

嘉南藥理大學 106 年度研究計畫成果報告

運用物聯網以提升智慧農業與智慧環境操作效能之探討

計畫類別：☐個別型計畫

☒整合型計畫

計畫編號：CN10614-16

執行期間：106 年 3 月 29 日至 106 年 12 月 31 日

計畫總主持人：陳健民

子計畫一：物聯網於魚菜共生系統對水質處理效能之探討

計畫主持人：賴振立

子計畫二：溫室環境之物聯網調控對作物培育最佳化之研究

計畫主持人：劉瑞美

子計畫三：再生能源運用於溫室作業之可行性評估

計畫主持人：陳健民

執行單位：環境永續學院

中華民國 106 年 12 月 31 日

嘉南藥理大學 106 年度 研究計畫成果報告

計畫名稱：物聯網於魚菜共生系統對水質處理效能之探討

■ 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：賴振立

中華民國 107 年 3 月 6 日

摘要

本研究應用校內有志廣場二樓「智慧環境水產養殖系統」結合直接漂浮系統(deep water culture aquaponics)、直接灌溉連接系統(media based aquaponics system)及、養殖分離系統(Nutrient Film Technique aquaponics system)三種魚菜共生系統。並於三系統中養殖 1cm 的鯉魚及種植小白菜，並於每周進行小白菜及鯉魚的生物量測定，進行兩周後比較三系統小白菜及鯉魚的生物量變化之差異比較。試驗中同時測定魚池、魚菜共生系統出水口之氨氮、硝酸及亞硝酸濃度。研究結果顯示，三種魚菜共生系統對氨氮、硝酸及亞硝酸三者濃度在統計分析中並無顯著差異，但是在小白菜及鯉魚的生物量中均以養殖分離系統($p < 0.05$)最好。綜合以上的結果顯示出，在鹽養鹽的轉換與小白菜、鯉魚的生物變化程度上，皆是以養殖分離系統的效果最佳，其次為灌溉連接系統。未來對於魚菜共生系統的選擇上，較推薦利用養殖分離系統。

前言

魚菜共生(Aquaponics)就是將魚類與蔬菜水果結合，共同生長的應用設施。本研究將結合校內有志廣場二樓「智慧環境水產養殖系統」進行直接漂浮系統(deep water culture aquaponics)、直接灌溉連接系統(media based aquaponics system)及、養殖分離系統(Nutrient Film Technique aquaponics system)三種魚菜共生的設計與養殖。並於研究中探討三種魚菜共生系統間之效益之差異。

Aquaponics 是一個在字典上查不到的英文創新字，來自於近代綠生活科技發展所衍生出的新字，其中 Aqua=Aquaculture(水產養殖)，ponics=Hydroponic(水耕)，中文以「魚菜共生」稱謂之。魚菜共生(Aquaponics)就是將魚類與蔬菜水果結合，共同生長的應用設施，其原理主要利用魚的排泄物，經由水泵送到有硝化作用的蔬菜水耕(礫耕)池，其中的水中懸浮物與有害原素(有機大分子狀)，經硝化菌等益菌的轉化為營養小分子(氮、磷、鉀、鎂 等)以供給植物的水根吸收，輸至葉片經光合作用轉成胺基酸促使植物成長，同時也淨化了水質，再循環回魚池供給魚類健康的生長環境，這種利用水循環交換所需，使三種生物(魚、細菌、植物)互惠互利共同生長的方式(Jr. et al., 2013)(圖 1)。在國際上，Aquaponics 是一個因應環保，而發展出的可再生(可持續發展)的最新生態科學。魚菜共生系統如果能以太陽能為

水循環動力的來源，更加符合，可持續發展型生態(Sustainability)，也是當前全世界呼籲挽救地球生態的趨勢(Goodman, 2011; Villarroel et al., 2011)。

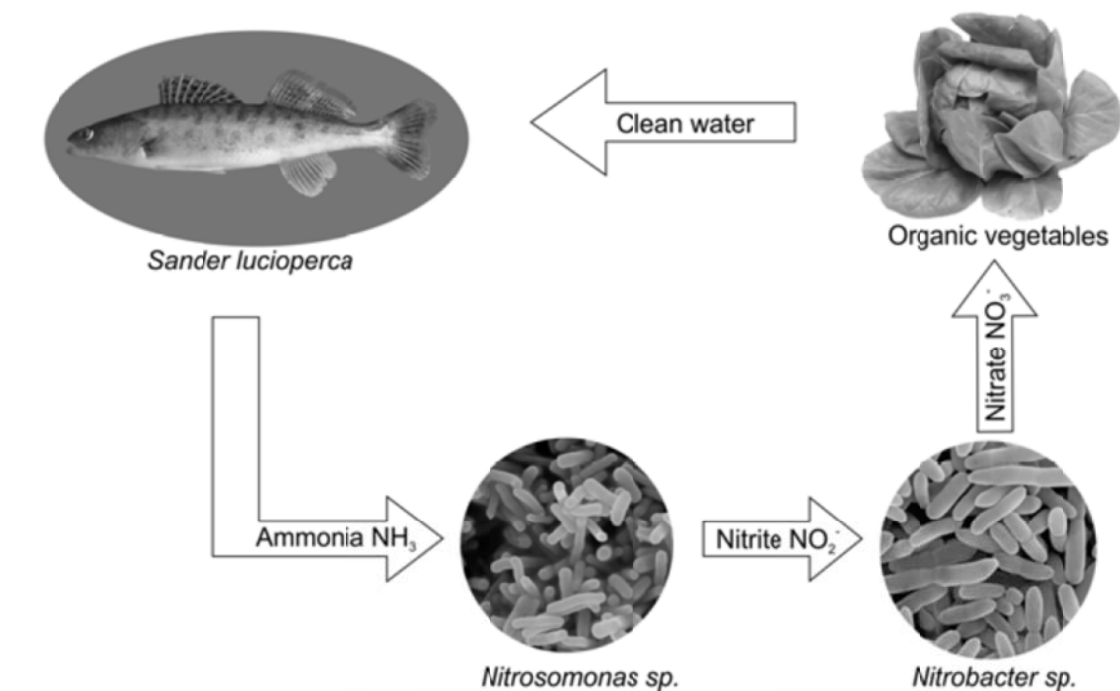


圖 1. 魚菜共生示意圖。取自 (Graber and Junge, 2009)

