

嘉南藥理大學 106 年度 研究計畫成果報告

總計畫名稱：

運用物聯網以提升智慧農業與智慧環境操作效能之探討

子計畫名稱：

溫室環境之物聯網調控對作物培育最佳化之研究

整合型計畫 個別型計畫

執行期間：106 年 3 月 29 日至 12 月 31 日

總計畫主持人：陳健民

本（子）計畫主持人：劉瑞美

中華民國 106 年 12 月 31 日

摘 要

溫室設施作物生產之重要因子為考量作物之生長環境需求，主要影響因子為溫度、水分、陽光等，藉由溫室環境控制，提供作物較適合的生長環境，本計劃乃利用本校綠生活教育館之溫室作物栽培設施進行研究，以計畫之研發成果、教學實習與實務習作等方式功能，彰顯符合綠能、低成本、高耐候之設施設計之基礎與發揮各項環境教育功能。過去綠生活教育館之溫室控制乃手動調整、定時事件與定溫調整動作等之混合，為改善溫室高溫與光照不足等問題，預期本年度之研究成果將能提供植物智慧生產之成果，並應用校內設施做為教學與學生實習場所，以提供相關學系學生之實務操作經驗，作為建置校園智慧農業發展與環境教育教材之參考。

(一) 前言

鑑於自然環境中水、土、林及空氣，與生態間之緊密關聯性，為符應全球永續發展理念、落實低碳原則、深耕環境教育理念，本校綠生活教育館竣工於 104 年 9 月，涵蓋太陽能發電、水資源回收再利用、魚菜共生與智慧農業之概念，溫室內部分為中水處理區與蔬果栽培區、屋頂則鋪設太陽能光電板及其他材質。過去一年有多次植物栽培之經驗，並提供校內師生進行教學實作與專題研究，並開放全校師生或校外人士做為參觀或環境教育實施場址。

近年來以溫室栽培作物日益普及，主要因為溫室可提供作物適合生長的环境，並藉由被覆材料與外界隔絕，能減少病蟲害及農藥施用量，同時降低氣候因素之風險，大幅改善露天栽培的不足。然而溫室內作物的生長與溫室內的微氣候息息相關，調控得宜的溫室環境，才能生產高品質的作物，創造更高的經濟價值。溫室栽培多用於在不適宜植物生長的季節，能提供生育期和增加產量，或用於低溫季節喜溫蔬菜、花卉、林木等植物栽培或育苗等。因此對種植作物生長環境的要求要精確的多。

台灣地處亞熱帶，高溫及潮濕使溫室環控面臨更不利的條件。因此溫室普遍存在夏季無法有效降溫的情形，導致高溫逆境影響作物生長，甚至造成生產停頓的窘境。傳統以程序控制為主的環控系統，大都依照既定的步序控制溫室環境，調整控制參數需要透過專業人員才能為之。而且控制歷程的記錄亦往往無從查閱，以致於無法得知環控系統是否將環境調控至最適作物生長的狀態。多數溫室調控(如：加溫、澆水、通風等)多無完整的科學依據。現今，農業進入信息化時代後，對溫室內部的空氣溫濕度、土壤溫濕度、CO₂ 濃度及光照等農業環境信息的採集也越來越重視。因此，將物聯網技術引入溫室大棚中來。利用溫室內建置之無線傳感器網絡可形成一測量控制單元，針對設施化溫室可調控因素多、經濟附加值高、自動化信息化水平低的現狀，

可以利用物聯網技術，採用不同的傳感器節點和具有簡單執行機構的節點構成無線網絡來測量土壤濕度、土壤成分、pH 值、降水量、溫度、空氣濕度和氣壓、光照強度、CO₂ 濃度等來獲得作物生長的最佳條件，通過自動調控溫室環境、控制灌溉和施肥作業，同時發布預警信息，實現溫室集約化、網絡化遠程管理。應用物聯網技術，可達到增加作物產量、改善品質、調節生長周期、提高經濟效益的目的。

