

營農型光電溫室環境對多種葉菜類蔬菜生長之影響

李香誼¹ 李碩朋² 許淼淼^{1*} 羅惠齡¹

摘要

李香誼、李碩朋、許淼淼、羅惠齡。2018。營農型光電溫室環境對多種葉菜類蔬菜生長之影響。台灣農業研究 67(3):258–269。

為配合政府推行綠能發電結合農業生產的政策，本試驗目的為探討在營農型光電溫室的遮光環境中，適合秋冬季栽培的蔬菜種類與品種。本試驗於遮蔽率 40% 之屋頂式營農型光電溫室下進行有機葉菜類栽培評估，評估結果以青梗白菜「綠光一號」與「綠愛」之產量較佳；小白菜篩選出「泉州白菜」、「蜜雪兒」、「翠鳳」與「503 號蚵仔白菜」；油菜為「青龍」、「阿茵」與油菜(未有商品名；鄭奇種苗)；芥藍則以 F₁ 品種「一嘉」與「藍星」產量顯著較高；芥菜以「台農 3 號」與「青和」之單株重與小區產量較佳。目前葉菜類品項評估結果中，小白菜可達農業統計年報不結球白菜平均 3 年單位面積產量 70%，其採收期為定植後 16 d，相對較其他蔬菜短、且複作指數高，為目前評估結果中最適合在營農型光電溫室下載培的葉菜品項。由本試驗環境條件推論，其他葉菜類如透過栽培技術改進與品種選擇，投入適當資源、資材，可能也有機會達到常態環境下 70% 產量。

關鍵詞：營農型光電溫室、遮蔽率、蔬菜栽培、品種篩選。

前言

營農型的光電(伏)溫室 (photovoltaic greenhouse; PV greenhouse)，屬於農電系統 (agrivoltaic systems; AV systems) 的一類，其定義為同時同地結合太陽能板發電與作物生產的系統，起初構想是為了調和能源作物和糧食作物對土地利用的競爭 (Dupraz *et al.* 2011)。政府為推動綠色能源利用，在符合「申請農業用地作農業設施容許使用審查辦法」(以下簡稱容許辦法) 第 28 條規定並通過審認情況下，允許農業設施附屬設置綠能設施，得以在農地上同時進行農業經營及綠能發電使用。對於依照容許辦法第 28 條規定審認通過的屋頂式營農型光電設施，其以透明材質搭建的溫室附屬之綠能設施，其太陽能板覆蓋的遮蔽率不得大於 40%，且農業經營的農作生產量相較於過去三年平均正常生產量，必須達到 70% 以上 (Department of Planning,

Council of Agriculture 2017)。

營農型光電溫室設置的太陽能板下方會產生遮蔽的陰影，造成作物受到部分或間歇的遮蔭，減少作物可利用的平均光照。通常當水分與氮源沒有受到限制時，植物生物量積累主要來自光源的擷取。陰影形成的光照不足情況減緩作物生長，也影響作物發育成熟的過程，乃至減少成熟期的總生物量 (Kitaya *et al.* 1998; Dapigny *et al.* 2000; Cantagallo *et al.* 2004)。

太陽能板設置的方式亦影響作物產量的表現，比較直列式(或稱行陣式；PV straight array)和棋盤式 (PV checkerboard array) 的排列，兩者年平均光量子通量密度無顯著差異，但季節造成光線角度的變化，使直列式溫室栽培的青蔥鮮、乾重減少的比例高於棋盤式者，主要原因是直列式太陽能板於作物生長過程中投射陰影於特定區域，棋盤式則間歇地投射陰影 (Kadowaki *et al.* 2012)。

投稿日期：2017 年 9 月 19 日；接受日期：2018 年 1 月 18 日。

* 通訊作者：mmhsu@fthes-tari.gov.tw

¹ 農委會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所蔬菜系助理研究員。台灣 高雄市。

² 農委會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所蔬菜系副研究員。台灣 高雄市。

植物呼吸作用產生的 CO₂ 與光合作用吸收的 CO₂ 等量時的光強度，即被稱為光補償點；當光強度高於光補償點，植物進行光合作用形成的產物才得以運用於生長；然而，隨著光強度的增加，光合速率提升，直到光照強度超過一定範圍，光合速率不再增加時，則達到所謂的光飽和點 (Pan 2013)。因此，在特定光強度範圍內，當其他環境及營養狀況均相同時，光照是主要影響作物生長的限制因子。

Marrou *et al.* (2013) 研究指出在全日照生長下的萵苣葉數最多，隨著太陽能板的密度提高，遮光程度增加，在溫室內太陽能板透光率 63–74% 及透光率 48–56% 之環境下生產，葉片數隨著透光率下降而遞減；然而遮光程度提高，葉面積與乾重的比值增加，葉片變得大且薄，表示萵苣具有在可用光源減少的情況下，有效增加葉面積的能力，期以彌補光照的降低。Tani *et al.* (2014) 比較溫室內有太陽能板 (遮光率 50%) 的處理組與無太陽板的對照組之環境下栽培萵苣，發現與 Marrou *et al.* (2013) 的研究有相似情形，且葉片葉綠素及抗壞血酸含量減少；若搭配光散射膜，能有效減緩因太陽能板陰影產生光線不均的問題，而可稍加改善作物生長。

在相同的光截取率下，不同品種對光的轉換效率也有差異 (Marrou *et al.* 2013)。部分作物擁有較低的光飽和點或較小的碳水化合物積貯器官，可能適合於太陽能板遮蔽的陰影下栽培 (Kadowaki *et al.* 2012)。因此，篩選適合營農型

