

建築物對溫室光量分布的影響¹

陳令錫²、陳俊源³、陳加忠⁴

摘 要

光線是作物進行光合作用的重要因素。臺灣傳統溫室的建材與披覆材料需考慮透光率，若光量不足將影響作物生產。近年來，臺灣農業設施在政策補助下，栽培面積迅速成長。溫室材料使用多年若未更新，將造成設施內透光率降低進而影響產量。本研究之目的在探討溫室旁有建築物時，對溫室光量分布的影響，以提供溫室建造選地時之參考。研究方法採 3 只光量感測器，分別裝設在溫室內東側、西側及西側溫室外。資料記錄器擷取光量感測器訊號，取樣間隔 1.0 min。試驗結果顯示建築物高度 6.35 m 在溫室東側距離 1.2 m，對溫室作物之遮蔽效應影響顯著。10 月下旬溫室東側建築物對溫室光線遮蔽之影響，自 08:03 太陽光線直射溫室西側之室外光量感測器開始，至 10:18 太陽光線直射溫室內東側之光量感測器，此時垂直夾角為 36 度，建築物之遮蔽效應才漸漸解除。陰天上午溫室內東西 2 側之光量差異大於下午，下雨天溫室內東西 2 側之光量差異在 14:00 前較大，14:30 之後差異變小。屋頂塑膠布透光率在 3 種天氣下介於 60-68% 之間。建築物之遮光效應之透光率在 3 種天氣下介於 41.9-49.5% 之間。顯示緊鄰建築物的溫室東側整日平均光量較西側少約 18%。若要減輕建築物對溫室之遮蔽效應，需要增加二者間距離，或是降低建築物高度。此農田旁建築物排水槽高度 6.35 m，當水平距離 1 m 到 9 m 之間，遮蔽效應從 48.25% 降到 30%。若水平距離 9 m 到 13 m 之間，遮蔽效應約 30% 到 26%，隨著水平距離增加，遮蔽效應下降幅度減緩。

關鍵字：建築物、溫室、光量分布、透光率、遮蔽效應

前 言

亞熱帶臺灣的設施發展考量氣候與社會經濟條件，覆蓋材料以塑膠布為主，簡固型連棟溫室較簡易式鉸管隧道型溫室堅固，其造價雖高，但為臺灣農民所普遍採用。然而，多連棟溫室在夏季中午前後面臨熱累積引起的高溫、通風不足與光量分布不均勻問題⁽⁴⁾。解決方法有：外遮陰網、內遮陰網、水牆負壓風扇、細霧通風、屋頂氣窗等方法⁽⁶⁾，可以個別實施或複合操作以取得通風降溫效果。

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 1033 號。

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員。

³ 國立中興大學非洲研究中心研究員。

⁴ 國立中興大學生物產業機電工程學系特聘教授。

光線是作物進行光合作用的重要元素之一，臺灣傳統溫室的建材與披覆材料，在集約且長期作物耕作的種植結構下，造成透光率低。一般玻璃屋頂透光率約 85-90%，塑膠布屋頂透光率約 60-90%⁽⁵⁾。陳等(2015)研究雙連棟玻璃溫室東西側光量差異，發現早上與下午，東側高於西側 9.21% 及 20.02%⁽⁴⁾。

林等(1991)研究簡易溫室環境對葡萄生育之影響，表明設施葡萄園都是採用塑膠布簡易溫室，晝間溫度經常超過生育適溫，寒流期間室內無法維持必要的生育臨界低溫，因而日夜溫差較露地變化大，室內的濕度常呈過乾或過濕的劇烈變化，此外塑膠布的結露現象與過高遮光率，使光量不足因而生育不良⁽²⁾。Yang 等(2007)指出有效輻射是番茄生產最重要的影響因素，在晴天中午光強 710-874 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ ，75%的自然光度對番茄植株生長和產量無顯著影響。但光量下降至 620 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ 以下，番茄植株的生長量、乾物質累積及產量則顯著降低⁽⁸⁾。Wilson 等(1992)指出設施內作物生長和產量對光照強弱的極相關性，光照強度每下降 1%，作物產量也下降 1%⁽⁷⁾。

楊等(1995)研究覆蓋物對宜蘭地區哈密瓜生產與品質之影響，探討宜蘭地區天候冷涼多雨之特殊環境下，哈密瓜栽培管理最佳之覆蓋方法及覆蓋資材。試驗結果顯示畦面以覆蓋銀黑色塑膠布最佳，隧道式覆蓋資材以防霧塑膠布有最佳效果⁽³⁾。

