

# 營農型太陽光電綠能設施農電共構共享整合 生產管理技術開發之研究

賴信忠、李淑真、林禎祥、楊雅淨、黃錦杰、李宗樺

行政院農業委員會桃園區農業改良場副研究員、副研究員、  
助理研究員、助理研究員、助理研究員、助理研究員

shinjong@tydais.gov.tw

## 摘 要

栽培環境、作物種類及人為管理皆會影響作物產能及品質，由於太陽光電設備影響設施光環境，因此，計畫目的為依據太陽能電場實際光度選擇適合作物種類，再依據作物生育特性改善栽培技術，藉以提高農作物產量。由於大多數植物光合作用為  $C_3$  型，受限於光飽和點無法完全利用光能，藉由累積光度對產量預測模型，配合監測數據除可預測產量，並可用於篩選符合 70%產量作物種類，多餘陽光用於發電。已完成芥藍菜、福山高苣及鳳京白菜累積光度對產量預測模型，其  $R^2$  分別為 0.922、0.903、0.901。實際於光電案場試種低需光性魚腥草一年後，全株平均乾重  $464.8 \text{ g m}^{-2}$ ，具容易栽培管理及高經濟潛力的作物。另為因應光電業者栽培技術及人力不足，研發智慧農業開發系統及監控裝置，應用在蘭科及觀葉植物智慧栽培管理，可獲得良好管理成效。

關鍵詞：自動控制、設施、農電共享、太陽能

## 前 言

作物種類選擇須符合適地適種及人為管理能力，適地指的是根據當地環境，加上光電設施設置造成微氣候改變等因素都必須納入考量，以當地主要作物種類來篩選符合光電案場環境的作物。影響作物光合作用的環境因子很多，如光強度、溫度及生理因子等，在低光下淨光合作用隨光強度呈直線上升，當光強度增加至一定程度後，淨光合作用則趨於平穩而達光飽和階段，主要受限於葉片固定  $\text{CO}_2$  能力。光飽和點高低反映植物對強光適應能力，光補償點則顯示植物對弱光適應能力。植物長期處於低光環境會造成植物型態及結構變化，如葉片變薄、葉綠素增加、葉面積增大、改變葉片與枝條角度等增加光能截取機制，是植物對弱光環境的適應調適的結果。

物聯網(Internet of Things, IOT)是由國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)於 2005 年所提出，除了人跟人之間可以透過網路相互聯繫外，人與物品或物品與物品

之間亦可以透過網路互通資訊。物聯網是由感知層、網路層、應用層共同構成的資訊系統，感知層擔任資訊蒐集，透過感測器、智能卡、RFID 電子標籤等。網路層負責資訊傳遞，透過廣電網路、互聯網、通訊網路等。應用層則負責完成資訊分析處理和決策以實現或完成特定智能化應用及服務。大數據應用於農業可協助農業生產資源管理，減少失敗率，生產者針對消費者需要進行生產，是一種資源最佳化利用的生產模式。IOT 與大數據結合的自動化生產，可使整體農業生產達到資源最佳化利用。數位服務、資通訊及電子產業為我國重要科技產業，技術也領先各國，如能導入農業可進一步提升農業全球競爭力，解決國內勞力短缺困境。政府推動生產力 4.0，利用大數據分析技術，結合智慧機械及 IOT 技術，可視為自動化延伸。植物工廠是某種層面的智慧化生產的實現，而智慧化生產精髓在 IOT 結合數據分析的實現，生產過程透過感測環境，了解生產對象狀況，以演算法建立數位分身，透過網際網路提供專業服務及尋求解答，平台也主動提供各項服務，使生產者能有效且自主掌控生產。

魚腥草(*Houttuynia cordata* Thunb)分布於中國、日本、韓國及東南亞一帶，為三白草科蕺菜屬多年生草本植物，又名臭臊草、魚搓草、蕺菜、臭菜、魚鱗草及十藥等，在臺灣主要生長於海拔 2,000 公尺以下林地道路旁、山溝邊及田埂等喜陰涼潮濕環境，為常見的鄉土植物。全株含有癸醯乙醛(decanoyl acetaldehyde)、甲基正壬酮(methyl-n-nonyl ketone)、 $\alpha$ -蒎烯、 $\beta$ -蒎烯、月桂烯、月桂醛、檸檬烯、癸醇、癸醛及 4-松香醇等成分，據文獻報導具有抗菌、抗病毒及增強免疫能力等作用(胡等, 2004; 蘇等, 2008; Chen *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2005; Fu *et al.*, 2013)。中國、越南及泰國等國家將嫩葉及根莖作為蔬菜食用，日本及韓國則開發為多樣化的飲料產品及除臭劑等衛生用品(Fu *et al.*, 2013)。是一種食用及藥用兼備的作物。魚腥草為臺灣原生的鄉土植物，利用性廣並有保健功效，重要性漸受重視，但農民多自野外直接採集販售，少有專業栽培生產，造成採收量及品質不一，不利於商業生產，目前採收後主要供為青草茶、茶包等飲料使用，少部分供蔬菜食用。因此，本試驗分別以不同遮光率之遮陰網進行處理，以評估最適之遮光程度並於雲林縣營農型太陽光電綠能設施內進行魚腥草產量評估，以供為未來集約化栽培之參考。

蘭科(Orchidaceae)，是開花植物中世界性分布和具多樣性的科，約有 736 屬，28,000 個物種，和 100,000 個園藝家培養的交配種和變種。文心蘭為蘭科文心蘭屬(*Oncidium*)作物，為複莖地生蘭或著生蘭，原產於中、南美洲，原生種大約有 700 種以上；於台灣栽培，終年皆可開花，為多年生作物，以生產切花為主，9-11 月為切花高峰期，5-6 月為次高峰期；為我國重要的外銷切花，2014 年栽培面積達 248 公頃，切花外銷量約 2,700 萬枝(2016 年約 2,500 萬枝)，產值達 5.7 億元臺幣，2016 年內銷約 939 萬支切花，國內切花產值約 6 千 5 百萬元。長距根節蘭屬蘭科根節蘭屬(*calanthe*)作物，複莖地生蘭或著生蘭，為台灣原生蘭花，是長距根節蘭與白鶴蘭的天然雜交種，原生於中低海拔半透光且高濕的山區，每年於酷熱的夏季(6-8 月)開花，花色為淡紫到深紫色；本場已成功開發於平地人工大量繁殖、種植且培育開花的技術。目前與桃園市風景管理處合作推廣作為景觀花卉，種植於桃園市小烏來風景區、角板山

及後慈湖等風景區；為多年生作物，可做為景觀花卉、盆花或切花。萬代蘭為蘭科、萬代蘭族(tribe Vandae)、仙人指甲蘭亞族(subtribe Aeridinae)，萬代蘭屬(*Vanda*)作物。大部分為單莖類的附生蘭，少數為地生蘭。原產於熱帶亞洲，約有 70 多個原生種，分布以熱帶亞洲為中心，自印度、喜馬拉雅、中國南部、臺灣、沖繩到菲律賓、印尼到澳洲等區域；屬多年生作物，為國內新興蘭科切花產業，栽培面積約 10 公頃，2016 年國內切花交易金額約 234 萬元，出口日本 26 萬枝。

台灣蘭科經濟栽培物種有蝴蝶蘭、文心蘭、萬代蘭、拖鞋蘭(又名仙履蘭或兜蘭)、蕙蘭(俗稱國蘭)、石斛蘭和嘉德利亞蘭等。這些蘭科作物栽培時會搭設網室或溫室栽培，並設有遮陰網控制光線，以利其生長發育和開花。蝴蝶蘭栽培以盆花為主，栽培時夏季利用水牆和風扇降溫，冬季需加溫，成本高，不適合本場營農型太陽光電綠能設施案場環境栽培。長距白鶴蘭為本場推廣中的切花作物，與文心蘭、萬代蘭、拖鞋蘭、蕙蘭、石斛蘭和嘉德利亞蘭等栽培上主要以遮陰設施為主，文心蘭、長距白鶴蘭和萬代蘭均以切花生產為主，且栽培期較短，因此，本試驗篩選栽培此三種作物進行智慧栽培管理技術開發。

## 材料與方法

### 一、追日型太陽能光電綠能設施環境監測

為了解光電設施對環境微氣候影響，於雲林縣土庫鎮開陽國際生技股份有限公司太陽能電廠設置 5 組環境傳感器(桃園區農業改良場開發技轉慶奇科技股份有限公司生產)，長期監測光度、溫度及濕度。

該電廠為追日型立柱單軸太陽能面板，配置為南北走向，面積 0.35 公頃地，共有 5 行，每行 10-11 座太陽能設施，每座 11 公尺，太陽能板寬度 3.3 公尺，高度 3.2 公尺，行距為 6 公尺，設施下搭建簡易溫室，簡易溫室寬 3.3 公尺，溫室外走道間距 2 公尺，配有自動噴灌系統。本場借用 0.1 公頃地設施，進行環境監測及作物栽培試驗，評估各種作物生育狀況。

### 二、開發智慧農業專屬資訊系統

#### (一) 農業開發系統架構

智慧農業開發系統係整合物聯網、雲端儲存系統及數據分析模組及串接氣象局資料庫，應用於農業生產管理之專屬平台(圖 1)。可監控環境氣象數據紀錄，以無線傳輸收集傳感器資料，可於雲端平台讀取，透過 R 語言伺服器進行數據分析。視覺化程式編寫模組可編輯管理程式。田間自動化監控管理操作模組(圖 2)。

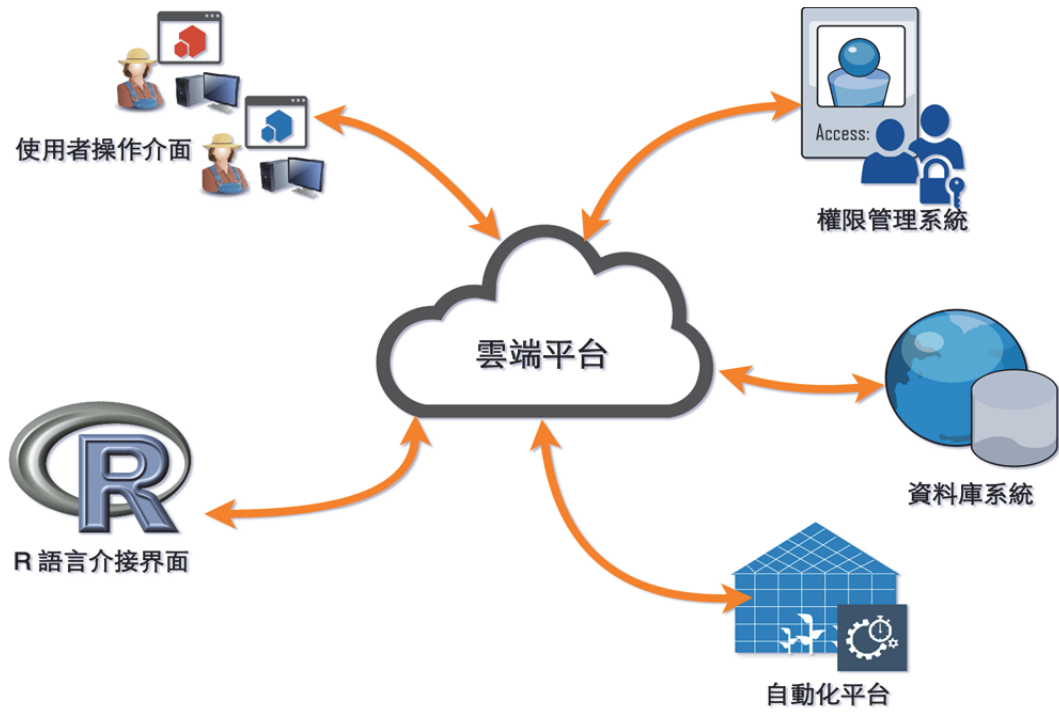


圖 1. 智慧農業開發系統整合多項功能之農業專屬資訊平台  
Fig. 1. Smart agriculture platform integrates various functions.