魚菜共生(Aquaponics)系統大至可分成直接漂浮系統(deep water culture aquaponics system, 圖 2)、灌溉連接系統(media based aquaponics system, 圖 3)及、養殖分離系統(Nutrient Film Technique aquaponics system, 圖 4)三種魚菜共生系統(Ako and Baker, 2009)。其中，直接漂浮法及、養殖分離法多以水耕蔬菜種植為主，灌溉連接法則以養殖基土或土壤為種植的基質，可以應用於果樹及根菜類的蔬果。

直接漂浮系統(deep water culture aquaponics system, 簡稱：DWC 系統, 圖 2)為最便宜也最簡單的魚菜共生系統。主要以浮板漂浮在魚池上，在浮版上直接進行短期葉菜類為植栽的水耕方式。該系統最大的優點為便宜及方便，但是由於養殖魚池中魚類排放的含氮廢棄物尚未完全轉換成植物可以利用的形態，所以植栽的成長通常較慢。

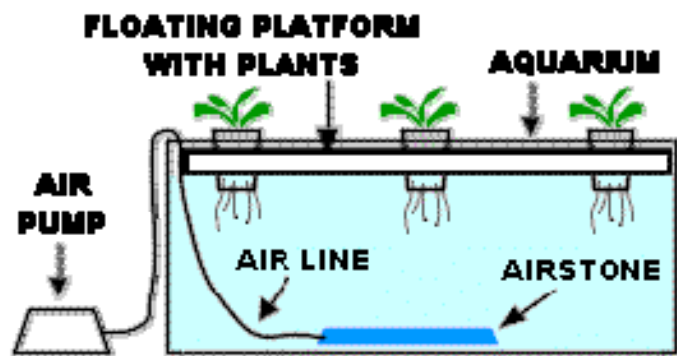


圖 2. 直接漂浮法(deep water culture aquaponics system)

灌溉連接系統(media based aquaponics system，簡稱：M-B 系統，圖 3)，簡單來說就是利用養魚的水進行植栽的澆灌。該系統花費較 DWC 系統貴，但是可以種植植栽種類較多。M-B 系統最大的缺點是水的回收量較差，回收水也可能造成魚池水質變差，影響魚類養殖效應。

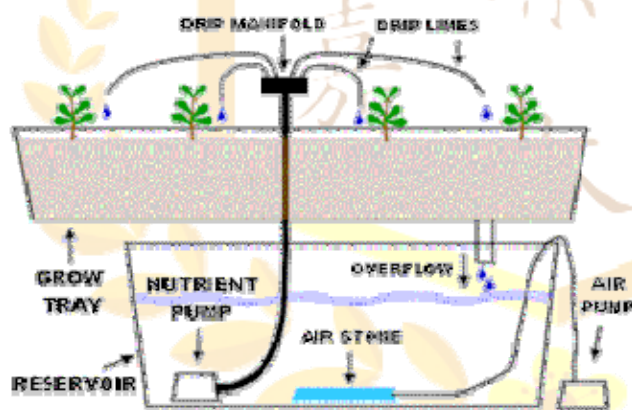


圖 3.灌溉連接系統(media based aquaponics system)

養殖分離系統(Nutrient Film Technique aquaponics system，簡稱：NFT 系統，圖 4)，或有翻譯為營養液膜技術系統。NFT 系統是在最適合於大規模生產小根系葉菜類魚菜共生系統。NFT 系統可以外加消化槽使養魚後的含氮廢棄物轉換成植物可以利用的營養鹽形態，增加植物成長的效率。該系統除了費用較 M-B 系統高外，種植作物受到限制也是它較大的缺點。

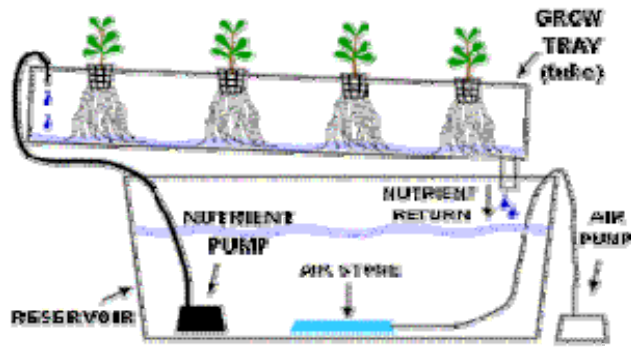


圖 4. 養殖分離系統(Nutrient Film Technique aquaponics system)

材料與方法

本研究將結合校內有志廣場二樓「智慧環境水產養殖系統」進行直接漂浮系統(DWC 系統)、直接灌溉連接系統(M-B 系統)及、養殖分離系統(NFT 系統)三種魚菜共生系統的建立。並於三系統中養殖 1cm 的鯉魚，並於三種魚菜共生系中種植小白菜，並於每周進行小白菜及鯉魚的生物量測定，進行六周後比較三系統小白菜及鯉魚的生物量變化之差異比較。試驗中測定魚池、魚菜共生系統出水口之氨氮、硝酸及亞硝酸濃度。各項細部分述如下：

一、 實驗動物準備

實驗動物-鯉魚(*Cyprinus carpio carpio*)來自嘉義魚苗廠，購入後放入有志廣場二樓「智慧環境水產養殖系統」訓養。系統中以通氣設備曝氣，待其穩定後進行後續試驗。試驗生物於試驗前依體長 1.0-1.2cm，且隨機分配至各試驗組($n \geq 20$)。