近年來，臺灣設施在政策補助下，栽培面積迅速成長。但是溫室造價高，考量設施投入之成本，設施覆蓋材料使用多年常未更新。傳統設施興建時未考慮周圍建物之影響，造成設施環境內透光率嚴重降低且影響產量。本研究之目的在探討溫室旁東側存在建築物時，對溫室光量分布的影響，並將研究結果提供農村發展與溫室選地建造之參考。

材料與方法

溫室側視圖與 3 只光量感測器安裝位置如圖一，研究方法採 3 只光量感測器，分別裝設在溫室內部東側、西側及西側溫室外。以資料記錄器擷取光量感測器訊號，分析不同天氣的 3 個光量計數據、農田旁建築物與作物的水平距離，獲得減輕建築物對溫室之遮蔽效應的原則。

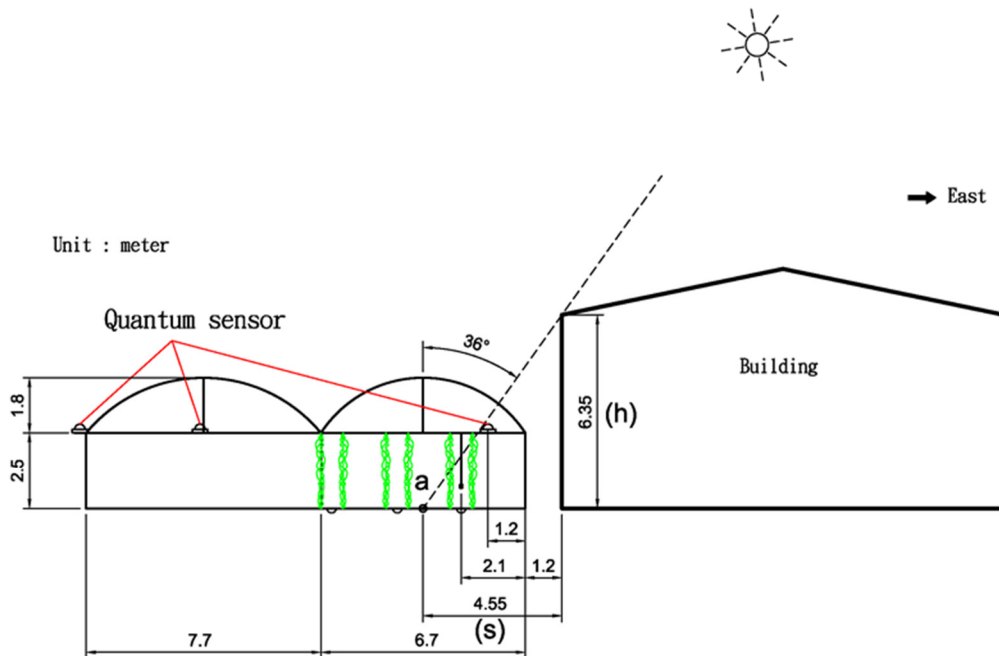
一、溫室：位於彰化縣溪州鄉試驗農戶平安田園陳先生之簡易塑膠布 2 連棟溫室。南北座向，長度約 40 m，溫室寬度東側 6.7 m、西側 7.7 m，水槽高度 2.5 m，圓弧屋頂高度 4.3 m。建造於 2010 年，土耕種植小黃瓜，每畦雙行之網子間距 80 cm，株距 40 到 60 cm。屋頂塑膠布為單層 PE 材質。溫室東側緊鄰高約 6.35 m (h) 建築物。溫室周壁與建物水平距離 1.2 m，最東側作物與該建築物水平距離約 2.9 m (3.3-0.4)。

二、光量感測器：光量感測器 3 只，型號 SQ-215 (Apogee instruments, USA)，感測範圍：0-4000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ ，輸出電壓 DC 0-5V，分別裝設在溫室內部東側、西側及西側溫室外。

三、三個光量計之安裝位置：連棟雙跨距溫室東側緊鄰建築物，早晨光線受到阻擋，三個光量計之安裝位置為東側、西側及西側溫室外作物上方之橫桿(圖一)，光量計與建築物之距離，分別由近到遠。試驗數據收集期間從 2016 年 10 月 4 日上午到 2016 年 10 月 26 日上午，為期 22

天，期間歷經晴天有雲、陰天、下雨天等不同天氣型態。

四、資料記錄器：光量感測器量測數據由資料記錄器(CR1000, Campbell, USA)記錄，經由類比輸入通道連結，編輯資料記錄程式，擷取光量感測器訊號。取樣間隔 1.0 min，電器訊號解析成個別的光量。



圖一、溫室與東側建築物及 3 只光量感測器安裝位置側視簡圖。

Fig. 1. The side view sketch of the greenhouse and building on the east side, and the installed position of 3 quantum sensors.