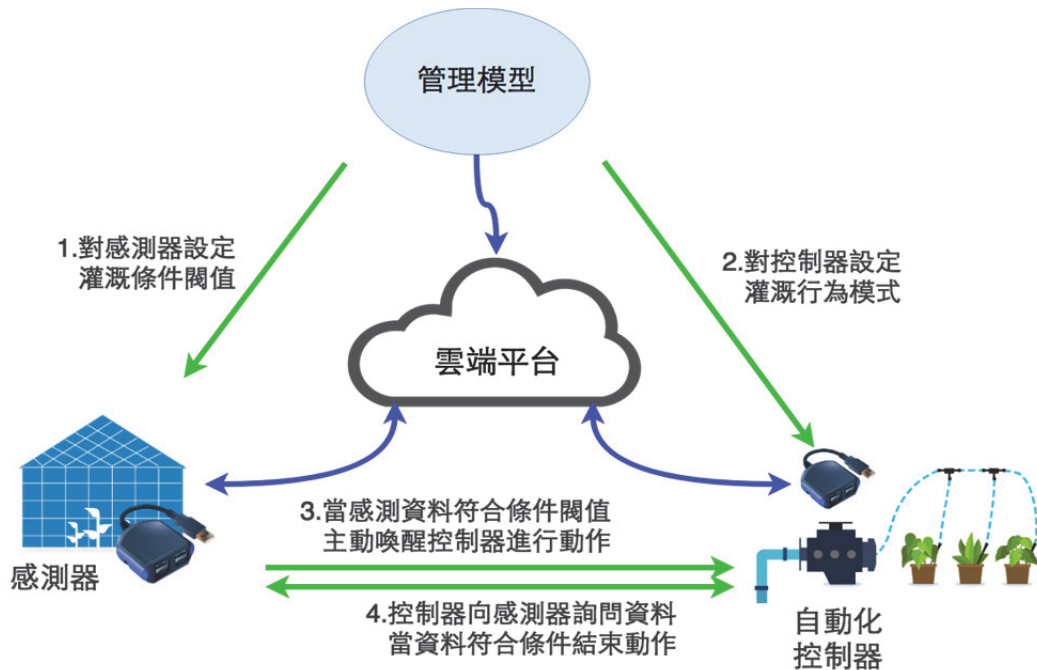


圖 2. 智慧農業開發系統架構  
Fig. 2. Framework of smart agriculture system.

## (二) 智慧農業開發系統主要功能設計

1. 提供 Web 主動申請會員帳號由管理者核發會員權限，以角色權限方式管理會員可操作的功能與擁有的資源，網頁支援 RWD 設計。
2. 建構 MySQL 資料庫記錄所有感測器資料與控制器的動作，感測器存放的欄位是可以任意添加與修改(NoSQL 格式)，歷史數據匯入/匯出使用.csv 格式上傳/下載。採用分散式資料儲存與備援機制，依據資料型態決定資料模型與後端儲存體以最佳化搜尋速度。
3. 需支援光度計、空氣溫濕度傳感器、土壤濕度計、水流量計、繼電器、電子秤…等傳感器或控制元件並保留擴充空間。
4. 提供設備管理、田區、作物管理可把資料導出到既時監控平台。
5. 提供視覺化自動模組編程，隨生理指標的改變自動切換管理模型。
6. 自動模組需包含與 R 語言互動的 I/O 介面，建立通道串接 MySQL 資料庫與 R 語言，可串接進行運算後將運算結果顯示在網頁上並存放在資料庫。透過 MQTT 伺服器提供平台各元件間訊息傳遞之骨幹。定義平台訊息格式、平台與各元件串接之程式介面(API)，傳感器之控制命令，透過 MQTT 伺服器，發送至控制器，執行啟動或關閉。
7. 以網路攝影機快照(Snapshot)擷取單張 JPEG 格式的圖檔，在用戶私有網路中增加代理器或是開啟防火牆(無線分享器)中的 Port Mapping (Virtual Server)功能，讓 Internet 的 User 端能直接讀到 IPCam 的 Snapshot。結合網路攝影機 FTP & CIFS(網路上的芳隣網路儲存的方式及中高階的網路硬碟(NAS)提供 docker 等功能，可以讓網路攝影在私人網域中將影像照片透過 CIFS or FTP 上傳到 NAS 之中，再透過檔案管理程序將影像資料導回使用者操作端。使用者在智慧農業系統上設定 NAS 對應網路攝影機的儲存路徑與檔名格式，啟動檔案管理程序掃描 JPEG 檔案列表，讓使用者操作端與檔案列表建立聯接，搜尋特定條件的影像時，系統會提供對應的檔案列表，方便使用者瀏覽之前的影像畫面。(圖 3)
8. 影像辨識系統採用 Google 開源之 Mobilenets 預訓練模型，建置於伺服器，應用遷移式學習所短建模時間。透過網頁匯入照片進行影像建模，所建置模型，下載至行動裝置進行辨識。



## 四、營農型太陽光電綠能設施魚腥草適應性評估

### (一) 遮光程度對於魚腥草生育及產量之影響

於 2017 年 4 月 25 日選取約 10 公分長含 3-5 個節位的地下部白色根莖種植，5 月 26 日進行遮陰處理，分別以 50%、60%、70%及 80%遮光網進行遮光處理，以不遮光為對照，評估光線遮蔽程度對魚腥草生育及產量之影響，田間採逢機完全區集設計，3 重複，小區面積為 5 m<sup>2</sup>，採作畦栽培，行株距 100 cm×10 cm，單行植。9 月 27 日收穫調查。

### (二) 營農型太陽光電綠能設施內魚腥草產量評估

於營農型太陽光電綠能設施農電共構環境分別以新梢苗(10-15 cm 長，3-4 個節位含葉片的新梢)，及根莖苗(長約 15 cm 之根莖)為種植苗株，於 2017 年 5 月 24 日種植，分別於同年 9 月 30 日及 2018 年 5 月 23 日收穫調查。

### (三) 魚腥草栽培管理

採用對環境友善方式進行管理，種植過程中不施用化學肥料，於種植前施用有機質肥料 1,500 kg ha<sup>-1</sup>，進行土壤改良並供應植株初期生長所需養分，5-6 月盛花期進行第 1 次採收，並於採收後施用有機質肥料 1,500 kg ha<sup>-1</sup>，作為禮肥，合計總施肥量為 3,000 kg ha<sup>-1</sup>。

### (四) 魚腥草農藝性狀調查及產量、品質分析

於收穫期調查株高、植株展幅、莖徑、根莖徑、乾物率、地上部莖葉及地下部根莖產量等。

### (五) 統計分析

所調查數據以統計軟體 SAS 9.1 程式(SAS Institute, 1999)進行變方分析(analysis of variance, ANOVA)，並以 Fisher 最小顯著差異性測試比較平均值之差異顯著性。

## 五、蘭科作物智慧栽培管理

### (一) 植物材料

長距白鶴蘭、文心蘭、萬代蘭

### (二) 試驗地點

開陽國際生技股份有限公司位於雲林縣土庫鎮追日型太陽綠能光電設施。

### (三) 作物智慧栽培管理

採用桃園場開發之智慧農業開發系統及環境傳感器與灌溉控制器(技轉慶奇科技股份有限公司生產)，設置 2 組 1 噸 PE 水塔，分別提供灌溉水及養液，透過加壓馬達及微噴灌管供

給。自動控制設定採用智慧農業開發系統之程式積木，依據環境傳感器土壤溼度偵測，灌溉控制器及電磁閥自動管理。

### 1. 長距白鶴蘭智慧栽培管理實施方法

長距白鶴蘭栽培於本場，具有遮陰網、水牆和風扇的標準溫室內，栽培介質混合泥炭土：蛇木屑：樹皮=2:1:1，於 2018 年 1 月和 4 月由 6 寸盆換盆至 8 寸盆，於 4 月 19 日移置雲林土庫追日型太陽能板下搭設之塑膠防雨設施栽培，同時架設微噴灌系統，5 月 18 日塑膠防雨設施下再架設 1 層 60%遮陰網，減少太陽光入射量，以利植株生育和栽培管理。2018 年 5 月 19 日智慧栽培之水管理，2 小區栽培，每區 64 盆(4X8+4X8)，設定當土壤濕度小於 600 (訊號值)，自動啟動微噴灌系統，每天設定噴溉 2 次，第 1 區上午 8 時 10 分和下午 2 時 10 分，第 2 區上午 8 時 20 分和下午 2 時 20 分，每次微噴灌 1 分鐘。肥培管理，養液桶配置花寶 2 號(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=20-20-20) 1,000 ppm 備用，第 1 區設定每 1 週，第 2 區設定每 2 週自動啟動肥培灌溉設備，每盆微噴灌 300 cc。

4 寸盆和 6 寸盆自 2017 年 6 月 19 日種植持續至今。2017 年每日噴溉 2 次，每次 5 分鐘。肥培管理，每株施用緩效性肥料 4 g。2018 年 5 月 15 日起智慧栽培管理之水管理，設定當空氣相對濕度小於 90，自動啟動噴灌系統，每天設定噴溉 3 次，上午 9 時 1 分、11 時 1 分和下午 2 時 1 分，每次噴灌 1 分鐘。肥培管理，養液桶配置花寶 2 號 1,000 ppm 備用，設定每 3 日自動啟動肥培灌溉設備，每次噴灌 30 秒。

### 2. 文心蘭智慧栽培管理實施方法

2017 年 7 月 21 日購買小苗種植持續至今，2017 年每日噴溉 2 次，每次 5 分鐘。肥培管理，每株施用緩效性肥料 4 g。2018 年 5 月 15 日起智慧栽培管理之水管理，設定當空氣相對濕度小於 90，自動啟動噴灌系統，每日設定噴溉 3 次，上午 9 時 1 分、11 時 1 分和下午 2 時 1 分，每次噴灌 1 分鐘。肥培管理，養液桶配置花寶 2 號(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=20-20-20) 1,000 ppm 備用，設定每 3 日自動啟動肥培灌溉設備，每次噴灌 30 秒。

### 3. 萬代蘭智慧栽培管理實施方法

2017 年 6 月 19 日購買 3 年生苗種植至今，採直接懸掛栽培，智慧栽培水管理，每日噴溉 2 次，每次 5 分鐘。肥培管理，每株施用緩效性肥料 4 g。自 2018 年 5 月 15 日起變更智慧栽培管理設定，水管理當空氣相對濕度小於 90，自動啟動噴灌系統，每日設定噴溉 3 次，上午 9 時 1 分、11 時 1 分和下午 2 時 1 分，每次噴灌 1 分鐘。肥培管理，養液桶配置花寶 2 號(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=20-20-20) 1,000 ppm 備用，設定每 3 日自動啟動肥培灌溉設備，每次噴灌 30 秒。

