壯苗指數及地下部乾重。而 R:B=1:0 補光處理組，增加葉面積、提高苗株總鮮重及總乾重、地上部鮮重及乾重、地下部鮮重，及提高絕對生長速率效果最佳。



圖二、小白菜‘蜜雪兒’在不同光質處理下第 21 d 之苗株生長情形

Fig. 3. The growth condition of bok choy ‘Michelle’ seedlings supplement with different light quality for 21 days.

討 論

一、補光及光質對苗株植株性狀之影響

本試驗中未進行補光之對照組，菜苗植株高度及下胚軸顯著較高（表一），呈現植物避陰綜合症之徒長形態。所有補光處理皆能顯著抑制徒長情形，抑制下胚軸徒長率 33-54%。下胚軸伸長是種子萌發和幼苗生長的重要標誌，亦是植物發生避陰綜合症的最顯著徵狀之一，受多種環境因素調控，光、溫度和水勢是主要的環境刺激因子（Morelli and Ruberti, 2000；Wang and Shang, 2020）。前人研究顯示油菜苗在低光高溫高濕下胚軸徒長最嚴重，高光低溫低濕下胚軸長度最短（Wang and Shang, 2020）。而宜蘭秋冬季低光低溫高濕，亦是容易誘發避陰綜合症下胚軸徒長之環境條件。

Xi 等人（2021）研究表示低光透過生長素促進下胚軸伸長機制，外源性光信號和內源性生長素是拮抗調節下胚軸生長的兩個關鍵因素。確定了阿拉伯芥中由生長素轉錄抑制因子 IAA3 和光控 PIF 轉錄因子介導的光和生長素信號通路之間的直接聯繫。表明 IAA3 是光調節下胚軸生長所必需的。整體來說，Xi 等人（2021）研究揭示了光和生長素對下胚軸生長調控的相互作用機制，由 IAA3 和 PIFs 轉錄調控模塊協調。IAA3-PIFs 相互作用代表了一個新的調節機制層，通過該層，光和生長素信號被整合以影響下胚軸的生長。IAA3 是一種生長素信號抑制因子，負向調節光信號調節器 PIF 蛋白的活性。植物光感受器感知弱光，然後觸發 PIF 的積累，導致 YUCCA 表達和生長素濃度增加。葉子中的生長素被轉運到下胚軸，在下胚軸中，IAA3 通過 TIR1 介導的蛋白酶體途徑降解，釋放對包括 PIF、ARF 和 BZR1 在內的幾種轉錄因子的抑制。

這些轉錄因子的靶基因被激活以促進下胚軸伸長。當光照條件足夠高時，葉片中的 PIF 積累減少，導致 YUCCA 表達下降，進而降低葉片中的生長素水平。因此，從葉中轉運至下胚軸的生長素也減少。低光及低 R:FR 促使幼苗葉片（Xi *et al.*, 2021）中的生長素合成量，亦影響生長素的運輸與分佈（Morelli and Ruberti, 2000）。在陰影處，生長素橫向重新分佈到下胚軸的表皮和皮質細胞，從而產生這兩個組織的伸長，造成下胚軸徒長。生長素的橫向分佈也導致通過發育中的維管束系統運輸的生長素減少，導致維管束分化的減弱和到達根部的生長素濃度下降，因而限制根部生長與發育（Morelli and Ruberti, 2000）。生長素誘導細胞生長的經典作用模式是酸性生長理論（acid growth theory），生長素激發細胞膜上質子幫浦的作用，使質外體細胞壁裡的 pH 值下降。細胞壁的酸化使纖維素微纖維間的氫鍵斷裂，細胞壁鬆動，可塑性增加。水分滲入細胞內，細胞產生膨壓而使細胞壁伸展，因此高水勢環境會加劇苗株之徒長現象。

