

不同作物栽培類型之智慧灌溉系統設置及推廣- 以桃園市為例

Setting and Promotion of Smart Irrigation Systems for Different Types of Crop Cultivation- A Case of Taoyuan City

財團法人農業工程研究中心

研究員	副研究員兼組長	助理技師	副研究員	助理研究員
陳豐文	張雅婷	卓宇謙	林修德	譚允維
Feng-Wen Chen	Ya-Ting Chang	Yu-Chien Cho	Hsiu-Te Lin	Yun-Wei Tan

桃園市政府水務局

局長	副局長	綜合企劃科科長	綜合企劃科科員
劉振宇	李金靖	黃旭輝	趙本翰
Chen-Wuing Liu	Jin-Jing Lee	Hsu-Hui Huang	Ben-Han Zhao

摘 要

傳統農業灌溉仰賴農民經驗，需透過巡田、觀察作物生長性狀進行用水管理，而我國從事農林漁牧業之經營管理者平均年齡為 63.5 歲，超過 65 歲以上的比例高達 52%，面對我國農業勞動力高齡化，老農經驗不易傳承，青農欲快速熟悉作物種植，導入科技是一大契機。近年來產業智慧化為國際趨勢，智慧水資源的技術開發與應用亦開始蓬勃發展，配合政府積極推動精準農業，將智慧節水技術導入農業生產過程，秉持適時適量原則，於關鍵時期有效給水，透過農業用水的調整提升區域的抗旱能力，亦協助農民實現省時、省工、精緻化。本研究以桃園市為示範區域，進行智慧灌溉之節水技術研發，且為驗證其泛用性，2020 年協助桃園市新屋區農場，以智慧化系統解決農場主獨自經營的人力短缺問題，2021 年進一步推廣應用至另 5 座農場，農民僅需選擇必要設備進行安裝，大幅降低費用門檻。實際推廣應用顯示作物產量及品質不受影響下，具顯著省水效益，亦減輕農場經營人力負擔，農場管理者可應用管理平台與 APP，掌握即時田間資訊，亦可依作物生長需求預設灌溉啟動條件。未來透過整合農場大數據資訊可再進行分析，歸納不同作物之用水、栽培及產量等資訊供其他農民栽培參考，以發揮智慧灌溉系統效益。

關鍵詞：智慧節水、智慧灌溉、灌溉管理

Abstract

Traditional agricultural irrigation relies on farmers' experience, and water management needs to be carried out by patrolling fields and observing crop growth characteristics. The average age of managers engaged in agriculture, forestry, fishery and animal husbandry in Taiwan is 63.5 years old, and 52% of them are over 65 years old. Facing the aging of Taiwan's agricultural population, the experience of old farmers is not easy to pass on. If young farmers want to quickly become familiar with crop planting, the introduction of technology is a great opportunity. In recent years, industrial intelligence has become an international trend, and the technological development and application of smart water resources have also begun to flourish. Cooperate with the government to actively promote precision agriculture, and introduce smart water-saving technology into the agricultural production process. Effective water supply during critical periods, improving the drought resistance of the region through the adjustment of agricultural water, and also helping farmers to save time, labor and refinement. This study takes Taoyuan City as a demonstration area to conduct research and development of water-saving technologies for smart irrigation. In 2020, this research assisted farms in Xinwu District, Taoyuan City to solve the manpower shortage problem of farmers operating alone with an intelligent irrigation system. In 2021, it has been further promoted and applied to another five farms. Farmers only need to select the necessary equipment for installation, which greatly reduces the cost threshold. The actual promotion and application show that the crop yield and quality are not affected, and it has significant water-saving benefits, and also reduces the manpower burden of farm operators. Farm managers can use the management platform and APP to master real-time field information, and can also preset irrigation start conditions according to crop growth needs. In the future, through the integration of farm big data information, it can be analyzed again, and the information such as water use, cultivation and yield of different crops can be summarized for other farmers' cultivation reference, so as to exert the benefits of the smart irrigation system.

Keywords: Smart water saving、Smart irrigation、Irrigation management.