二、 小白菜

小白菜種子不需經過浸泡或催芽，因此購回的種子直接播種在潮濕的棉花上，不需加蓋及遮蔭，只要保持種子表面濕潤即可。等待發芽至 1cm 後連同棉花直接放入三種魚菜共生系統的養殖槽中即可。

三、 魚菜共生(Aquaponics)系統建立

本研究主要建立直接漂浮系統(deep water culture aquaponics system，圖 2)、灌溉連接系統(media based aquaponics system，圖 3)及、養殖分離系統(Nutrient Film Technique aquaponics system，圖 4)

三種魚菜共生系統，系統採封閉式的水循環系統。系統中的水源主要來自於有志廣場二樓「智慧環境水產養殖系統」。

四、 氨氮、硝酸及亞硝酸濃度

水樣採回後檢測水中氨氮(行政院環境保護署環境檢驗所, 2005a)與硝酸鹽(行政院環境保護署環境檢驗所, 2005b, 2006)及亞硝酸鹽(行政院環境保護署環境檢驗所, 2002)，檢驗方法將參考環境保護署環境檢驗所提供之標準方法進行。

五、 統計分析

氨氮、硝酸、亞硝酸濃度及小白菜與鯉魚的生物量結果以 one-way ANOVA(SPSS, 2012)進行各周不同系統間的比較，分析後有顯著差異者 ($p < 0.05$) 再以 Duncan 比較各組間的差異。

結果與討論

從結果顯示，三種魚菜共生系統對氨氮、硝酸及亞硝酸三者濃度在數據上分析並無顯著差異($p > 0.05$)，但是由圖 5 可看出養殖分離系統在營養鹽轉換效果上較好。

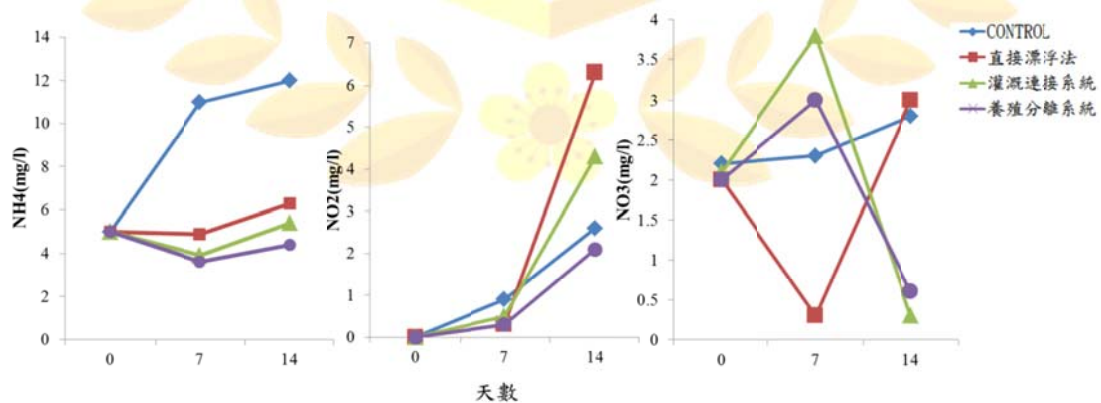


圖 5.三種魚菜共生系統對氨氮、硝酸與亞硝酸鹽濃度變化，三種營養鹽均為無顯著差異($p > 0.05$)。

在三種魚菜共生系統種植小白菜的結果顯示出(圖 6)，在兩個禮拜後以養殖分離系統的種植效果較好小白菜重為 2.3g，接著為灌溉連接系統小白菜重為 1.8g，直接漂浮法效果較差小白菜重則為 1.2g。

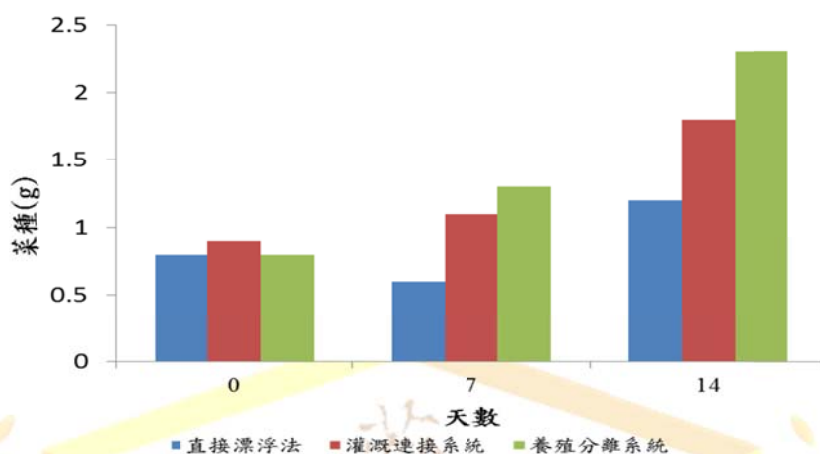


圖 6. 三種魚菜共生系統對小白菜的重量(g)變化，此試驗 CONTROL 組無種植小白菜。

在三種魚菜共生系統養殖鯉魚的結果顯示出(圖 7)，兩個禮拜後養殖分離系統的鯉魚魚體重較高，平均為 26.3 g。第二則為灌溉連接系統平均為 22.6 g，Control 組與直接漂浮法結果並無太大差異，分別為 18.6g 與 19.2g。