建構前述智慧農業生產之前，室內/溫室之環境特性對植物成長影響是重要變數，因此，本文將針對即將建構物聯網系統的本校綠生活教育館之介質耕系統及周圍環境進行觀察式植栽各種蔬果，探討環境特性對植物成長的影響。

(二) 研究動機

溫室栽培內微環境監控系統設備發展出適合室內栽培的物種，溫室之植物栽培能不受天候影響，使栽種模式經栽培監控系統量化及植物特性曲線化後模組化生長。栽種模式、栽培監控系統量化、植物生長特性模組化並進行室內微智慧環境資源加以整合，開發其室內植栽系統，並以實作方式探討其效率、植物種類、形狀及成長特性、植物種類等條件對室內空氣品質的影響，以便得到最佳化系統設計參數。本校綠生活教育館完工後，實驗或操作已兩年有餘，針對太陽能的發現機、中水處理狀況及兩套植栽系統已作初步探討，本年度又增多項

物聯網工程，完工後將可朝智慧農業生產邁進，而環境因素對植物成長的影響，仍欠甚多。

(三)文獻回顧與探討

台灣地處亞熱帶，屬海島型氣候，夏天溫度高達 35°C 以上，常受高溫、颱風、暴雨之影響，冬季又有低溫之害。夏天溫度超過 35°C 並非少見，設計不當的溫室，在高溫的夏季，溫室內溫度可高達 45°C 以上，這已超出多數作物的容忍範圍，農友只好在夏季休種，造成資源的浪費。為了克服天候對農業之影響，在使用農業設施栽培時，利用節約能源之自動控制儀器、電器等設備，配合作物生長環境的需求進行調控，如此才能達到科技化栽培，企業化經營，也才能在穩定生產條件下有高品質的農產品，滿足消費市場。不同於露地生產，利用溫室生產蔬菜與瓜果類，可藉由控制溫室環境因子以增加產量與提升作物品質；同時，為獲取更高的經濟利益，種植者更希望利用溫室生產非季節性作物。

作物生長環境需要適宜的溫度、濕度、 CO_2 濃度，並且要求室內有害氣體濃度低於會對作物生長產生危害的最低限。溫室的基本功能是為了為作物創造一個可控環境，通風在溫室環境調控中起到了不可替代的作用。設施室內高溫與高濕，會使作物得病，且溫度超過 28°C 以上，在作物開花期有嚴重落花或落果。利用設施內強制通風設備或

以遮陰網減少光線進入設施，以避免過多熱量累積於設施內，造成高溫障害。

1. 溫度：不用作物生長對溫度有不同的要求，通常情況下白天的氣溫至少要比夜間氣溫高出 $5\sim 8^{\circ}\text{C}$ 。溫室大棚內氣溫應根據作物種類按適溫界限進行調控。

2. 相對濕度：一般情況下，溫室濕度白晝應限制在 80% 以下，夜間應限制在 95% 以下。當溫室處於完全密閉時，土壤中水分的蒸發和植物的蒸騰作用，促使室內空氣中水蒸氣含量增加，當室內氣溫不發生變化或下降時，空氣相對濕度明顯增加，夜間室內相對濕度甚至可達 96% 以上。溫室通風可以通過引入相對濕度較低的室外空氣與室內空氣交換，排除室內空氣中多餘的水蒸氣，降低室內空氣的相對濕度。

3. 二氧化碳濃度：溫室通風可以通過室內外空氣交換補充 CO_2 ，維持必要的 CO_2 濃度。

4. 氣流速度：溫室通風換氣時，室內氣流速度一般控制在 0.5 m/s 以下；在高濕、高光照度下不超過 0.7 m/s 。作物生長區域內推薦最小氣流速度為 0.1 m/s 。

近年來因受全球氣候變遷影響，露天栽培深受氣候影響，而設施可進行自動化環境控制，或輔以節能光電系統，降低氣候對植株生長

之不良影響，故在溫室栽培面積有逐漸增加趨勢，以工廠化規模進行計畫生產已不再遙不可及。為了創造適合作物栽培的環境，溫室生產無可避免的成為一極度耗能的產業，節能也就成了溫室生產迫切的課題。由於能源是種植者最大成本因素之一，因此提升能源效率以降低溫室生產成本，便成為溫室生產業者獲益的重要手段。