一、前言

國內水資源應用以農業灌溉為大宗，約占農業用水的 92 %，相當於臺灣整體用水需求 64 % (經濟部水利署，2021)，因此水資源多元應用與智慧化發展均以農業灌溉為重點，其中智慧農業已是國際農業發展趨勢。智慧農業係以現行產業生產模式為基礎，輔以省工省力機械設備、輔具及感測元件的研發應用，結合跨領域之資通訊技術 (ICT)、物聯網 (IoT)、大數據 (Big Data) 分析、區塊鏈 (Block Chain) 等前瞻技術導入，減輕勞動力需求，生產符合消費者需求，安全、安心及可追溯的農產品 (行政院農業委員會農業試驗

所)。臺灣農業受限於耕地面積狹小的不利條件，且面臨農業人口老化、缺工、全球化競爭與氣候變遷等問題，以小農為主體的臺灣農業為因應永續發展的挑戰，推動智慧農業發展已刻不容緩。傳統農業灌溉仰賴農民經驗，需透過巡田、觀察作物生長性狀進行用水管理，而我國從事農林漁牧業之經營管理者，超過 65 歲以上者高達 52%，老農經驗不易傳承，青農欲快速熟悉作物種植，導入科技是一項契機。配合政府積極推動精準農業，秉持適時適量原則，於關鍵時期有效給水，透過將智慧節水技術導入農業生產過程，協助農民實現省時、省力、省工、精緻化；原本農民僅能照顧 1 分地，未來可望擴大為 10 甲地，畢生累積之經驗能夠傳承，吸引年輕人從農，使得臺灣農業能永續經營。

二、智慧灌溉案例蒐集探討

近年國內政府機關推動智慧灌溉部份，包含強化大型自動化灌溉輸水及管理系統，以前瞻計畫方式推動為主，如經濟部水利署南區水資源局於 2017 年起辦理「精進灌溉節水管理技術-以嘉南灌區為例」，發展具有智慧決策功能的創新智慧水管理系統。行政院農業委員會推動精進灌溉節水管理建置計畫於桃園、石門、新竹、嘉南及高雄等 5 個管理處，運用物聯網技術，分析整合農田水利水情資訊及灌排設施資訊等，規劃設置精進灌溉管理設施，以掌握灌溉供需水量。茶業改良場選定臺灣農林老埤農場及茶改場楊梅總場，將智慧農業導入茶產業，節省大量人力、用水量、肥料量且有效提高經營效益(洪嘉鎡，2018)。農業委員會桃園區農業改良場 2018 年起研發田間環境感測器、控制器及遠端遙控系統，利用智慧化管理節省人力成本，亦可擴大管理面積。桃園市政府水務局(2019、2020)自 2019 年起透過物聯網(IoT)之感測技術整合、智慧環控技術、智慧管理技術等，於作物栽培過程結合相關生長與環境參數，建立不同作物之前瞻智慧節水管理系統，經由 2 次無遮蔽裸露農地的蔬菜栽培驗證，應用滴灌節水技術相較於傳統溝灌方式可節省約 58~77%水量；2020 年進一步以智慧節水、省工為目標，精進智慧灌溉系統，給水功能由自動化提升至智慧化外，另結合溫室的環境智慧控制、給肥自動化技術建立，進行高經濟早作物(玉女小番茄)的溫室栽培驗證，初步確認智慧給水系統及溫室智慧環境控制系統結合應用，達成節水 90%、產量增加 20%、初步評估達省工 60%，且克服作物非適種季節之難題。

