

光強度對'瑞喜'結球白菜種苗生長之影響

洪 明 谷¹⁾ 宋 好²⁾

關鍵字：結球白菜、人工光源、育苗

摘要：本研究調查人工光源之光強度對結球白菜穴盤苗株生長之影響，以期能更有效率的使用人工光源。'瑞喜'結球白菜苗株出土後，於生長室內以 180 ± 10 、 210 ± 10 、 240 ± 10 、 $270\pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 四種不同光強度育苗，以網室內自然光照作為對照組。結果顯示'瑞喜'結球白菜在 $270\pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光強度下徒長最少，根據壯苗指數來分析結果顯示在 270 ± 10 、 $240\pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光強度下的表現較佳且彼此差異不大，在成本的考量下選擇 $240\pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光強度作為結球白菜育苗時最適當之光強度。

前 言

於設施內進行穴盤育苗為大宗蔬菜育苗主要方式，是一套高效率育苗技術。目前重要蔬菜作物多採穴盤育苗並於溫網室進行，其具有節省種子用量、幼苗發育整齊、快速、健壯且規格化，苗株供應不受天候影響、品質穩定、田間存活率高、生長勢整齊、避免育苗期受到病蟲危害之效果(王等，2002；黃及李，1996)。然而在室內(溫、網室)進行育苗時，常會有光照的問題發生，一但發生光照不足的情形時，苗株品質通常會受影響，嚴重時甚至會影響到定植及其栽培後的表現。

精密設施內栽培蔬菜可穩定蔬菜生產之環境，然而設備和設施均耗費不貲，為了提高單位面積的使用率，近年來立體式栽培逐漸被產業所採用，如草莓之高架栽培法、菇蕈類之立體栽培等，具有改善作業姿勢、增加單位面積產量、穩定品質等優點(渡邊，1999)。為了能更有效去利用室內每一個空間而出現了立體化栽培，但同時也衍生出光照的補充和供給的問題。

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者。

在室內環境下，如有光照量不足、光的供給不穩定，導致影響苗株品質。本試驗以結球白菜作為試驗材料，探討在人工光源下，以不低於何種光強度條件育苗時，便可使穴盤苗株品質達到最佳，以期能在提高人工光源使用效率的同時還可兼顧育苗品質。

材料與方法

一、供試驗品種

本試驗採用農友種苗股份有限公司所生產之結球白菜'瑞喜'為材料。

二、人工光源

廣域波長之 T12 植物生長螢光燈管(OSRAM SYLVANIA)，波長分布如下圖 1 所示。

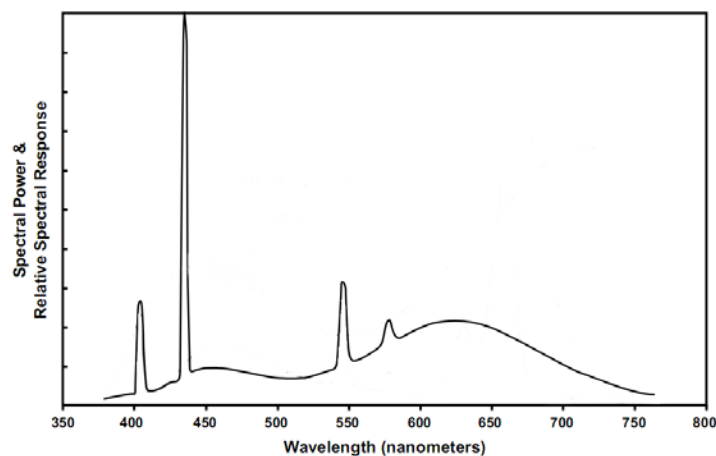


圖 1. T12 螢光燈管波長分布

Fig. 1. The wavelength distribution of T12 type fluorescent lamp

三、育苗

試驗於 2011 年 3 月至 2011 年 7 月在中興大學園藝系館地下室之植物生長室分批進行，對照組則於園藝系網室栽培。先於網室內將供試結球白菜種子播於 128 格 PE 圓孔穴盤中(每穴格容積為 16.4 cm³)，採用泥炭土(Bio-Mix Potting substrate 110 B, Tref, The Netherlands)、蛭石及珍珠石(南海 3 號)以 8:1:1 比例混拌均勻的介質裝填於穴盤穴格中，並於每穴播入 2~3 粒種子，約 3 天左右種子便會發芽出土。當苗株子葉展開後進行疏苗，每穴僅留一株，並於苗出土後一周開始，每三天以稀釋 1000 倍且添加有展著劑之葉綠精水溶液進行葉面施肥。