## 結果與討論

### 一、追日型太陽能光電綠能設施環境監測

以 2017 年 10 月 11 日晴天，露天最大光照度為  $1,664 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，平均照度  $827.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，溫室內溫度最高  $39.3^{\circ}\text{C}$ 。比較不同位置點累積照度與露天累積照度，設施間隙 40.6%、溫室中間 24.3%、溫室外側 23.0%(表 1、圖 4、圖 5、圖 6)。10 月 14 日陰天，最大光照度為  $923 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，平均照度  $175.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，溫室內溫度最高  $31.3^{\circ}\text{C}$ ，比較不同位置點累積照度與露天累積照度，設施間隙 67.1%、溫室中間 41.9%、溫室外側 38.5%(圖 7、圖 8、圖 9)，晴天與陰天不同區域光照度分布比率差異最大因素為直射光強度不同(表 1)。香莢蘭種植區為避免直射陽光所造成曬傷，增設 2 張綠紗網，與相同位置溫室中間感測器相比較，平均光度減少 26.5%，但最大光度減少 36.6%，有效減少直射光對植物傷害。

太陽能光電發電量第一取決於獲得多少日照輻射量(和迎向太陽的角度有關係)，第二則取決於「太陽能板的遮陰情況」。以固定式和追日比較，前者是朝南固定 15-20 度傾角，後者是水平沒有傾角，但東西向各轉動 45 度。在同樣的遮陰條件下(一般是指冬至日 09:00-15:00)太陽能板之間不會互相遮陰的條件，以雲林縣土庫鎮追日型遮蔽率 50%-55%，發電量等同固定式 20 度的建蔽率大約在 65%-70%左右。雲林縣土庫鎮電廠為追日型太陽光電設施，光電設施間距 6 m，太陽能板 3.3 m 寬，南北走向，溫室位於光電設施下，栽培環境可分為溫室(3.3 m 寬)及露天(2.7 m 寬)，遮蔽率為 55%，太陽能板排列成南北向，陽光照射位置會隨時間移動，光線分布較為均勻。

目前很多固定型太陽能設施都是覆蓋鐵皮，或者遮蔽率太高無法透光，建議改用 PC 透明板，該材質透光率可達 9 成，耐用年限可達 10 年以上；太陽能板則東西向間距拉開 1/3 空間，如 1.6 m x 1 m 太陽能板，東西向排列採 1 m 寬太陽能板加 50 cm 間距，使透光空間呈南北向，太陽光可隨時間移動，由於作物光合作用受限光飽和點，要提高光利用率，就需使光照更為均勻分散，可採用具顆粒面 PC 板或浪板，直射光轉為散射光，以露天光照 10 萬 lux，33%透光率，平均照度為 3 萬 lux，光利用率可大幅提升。

表 1. 雲林縣土庫鎮電廠 2017 年 10 月 11 日及 14 日環境監測

Table 1. Environment parameters in Tuku Township, Yulin County on 14 and 11 Oct., 2017.

日期	偵測	項目	露天	設施間隙	香莢蘭中間	溫室中間	溫室外側		
10/11 晴天	光度	累積值	595,626	241,690	106,786	144,835	136,839		
		PAR	百分比	100	40.6	17.9	24.3	23.0	
			平均	827.3	337.1	148.3	202.0	190.1	
			最大	1,664	1,444	392	619	877	
			最小	0	0	0	0	0	
	溫度	累積	43,651	43,224	43,706	43,317	43,381		
		°C	平均	30.6	30.3	30.6	30.4	30.4	
			最大	39.4	44.8	38.6	39.3	41.3	
			最小	25.5	25.3	25.9	25.8	25.8	
	濕度	平均	80.90	82.14	81.44	83.03	81.20		
		%	最大	100	99.6	97.5	98.8	97.4	
			最小	49.7	43.3	58.0	50.5	48.5	
	10/14 陰天	光度	累積值	121,757	81,715	40,637	50,981	46,897	
			PAR	百分比	100	67.1	33.4	41.9	38.5
				平均	175.4	117.7	58.6	73.5	67.6
			最大	923	430	273	402	238	
			最小	0	0	0	0	0	
溫度		累積值	36,654	36,514	37,324	37,174	37,181		
		°C	平均	25.6	25.5	26.1	26.0	26.0	
			最大	30.9	30.5	31.3	31.3	31.5	
			最小	24.2	23.9	24.3	24.2	24.1	
濕度		平均	98.09	97.97	94.93	96.99	94.89		
		%	最大	100	100	98.4	100	98.1	
			最小	81	81.6	77.8	79.1	74.6	

註：光度單位為  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ Footnote: Light intensity unit:  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

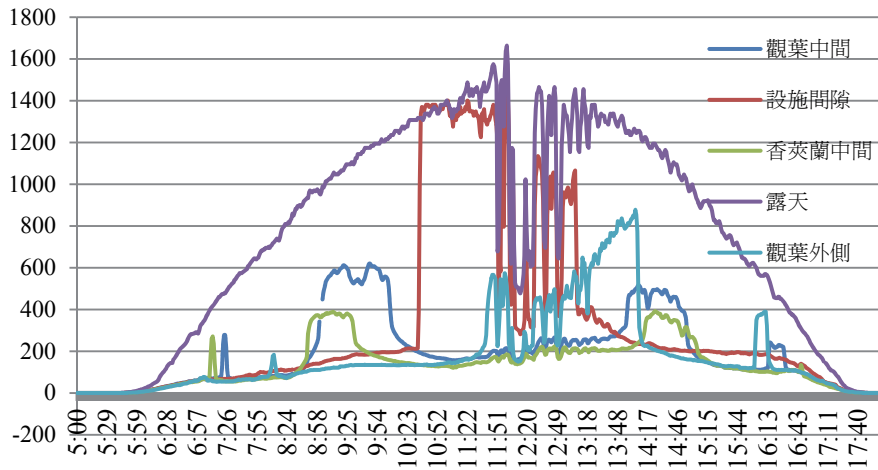


圖 4. 2017 年 10 月 11 日雲林縣土庫鎮電廠光度( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )監測

Fig. 4. Light intensity ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) of Solar photovoltaic facilities in Tuku Township, Yulin County, on 11 Oct., 2017.

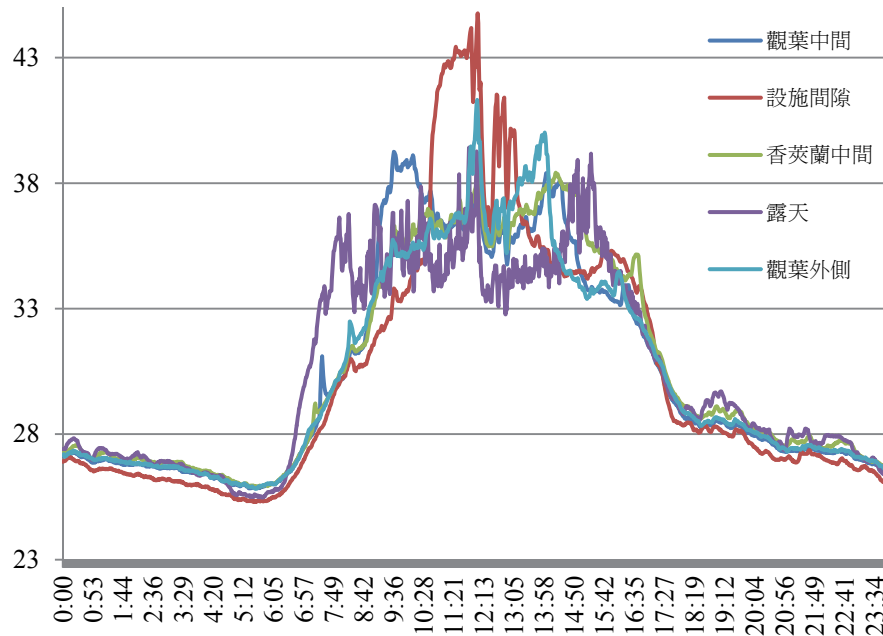


圖 5. 2017 年 10 月 11 日雲林縣土庫鎮電廠溫度( $^{\circ}\text{C}$ )監測

Fig. 5. Temperature( $^{\circ}\text{C}$ ) of solar photovoltaic facilities in Tuku Township, Yulin County, on 11 Oct., 2017.

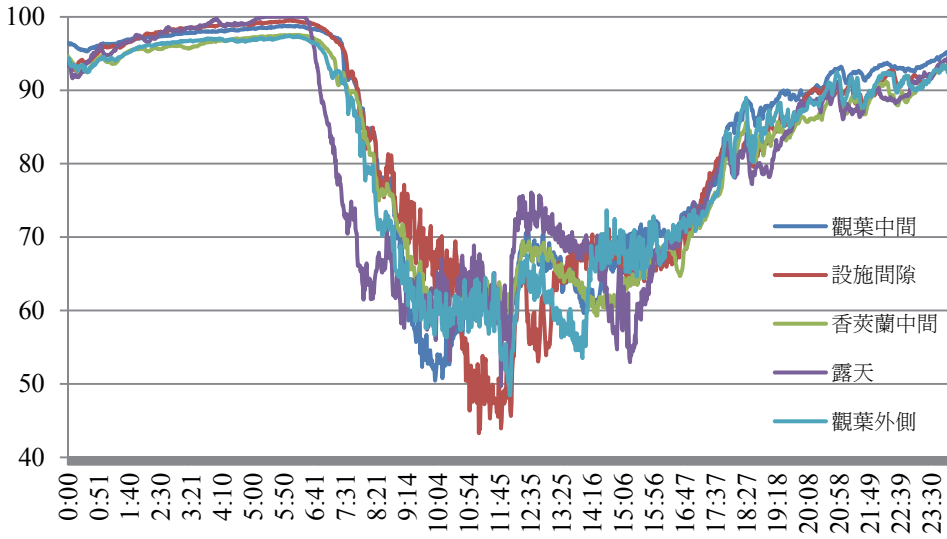


圖 6. 2017 年 10 月 11 日雲林縣土庫鎮電廠空氣相對濕度(%)監測

Fig. 6. Relative humidity (%) of solar photovoltaic facilities in Tuku Township, Yulin County, on 11 Oct., 2017.

