溫室智慧化到數位轉型所面臨的挑戰

呂椿棠
農業試驗所產業發展服務中心研究員兼主任

摘要

隨著科技的進步和農業需求的變化，農業設施溫室正朝向智慧化與數位轉型發展。荷蘭作為全球領先的溫室農業強國，其在溫室智慧化技術方面取得了顯著成果，並且持續探索如何將這些技術應用於數位轉型過程中。臺灣也在積極推動智慧農業，透過物聯網、大數據、人工智慧等技術實現農業生產的數位化和精準化。然而，無論是荷蘭還是臺灣，推動溫室數位轉型的過程中仍面臨多項挑戰。這些挑戰主要在技術整合、資金投入、數據標準化、政策支持、以及人才培養等方面。本文將對荷蘭溫室智慧化技術與臺灣智慧農業發展的現狀進行對比分析，探討兩國在數位轉型過程中的共同挑戰與應對策略，並提出未來可能的發展方向。

關鍵詞：溫室智慧化、數位轉型、人工智慧

一、前言

隨著全球人口不斷增長和資源短缺的問題日益加劇，傳統農業生產模式的可持續性面臨極大挑戰。尤其是農業生產過程中的高耗水、高能耗及對環境的影響，成為各國亟待解決的問題。因此，將現代資訊技術 (如物聯網、人工智慧、大數據等) 應用於農業生產中，成為提升生產效率、節約資源、減少環境影響的重要手段。智慧農業 (smart agriculture) 作為數位農業的一部分，正迅速改變著全球農業的生產模式，其中以農業設施溫室的智慧化為典型代表 (Lu et. al., 2019; Mekes, 2020) 。

荷蘭被認為是全球溫室農業的領先者，其溫室面積和高效能的作物產量在世界上名列前茅。荷蘭的智慧化溫室依靠先進的環控技術，如自動灌溉、溫濕度控制、LED 植物生長燈等設備，實現了作物生長條件的精確調控。這些技術能夠在保證作物高產的同時，最大限度地節省水資源和能源，並減少對化學資材的依賴 (Dijk, 2021)。此外，荷蘭的溫室農業已經實現了數據化管理和遠程監控，進一步提高了生產的精準度和可持續性。

臺灣作為亞洲地區的重要農業國家，近年來也積極推動智慧農業的發展。臺灣的智慧農業主要依賴物聯網、大數據、人工智慧等現代資訊技術，實現農業生產過程中的數字化和精細化管理。特別是在農業設施溫室方面，臺灣許多農場已經開始引入智能控制系統來提高作物的生長效率和品質 (Lu et. al., 2019; 呂椿棠 2020)。然而，與荷蘭相比，臺灣在智慧農業的發展上仍面臨不少挑戰，包括基礎設施不足、資金投入不足及技術創新方面的瓶頸。

二、材料與方法

本研究大略分為溫室環境資料蒐集和建模、環控建模與溫室業者訪查，主要資料收集方式包括以下幾個方面：

1. 蒐集種植大果番茄的溫室資料，溫室設備包括循環風扇、天窗、捲揚、遮陰網設備與作動器，感測器包括溫室內溫、濕度、pH 值、戶外氣象監測器等，相關感測資料透過資料搜集器與網路傳送到伺服器，共蒐集 2 個栽培季。
2. 溫室環控資料經過資料清洗，以取得符合大果番茄生長之合理資料，利用人工智慧 (artificial intelligence, AI) 的模型預測工具進行模式建模與測試，並開發應用介面提供溫室管理員使用，作為後續數位服務的工具。
3. 選擇參與農糧署「結構加強型溫網室設施」及「設置環境控制」的溫室作物栽培業者進行深度訪談，訪談內容包括業者的栽培技術現狀、設備內容，以進行潛力客群分群，做為未來推廣的潛力客群。

三、結果與討論

1. 環控管理模型建立

數位分身 (digital twin) 技術源自於工業製造領域，目前全世界都極力於農業生產的發展與應用，本研究利用大果番茄 2 個栽培作季的溫室環境監測、作動器控制及戶外氣象測站資料，對資料進行大數據分析與建立環控操作的數位分身模型。以人工智慧將管理者 (達人) 操作行為模式化，提供決策建議協助農場管理者進行精準管理。透過智慧化分析與決策協助溫室環控設備有效率管理，同時傳承栽培達人的經驗，對於新農民跨入農業的門檻可降低，也讓管理人員專注於作物生產管理與擴大經營面積，減輕溫室管理壓力與工作時間，降低農場管理人力負擔與支出。利用人工智慧的模型預測工具進行模式預測結果，比較數種模式的預測準確度以 LightGBM (light gradient boosting machine) 具有 80%以上的預測準確度，因此，後續的溫室環控設備管理建議作為，採用此模式進行系統控制與管理介面開發，如圖 1 (呂椿棠，2020)。溫室相關感測資料與作動設備控制，透過網路傳送伺服主機進行運算，再將作動器建議作為傳送到管理者行動載具，提供環境控制的決策參考。