其他由機關與學術單位合作案例，包含國立臺灣大學與行政院農業委員會臺南區農業改良場共同建置利用物聯網技術監測設施蘆筍作物栽培管理系統，透過作物生理影像監測與環境參數進行比對，建立最佳化生長條件，以達到蘆筍作物最佳化種植。中興大學生機系與行政院農業委員會農業試驗所合作建置智慧水田監控管理系統，結合水田傳感器、物聯網、資通訊科技、手機 APP 及自動供水管理硬體，提高灌溉用水效率。民間推動案例如：中華電信 提供各式農業感測器(土壤溫溼度、CO₂、微氣象站等)收集環境數據外，導入其自主研发之智慧農業分析模型與專家知識庫，協助農民依場域類型、作物種類以及分析目的，依據數據實踐最佳耕種行為。高雄永齡農場自 2016 年起陸續導入相關農業科技協助發展，小至滴灌栽培棚的灌溉方式調整，大至運用影像辨識結合 AI 大數據來解決農業問題，其農場作物年產量自 2016 年 810 公噸翻倍為 2019 年的 1,700

公噸(社企流, 2019)。桃園市蘆竹區的源鮮農場是目前全球層數最多的立體農場, 透過人為調控溫度、溼度與風速, 創造出仿大自然的微型氣候, 提升產能。

由各項智慧灌溉案例顯示, 國內無論水利機關、農業機關, 甚至民間團體皆積極投入研發、應用與推廣智慧農業, 結合科技、灌溉技術與節水農法, 達到農業精進灌溉及智慧節水的具體目標。

三、智慧灌溉系統研發及整合

於農業生產過程導入智慧化管理, 達成節水、省工且兼顧農業產量為智慧灌溉系統重點所在。本研究建置之智慧灌溉系統適用於裸露地及溫室旱作物栽培, 系統組成及感測元件包括氣象觀測、田間感測、灌溉、溫室抽風、自動給肥、微處理器控制等子系統。其中灌溉子系統於 2019 年引進以色列 Netafim 滴灌系統為基礎; 為邁向農業 4.0—智慧灌溉的目標, 本研究保留以色列滴灌系統之優點, 改良其價格偏高且僅達排程自動灌溉無法智慧灌溉之缺點, 本於水利產業本土化的精神, 採用臺灣具相同功能之軟硬體設備, 並以可編程邏輯控制器(PLC)進行智慧灌溉之判斷與操作, 整合所有設備及控制功能。各子系統簡述如下:

(一).氣象觀測與田間感測元件建置

包含氣象及環控感測、水分感測、流量感測、給肥儲存系統感測元件等。氣象觀測係為觀測試驗田區周邊的氣象因子, 作為研究環境影響作物之背景參考, 設備可包括紀錄擷取器、溫度計、濕度計、氣壓計、雨量計、日照計(日輻射計)、風速計等。而為監測田區之土壤水分狀況, 需施設土壤水分計, 作為是否啟動灌溉之重要依據; 流量監測則是為了監測田區栽培期間之引灌水量。

溫度、濕度感測數值可連動溫室抽風控制系統, 氣溫過高或過低皆需採取相應措施避免影響作物生長。濕度感測元件用來監測環境濕度, 當相對濕度低, 植物葉面蒸散量大, 植物體內水份少, 生長效率差; 相對濕度高, 植物蒸散量小、體內水份若過多, 將導致莖葉增大, 或者增加病蟲害, 亦可能影響產量, 因此必須依據空氣的相對濕度及不同作物與生長階段進行供水調節。控制器係讀取溫室內、外溫度與溫室內濕度, 若達溫差設定值或濕度設定值則啟動風扇。風速風向計感測目的是風力較強地點容易使作物受損, 可適當調節防護, 降低農損風險。日輻射計用來監測環境中光的品質, 光強度影響光合作用, 光質亦會影響作物生育。氣壓驟降可能為天氣劇烈變化之前兆, 大氣壓力可作為環境監測的參考因數之一。另雨量多寡會直接影響作物的生長, 不同作物在不同生育期對水分需求各有不同, 監測雨量可於生育期雨量較少時, 行灌溉補充水分。

目前政府相關單位皆有提供 Open Data 與 Open API 介接之服務, 部份天氣預報、降雨預報等需求資料亦可介接入系統進行呈現, 選擇重要必需元件進行安裝, 以節省農民支出、提升農民使用意願。