四、光源處理

萌芽後，將穴盤移到生長箱內之立體栽培架上，並於完全黑暗的環境條件下，以 T12 螢光燈管作為育苗之人工光源，藉由調整光源與苗株株冠之距離得到 4 種不同的光強度 (180 ± 15 、 210 ± 15 、 240 ± 15 、 $270 \pm 15 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 處理，所給予之代號依序分別為 FL-180、FL-210、FL-240、FL-270，以網室內自然日照下作為對照組(Control)。光週期為 14/10 小時，日/夜溫則控制在 28/23 °C。在種苗出土後 7 天、14 天、21 天進行生育性狀、葉綠素、可溶性糖及澱粉含量之調查，試驗設計為 RCBD，每處理三重覆，每重覆三株。

五、統計分析

調查所得之數據統計採用 SAS 套裝軟體(SAS Institute)中的 PROC ANOVA (analysis of variance procedure) 進行變方分析($\alpha=0.05$)，以 Fishers' s LSD 進行各處理間平均值之比較。

結 果

(一) 苗株生育性狀調查

'瑞喜'結球白菜苗株在不同光強度處理下第 21 天地上部生育性狀如圖 2、表 1 所示。與對照組相比，下胚軸長除了 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理組顯著較小之外，其餘組別間皆無顯著差異。莖徑則以對照組最粗，為 2.04 mm，在處理組之間隨著光強度的遞減而逐漸縮小， $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理組的莖徑與對照組間無顯著差異，且是四個處理組別中最大的，為 2.08 mm； 210 ± 10 及 $240 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 兩處理組次之，分別為 1.70 mm、1.85 mm，且之間無顯著差異； $180 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理組之苗株莖徑最細，僅只有 1.62 mm，雖與 $210 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理組無顯著差異，但顯著低於其他各組。在莖長與株高的部分皆以 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光強度處理下顯著最低，分別是 0.91 cm、7.67 cm，相較之下對照組有顯著較大的莖長(1.29 cm)和株高(10.02 cm)，而另外三組處理組之間的莖長和株高則都介於 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理組與對照組兩者之間，且此三個光強度處理組之間均無顯著差異，同時也都低於對照組，尤其株高均顯著較對照組矮。結球白菜苗株之葉片長度、寬度及長寬比也因光強度的不同而有所差異， 210 ± 10 及 $240 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 兩處理組有最大的葉片長度，分別為 6.60 cm 和 6.50 cm，而此兩組之間無顯著差異且均顯著大於對照組； $180 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理組次之，為 5.63 cm，顯著低於 210 ± 10 及 $240 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 兩處理組，但與對照組無顯著差異； $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理組的苗株葉片長度最小，僅只有 5.24 cm，且顯著低於各組。苗株葉片寬度在 $240 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理下為 4.10 cm，顯著大於其他處理組而與對照組的 4.00 cm 無顯著差異； 180 ± 10 和 $210 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理組次之且兩者間無顯著差異，分別為 3.89 cm 和 3.80 cm，其中 $210 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 顯著低於對照組但 $180 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 則與對照組間無顯著差異；與葉長的結果相似，結球白菜苗株葉片寬度在 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理下顯著低於其他各組，僅只有 3.30 cm。四種光