光電溫室遮蔭環境下栽培的作物種類與品種格外重要，可以提供有意在此情境下進行農作栽培經營者參考。

為了篩選適合光電溫室栽培之蔬菜，本研究以數種葉菜類蔬菜種類與品種作為材料，評估於實際營農型光電溫室內及模擬營農型光電溫室的遮蔭環境下蔬菜栽培的可行性，以篩檢出適合此環境生產的蔬菜種類與品種。

材料與方法

以葉菜類品項為參試材料，分別為青梗白菜 (*Brassica rapa* ssp. *chinensis* var. *communis*)、小白菜 (*Brassica campestris* L. spp)、芥藍 (*Brassica oleracea* L. Alboglabra Group)、油菜 (*Brassica rapa* ssp. *chinensis* var. *utilis*) 及芥菜 (*Brassica juncea* Coss.)，品種及來源如表 1 至表 5。試驗期間自 2016 年 9 月 22 日起，先於鳳山熱帶園藝試驗分所 128 格穴盤育苗，3 wk 後，再移至營農型光電溫室內定植 (表 6)。

營農型光電溫室位於民間向陽優能電力公司屏東縣枋寮鄉的有機蔬菜生產園區，試驗場地原種植可可、香蕉、番茄等作物，力霸型溫室，方位呈東西向，高度約 6 m。太陽能板設置於溫室屋頂上方，並呈南北向排列，遮蔽率約 40% (圖 1)。試驗期間於溫室前、中、後段與溫室外各設置一組溫光照記錄器 (UA-002-64, HOBO, Onset Computer Corp., Bourne, MA, USA) 與溫濕度記

表 1. 青梗白菜評估品種清單。

Table 1. Cultivar list of Pak-Choi (*Brassica rapa* ssp. *chinensis* var. *communis*) for the experiment.

Cultivar	Origin
‘Hua Guan’ 「華冠」	The Musashino Seed Co., Ltd. (武蔵野種苗園株式会社)
‘Lü Guang No.1’ 「綠光一號」	Zhuo Rui He Seed Co., Ltd. (周瑞和股份有限公司)
‘Oprah’ 「綠愛」	Known-You Seed Co., Ltd. (農友種苗股份有限公司)
‘Xia Guan’ 「夏冠」	Taiwan Agricultural Development Co., Ltd. (台灣農產企業股份有限公司)
‘CR Si Ji’ 「CR 四季」	Tohoku Seed Co., Ltd. (トーホク株式会社)
‘Yi Jiang’ 「一江」	Tohoku Seed Co., Ltd. (トーホク株式会社)
‘Natsu tei’ 「夏帝」	Sakata Seed Co., Ltd. (サカタのタネ株式会社)
‘Seitei’ 「青帝」	Sakata Seed Co., Ltd. (サカタのタネ株式会社)
‘Quan Sheng No.1’ 「全盛一號」	All Lucky Seed Co., Ltd. (全福種苗股份有限公司)
‘CR Xia Zhuan Ke’ 「CR 夏專科」	Tohoku Seed Co., Ltd. (トーホク株式会社)

表 2. 小白菜評估品種清單。

Table 2. Cultivar list of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. spp) for the experiment.

Cultivar	Origin
‘Xin Si Ji Cai’ 「新四季彩」	Tohoku Seed Co., Ltd. (トーホク株式会社)
‘Mi Xue Er’ 「蜜雪兒」	Known-You Seed Co., Ltd. (農友種苗股份有限公司)
‘Cui Feng’ 「翠鳳」	Known-You Seed Co., Ltd. (農友種苗股份有限公司)
‘San Feng No.2’ 「三鳳二號」	Known-You Seed Co., Ltd. (農友種苗股份有限公司)
‘Quan Zhou Bai Cai’ 「泉州白菜」	First Seed Co., Ltd. (第一種苗股份有限公司)
‘Shikinoiroi’ 「四季的彩」	First Seed Co., Ltd. (第一種苗股份有限公司)
‘E Zi Bai Cai No.503’ 「503號蚵仔白菜」	Bestow Seed Co., Ltd. (禾峰種子有限公司)
‘Jing Yan No.2’ 「京研快菜二號」	National Engineering Research Center for Vegetables (國家蔬菜工程技術研究中心)

表 3. 芥藍評估品種清單。

Table 3. Cultivar list of Chinese kale (*Brassica oleracea* L. Alboglabra Group) for the experiment.

Cultivar	Origin
‘New Veg-Gin’ 「永春」	Known-You Seed Co., Ltd. (農友種苗股份有限公司)
‘Green Delicacy’ 「翠津」	Known-You Seed Co., Ltd. (農友種苗股份有限公司)
‘Yi Jia’ 「一嘉」	Wellson Seed Co., Ltd. (良子種苗有限公司)
‘Lan Xing’ 「藍星」	Pan-Asian Seeds Co., Ltd. (誼禾種苗有限公司)
Pan Chou Yeh Kale (半皺葉芥藍) ²	Ming Feng Seed Co., Ltd. (明豐種苗有限公司)
Pan Chou Yeh Kale (半皺葉芥藍) ²	Gong Nong Seed Co., Ltd. (功農種苗有限公司)

² No specific cultivar name.

表 4. 油菜評估品種清單。

Table 4. Cultivar list of rape (*Brassica rapa* ssp. *chinensis* var. *utilis*) for the experiment.

