

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

陳詩文¹ 宋好^{1,*}

摘要 小白菜為短期葉菜類，以播種方式栽培，多為密植。光會直接影響植物的氮循環系統，為生產低硝酸根離子含量之小白菜，須了解其合適之栽培密度、光強度等各項特性。試驗結果顯示當栽培密度為 5×4 cm 時小白菜植株生長受到影響，鮮乾重較栽培密度為 5×10 cm 時顯著減少 6-15%，同時其總可溶性糖的累積也較低，植體累積之硝酸根離子含量則提高 22-41%，以 5×6-5×8 cm 行株距較佳。低光強度會嚴重影響植株生長，在光強度 $\leq 200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 時小白菜植株鮮乾重及總可溶性糖含量下降，較光強度為 $800 \pm 25 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 時顯著減少 21-43% 及 24-35%，而硝酸根離子含量於光強度 $\leq 200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 時則快速累積，較對照組增加 32-58%。以葉綠素螢光參數與植株生理反應比較結果顯示參數 ETR、qp、ΦPSII、NPQ 均可作為有效參數，當光強度降低時，植株的硝酸還原酶 (nitrate reductase)、麩胺醯胺合成酶 (glutamine synthetase) 活性均隨之上升。

關鍵詞：光強度、葉綠素螢光、硝酸根離子、栽培密度、產量、小白菜。

The Effects of Planting Density and Shading on the Growth and Nitrate Content of Pak-choi (*Brassica campestris* L. *Chinensis* group)

Shih-Wen Chen¹ Yu Sung^{1,*}

ABSTRACT Light directly affects the nitrogen cycle during plant growth. This study investigated the effects of light quality and intensity on plant growth and examine the light conditions under which a low nitrate content is obtained in Pak-choi plants. The results showed that the plant fresh and dry weights significantly decreased by 6-15% with a 5×4 cm planting density, the total soluble sugar content decreased, and the nitrate content increased by 22-41% as compared with plants grown at a higher planting density. The appropriate row spacing varied according to the cultivar, the suitable spacing being between 5×6 and 5×8 cm for the tested Pak-choi cultivars. When plants were grown under a low light intensity ($\leq 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), the plant weight and total soluble sugar content were significantly reduced, by 21-43% and 24-35%, respectively, and the nitrate content was increased by 32-58%. Comparing the indexes of chlorophyll fluorescence parameters (ETR, qp, ΦPSII and NPQ) and plant physiological responses, the result showed that ETR, qp, ΦPSII and NPQ varied with nitrate content. The activities of NR and GS were increased as light intensity decreased.

Key Words: light intensity, chlorophyll fluorescence, NO_3^- , planting density, yield, Pak-choi.

前言

光於植物生長發育過程中扮演著不可或缺的角色，

植物透過光合作用 (photosynthesis) 將光能轉換成化學能並合成醣類以供其使用，光合作用主要包括光反應 (light reaction) 及暗反應 (dark reaction) 2 個部分，

¹ 國立中興大學園藝學系。

Dept. of Horticulture, National Chung Hsing University.

* Corresponding author, email: yusung@nchu.edu.tw

光反應主要在葉綠體中的類囊體 (thylakoids) 進行，最終產物為高能量的化合物 ATP、NADPH、 O_2 ，而暗反應則是在葉綠體基質 (stroma) 中合成醣類，進而與氮代謝物合成蛋白質使植株生長。光對於植物氮的吸收及氮循環酵素具有誘導功能，因此當光線不足時植株醣類的累積減少、氮的代謝趨緩而無法消耗其吸收之硝酸鹽，因而大量累積於組織液泡中 (Santamaria, 2006)，瞭解光強度與植株硝酸鹽含量之關係將有助於減少其殘留量過高之問題。

小白菜為短期葉菜類，於栽培時採撒播，以密植方式生產，因葉菜類要求葉片品質柔嫩多汁，適度遮陰有利其品質提高，然而植株生長過程需提供充足之生長空間，依作物種類均有其適合之栽培行株距，使葉片能有良好之光合作用。不同小白菜品種葉片之葉色、葉緣及型態均不相同，對其生長影響及適當之栽培密度並未有研究，因此針對不同品種小白菜之適當栽培密度進行研究有其必要性。

材料與方法

供試品種

栽培密度試驗採用小白菜 (*Brassica campestris* L. *Chinensis* group) 4 品種，分別為"彩玉" (TOKITA SEED CO. LTD.)、"鳳珍" (農友種苗股份有限公司)、"四季彩" (トーホウ株式會社) 及"金黃" (台灣農產企業股份有限公司)；遮陰試驗除上述外，另加入"坂田 F1" (SAKATA SEED CORP.) 及"三鳳" (農友種苗股份有限公司)。