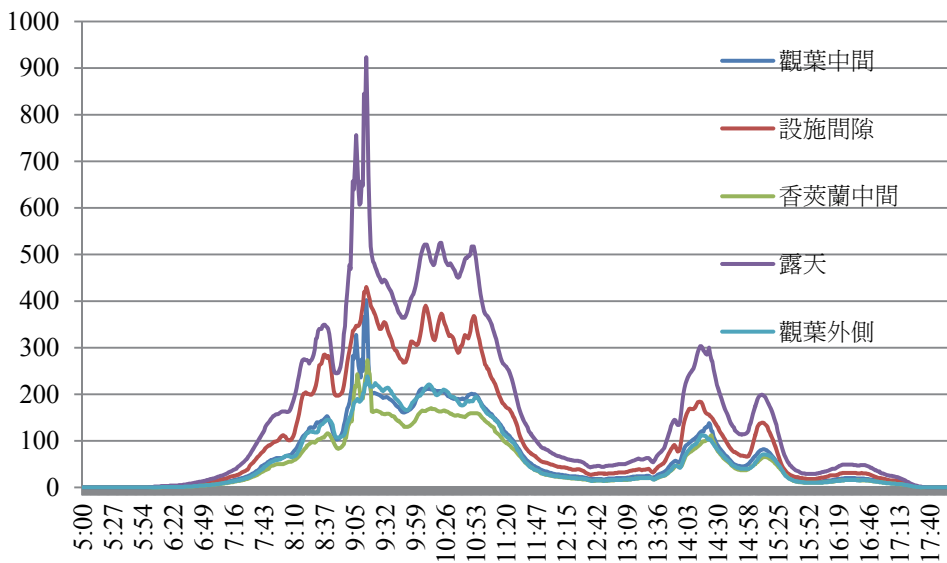


圖 7. 2017 年 10 月 14 日雲林縣土庫鎮電廠光度( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )監測

Fig. 7. Light intensity ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) of solar photovoltaic facilities in Tuku Township, Yulin County, on 14 Oct., 2017.

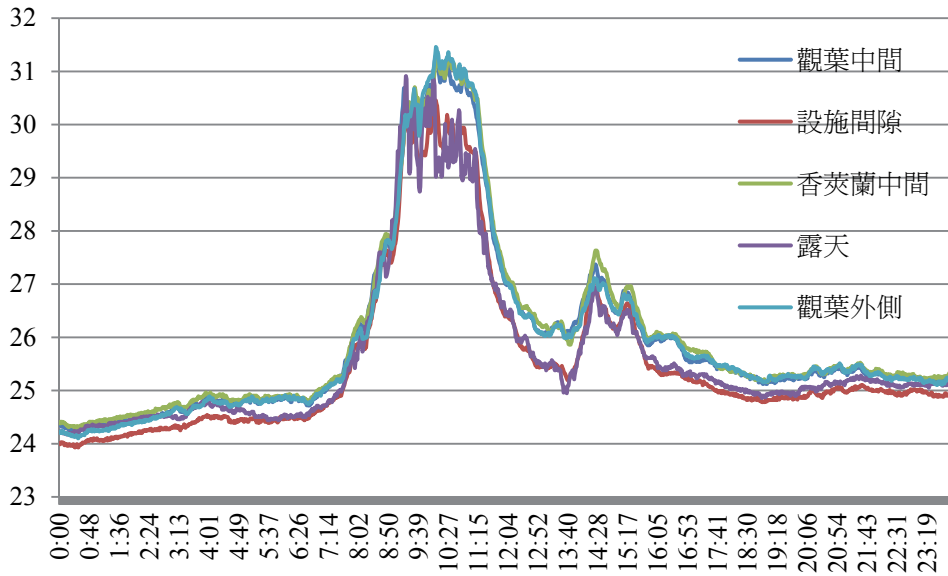


圖 8. 2017 年 10 月 14 日雲林縣土庫鎮電廠溫度(°C)監測

Fig. 8. Temperature(°C) of solar photovoltaic facilities in Tuku Township, Yulin County, on 14 Oct., 2017.

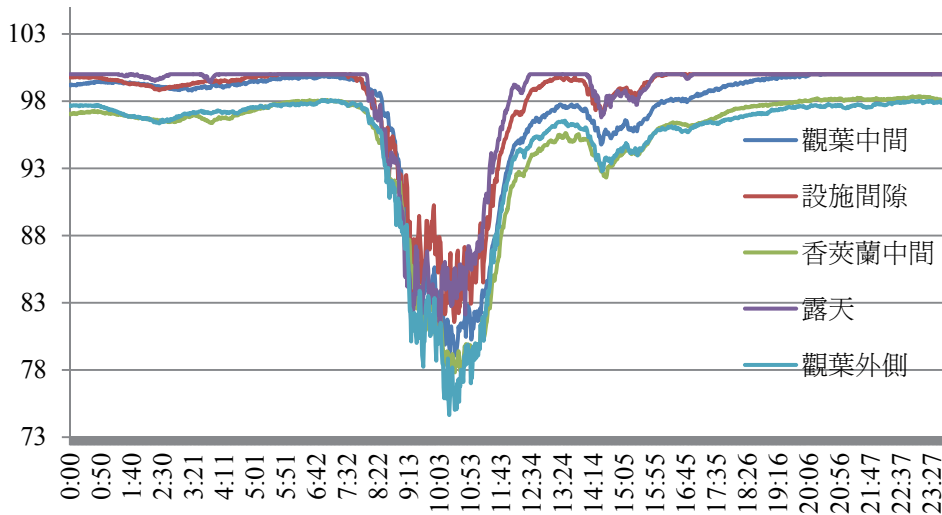


圖 9. 2017 年 10 月 14 日雲林縣土庫鎮電廠空氣相對濕度(%)監測

Fig. 9. Relative humidity (%) of solar photovoltaic facilities in Tuku Township, Yulin County, on 14 Oct., 2017.





圖 11. 智慧農業開發系統採用響應式網頁，可跨平台操作

Fig. 11. Smart agriculture system responsive web design(RWD) Allows cross-platform operation.

## 系統主要功能

### (一) 基本設定

該系統係依農業操作習慣設計，使用前需先做基本設定，遵循田區、作物、機具設備、監控裝置及控制程式等流程(圖 12)。使用者可新增主田區及次田區，填入名稱及面積，可透過手機定位。機具設備部分可新增傳感器及控制器，填入 SSID 及 Device ID，填入後與帳號綁定，只限一組帳號，可避免盜用。傳感器及控制器可設定控制條件，上下閾值，送出後將設定儲存於監控裝置。新增攝影機，設定連線網路硬碟(NAS)網址、田區、作物與更新頻率，即可完成設定。



圖 12. 智慧農業開發系統設計邏輯為符合農民操作習慣，從田區、作物、機具設備、監控裝置及控制程式

Fig. 12. Smart agriculture system is design to follow the logic process of field management in the order of field, crop, machinery, monitor system and control system.

## (二) 數據紀錄

該系統記錄數據可分為監控裝置、作業管理、生育調查及影像等，除可查閱即時數據，亦可於網頁設定下載數據之時間區間、田區及監控裝置，另外系統提供自動備份程式，使用者自行下載安裝，每次開機依照上次下載最後時間點繼續下載，每天一個檔案。不同廠商感測器可透過 URL API 串接至系統，除可儲存也可以做自動控制設定。系統提供曲線圖及累積次數分配圖表，曲線圖顯示不同時間所記錄(圖 13)，累積次數分配圖則統計偵測值出現頻率及累積百分比(圖 14)，使用者可依據百分比區間對應之偵測值作為自動控制條件設定。網路攝影機所記錄快照儲存於網路硬碟，使用者在智慧農業系統上設定 NAS 對應網路攝影機的儲存路徑與檔名格式，智慧農業系統啟動檔案管理程序掃描 JPEG 檔案列表，讓使用者操作端與檔案列表建立聯接，當使用者在智慧農業系統中搜尋特定條件的影像時，系統會提供對應的檔案列表，方便使用者瀏覽之前的影像畫面。

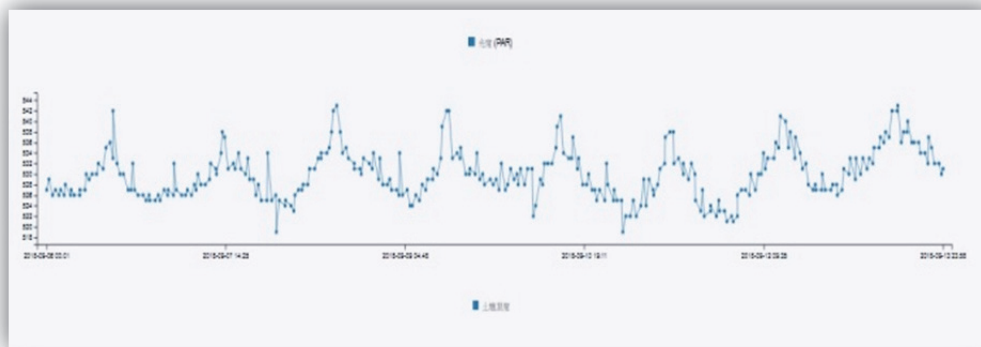


圖 13. 環境傳感器偵測數據之曲線圖

Fig. 13. Line graph of the parameters collected by environment sensor.

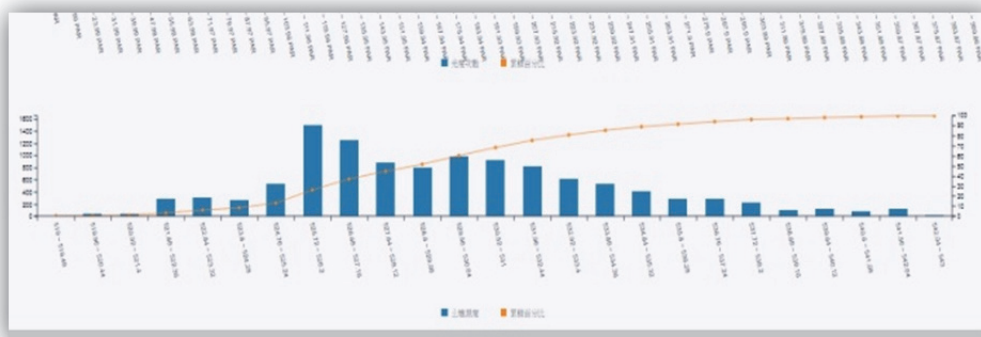


圖 14. 統計偵測值出現頻率之累積百分比，可供自動控制設定用

Fig. 14. Accumulated frequency percentage, which can be use for auto-control.

### (三) 機器學習

該系統串接 R 語言及影像辨識，並且可透過程式積木進行自動控制設定，傳感器偵測數據透過網路上傳資料庫儲存，使用者預先將 R 語言上傳系統，透過程式積木呼叫 R 語言讀取資料庫數據運算，結果再以程式積木進行自動控制設定，啟動或關閉控制器，達到即時感測、即時數據分析及即時動作。TensorFlow 則透過深度學習進行影像建模及執行辨識，使用者只需透過網頁匯入照片即可(圖 15)。



圖 15. 手機操作影像辨識系統

Fig. 15. Manual image recognition system.

### (四) 自動控制設定

智慧農業開發系統為農業物聯網專屬平台，物聯網涵蓋感知層、網路層及應用層，環境傳感器為感知層，而應用層則是控制器。使用者透過網頁操作，該系統提供手動、使用者介面(UI)設定及程式積木等 3 種方式，UI 設定自動控制條件儲存於監控裝置，感測器與控制器運作係透過自動化平台進行控制命令傳達，當傳感器偵測值達到閾值，啟動或關閉控制器。程式積木則屬雲端系統控制，以程式積木編輯之控制程式，於伺服器運作，當感測值達到閾值，下達控制命令(圖 16)。



圖 16. 田間自動控制運作情形

Fig.16. Automatic system working in the field.

