智慧溫室之栽培管理與實務應用

洪福良
鍠麟機械有限公司

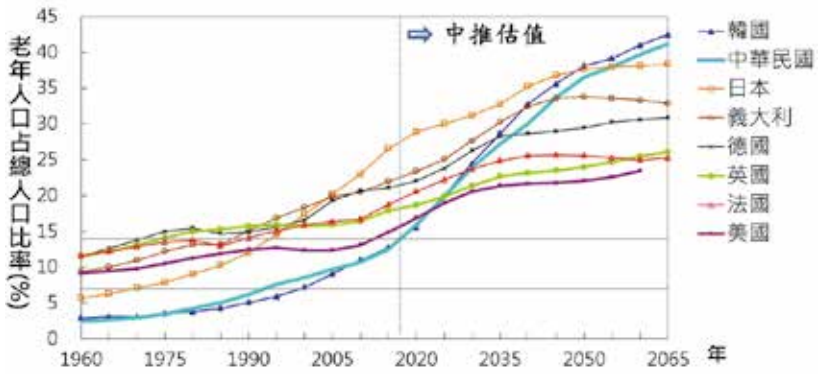
摘要

農業設施產業目前已開發出模組化之環控系統、物聯網傳輸模組及參數化智慧管理資訊共通平臺，促成溫網室升級，並減少人力需求，掌控作物最適栽培環境，依作物生理訊號，形成高產能作物生長微氣候，達到農作高收益，藉由建立智慧溫室設施各項控制設備對溫室內微氣象的新技術來降低栽培風險。並在全球化市場趨勢下，透過環控技術整合生產流程結合農業 4.0 以協助農友生產「高品質」、「安全」的農產品供應內需及外銷，以利發展標準化、高效化之智慧農業設施產業。

關鍵詞：大數據分析、智慧農業、栽種決策管理、農業氣象。

一、前言

近年來，台灣人口老化速度急遽攀升。根據國家發展委員會統計資料，台灣將於 2026 年進入超高齡社會。如圖 1 所示，相較於歐美及日韓，台灣在 2015 年起，老年人口占比大幅增加，推估 2065 年的老年人口占比將高過多數國家。此外，隨著台灣經濟型態轉變，依行政院主計總處統計資料，國內總就業人數自 67 年之 623 萬 1 千人增至 111 年 1,141 萬 8 千人，逐年攀升，增幅達 83.25%，其中服務業及工業部門就業人數均呈遞增趨勢，然農業部門就業人數卻持續減少，67 年尚有 155 萬 3 千人，至 111 年已降至 53 萬人，減幅高達 65.87%；若以就業年齡觀之 (詳表 1)，近 10 年 (102 至 111 年) 農業部門就業者年齡以 45 至 64 歲者占比最高，25 至 44 歲者次之，而 65 歲以上者占比雖位居第三，卻遠高逾全國就業者中 65 歲以上者之占比，顯示農業部門就業者高齡化情形相對其他業別嚴重。



資料來源：國家發展委員會「中華民國人口推估 (2018 至 2065 年) 」，國家發展委員會繪製

圖 1. 各國老年人口占比

表 1. 全國就業者及農林漁牧業就業者之年齡統計表 單位：千人；%

年	全國就業者各年齡人數及比率						農林漁牧業就業者各年齡人數及占比					
	人數	比率	15-24歲	25-44歲	45-64歲	65歲以上	人數	比率	15-24歲	25-44歲	45-64歲	65歲以上
102	10,967	100.00	7.13	54.82	36.05	2.00	544	100.00	2.02	24.26	56.43	17.28
103	11,079	100.00	6.98	54.02	36.85	2.14	548	100.00	1.82	23.36	57.30	17.52
104	11,198	100.00	7.10	53.49	37.17	2.24	555	100.00	1.99	23.47	57.22	17.33
105	11,267	100.00	7.22	52.97	37.52	2.29	557	100.00	2.51	24.96	55.48	17.06
106	11,352	100.00	7.32	52.59	37.70	2.39	557	100.00	2.51	24.42	55.66	17.41
107	11,434	100.00	7.52	52.24	37.78	2.45	561	100.00	2.67	22.99	56.15	18.18
108	11,500	100.00	7.58	52.05	37.84	2.52	559	100.00	3.39	23.17	55.97	17.47
109	11,504	100.00	7.39	51.83	37.99	2.79	548	100.00	2.92	23.36	54.74	18.98
110	11,447	100.00	7.10	51.38	38.47	3.06	542	100.00	2.58	23.62	53.69	20.11
111	11,418	100.00	6.75	50.80	39.12	3.32	530	100.00	2.46	22.87	53.31	21.36