植株栽培及處理

試驗於 2011 年 7-9 月，進行兩次試驗，溫度介於 23-37 °C，均溫 29 °C，平均光強度為 $1400 \pm 170 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ，地點為位於霧峰之中興大學園藝學系試驗場簡易網室，將小白菜種子播於 128 格穴盤，育苗期間每週以 1000 倍尿素進行葉面施肥，植株達 2 片本葉時定植於田間，畦長寬為 6×1 m，採隨機完全區集設計 (Randomized Complete Block Design; RCBD)，植株生長達 6 片葉時，進行植株生育性狀調查。取樣時間為早上 8-9 點。

一、栽植密度處理

分別以行株距 5×4、5×6、5×8、5×10 cm 進行定植。

二、遮陰處理

以行株距 5×6 進行定植，採收前一週進行遮陰處理，分別使用遮陰程度 50、60、70、80、90% 之遮陰網以隧道棚式進行遮陰，各處理取三重複，每重覆 12 株。

調查項目

一、植株鮮乾重

取植株之地上部秤其鮮重，置於牛皮紙帶中，置入 70°C 烘箱三天後秤其乾重，單位：g。

二、葉面積分析

將植株鮮重、乾重及葉面積分析計算 (林, 1988; 許, 1997)，求出植株鮮重之生長速率 (Absolute Growth Rate; AGR) 是指作物在單位時間內所累積的生長量 (本試驗小白菜種植日數為 28 日，分別於 8 月 30 及 9 月 30 日取樣)，葉面積指數 (Leaf Area Index; LAI) 即每單位土地面積之葉面積，葉面積比 (Leaf Area Ratio; LAR) 即單位植株重之葉面積，葉比重 (Specific Leaf Weight; SLW) 為單位葉面積所持之葉重，亦稱為葉厚。

三、葉綠素螢光參數分析

以葉綠素螢光分析儀 (Portable Chlorophyll Fluorometer) (MINI-PAM, Heinz Walz, Germany) 連接葉片夾，夾取苗株完全展開葉片，調查時間於上午 10-12 時，在光適應下儀器 F 值顯示穩定 (F 值：介於 250~350 之間) 後，測量其光系統 II 之葉綠素螢光參數及光量子產量。每片葉隨機取 4 個不同位置進行測量，每處理 3 重覆，每重覆 6 株。測量項目如下所示：

- 光適應下之葉片葉綠素螢光產量：Fv/Fm (Yield)
- 葉片受光情形 (photosynthetic photon flux density, PPF)：單位為 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
- 電子傳遞速率 (electron transport rate, ETR)
- 光化學反應 (photochemical quenching, qP)
- 非光化學反應 (non photochemical quenching, NPQ)

四、硝酸根離子含量

依據 Cataldo *et al.* (1975) 方法加以部分修改，取成熟展開葉將葉片及葉柄分離後各取 2 g，以液態氮研磨後加入 20 ml 去離子水攪拌均勻，以 4°C、11000 rpm 離心 25 分鐘後取 0.1 ml 之上清液，加入 0.4 ml Salicylic acid (5 g Salicylic acid 溶於 95 ml 濃硫酸中)，振盪均勻於室溫下反應 20 分鐘，再緩慢加入 4.5 ml 的 4.2 N NaOH，振盪均勻於室溫下反應 30 分鐘，呈黃色溶

液，以分光光度計 (Hitachi U-2900) 測量 410 nm 波長下之吸光值，每處理 3 重複，每重複 3 株。標準液以 KNO_3 配製標準液，單位：mg/kg FW。

五、總可溶性糖含量

依據 Yoshida et al. (1976) 之測定方法加以小部份修改，精秤 0.1 g 乾燥樣品置於離心管中，加入 10 mL 去離子水，置於 30°C 水浴振盪 3 小時後以 25°C、11000 rpm 離心 10 分鐘，抽取 5 ml 上清液加入 1 ml 6N HCl，振盪均勻後置於 70°C 水浴振盪 15 分鐘，以冰水浴冷卻終止反應，取 0.1 ml 萃取液加 1.9 ml 去離子水混合振盪均勻後加入 0.1 ml liquid phenol 及 6 ml 濃硫酸，振盪均勻後靜置 30 分鐘，使其呈桃橘色，以分光光度計 (Hitachi U-2900) 測量 490 nm 波長下之吸光值。每處理 3 重複，每重複 3 株。以 0.5 mM D-glucose 配製標準液，單位：mg/g DW。