視覺化編輯器係源自 Webduino Blockly 線上編輯工具，採用 JavaScript 語法，可在瀏覽器運作，是 Webduino 所研發出來的圖像化編輯工具，採用 Google Blockly 設計而成，讓一些對於網頁程式語言比較陌生，或者希望快速實現效果的使用者，可以利用 Webduino Blockly 線上編輯工具極速的實現各式各樣的創意(圖 17)。Webduino Blockly 透過終端網頁瀏覽器運作，為了讓本系統視覺化編輯器所編輯之程式積木能在雲端執行，並串接資料庫，將視覺化編輯器運作環境移至雲端伺服器執行。視覺化編輯器積木時可抓取已設定之監控裝置，方便使用者點選監控裝置，透過組裝各式程式積木而成為可實際運行程式模型，在系統使用者操作選項點選模型管理，新增模型再點選程式模型，啟用後即可在雲端運行，執行田間自動化

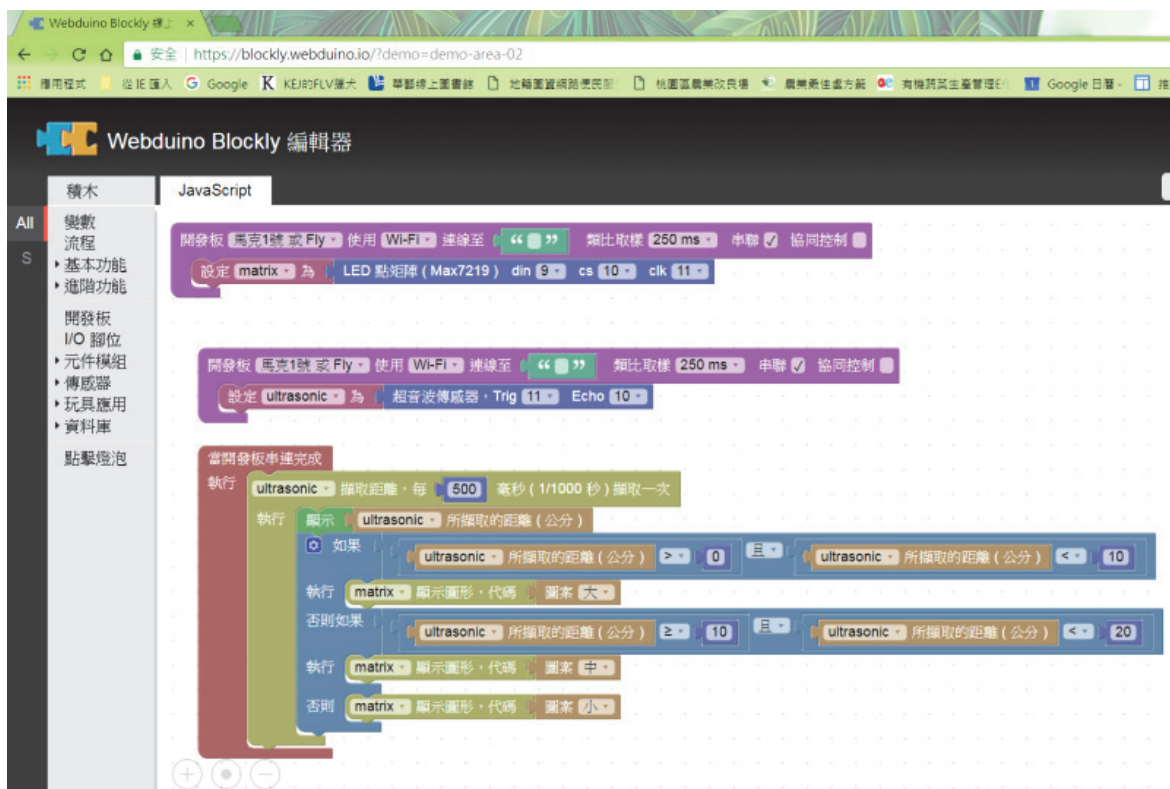


圖 17. 智慧農業開發系統提供作物栽培技術專家程式積木，可自行編輯控制程式。

Fig. 17. Smart agriculture system provides blockly program interface for crop cultivation for users to edit.

智慧農業開發系統提供農業技術專家記錄作物生理指標及感測器監測環境等數據，串接 R 語言伺服器進行數據分析，以程式積木視覺化編輯管理程式，整合成管理模組，透過田間控制器啟動管理設備，於操作管理平台監測數據及系統運作。農業技術專家可依作物種類、生育條件、栽培環境、設備需求等自行規劃所需感測器種類監測環境資訊、依試驗數據分析或經驗設定管理條件，自行編輯管理程式，透過程式自動化執行監測及管理田間設備運作。藉以發展我國自動化及智慧化農業科技，節省農耕成本，提升產業競爭力。

### 三、以迴歸分析建立光與作物產量之生長模型

由於大多數植物光合作用為  $C_3$  型，具有光飽和點，藉由建立累積光照對植株鮮重之迴歸公式，可用於作物產量預測。由於已核准營農型太陽能光電案場皆屬於屋頂附屬太陽能光電，與一般溫室最大差異在於屋頂覆蓋太陽能面板，目前法規限制 40% 遮蔽率以下，仍會對溫室環境造成影響，主要是入射光量，加上受地區與季節影響，各地陽光強度不同，不易衡量與鄰近地相較是否維持 70% 以上產量。以累積光度對產量之預測模型，則可藉由實際量測光度預估產量，並可用於衡量栽培環境適合種植作物種類。以下分述芥藍菜、福山萵苣及鳳

京白菜等 3 種作物之累積光度對產量預測模型。

(一) 光飽和點下累積光度對芥藍菜產量影響

芥藍菜在無遮陰處理下，植株鮮重最大 81.7 g plant<sup>-1</sup>，隨著遮光量越多，平均估株鮮重越小。以 6 種處理各 3 重複，共計 18 個樣本(表 2)，先將光度計偵測值扣除超過光飽和點(1200 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)後累加為自變數，平均產量為依變數，進行二次迴歸分析(表 3、圖 18)。所得作物生長模型如下：

$$\text{單株鮮重(g)} = -15.940 + 2.256 \times 10^{-5} \times \text{累積光度} - 1.074 \times 10^{-12} \times \text{累積光度}^2$$

決定係數 R<sup>2</sup>=0.923

表 2. 不同遮陰處理對芥藍菜生育性狀調查

Table 2. Traits analysis for broccoli under different shading treatments.

遮陰處理 (%)	株高 (cm)	株寬 (cm)	葉長 (cm)	葉寬 (cm)	葉柄長 (cm)	葉數	莖直徑 (cm)	SPAD	株鮮重 (g)
0	33.8	36.5	17.6	13.3	7.5	8.5	16.8	50.1	81.7
25	37.6	39.9	18.6	14.3	8.2	8.2	16.3	47.2	75.6
50	30.3	35.2	14.1	10.9	8.1	8.1	10.3	39.4	32.3
60	28.6	28.3	11.8	9.2	7.5	7.0	7.7	37.5	17.8
80	18.0	17.2	6.8	4.9	5.0	6.6	3.0	25.7	4.2
90	15.0	13.2	4.6	3.4	4.0	5.2	2.0	18.8	2.1

表 3. 光飽和點下累積光度對芥藍菜產量二次迴歸分析

Table 3. Quadratic regression of broccoli yield and cumulative light amount under light saturation point.

自變數	依變數	(R <sup>2</sup> )	調整後 (R <sup>2</sup> )	非標準化係數	標準錯誤	標準化係數
累積光度	產量	0.923	0.913	2.256E-5	0.000	1.446
累積光度 <sup>2</sup>				-1.074E-12	0.000	-0.509
(常數)				-15.940	6.347	

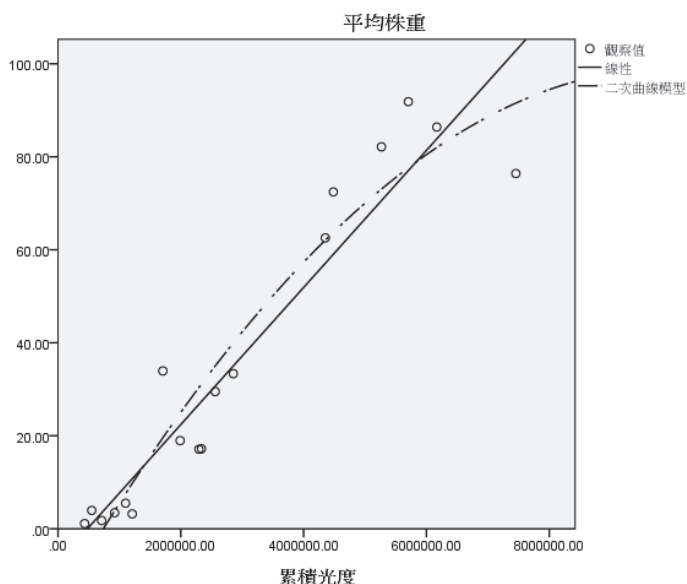


圖 18. 光飽和點下之累積光度對芥藍菜鮮重之迴歸分析

Fig. 18. Regression analysis of broccoli fresh weight and cumulative light amount under light saturation point.

## (二) 光飽和點下累積光度對福山高苣產量影響

福山高苣在無遮陰處理下，植株鮮重最大  $101.2 \text{ g plant}^{-1}$ ，隨著遮光量越多，平均單株鮮重越小。以 6 種處理各 3 重複，共計 18 個樣本(表 4)，先將光度計偵測值扣除超過光飽和點 ( $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) 後累加為自變數，平均產量為依變數，進行二次迴歸分析(表 5、圖 19)。所得作物生長模型如下：

$$\text{單株鮮重(g)} = -8.567 + 1.885^{-5} \times \text{累積光度} - 4.243^{-14} \times \text{累積光度}^2$$

$$\text{決定係數 } R^2 = 0.903$$

表 4. 不同遮陰處理對福山高苣生育性狀調查

Table 4. Traits investigation of Chinese lettuce under different shading treatment.

處理	株高 (cm)	株寬 (cm)	葉長 (cm)	葉寬 (cm)	SPAD	株重 (g)
0%	18.5	24.6	16.2	14.2	21.2	101.2
25%	22.2	25.3	18.6	13.6	18.9	85.3
50%	23.5	30.2	19.3	11.5	16.7	50.7
60%	20.3	23.6	16.0	9.2	12.8	21.4
80%	19.7	26.3	11.3	5.5	8.0	7.2
90%	18.4	25.3	9.3	5.8	7.8	3.8

表 5. 光飽和點下累積光度對福山萵苣產量二次迴歸分析

Table 5. Quadratic regression of Chinese yield and cumulative light amount under light saturation point.