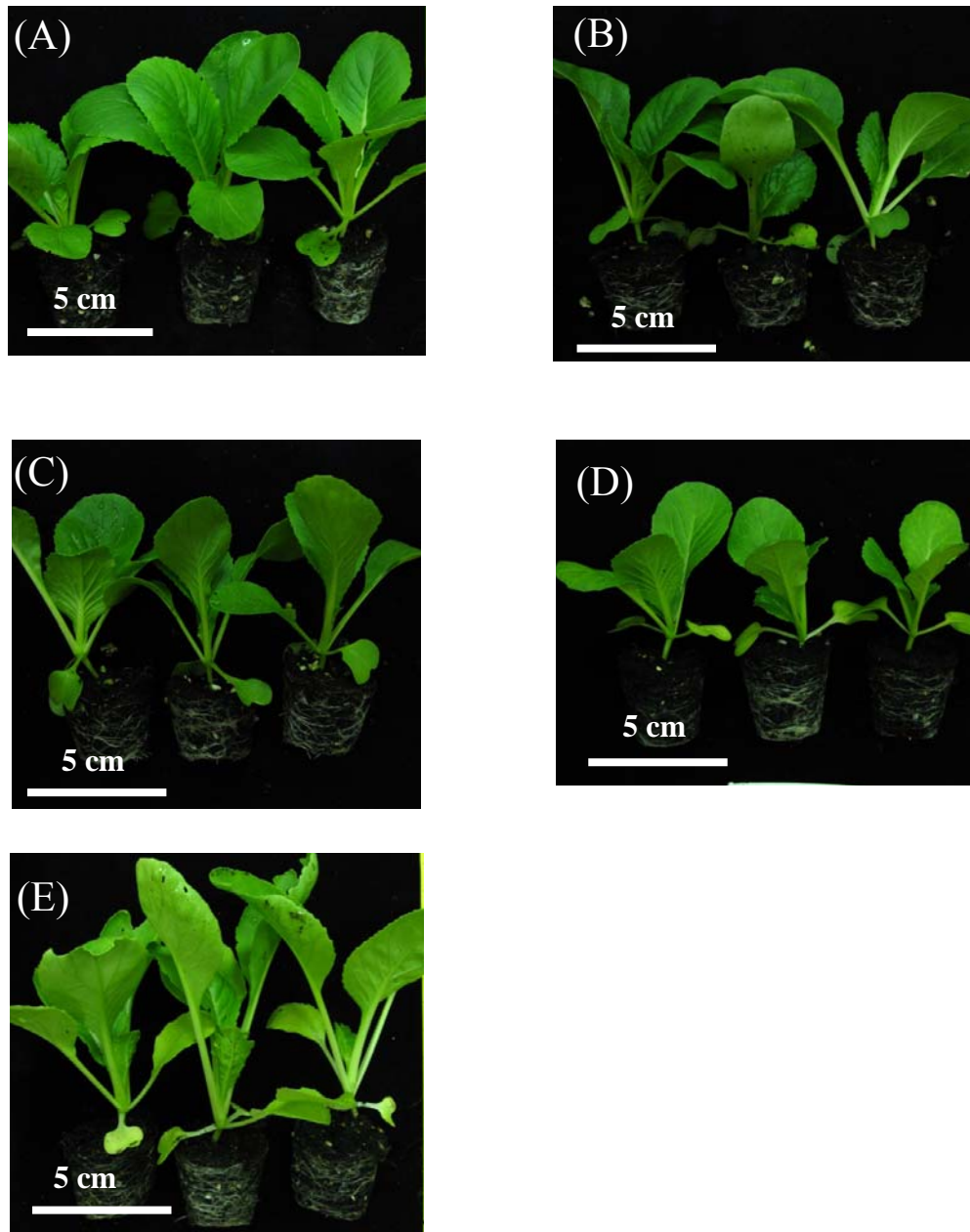


圖2. 結球白菜'瑞喜'在(A) FL-180、(B) FL-210、(C) FL-240、(D) FL-270、(E) Control 不同光強度處理下第21天之生長情形

Fig. 2. The growth condition of Chinese cabbage 'Auspicious' seedlings treated with (A) FL-180、(B) FL-210、(C) FL-240、(D) FL-270、(E) Control for 21 days

強度處理的葉片長寬比均大於對照組，且除了 $180 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理與對照組無顯著差異外，其餘處理組別均顯著大於對照組，其中又以 $210 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理可得到最大的葉片長寬比。葉面積以對照組最大，為 48.35 cm^2 ，四種光強度處理組別均小於對照組，根據處理的光強度大小依序分別為 43.68 cm^2 、 39.70 cm^2 、 36.30 cm^2 、 31.62 cm^2 ，其葉面積有隨著光強度的增加而呈現下降的趨勢，當中以 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理顯著低於其他各組。葉數在各處理組之間均無顯著差異，但當中 210 ± 10 、 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 兩組的葉數顯著低於對照組，而另兩組則與對照組無顯著差異。