資料來源：行政院主計總處歷年「人力資源調查統計年報」

台灣人口老化速度，在全球數一數二。根據國發會推估，2025 年台灣老年人口比率「超英趕美」，老年人口比率跨過 20% 門檻，正式踏入超高齡社會，成為老年國。對於農業人口的衝擊將更為嚴重。台灣務農者人口的老化，農村青年並無意願留守農業，可能導致務農人口的斷層，將來出現無人可耕的危機。農村榮景不再的理由很多，但主因是務農所得偏低，而務農所得偏低的原因除了國家採取低糧價政策外，農村產業機會低落更是主因。其次，農地不斷被徵收而面積大幅減少，農地不斷被改建房舍而顯零碎，可耕之地越來越少，將來要謀求糧食自給更形困難。

二、智慧農業栽種應用

現今農業管理面臨各種挑戰，除台灣氣候多變之外，農業經驗流失、農業人口老化以及人力短缺等問題都讓以小農為主體的台灣農業面臨永續發展的挑戰。因此，智慧農業科技的前瞻規劃已成為國內外政府主要推動之目標，如日本積極開發的應用智慧型農業 (Agriculture Informatics) 技術，以及德國以工業 4.0 為藍本發展 Farm4.0 先導計畫等，而國內亦積極推動智慧農業 4.0，希望透過智能生產與智慧化管理，突破小農單打獨鬥之困境，提升農業整體生產效率與量能，因此，智慧農業栽種應用發展已成為未來農業種植應用趨勢。

大數據與機器學習近年來已開始引進至農業應用領域上並證實對於栽種條件、產量以及良率等品質關鍵指標具正面效果，如機器學習方法對大規模作物產量預測的能力 (Alberto Gonzalez-Sanchez, 2014) 說明機器學習可精準預測作物產量，為實用且有效的解決方案；應用機器學習方法於作物種植條件之研究 (陳孟萱，2015) 利用決策樹分類模型來進行作物產量與質量的分析，進而歸納出最佳化的種植法則；應用機器學習於作物生長關鍵因素及產量與良率預測之研究 (徐芳玉，2017) 利用機器學習方法在種植的各個期間建立預測模型以進行分析，從而使傳統農業能進步到精準農業，讓種植更有效率。

智慧物聯網環控系統以溫室栽培與網室供果園栽種環境為主，由於氣候、供水以及種植面積為主要影響作物產量之因素，智慧環控系統將透過遙感技術 (RS)、全球定位系統 (GPS)、地理資訊系統 (GIS)、專家系統 (ES)、智慧化決策知識系統、大數據分析等技術，以巨量環境資料為基底發展雲端平台，結合短中長期氣象預測與作物生長預測模式，解決農耕人力不足與精準農業資料不全之問題，並應用 AI 技術於快速影像辨識、作物生長狀況辨知和管理決策系統，即時與農業生產過程結合並運用這些技術，快速進行土壤、作物生長監測及與當時的氣候作結合分析，進而讓系統做出決策建議。

(一) 智慧環控設施種地應用

由於農業人口的減少與老化現象，加上智慧科技的持續進步，全球農產業已陸續將智慧農業資訊感知產品應用於農作物栽種環境中，如 Hamrita T.K.和 Hoffac ker E.C.開發出土壤性質監測系統，運用 RFID 技術，實現了對土壤溫度、濕度等的即時監測，對後續植物的生長狀況提供研究的依據，將 RFID 技術應用於監測果樹的資訊，從而分析果樹的生長狀況 (呂等人，2018) ；中國農業大學在新疆建立的土壤墒情和氣象監測設備可以自動監測農作物生長的土壤墒情資訊，可以實現按照土壤墒情進行自動滴灌，從而達到節約農業用水的目的 (姚等人，2011)。

以整體國內智慧農業設備來說，目前一些農業資訊感知產品已在農業資訊化示範基地開始運用，但大部分產品還停留在測試階段，產品在穩定性、可靠性、低功耗等性能參數方面還和國外產品存在不少差距，離產業化推廣還有一定的距離。因此智慧環控系統於設施的環境與生長監測系統，針對栽種作物的各項因素採用不同的感測器收集如土壤溫度、濕度、降水量、空氣濕度和氣壓、光照強度、與風速風向等作物生長參數，為設施環境精準調控提供科學依據。智慧環控系統之感測器可以對目標監測區內的空氣溫濕度、土壤溫濕度、光照強度、PM 2.5 等農業環境資訊進行即時收集，為精準農業環境監測提供了有效的解決方案，有助於農民們更加有效地提高作物產量。在作物的生長過程中還可以利用包括光譜、多光譜圖像、冠層溫度、冠層光照及環境溫濕度等感測儀器了解其作物生理資訊進而有效控制溫室內的微環境狀態。

(二) 適地性天氣預報模組應用

自動化維運中尺度數值預報模式 (WRF，The Weather Research and Forecasting Model) 是由國家大氣研究中心 (NCAR) 與美國國家海洋與大氣管理局 (NOAA) 共同合作努力開發的成果，WRF 模型為一數值天氣預報 (NWP，Numerical weather prediction) 系統，可滿足大氣研究和操作預測需求。WRF 為數值天氣預報應用模型之一，可用來模擬和預測大氣。WRF 具有兩個動態 (計算) 內核、一個數據同化系統和一個允許平行計算和系統擴展性的軟體。該模型適用於從數公尺到數千公里範圍內的各種氣象應用。