結果與討論

臺灣中部平地晴天天空中時常有雲朵存在與飄移，使用光量感測器長時間紀錄的經驗發現白天整日晴朗無雲的情況很少見，在秋冬季節偶而會發生，因此，沒有下雨的晴天或陰天難以區分；本研究的晴天由光度曲線呈現雲層干擾較小者，陰天和雨天取陽光露臉較少者。

一、不同天氣的光量比較

(一)晴天有雲

晴天有雲整日之室外、東側及西側之光量數據變動情形如圖二所示。05:50 曙光，光量感測

器數值開始上升，08:03 太陽光線直射西側溫室外光量感測器，光量感測器數據 4 min 時間由 320 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ 上升到 700 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ 。而東側光量感測器數值直到 09:50 開始由 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ 大幅度上升到 10:18 的 730 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ 。因此 10 月下旬晴天溫室東側建築物對溫室光線遮蔽之影響，自 08:03 開始太陽光線直射溫室西側之室外光量感測器，建築物之遮蔽效應到 10:18 才解除。此時太陽光線才直射溫室東側光量感測器。

(二)陰天

陰天整日之室外、東側及西側之平均光量分別為 322.9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ 、153.6 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ 、210.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ ；室內東側及西側之平均光量分別為室外的 47.6%及 65.1%。數據變動情形如圖三所示。上午溫室內東西 2 側之光量差異大於下午。

(三)下雨天

下雨天整日之室外、東側及西側之光量分別為 178.6 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ 、81.8 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ 、1418.9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ ；室內東側及西側之平均光量分別為室外的 45.8%及 66.6%。數據變動情形如圖四所示，溫室內東西 2 側之光量差異在 14:00 前較大，14:30 之後差異變小。

根據圖二晴天有雲之光量變動情形，選取上午 10:49 到 11:23 天空雲層稀少時段的光量數據計算塑膠布透光率，這段時間太陽光已經不受東側建築物影響。下雨天、陰天與晴天之透光率如表一所示，東側透光率在晴天與陰天各為 51.0%與 49.6%，而下雨天只有 41.7%。西側透光率在晴天與陰天各為 61.8%與 68.1%，而下雨天 65.9%。西側透光率在晴天較低、陰雨天較高的原因推測是因為雲層和屋頂雨水之散射作用。西側透光率較東側高的原因推測是採樣位置上方屋頂灰塵附著之差異。至於不同位置入射光強度不同的問題，太陽光源在短時間與短距離的溫室範圍，入射光強度視為相同。

表二為不同天候下室外及室內東西側 3 個光量感測器之整日平均值，透光率用西側數據與室外數據計算。透光率在 3 種天氣下介於 60.5-67.7%之間。建築物之遮光效應之透光率使用東側數據和室外數據計算，在 3 種天氣下介於 41.9-49.5%之間。顯示緊鄰建築物的東側整日平均光量較西側少約 18%。

西側透光率在 3 種天氣下介於 61-68%之間，高於東側，和表 2 整日平均值之透光率相近，顯示透光率不受數據取樣時段影響，但是透光率受測點位置及天氣影響。

圖五顯示晴天有雲、陰天及下雨天等 3 種不同天氣型態之室外光量變動情形。圖中晴天室外中午光量高達 1700 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ ，陰天約 800-1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ ，下雨天約 400-600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ 。晴天早上 8 點以前之室外光量數據與下雨天相近，但是低於陰天之光量數據。推測應該是陰天雲層反射之結果。東側、西側及西側溫室外等 3 只光量感測器數據均包括清晨被建築物遮蔽光線之影響，西側室內和室外光量計距離建築物較遠，遮蔽效應較早解除。

表一、不同天候下中午期間 PE 塑膠布之透光率

Table 1. The transmissivities of PE roof cover during noon in rainy, cloudy and sunny weather