(二) 苗株生物量及根部長度之調查

'瑞喜'結球白菜在不同光強度處理下第 21 天苗株鮮、乾重及根長表現如表 2。與對照組相比，四個光強度處理組不論是地上部或地下部的鮮、乾重均顯著小於對照組，在四種光強度處理組中以 $240 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理有最佳的地上部表現，鮮、乾重分別為 1.521 g 、 0.180 g ，但與 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理組的 1.398 g 、 0.150 g 則無顯著差異。地下部以 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理組表現最佳，無論是鮮、乾重均顯著大於另外三個處理組別，而 $240 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 在地下部的表現僅次於 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。在根長方面，有隨著光強度的增加而遞增的趨勢，且以對照組的苗株根長最長，但各組之間則無顯著差異。

(三) 苗株之壯苗指數分析

不同光強度處理對'瑞喜'結球白菜 21 天苗齡株壯苗指數之影響如表 3 所示。 240 ± 10 、 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 兩組在五種壯苗指數的表現最佳，除了壯苗指數(四)之外，其餘壯苗指數分析的結果在兩處理間均無顯著差異，且兩處理組也均與對照組間無顯著差異。

(四) 苗株葉片之葉綠素及光合產物含量分析

不同光強度處理對'瑞喜'結球白菜 21 天苗齡株葉片葉綠素含量及光合產物變化之影響如表 4 所示。以 $210 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光強度處理之甘藍苗株葉片葉綠素 a、葉綠素 b 及總葉綠素含量最高，每單位克鮮重分別為 1.503 、 0.532 、 2.034 mg ，皆顯著大於對照組，但與 $240 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理組在葉綠素的表現上無顯著差異，且除了 $210 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理組顯著高於對照組外，其餘組別皆與對照組無顯著差異。葉綠素 a、b 比值於 180 ± 10 及 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理下顯著大於 210 ± 10 、 $240 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 兩組，且各別兩組間無顯著差異，與對照組相比，四個處理組別均顯著小於對照組。結球白菜苗株葉片全可溶性糖含量在 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理下最高，每單位克乾重的葉片含有 80.17 mg ， $240 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理下次之，每單位克乾重的葉片含有 71.36 mg ，而 210 ± 10 及 $180 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理下最低且之間無顯著差異，每單位克乾重的葉片分別含有 63.39 、 59.85 mg ，以上四個處理組別均顯著小於對照組。澱粉含量同樣以 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理顯著最高，每單位克乾重的葉片含有 111.93 mg ，雖低於對照組的 124.24 mg ，但其兩者間無顯著差異； 240 ± 10 、 $210 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 兩處理組次之且之間無顯著差異，每單位克乾重的葉片澱粉含量分別為 88.27 、 86.10 mg ，而 $180 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理最低，每單位克乾重的葉片澱粉含量只有 45.52 mg ，且顯著小於各組。

表 1. 結球白菜'瑞喜'苗株在不同光強度處理下第 21 天地上部生長情形

Table 1. The shoot growth condition of Chinese cabbage 'Auspicious' seedlings treated with different light intensity for 21 days

處 理	下胚軸長 (cm)	莖徑 (mm)	莖長 (cm)	株高 (cm)	葉長 (cm)	葉寬 (cm)	葉片 長寬比	葉面積 (cm ²)	葉數
FL-180 ^y	0.79 ab ^z	1.62 d	1.25 a	8.92 b	5.63 bc	3.89 bc	1.45 c	43.68 ab	4.78 ab
FL-210	0.81 ab	1.70 cd	1.03 ab	8.60 b	6.60 a	3.80 c	1.74 a	39.70 bc	4.01 b
FL-240	0.85 a	1.85 bc	1.09 ab	8.50 b	6.50 a	4.10 a	1.59 b	36.30 cd	4.20 ab
FL-270	0.63 b	2.08 a	0.91 b	7.67 c	5.24 c	3.30 d	1.59 b	31.62 d	4.11 b
Control	0.77 ab	2.04 ab	1.29 a	10.02 a	5.68 b	4.00 ab	1.42 c	48.35 a	5.00 a

^z : 同欄內相同英文字母表示以 Fisher's LSD test 未達 P ≤ 0.05 的顯著水準

^y : FL= Fluorescent lamps ; 180、210、240、270 分別代表處理之光強度(μmol m⁻² s⁻¹)

表2. 不同光強度處理第21天之結球白菜'瑞喜'苗株鮮、乾重及根長

Table 2. The fresh weight, dry weight, and root length of Chinese cabbage 'Auspicious' seedlings treated with different light intensity for 21 days