2. 潛力客群分群

荷蘭的溫室農業在技術整合方面具有領先優勢，荷蘭的溫室系統通常由多種設備構成，這些設備包括自動灌溉系統、環境監控傳感器、LED 燈光系統等 (Mekes, 2020)。這些設備來自不同的供應商，雖然各設備都具備高度的專業性和先進性，但由於技術標準的不統一，導致不同設備間的數據兼容性較差，進而影響整體運行效率。

臺灣在這方面的挑戰更為顯著。由於智慧農業技術的發展相對較新，臺灣的農場普遍缺乏統一的技術平台，許多企業依賴不同的技術供應商，這使得系統間的數據互通性成為亟待解決的問題。此外，由於市場規模較小，臺灣的智慧農業產業鏈尚未完全成熟，這對技術整合造成了一定困難。

產業現況分析是了解問題與推展溫室智慧化最直接的方法，針對臺灣 200 多戶具備發展溫室智慧化的栽培者進行訪談，所得資料依據具備環境調控設備、環境感測元件、自動控制系統與水肥管理系統等 4 大項分別進行評分。此評分結果之分數分布約可分為 3 群，13-15 分、10-12 分及 9 分以下，具環控系統之設施農戶以評分 13-15 分為第一群，10-12 分為第二群，分析結果第一群約 15 戶農友，第二群約 43 戶農友。這些設施農戶依序將成為後續推展溫室智慧化的栽培首要對象，掌握目標對象與需求才能獲得推展的效益。

3. 數據標準化與數據管理

數據標準化與管理是溫室智慧化和數位轉型的核心問題之一，荷蘭的農業企業在大數據應用方面已經積累了一定經驗，但仍面臨著數據收集、儲存和處理過程中的標準化問題 (Dijk, 2021)。不同設備生成的數據格式不統一，且數據儲存與分析平台之間的相容性差，這使得大數據技術的應用難度加大。臺灣在這方面的問題則更為明顯，雖然臺灣積極推動數位化農業，但數據標準化問題依然存在，不同農場和設備間的數據對接和儲存方式不統一，使得農業數據的價值難以充分發揮，這也是現階段溫室智慧化要面臨的挑戰 (呂椿棠，2020)。



圖 1. 溫室環控決策之管理畫面

四、結論

溫室智慧化與數位轉型對於提升農業生產力、資源利用效率及環境可持續性具有重要意義。荷蘭作為全球智慧農業的先行者，雖然在技術應用和資源整合方面取得了顯著成就，但仍面臨著數據標準化、技術整合等挑戰。臺灣雖然在智慧農業的發展上處於起步階段，但具備較高的創新潛力，大家在推動溫室數位轉型過程中，都需要進一步加強政策支持、技術標準化與人才培養，以應對技術挑戰和資金不足的問題。

未來，應該加強政府與企業間的合作，促進技術的整合與創新，並制定更具針對性的政策來支持中小型農戶的轉型。隨著技術的不斷進步和政策的完善，溫室智慧化與數位轉型必將成為全球農業發展的重要趨勢。

參考文獻

1. 呂椿棠。2020。智慧溫室之數位分身創新應用。農政與農情。341，107-111
2. Lu C. T., Liu, T. S., Yang, C. K., & Tsay, J. R., (2019). The traceability system of agro-product is considered an approach that may lead to create product differ. J. Taiwan Agric. Res., 68(4), 261-273.
3. Mekes, J. J., (2020). Artificial intelligence in the greenhouse：When will human growers become obsolete?, HortiDaily.com, https://www.hortidaily.com/article /9231143/when-will-human-growers-become-obsolete/
4. Dijk, T. van, (2021). Data-driven growing：But that's what I've been doing, right? , https://www.hortidaily.com/article/9305655/data-driven-growing-but-that-s-what-i-ve-been-doing-right/

The Challenges Faced in the Smart Greenhouse to Digital Transformation

Chun-Tang Lu

Researcher and Director, Agricultural Development and Service Center, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC

ABSTRACT

With the advancement of technology and the changing needs of agriculture, greenhouse farming is transitioning towards smart and digital transformation. The Netherlands, as a global leader in greenhouse agriculture, has made significant progress in greenhouse smart technologies and continues to explore how these technologies can be applied in the digital transformation process. Taiwan is also actively promoting smart agriculture, utilizing technologies such as IoT, big data, and artificial intelligence to digitalize and optimize agricultural production. However, both the Netherlands and Taiwan face various challenges in advancing greenhouse digital transformation. These challenges mainly include technology integration, funding, data standardization, policy support, and talent development. This paper compares the status of smart greenhouse technology in the Netherlands and smart agriculture development in Taiwan, analyzing the common challenges both countries face in digital transformation and exploring possible strategies for future development.

Keyword: Greenhouse intelligence, Digital transformation, Artificial Intelligence