Weather	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$)			Transmissivity (%)	
	Position of quantum sensor			East	West
	Outside	East	West		
Rainy 11:00	585.49	244.33	385.79	41.7	65.9
Cloudy 11:00	825.94	409.42	562.59	49.6	68.1
Sunny 11:00	1704.89	868.87	1053.54	51.0	61.8

表二、不同天候下室外與室內東西側 3 個光量感測器之整日平均值及建築物遮蔽效應之透光率

Table 2. The all day long average solar intensity of 3 quantum sensors at outside and both east and west inside of greenhouse and transmissivities in rainy, cloudy and sunny weather

Weather	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$)			Transmissivity (%)	Light transmittance of shielding effect (%)
	Position of quantum sensor				
	Outside	East	West		
Rainy	178.89	81.81	118.86	66.4	45.7
Cloudy	310.41	153.63	210.16	67.7	49.5
Sunny	435.48	182.29	263.46	60.5	41.9

二、農田旁建築物與作物的水平距離

查詢交通部中央氣象局網站⁽¹⁾，臺灣中部 10 月上旬日出時間為 5:49、日沒時間為 17:45，全日照時長 11 h 56 min(716 min)。根據圖一本試驗現場農田旁建築物與溫室作物的水平距離為東西向 2.9 m，建築物高度 6.35 m。對東側光量感測器之遮蔽效應到 10:18 才解除，與正午 12 時相距 102 min。此時太陽經建築物屋頂照射地面(a 點)之垂直夾角為 36 度，a 點與建築物水平距離 4.55 m。垂直夾角 36 度與 102 min，換算單位夾角之日照時間為 2.83 min/度，此數據可用於計算垂直夾角之時間 Tb。

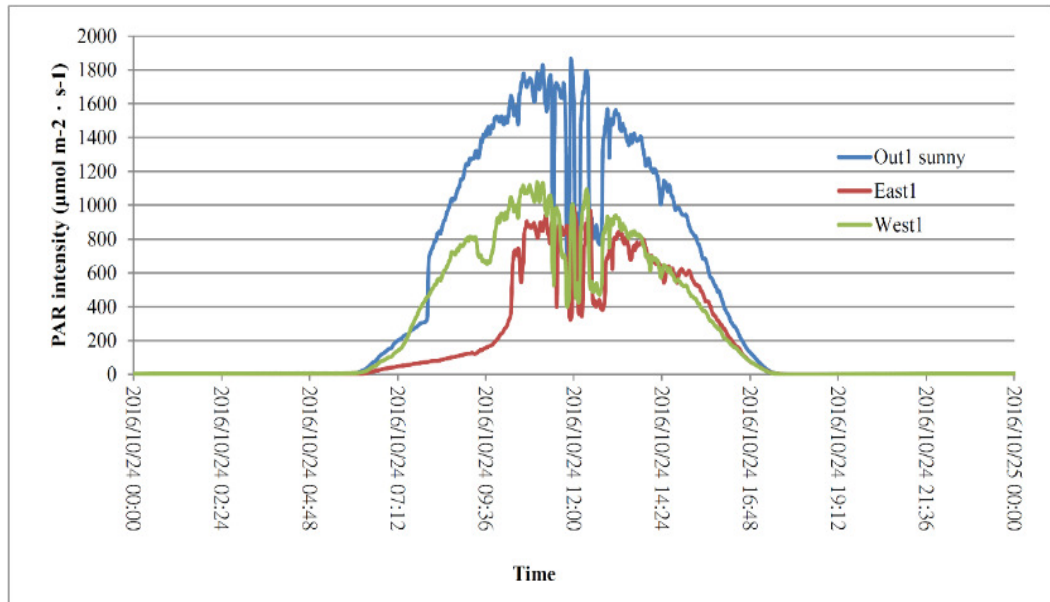
根據圖一之 a 點與建築物水平距離 s，建築物高度 h，可求出垂直夾角 β 和垂直夾角之時間 Tb：