六、硝酸還原酶活性 (nitrate reductase, NR) 分析

依據 Jawoski (1971) 之方法加以部分修改，取成熟展開葉片避開主脈取 0.2 g 切細碎置於試管中，加入 5 ml 萃取液 (2.5 mL 0.2 M KH_2PO_4 buffer、0.25 ml 100% n-propanol、1.15 ml 去離子水、0.1 ml 0.05% Chloramphenicol 及 1 ml 0.1 M KNO_3 ，對照組以去離子水取代 KNO_3)，置於黑暗中以 150 rpm 振盪 30 分鐘，加入 1 ml 1% sulfanilic acid (1 g sulfanilic acid 溶於 99 mL 的 3 M HCl) 來中止反應，再加入 1 ml 的 0.02% N-(1-naphthyl ethylene) diamide HCl【SIGMA N5889】呈色劑，振盪後靜置 30 分鐘，使其均勻呈色。以分光光度計 (Hitachi U-2900) 測量 540 nm 波長下之吸光值。每處理 3 重複，每重複 3 株。以 KNO_2 配製標準液，單位： $\mu\text{g NO}_2^-/\text{min/gFW}$ 。

七、麩胺醯胺合成酶 (glutamine synthetase, GS) 活性分析

依據 Oak et al. (1980) 之方法加以部分修改，取成熟展開葉避開主脈取 0.2 g 葉片置於研鉢中，加入 1.5 ml Tris-HCl buffer (1 mM MgCl_2 、1 mM EDTA 及 10 mM 2-mercaptoethanol) 研磨萃取成均質，以 4°C、11000 rpm 離心 30 分鐘，取上清液 0.2 ml 加入 0.8 ml 反應液 (Tris-HCl buffer, 100 mM pH 7.5)，內含 50 mM L-glutamate、10 mM ATP (Adenosine 5'-triphosphate)、30 mM MgSO_4 、20 mM $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ，混合均勻後置於 30 °C 水浴振盪 30 分鐘，再加入 2 ml 反應中止液 (2.5 g $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 與 5 g TCA

(Trichloroacetic acid) 溶於 100 ml 1.5 N HCl) 以終止反應，於室溫下以 1000 g 離心 20 分鐘，取上清液以分光光度計 (Hitachi U-2900) 測量 540 nm 波長下之吸光值。每處理 3 重複，每重複 3 株。單位： $\mu\text{mol glutamylhydroxamate}/\text{min}/\text{mg FW}$ 。

統計分析

調查所得數據統計採用 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' LSD 進行各處理間平均值之比較。



圖、小白菜於不同栽植密度及遮陰處理之田間生長情形

試驗結果

栽培密度對植株生長及硝酸根離子含量

以小白菜"四季彩"、"鳳珍"、"金黃"及"彩玉"4 品種栽植於不同行株距 (5×4、5×6、5×8、5×10 cm) 進行試驗，其生長速率、葉面積指數、葉面積比及葉比重結果 (表 1) 顯示，除葉比重不受栽培密度影響，其餘指數皆以栽培密度 5×6、5×8 cm 表現最佳，密植及行株距過大時其指數皆降低。分析栽培密度對地上部乾鮮重、總可溶性糖及硝酸根離子含量之影響百分率 (表 2) 顯示，乾鮮重同時受到栽培密度及品種之影響，5×4 cm 較 5×10 cm 時乾鮮重減少幅度分別達 11.9 及 16.2%，而硝酸根離子含量亦提高 36.4%，顯示過度密植確實造成小白菜產量及品質的降低。

遮陰對光合作用之影響

小白菜"坂田"、"四季彩"、"鳳珍"、"三鳳"、"金黃"及"彩玉"於採收前一週不同遮陰程度下之葉綠素螢光反應分析光強度對植物光合作用之影響，結果 (圖 1) 顯示葉綠素螢光參數 ETR、qp 及 ΦPSII 於光強度介於 120-180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 時會顯著的降低，而 NPQ 則有顯著的提高，可推估小白菜的光合作用能力在遮陰至 120-180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 時受到明顯抑制進而影響植株生長。調查遮陰下其鮮乾重 (表 3) 結果顯示，在遮陰 70% 下四品種小白菜之鮮乾重均顯著降低，而遮陰 90% 下植株生長緩慢，鮮重減少 34.8-42.9%、且出現黃化情形，其中