Cultivar	Origin
‘Yu Quan Cai Xin’ 「玉泉菜心」	Po Yu Trading Co., Ltd. (豐田種苗行)
‘Qing Long’ 「青龍」	Xin Yu Sen seed store (新裕森種苗行)
‘All In’ 「阿茵」	Known-You Seed Co., Ltd. (農友種苗股份有限公司)
Rape (油菜) ²	Zheng, Xing-Tai (鄭興泰)
‘Fu Lu Tian’ 「福祿甜」	Ming Feng Seed Co., Ltd. (明豐種苗有限公司)
Rape (油菜) ²	Cheng Chi Seed Grower Co., Ltd. (鄭奇種苗有限公司)
Rape (油菜) ²	Nian Feng seed store (年豐種子行)

² No specific cultivar name.

錄器 (UA-002-64, HOB0, Onset Computer Corp., Bourne, MA, USA)。

配合農場的栽培模式，栽培管理以有機方式進行，試驗採逢機完全區集設計。葉菜類每品種三重複，每重複 18–20 株，於畦面覆蓋塑膠布，栽植行株距為 15 cm × 15 cm。採收後調查單株重 (g)、小區產量 (g m⁻²)、株高 (cm)、葉基到心部高 (cm)、葉數、葉長 (cm)、葉寬 (cm)、

葉柄長 (cm) 與葉柄寬 (cm) 及葉綠素相對含量值 (SPAD 502, Spectrum Technologies, Inc., Aurora, IL, USA)。

本研究以 CoStat 6.2 統計軟體 (CoHort Software, Berkeley, CA, USA) 進行最小顯著性差異法 (least significant difference; LSD)，分析品種間有無顯著差異。

表 5. 芥菜評估品種清單。

Table 5. Cultivar list of mustard (*Brassica juncea* Coss.) for the experiment.

Cultivar	Origin
‘Xiao Yi’ 「小刈」	Xin Yu Sen seed store (新裕森種苗行)
‘Tainung No.2’ 「台農二號」	Fengshan Tropical Experimental Branch, Taiwan Agricultural Research Institute
‘Tainung No.3’ 「台農三號」	Fengshan Tropical Experimental Branch, Taiwan Agricultural Research Institute
‘Qing He’ 「青和」	Known-You Seed Co., Ltd. (農友種苗股份有限公司)
‘Xiao Yi’ 「小刈」	Jin Ri seed store (今日種子行)
‘Xiao Yi’ 「小刈」	Hong Xin seed store (宏信種子行)
‘Ke Ren Yi’ 「客人刈」	Ming Feng Seed Co., Ltd. (明豐種苗行)
‘Xue Li Hong’ 「雪裡紅」	Xie Mian seed, fertilizer and pesticide store (謝綿種子農藥肥料行)

表 6. 青梗白菜、小白菜、芥藍、油菜及芥菜之播種、定植和採收日期。

Table 6. Seeding, transplanting, and harvest dates of Pak-Choi (*Brassica rapa* ssp. *chinensis* var. *communis*), non-heading Chinese cabbages (*Brassica campestris* L. spp), Chinese kale (*Brassica oleracea* L. Alboglabra Group), rape (*Brassica rapa* ssp. *chinensis* var. *utilis*), and mustard (*Brassica juncea* Coss.).

Species	Seeding date	Transplanting date	Harvest date
Pak-Choi	09/22/2016	10/14/2016	11/03/2016 (20 DAT ²)
Non-heading Chinese cabbage	09/27/2016	10/18/2016	11/03/2016 (16 DAT)
Chinese kale	10/04/2016	10/27/2016	11/22/2016 (26 DAT)
Rape	10/11/2016	11/02/2016	11/15/2016 (13 DAT)
Mustard	10/18/2016	11/08/2016	12/01/2016 (23 DAT)

²DAT: Days after transplanting, mm/dd/yy.



圖 1. 營農型光電溫室 40% 遮蔽率葉菜類蔬菜作物栽培試驗情形。

Fig. 1. The growth of leafy vegetables under photovoltaic greenhouse with 40% coverage of solar panel on the roof.

結果與討論

試驗期間遮蔽率 40% 的營農型光電溫室每日累積光合有效輻照較戶外減少 50–70% (圖 2A)，顯示太陽能板遮蔽的程度，與實際量測得到的

光照量仍有差距；溫室內部氣溫較外界降低約 1–2°C。在試驗期間，若氣溫低於 25°C，則溫室內外無明顯差異 (圖 2B)。台灣蔬菜多以網室栽培為主，主要目的為保護作物，避免受到外界異常天氣與病蟲害影響，降低生產風險。溫室