$$\beta = 90 - \tan^{-1}(h/s)$$

$$Tb = 2.83 * \beta$$

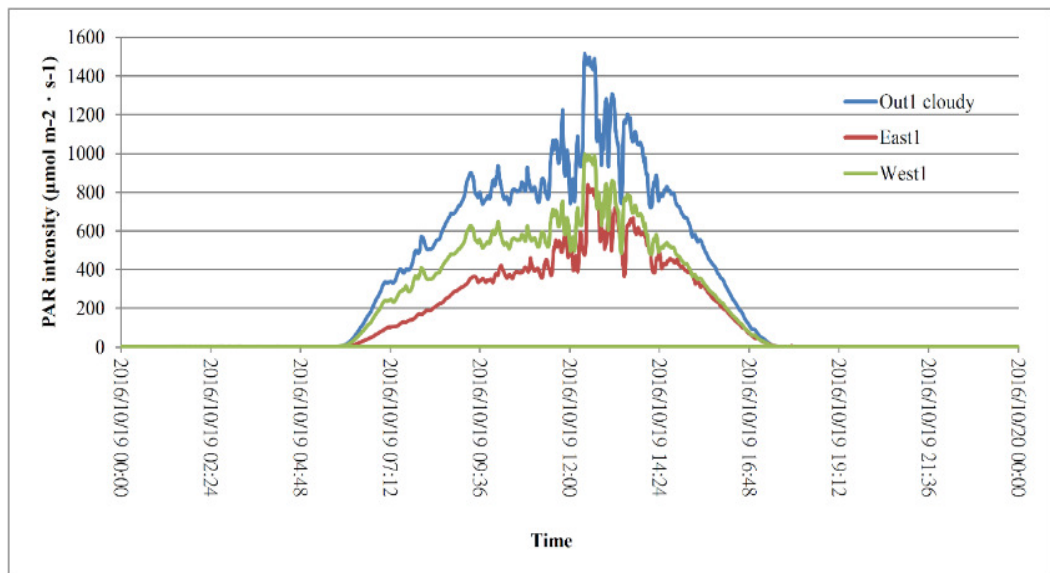
遮蔽效應時間 = 上半日時間 - 垂直夾角(β)之日照時間

該日建築物對溫室之遮蔽效應時間為 4 h 29 min (269 min, 371-102)，日照時長僅 7 h 27 min(447 min)，遮蔽效應時長佔全日照時長比例約為 37.57%(269/716)。



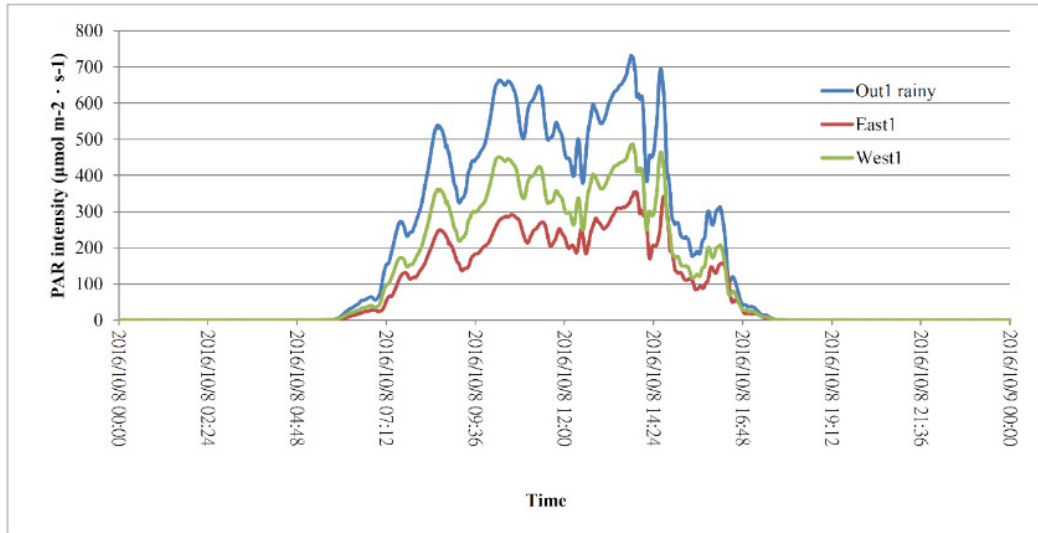
圖二、晴天有雲整日之室外、溫室東側及西側之光量變動。

Fig. 2. The all day long light intensity fluctuation at outside and both east and west inside of the greenhouse on a sunny day with clouds weather.