(四)研究方法與步驟

綠生活教育館單元示意圖



1. 溫室栽培區之概述

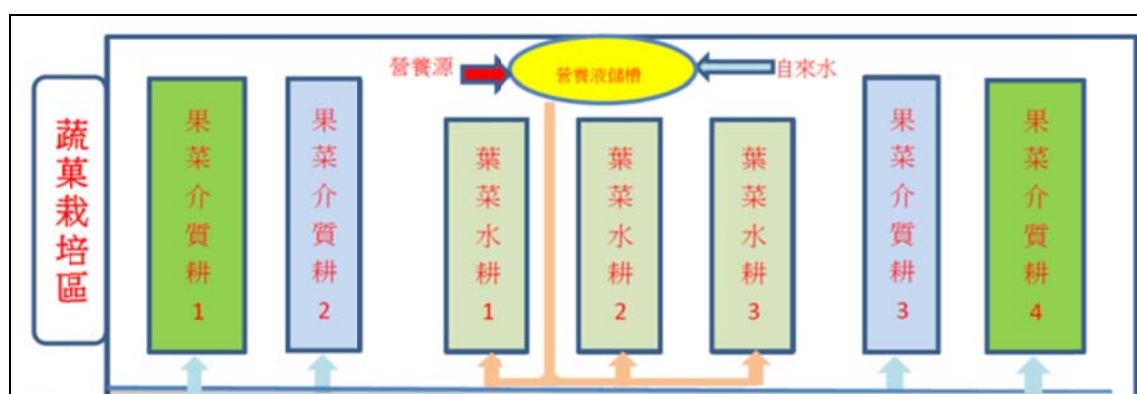
溫室栽培單元如下圖所示，操作內容分述如下：

(1). 水耕栽培區：此區有三個淺槽體架高離地 80 公分、置於溫室東半間的中央東西向排列分別命名北邊列(N)、中間列(M)、南邊列(S) ，每列 13 個保麗龍浮板(50 個洞) 。另有三個混合循環槽，主槽 500L、備用槽 300L 及 100L 營養液桶，前兩者裝自來水(自動補水)、後者裝原營養液配有定比稀釋器補充養份，以 1HP 抽水機浦定時循環澆灌、經定比稀釋器抽取營養液。營養液組混合後送入三水耕槽，會回流至主槽循環再用。惟為操作方便，目前是採每週配液倒入主槽混合、進水不經定比稀釋器直接作循環

(2). 介質栽培區：由兩排並列小盆槽及單一大盆槽各二組成，平時以中水處理過之回收水、小型噴滴管澆灌，日後再從追肥補充養份。『介質耕區』是由兩套長槽組成，一為兩排並列以保麗龍板支撐的水槽、上鋪防水塑膠布、再以小盆裝填栽種介質(以基本介質、基本肥料及發泡煉石混合)填充，大小盆槽內以基本介質及基本肥料 4:1+1/4 發泡煉石混合成栽種介質填充，大小盆槽先分別置放發泡煉石 4cm 與 2cm 為底層，作為副根區，小盆槽於放置盆體後再以栽種介質填平，作為植栽的基土，放置在溫室內兩側(最南與最北)。另一為單列以保麗龍板支撐之較淺水槽、上鋪防水塑膠布、以大盆裝填栽種介質(以基本介質、基本肥料及發泡煉石混合)填充，作為植栽的基土，放置在溫室內兩側內。各大小盆均配有滴水式澆灌水頭，平時以中水處理

過之回收水定時澆灌，抽水馬達只有一台，各列各自有開關閥，用以控制進水量大小。此區之養份補充而以預調之土壤介質加肥料補充養份。

溫室之作物栽培分區圖



2. 作物種類

(1) 水耕蔬菜栽培區

水耕區栽種主要以葉菜類為主，水耕澆灌以調配好之營養液補充養份。預定栽培之作物類別包括：大陸妹、蘿蔓、空心菜、鹿角生菜、紅妹、高麗菜與小白菜等，依作物適性栽培季節選擇適合之作物，栽培方式將種籽/苗直接塞入海綿中或先育苗的種苗移至水耕床。