(二).灌溉子系統

灌溉設備以抽水馬達、電磁閥門、濾心為主體，在接受指令後送水至田間，送出的水量由灌溉時間或流量計或土壤水分計所控制。灌溉系統運作模式分為全自動模式(與土壤水分計關聯)、遙控模式(由手機網頁遙控)及現場手動模式。全自動模式係指依據田間目前含水量自動啟動灌溉或停止灌溉，無需人工操作，此模式會依照事前設定的參數持續運作，人員可透過遙控模式改變參數且可變更灌溉運作條件，可設定的參數包括：指定某支土壤水分計作為代表數值；田間含水量上限值(停止灌溉)；田間含水量下限值(開始灌溉)；灌溉時間；間歇時間；監測土壤水分計的間距時間。遙控模式係由人員透過手機或電腦網頁設定全自動模式的參數，或者立刻啟動或停止灌溉，避免當土壤水分計故障，控制器無法判斷是否灌溉時，仍有補救措施。或於特殊情況下，仍可覆蓋全自動模式的控制權，即時操控。現場手動模式是於田間設有緊急停止開關，當全自動模式失效(土壤水分計故障)，網路又斷訊時，可手動控制。

(三).微處理器控制子系統

類似整體系統的大腦，接收來自田間感測器元件傳來的環境變化(如土壤水分不足，室溫過高或濕度過高等)，然後進行判斷，並對判斷結果下達指令給灌溉、給肥或溫室抽風機等子系統作出反應，同時也會記錄觀測值作為備份。微處理器控制子系統也負責將資料透過通訊模組傳送至雲端伺服器，農民可透過手機或電腦監看現地情況，也可透過前述行動裝置對微處理器控制子系統下達指令，變更運作模式。

(三).電力及傳輸方式建置

電力擴充可採用既有市電或以太陽能形式，使用者可因地制宜進行選擇；傳輸方式將前述感測器系統整合，以物聯網概念、節省成本且傳輸穩定為目標，採用無線通訊模組；模組設計需採用國內既有之低功耗、廣域傳訊技術 LPWAN 為基礎。

(四).智慧管理平台

智慧管理平台除以視覺化界面供使用者監控及查詢外，並建置雙向互動功能，可透過遠端手機 web 自行調整設定灌溉頻率及供水量等。惟雙向操作功能除智慧管理平台建置外，感測器端亦需有相對應功能才能達到互動之目的，考量農民購置自動化系統的來源將會是多管道，因此通訊協定也可能是多樣性的，因此本平台接收感測器資料的傳輸協定包括 FTP、HTTP、MQTT、WebSocket 等。

四、智慧灌溉系統設置及推廣

為驗證智慧灌溉系統之泛用性，2020 年協助桃園市新屋區十方園農場，以智慧化系統解決農場主獨自經營的人力短缺問題。為進一步落實智慧灌溉之推動及施行，本研究針對桃園市境內以農場經營方式為主之露天或溫室農場，進行基本資料調查，以作為智慧灌溉系統潛在推廣之對象，再進行意願媒合以推廣應用智慧灌溉系統，協助輔導受推廣之農場，針對場域規模及既有設施等狀況，規劃感測元件施設範圍、點位規劃及硬體設備安裝，期能透過農地施設智慧灌溉系統及由農民搭配使用管理應用平台操作，達成省水、省工的效益。針對各推廣農場規劃施設內容說明如下：

(一).草本誠食：位於桃園市中壢區，佔地 0.57 公頃，農場為露天及溫室設施(如圖 1)，採用噴灌設備進行灌溉。作物以丹蔘及草莓為主，草本誠食為桃園最大中草藥材栽培場域，取得有機友善雙認證，農場主為第 5 屆百大青農，其品牌以丹蔘為行銷亮點，結合雞精為創新素材，獲得「2020-2021 台灣農業百大精品」獎項。針對農場型式、場域規模、種植作物及既有設施等，規劃於草本誠食農場裝置土壤水份計 7 組、流量計 1 組、6 分電控閥門 15 組、加壓控制馬達 1 組及其他配套工業級 4G 路由器、電力突波保護、訊號突波保護等設施，配置位置如圖 1 所示。