未來智慧環控系統應採用最新高解析度的中尺度數值預報模式，模式的初始邊界資料採用來自 NCEP 全球預報模式資料，並且使用資料同化技術，加入台灣區域之探空觀測資料、地面測站資料以及鄰近海面溫度資料，而為取得較佳的預報表現與電腦運算效能，針對水平兩層巢狀網格解析度、垂直解析度、數值積分步距模式邊界條件等項目數值進行標準化制定，以利辨析出台灣地形複雜的環境差異智慧溫室栽培模式內設定的微物理與積雲參數法可引用簡芳菁 (2006) 研究 WRF 對於台灣梅雨最佳表現方案，以及使用簡芳菁 (2011) 在颱風預報精進技術研究及作業支援計畫中之研究結果為基礎，再

依季節與天氣系統特性進行微調測試，以獲取最佳準確度的預報模組。

溫室設施內智慧環控系統亦藉由導出中尺度數值預報模式產出之原始網格預報數據，產出各類天氣、預報與施作指標，並結合地理資訊系統匯出至數據庫與繪製成氣象圖資，展示於資訊平台介面上，該網頁具備動態查詢系統、簡訊發送與線上諮詢等功能，供農民們進行管理決策參考；此外，針對氣象預報上存在的誤差性與不確定性，將導入具備專業氣象預報證照人員協助轉化為一般民眾與農民們可理解之氣象數據呈現。

三、智慧物聯網智能環控系統於溫室設施應用

農業資訊感測主要技術領域包括農業生產環境資訊感知、農業生產物件個體識別資訊感知、農業空間資訊感知、動植物生理資訊感知等。其中農業生產環境資訊感知包括農業水體環境資訊感知、農作物生長土壤環境資訊感知、農業氣象資訊感知，農業資訊感知涵蓋農業生產前、生產中、生產後從環境資訊到動植物個體資訊獲取，採用農業資訊感知，將有效解決農業物聯網資訊獲取瓶頸，為農業智慧管理決策提供了可靠資料來源和技術支撐。

農業資訊感知通過作物生長土壤環境水分、電導度、氮、磷、鉀等養分信息獲取技術感知土壤環境資訊，並結合農業氣象資訊、作物生理資訊、遙感監測資訊等農業環境多尺度資訊，及時掌握瞭解作物生長環境各參數及作物自身生長變化規律，為指導農業精準灌溉、變數施肥、作物產量預估、乾旱疾病預警等提供資訊源及技術支撐。

物聯網智慧環控系統的研發應適用於溫室內之微氣象與土壤感測器模組與高效的栽培監測策略 (圖 2)，同時廣布建站於各大作物生產專區內，同步收集環境數據、生長定拍畫面與人工生長紀錄，再運用資料探勘分析技術，研究出專屬產地之品種、生理生長、產量、品質與環境變化的交互關係，建立經科學驗證適地適性的生產計畫與規範，並進一步利用專業氣象預報團隊之短、中、長期客製化預報數據，再導入機器學習技術，預測各產區作物未來生長模型、預估產期產量，並將上述專屬作物之智慧環控系統內的觀測數據、氣象預報數據與農民栽培模式中，預測作物生長之情形讓農民於手機 APP 可以「一查就有、一看就懂、一問就通」。

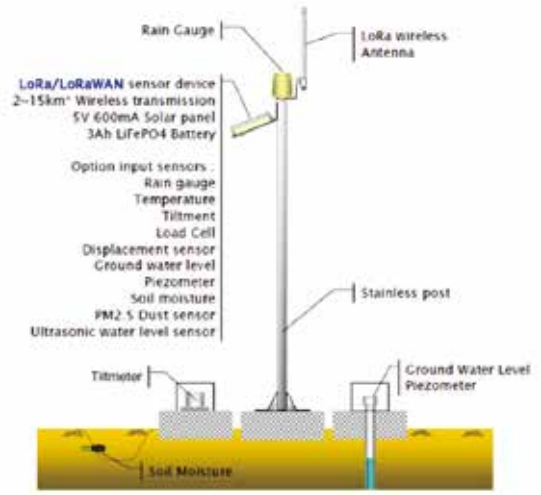


圖 2. 溫室內之物聯網土壤與環境感測裝置示意圖

(一) 氣象暨溫室設施內大數據收集與分析技術

將針對溫室外的氣象與溫室內環境感測資料等關鍵因子，透過作物與環境數據收集分析，進行溫室各種施作行為觀察與統計，作為栽培管理的決策依據，以利推估作物最佳採收期、進而穩定內外銷作物成熟度；並且研發分析運算模型、統整研擬工作流程框架，以利未來推動產業標準規範。

1. 資訊匯流界接系統技術開發

為了獲致作物產銷的良好數位化分工，將彙整產出數據資訊與軟體界接模組，可供產業生態圈之其他工作環節參考使用，包括電子商務、銷售與通路、甚至生產履歷等，亦可結合氣象預測，以利推動並儘早實現農業生產自動化與管理智慧化。