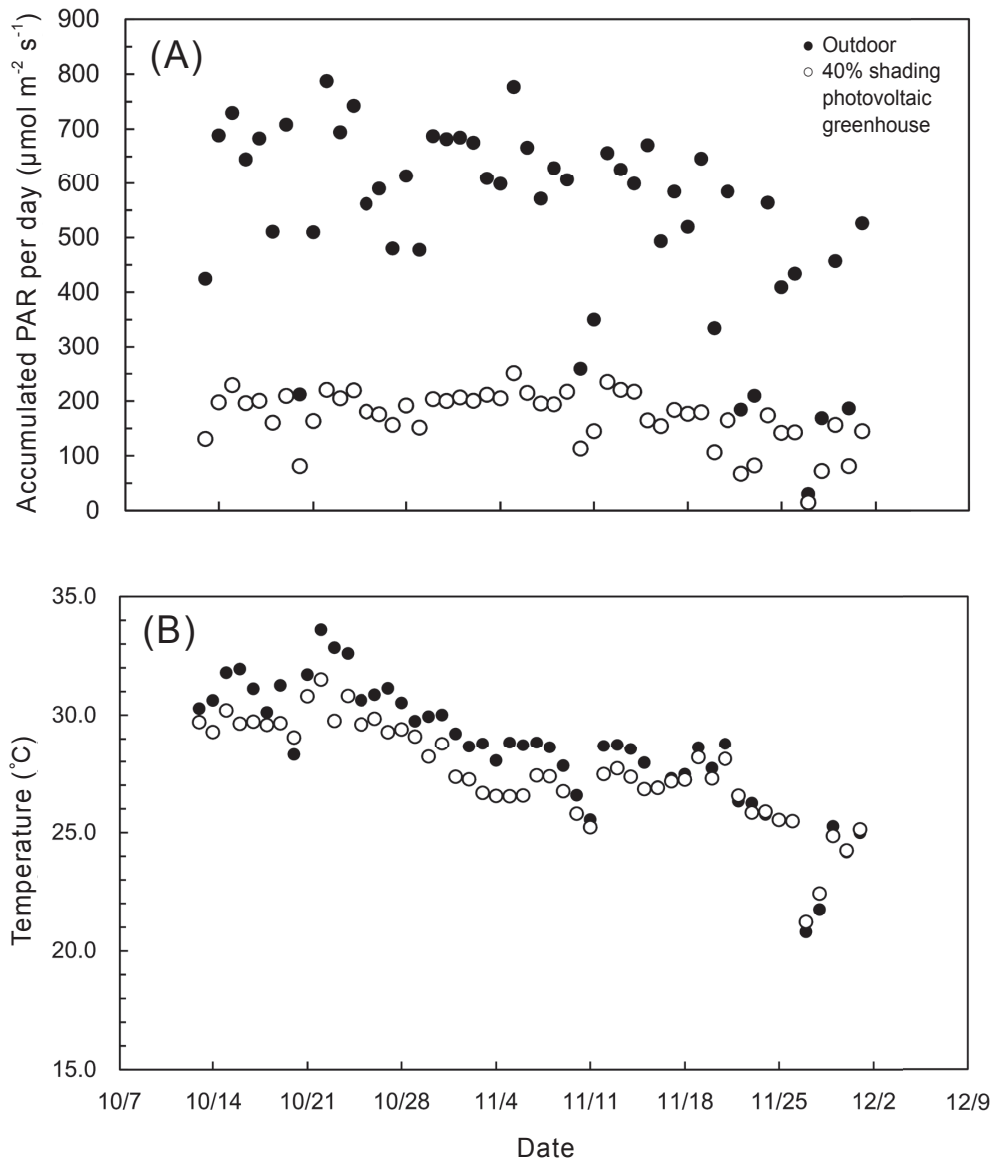


圖 2. 試驗期間 40% 遮蔽率營農型光電溫室與戶外之 (A) 每日累積光合有效光量子通量密度比較、(B) 每日平均氣溫比較。

Fig. 2. (A) Comparison of the accumulated photosynthetic photon flux density measured and (B) comparison of daily mean air temperature measured inside the photovoltaic greenhouse with 40% coverage (shading) of solar panel on the roof and outdoors.

應用於冬季生產多為保溫用途，冬季期間一般溫室內溫度明顯高於外界溫度，夏季期間溫室內氣溫更高。惟本研究採用之營農型溫室當外界氣溫達 25°C 時，溫室內部溫度可降低 1–2°C。換言之，在溫度較高的情況下，本研究之營農型光電溫室內的氣溫略低，與一般設施內常見積熱的情形不同。其原因除了本試驗場地的溫室結構挑高外，推測太陽能板遮蔭造成溫室微氣象的改變，雖阻擋部分的光照，但也降低溫室內部的氣溫，氣溫降低有利於蔬菜栽培及人員作業。

因溫室建置方位為東西向，太陽能板設置呈南北向，太陽隨著時間移動，光線也隨之變動，並未在太陽能板下方的區域產生固定陰影，下方栽種的葉菜植株並未顯著較沒遮蔭的區域矮小，試驗過程中遮蔭種植區域較無因為太陽能板陰影造成植株有大小株的問題。此結果與 Kadowaki *et al.* (2012) 指出太陽能板棋盤式排列，產生間歇的陰影，造成青蔥減產較少的情況相似。

青梗白菜播種後 30–40 d 為採收適期，本試驗經由育苗、定植到採收時間為 43 d，所需時間較一般栽培方式長。其單株重、小區產量及葉數，以「綠光一號」、「綠愛」與「青帝」表現佳，小區產量分別為 1,191 g m⁻²、1,096 g m⁻² 及 1,077 g m⁻²，單位面積產量每平方公尺均達 1 kg 以上，且前兩者的葉數較多有 12–13 片，「夏帝」產量 451 g m⁻² 則為最差。根據近 3 年農業統計年報不結球白菜 70% 之單位面積產量為 1,287 g m⁻²，營農型光電溫室因太陽能板遮蔽造成光量減少，而使小區產量無法達到目前訂定的標準。此外，部分品種如「青帝」之葉基到心部高為 13.06 cm，顯著較其他處理 7–8 cm 長，有徒長現象。「全盛一號」為北部主要品種，沒表現出其高腳的特性，其葉柄平均長度 6.61 cm，與中南部大宗的短腳品種「華冠」相當 (表 7)。「全盛一號」與「青帝」的株型較開張，採收後包裝較不易。試驗後期部分品種植株葉片出現反捲，推估是品種的耐熱性不足所造成。

小白菜定植後 2 wk 即達採收標準，生長普遍較青梗白菜佳，除「三鳳二號」單株重 34.7 g 與小區產量 944 g m⁻² 顯著較低，土白菜類型以「泉州白菜」1,757 g m⁻² 較高，齒葉白菜類型則