圖 1 草本誠食農場設施現況與安裝元件配置情形

(二).陳武言茶園：位於桃園市龍潭區，佔地 1.1 公頃，茶園型式為露天，採用噴灌設備，農場現況可分為三區，配合其場域規模及既有設施，規劃裝置土壤水份計 6 組、流量計 1 組、電控閥門 3 組、加壓馬達控制 1 組及其他配套設施，農場設施現況與元件配置情形如圖 2 所示。

(三).佳雨有機農場：位於桃園市觀音區，佔地 9.39 公頃，農場型式包含溫網室及露天耕作，作物以有機蔬菜與地瓜為主；採用微噴頭設備灌溉，配合農場種植現況與需求，規劃裝置土壤水份計 15 組、溫濕度計 3 組(育苗室內 2 組、室外 1 組)、流量計 2 組、控制器及其他配套設施，元件配置如圖 3 所示。

(四).田田園有機農場：位於桃園市桃園區，佔地 1.6 公頃，農場為溫網室設施，採用噴灌設備。作物以短期葉菜類為主，並取得有機認證。考量農場種植現況與需求，規劃裝置土壤水份計 10 組、溫濕度計 2 組(室內、外各 1 組)、流量計 2 組、2 吋電控閥門 10 組(溫室 9 組、露天 1 組)、加壓馬達控制 1 組及其他配套設施，農場現況與