2. 溫室內環境數據作業管理技術開發

紀錄並觀察溫室內微環境與管理栽培作業，諸如整地、播種、中耕、管理、收穫，與溫室內環境數據資訊進行交相分析比對，進行數據清理及特徵工程 (characterization)、尋求迴歸演算模型建立 (regression analysis & modeling)、觀察其梯度 (gradient) 變化，再利用機器學習關鍵方法之一-決策樹，盤點探討灌溉、給肥與病蟲害防治等措施的交相影響程度，進而尋求優化效率與效益的有效途徑。

3. 環境數據作業管理技術開發

根據溫室環境、栽種時間與溫室管理資料，推估作物生長情況與採收時程；透過卷積神經網路 (Convolutional Nueral Network, CNN) 影像辨識技術的深度學習 (圖 3)，觀察特定作物生長情況，比對發育變異與環境影響，甚至透過不同病害別與蟲害特徵的相關照片，增進災害防治效益。

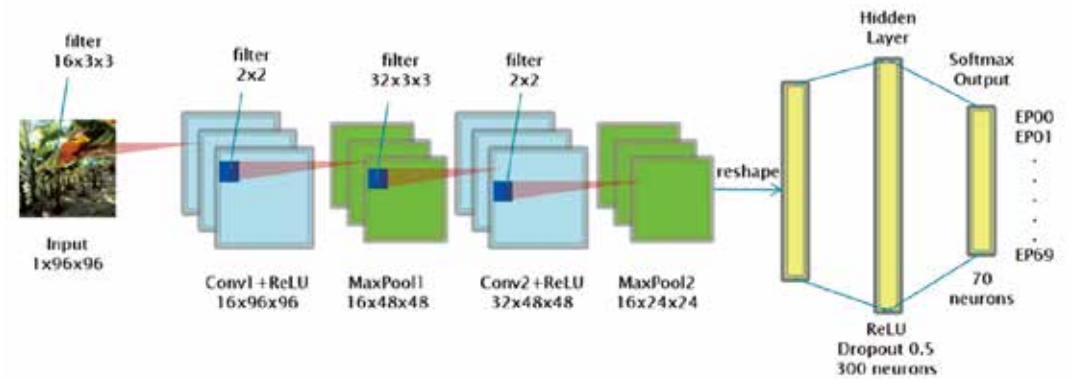


圖 3. 卷積神經網路 CNN 影像辨識運算流程示意圖

(二) 智慧環境監測設備建置

由於作物生長中，各類生長參數如溫度、濕度、降水量、空氣濕度和氣壓、光照強度與風速風向等要素對於作物之成長皆相當關鍵，因此需導入智慧感測裝置來監測每一生長參數狀態與數值，並結合物聯網概念，達到即時感測與通知，而應用在本國作物栽種上之各類感測器，根據資訊生成、傳輸、處理和應用的原則，可將作物栽種物聯網分成感知層、傳輸層、處理層和應用層。

農業氣象感測資訊內容是指與農業生產環境密切相關的空氣溫度、濕度、光照強度、風速風向、降雨量等農業氣象多參數資訊獲取。自然條件下，綠色植物進行光合作用製造有機物質必須有太陽輻射作為唯一能源的參與才能完成，不同波段的輻射對植物生命活動起著不同的作用，它們在為植物提供熱量、參與光化學反應及光形態的發生等方面，各起著重要作用。太陽輻射中對植物光合作用有效的光譜成分稱為光合有效輻射，光合有效輻射是植物生命活動、有機物質合成和產量形成的能量來源，它是形成生物量的基本能源，直接影響著植物的生長、發育、產量和產品品質。

溫濕度對植物的生產生長有著至關重要的影響，在相對濕度較小時，如土壤水分充足，則植物蒸騰較旺盛，植物生長較好。同時，濕度與作物病蟲害的發生也有密切關係，如小麥吸漿蟲喜濕度大的環境，棉蚜、紅蜘蛛則適宜在濕度較小的環境中生活。濕度大，易導致小麥銹病等多種病害流行。濕度小，容易引起白粉病等多種病害的流行。其戶外氣象站之感測器如圖 4 與圖 5 所示，囊括以下所列：

1. 光量感測器：利用光線的各種性質，以檢測物體是否存在或是表面狀態之變化等。光電感測器主要是由傳送光線的投光部位和接收光線的受光部位所組成。當投射的光線被檢測物體制遮蔽，或是反射回來時，到達受光部位的受光量就會產生變化。受光部位只要檢測到任何變化，就會將其轉換為電子訊號並加以輸出。一般所使用的光線以可視光 (主要為紅色，綠色、紅色則用來判別顏色) 和紅外線佔絕大部分。
2. 風向感測器：以風向箭頭的轉動探測、感受外界的風向信息，並將其傳遞給同軸碼盤，同時輸出對應風向相關數值的物理裝置。
3. 風速感測器：可連續監測上述地點的風速、風量 (風量=風速 x 橫截面積) 大小，能夠對所處供果園的風速風量進行即時顯示。
4. 溫濕度感測器：溫度是藉由電阻隨著溫度的變化狀況，對電阻進行量測從而量測溫度；濕度是依照感測器上之阻抗值或電容量的變化來轉換出濕度值。
5. 雨水感測器：可監測雨天與降雨量多寡，並轉成數定信號和 AO 輸出。