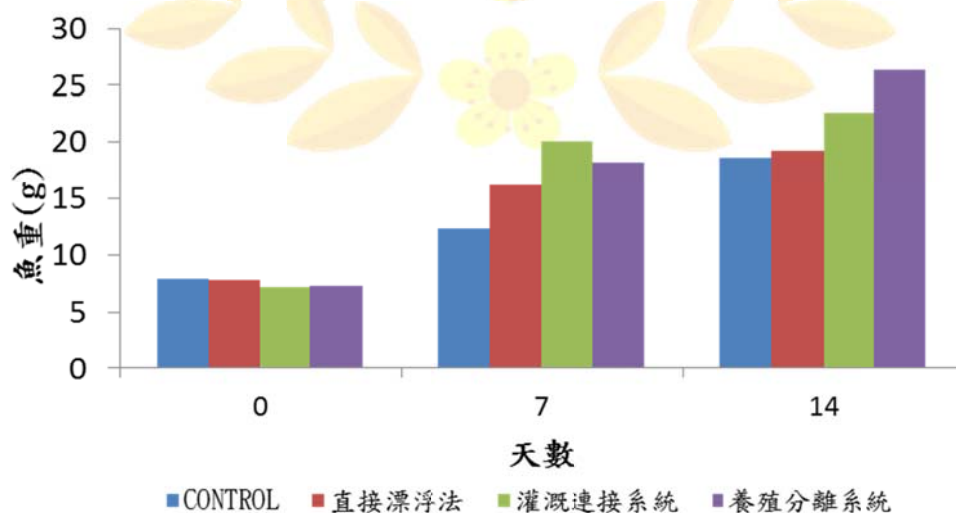


圖 7. 三種魚菜共生系統對鯉魚的重量(g)變化。

因在養殖分離系統對營養鹽氮轉化為硝酸的效果較好，才有利

於小白菜與鯉魚的養分吸收。綜合以上的結果顯示出，在鹽養鹽的轉換與小白菜、鯉魚的生物變化程度上，皆是以養殖分離系統的效果最佳，其次為灌溉連接系統。未來對於魚菜共生系統的選擇上，較推薦利用養殖分離系統。

本研究應用校內有志廣場二樓「智慧環境水產養殖系統」結合直接漂浮系統(deep water culture aquaponics)、直接灌溉連接系統(media based aquaponics system)及、養殖分離系統(Nutrient Film Technique aquaponics system)三種魚菜共生系統。研究探討三種魚菜共生系統間蔬菜及魚體之成長效益。初步結果顯示，養殖分離系統的效果最佳，其次為灌溉連接系統。除此之外，亦可了解三種系統間生態系統能量的傳遞與改變。同時，也可利用該系統教導學生智能農業之相關新興概念。

參考文獻

- Ako, H., Baker, A. (2009) Small-Scale Lettuce Production with Hydroponics or Aquaponics. Sustainable Agriculture, SA-2.
- Goodman, E.R., (2011) Aquaponics: Community and Economic Developement, Massachusetts institute of technology. Arizona State University.
- Graber, A., Junge, R. (2009) Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. Desalination 246, 147-156.
- Jr., R.W.M., Mathison, M., Mayer, B., Nagurka, M., Cariapa, V., Schabelski, J., (2013) Aquaponics: A Sustainable Food Production System That Provides Research Projects for Undergraduate Engineering Students, World Engineering Education Forum 2013, pp. 1-8.
- SPSS (2012) SPSS Base 20.0 User's Guide. SPSS Institute, Chicago, IL.
- Villarroel, M., Alvarino, J.M.R., Duran, J.M. (2011) Aquaponics: integrating fish feeding rates and ion waste production for strawberry hydroponics. Spanish Journal of Agricultural Research 9, 537-545.
- 行政院環境保護署環境檢驗所, (2002) 水中亞硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法(NIEA W418.51C). 行政院環境保護署, 臺北市.

行政院環境保護署環境檢驗所, (2005a) 水中氨氮檢測方法－靛酚比色法(NIEA W448.51B). 行政院環境保護署, 臺北市.

行政院環境保護署環境檢驗所, (2005b) 水中硝酸鹽檢測方法－馬錢子鹼比色法(NIEA W417.51A). 行政院環境保護署, 臺北市.

行政院環境保護署環境檢驗所, (2006) 水中硝酸鹽氮檢測方法－分光光度計法(NIEA W419.51A). 行政院環境保護署, 臺北市.



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，主要原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。

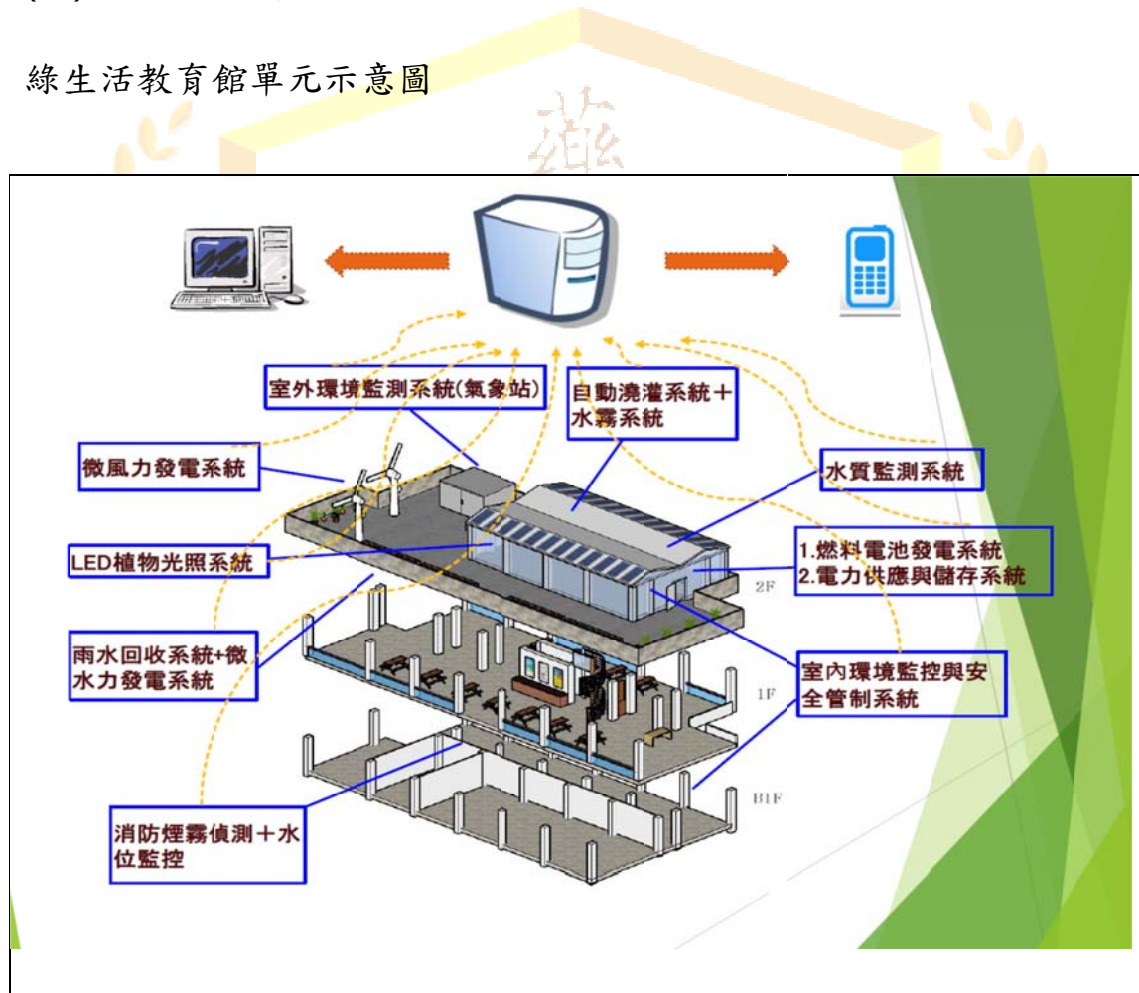
4. 氣流速度：溫室通風換氣時，室內氣流速度一般控制在 0.5 m/s 以下；在高濕、高光照度下不超過 0.7 m/s 。作物生長區域內推薦最小氣流速度為 0.1 m/s 。