處 理	地上部		地下部		根長 (cm)
	鮮重(g)	乾重(g)	鮮重(g)	乾重(g)	
FL-180 ^y	1.440 b ^z	0.124 c	0.125 d	0.017 b	12.75 a
FL-210	1.482 b	0.130 c	0.137 cd	0.019 b	13.49 a
FL-240	1.521 b	0.180 ab	0.149 c	0.017 b	14.06 a
FL-270	1.398 b	0.150 bc	0.205 b	0.026 a	14.28 a
Control	2.144 a	0.197 a	0.264 a	0.023 a	15.53 a

^z : 同欄內相同英文字母表示以 Fisher's LSD test 未達 P ≤ 0.05 的顯著水準

^y : FL= Fluorescent lamps ; 180、210、240、270 分別代表處理之光強度(μmol m⁻² s⁻¹)

表 3. 結球白菜'瑞喜'苗株在不同光強度處理下第 21 天之壯苗指數

Table 3. Seedling indexes of Chinese cabbage 'Auspicious' seedlings treated with different light intensity for 21 days

處 理	壯苗指數 (一) ^x	壯苗指數 (二)	壯苗指數 (三)	壯苗指數 (四)	壯苗指數 (五)
FL-180 ^y	0.097 b ^z	35.317 a	0.168 c	0.046 d	0.026 b
FL-210	0.126 ab	38.846 a	0.214 bc	0.051 cd	0.029 b
FL-240	0.170 a	34.203 a	0.313 ab	0.061 bc	0.043 a
FL-270	0.166 a	35.284 a	0.348 a	0.078 a	0.047 a
Control	0.159 a	38.803 a	0.329 a	0.069 ab	0.043 a

^z: 同欄內相同英文字母表示以 Fisher's LSD test 未達 $P \leq 0.05$ 的顯著水準

^y: FL= Fluorescent lamps; 180、210、240、270 分別代表處理之光強度($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

^x: 壯苗指數(一) = 地上部乾重/莖長

壯苗指數(二) = 葉面積/莖長

壯苗指數(三) = (莖徑/莖長)×地上部乾重

壯苗指數(四) = [(莖徑/株高)+(地下部乾重/地上部乾重)]×全株乾重

壯苗指數(五) = (莖徑/株高)×(全株乾重)

表 4. 結球白菜'瑞喜'苗株在不同光強度處理下第 21 天之葉綠素及光合產物含量

Table 4. Leaf chlorophyll and photosynthetic product content of Chinese cabbage 'Auspicious' seedlings treated with different light intensity for 21 days

處 理	chl a (mg/g)	chl b (mg/g)	chl a/b	葉綠素總量 (mg/g)	可溶性糖 (mg/g)	澱粉 (mg/g)
FL-180 ^y	1.078 b ^z	0.350 b	3.08 b	1.428 c	59.85 c	45.52 c
FL-210	1.503 a	0.532 a	2.82 c	2.034 a	63.39 c	86.10 b
FL-240	1.393 ab	0.483 a	2.88 c	1.876 ab	71.36 bc	88.27 b
FL-270	1.329 ab	0.440 ab	3.04 b	1.768 abc	80.17 b	111.93 a
Control	1.125 b	0.343 b	3.28 a	1.468 bc	111.48 a	124.24 a

^z: 同欄內相同英文字母表示以 Fisher's LSD test 未達 $P \leq 0.05$ 的顯著水準

^y: FL= Fluorescent lamps; 180、210、240、270 分別代表處理之光強度($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

討 論

(一)光強度對苗株外表性狀之影響

光度的變化對植物而言有直接和間接兩種影響，直接影響是光度的多寡對光合作用速率之作用，而間接影響則是指光度對於植物形態生長及其生理反應之作用(陳等，2011；Kozłowski *et al.*, 1991; Valladares and Niinemets, 2008)。光強度影響苗株的正常生長和發育，其大致上可以苗株外表性狀、生物量、葉綠素及光合產物等分析和評估。苗株品質的好壞與移植後之存活率、生產量有很大的關係。一般對結球白菜穴盤苗品質的要求為苗株矮且莖粗，其外觀特徵大致上是(1)下胚軸粗短、(2)節間短、(3)葉片厚、(4)葉色濃綠、(5)大量白色且健康的根等特點。