以「蜜雪兒」1,786 g m⁻²、「翠鳳」1,902 g m⁻² 及「503 號蚵仔白菜」1,865 g m⁻² 小區產量較高 (表 8)，這些品種外觀接近市面上販售的蔬菜，並達到不結球白菜 70% 產量之標準，且於定植後 2 wk 即達到採收大小，相對於青梗白菜需 3 wk，週轉率更快，為試驗評估的葉菜種類中生產表現最佳之蔬菜種類。

芥藍屬於 F₁ 品種的「一嘉」之單株重 31.7 g 與小區產量 771.4 g m⁻² 較佳，其生長勢旺盛，葉長 12.69 cm 及葉寬 10.65 cm，葉片顯著較大；其次為「藍星」單株重 25.5 g 與小區產量 632.1 g m⁻²，兩品種葉片葉綠素相對含量值分別為 51.5 和 53.3，屬於葉色較濃綠之品種 (表 9)。農民普遍種植的大宗品種「永春」與「翠津」之產量僅 405.9 g m⁻² 與 364 g m⁻²，顯著較其他品種低。「一嘉」與「藍星」於育苗期間，植株生長健壯，發芽整齊，定植至低光的環境能較快適應，應是 F₁ 品種對環境的適應性較強，相對於其他品種能更適應光線較弱的環境，也顯示苗期生長對植株後續發育的重要性。葉用芥藍播種後 35–45 d 採收 (Yang & Lin 2005)，本試驗從播種到採收共 49 d，較一般栽培多 4–14 d。由於農業統計年報中，芥藍無獨立調查的單位面積產量數據，因此將農情報告資源網 (http://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp) 2014–2016 年之單位面積產量平均，可得 1,687 g m⁻²，而試驗結果之產量無法達到 70%，1,180.9 g m⁻²。由此可知，芥藍需延後採收才能達到產量標準，但對於品質的影響，則必須再評估。

油菜品種間之小區產量為 455–653 g m⁻²，無顯著差異，單株重以「青龍」22.9 g、「阿茵」20.5 g、鄭奇種苗 20 g 及年豐種子行 18.9 g 之油菜品種最佳。其中前三者小區產量達 600 g m⁻² 以上，葉綠素相對含量值達 40 以上，顯著較其他品種高 (表 10)。油菜定植後 2 wk 葉數達 6 片以上，符合採收標準。由於油菜並無單位面積產量相關之統計資料，若以不結球白菜之 70% 產量為 1,287 g m⁻² 來計算，目前品種產量僅有標準之一半或更低。

芥菜品種間小區產量與單株重以「台農三號」最佳，分別為 813 g m⁻² 與 29.4 g，其葉數雖不到 5 片，但葉長 21.81 cm 與葉寬 8.6 cm 較大，而重量較高，「青和」以 24.2 g 次之；「客

表 7. 太陽能板遮蔽率 40% 對不同品種青梗白菜植株於營農型光電溫室生長之影響。

Table 7. Effects of 40% coverage (shading) of solar panel on the growth of different cultivars of Pak-Choi (*Brassica rapa* ssp. *chinensis* var. *communis*) grown in the photovoltaic greenhouse.

Cultivar	Average weight (g)	Yield (g m ⁻²)	SPAD ¹	Leaf no.	Plant height (cm)	Leaf base to apex (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Petiole length (cm)	Petiole width (cm)
'Hua Guan'	26.3 d ²	601 cde	30.83 e	10.3 f	19.25 c	8.10 bcd	10.41 e	5.45 gh	6.61 d	0.73 cd
'Lü Guang No.1'	39.2 b	1,191 a	37.11 b	13.3 a	27.65 a	8.83 b	10.78 de	6.58 cd	7.40 ab	0.62 de
'Oprah'	43.7 a	1,096 ab	33.61 c	12.6 ab	20.49 c	8.37 b	11.58 bc	7.06 bc	6.67 d	0.73 cd
'Xia Guan'	25.9 d	474 de	36.51 b	10.6 ef	19.51 c	7.26 d	9.42 f	5.67 fg	6.81 cd	0.59 e
'CR Si Ji'	35.0 c	777 bcd	36.91 b	11.3 de	21.38 bc	8.27 bc	10.96 cde	6.20 de	7.72 ab	0.98 a
'Yi Jiang'	37.3 bc	912 abc	32.69 cd	11.9 bcd	20.81 c	8.18 bcd	11.99 ab	6.85 bc	7.55 ab	0.80 bc
'Natsu tei'	19.0 e	451 e	40.59 a	12.1 bc	16.90 c	7.42 cd	7.73 g	5.15 h	5.78 e	0.63 de
'Seitei'	37.9 bc	1,077 ab	31.62 de	10.6 ef	26.94 ab	13.06 a	12.55 a	8.61 a	7.33 bc	0.89 ab
'Quan Sheng No.1'	35.5 bc	860 bc	36.65 b	11.7 cd	21.50 bc	8.66 b	11.18 cd	7.11 b	6.61 d	0.87 ab
'CR Xia Zhuan Ke'	29.3 d	684 cde	36.44 b	11.2 de	21.91 bc	8.27 bc	10.61 de	6.02 ef	7.91 a	0.73 cd
Block	NS ³	NS	NS	***	NS	***	**	NS	***	***
Cultivar	***	***	***	***	**	***	***	***	***	***

¹SPAD: Soil and Plant Analyzer Development.²Means of cultivars are averaged from 60 plants of 3 blocks; the same letters are not significantly different with least significant difference test at $P < 0.05$.³NS, **, ***: Non-significant, significant at 0.01, and 0.001 levels, respectively.

表 8. 太陽能板遮蔽率 40% 對不同品種小白菜植株於營農型光電溫室生長之影響。

Table 8. Effects of 40% coverage (shading) of solar panel on the growth of different cultivars of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. spp) in the photovoltaic greenhouse.