自變數	依變數	(R <sup>2</sup> )	調整後 (R <sup>2</sup> )	非標準化係數	標準錯誤	標準化係數
光飽和下光度				1.885E-5	0.000	0.966
光飽和下光度 <sup>2</sup>	產量	0.903	0.890	-4.243E-14	0.000	-0.016
(常數)				-8.567	9.011	

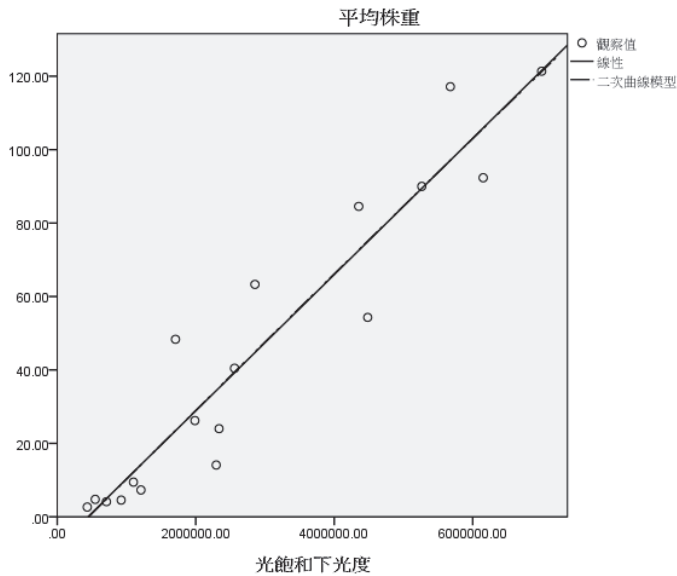


圖 19. 光飽和點下之累積光度對福山萵苣鮮重之迴歸分析

Fig. 19. Regression of Chinese lettuce fresh weight and cumulative light amount under light saturation point.

### (三) 光飽和點下累積光度對鳳京白菜產量影響

鳳京白菜在無遮陰處理下，植株鮮重最大 66.7 g plant<sup>-1</sup>，隨著遮光量越多，平均單株鮮重越小。以 6 種處理各 3 重複，共計 18 個樣本(表 6)，先將光度計偵測值扣除超過光飽和點 (1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)後累加為自變數，平均產量為依變數，進行二次迴歸分析(表 7、圖 20)。所得作物生長模型如下：

$$\text{單株鮮重(g)} = -6.992 + 9.109^{-6} \times \text{累積光度} + 3.339^{-13} \times \text{累積光度}^2$$

決定係數 R<sup>2</sup>=0.901

表 6. 不同遮陰處理對鳳京白菜生育性狀調查

Table 6. Traits investigation of Fengjin cabbage under different shading treatments.

處理	株高 (cm)	株寬 (cm)	葉長 (cm)	葉寬 (cm)	葉數	SPAD	株重 (g)
0%	29.7	37.7	22.8	16.5	6.2	14.7	66.7
25%	28.3	37.0	20.3	13.9	5.6	11.0	40.9
50%	23.6	30.2	15.7	11.6	5.1	11.2	19.8
60%	19.9	27.3	12.8	9.0	4.7	10.1	10.0
80%	11.8	12.9	5.9	3.6	4.3	8.1	1.5
90%	9.1	10.3	4.4	2.5	4.0	7.8	0.7

表 7. 光飽和點下累積光度對鳳京白菜產量二次迴歸分析

Table 7. Quadratic regression of Fengjin cabbage yield and cumulative light amount under light saturation point.

自變數	依變數	$R^2$	調整後 ( $R^2$ )	非標準化係數	標準錯誤	標準化係數
光飽和下光度	產量	0.901	0.888	9.109E-6	0.000	0.755
光飽和下光度 <sup>2</sup>				3.339E-13	0.000	0.198
(常數)				-6.992	5.634	

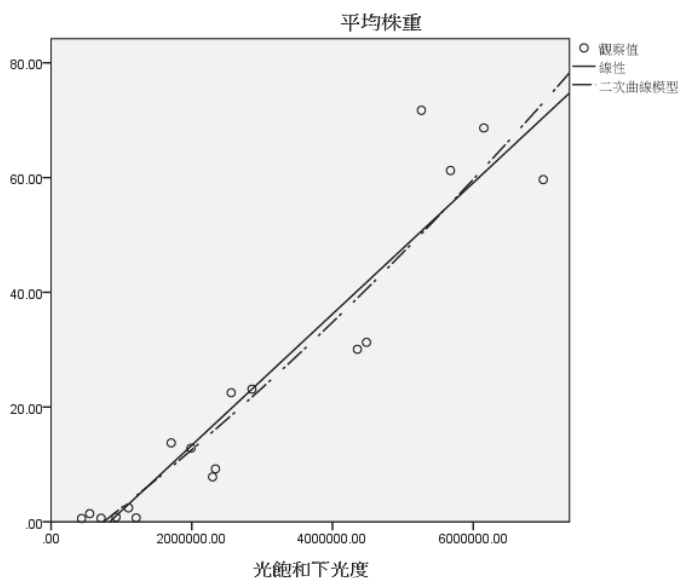


圖 20. 光飽和點下之累積光度對鳳京白菜鮮重之迴歸分析

Fig. 20 Regression of Fengjin cabbage fresh weight and cumulative light amount under light saturation point.

#### 四、營農型太陽光電綠能設施魚腥草適應性評估

##### (一) 遮光程度對於魚腥草生育及產量之影響

魚腥草光補償點為  $1.63 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，光飽和點為  $1,550.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，為喜陰性植物(陳等人, 2011)。在露天環境下，分別以遮陰率 50%、60%、70%、80%遮陰網覆蓋處理，不遮陰為對照，以評估對魚腥草生育及產量影響，調查結果詳如表 8，株高以遮陰率 80% 34.1 cm 最高，其次為 70% 30.9 cm，對照 15.9 cm 最矮，植株展幅以 70%遮陰處理 63.6 cm 最寬，50% 54.8 cm 居次，對照 26.6 cm 最窄，莖徑以對照 1.3 mm，顯著小於遮陰處理，遮陰處理莖徑介於 2.0 至 2.2 mm，每平方公尺地上部莖葉鮮重及乾重平均產量均以遮陰率 70%較佳，分別為  $323.8 \text{ g m}^{-2}$  及  $42.0 \text{ g m}^{-2}$ ，其次為遮陰率 60%及 80%之  $269.8 \text{ g m}^{-2}$ 、 $307.8 \text{ g m}^{-2}$  及  $26.8 \text{ g m}^{-2}$ 、 $29.8 \text{ g m}^{-2}$ ，對照  $36.2 \text{ g m}^{-2}$  及  $5.1 \text{ g m}^{-2}$  最差，僅達 70%遮陰處理之 11.2%及 12.1%，每平方公尺根莖鮮重平均產量以 50%及 60%遮陰處理最佳，分別為  $351.9 \text{ g m}^{-2}$  及  $354.3 \text{ g m}^{-2}$ ，其次為 70%遮陰處理之  $264.9 \text{ g m}^{-2}$ ，對照及 80%遮陰處理顯著較差，分別為  $121.9 \text{ g m}^{-2}$  及  $155.8 \text{ g m}^{-2}$ ，根莖乾重平均產量以 50%至 70%遮陰處理較佳，分別為  $47.5 \text{ g m}^{-2}$ 、 $46.6 \text{ g m}^{-2}$  及  $48.2 \text{ g m}^{-2}$ ，對照及 80%遮陰處理較差，分別為  $22.7 \text{ g m}^{-2}$  及  $16.0 \text{ g m}^{-2}$ 。綜合試驗結果顯示，在全日照環境下，魚腥草地上部莖葉及地下部根莖生長不良，顯示過度的光照不利於植株生育，適度的遮陰可顯著提高產量，且以 70%遮陰處理較佳，此結果與蘇等 (2008)研究結果類似。

表 8. 遮陰對魚腥草生育及產量之影響

Table 8. Effect of shading on growth and yield of Pig Thigh<sup>1</sup> (*Houttuynia cordata*).

遮陰率(%)	0(CK)	50	60	70	80
株高(cm)	15.9 d	22.3 c	25.0 c	30.9 b	34.1 a
展幅(cm)	26.6 c	54.8 b	60.0 ab	63.6 a	59.3 ab
莖徑(mm)	1.3 b	2.2 a	2.0 a	2.2 a	2.2 a
根莖徑(mm)	1.6 b	2.2 a	2.0 ab	2.0 ab	2.1 a
地上部鮮重( $\text{g m}^{-2}$ )	36.2 c	241.2 b	269.8 ab	323.8 a	307.8 ab
根莖鮮重( $\text{g m}^{-2}$ )	121.9 c	351.9 a	354.3 a	264.9 b	155.8 c
地上部乾重( $\text{g m}^{-2}$ )	5.1 c	26.4 b	26.8 b	42.0 a	29.8 b
根莖乾重( $\text{g m}^{-2}$ )	22.7 b	47.5 a	46.6 a	48.2 a	16.0 b
地上部乾物率(%)	13.7 a	11.1 abc	10.3 bc	13.0 ab	9.8 c
根莖乾物率(%)	19.1 a <sup>2</sup>	13.6 b	13.1 b	18.4 a	10.3 b

<sup>1</sup>: 同欄英文字母相同者表示經 Fisher 的最小顯著差異性測驗在 5%水準差異不顯著。

<sup>2</sup>: column with same letter shows insignificant results of Fishers LSD test.

## (二) 營農型太陽光電綠能設施內魚腥草產量評估

魚腥草生育適溫介於 15-25°C 之間，30°C 以上莖葉生長不良，為評估雲林地區魚腥草生育情形，於營農型太陽光電綠能設施農電共構環境分別以新梢苗(10-15 cm 長，3-4 個節位含葉片的新梢)，及根莖苗(長約 15 cm 之根莖)為種植苗株(圖 21)，於 5 月 24 日種植，同年 9 月 30 日第一次收穫調查(圖 22)，新梢苗於株高、展幅、地上部莖徑、根莖徑等均有較佳的生育表現，新梢苗每平方公尺地上部莖葉及根莖鮮重及乾重平均產量分別為 589.8 g m<sup>-2</sup>、566.8 g m<sup>-2</sup>、89.0 g m<sup>-2</sup> 及 96.6 g m<sup>-2</sup>(圖 21)，2018 年 5 月 23 日第二次收穫調查。新梢苗每平方公尺地上部莖葉及根莖鮮重及乾重平均產量分別為 4,557.6、502.2、3,526.6、464.8 及 3,974.7、433.1、3,431.1、415.0 kg ha<sup>-1</sup>，試驗結果顯示，生育初期新梢苗有較佳的生長勢，且地上部莖葉及地下部根莖鮮、乾重產量較根莖苗分別有 14.7%、16.0% 及 2.8%、12.0% 的增幅，因此，在雲林地區以新梢苗為栽培苗株有較佳的產量潛力(表 9、表 10)。



圖 21. 種植苗株型式，左側為新梢苗(10-15 cm 長，3-4 個節位含葉片的新梢)，右側為根莖苗(長約 15 cm 之根莖)。

Fig. 21. Seedling type. Left: new shooting (10-15 cm long, 3-4 nodes with new shooting). Right: stem and root shooting (15 cm long).