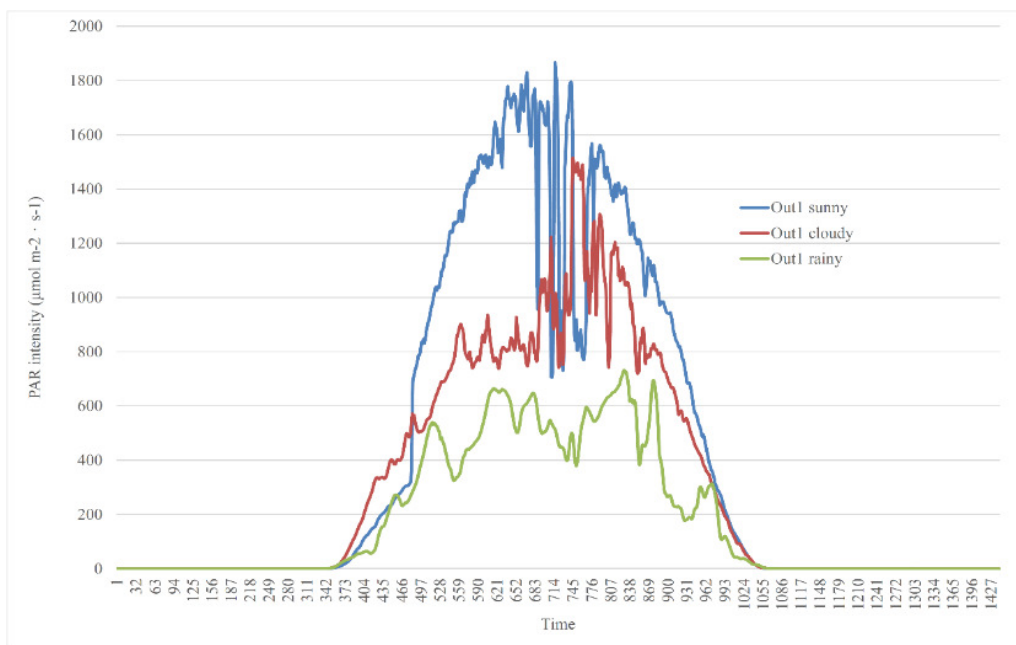
圖三、陰天之室外、溫室東側及西側之光量變動。

Fig. 3. The all day long light intensity fluctuation at outside and both east and west inside of the greenhouse on a cloudy weather.



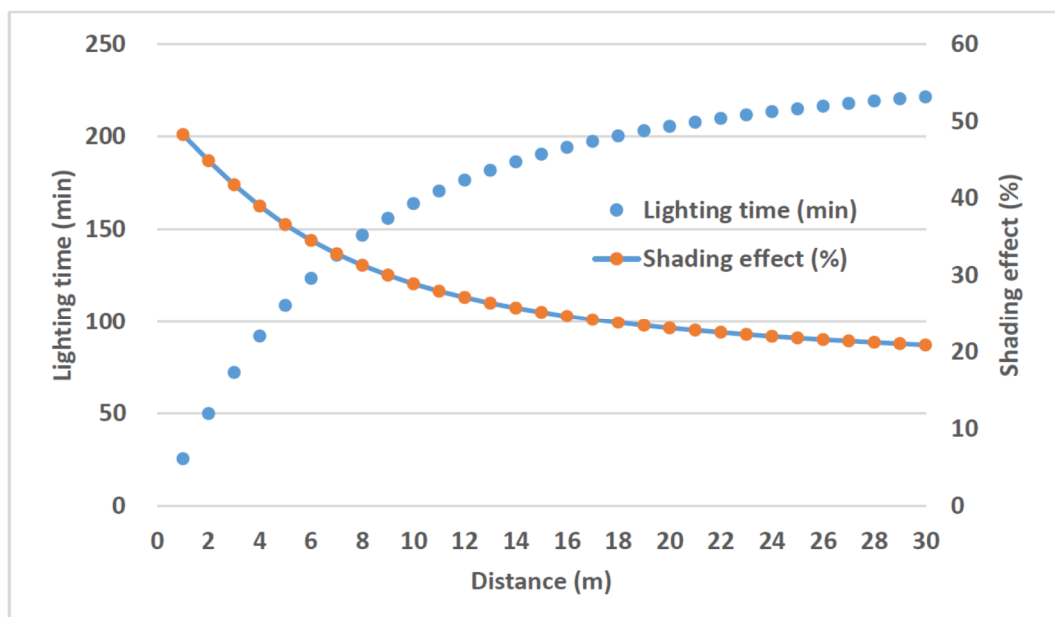
圖四、下雨天之室外、溫室東側及西側之光量變動。

Fig. 4. The all day long light intensity fluctuation at outside and both east and west inside of the greenhouse on a rainy weather.