以"金黃"情形最為嚴重。分析其硝酸根離子含量結果顯示，遮陰 50%時除"金黃"顯著提高外，其餘 3 品種之硝酸根離子含量無顯著差異，而隨光強度遞減下植株硝酸根離子含量則隨之提高，遮陰 70-90%下均顯著提高，其中以遮陰 90%下以"金黃"增加 133%最多。而其總可溶性糖含量則隨著遮陰程度而遞減，遮陰 70-90%下均顯著減少，其中以遮陰 90%下以"金黃"減少 69%最多。測量遮陰處理下小白菜硝酸還原酶 (Nitrate reductase) 及穀胺醯胺合成酶 (Glutamine synthetase) 之活性如圖 2，結果顯示遮陰下酵素活性的降低程度會因品種而異，在遮陰 50% (PPF=400±25 μmol/m²/s) 處理下 NR 及 GS 的活性就開始下降，其中以"金黃"最為明顯，而"四季彩"及"鳳珍"則維持較高活性，隨著遮陰程度增加其下降幅度也隨之增加，在遮陰 90%時 4 品種之 NR 及 GS 的活性均顯著的減少。

討論

栽培密度

栽培密度過高時植株間互相競爭養分，且植株間互相遮陰影響光合作用速率，植株生長速度明顯減慢，其總可溶性糖的累積降低導致氮循環減緩，使植株吸收之硝酸根離子累積於植體。作物單位面積產量會隨著作物數量 (plant population) 之增加而增加，但當株數超過一定密度時，產量非但不增反而下降，原因是作物與作物間會因地上部對光線競爭及根系對肥份、水分吸收不足等而限制彼此生長量^[1,2]。植株生長速度明顯減慢，其總可溶性糖的累積降低導致氮循環減緩，使植株吸收之硝酸根離子累積於植體。作物單位面積產量會隨著作物數量 (plant population) 之增加而增加，但當株數超過一定密度時，產量非但不增反而下降，原因是作物與作物間會因地上部對光線競爭及根系對肥份、水分吸收不足等而限制彼此生長量^[1,2]。青花菜、花椰菜、玉米、蘆筍、番茄及甜椒，其產量均隨著栽培密度之增加而增加，但是品質卻降低約 50~60%^[5,8,9,10,20]。Martinac *et al.*^[17]指出萵苣"Jessy"、"Luro"、"Marcia"、"Orba"及"Vasco"之產量及單球重量受栽培密度影響，密度增加其單位面積產量增加，但是其單球重量減少。Loughton

表 1 栽培密度對四品種小白菜生長速率 (AGR)、葉面積指數 (LAI)、葉面積比 (LAR)、葉比重 (SLW) 之影響 (數據為 4 品種之平均值)

Table 1 Influence of planting density on AGR, LAI, LAR and SLW of four cultivars Pakchoi.

Spacing (cm)	AGR (g/day)	LAI	LAR (cm ² /g)	SLW (mg/cm ²)
5×4	2.38 b	1.818 b	22.6 b	2.33 a
5×6	2.76 a	1.931 a	24.5 a	2.28 a
5×8	2.95 a	2.004 a	25.5 a	2.31 a
5×10	2.61 ab	1.852 ab	23.1 ab	2.35 a

²means within the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level

AGR: absolute growth rate, LAI: leaf area index, LAR: leaf area ratio, SLW: specific leaf weight

表 2 栽培密度對地上部鮮乾重、總可溶性糖及硝酸鹽含量之影響百分率 z (數據為 4 品種之平均值)

Table 2 The change percentage of planting density on shoot fresh and dry weight, total soluble sugar and nitrate content of four varieties Pakchoi.

Spacing (cm)	FW	DW	Nitrate content	Total soluble suagr
5×10	100.0	100.0	100.0	100.0
5×8	104.8±1.8	106.6±1.7	108.0±2.2	107.6±2.9
5×6	103.1±1.5	107.3±1.5	114.4±2.5	94.8±3.1
5×4	83.8±2.1	88.1±2.3	136.4±2.1	84.6±3.5
spacing	*y	*	***	**
cultivar	*	*	*	ns
spacingxcultivar	*	*	**	ns

z : 以栽培密度 5x10 為基準，各項為 4 品種減少 (增加) 之百分比平均

^y NS, *, **, ***: non-significant or significant different at p≤0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

et al.^[16]調查蘆筍 7 年的總產量，栽培密度每縮小 1 cm，總產量增加 46.5 kg/ha。番茄產量亦隨栽培密度增加而提高，但其單株之果實數目反而減少^[23]。因此當生產目的或者栽培環境條件改變時，若欲調整作物的栽培密度，必須注意作物栽培密度的極限，避免密度太高而造成植

株間之相互競爭，應以提高單位面積的生產量、單株的重量及品質兼具為佳^[3,25]。本試驗結果顯示，小白菜植株合適之栽培密度會因品種不同而異，其原因可能為其植株生長型態不同而導致，植株較為展開之"四季彩"、"鳳珍"在較高密度下植株鮮乾重均顯著降低，而較為直立之