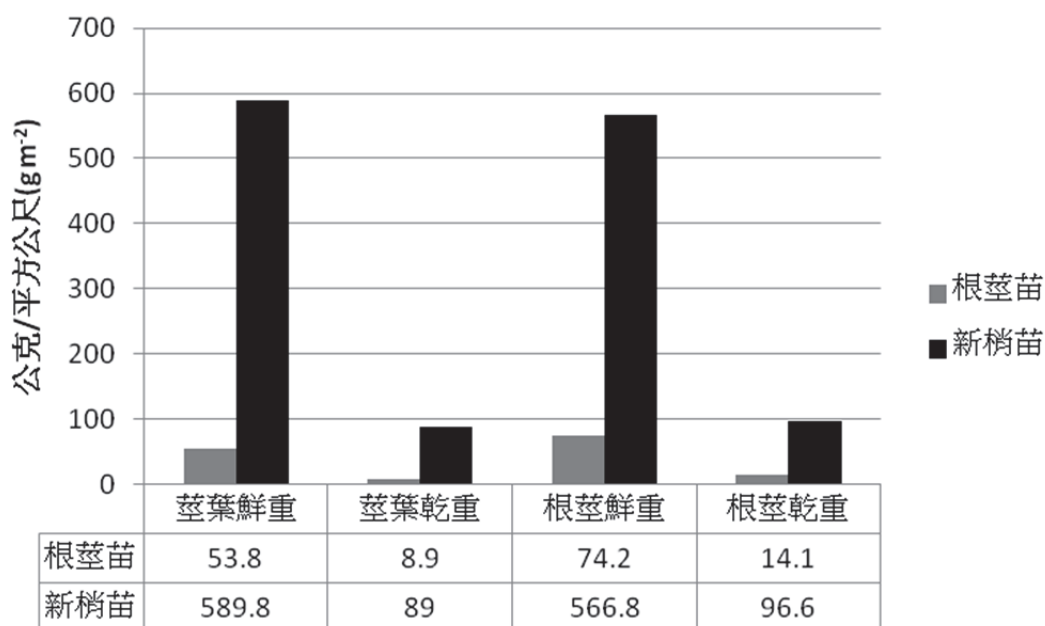


圖 22. 魚腥草於營農型太陽光電綠能設施環境下第一次收穫產量表現<sup>z</sup>

<sup>z</sup>: 平均值±標準偏差(n=3)

2017年5月24日種植，同年9月30日收穫調查

Fig. 22. The first harvest yield of Pig Thigh” (*Houttuynia cordata*) growing under photovoltaic solar facilities.

<sup>z</sup>: mean±standard deviation(n=3)

Plant date: 24, May, 2017 Harvest and investigation: 30, September, 2017

表 9. 魚腥草於營農型太陽光電綠能設施環境下生育表現

Table 9. Growth parameters of Pig Thigh” (*Houttuynia cordata*) growing under photovoltaic solar facilities.

苗株型式	株高 (cm)	展幅 (cm)	莖徑 (mm)	根莖徑 (mm)	地上部乾物率 (%)	根莖乾物率 (%)
根莖苗	19.7±5.4	69.7±23.7	1.5±0.3	2.1±0.3	16.6±1.4	19.1±0.6 <sup>z</sup>
新梢苗	29.1±3.3	151.9±24.1	2.2±0.2	2.6±0.3	15.2±0.8	17.1±1.2

<sup>z</sup>: 平均值±標準偏差(n=3)

<sup>z</sup>: mean±santard deviation(n=3)

表 10. 魚腥草於營農型太陽光電綠能設施環境下第二次收穫產量(kg ha<sup>-1</sup>)Table 10. Second harvest yield of Pig Thigh<sup>®</sup> (*Houttuynia cordata*) growing under photovoltaic solar facilities. (kg ha<sup>-1</sup>)

苗株型式	莖葉鮮重 (g)	莖葉乾重 (g)	根莖鮮重 (g)	根莖乾重 (g)
新梢苗	4,557.6±319.3	502.2±40.7	3,526.6±106.6	464.8±40.3 <sup>z</sup>
根莖苗	3,974.7±112.4	433.1±28.2	3,431.1±35.3	415.0±43.4

<sup>z</sup>: 平均值±標準偏差(n=3)

2017 年 5 月 24 日種植，2018 年 5 月 23 日收穫調查

<sup>z</sup>: mean±standard deviation (n=3)

Plant date: 24 May 2017 Harvest date: 23 May 2018

## 五、蘭科作物智慧栽培管理

### (一) 長距白鶴蘭智慧栽培管理試驗

2017 年 4 寸和 6 寸盆長距白鶴蘭種植於追日型太陽能板下搭設塑膠防雨設施下，夏季發生植株曬傷的現象，因此，2018 年 5 月 19 日於塑膠防雨設施內再架設 1 層 60%遮陰網，在這樣的環境下，今年夏季栽培長距白鶴蘭，克服太陽光入射量(光線)太強導致植株曬傷的問題。5 月 18 日已陸續抽梗，4 寸和 6 寸長距白鶴蘭的抽梗率為 65.8%，8 寸長距白鶴蘭抽梗率 61.7%。6 月 23 日調查，4 吋盆的抽梗率 66.7%，抽梗數 1.4 支；6 吋盆的抽梗率 90%，抽梗數 2.2 支；8 吋盆的抽梗率 91%，抽梗數 2.0 支。8 月 29 日切花產量及品質調查如(表 11)，顯示栽培盆徑較大，抽梗數提高，花朵數增加。8 寸盆每 1 週施肥 1 次(第 1 區)的抽梗率較第 2 區略高，但品質(抽梗率、花梗徑、花梗長、花序長、花朵數、總花梗長及最長總花梗長)以每 2 週施肥 1 次者較佳(第 2 區)(表 11)。

長距白鶴蘭栽培 4 寸盆和 6 寸盆自 2017 年 6 月 19 日種植持續至 2018 年 11 月 6 日，8 寸盆於 2018 年 1 月和 4 月由 6 寸盆換盆至 8 寸盆，於 4 月 19 日移置雲林土庫追日型太陽能板栽培至 2018 年 11 月 6 日(圖 23-30)，調查結果顯示如下，桃園場域溫室栽培的植株 1 年生以上植株數、新芽數、新芽葉片數及新芽株高，均較雲林土庫營農型太陽能場域高(表 12)。3 種規格尺寸種植的植株，1 年生以上植株數和新芽數均以 6 寸盆的最高，新芽葉片數則以雲林土庫營農型的太陽能場域 4 寸盆最低。3 種規格尺寸種植的植株，新芽株高於桃園場域栽培的植株明顯較雲林土庫營農型的太陽能場域高。推測雲林土庫營農型的太陽能場域的水分管理不足影響植株的生長。

2017 年栽培追日型太陽能板下搭設塑膠防雨設施，夏季光線太強，導致曬傷。2018 年 4 月 19 日增設 60%遮光網 1 層，利用智慧栽培管理系統，植株生育良好，產量與桃園場相當。

栽培上建議可採 8 寸盆地面架高配合微噴澆栽培方式，但微噴澆成本較高。4 寸盆高床栽培，栽培管理較方便，但栽培床成本較高。加上 4 寸盆因 8 月 24 日熱帶低壓影響，導致淹水，因此停電並斷電，加上噴澆不足，植株死亡，應注意供電恢復情形、噴澆的範圍，或改善噴頭。未來期望改進肥培管理與配合栽培管理技術，調整花期和增加產量，以達盆花或切花生產效益。

表 11. 2018 年長距白鶴蘭切花產量及品質調查

Table 11. Yield and quality of Calanthe in 2018.

盆徑	抽梗數 (No.)	抽梗率 (%)	花梗徑 (mm)	花梗長 (cm)	花序長 (cm)	花朵數 (No.)	總花梗長 (cm)	最長總花 梗長(cm)
4 寸盆	1.50	100.00	6.05	38.51	15.81	19.97	54.3	98.4
6 寸盆	2.70	90.00	7.72	39.27	22.19	33.97	61.5	89.7
8 寸盆-第 1 區	2.84	89.20	5.75	27.51	22.46	43.23	50.0	90.70
8 寸盆-第 2 區	2.25	95.31	6.22	30.94	27.04	50.96	58.0	94.20

表 12. 長距白鶴蘭植株園藝性狀調查

Table 12 Trait investigation of Calanthe.

種植地點	1 年生以上植株數 (No.)	新芽數 (No.)	新芽葉片數 (No.)	新芽株高 (cm)
雲林土庫 4 寸盆	1.8±0.8	1.8±1.1	1.9±2.0	9.6±10.6
桃園場溫室 4 寸盆	3.3±1.0	2.7±1.4	4.5±0.7	29.8±9.0
雲林土庫 6 寸盆	3.4±1.4	3.3±1.6	3.7±0.8	14.9±8.6
桃園場溫室 6 寸盆	5.0±2.3	4.1±1.0	4.6±1.1	26.4±10.4
雲林土庫 8 寸盆	2.4±1.2	2.4±1.4	4.2±1.2	22.6±9.6
桃園場溫室 8 寸盆	2.8±1.4	1.8±1.0	4.5±1.6	33.6±16.0



圖 23. 長距白鶴蘭 1 月 29 日 4 及 6 寸盆栽培情形

Fig. 23. Calanthe in 4 and 6 inch pots on 29, January.



圖 24. 長距白鶴蘭 3 月 8 日 4 及 6 寸盆栽培情形

Fig. 24. Calanthe in 4 and 6 inch pots on 8, March.



圖 25. 長距白鶴蘭 4 月 19 日 8 寸盆移入雲林縣土庫鎮栽培情形

Fig. 25. Calanthe transplanted from 8 inch pot to Tuku Township, Yulin County on 19, April.



圖 26. 長距白鶴蘭 4 月 19 日 4 及 6 寸盆栽培情形

Fig. 26. Calanthe in 4 and 6 inch pots on 19, April.



圖 27. 長距白鶴蘭 5 月 18 日 8 寸盆栽培育情形  
Fig. 27. Calanthe in 8 inch pot on 18, May.



圖 28. 長距白鶴蘭 5 月 18 日 4 及 6 寸盆栽培育情形  
Fig. 28. Calanthe in 4 and 6 inch pot on 18, May.



圖 29. 長距白鶴蘭 7 月 5 日 8 寸盆開花栽培情形  
Fig. 29. Calanthe blooming in 8 inch pot on 5, July.



圖 30. 長距白鶴蘭 7 月 5 日 4 及 6 寸盆開花栽培情形  
Fig. 30. Calathe blooming in 4 and 6 inch pot on 5, July.