圖五、晴天有雲、陰天、下雨天等3種不同天氣型態之室外光量變動。

Fig. 5. The all day long light fluctuation at outside in 3 different weather patterns on sunny day with clouds, cloudy day, and rainy day.



圖六、太陽照射建築物高度 6.35m 排水槽和地面之直線形成垂直夾角之日照時間、遮蔽效應隨水平距離之變化。

Fig. 6. Variation of sunshine time and shading effect with horizontal distance when the vertical angle formed by the straight line between the roof gutter at a height of 6.35 m and the ground is illuminated by the sun.

建築物高度 6.35 m 對溫室作物之遮蔽效應，根據圖一垂直夾角 β 之日照時間變化加以評估。圖六為太陽照射建築物高度 6.35 m 排水槽和地面之直線形成垂直夾角之日照時間、遮蔽效應(100*遮蔽時長/全天日照時長)隨水平距離之變化，顯示當水平距離 1 m 增加到 9 m 之間，遮蔽效應從 48.25% 降到 30%。水平距離 9 m 到 13 m 之間，遮蔽效應約 30% 到 26%。隨著水平距離增加遮蔽效應下降幅度減緩。

因此若要減輕建築物對溫室之遮蔽效應，需要增加二者間距離，或是降低建築物高度。此農田旁建築物排水槽高度 6.35 m，大約 2 層樓高。若距離作物 13 m，垂直夾角增為 64.14 度，垂直夾角之日照時間 181.74 min，建築物對溫室之遮蔽效應將提早於 8:58 解除，建築物對溫室之遮蔽效應時間縮短為 3h 9.26 min(189.26 min)。日照時間為 8 h 46.74 min(526.74 min)，遮蔽效應時間占全天日照時間比例縮小為 26.43%(189.26/716)。

雖然地球繞太陽公轉造成季節變換，溫室位置的緯度造成日出時間差異，理論上太陽天頂角(仰角 90 度)發生在正午，太陽的方位角與仰角隨時間而改變。本文採用正午太陽天頂角(仰角 90 度)的概念，計算垂直夾角 β 和垂直夾角之時間 T_b ，具有在我國境內相同時區應用的參考價值。

結 論

本研究之目的在探討溫室旁有建築物時，對溫室光量分布的影響，以提供農村發展及溫室建造選地時之參考。試驗結果顯示，建築物高度 6.35 m 在溫室東側距離 1.2 m，對溫室作物之遮蔽效應大。10 月下旬該建築物對溫室光線遮蔽之影響，自 08:03 太陽光線直射溫室西側之室外光量感測器開始，至 10:18 太陽光線直射溫室內東側之光量感測器，此時垂直夾角為 36 度建築物之遮蔽效應才漸漸解除。陰天上午溫室內東西 2 側之光量差異大於下午、下雨天溫室內東西 2 側之光量差異在 14:00 前較大，14:30 之後差異變小。屋頂塑膠布透光率在 3 種天氣下介於 60-68% 之間。建築物之遮光效應之透光率在 3 種天氣下介於 41.9-49.5% 之間。緊鄰建築物的溫室東側整日平均光量較西側少約 18%。

若要減輕建築物對溫室之遮蔽效應需要增加二者間距離，或是降低建築物高度。依公式可得知，此農田旁建築物排水槽高度 6.35 m，大約 2 層樓高。當水平距離 1 m 到 9 m 之間，遮蔽效應從 48.25% 降到 30%。若水平距離 9 m 到 13 m 之間，遮蔽效應約 30% 到 26%，隨著水平距離增加遮蔽效應下降幅度減緩。

誌 謝

本研究計畫經費由農委會科技計畫 105 農科-7.1.1-中-D1 提供。感謝彰化縣溪州鄉農戶平安田園陳蒼鄺先生提供試驗之簡易塑膠布溫室，研究期間李安心、劉志聰先生及賴碧琴小姐等之協助，謹致謝忱。