Cultivar	Average weight (g)	Yield (g m ⁻²)	SPAD ^z	Leaf no.	Plant height (cm)	Leaf base to apex (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)
'Xin Si Ji Cai'	51.9 bc ^y	1,432 ab	17.71 f	10.4 a	27.34 d	10.20 ab	15.93 b	10.72 e
'Mi Xue Er'	60.9 a	1,786 a	21.71 d	9.9 ab	29.84 a	8.92 c	18.96 ab	11.73 bcd
'Cui Feng'	62.3 a	1,902 a	30.71 a	9.1 ab	28.85 ab	9.16 bc	20.27 ab	13.06 a
'San Feng No.2'	34.7 d	944 b	10.87 g	7.3 b	28.19 bcd	8.31 c	18.24 ab	12.20 ab
'Quan Zhou Bai Cai'	53.9 bc	1,757 a	17.99 f	9.5 ab	27.20 d	8.72 c	18.45 ab	12.12 b
'Shikinoiroi'	53.3 bc	1,442 ab	20.82 de	9.6 ab	28.65 bc	9.14 bc	18.37 ab	11.47 bcde
'E Zi Bai Cai No.503'	58.4 ab	1,865 a	24.49 c	10.2 a	25.86 e	6.42 d	21.98 a	11.02 de
'Jing Yan No.2'	50.9 c	1,532 ab	27.72 b	11.2 a	25.88 e	6.60 d	18.44 ab	11.94 bc
Block	***	NS ^x	***	NS	**	***	*	NS
Cultivar	***	*	***	NS	***	***	NS	***

^zSPAD: Soil and Plant Analyzer Development.

^y Means of cultivars are averaged from 57 plants of 3 blocks; the same letters are not significantly different with least significant difference test at $P < 0.05$.

^x NS, *, **, ***, : Non-significant, significant at 0.05, 0.01, and 0.001 levels, respectively.

表 9. 太陽能板遮蔽率 40% 對不同品種芥藍植株於營農型光電溫室生長之影響。

Table 9. Effects of 40% coverage (shading) of solar panel on the growth of different cultivars of Chinese kale (*Brassica oleracea* L. Alboglabra Group) grown in the photovoltaic greenhouse.

Cultivar	Average weight (g)	Yield (g m ⁻²)	SPAD ^z	Leaf no.	Plant height (cm)	Leaf base to apex (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)
'New Veg-Gin'	19.1 c ^y	405.9 d	44.4 c	6.5 ab	27.38 d	13.75 c	10.37 bc	9.56 b
'Green Delicacy'	15.2 d	364.0 d	46.0 c	6.4 ab	27.93 cd	14.39 c	9.81 c	7.59 c
'Yi Jia'	31.7 a	771.4 a	51.5 a	6.4 ab	32.40 a	18.35 a	12.69 a	10.65 a
'Lan Xing'	25.5 b	632.1 b	53.3 a	6.2 ab	27.76 cd	14.87 c	10.20 bc	9.37 b
'Pan Chou Yeh Kale' (Ming Feng)	24.3 b	526.9 bc	48.4 b	6.6 a	29.01 bc	14.58 c	10.85 b	9.35 b
'Pan Chou Yeh Kale' (Gong Nong)	19.8 c	450.9 cd	44.5 c	6.1 b	29.89 b	16.65 b	10.61 bc	9.47 b
Block	NS ^x	NS	NS	NS	**	***	NS	*
Cultivar	***	***	***	NS	***	***	***	***

^zSPAD: Soil and Plant Analyzer Development.

^y Means of cultivars are averaged from 54 plants of 3 blocks; the same letters are not significantly different with least significant difference test at $P < 0.05$.

^x NS, *, **, ***, : Non-significant, significant at 0.05, 0.01, and 0.001 levels, respectively.

表 10. 太陽能板遮蔽率 40% 對不同品種油菜植株於營養型光電溫室生長之影響。

Table 10. Effects of 40% coverage (shading) of solar panel on the growth of different cultivars of rape (*Brassica rapa* ssp. *chinensis* var. *utilis*) grown in the photovoltaic greenhouse.

Cultivar	Average weight (g)	Yield (g m ⁻²)	SPAD ²	Leaf no.	Plant height (cm)	Leaf base to apex (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)
'Yu Quan Cai Xin'	16.4 bc ³	455 a	39.03 bc	7.2 a	22.73 c	12.81 a	11.76 ab	6.91 bc
'Qing Long'	22.9 a	606 a	40.83 b	6.6 b	27.87 ab	10.74 b	12.27 ab	7.33 bc
'All In'	20.5 ab	653 a	34.47 d	5.7 d	27.06 ab	9.13 bc	11.73 ab	8.91 a
Rape (Zheng, Xing-Tai)	13.4 c	457 a	37.86 c	6.0 cd	26.28 b	9.00 bc	11.83 ab	7.21 bc
'Fu Lu Tian'	14.9 c	486 a	45.44 a	6.9 ab	23.25 c	8.83 c	11.20 b	6.51 c
Rape (Cheng Chi)	20.0 ab	632 a	41.12 b	6.5 bc	26.85 ab	10.22 bc	12.56 a	7.50 bc
Rape (Nian Feng)	18.9 ab	554 a	37.14 c	6.0 cd	28.60 a	10.38 bc	12.93 a	7.89 b
Block	*	NS ⁴	**	NS	NS	NS	**	*
Cultivar	***	NS	***	***	***	***	**	***

²SPAD: Soil and Plant Analyzer Development.

³Means of cultivars are averaged from 60 plants of 3 blocks; the same letters are not significantly different with least significant difference test at $P < 0.05$.

⁴NS, *, **, ***: Non-significant, significant at 0.05, 0.01 and 0.001 levels, respectively.