## (二) 文心蘭智慧栽培管理試驗

文心蘭自 2017 年 7 月 21 日購買小苗種植於 6 寸盆持續至 2018 年 11 月 6 日，栽培介質為石頭，生育表現良好。栽培約 16 個月調查結果顯示如下，就植株生長園藝性狀，球莖數、新芽數及葉片數以桃園場域較高，株高、最大葉長、最大葉寬、球莖長及球莖寬則以雲林縣土庫鎮營農型太陽能場域較高。就抽梗開花結果顯示，雲林縣土庫鎮營農型太陽能場域已有 50% 梗率，桃園場域尚未抽梗(表 13、表 14)。顯示兩個栽培場域環境下文心蘭均可生長，但僅雲林縣土庫鎮營農型太陽能場域達抽梗開花，推測因雲林縣土庫鎮營農型太陽能場域配合有智慧施肥，桃園場僅緩效性肥料，因此，雲林縣土庫鎮營農型太陽能場域提早開花且開花表現桃園場域佳。

2017 年購入小苗，初期評估栽培生育表現良好，小苗栽培需經 1 年上開始抽梗開花，但因一棟溫室 3 種作物共同使用一套相同的水分和肥培管理系統，未來建議肥培管理可增設不同養液，針對作物營養生長和生殖生長給予不同的肥料，以促進抽梗開花，達切花生產效益(圖 31-34)。

文心蘭 Gower Ramsey 在遮陰 25%-95% 的情況下，植株的營養生長狀況隨著光度的增加而提高。假球莖的長度隨著光度降低而增長，遮陰 25% 時最低，約為 85 mm，遮陰 95% 時最長，約為 102 mm。假球莖的寬度及厚度皆隨著光度的增加而增加，在遮陰 25% 時，假球莖的最大寬度為 33.3 mm，厚度為 24 mm，遮陰 95% 時，最大寬度及厚度則分別下降為 26.1 mm 及 16 mm，即降低栽培光度，將使植株的同化產物之轉運(translocation)下降，影響假球莖的充實。生殖生長方面，亦有增加光度，開花品質隨之提高的趨勢。遮陰 25% 時植株抽梗率 67%，遮陰 95% 時抽梗率為 0%，植株完成無法正常抽梗開花。遮陰 25%、55% 及 75% 對花梗的長度不具差異性，花梗長度約在 130 cm 左右。降低光度會明顯地使花梗的分支數減少，遮陰 75% 時每支花梗平均分支數為 1.8 支，遮陰 25% 者次之，平均分支數為 3.7 支，遮陰 55% 時花梗分支性最多，平均分支數為 4.2 支。總花朵數則是隨著光度的減弱而下降，遮陰 25% 者花朵數最多約 61.7 朵，遮陰 55% 時 56.2 朵次之，遮陰 75% 時 41.4 朵最少，但除了遮陰 25% 及 75% 者具顯著差異性外，其餘處理組間並不具差異性。

表 13. 文心蘭植株園藝性狀調查

Table 13. Oncidium traits investigation.

種植地點	球莖數 (No.)	株高 (cm)	最大葉長 (cm)	最大葉寬 (cm)	新芽數 (No.)	球莖長 (cm)	球莖寬 (cm)	葉片數 (No.)
雲林土庫 溫室邊	3.3±0.7	47.5±5.9	37.9±4.5	3.2±0.4	0.6±0.8	3.9±1.0	1.5±0.4	2.3±0.6
雲林土庫 溫室中間	3.5±1.1	48.8±2.5	37.8±2.5	3.3±0.5	0.9±0.9	4.4±1.1	1.7±0.5	2.6±0.7
桃園場	3.8±1.1	41.9±7.3	33.5±5.4	2.6±0.6	1.2±0.4	3.7±1.6	1.5±0.7	2.9±1.3

表 14. 文心蘭植株開花性狀調查

Table 14. Blooming traits investigation of Oncidium.

種植地點	花梗長 (cm)	分叉數 (No.)	花朵數 (No.)	抽梗率 (%)
雲林土庫溫室邊	42.4±9.6	1.4±0.7	14.4±5.8	50
雲林土庫溫室中間	49.4±8.7	2.3±1.3	22.9±9.6	50
桃園場				0



圖 31.文心蘭 1 月 29 日栽培情形  
Fig. 31. Oncidium growth on 29, January.



圖 32.文心蘭 3 月 8 日栽培情形  
Fig. 32. Oncidium growth on 8, January.



圖 33.文心蘭 5 月 18 日栽培情形  
Fig. 33. Oncidium growth on 18, May.



圖 34.文心蘭 7 月 5 日栽培情形  
Fig. 34. Oncidium growth on 5, July.

### (三) 萬代蘭智慧栽培管理試驗

萬代蘭自 2017 年 6 月 19 日購買 3 年生苗，種植至 2018 年 11 月 6 日，生育表現良好(圖 35-38)，栽培約 15 個月調查結果顯示如下，調查的植株園藝性狀，株高、莖長、葉片數、株高增加量、莖長增加量、葉片數增加量、葉長及葉寬均以桃園場域較雲林縣土庫鎮營農型太陽能場域高(表 15)，但雲林縣土庫鎮營農型太陽能場域 1 月份陸續有抽梗開花現象，至 5 月 18 調查統計抽梗開花情形，開花率 35%，單株花朵數 5.8 朵。桃園場域目前僅 1 株抽梗。推測因雲林縣土庫鎮營農型太陽能場域配合有智慧施肥，桃園場僅緩效性肥料，因此，雲林縣土庫鎮營農型太陽能場域提早開花且開花表現桃園場域佳。

2017 年購入 3 年生萬代蘭幼苗，初期評估栽培生育表現良好，到 11 月植株已成熟進入開花階段，在冬春季抽梗開花。萬代蘭栽培以 3 年上的植株才進入成熟開始抽梗開花，隨栽培年齡增加，開花率和產量逐漸提高。因此，本試驗購入 3 年生小苗，正進入開花生產，但因一棟溫室 3 種作物共同使用一套相同的水分和肥培管理系統，未來建議肥培管理可增設不同養液，針對作物營養生長和生殖生長給予不同的肥料，以促進抽梗開花，達切花生產效益。

表 15. 萬代蘭植株園藝性狀調查

Table 15. Trait investigation of Vanda.

種植地點	株高 (cm)	莖長 (cm)	葉片數 (No.)	株高 增加量 (cm)	莖長 增加量 (cm)	葉片數 增加量 (No.)	葉長 (cm)	葉寬 (cm)
雲林土庫 溫室邊	45.2±3.9	27.2±3.0	22.1±2.6	31.5±3.3	13.6±1.8	12.3±1.3	15.0±2.2	2.9±0.4
雲林土庫 溫室中間	46.5±5.3	27.8±4.2	24.1±4.7	33.0±4.9	14.3±3.3	13.0±2.2	14.8±2.8	2.8±0.5
桃園場	47.9±3.1	29.6±3.5	29.1±2.7	32.2±1.2	13.9±1.6	12.5±1.2	17.9±2.6	2.5±0.3



圖 35. 萬代蘭 1 月 13 日栽培情形  
Fig. 35. Vanda growth on 13, January.



圖 36. 萬代蘭 3 月 8 日栽培情形  
Fig. 36. Vanda growth on 8, March.



圖 37. 萬代蘭 5 月 18 日栽培情形  
Fig. 37. Vanda growth on 18, May.

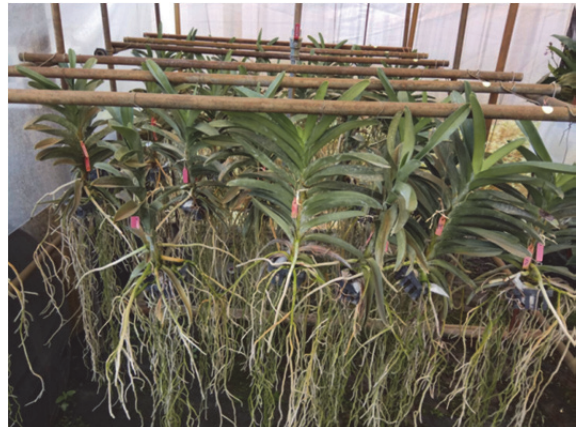


圖 38. 萬代蘭 7 月 5 日栽培情形  
Fig. 38. Vanda growth on 5, May.

## 結 論

太陽光電綠能為政策發展重點，為能達到此一政策目標，需利用近 2 萬公頃農地搭設，為能維持農地農用，並能達到農電共構共享目的，需針對光電設施對栽培環境改變建立適合農作物生產模式。

環境與作物生育息息相關，太陽光電場域作物栽培產能主要受到環境、作物種類及人為管理影響。由於環境受到太陽光電設備影響，可在申請初期設計圖或發使用執照，藉由計算遮蔽率及現場量測，即可知實際光度分布。提高作物光能利用率，則需配合分散光源。由於大部分作物為  $C_3$  植物，在低光度呈現呈線性關係，之後雖然光輻射量越高，但淨光和速率增幅則越小，淨光合速率呈飽和曲線，因此，大多數作物在光飽和點一半光度，即達到 70%-80%

產量，因此，依據案場光度及作物種類，即可大致評估作物最大產能，如要精準數據仍需透過田間試驗。

在人為管理部分可分為生產意願及技術能力，由於光電設施需投入大量建設資本，10 年攤提建置成本，業者應不至於冒撤照風險而不從事農耕，部分光電業者缺乏農耕經驗與技術能力，加上光電設施對環境改變，必須重新評估作物種類，改善環境設施及栽培技術，建立新的耕作模式方能因應新的耕作環境。建議農電業者可推派員工參加農委會農民學院培訓課程、在地農民承租耕地或委託農耕團隊代耕代營，或是導入自動監控管理系統，降低專業管理人力需求。

## 參考文獻

- 胡澤寬、張韋琮、蕭振杰。2004。藥用植物(魚腥草)之遺傳多樣性。國際藥用植物產業發展研討會專刊 p.115-135。
- 陳翠琴、呂洪飛、黃四娣、姜波、沈宗根。2011。三白草科 2 種植物光合作用和葉綠素螢光特性的比較研究。浙江農業學報 23(4):725-730。
- 蘇炳鐸、蔡文仁、黃秋蘭。2008。魚腥草之栽培與利用。臺東區農業改良場技術專刊特 25 輯 p.1-12。
- Chen, Y. Y., C.M. Chen, P. Y. Chao, T.J.Chang and Liu, J.F. 2005. Effects of frying oil and *Houttuynia cordata* thund on xenobiotic-metabolizing enzyme system of rodents. World J. Gastroenterol 11(3):389-392.
- Chen, Y. Y., J.F. Liu, C. M. Chen, P.Y. Chao, and Chang, T.J. 2003. A study of the antioxidative and antimutagenic effects of *Houttuynia cordata* Thunb. Using an oxidizes frying oil-fed model. J Nutr Sci. Vitaminol 49:327-333.
- Fu, J., D. Ling, Z. Lin, and Lu, H. 2013. *Houttuynia cordata* Thunb: A review of phytochemistry and pharmacology and quality control. Chinese Medicine 4:101-133.
- SAS Institute. 1999. SAS/STAT User's guide. Releases 9.1.3 Ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.

# **The Development of Agriculture-based, Coconstruction and Co-production Solar Green Energy Facility Integrating Production Management Technology**

Shin-jong Lay, Shu-Jen Lee, Chen-Hsiang Lin, Ya-Ching Yang,  
Chin-chieh Huang, Tsung-Hua Lee

shinjong@tydais.gov.tw

## **Abstract**

Cultivation environment, crop species and cultivation behavior can affect crop yield and quality. Solar photovoltaic facilities could cause hindrance to crop environment, therefore, one should choose suitable crop species according to environment light intensity and improve cultivation techniques in accordance with crop physiology to increase yield. Owing to the fact that C3 photosynthesis cycle happens in most plants, light saturation point limits plants from further using light energy. One can construct a yield model by light accumulation data, and predict future yield by monitoring the aforementioned data, and as a result, to select crops which fits the criteria of 70% yield requirement. Extra sunlight can be used to generate electricity. So far, prediction models using light accumulation for broccoli, Chinese lettuce and Fengjing cabbage are constructed. The coefficient of determination ( $R^2$ ) are 0.922, 0.903, and 0.901 respectively. A one year field experiment of low light-demand crop “Pig Thigh” (*Houttuynia cordata*) results in  $464.8\text{gm}^{-2}$  whole plant dry weight, which shows that it's easy to cultivate and has economical potential. The photovoltaic system can solve labor shortage problem, and applying smart agriculture system and monitor and control system for orchids and foliage plants will be efficient and effective.

Key words: automatic control, facility, sharing of agriculture-based green power, solar energy