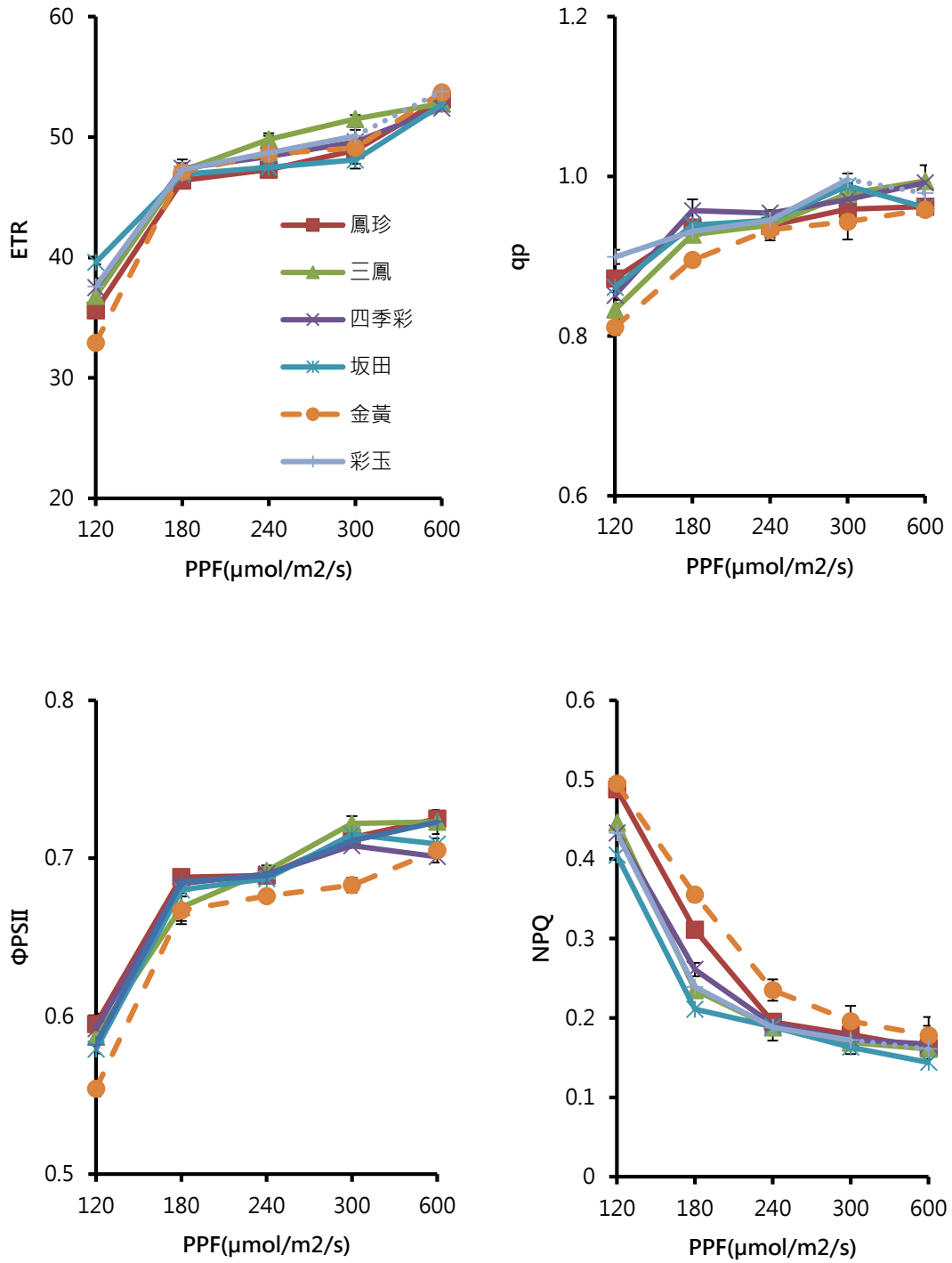


圖 1 不同光強度下 6 品種小白菜之葉綠素螢光參數 ETR、qp、ΦPSII 及 NPQ

Fig. 1 The effect of shading degree on chlorophyll fluorescence parameters (ETR、qp、ΦPSII and NPQ) of six varieties Pakchoi. I: means ± SE; ETR: electron transport rate; qp: photochemical quenching; NPQ: non photochemical quenching; ΦPSII: PSII yield

"金黃"及"彩玉"則較不受影響，但當密度提高至 5×4 cm 時四品種小白菜之總產量雖可提升，但進一步分析其各項性狀發現 (表 1)，其 AGR、LAI 及 LAR 等指數皆顯著下降，植株表現較佳之栽培密度為 5×6-5×8 cm。