低光通過影響纖維素、半纖維素和果膠的積累來抑制細胞壁沉積；高溫和 high 水勢對果膠的積累有顯著影響。得出的結論是，在下胚軸伸長過程中細胞壁沉積受到嚴格控制，低光、高溫和 high 水勢通過抑制細胞壁沉積，尤其是果膠的沉積來促進下胚軸伸長，而伸長率隨著壁厚降低而升高（Wang and Shang, 2020）。低光抑制苗株下胚軸細胞壁的增厚，促使生長素合成並運送至下胚軸表皮和皮質細胞，有利於生長素誘導細胞生長之酸性生長理論發生，使下胚軸快速伸長。而下胚軸過長之菜苗容易倒伏，且定植時容易斷裂，影響定植速度及造成菜苗耗損。

光質對苗株生長影響方面，相較於全紅光處理，藍光比例較高之 R:B=1:1 和 R:B=0:1 處理抑制苗株株高、下胚軸徒長之效果最佳，莖長則以 R:B=1:1 處理顯著最低，顯示藍光對改善小白菜苗株徒長尤為重要。藍光可抑制植株徒長，降低株高（Mortensen and Strømme, 1987）及莖長（Nanya *et al.*, 2012）促進幼苗光形態發生（Photomorphogenesis），有助於幼苗生長（Johkan *et al.*, 2010; Kendrick and Kronenberg, 1986; Lefsrud *et al.*, 2008; Mizuno *et al.*, 2011）。此試驗結果與水稻 IR1552（紫葉）和 TS10（綠葉）幼苗以 LED 照射 14 d，紅光和綠光照射下會促進地上部伸長，而藍光會抑制地上部伸長（Chen *et al.*, 2014）結果相似。

二、補光及光質對苗株葉片性狀之影響

補光及光質亦會影響苗株的葉部形態。植株若於光線不足的環境中生長，除植株下胚軸及莖會抽長，葉片形態長而薄，葉柄也較長，造成植株徒長，植株高度增加（洪與宋，2013），主要是植物因應環境光線不足，調整生長形態，以提升爭取光源競爭能力之表現，即避陰綜合症（Courbier and Pierik, 2019）。

本試驗中葉長調查方式包含葉柄及葉身長，以對照組葉長最長，而 R:B=1:1 補光處理組抑制徒長效果最顯著，其葉長（含葉柄長）呈現最短（表二）。葉寬及葉面積均以全紅光補光處理最大，未補光對照組葉面積則最小。因植物避陰綜合症刺激下胚軸、節間和葉柄的伸長，而葉片的擴張受到抑制（Ballaré and Pierik, 2017）。未補光對照組因發生植物避陰綜合症，葉柄伸長而使葉長顯著較長，但葉面積擴張受到抑制而顯著最小。而紅光有利於植物光合作用，促進葉片生長，增加葉面積（Lefsrud *et al.*, 2008）。許多研究指出，在人工光源照射下，紅光在紅藍混合光中比例越高，葉面積越大，相反的藍光比例在紅藍光比例中越高，葉面積越小（張等，2009；Hernandez and Kubota, 2014; Son and Oh, 2013）。本試驗結果顯示，小白菜的葉面積於補光 R:B=1:0 處理下葉面積最大，R:B=2:1 次之（表二），顯示紅光比例越高，可顯著增加菜苗葉面積。

三、補光及光質對苗株生物量累積與分配之影響

光照直接影響植株光合作用、碳水化合物合成及生物量累積。本試驗各補光處理均顯著提升苗株之生物量累積，包含總鮮重、總乾重、地上部鮮、乾重及地下部鮮、乾重均顯著較未補光對照組增加（表三）。其中以 R:B=1:0 全紅光補光處理組，促進苗株生長提升生物量累積效果最佳。總鮮重、總乾重、地上部鮮、乾重及地下部鮮重，均以 R:B=1:0 全紅光補光處理組最佳。總鮮重為未補光對照組之 1.65 倍，總乾重則為對照組之 2.3 倍，地上部鮮重為未補光對照組之 1.5 倍，相當於增產 50%。因紅光光質有利於光合作用並可促進葉片生長，增加葉面積，利於碳水化合物之累積，增加苗株鮮重（Azad *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012），使紅光補光處理組生物量累積最佳。