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

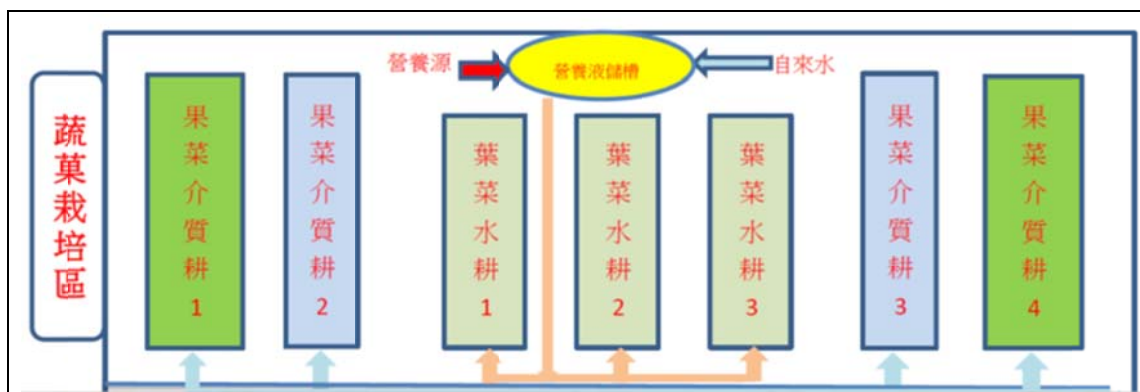
溫室栽培單元如下圖所示，操作內容分述如下：

(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) 瓜菜介質耕栽培區

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。

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：

再生能源運用於溫室作業之可行性評估

☒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：陳健民

中華民國 106 年 12 月 31 日

(一) 摘要

本研究應用校內有志廣場之「綠生活教育館」結合現有太陽能發電系統及即將建置的微風力發電系統、微水力發電系統與燃料發電系統等再生能源設施，併入即將建立的物聯網系統，以即時了解各種再生能源發電及應用狀況進行監控、收集資料發分析。原建置之太陽能發電系統，已可自主建立資料庫，但需靠人工重新統計分析，才能顯現有用資訊，而即將建置的三套新能源系統與物聯網等系統將可把此等數據統整，同時也監控綠生活教育館各電器設備之耗電情況，因此，本計劃中將依此新系統所蒐集之數據進行統計分析，了解綠生活教育館之溫室中的電能應用與平衡關係。

由於物聯網系統的建置工程進度落後，後續才聯網的風力、水力與燃料電池等之數據在 2017 年度皆來不及上線，因此本計畫僅能針對 2016 年的太陽能發電數據予以統計分析。HISG 光電板的年發電總量是 1035.0 度(Kwh)、月平均發電量是 94.0 度；CIGS 則分別是 813.4 度與 74.0 度。但就效率而言，後者卻較高(89.2 vs. 92.0)。造成此現象的原因仍待探討。

(二) 研究動機與研究問題

德國『工業 4.0』提出後，台灣也相對提出『生產力 4.0』，除了『工業 4.0』外，另加『商業 4.0』與『農業 4.0』，其中的整合工具即靠『物聯網』，物聯網之應用範圍相當廣泛，亦可將物聯網運用於環境狀況監測。本學院『綠生活教育館』竣工於 104 年 9 月，該館創立之目的乃為結合環境工程與科學系與環境資源管理系諸位教授之研究結果集合於其中，期能展示環境永續學院之研究成果，目前已設置一智慧農業之實場(溫室)，包含兩大運作系統，其一為太陽能與其他之再生能源發電設施(建置中)，另一為魚菜共生系統(含中水處理再利用與作物植栽)，未來都將透過物聯

網將相關之數據收集並整合於資料庫(106 年度之教育部整體發展獎補助款購置)，並予以即時監測或透過回饋設備加以控制。此物聯網的運用亦符應政府之 5+2 重大產業發展方向之綠能及新農業與循環經濟，更是本院環管系與環工系的未來發展的特色之一。