表 11. 太陽能板遮蔽率 40% 對不同品種芥菜植株於營養型光電溫室生長之影響。

Table 11. Effects of 40% coverage (shading) of solar panel on the growth of different cultivars of mustard (*Brassica juncea* Coss.) grown in the photovoltaic greenhouse.

Cultivar	Average weight (g)	Yield (g m ⁻²)	SPAD ²	Leaf no.	Plant height (cm)	Leaf base to apex (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)
'Xiao Yi' (Xin Yu Sen)	22.1 bc ³	494.6 abc	24.3 bcd	5.2 ab	23.21 b	8.48 bc	16.02 c	6.40 cde
'Tainung No.2'	20.1 c	504.4 abc	27.2 a	4.3 d	31.08 a	10.70 a	17.47 b	7.20 b
'Tainung No.3'	29.4 a	813.0 a	25.6 ab	4.6 cd	31.82 a	9.69 ab	21.81 a	8.60 a
'Qing He'	24.2 b	602.4 ab	23.3 cde	5.3 a	24.27 b	8.47 bc	16.69 bc	6.83 bc
'Xiao Yi' (Jin Ri)	19.9 c	558.3 abc	22.7 de	4.8 bc	22.97 b	8.73 b	16.12 c	6.07 cde
'Xiao Yi' (Hong Xin)	22.7 bc	626.8 ab	22.7 de	4.8 bc	24.19 b	8.81 b	16.79 bc	6.73 bcd
'Ke Ren Yi'	9.0 e	244.9 c	21.6 e	3.5 e	20.23 c	7.27 cd	12.96 d	5.79 e
'Xue Li Hong'	13.9 d	347.7 bc	24.6 bc	4.5 cd	20.29 c	6.50 d	13.51 d	6.04 de
Block	**	NS ⁴	*	NS	**	NS	***	***
Cultivar	***	NS	***	***	***	***	***	***

²SPAD: Soil and Plant Analyzer Development.

³Means of cultivars are averaged from 60 plants of 3 blocks; the same letters are not significantly different with least significant difference test at $P < 0.05$.

⁴NS, *, **, ***: Non-significant, significant at 0.05, 0.01 and 0.001 levels, respectively.

人刈」單株重極低，僅 9 g (表 11)。此次試驗選用之小型葉用芥菜品種，由於農業統計年報無芥菜的項目，而農情報告資源網僅有大芥菜資料，以大芥菜單位面積 70% 產量為 1,592 g m² 作參考。「台農三號」還有一半的產量需要達到，其他品種僅 244.9–626.8 g，與產量標準差異甚大。

營農型光電溫室內葉菜類從播種到採收之栽培時間，和一般露地栽培時間相當或些微延後。判斷園產品外觀，營農型光電溫室內部分葉菜有徒長或植株纖弱、不緊密的現象，離市場的接受標準還有進步空間。

作物間對光照的需求不盡相同，茄子、黃豆、花生和甘藷在遮蔭 30、47、63 及 73% 的情況下，產量及營養生長隨遮光程度增加而減少；在 30% 遮蔭下，唯獨秋作半結球萵苣產量顯著增加，且遮蔭程度達 47% 時，僅些微少於未遮光的對照組 (Wolff & Coltman 1989)。另茄果類與瓜果類蔬菜對光之需求較強，適合的光強度為 40 Klux (約 725 μmol m² s⁻¹) 以上，而油菜、小白菜及青梗白菜等小葉菜類為光需求不敏感之作物，其光需求小於 10 Klux (約 181 μmol m² s⁻¹)。Marrou *et al.* (2013) 研究指出，當光源縮限，萵苣具備有效提升生物量的能力，主要是透過增加葉片的光照擷取效率，其機制可能為 (1) 在葉片數減少的情況下，增加總葉面積；(2) 採行葉面積的重新分配，提高陰影下的葉面積到最大。本研究比較數種葉菜類，發現同屬十字花科葉菜，小白菜較油菜和青梗白菜適合在遮光的環境中生長，大部分的品種單位面積產量能達到農委會的七成標準；然而，如試驗中芥藍、油菜等葉菜，並無農業統計年報的數據，該以何種數據作為七成產量的依據標準較為恰當，仍需進一步商討，而以常態栽培生產之資料可作為選項。在營農型光電溫室內能栽培但無法達到產量標準的其他葉菜類，由本試驗結果之預估，後續則可透過適當密植或加強肥培管理等方式，來提高單位面積產量。

有機栽培系統對於作物生產的表現跟作物類型與品種有關。相較於慣行栽培，果樹 (-3%) 與產油作物 (-11%) 產量，並無統計上的顯著差異，然而有機生產的穀類 (-26%) 與蔬菜 (-33%)

產量則顯著較低 (Seufert *et al.* 2012)。而本試驗產量標準採農業統計年報，主要為慣行栽培，因此若試驗採用慣行方式生產，應該有增產的空間。

前人研究指出該個案有機農場之生產成本較慣行栽培農戶高 20.9%，但其種子費、肥料費及病蟲害防治費用等，均低於對照農戶，其銷售量與銷售額均高於損益平衡點，顯示存有一定的利潤 (Chen & Day 2009)。以穴盤育苗再定植田間 2–3 wk 後採收的方式運行，在營農型光電溫室內可以避免外界天氣變化造成的不確定因素，保障穩定生產，一年保守估計最少可以種植 10 作的葉菜。產量雖略低於網室栽培模式，但其複作指數高，為其不容忽視的特點。