(2) 瓜菓介質耕栽培區

預定栽培之作物類別包括：大陸妹、辣椒、芹菜、九層塔、洛神花、敏豆及蕃茄等，依作物適性栽培季節選擇適合之作物，栽培方式將先育苗的種苗移至栽培床。

3. 資料收集與調查

栽培區單元於定植後開始進行設施環控數據之收集，運用物聯網進行栽培季節之各項試驗條件紀錄，包括：溫室內外之日照值、溫度與濕度差異，以調控自動灌溉系統，配合不同作物生長期進行設施栽培之環控條件。可運用收集之資料建立溫室內之溫濕度曲性特性，經由調整配線使用與儀控設施，達到作物生長需求的環境條件。

調查重要生育性狀、產量及品質數據。調查葉片長寬、葉柄長、花梗長、莖冠粗、果實數、單果重、總產量、果實形狀、果實長寬度、果實顏色、糖度、酸度、硬度等。

(五) 研究結果

本次種植的植栽種類有大陸妹、辣椒、芹菜、九層塔、洛神花、敏豆以及蕃茄，以下會個別做說明：

1. 大陸妹

大陸妹於 2017 年 10 月 5 日先用小穴盤開始育苗，發現覆土較多的育苗盤失敗率較高，穴裡面的種子顏色比其他的深，有可能是澆太多水而導致種子泡爛。約一個禮拜發芽，在光照較不足的環境生長的苗(土長幼苗)，莖較軟且歪歪的。水少時會立起、但澆水後又會回到一開始倒在土裡的狀況。

將大陸妹移植至南北外側，因一穴放入多顆種子，發芽後它們的根會纏在一起，在移植時需先進行分株動作。如前段敘述的土長幼苗，無支撐力的關係會倒在土中，即生長環境是太陽光照充足的，希望葉莖強壯、也較方便移植，因此移植在到陽光較充足的綠館北東繼續培育。

育苗所使用的土是培養土，在前期的營養是很充足的，但其養分會隨著苗的成長而有所消失。培養土有與之前留下來回收土混合再利用，要把回收土打碎到跟一開始一樣的狀態有些困難。

藉由觀察，二個月後發現南側外緣的大陸妹長得比北側外緣好，前者的菜況良好、葉子也有捲起。再持續觀察其成長，再經一個月採收，外圍葉片已枯萎、且葉片數不像市售那麼多及大。

2. 辣椒

辣椒於 2017 年 10 月 27 日種植於南側外緣，前期長得很慢，但一個月後成長速度變快。先有一棵辣椒的頂部葉子有捲曲情況，判斷可能是蟎類影響或本身就有病毒疾病。陸陸續續變成三棵是生病的，推測可能缺乏某種營養素。

3. 芹菜

芹菜較晚種植，2017 年 11 月 5 日，種在北側外緣，生長狀況良好，陽光較弱，持續觀察。兩個半月後採收，無法像市售那麼高大及肥壯。

4. 九層塔

本次九層塔腐植栽是由枯枝種籽掉落在原培養土上，在曬土的過程中長出的小苗。將苗移植到小盆栽種，另於 2017-1106 移植至較大的盆中，一盆有三株。每天觀察與記錄，有幾盆的成長速度頗驚人的，約一個月的觀察，有兩盆是成長狀況不佳，一直停留在移植後的樣子，可能因為此兩盆的位置在其他成長較快的盆子之間，有光照被遮蔽現象，組做記號並交換位置繼續觀察其變化；種植九層塔有開花的問題；種植在室內的期間發現有椿象的出現，可能是一開始就存在於綠館或是飛進去的。