在綠生活教育館中，首期建置已含蓋太陽能發電、水資源利用、空間規劃與智慧農業概念，而 106 年度之教育部整體發展獎補助款即將再購置『再生能源電力整合系統』與『燃料電池發電系統』兩套系統，再加上溫室外的堆肥處理(生質能源)，亦即，在綠生活教育館中已有太陽能、水力能、風力能、生質能與氫燃料能等再生能源，對於再生能源系統之建置已相當完備，因此，有必要進行再生能源運用於溫室作業之可行性評估，以建立資料庫與進行大數據分析，以為產學業者能用參考。

(三) 文獻回顧與探討

全球暖化與氣候變遷造成環境生態巨變，許多自然資源的開發利用，已超過環境負荷，如要地球永續發展，保護環境資源與妥善管理是極待面對的問題。本校對校園環保議題相當重視，自民國 80 年以來在校園內陸續建造三座機械式污水處理廠、一座人工濕地自然處理系統、及中水回收利用系統，這些硬體設施平時需要妥善操作維護，由環工系的教師群顧問管理。而能源之開發與使用管理，亦是不可或缺的一環，再生能源之強化更是現今主要課題，最易達到再生能源之建置者，乃太陽能發電，而有關水力與風力，鑑於環境限制只能採用微風力發電與微水力發電。

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，本學院透過整合院內系所環境工程科學與環境資源管理的『能資源、農業、廢水廢棄物回收再用』特色與研發成果，已在校園中建立一個溫室，其主要目的不外乎『展示研發成果』、『探討研究』、

『教學實習』、『實務習作』等教育功能，命名為『綠生活教育館』。『綠生活教育館』(簡稱綠館)，除可供教學實作與專題研究之外，亦可提供學生實作與實習的場域，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。

綠生活教育館初期規劃含蓋太陽能發電、水資源、空間規劃與智慧農業概念，未來將陸續加入物聯網及職業安全操演設施，形成環境永續學院各系所綜合實務場所。目前場域除了一樓已逐步完成的空間規劃外，二樓溫室共分魚菜共生系統與綠館屋頂兩大主體，魚菜共生系統共又分『中水處理區』與『蔬菜栽培區』兩區：其中，中水處理區包括『蚵殼處理』、『蓄養池』及『中空管膜過濾組』三個單元、蔬菜栽培區則由『水耕』與『介質耕』兩區組成；綠館屋頂並可分為三區：『太陽光電系統』、『透光板』與『遮光浪板』三大區塊，太陽光電系統共分『HISG 太陽能模組』與『CIGS 太陽能模組』兩組、透光板共分『雙中空懸膜清玻璃』與『強化清膠合玻璃』兩組、遮光浪板(透光率 70%)、以擋風遮雨為主。未來即將建置的『再生能源電力整合系統』與『燃料電池發電系統』兩套系統，則分別有微風力發電機組微水力發電機組及氫燃料電池發電。

本綠館涵蓋太陽能發電、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。未來即將再增建『再生能源電力整合系統』與『燃料電池發電系統』兩套系統，再加已在溫室外進行的堆肥處理(生質能源)，已完備地完成再生能源系統之建置。接續工作即需進行系統分析及資料庫建立。

(四) 研究方法與步驟

本計劃將依下列步驟，逐一完成。

1. 持續操作太陽能發電系統，彙整與分析數據



已建置之太陽能發電系統，雖然可自主建立資料庫，但目前如需統計數據需靠人工重新分析，才能顯現想要呈現的資訊，本計畫首階段即利用即將建置的能源系統整合系統，將數據統整分析，

2. 查核及整合溫室內耗電與發電情形

目前綠館內有馬達、抽風機等多種電器設備而使用電力，另有太陽能發電併入，未來再增加水力、風力與氫燃料能等再生能源發電加入，然而各電器耗用多少電力及再生能源產生多少電力仍需統計，以便評估操作本溫室的能源平衡關係。

3. 安裝新購再生能源設施，熟悉操作與蒐據技巧

新建的『再生能源電力整合系統』具有電量監視感測功能、蓄電功能組、變流器、微風力發電機組、微水力發電機組等功能，而『燃料電池發電系統』則有金屬板燃料電池設計、氫氣高壓鋼瓶、電池自動充電功能、混成電池及軟體監控等功能，此等設施採購後，需進行安裝測試，並熟悉各系統操作與蒐集數據技巧，並進行耗電監測與分析。

4. 建立各項數據呈現方式，展現再生能源設備在溫室功能。

完成前述工作--建立資料庫之後，接著即可利用大數據分析技巧進行再生能源運用於溫室作業之可行性評估，以展現再生能源設備在溫室功能，作為產學業者能用參考。

(五) 成果

由於物聯網系統的建置工程進度落後，後續才聯網的風力、水力與燃料電池等之數據在 2017 年度皆來不及上線，因此本計畫僅能針對 2016 年的太陽能發電數據予以統計分析。以下四圖為 2016 年四季的每日發電量圖。