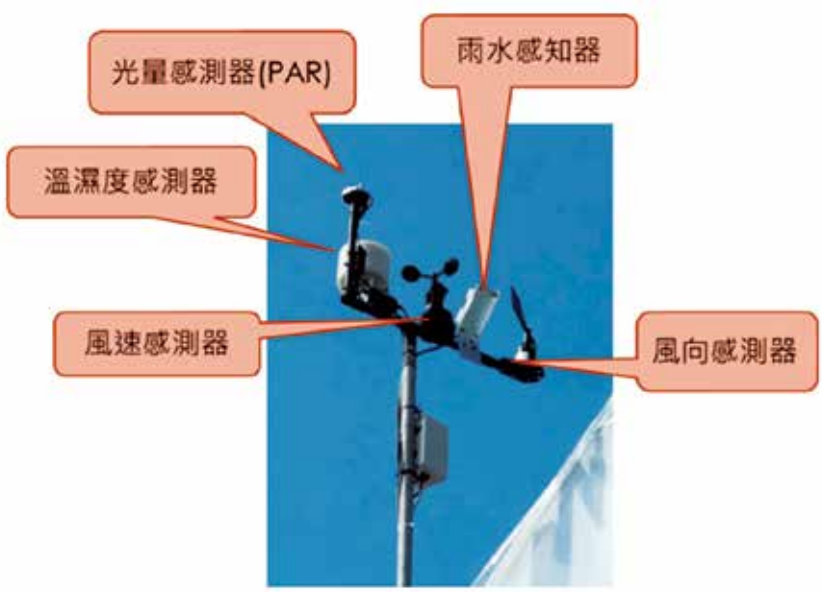


圖 4. 戶外氣象站建置



圖 5. 溫室內感測器建置

(三) 系統整合與雲端資料庫資料收集

智慧環控系統是透過 RS485 介面 PLC/HMI Master 模式連接，將 PLC/H-MI 資料傳送至雲端資料庫系統，可支援各種資料類型之 Modbus 暫存器 (Integer、Floating point)，不需實體 IP 地址及複雜的 Web-Server 架設即可完成遠端操控。智慧環控專家系統平台可於智慧型裝置，如手機、平板上遠端連回系統 SERVER，監測平均氣溫值、平均濕度值、溫度值、濕度、突波次數、故障異常等狀態。

過往農民們在種植上除了缺乏完整的適當供水與氣溫資訊外，也缺少資訊數位化資料庫之建置，僅能以過往的種植經驗來調整水分多寡以及種植時間，因此每當在遇到天災如颱風時便直接遭遇歉收虧損；此外，若僅了解未來之天氣狀態，卻無法即時正確解讀，種植的成效也往往不如預期。

智慧環控系統由前端可程式邏輯控制器 (PLC)、高精度氣象感測器與通訊網路模組組成，如圖 6 所示，首先感測器將設施內外所偵測到之環境資料送交可程式邏輯控制器進行編碼、暫存，再與控制策略條件-又稱經驗參數、作物資料庫做三方的大數據比對與計算，統整各項資料分析其優化參數之後，再對溫室環境控制設備進行實體控制，接著 PLC 依照所設定之時間間隔傳輸雲端通訊模組，運用 APP 軟體可顯示溫室內即時狀態、歷史資料回溯，在系統調整與控制方面則以圖控方式，逆向發送對應之 APP 命令，進行遠端雙向控制。人工智慧物聯網智能環控系統主要為新農業設施生產物聯網之構建 (感測層、網路層、雲端服務層及應用層等)，近一步了解農業設施內、外之生長環境、施肥、施藥、病蟲害等之網路監測與監控。並以作物生長模式之大數據分析，此為作物生理及行銷管理互聯網系統，如圖 7 所示。



