

荷蘭設施園藝淨零轉型研析 從創新治理到能源與資源循環管理

文圖／張佳偉、李濡夙、* 朱詠筑

一、前言

在氣候變遷、能源價格波動及農業勞動力結構改變的趨勢下，設施園藝產業面臨淨零減碳、智慧化與永續化的轉型壓力。環控溫室設施可提供作物穩定的生產環境，但能源消耗、設備投資、用水效率、營養液排放及病蟲害管理等問題，也成為各國推動農業淨零與產業升級時的重要課題。

荷蘭為全球設施園藝與花卉產業發展最成熟國家之一，長期在溫室能源管理、智慧環控、自動化生產、生物防治及產業鏈整合等面向，建立具體可落地的技術與制度模式，對臺灣推動農業淨零與智慧農業具有重要借鏡價值。筆者群 114 年 11 月 3 日至 7 日赴荷蘭參訪，以「設施園藝淨零轉型、智慧化生產、省工自動化及永續產業體系」為主軸，參訪研究機構、產業平台、設備業者、冷鏈流通體系及園藝零售通路等場域，了解荷蘭設施園藝與花卉產業的營運模式。本文聚焦「政策導向與創新治理」及「永續能源與資源循環」主題，探討荷蘭如何將淨零政策、研究示範、企業技術與產業教育，整合為可操作之設施園藝轉型模式。

二、以共創平台推動設施園藝創新治理

荷蘭設施園藝維持全球高度競爭力



▪ World Horti Center 示範平台

的關鍵，除設備與技術領先，更長期致力於官學研共同運作的生態系，其中 World Horti Center(簡稱 WHC) 是此模式最具代表性的示範平台，也是一個結合研究機構、企業、政府及教育體系的展場，核心任務為「連結、展示與加速創新」，整合 Vertify 研究中心、園藝設備與資材企業、地方政府及 MBO Westland 技術教育體系，成為高度集中的設施園藝知識與技術樞紐。WHC 將研究、展示、教育與產業應用放在同一場域中推動，中心內設有企業展示區、技術示範區、教育空間及獨立研究溫室隔間，讓新技術在接近實際生產條件下進行驗證，同時讓學生、研究人員、企業與國際訪團在同一場域互動。透過政府、研究機構與企業三方協作，積極推動能源轉型、碳循環與智慧控制整合。

該模式使設施園藝技術以「整體解決方案」的形式呈現。如環境感測、氣候控制、能源管理、作物生理、物流自動化及市場應用，皆可在同一系統中被討論與驗證。產業端藉此評估技術導入風險，教育端使學生直接接觸產業最新設備與實務問題，政策端則能將淨零、智慧農業及人才培育等目標具體場域化。

三、Greenhouse 2030：以系統思維實踐低碳溫室

Wageningen University&Research(簡稱 WUR) 是荷蘭農業科技與設施園藝研究的重要核心。位於 Bleiswijk 的溫室園藝中心執行 Greenhouse 2030 及 KAS2030 示範溫室計畫。研究核心是將溫室之能



■ KAS2030 示範溫室

源、水、二氧化碳、光環境、作物生長及病蟲害管理相互連動的整合系統。**Greenhouse 2030** 代表荷蘭對未來溫室的具體想像：低能源、低排放及高效率，在符合淨零排放目標的同時，維持生產穩定與經濟可行，並將研究成果逐步轉化為可落地的產業應用，落實國家層級的淨零政策。**WUR** 透過測試高隔熱覆蓋材料、節能幕、熱泵除濕、熱能回收與全電化溫室等技術組合，降低溫室對化石燃料的依賴。傳統溫室透過天窗通風排除濕氣，卻也造成熱能與二氧化碳流失。**WUR** 透過熱泵冷凝除濕與熱回收，使溫室在密閉條件下維持適當濕度，降低能源浪費並提升二氧化碳利用效率。荷蘭溫室能源轉型的

邏輯，不僅只是減少投入，而是重新設計能源與物質流動路徑。其次，荷蘭與歐盟法規對園藝產業有嚴格的水質檢測與排放管理要求，因此排液回收及消毒、鈉離子累積監測、養液穩定性及病原傳播風險控制，皆為設施園藝永續化的重要環節。**KAS2030** 示範溫室強調封閉式水循環與養液回收再利用，降低養液排放對環境造成之負擔。過去荷蘭的部分溫室，可利用工業副產品二氧化碳作為補充來源，但隨著歐洲碳封存與能源政策改變，傳統碳源供應逐漸面臨不確定性。因此 **WUR** 持續探索直接從空氣捕獲碳源、區域碳源再利用及二氧化碳與光環境、溫度管理之協同策略。未來溫室不只是控制溫度與濕度的