元件配置位置如圖 4 所示。

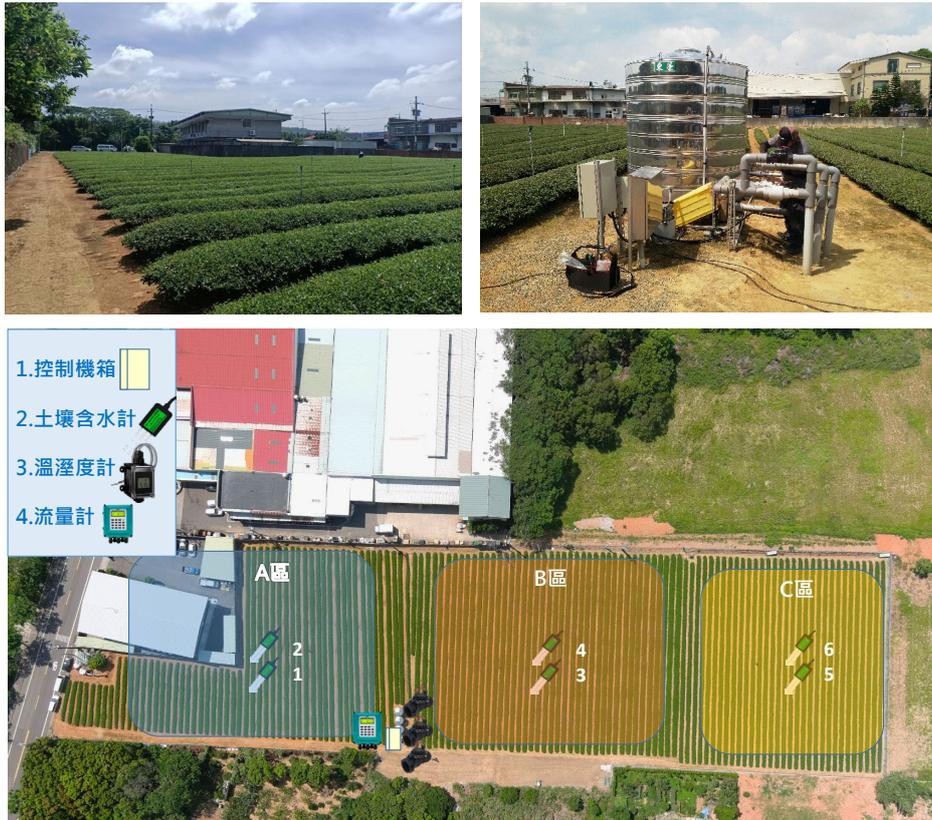


圖 2 陳武言茶園設施現況與安裝元件配置情形



圖 3 佳雨有機農場設施現況與安裝元件配置情形



圖 4 田田圈有機農場設施現況與安裝元件配置情形

(五) 品嘉有機農場：位於桃園市桃園區，佔地 1.5 公頃，周圍大都為休耕農地，因此保有良好的自然生態環境，本場創立於 2002 年，為農糧署及農會等單位輔導由慣行農法轉型為有機經營，農場為採用噴灌設備之溫室設施，農場主為農委會遴選的第 2 屆百大青農。農場作物主要以栽種短期小葉菜供應新北市及桃園市學童有機午餐，其次也栽種少數根莖瓜果類及小漿果供通路商販售。經考量農場種植現況與需求，規劃裝置土壤水份計 14 組、溫濕度計 2 組、流量計 1 組、電控閥門 15 組、加壓馬達控制 1 組及其他配套設施，規劃配置情形如圖 5 所示。

上述推廣應用之 5 座農場硬體建置內容如表 1，推廣面積計 14.16 公頃，設備安裝完成後，農場管理者可應用管理平台與 APP，將作物栽培期間之用水及田間資訊上傳至雲端系統，如圖 6 以品嘉農場為例，農場主可掌握即時田間資訊，亦可依作物生長需求預設灌溉啟動條件。未來透過整合農場大數據資訊可再進行分析，歸納不同作物之用水、栽培及產量等資訊供其他農民栽培參考，以發揮系統效益，亦可更可進一步結合消費市場需求與商情資料蒐集，透過大數據資料探勘、整合及分析，將數據轉換為對農業經營有用之資訊，提供產銷規劃、生產管理及顧客服務等經營決策判斷參考，減輕農場作業負擔、降低勞動力需求，建立更有效率的農場經營管理模式。