圖 6. 智慧環控系統整合與雲端資料庫資料收集

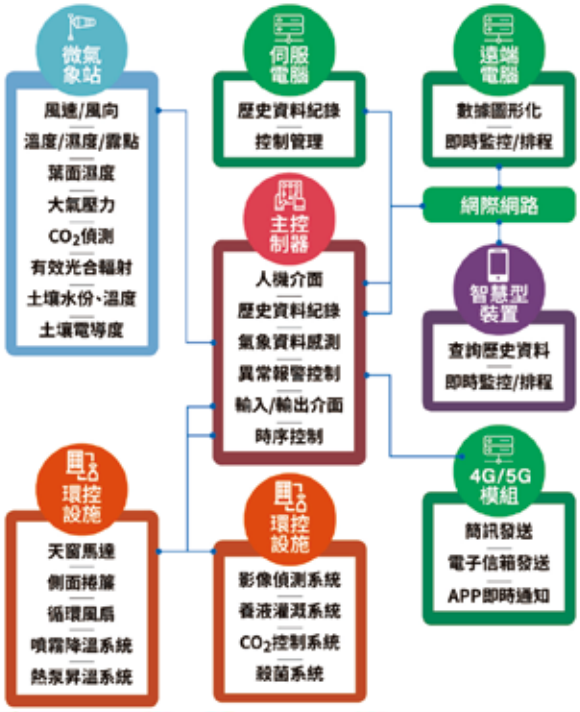


圖 7. 人工智慧物聯網智能環控系統架構

四、作物標準化水養液管理系統開發與建置

(一) 水養液管理系統

作物栽培過程中，灌溉、施肥、施藥等措施之時機皆以農民根據經驗法則主觀認定，但操作的最適時機及實際操作的使用者，都會影響判斷的準確性，不同肥料的施肥量過

多或過少，都會影響各元素的吸收，進而抑制作物生長。作物標準化水養液管理系統架構如圖 8 與圖 9 所示，原理採用適時流態監控調節技術、PLC 和恒壓變頻供水技術，可以利用時間或外部環境條件進行灌溉施肥程式設計，以達到自動調節灌溉施肥時間的目的。當使用外部條件灌溉施肥時，可以避免因為陰天或雨天灌溉量不均衡的情況。另也可根據灌溉系統要求訂製 3 個以上施肥通道，每個施肥通道具有單獨的流量計，可以依據作物需要隨時、方便、精確調節施肥量，以達到嚴格控制灌溉液 EC/PH 的要求，減少人為原因造成的危害。此外，系統內內建了回水裝置，能將施肥機內的回水利用程序控制，搭配精準的灌溉設定，能夠節約用水、降低肥料的消耗，提高經濟效益，達到「零排放」的循環。實際運作照片如圖 10 所示。

(二) 土壤感測器之運用

土壤感測資訊包括土壤水分、電導率、土壤氮、磷、鉀含量等影響作物健康生長的土壤多項參數資訊的獲取。土壤水分，又稱土壤濕度，是保持在土壤孔隙中的水分，主要來源是降水和灌溉水，此外還有近地面水氣的凝結、地下水位上升及土壤礦物質中的水分。

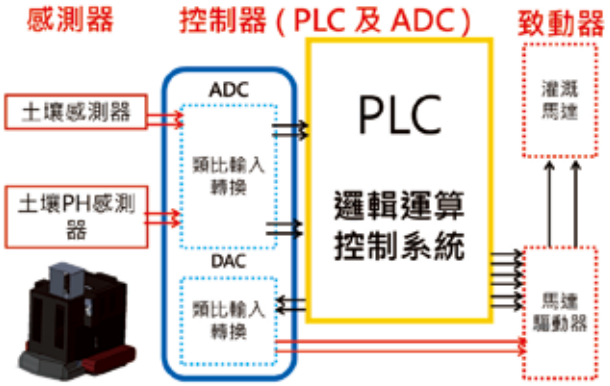


圖 8. 智慧水養液供應系統架構圖



圖 9. 作物標準化水養液管理系統作動流程圖



圖 10. 自動水養液灌溉系統

土壤含水量直接影響著作物生長及土質的性能。在農業、水利、氣象研究的許多方面，土壤水分含量是一個重要參數。農業生產中，土壤含水量的準確測定對於水資源的有效管理、灌溉措施、作物生長、旱地農業節水、產量預測以及化學物質監測等方面非常重要，也是精準農業極為關鍵的重要參數。土壤水分感測技術的研究與發展直接關係到精緻農業變數灌溉技術的優劣。常用土壤水分檢測技術包括烘乾法、介電法、電阻法、電容法、射線法、中子法、張力計法等。由於便於測量，介電法是目前農業物聯網中常用的土壤水分檢測方法。土壤電導度是指一種物質傳送 (傳導) 電流的能力，土壤電導度與土壤顆粒大小和結構有很強的相關性，同時土壤電導度與土壤有機物含量、黏土層深度、水分保持能力/水分洩漏能力有密切關係。常用的土壤電導率檢測技術包括傳統理化分析方法、電磁法測量、電極電導法測量、時域反射等方法，其中電磁法測量、電極電導法測量、時域反射等方法由於能直接將電導度轉化為作物訊號，特別適於農業物聯網土壤電導度資訊感測。

土壤養分測試的主要對象是氮 (N)、磷 (P) 和鉀 (K)，這三種元素是作物生長的必需營養元素。氮是植物體中許多重要化合物 (如蛋白質、氨基酸和葉綠素等) 的重要成分，磷是植物體內許多重要化合物 (如核酸核蛋白、磷脂、植素和腺三磷等) 的成分，鉀是許多植物新陳代謝過程所需酶的活化劑。