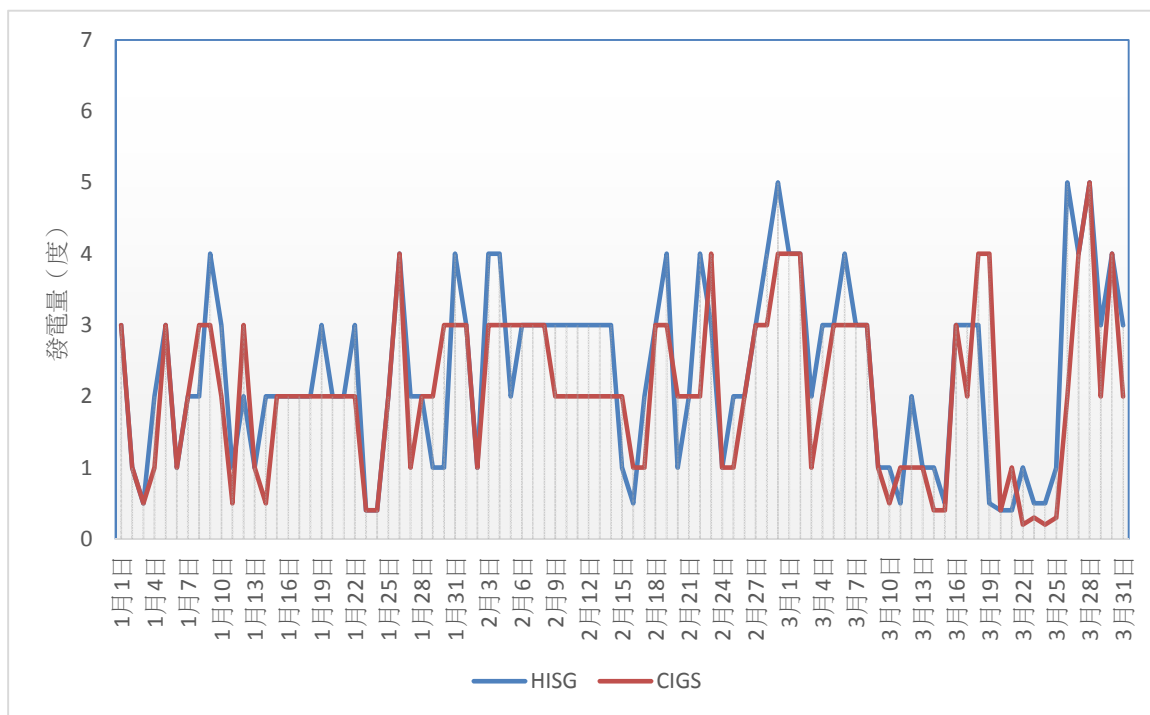


圖 1. 兩種太陽能光電板的第一季發電量比較

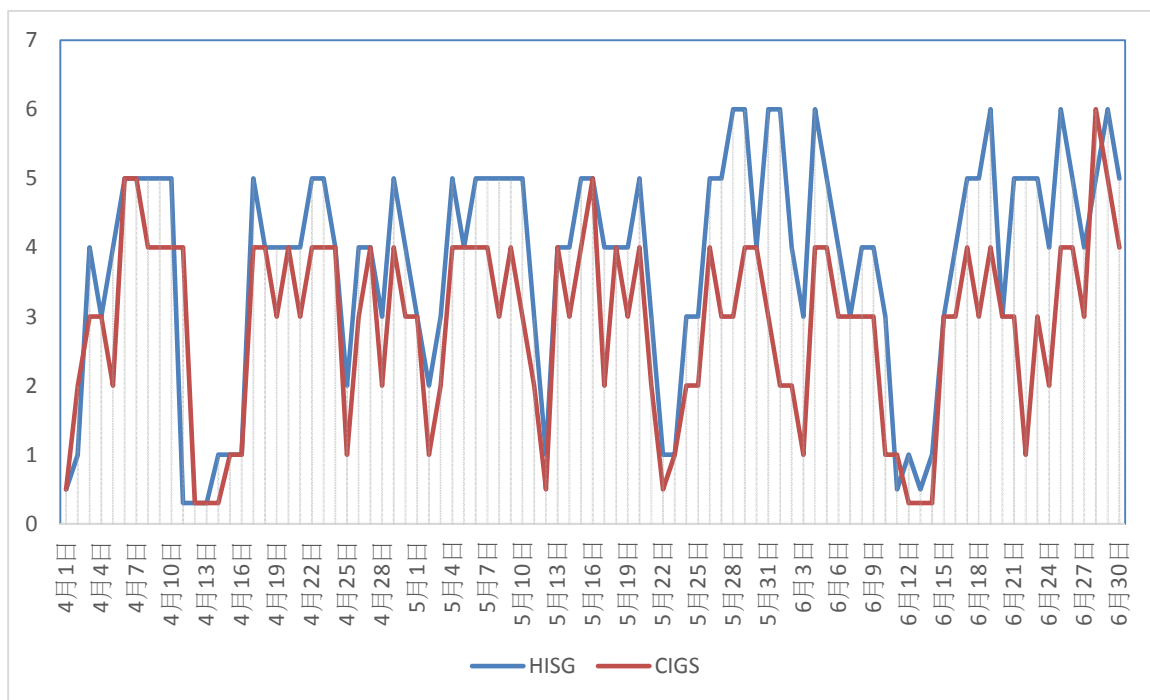


圖 2. 兩種太陽能光電板的第二季發電量比較



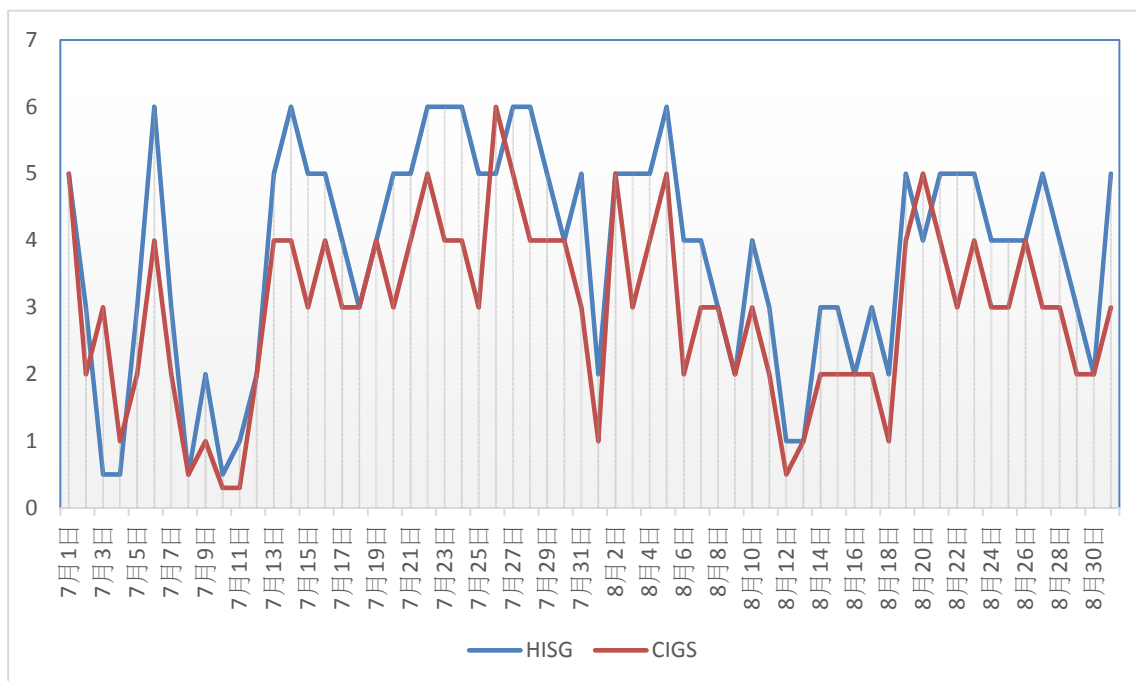


圖 3. 兩種太陽能光電板的第三季(無 9 月份數據，故障維修)發電量比較

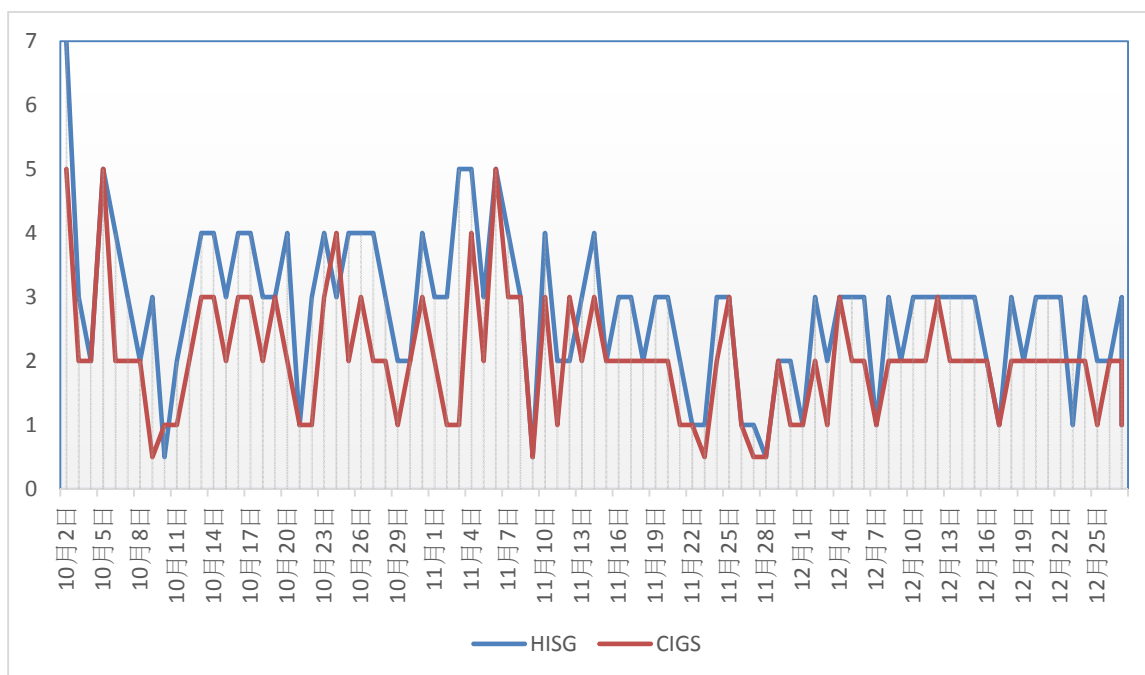


圖 4. 兩種太陽能光電板的第四季發電量比較

第一季發電量由於陽光較弱所以日發電量最高僅達 5 度，每日發電量的季平均度數相較於其他季約有 1~2 度之差異。在一年當中，單日發電量最高是 7 度(10/2)，最低則不到 1 度，但由於主機故障維修之故，9 月份沒有數據，也許有更高的日發電量也說不一定。一般而言，若比較每日的發電量，HISG 通常會較高，但也有少數幾日卻是 CIGS 較高，唯差異並不大，皆在 1 度以內。

HISG 光電板的年發電總量是 1035.0 度(Kwh)、月平均發電量是 94.0 度；CIGS 則分別是 813.4 度與 74.0 度。但就效率而言，後者卻較高(89.2 vs. 92.0)。造成此現象的原因仍待探討。