在本試驗中，'瑞喜'結球白菜種苗於出土後以不同光強度處理 21 天，結果顯示在四種光強度處理中，只有 $270 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 有稍微較明顯抑制苗株下胚軸生長的情形，顯示 180 ± 10 到 $270 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 範圍內的不同光強度對'瑞喜'結球白菜苗株下胚軸長度的影響不大，但在莖徑的部分，則是隨著光強度的提升而呈現增加的趨勢，顯示在此範圍內的光強度對結球白菜莖徑的影響大於下胚軸；若只針對下胚軸的徒長與否以及莖的粗細來衡量其品質時，雖然光強度對下胚軸長的影響不大，但莖徑的粗細則受其所控制，因此光強度是越高越有利於結球白菜苗株品質(圖 2、表 1)。

在苗株高度方面，因計算的方式是將苗株葉片豎直之後再量測基部至最頂端的長度，所以莖長、葉片長度甚至是葉柄都是其影響因子，而 Urbas 等人(2000)便指出長期生長於弱光環境中的植物葉片大、薄、柔軟且葉柄較長，所以無論是因所給予的光強度較低或遮陰問題所產生的弱光環境，皆有可能使苗株高度增加，與本試驗結果相符。另外，穴盤苗的地上部生長過快也可能是造成苗株高度增加的原因，如自然光照下的對照組苗株高度之所以較長的原因，可能就是因地上部生長較旺盛，再加上外在日照不穩定及穴盤中每個穴格之間的距離小，因此當苗株長至一定大小後便開始會有互相遮陰的現象產生。通常植物在遇到不利的環境時都會有應對的措施，也就是在互相遮陰的情況下為了接收更多、更強的光線，使植株莖部或葉柄快速抽長、葉面積迅速加大，導致對照組株高明顯較其他處理組高的原因。而過高的苗株高度對種苗品質來說並非是件好事，其代表徒長的發生。'瑞喜'結球白菜在光強度小於 $270 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的環境下育苗時，會有明顯較高的苗株高度，對 210 ± 10 、 $240 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 兩處理組而言，由於光強度較弱，造成苗株高度增加的主要原因可能是因葉片長度的增加所致，次要原因則是莖部節間抽長，而對 $180 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理而言，其造成苗株高度增加的原因則較可能是因莖部節間抽長所致，因為其葉長較短，使得葉片的長寬比較小。

不同光強度也會影響苗株的葉面積，在本研究中顯示結球白菜苗株葉面積隨著光強度的降低而逐漸增加，與前人研究的結果相同，即光照減弱時，葉片較薄而大，光照增加時，葉片較厚且單葉面積縮小，四個光強度處理組皆小於對照組，此可能與外在溫度及光照條件的差異有很大的關係。在苗株葉數方面，其與苗株整體生長速度有關，'瑞喜'結球白菜

在不同光強度處理下的葉數雖然沒有顯著差異，但以最低的 $180 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光強度處理最接近對照組，顯示低光環境下的苗株地上部生長會較快一些，但乾物含量並無隨之提升，且莖部較細，使其可能會較柔弱。

因此根據外表性狀調查的結果推論，'瑞喜'結球白菜在較不影響其苗株正常生長的條件下育苗時，所需的光強度大約皆在 $200 \sim 300 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 左右即可。

(二)光強度對苗株生物量累積及分配之影響

對蔬菜栽培而言，葉片的生長與光照度有密切關係，弱光會使葉片生長虛弱且薄，葉綠素亦較少，間接降低植株之光合作用能力，影響作物產量及品質(謝等，2001)，而對於蔬菜苗株而言亦同。光強度會影響苗株生物量的累積及分配情形，前人研究結果指出，在高光照水平下，植株會加大對地下部根(地下部)的生物量分配，低光照水平下則增加對葉(地上部)的生物量分配，中度光照條件下植株對根和葉的分配則處於兩者之間，主要由於光為生長於遮蔭或弱光環境下的植株之限制因子，植株為了增加光合作用面積以更大限度地捕獲光能，因此會相對地增加對葉(地上部)的投資，並減少對根(地下部)的投資，也可解釋成為了避免伴隨著高光而來的高溫，進而造成水份過度散失，使得苗株發展出較完善的根系，以利增加對水份的吸收能力(Poorter, 2001; Poorter and Kitajima, 2007)。「瑞喜」結球白菜苗株地上部鮮、乾重雖然較看不出上述所說的趨勢，但地下部的表現則與前人研究結果相符，即在較高的光強度下有較大的生物累積量(表二)。