而環境中的光除直接影響光合作用及生物量累積，光訊號及光質亦會影響植物的資源分配與植株形態變化，在光線充足的環境，植株會加強對地下部的生物量分配；而在低光環境下，則會增加對地上部的資源分配，莖向上徒長，根系生長減少（洪與宋，2013；Morelli and Ruberti, 2000）。而藍光光質有助於抑制徒長及促進地下部根系生長強壯（Johkan *et al.*, 2010）。王等研究顯示補光對育苗有促進作用，可增加植株之全株鮮重及地下部乾重，對根系活力也有顯著影響（王等，2015）。本試驗中，地下部乾重以 R:B=1:1 補光處理組最重，為對照組之 2.43 倍。經試驗研究顯示，補光可顯著改善苗株徒長情形，提升蔬菜育苗苗株生長及生物量累積。R:B=1:0 全紅光補光處理組有助於促進葉片生長、提升整體生物量累積，而 R:B=1:1 補光處理組，則抑制徒長效果最為顯著，且有較佳的地下部生長情形。

四、補光及光質對苗株壯苗指數及絕對生長速率之影響

短期葉菜類栽培時程短，苗的品質健壯與否影響甚鉅，故有農諺云：「壯苗五成收」。品質佳的菜苗苗株通常較為矮壯，而非徒長。所以壯苗外觀特點，主要有莖粗短、株高矮、節間短、葉片厚、葉色濃綠、根部比例高、根系多且白色健康等（洪與宋，2013）。已有多篇研究文獻採用壯苗指數及作物絕對生長速率（公式如材料與方法所示），以評估各補光處理下之壯苗指標與菜苗生長情形（陳與宋，2015；陳等，2002；戴等，2013；戴與蔡，2015）。

本試驗結果顯示，未補光對照組之壯苗指數及絕對生長速率均顯著較各補光處理組低，壯苗指數以 R:B=1:1 補光處理組顯著最佳，為對照組之 3 倍（表四）。絕對生長速率以 R:B=1:0 及 R:B=1:1 補光處理較高，為對照組之 2.16-2.30 倍。表示補光處理有效促進菜苗光合作用累積乾物重，而使絕對生長速率提升約 2 倍。補光處理可改善光線不足苗株徒長情形，抑制苗株徒長情形，顯著降低株高及下胚軸長度，增加莖粗，促進葉片及根系生長，使苗株較符合壯苗之外觀特點，壯苗指數評估結果，提升至對照組之 3 倍，故補光處理對提升菜苗健壯程度與促進生長速率效果顯著。

結 論

宜蘭地區秋冬季易受東北季風與地形因素時常降雨，近年因反聖嬰現象加劇降雨情形，甚至數月連續霪雨。而長時間低光高溼氣候，不利作物光合作用生長發育，且易促使植物產生避陰綜合症。造成蔬菜育苗徒長、下胚軸伸長、根系生長緩慢及對病蟲害防禦性減弱等問題。導致有機蔬菜育苗時間延長且品質下降。綜上可知，補光處理可促進菜苗生長，降低株高、下胚軸長、莖長，增加莖粗、葉數、地上部乾鮮重、地下部乾鮮重，及顯著提高壯苗品質及絕對生長速率。R:B=1:0 補光處理有助於促進葉片生長，葉面積增加 23.3%，促進生物量累積，提升產量，地上部鮮重增加 50%。而 R:B=1:1 補光處理組，則抑制徒長效果最為顯著，且有較佳的地下部生長情形。綜合生育狀況，以抑制徒長情形、提升壯苗指數及絕對生長速率評估，R:B=1:1 可應用於宜蘭地區秋冬季霪雨低光時期，提升小白菜'蜜雪兒'育苗品質及生長速率，而 R:B=1:0 則有助於提升生長速率。