生產空間，更可能成為能源、碳流與水循環共同管理的節點。

四、光環境、水肥與能源管理的產業化應用

WUR 進行前瞻研究與系統驗證，Dutch Lighting Innovations (DLI) 與 Priva 則將研究概念轉化為可供產業導入的環控與管理工具。DLI 主力商品為調整型 LED 燈具，具有節能、壽命長、可調光譜、可調光量、較低輻射熱及易維護等特性，可依作物生長階段、外部自然光與電價條件，進行更精準的光量與光質管理。荷蘭設施照明技術已從「補足光量」提升為「光量、光質與時程」的整合控制，並與日累積光量 (Daily Light Integral, DLI)、溫度、二氧化碳及作物生理需求連動，此對臺灣設施花卉、育苗及高經濟作物具參考價值。臺灣自然光源雖較荷蘭充足，但在設施栽培、冬季短日、連續陰雨或高品質花卉生產情境下，精準補光與遮光控制仍具有應用潛力。Priva 為溫室環控代表性業者，以「氣候 - 水 - 能源」架構，整合溫室光環境管理、精準 LED 補光策略、微氣候整合、水分肥料與能源管理，及生產績效資料化，提供硬體設備與雲端資訊平台協助管理者進行決策，掌握設施農業朝向數據驅動與精準管理的發展趨勢。

兩家園藝設備業者皆指出，農業智慧

化不只是安裝感測器或自動控制器，而是將氣候、營養、能源、作物與生產成本放在同一套管理邏輯中分析。同時，感測設備及資料需持續校正、維護與解讀，才能轉化為穩定可信的數據與決策，提升產量與節能效益。

五、從高科技溫室到既有設施改良

臺灣位處亞熱帶，高溫、高濕、強降雨、颱風與病蟲害壓力皆與荷蘭不同，且多數設施農業仍以簡易塑膠布溫網室及簡易環控為主，與荷蘭高環控能力的玻璃溫室並不相同，因此荷蘭經驗對臺灣最重要的啟示，是學習其「系統化思考」與「模組化改善」方法。例如 Cympha 蘭花公司，其營運模式是在既有溫室基礎上，透過補光、除濕、自動化作業與零售端包裝需求整合，來維持公司競爭力。此種模式可讓臺灣許多既有設施做為借鏡，在面對升級需求時，可優先針對瓶頸進行改善，例如高溫期降溫、夜間除濕、養液回收、補光管理、物流省工或採後處理標準化。另 Plastika Kritis 展示降溫與選擇性光譜農用膜，直接對應臺灣高溫環境需求。此類材料可透過調整光與熱的傳遞特性，使既有溫室在不大幅更動結構下改善環境條件與能源效率。對臺灣而言，近紅外線反射膜、擴散光膜、防滴露膜或外掛式降溫



- Cympha 蘭花公司在既有設施基礎上優先模組化改善補光、除濕等問題

材料，可能比高成本主動式冷卻設備更容易作為第一階段導入選項。尤其在設施花卉、果菜育苗、葉菜與高經濟作物栽培場域，若能降低熱負荷而不影響光合作用有效輻射，將有助於減少高溫逆境、降低冷卻能源需求，改善作物品質。

六、結論與建議

荷蘭的設施園藝淨零轉型並非依靠單一節能設備或智慧系統完成，而是由政策目標、研究示範、產業技術、教育訓練與市場需求共同推動的系統工程。其透過 WHC 等共創平台整合產業、研究、教育與政府，透過 WUR Greenhouse 2030 等研究計畫，將能源、水資源、二氧化碳、光環境與作物生長納入系統邏輯，再由 DLI、Priva、Cympha 及 Plastika Kritis

等企業，將研究成果轉化為可供產業採用的整合性方案。

我國設施型態多元、規模差異大且環控導入程度不一，推動設施農業淨零與智慧化升級，建議建立具研究驗證、企業展示、教育訓練與農民參與功能的區域性共學示範平台，使新技術能在接近產業條件下測試與擴散。另可針對臺灣高溫多濕環境，發展適地化節能環控模組，如外掛式降溫材料、低能耗除濕、回收水處理、肥液精準管理及感測器維護制度。最後是強化設施農業資料化管理，讓環控數據、栽培紀錄、能源成本與作物生長反應能長期累積，作為技術投資與政策規劃依據。而荷蘭的經驗提醒我們，設施農業競爭力在於將能源、水、碳、光、作物營養與人力管理，整合為可持續運作的生產系統。