在根部長度方面，'瑞喜'結球白菜因隨著光強度的增加而使地下部所分配到的生物量提高，進而使根長相對增加，但四個光強度處理及對照組間的差異不顯著，此可能是因為結球白菜本身的根系活力就比較差，且光強度處理的間隔小，使其在四種不同光強度處理間較不容易顯現出差異。在自然光照下的對照組苗株，其地上部的鮮、乾重皆明顯較高，此可能是因為其整體的生長速度較快、外表性狀相對較大所導致，但若要以生物量的分配及累積情形來直接判別何種光強度下的苗株品質較佳不太容易、也較沒有依據，此時便可根據前人研究所提出的相對指標和複合指表來分析，因其結合了苗株許多方面的數據計算而得，所以結果會較準確。根據五種不同的壯苗指數共同分析的結果顯示，'瑞喜'結球白菜在 240 ± 10 、 $270 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理下所得到的苗株品質最佳，同時也與對照組沒有差異，此表示結球白菜在 $240 \pm 10 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上的光強度處理便可得到較佳的苗株品質(表三)。

(三)光強度對苗株光合作用速率及產物之影響

在Chang和Troughton(1972)的研究報告中指出，高等植物的葉片均可合成葉綠素，包括葉綠素a及葉綠素b，而葉綠素a與b的比值在正常情況下約為3左右，許多研究指出光強度會影響植物葉片葉綠素含量及葉綠素a與b的比值，弱光環境下的植株葉綠素含量會大於相對較強光的環境，主要是因為較弱光的環境下會藉由增加葉中的總葉綠素含量，進而提高植株對光的利用效率(Wang *et al.*, 2010; Schaffer and Gaye, 1989)。此外，Wang等人(2010)進一步提到，在弱光環境所增加的葉綠素含量中，以葉綠素b所增加的幅度較大，此導致

了葉綠素a/b值下降，其主要是因角色與功能的不同所致，在楊等人(2004)的研究報告中就提到，葉綠素a同時擔任捕光與價分離兩種功能，為光合作用主要的色素，而葉綠素b則只擔任捕光功能，因此對葉綠素b而言，其主要是一輔助色素，用於輔助葉綠素a捕光、能量傳遞並保護與其結合之蛋白質以避免崩解。試驗結果顯示'瑞喜'結球白菜苗株在 210 ± 10 、 240 ± 10 及 $270\pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 三種光強度處理下，葉片葉綠素a、葉綠素b及葉綠素a/b值的變化與前人研究的結果較相似，即較低光強度處理下的苗株葉綠素總量會大於較高光強度處理組，且在較低光強度處理下也同樣因葉綠素b所增加的幅度較大，導致了葉綠素a/b值的下降；然而，在 $180\pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理下，可能是因為光強度低於其容忍範圍且時間長達3週，使得整體葉綠素生合成受到一點阻礙，造成葉綠素含量的顯著下降，以致於沒有另外三組光強度處理那樣隨著光強度下降而增加的趨勢出現，而此與華等人(2009)研究的結果相似。華等人(2009)以芸豆為試驗材料探討不同光照強度對其光合特性及產量性狀的影響，在其試驗結果中便提到，植株葉片葉綠素含量在遮光後短期內有所增加，但長時間遮光後，其含量會顯著下降。

許多文獻指出不同物種的栽培、生長和生產之最適光強度常取決於本身的光補償點和光飽和點，當所供給的光強度介於這兩者之間時，隨著光強度的下降，會使其碳水化合物愈不能充分合成，導致光合產物的下降，而光合產物即所謂的非結構性碳水化合物，可依據其可溶及不可溶的性質區分為可溶性糖和澱粉兩者(潘等，2002)。在本試驗的研究結果顯示，在苗株光合產物中的可溶性糖與澱粉含量皆隨著處理的光強度下降而減少，此與前人研究的結果相符合；然而，若苗株因光強度過低而導致光合產物減少時，可能會阻礙其本生的正常生長發育及生理代謝，進而降低苗株品質的可能性，因為在 Körner (2003)的研究報告指出，非結構性碳水化合物包含幾個重要的作用：能量的貯存、形質生長建構之提供、維持正常生理代謝等，其中澱粉為糖類的長期貯存型態，而可溶糖則因為是由多種聚合度不同的糖類所組成的集合體，故具有較多種功用(Poorter and Kitajima, 2007; Myers and Kiyajima, 2007)。