由於作物適合種植的土質上，未來可開發適用於各種作物所需之介質感測裝置，包含土壤濕度檢測器、降雨量測器、傾斜器、LoRa 無線感測器、LoRa 無線天線器、地下水位偵測器，可協助農民們完整感測最適的介質水含量並收集長期的水分含量數據，同時藉由無線通訊與智慧環控系統之決策平台連結，讓農民可以隨時隨地取得即時的栽種環境現況。土壤感測器實際運作照片如圖 11 所示。



圖 11. 土壤感測器之運用情形

五、智慧環控系統與數據分析平台建置

溫室栽培管理形成自動紀錄，諸如整地、播種、中耕、管理、收穫，與溫室微環境數據資訊進行交相分析比對，進行數據清理及特徵工程，再利用機器學習－決策樹，盤點探討灌溉、給肥與病蟲害防治施等措施；進而歸納彙整形成工作框架 (framework)，有效強化品管、穩定產量、協助溫室內工務實施與人才培育。由於無線通訊網路技術的蓬勃發展，隨處上網的情境早已實現，即便是偏鄉山野，也始終有多種網路延伸銜接的解決方案。針對農糧領域需求及其農業生態系發展，建構一個易於使用、易於管理、更具備延展彈性 (scalability) 的智慧農業戰情管理應用平台，並尋求農業相關社團組織合作，共同示範性推廣實施，以期未來永續有效維運。

目前，國內智慧環控業者所開發之智慧農業戰情管理應用平台與應用服務架構大多如圖 12 所示。其架構採用 MVC 與 OR-Mapping (Entity Framework) 為基礎，將使用者界面、背景作業 (Batch Job) 和商業邏輯分開。這樣的做法，可以降低系統與系統之間的耦合性，簡化開發與測試的過程，並提高系統的穩定性與可維護性。系統對外界面則採用單一的通訊協定，預計使用 Web Service (RESTFul + JSON)，同時各家公司將所開發之 Gateway 程式，其負責與其統系統之不同通訊協定間轉換，將複雜的資料交換工作，集中管理，可以降低系統複雜度，亦增加程式碼的重複使用率。相較於一般的 Gateway 程式，智慧農業環控系統所開發之 Gateway 程式，除了做基本的資料交換外，同時也實作 Long Running Process、Job Chain、Data Cache 等功能。

此外，目前亦發展溫室設施智慧環控系統如圖 13 所示，陸續應用在各育苗場，建構完整的組織培育室、育苗室技術，並打造自動化系統與智慧控制解決方案，預期可達到育苗場更高效率、高品質、高產能的育苗解決方案。同時也建構大數據資料庫平台，紀錄各種作物培育與供給相關數據，預期將有助於品質與產量提升、生產履歷溯源、資訊透明化以抑制供需失衡等問題。國內已將智慧農業技術、大數據收集與分析平台以及自動化系統與智慧控制技術等，搭配環境與作物生長監測設備與降溫設備及智慧水養液設備，建構智慧溫室設施監測分析平台，如圖 14 所示。