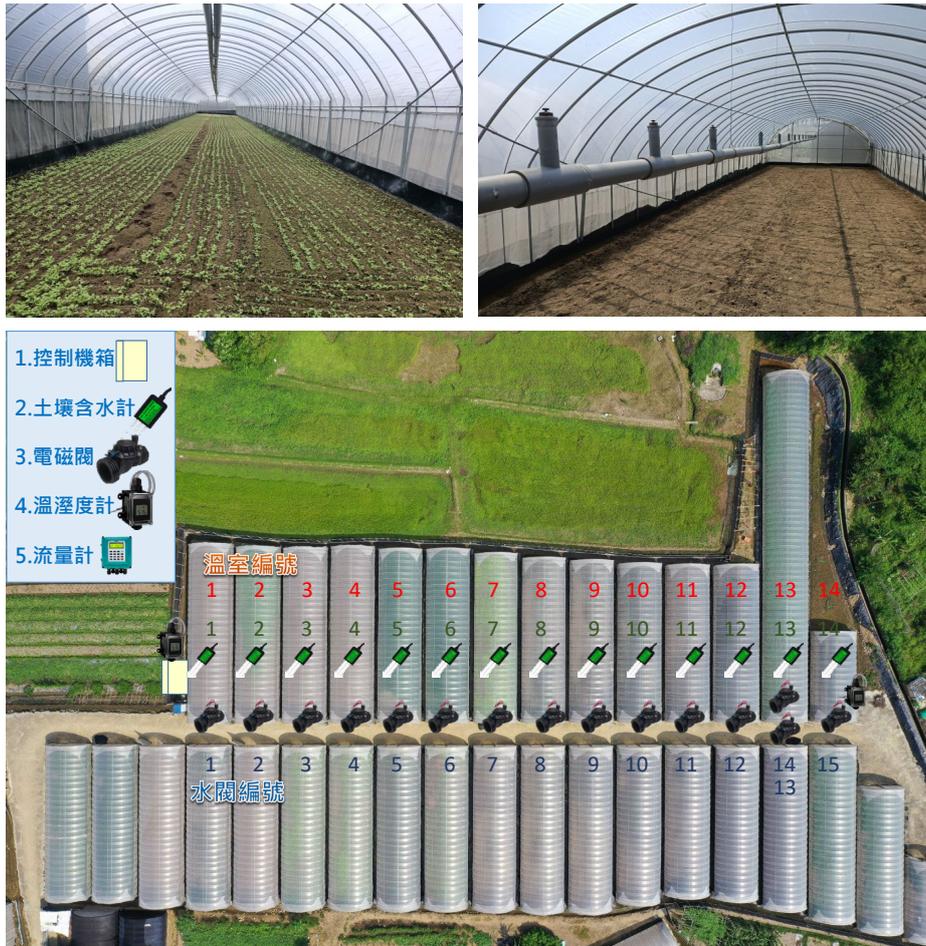
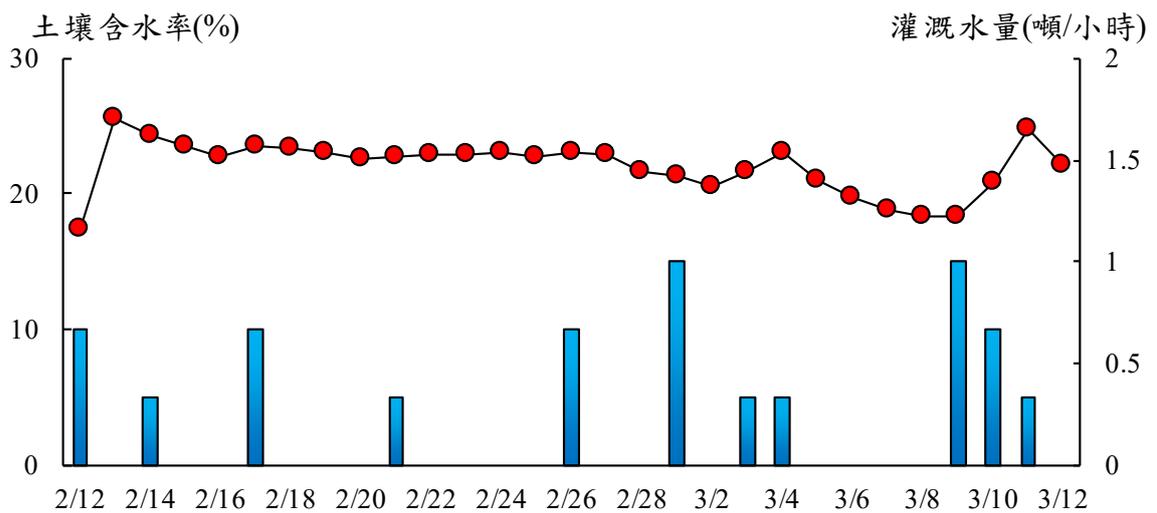


圖 5 品嘉有機農場設施現況與安裝元件配置情形



(擷取2022/02/12~2022/03/12期間品嘉農場內單一溫室資料)

圖 6 品嘉農場種植短期蔬菜期間之土壤含水率及灌溉水量資訊

表 1 本研究協助各推廣應用農場硬體建置內容

農場名稱	土壤含水計	溫濕度計	流量計	電控閥門	加壓馬達控制
品嘉農場	14	2	1	15	1
陳武言茶園	6	-	1	3	1
草本誠食	7	-	1	15	1
佳雨農場	15	3	2	-	-
田田園農場	10	2	2	10	1
合計	52	7	7	43	4

智慧灌溉之推廣關鍵為設施費用，Netafim 滴灌系統灌溉 1 分區(0.1 公頃)所需設置硬體成本約 40 萬元(含管路及過濾系統等)、養液系統另需約 40 萬元，需擴大分區應用才能降低單位成本。本研究發展智慧灌溉系統軟硬體成本包含灌溉及給肥之動力系統、雲端資料展示及控制之雲端系統、自動控制系統、灌溉管路等項目，動力系統包含灌溉及給肥泵浦、過濾系統及相應的電路配置及管路系統；雲端系統包含雲端主機、網通設備、資料展示及遠端控制平台相應之程式、資料庫及網頁、APP；自動控制系統包含可程式邏輯控制器(簡稱控制器)、通訊模組、土壤含水量計、流量計、水位計、電磁閥及相應的電路配置及管路系統；灌溉管路如滴灌管、灑水頭及相應的管路系統等。動力系統與灌溉管路為各農場依灌溉供水方式自行安裝，雲端系統已由本研究開發完成，各農場若欲使用智慧灌溉系統進行農場管理與控制，可比照本研究推廣之 5 座農場，依農場型式、場域規模、種植作物與既有設備等，選擇所需元件進行安裝。以 1 分地(0.1 公頃)溫室為單位，建議安裝土壤含水量計；溫室內、外溫溼度計；控制器(含 I/O 模組)；工業級 4G 路由器；工業型電源；儀器箱等設備各 1 組配合參數設定費，總價約 6.3 萬元。