從以上內容可知，'瑞喜'結球白菜苗株在 240 ± 10 及 $270\pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光強度處理下的生長表現較佳，莖徑較粗且無徒長，苗株整體的鮮、乾重皆較重，且兩組處理苗株在五種壯苗指數分析的結果均較高，整體葉綠素含量適中且光合產物量較大，顯示'瑞喜'結球白菜在不低於 $240\pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的光強度下育苗時，可得到較好的苗株品質。

參考文獻

- 王裕權、謝桑煙、陳博惠。2002。不同穴盤型式及格數對甘藍、結球白菜移植苗品質、產量之影響。台南區農業改良場研究彙報 39:23-31。
- 陳書憲、蔡佳彬、劉瓊霏。2011。不同光度處理對台灣三種原生闊葉樹苗木碳水化合物累

- 積和分配的影響。林業研究季刊 33(1):65-76。
- 黃泮宮、李美娟。1996。蔬菜穴盤育苗技術。蔬菜自動化育苗技術研討會 p.161-179。
- 華勁松、戴紅燕、夏明忠。2009。不同光照強度對芸豆光合特性及產量性狀的影響。西北農業學報 18(2):136-140。
- 潘慶民、韓興國、白永飛、楊景成。2002。植物非結構性貯藏碳水化合物的生理生態學研究進展。植物學通報 19(1):30-38。
- 謝廣文、陳世銘、陳乃菁。2001。育苗環境與甘藍苗品質關係之模糊理論模擬。農業機械學刊 10(2):31-42。
- 渡邊慎一。1999。果菜類の省力・高品質生産技術。農耕と園藝 p.100-103。
- Chang, F. H., and J. H. Troughton. 1972. Chlorophyll a/b ratios in C3-C4-plants. *Photosynthetica* 6:57-65.
- Kozłowski, T. T., P. J. Kramer, and S. G. Pallardy. 1991. The Physiological ecology of woody plants. Academic Press, New York.
- Körner, C. 2003. Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems 2nd edn. Springer, Berlin.
- Myers, J. A., and K. Kiyajima. 2007. Carbohydrate storage enhances seedling shade and stress tolerance in a neotropical forest. *J. Ecology* 95:383-395.
- Poorter, L. 2001. Light-dependent changes in biomass allocation and their importance for growth of rain forest tree species. *Funct. Ecol* 15:113-123.
- Poorter, L., and K. Kitajima. 2007. Carbohydrate storage and light requirements of tropical moist and dry forest tree species. *Ecology* 88(4):1000-1011.
- Schaffer, B., and G. O. Gaye. 1989. Gas change, chlorophyll and nitrogen of mango leaves as influenced by light environment. *HortScience* 24(3):507-509.
- Urbas, P. 2000. Adaptive and inevitable morphological of three herbaceous species in a multi-species community: field experiment with manipulated nutrients and light. *Acta Oecologic* 21:139-147
- Valladares, F., and U. Niinemets. 2008. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequence. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 39:237-251.
- Wang, M., W. Jiang, and H. Yu. 2010. Effects of exogenous epibrassinolide on photosynthetic characteristics in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) seedlings under weak light stress. *J. Agric. Food Chem.* 58:3642-364.

The Effect of Light Intensity of Artificial Light on the Growth of Chinese Cabbage (*Brassica campestris* L. spp. *pekinensis* Lour. Rupr.) Seedlings

Ming-Gu Hong¹⁾ Yu Sung²⁾

Key words: artificial light, Chinese cabbage, seedlings

Summary

This study investigated the influence of light intensity on the plug seedling growth of the Chinese cabbage. After seedling emergence, the Chinese cabbage 'Auspicious' was grown indoors under light intensities of 180 ± 10 , 210 ± 10 , 240 ± 10 , and $270 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Control plants were grown in a net house under natural light. The results indicated that the Chinese cabbage 'Auspicious' showed minimum stem elongation under a light intensity of $270 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The seedling index was used to analyze the optimal light intensity. Light intensities of 270 ± 10 and $240 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ gave the best results and led to similar outcomes. Therefore, an optimal light intensity of $240 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ was recommended for the growth of Chinese cabbage seedlings.

1) Graduate student, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University. Corresponding author.