5. 洛神花

洛神花是在 2017 年十月的第一個禮拜開始育苗，使用約 200 顆種子育苗，僅有八顆存活，不久又死掉一顆，最後只剩七顆，存活率之低有點驚訝，可能天天澆水造成種籽在土裡爛掉(水多)，之後的澆水改成人工澆水、三天一次。種植期間有施三次肥，十月、十月中以及十一月底，洛神花是無法用扦插的方式種植，因現在越長越大，除

分散排放外，盡量讓其等到陽光充足的地方(遠離陰影)，期間亦試摘洛神花果做成蜜餞。

6. 敏豆

敏豆起初以 30 顆種籽培育，一桶種三粒，蟲害少，但小苗長得慢的而漸漸死亡。後又追加種了 20 顆種籽，但後面種的這批蟲害嚴重，有前葉蟲的出現，牠的啃食導致葉脈白化(可能是微量元素不足)，葉子只剩下葉脈，也可能是蚜蟲在作祟，以薑汁噴灑，但噴沒用。接著給苗的環境全日照，等爬莖長出後才移至室內，讓其莖爬至竹子(因竹子太粗，無法直接攀爬，以人工輔助去協助爬莖能爬在上面)。蟲害的部分應先把有問題的植栽移出，避免蟲害蔓延。十二月初已長出一些豆莢，月底採收約 20 夾，期待它們能長的更飽滿。

7. 蕃茄

蕃茄一開始先種 20 株，因土壤太濕死了 10 株，之後又加購了 30 株，先用盆栽種於室內及發泡煉石上，後再移植至綠館北側的倒掛式保特瓶。一個月後，觀察時發現倒掛的長得不錯，但生長緩慢，至 12 底仍未開花。

成果

本研究計畫完成後，完成以下成果：

1. 本研究之操作經驗可作為有意建置校園精緻農業發展之參考。

2. 溫室設施之改善永無止境，經由作物栽培過程之參數收集與環控監測系統整合將能使本系統符合綠能、低成本、高耐候之簡易設施設計之基礎設計規範。
3. 藉由控制溫室環境因子以增加栽培作物之產量與提高作物品質，可有效使溫室栽培設施環控得到良好控制。
4. 本研究成果未來將可編撰成本校教導學生智能農業之相關新興概念並做為環境教育場址可開放外界申請參觀與授課。
5. 本年度已建置植物 LED 照明設備、介質與水耕環境監控系統與水霧系統進行溫室之環境控制，結合溫室環境考量、溫室環境控制與植物生理之基本內涵，以建構一室內微環境控制以達到高品質之智慧農業生產環境，利用建構之溫室結構、相關設備與特徵化溫室作物生產之智慧管理。
6. 未來將整合綠生活教育館之智慧環境控制系統透過感測資料的蒐集分析，與農業專家知識中作物(蔬菜與瓜果)合適生長環境進行比對，確認目前場域內之作物生長環境是否合適；並透過溫室自動化環境調控系統進行調整，以產出最快達到作物生長環境回復正常且耗能最少之作物生長環境調控策略，以瞭解環控設備運作情形，並尋求更合理的溫室環境運轉設定。

(六)參考文獻

1. 林福源、張訓堯。2013。設施環控在瓜果類生產之應用及 LED 在草莓生長發育之影響。102 年度農業工程與自動化計畫成果研討會論文集，台中市。
2. 王慧媛。2010。環境控制下波士頓萵苣兩階段立體化栽培模式之探討。台北：國立台灣大學生物產業機電工程學研究所。
3. 方煒。2001。自動化植物工廠。農業自動化叢書第十一輯：103-112。
4. 方煒。2002。農業設施環境因子量測與紀錄。台灣糖業股份有限公司訓練中心。
5. 邱偉豪。2009。控制環境內波士頓萵苣立體化栽培之研究。碩士論文。台北：國立台灣大學生物產業機電工程學研究所。
6. 姚明輝、陳守泓、劉嘉仁。2009。農田二氧化碳及水蒸氣通量與氣象因素關聯性。作物、環境與生物資訊 6:87-100。
7. 陳加忠、陳志昇。1994。溫室細霧冷卻系統之開發與性能研究。農業工程學報 40(2)：78-87。