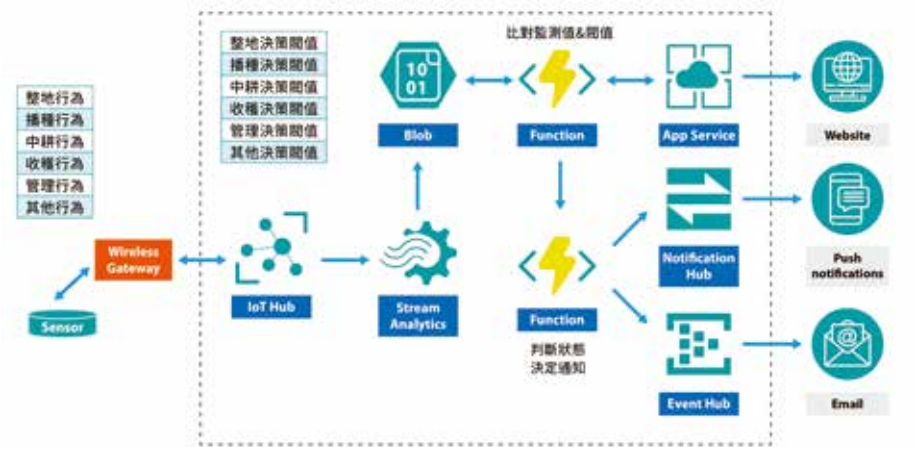


圖 12. 智慧環控系統管理運算與應用服務架構示意圖



圖 13. 溫室內智慧環控管理系統



圖 14. 智慧農業戰情管理應用平台

六、結論與未來展望

中華經濟研究院研究得知十年來台灣平均每戶農家所得總額占非農家所得總額的七成五至八成；每戶農家所得中，來自農業所得僅占兩成。由於農業所得低，影響年輕人務農意願，農村人口愈來愈老化，農業發展面臨極大危機。農業 AI 技術與大數據技術興起，智慧農業應用亦蓬勃發展。根據聯合國糧食及農業組織 (FAO) 的資料以及各大研究機構的調查，目前世界各國皆面臨著資源日益減少的問題，而預計這些問題很快將在未來幾年內造成重大的糧食危機。其主要原因是由於全球人口不斷增加，加上可耕地面積卻 F 逐漸減少。在這種需求增加而可耕面積減少的情況下，提高農業生產過程的生產力將具有極大價值效益。由於上述原因，智慧農業成了重要的解決方案，將有助於將提供更快捷，更有效的農業技術。另外，智慧農業也有助於減少重度勞動的工作，從而幫助農民將其能力引向其他技術提升等領域。隨著科技發展，物聯網、人工智慧與智慧農業的整合也將在全球農業市場中發揮重要作用。

有越來越多的企業與政府紛紛投入並支持智慧農業，希望通過創新和技術改進創造更大的市場效益，透過需求掌握以擴大智慧農業的規模以及應用，建立更多的產品與服務生態系。目前世界上智慧農業使用頻率和關注度比較高的國家和地區有美國、荷蘭、日本等，另外包含韓國、台灣、新加坡、北歐等一些糧食進口為主的國家也逐漸關注相關議題。

參考文獻

1. 呂智超、鄭立華、喬軍。2018。基於 ZigBee 與 RFID 的蘋果果園資訊採集系統：系統實現與驗證[J]. 農業科學, 2018, 8(11): 1328-1335。
2. 陳孟萱、2015。應用機器學習方法於作物種植條件之研究。國立成功大學會計學系研究所碩士論文。51 頁。
3. 簡芳菁、洪景山、張文錦、周仲島、林沛練、林得恩、劉素屏、繆璿如、陳致穎。2006。WRF 模式之敏感度測試 第二部份：定量降水預報校驗。大氣科學；第 34 卷期 3 期。
4. 簡芳菁。2011。卡玫基颱風 (2008) 於台灣地區伴隨豪雨之數值模擬研究。大氣科學；第 39 卷期 4 期。
5. 姚豔麗、傅瑋東、邢文淵、楊秋蓮。2011。基於 MODIS 資料的新疆土壤水分遙感應用研究[J]. 中國農業氣象, 2011, 32(增刊): 161-164。
6. Abdullah, M. Z., J. Mohamad-Saleh, A. S. Fathinul-Syahir, B. M. N. Mohd-Azemi. (2006). Discrimination and classification of fresh-cut starfruits (Averrhoa carambola L.) using automated machine vision system. Journal of Food Engineering, 76(4), 506-523.
7. Hamrita, T. K., E. C. Hoffacker. (2005). DEVELOPMENT OF A “SMART” WIRELESS SOIL MONITORING SENSOR PROTOTYPE USING RFID TECHNOLOGY. American Society of Agricultural Engineers ISSN 0883−8542
8. Ampatzidis, Y. G., S. G. Vougioukas. (2009). Field experiments for evaluating the incorporation of RFID and barcode registration and digital weighing technologies in manual fruit harvesting. Computers and Electronics in Agriculture 66(2):166–172
9. Bowman K. D. (2010). Longevity of Radiofrequency Identification Device Microchips in

Citrus Trees. HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science 45(3)
10. González Sánchez, A., J. Frausto Solís, W. Ojeda Bustamante. (2014). Predictive ability of machine learning methods for massive crop yield prediction. Spanish Journal of Agricultural Research, Vol 12, No 2
11. Prabhakar, M., Y. G. Prasad, M. N. Rao (2011). Remote Sensing of Biotic Stress in Crop Plants and Its Applications for Pest Management. Page 517-545 in: Venkateswarlu B., Shanker A., Shanker C., Maheswari M. (eds) Crop Stress and its Management: Perspectives and Strategies. Springer, Dordrecht.
12. Gorbe, E., A. Calatayud. (2012). Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: a review. Scientia Horticulturae, 138, 24-35.

Cultivation Practices and Applications of Smart Greenhouse Technology

Fu-Liang Hong

Huang Lin Machinery Co., Ltd., Taichung, Taiwan.

ABSTRACT

The agricultural sector has now incorporated the Modular Control System (MCS), Internet of Things (IoT), and Smart Management Information Systems (SMIS) into greenhouses and screen-houses, streamlining upgrades and reducing labor needs. These advancements allow for precise control of optimal crop cultivation conditions, enabling the creation of microclimates that boost high-yield crop growth and facilitate the monitoring of crop physiological signals. Such innovations not only support substantial profit returns and minimize cultivation risks but also establish advanced microclimate control technologies for intelligent greenhouse and screen-house systems. Aligning with global market trends, the integration of environmental control technologies under Agriculture 4.0 enables farmers to produce "high-quality" and "safe" agricultural products suitable for both domestic and international markets. This progress fosters the development of a standardized, highly efficient smart agriculture facilities industry.

Keywords: big data, smart agriculture, planting management, agriculture meteorology.