遮陰處理

植株密植時會互相遮陰而影響其光合作用，其總可溶性糖的累積顯著降低，因此可提供於氮循環之碳鍵也因而減少，使其無法有效將硝酸根離子轉換成蛋白質，造成葉肉細胞有大量的硝酸根離子累積^[6,18,24,26]。試驗結果顯示 (表 2) 當密度提高至 5×4 cm 時總可溶性糖含量減少達 15.4%，而硝酸根離子含量則提高 36.4%，

使小白菜的品質大幅降低，結果亦與前人研究相符。

Fu *et al.*^[12]以光飽和點為 600 μmol/m²/s 的皺葉萵苣為材料栽培至 100~800 μmol/m²/s 不同光強度的人工氣候室中，結果指出在 400~600 μmol/m²/s 處理下擁有最佳的產量，而長期栽培至 200 μmol/m²/s 以下及 800 μmol/m²/s 以上的環境中，會因為光強度不足及光抑制的關係導致光合作用能力下降，進而影響其產量。作物在栽培期間常遭遇短暫的陰天，植株的葉片光合作用能力常隨著光強度的減少而迅速下降，造成碳水化合物化合物的供給少於植體的需求，導致植體的碳素利用率 (carbon use efficiency, CUE) 也隨之減少，此時植物會減低生長性呼吸作用的能量消耗^[19,27]，並改變葉片

表 3 遮陰程度對四品種小白菜鮮乾重、硝酸鹽及總可溶性糖含量之影響

Table 3 The effect of shading degree on shoot fresh and dry weight, total soluble sugar and nitrate content of four varieties Pakchoi.

	Shading* (%)	FW (g)	DW (g)	Nitrate content (mg/kg)		TSS (mg/g)
				blade	petiole	
四季彩	0	48.1 a ^z	4.06 a	1230 c	4041 d	24.16 a
	50	44.5 a	3.81 a	1314 c	4581 c	21.26 a
	70	38.1 b	3.33 b	1617 b	5357 b	15.06 b
	90	28.5 c	2.57 c	2775 a	5883 a	8.82 c
鳳珍	0	52.5 a	4.81 a	1223 c	3958 b	28.97 a
	50	48.8 a	4.41 a	1355 c	4124 b	26.70 a
	70	40.3 b	3.32 b	1761 b	5230 a	15.40 b
	90	33.3 c	2.95 c	2335 a	5385 a	11.22 c
金黃	0	46.8 a	4.14 a	1435 d	4770 c	23.26 a
	50	45.3 a	3.97 a	1762 c	5107 b	17.71 b
	70	33.9 b	3.64 b	2751 b	5499 b	15.51 b
	90	26.7 c	2.55 c	3356 a	6022 a	7.22 c
彩玉	0	50.2 a	4.35 a	1130 c	4003 c	24.76 a
	50	51.1 a	4.09 a	1239 c	4283 c	22.58 a
	70	40.2 b	3.53 b	2121 b	5179 b	13.63 b
	90	32.7 c	3.01 c	2633 a	5547 a	10.13 b
品種	ns ^y		ns	*		*
遮陰	***		***	***		***
品種×遮陰	ns		ns	ns		ns

^z means within the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level

^y NS,*,**,***: non-significant or significant different at p≤0.05, 0.01, or 0.001, respectively. FW: fresh weigh ; DW: dry weight ; TSS: total soluble sugar

*取樣時Control之光強度 (PPF) 為800±25 μmol/m²/s，遮陰50、70、90分別為400±18、250±15、100±23 μmol/m²/s。

中的色素比例，如減少 Chl a/b 並增加葉綠素含量，使其葉片捕捉光子的能力增加，以提高光合作用效率^[14]，藉由增加碳收入以及減少碳支出，使其碳素利用效率恢復並適應環境，以減少陰天的影響並確保植物正常生長^[11,22]。由葉綠素螢光參數在遮陰下的變化發現(圖 1)，小白菜之光飽和點約為 600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ，而當光強度低於 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ，其光合系統顯著受到影響，ETR、qp、 ΦPSII 值均開始大幅降低，而其下降幅度會受品種而異，其中以"金黃"減少最多，"四季彩"、"彩玉"減少最低，顯示各品種對於光的適應性不盡相同，如冬季栽培或於溫網室內栽培時，可選擇光適應性較佳之品種，其光合作用能力所受影響較低。