參考文獻

1. 王芳、高芳雲、呂順、夏玲、劉建平、鄭漢文、莊華才、李洪波、陳麗娜 2015 不同比例紅藍 LED 燈對蔬菜育苗的補光效應 熱帶作物學報 36(8):1398-1402。
2. 李雯琳、鬱繼華、張國斌、楊其長. 2010. LED 光源不同光質對葉用萵苣幼苗葉片氣體參數和葉綠素螢光參數的影響. 甘肅農業大學學報 1:47-51。
3. 洪明谷、宋好 2013 光強度對瑞喜'結球白菜種苗生長之影響 興大園藝 38(1):27-38。
4. 徐天佑、曾鴻陽 2007 臺灣地區有關太陽能日照量之環境時空因素研究探討 環境教育學刊 6:21-32。
5. 張歡、徐志剛、崔瑾、郭銀生、谷艾素 2009 不同光質對蘿蔔芽菜生長和營養品質的影響 中國蔬菜 10:28-32。
6. 陳可薇、宋好. 2015. 番茄莖葉資源化再利用於蔬菜栽培之研究. 國立中興大學園藝學系碩士學位論文。
7. 陳詩文、宋好. 2015. 栽培密度及遮陰對小白菜 (*Brassica campestris* L. *Chinensis* group) 生長及硝酸根離子含量之影響. *Journal of Agriculture and Forestry*. 64:115-124。
8. 陳俊位、戴振洋、蔡宜峰 2002 不同氮肥型態對甘藍穴盤苗之影響 臺中區農業改良場研究彙報 76:55-63。
9. 童輝、彭瑩、殷武平、袁祖華. 2018. LED 燈補光對早春苦瓜幼苗生長的影響 上海蔬菜 4:4142。
10. 戴振洋、蔡宜峰、張隆仁、邱建中 2002 不同介質與育苗盤對紫錐花幼苗品質之影響 臺中區農業改良場研究彙報 77:1-9。
11. 戴振洋、蔡宜峰、陳俊位、蔡正宏 2013 有機農業-番茄穴盤苗生產技術之開發應用 臺中區農業改良場特刊 117:51-62。

12. 戴振洋、蔡宜峰 2015 不同穴格與苗齡對有機結球萵苣生育之影響 臺中區農業改良場研究彙報 128:53-63。
13. Azad, M.O.K., I.J. Chun, J.H. Jeong, S.T. Kwon and J.M. Hwang. 2011. Response of the growth characteristics and phytochemical contents of pepper (*Capsicum annum* L.) seedling with supplemental LED light in glass house. J. Bio- Environ. Con. 23:182-188
14. Ballaré, C.L. and R. Pierik. 2017. The shade-avoidance syndrome: multiple signals and ecological consequences. Plant Cell Environment 40:2,530-2,543.
15. Casal, J.J. and M.J. Yanovsky. 2005. Regulation of gene expression by light. Int. J. Dev. Biol. 49:501-511.
16. Chen, M., Chory, J. and C. Fankhauser. 2004. Light signal transduction in higher plants. Annu. Rev. Genet. 38:87-117.
17. Chen, C.C., M.Y. Huang, K.H. Lin, S.L. Wong, W.D. Huang, and C.M. Yang. 2014. Effects of Light Quality on the Growth, Development and Metabolism of Rice Seedlings (*Oryza sativa* L.). Res. J. Biotech. 9:15-24.
18. Courbier, S. and R. Pierik. 2019. Canopy light quality modulates stress responses in plants. iScience 22:441-452.
19. Fittinghoff, K. 2008. Functional analysis of the spa gene family in *Arabidopsis thaliana*. PhD Thesis. Universität zu Köln. Germany.
20. Folta, K.M. and K.S. Childers. 2008. Light as a growth regulator: Controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. HortScience 43:1,957-1,964.
21. Formisano, L., Miras-Moreno, B., Ciriello, M., Zhang, L., Pascale, S.D., Lucini L. and Y. Roupael. 2022. Between light and shading: morphological, biochemical, and metabolomics insights into the influence of blue photosensitive shading on vegetable seedlings. Frontiers Plant Sci. 13:890,830.
22. Givens, S.R., D.S. Del Moro, S.E. Parker, A.G. Renny, C.E. Sams, and K.J. Walters. 2023. Light Intensity during Green-Leaf Butterhead Lettuce Propagation Influences Yield and Carotenoids at Harvest. Horticulturae. 9:223.
23. Hernandez, R. and C. Kubota. 2014. Growth and morphological response of cucumber seedlings to supplemental red and blue photon flux ratios under varied solar daily light integrals. Scientia Horticulturae 173:92-99.
24. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hahida, S. and T. Yoshihara. 2010. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. HortScience 45:1,809-1,814.
25. Kronenberg G.H.M. and R.E. Kendrick. 1986. The physiology of action. Photomorphogenesis in plants. p.99-114.
26. Lefsrud, M.G., Kopsell, D.A. and C.E. Sams. 2008. Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. HortScience 43:2,243-2,244.
27. Li, H.M., Tang, C.M., Xu, Z.G., Liu, X.Y. and X.L. Han. 2012. Effects of different light sources on the growth of non-heading chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). J. Agr. Sci. 4(4):262-273.
28. Lin, C. 2002. Blue light receptors and signal transduction. Plant Cell 14:S207-S225.
29. Liu, Y., Jafari, F. and H. Wang. 2021. Integration of light and hormone signaling pathways in the regulation of plant shade avoidance syndrome. aBIOTECH 2:131-145.