臺灣由於自然環境限制，農戶規模在 1 公頃以下者占 81.8% (2015 年農林漁牧業普查報告)，屬於小農經營形態，生產成本偏高。為提升農民安裝意願，可配合農委會推廣管路灌溉作業要點，申請調節控制設施補助，由農委會補助系統部份建置費用。

五、結論

對於用水壓力偏高的臺灣而言，著眼於農業用水比例為最高的考量，經濟部水利署推動穩定供水方案中，針對農業節水藉由強化智慧灌溉解決人力不足及提高灌溉效率，預估可再節水 5-10%。智慧灌溉系統經技術整合開發，農民僅需選擇必要設備進行安裝，大幅降低費用門檻，本研究實際推廣應用至 6 處農場，顯示作物產量及品質不受影響下，具顯著省水效益，亦減輕農場經營人力負擔。農場主利用智慧灌溉系統及管理平台，可即時掌握田間資訊、遠端進行控制，協助農民省工節水，系統併行之溫室智慧環控，可因應溫濕度而自動開啟抽風降溫，克服作物之不適種期順利發育，技術可複製學習，成功經驗亦有助於農民投入溫網室設備。2022 年進一步被複製運用於桃園市政府水務局「桃園高低揚地區擴大與創新灌溉服務之示範推動計畫」龍潭區 0.1 公頃農地，及農田水利署臺中管理處「水旱田智慧灌溉示範及農業灌溉多元水資源規劃評估」臺中市外埔區 0.18 公頃水田、0.19 公頃旱田，以改善傳統耕作方法，提高農業灌溉用水效率。

導入感測技術、智能機器裝置、物聯網、巨量資料分析或人工智慧等跨領域前瞻技術，建構智慧農業已是全球農業未來發展趨勢，亦可望成為解決臺灣農業發展困境的良方。為導引臺灣農業邁向智慧化階段，政府機關、學術單位甚至民間企業等，皆積極投入研發，希望透過智慧化生產管理，突破小農單打獨鬥之困境，提升農業整體生產效率與量能；唯國內農業經營仍以小農為主，依據 2015 年農林漁牧普查統計，我國從事農牧業有可耕作地者平均每戶耕作地面積規模為 0.72 公頃，該如何於小規模農地引入智慧化是農民難以投入之疑問，且農戶往往對於安裝高額設備望而止步，故於推動智慧農業時，應加以考量農民需求，除由政府補助部份設備費用，建議可結合優秀小農成立聯盟，一起共同利用軟硬體進行生產控管、區域性操作，整體提高農作物生產品質，創造更高農業產值。

參考文獻

1. 行政院農業委員會農業試驗所，智慧農業 <https://www.intelligentagri.com.tw/>。
2. 社企流，2019，全台最大有機農場「永齡農場」以企業資源帶動地方經濟，創造人、產、地的生生不息。
3. 桃園市政府水務局，2019，桃園市智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫。
4. 桃園市政府水務局，2020，109 年桃園市智慧節水技術研發建置與有效雨量應用計畫。
5. 桃園市政府水務局，2021，桃園市智慧多元節水防災抗旱調適技術之評估委託專業服務。
6. 經濟部水利署，2021，109 年各標的用水統計年報。
7. 經濟部水利署南區水資源局，2017，精進灌溉節水管理技術-以嘉南灌區為例。