本研究初步篩選在農電系統下能有效利用光照的蔬菜種類與品種，接下來會配合溫網室栽培的對照，希望能建立營農型光電溫室下之蔬菜栽培系統，提供未來農電產業發展參考。

誌謝

感謝行政院農業委員會提供 106 農科-22.2.1-農-C1 研究計畫的經費支持，與向陽優能電力股份有限公司提供試驗場地及相關協助，使本研究可以順利執行。

引用文獻

- Chen, S. F. and D. T. Day. 2009. A case study of organic vegetable farm operated achievement. Res. Bull. Taichung Dist. Agric. Res. Ext. Stn. 105:13–21. (in Chinese with English abstract)
- Cantagallo, J. E., D. Medan, and A. J. Hall. 2004. Grain number in sunflower as affected by shading during floret growth, anthesis and grain setting. Field Crops Res. 85:191–202.
- Dapoiny, L., S. de Tourdonnet, J. Roger-Estrade, M. H. Jeuffroy, and A. Fleury. 2000. Effect of nitrogen nutrition on growth and nitrate accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* L.), under various conditions of radiation and temperature. Agronomie 20:843–855.
- Department of Planning, Council of Agriculture. 2017. Practicing photovoltaic greenhouse in farming: No abusing of photovoltaic greenhouse to generate electricity and damaging prime farmlands. http://www.coa.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=agri&id=6892 (visited on 9/5/2017) (in

- Chinese)
- Dupraz, C., H. Marrou, G. Talbot, L. Dufour, A. Nogier, and Y. Ferard. 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renew. Energ.* 36:2725–2732.
- Kadowaki, M., A. Yano, F. Ishizu, T. Tanaka, and S. Noda. 2012. Effects of greenhouse photovoltaic array shading on Welsh onion growth. *Biosyst Eng.* 111:290–297.
- Kitaya, Y., G. Niu, T. Kozai, and M. Ohashi. 1998. Photosynthetic photon flux, photoperiod, and CO₂ concentration affect growth and morphology of lettuce plug transplants. *HortScience* 33:988–991.
- Marrou, H., J. Wery, L. Dufour, and C. Dupraz. 2013. Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *Eur. J. Agron.* 44:54–66.
- Pan, R. C. 2013. *Plant Physiology*. 2nd ed. Yi Hsien Publishing. New Taipei, Taiwan. 367 pp. (in Chinese)
- Seufert, V., N. Ramankutty, and J. A. Foley. 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*. 485:229–232.
- Tani, A., S. Shina, K. Nakashima, and M. Hayashi. 2014. Improvement in lettuce growth by light diffusion under solar panels. *J. Agric. Meteorol.* 70:139–149.
- Wolff, X. Y. and R. R. Coltman. 1989. Productivity under shade in Hawaii of five crops grown as vegetables in the tropics. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:175–181.
- Yang, C. M. and C. Y. Lin. 2005. Chinese kale. p.371–376. *in*: *Taiwan Agriculture Encyclopedia*, Crop Edition 2. 3rd ed. (Hung, J. H., T. D. Fan, and L. N. Lin, eds.) Council of Agriculture. Taipei, Taiwan. 926 pp. (in Chinese)

Growth Evaluation on Different Vegetable Species Grown in a Photovoltaic Greenhouse with 40% Coverage of Solar Panel on the Roof

Hsiang-I Lee¹, Shough-Peng Lee², Miao-Miao Hsu^{1,*}, and Hui-Ling Lo¹

Abstract

Lee, H. I., S. P. Lee, M. M. Hsu, and H. L. Lo. 2018. Growth evaluation on different vegetable species grown in a photovoltaic greenhouse with 40% coverage of solar panel on the roof. *J. Taiwan Agric. Res.* 67(3):258–269.

Due to the government paying much attention to the solar energy issue and eager to combine with agricultural production, agrivoltaic systems gain much attention recently. The objective of this study was to evaluate growth of different vegetable species and cultivars that suitable for winter cultivation in a photovoltaic greenhouse with 40% coverage of solar panel on the roof. Results showed that cultivars of Pak-Choi (*Brassica rapa* ssp. *chinensis* var. *communis*) ‘Lü Guang No.1’ and ‘Oprah’ had the best yield and flavor among others. For non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. spp), cultivars ‘Quan Zhou Bai Cai’, ‘Mi Xue Er’, ‘Cui Feng’, and ‘E Zi Bai Cai No.503’ performed the best. ‘Qing Long’, ‘All In’, and rape bred by Cheng Chi Seed Grower Company grew better within the tested cultivars of rape (*Brassica rapa* ssp. *chinensis* var. *utilis*). The yield of F₁ cultivars of Chinese kale (*Brassica oleracea* L. Alboglabra Group) ‘Yi Jia’ and ‘Lan Xing’ were significantly higher than others. Mustard (*Brassica juncea* Coss.) ‘Tainung No.3’ and ‘Qing He’ had the highest average weight and yield. Comparing vegetable species for the experiment, non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. spp) obtained 70% of the 3-year average yield of that grown in normal condition and can be harvested in about 16 d after transplanting, shorter than other vegetable species with high multi-cropping index. As a result, it is the most adaptable vegetable of this study. The vegetable species without acceptable yield production could be further enhanced by improved cultural practices.

Key words: Photovoltaic greenhouse, Coverage, Vegetable cultivation, Cultivar selection.

Received: September 19, 2017; Accepted: January 18, 2018.

* Corresponding author, e-mail: mmhsu@fthes-tari.gov.tw

¹ Assistant Research Fellows, Department of Vegetable, Fengshan Tropical Horticultural Experimental Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Kaohsiung, Taiwan, ROC.

² Associate Research Fellow, Department of Vegetable, Fengshan Tropical Horticultural Experimental Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Kaohsiung, Taiwan, ROC.