30. Marcelis, L.F.M., A.G.M. Broekhuijsen, E.M.F.M. Nijs, M.G.M. Raaphorst and E. Meinen. 2006. Quantification of the growth response to light quantity of greenhouse grown crops. *Acta Hort.* 711:97-104.
31. Mizuno, T., Amaki, W. and H. Watanabe. 2011. Effects of monochromatic light irradiation by LED on the growth and anthocyanin contents in leaves of cabbage seedlings. *Acta Horticulturae* 907:179-184.
32. Morelli, G. and I. Ruberti. 2000. Shade avoidance responses. Driving auxin along lateral routes. *Plant Physiology* 122:621-626.
33. Mortensen, L.M. and E. Strømme. 1987. Effects of light quality on some greenhouse crops. *Scientia Horticulturae* 33:27-36.
34. Nanya, K., Ishigami, Y., Hikosaka, S. and E. Goto. 2012. Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings. *Acta Horticulturae* 956:261-266.
35. Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Sirtautas, R., Novičkovas, A. and P. Duchovskis. 2012. The effect of supplementary LED lighting on the antioxidant and nutritional properties of lettuce. *Acta Horticulturae* 952:835-841.
36. Shafiq, I., Hussain, S., Hassan, B., Raza, A., Ahmad, I., Asghar, M.A., Wang, Z., Tan, T., Li, S., Tan, X., Ghafoor, A., Manaf, A., Ansar, A., Yang, F. and W. Yang. 2021. Crop responses and management strategies under shade and drought stress. *Photosynthetica* 59(4):664-682.
37. Son, K.H., and M.M. Oh. 2013. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *Hortscience* 48(8):988-995.
38. Song, J.L., Cao, K., Hao, Y.W., Song, S.W., Su, W. and H.C.Liu. 2019. Hypocotyl elongation is regulated by supplemental blue and red light in cucumber seedling. *Gene* 707:117-125.
39. Stutte, G.W., S. Edney, and T. Skerritt. 2009. Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *Hortscience* 44(1):79-82.
40. Walter A. and K.A. Nagel. 2006. Root growth reacts rapidly and more pronounced than shoot growth towards increasing light intensity in tobacco seedlings. *Plant Signaling & Behavior*. 1:225-226.
41. Wang, H. and Q. Shang. 2020. The combined effects of light intensity, temperature, and water potential on wall deposition in regulating hypocotyl elongation of *Brassica rapa*. *PeerJ* 8:e9106.
42. Xi, Y., Y. Yang, J. Yang, X. Zhang, Y. Pan, and H. Guo. 2021. IAA3-mediated repression of PIF proteins coordinates light and auxin signaling in *Arabidopsis*. *PLOS Genetics*.
<https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1009384>.
43. Yang, H.C., Y.H. Kim, H.J. Byun, I.L. Choi, N.T. Vu, D.H. Kim, H.S. Yoon, and D.C. Jang. 2023. Identification of appropriate light intensity and daytime temperature for cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings in a plant factory with artificial lighting for use as grafting material. *Sustainability* 15:4,481.