植物在光強度較低的環境下，光合作用所提供之碳

骨架減少，使可供合成蛋白質之碳鍵不足，進而影響氮同化代謝的進行^[4]；當植物生長速度減緩時，植體的胺基酸會因需求降低而有所累積，並造成氮代謝的負回饋，使葉肉細胞有大量的硝酸根離子累積^[6,7,18,24,26]。而許多前人研究亦指出光強度及光合作用產物會直接影響植物的氮循環，其重要酵素如硝酸還原酶 (nitrate reductase, NR)、谷氨醯胺合成酶 (Glutamine synthetase, GS) 及谷氨酸合成酶 (glutamate synthase, GOGAT) 的活性均會受其影響^[13,15,21]。試驗結果顯氮循環酵素 NR 及 GS 活性在遮陰處理下其活性均顯著降低，進而使植體所吸收之硝酸根離子無法有效轉換成氨基酸、蛋白質而儲存於植體中，其結果與前人研究相符。

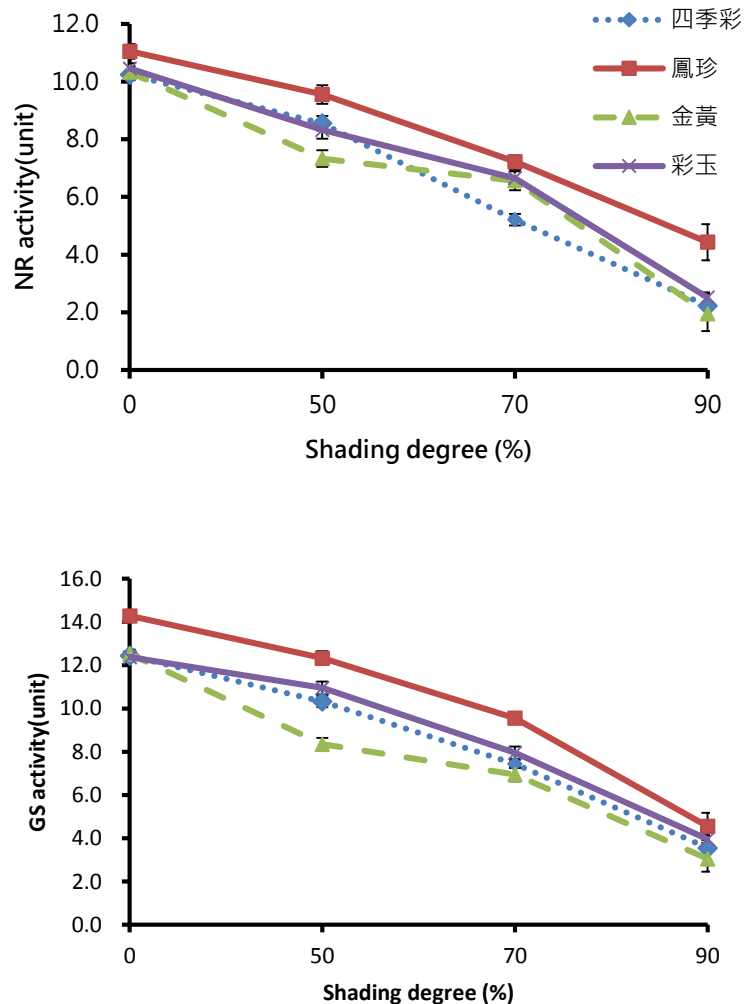


圖 2 遮陰程度對小白菜 NRA 及 GS 活性之影響

Fig. 2 The effect of shading degree on NR and GS activity of four cultivars Pakchoi. NR: nitrate reductase, unit: $\mu\text{g NO}_2^-/\text{min}/\text{g Fw}$; GS: glutamine synthetase, unit: $\mu\text{ glutamylhydroxamate}/\text{min}/\text{mg FW}$, I: means \pm SE

* 取樣時 Control 之光強度 (PPF) 為 $800 \pm 25 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ，遮陰 50、70、90 分別為 400 ± 18 、 250 ± 15 、 $100 \pm 23 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 。

結論

為提高小白菜生產之產量及品質，光扮演著重要的角色。定植密度不宜過高，除會互相競爭養分、水分外，植株間會互相遮陰而影響其光合作用可利用之葉片面積，以行株距 5×6-5×8 cm 較佳，可使其至採收前有足夠之生長空間。光強度則需保持 300±50 μmol/m²/s，當光強度低於 200 μmol/m²/s 時其光合作用能力明顯受到影響，總可溶性糖的累積減少，氮循環酵素活性降低，使植株吸收之硝酸根離子無法代謝而大量儲存於植體中，不但植株生長緩慢且品質不佳。