總結來說，CIGS 光電板雖有較高的發電效率，到可能由於結構不同，其年發電總量是低於 HISG 光電板。況且 HISG 具有較佳的隔光效能，對溫室的降溫具有較佳的效果。很可惜，由於相關連線作業之工程進度較慢，其他再生能源及環境相關數據未能即時連結上線進入資料庫，所以僅能比對兩種不同太陽能光電板的發電效能。未來透過物聯網將發電之相關數據收集於資料庫，並能累積長期的資料，以及配合其他溫室內外環境或氣象資料，透過數據分析與比對，將來更能掌握不同再生能源之效能。

(六) 參考文獻

1. 李得元,陳健民, **綠生活教育館之籌建規劃**, 中華民國環境工程學會, 環境資訊與規劃管理研討會, 2016)
2. 李得元,陳健民,蘇子琄,梁芳瑜, 李宸宇, **校園溫室綠生活教育館之實務操作初探**, 中華民國環境工程學會, 環境資訊與規劃管理研討會, 2016)
3. 李得元,劉瑞美,蘇子琄,梁芳瑜,陳健民, **校園溫室建置與蔬菜植栽實錄--以嘉藥綠生活教育館為例**, 中華民國環境教育學會, 中華民國環境教育學術暨實務交流國際研討會, 2016)