參考文獻

1. 交通部中央氣象局網站 2022 https://www.cwb.gov.tw/V8/C/K/astromy_day.html 查詢日期：2022/6/6
2. 林嘉興、張林仁 1991 簡易溫室環境對葡萄生育之影響 園藝作物產期調節研討會專集 II 193-211 台灣省臺中區農業改良場。
3. 楊宏瑛、黃子彬 1995 覆蓋物對宜蘭地區哈密瓜生產與品質之影響 花蓮區農業改良場研究彙報 11: 53-65。
4. Chen L.H., T.C. Shen, W.Y. Chen, J.Y. Chen, C. Chen, and J. Hughes. 2015. Evaluation of summer light intensity between the east and west sides of a twin-span glasshouse. P71 Book of Abstracts, Int. Symp. on New Technol. and Mgt. for Greenhouses, GreenSys 2015, Portugal.
5. Hemming, S., S.L. Speetjens, D. Wang, and J.R. Tsay. 2013. Greenhouse design for vegetable production in subtropical climate in Taiwan. Int. Symp. on New Technol. for Environ. Control, Energy-Saving and Crop Prod. In Greenhouse and Plant. P.28-74.

6. Kittas, C., N. Katsoulas, T. Bartzanas, and S. Bakker. 2013. Greenhouse climate control and energy use, p.63-97. In: W. Baudoin, R. Nono-Womdim, N. Lutaladio, A. Hodder (eds.). Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops - principles for Mediterranean climate areas. FAO-UN plant prod. and protection paper 217, Rome.
7. Wilson, J.W., D.W. Hand, and M.A. Hannah. 1992. Light interception and photosynthesis efficiency in some glasshouse crops. *J. Exp. Bot.* 43(3): 363-373.
8. Yang, Y.J., T.L. Li, D. Lin, N. Chen, and L.N. Zou. 2007. Effects of different light intensity on growth and yield of tomato. *J. of Qingdao Agr. Univ. (Natural Sci.)* 24(3): 199- 202.

The influence of the buildings beside the farmland on the light distribution of the greenhouse¹

Ling-Hsi Chen², Jiun-Yuan Chen³ and Chia-Chung Chen

ABSTRACT

Light is one of the important factors of crop photosynthesis. The building materials and covering materials of traditional greenhouses in Taiwan have to consider the light transmissivity, otherwise, insufficient light quantity affects the growth of crops. Recently, Taiwan's protected horticulture area has grown rapidly under policy subsidies. If greenhouse materials have not been updated for many years, the light transmissivity in the greenhouse will be seriously reduced and the crop yield will be affected. The aim of this research is to explore the influence of buildings next to the greenhouse on the light distribution of the greenhouse and to provide a reference for the greenhouse construction site selection. The research method used 3 quantum sensors, which are installed at the west outside and both east and west inside in the greenhouse. The datalogger collected the quantum sensor signals with a sampling interval of 1 minute. The results showed the influence of the building adjacent to the east side of the greenhouse on the light shielding of the greenhouse in late October. At 08:03, the sun's rays were directed at the outdoor quantum sensor on the west side of the greenhouse, and the shielding effect of the buildings was relieved at 10:18. The difference in light intensity between the east and west sides of the greenhouse in the cloudy morning is greater than that in the afternoon. The difference in light intensity between the east and west sides of the greenhouse on a rainy day is greater before 14:00, and the difference becomes smaller after 14:30. The light transmissivity of the roof plastic cover is between 60-68% under three kinds of weather. The light transmissivity of the shading effect of the building is between 41.9-49.5% under three kinds of weather. It shows that the average light intensity on the east side of the greenhouse adjacent to the building is about 18% less than that on the west side. To reduce the shading effect of the building on the greenhouse, it is necessary to increase the distance between the greenhouse and the building and reduce the height of the building. The height of the roof gutter of the building is 6.35 m. When the horizontal distance is ranged from 1 m to 9 m, the shading effect is reduced from 48.25 to 30%. If the horizontal distance is ranged from 9 m to 13 m,

the shading effect is about 30 to 26%, and the decline of the shading effect slows down as the horizontal distance increases.

Key words: building, greenhouse, light distribution, transmissivity, shading effect

¹ Contribution No. 1033 from Taichung DARES, COA.

² Associate Researcher of Taichung DARES, COA.

³ Researcher of Africa Industrial Research Center, National Chung Hsing University.

⁴ Distinguished Professor of Department of Bio-industrial Mechantronics Engineering, National Chung Hsing University.