參考文獻

- [1] 王銀波、吳正宗、申雍 (1994)。「小白菜配方對其他葉菜類的適應性與一些影響硝酸態氮含量的環境因子」，設施園藝之研究與技術開發八十一及八十二年度執行成果報告 p.99-107。
- [2] 吳正宗、王銀波 (1995)。「一些影響小白菜硝酸態氮含量的環境因子」，中國農業化學誌 3(2): 125-33。
- [3] 許福星 (1997)。「作物生長分析及其應用」，科學農業 25(11-12): 334-341。
- [4] Appenroth, K. J., Meco, R., Jourdan, V. and Lillo, K. (2000). "Phytochrome and post-translational regulation of nitrate reductase in higher plants." *Plant Sci.* 159: 51-56.
- [5] Batal, K. M. and Smittle, D. A. (1981). "Response of bell pepper to irrigation, nitrogen, and plant population." *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106(3): 259-262.
- [6] Blom-Zandstra, M. and Eenink, A. H. (1985). "Nitrate concentration and reduction in different genotypes of lettuce." *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111: 908-911.
- [7] Cantliffe, D. J. (1972). "Nitrate accumulation in spinach grown under different light intensities." *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97: 152-154.
- [8] Chung, B. (1982). "The effects of plant density on the maturity and once-over harvest yields of broccoli." *J. Hort. Sci.* 57: 365-372.
- [9] Cutcliffe, J. A. (1975). "Effect of plant spacing on single-harvest yields of several broccoli cultivars." *Hort Science* 10(4): 417-419.
- [10] Duncan, W. G. (1984). "A theory to explain the relationship between corn population and grain yield." *Crop Sci.* 24: 1141-1145.
- [11] Frantz, J. M. and Bugbee, B. (2005). "Acclimation of plant populations to shade: photosynthesis, respiration, and carbon use efficiency." *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 130(6): 918-927.
- [12] Fu, W., Li, P. and Wu, Y. (2012). "Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce." *Sci. Hortic.* 135: 45-51.
- [13] Hwang, C. F., Lin, Y., Souza, T. D. and Cheng, C. L. (1997). "Sequences necessary for nitrate-dependent transcription of Arabidopsis nitrate reductase genes." *Plant Physiol.* 113: 853-862.
- [14] Lambers, H., Chapin III, F. S. and Pons, T. L. (1998). "Plant physiological ecology." *Springer-Verlag*. New York, pp. 540.
- [15] Lillo, C. and Appenroth, K. J. (2001). "Light regulation of nitrate reductase in higher plants: Which photoreceptors are involved?" *Plant Biol.* 3: 455-465.
- [16] Loughton, A., Baker, R. and Brian Allen, O. (1996). "Yield and growth responses of asparagus to between-row spacing and planting depth." *Can. J. Plant Sci.* 76: 841-847.
- [17] Martinac V. and Borosic, J. (1986). "The effect of plant density on the lettuce yields growing in the glasshouse." *Acta Hort.* 176: 125-131.
- [18] Marschner, H. (1995). "Mineral nutrition of higher plants." *2nd Ed. Academic*, London. pp. 889.
- [19] Maynard, D. N. and Bark, A. V. (1971). "Critical nitrate level for leaf lettuce, radish, and spinach plants." *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2: 461-470.
- [20] Miller, C. H., McCollum, R. E. and Claimon, S. (1979). "Relationships between growth of bell peppers and nutrient accumulation during ontogeny in field environments." *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 852-857.
- [21] Oliveira, I. C. and Coruzzi, G. M. (1999). "Carbon and amino acids reciprocally modulate the expression of glutamine synthetase in Arabidopsis." *Plant Physiol.* 121: 301-309.
- [22] Rufty, T. W., D. Israel, W. Jr. and Volk, R. J. (1984).

- "Assimilation of $^{15}\text{NO}_3$ -taken up by plants in the light and in the dark." *Plant Physiol.* 76: 769-775.
- [23] Roderick, H. (1982). "The functional approach to plant growth analysis." *Edward Arnold*. pp. 16-43.
- [24] Steingröver, E., Ratering, P. and Siesling, J. (1986). "Daily changes in uptake, reduction and storage of nitrate in spinach grown at low light intensity." *Physiol. Plant.* 66: 550-556.
- [25] Suthrtlanf, R. A. and Benjamin, L. R. (1987). "A new model relating crop yield and plant arrangement." *Ann. Bot.* 59: 399-411.
- [26] Tischner, R. (2000). "Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants." *Plant Cell Environ.* 23: 1005-1024.
- [27] Van Iersel, M. W. (2003). "Carbon use efficiency depends on growth respiration, maintenance respiration, and relative growth rate." *A case study with lettuce. Plant Cell Environ.* 26: 1441-1449.

2015年07月20日 收稿

2015年08月11日 修正

2015年08月29日 接受