赴日本農研機構東北研究中心交流
灌溉支援系統介紹

農試所作物組 王維晨 侯雅玲

一、前言

日本的農業及食品產業技術綜合研究機構 (National Agriculture and Food Research Organization, NARO) 是日本的國家級農業研究單位，主要透過科學研究與技術創新，解決農業面臨的各種挑戰，如氣候變遷、自然災害增加、人口高齡化，及農業人力短缺等問題。

為了因應挑戰，NARO推動包括作物品種改良、耕作技術優化、植物保護、智慧農業應用，以及食品加工與安全技術等研究。同時，也積極發展農業生物技術與減少溫室氣體排放的方法。在NARO中，有多個依地區設立的研究單位，其中「東北農業研究中心」(Tohoku Agricultural Research Center, TARC) 以日本東北地區為主要對象，負責寒冷地區的農業研究。該地區因農業勞動力缺乏，為維持農業生產與收益，著重進行大規模田間試驗，包含稻田輪作系統、蔬菜穩定供應技術、能源作物之栽培與利用、以及農地整合與機械化生產等。面對氣候暖化與極端天氣的影響，TARC也進行水分管理與提升生產穩定性的研究。近年來乾旱頻繁，農業水資源之利用成為重要議題，本次與東北農業研究中心交流相關研究經驗分享，盼可作為國內水資源運用管理技術發展之參考。

作　　者：王維晨助理研究員
連絡電話：04-23317104

二、灌溉決策支援系統 (IDSSS)

本次參訪位於岩手縣盛岡的東北農業研究中心本部，並拜訪高橋智紀 (Tomoki Takahashi) 領域長及其研究團隊。高橋領域長長期致力於整合氣象、土壤、水分管理與作物生長等研究，特別是在作物蒸發散與灌溉管理方面，累積了豐富的研究成果。該團隊以大豆栽培為例，介紹其開發的「大豆灌溉決策支援系統 (irrigation decision support system for soybean, IDSSS)」，說明其理論基礎與田間應用方式，展示如何透過數據輔助農民進行更精準的灌溉管理。

（一）系統背景與設計理念

IDSSS主要是針對日本大豆種植環境開發。日本約有八成大豆採行兩年一輪的水旱輪作模式，即「第一年水田水稻－第二年旱田大豆」的輪作系統。因受限於冬季低溫，每年僅能穩定收成一個期作，與臺灣一年兩期作的制度不同。由於水田原有的犁底層不易排水，限制大豆根系發展，在降雨時容易淹水、乾旱時又因根系受限而加劇乾旱風

DOI：10.30248/TSQBTARI.202609_(147).0006

險，導致產量較不穩定。因此，IDSSS的核心目標，是透過監測土壤水分狀態與乾旱風險，協助農民判斷灌溉時機，降低乾旱等水分逆境對產量的影響。

（二）系統所需資料參數

IDSSS透過整合多元資料來源評估土壤水分狀況提升灌溉判斷的精準度及發出乾旱壓力警報（表一）。系統會同時納入氣象資料（包含經緯度定位、1公里網格氣象資料及預報資訊）、作物生長資訊（如萌芽期、行株距、生長模型與最大株高）、土壤條件（包括田間容水量、永久萎凋點、是否為火山灰土，以及現地耕犁深度），並結合實際灌溉紀錄（如灌溉時間與水量）與農民的經驗判斷（如可接受的乾旱程度），透過資料整合分析，推估作物水分狀態是否會面臨缺水危害並提供灌溉決策建議。

（三）核心計算原理

IDSSS透過每日水分平衡概念來評估土壤含水狀態(式1)：

$$S = P - ET - D \quad (1)$$

其中，S(soil water status)：土壤水分狀態 (mm)；P(precipitation)：降雨量(mm)；ET(evapotranspiration)：蒸發散量(mm)；D(deep percolation/seepage)：滲漏量 (mm)。

1. 降雨量 (P)：降雨資料主要來自日本氣象廳AMEDAS觀測網(約1,300站)，並結合APCPRA 技術通過氣象雷達資訊(weather radar)進行精確內插(precise interpolation)補正，雷達可以透過發射電磁波並分析反射波的時間和波長差，來推估雲層的位置、大小和狀態，並提高地形複雜區域的降水估算精度。

2. 蒸發散量(ET)：IDSSS系統在蒸發散量計算方面以聯合國糧農組織(FAO)所發表之FAO-56 (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56: Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements)為理論基礎，並將常用的作物蒸發散公式 (式2) 進一步納入水分逆境係數 (K_S) 使估算更貼近逆境情境，同時也透過播種時間與網格氣象資料計算積溫與作物生長模型，用以推估作物覆蓋率、動態調整作物係數 (K_C)與土壤蒸發係數 (K_e)，使模型更貼近實際田間狀況 (式3)。

$$ET_C = K_C \times ET_0 \quad (2)$$

$$ET = (K_s K_C + K_e) \cdot ET_0 \quad (3)$$

其中，ET_C (作物蒸發散量)：作物田區中由土壤蒸發(evaporation)與植物蒸散(transpiration)所共同造成的水分損失總量。ET_0 (參考蒸發散量)：未種植作物，於生長良好、高度均一、完整覆蓋

表一、IDSSS所需要輸入的參數資料

資料類別	所需參數	備註
氣象資料	緯度	透過經緯度與「1km農業氣象網格資料庫」串連
	經度	
作物資料	萌芽日期	
	行株距	
	最大株高	
土壤資料	耕犁深度	從日本土壤資料庫獲得相關資訊
	是否為火山灰土	
	田間容水量	
	永久萎凋點	
灌溉資料	灌溉日期	
	灌溉水量	
其他	需要進行灌溉之乾旱逆境臨界程度	由農民經驗決定

DOI：10.30248/TSQBTARI.202609_(147).0006

之草坪條件下，單位時間內由土壤蒸發與植物蒸散所損失的水量。與氣溫、日輻射、風速、空氣濕度相關。K_s (水分逆境係數)：反映土壤缺水對作物的影響 ，它由田間容水量(field capacity, FC)和永久萎凋點(wilting point, WP)之間的位置來決定，系統模式中採用的 FC參數設定為 -3.1 kpa，WP參數設定為-1.5 Mpa，並以農民經驗下，可接受的乾旱逆境程度百分比來換算 (例如設定70%乾旱下進行復灌)。K_C (作物係數)：表示特定作物在不同生長階段下，其實際用水需求與參考蒸發散量(ET_0)之間關係的係數。與地表覆蓋率相關、依作物種類與生育期調整，IDSSS系統使用FAO所建議的大豆作物係數。K_e (土壤蒸發係數)：與地表覆蓋率相關、反映裸地的蒸發量。

3.滲漏量 (D)：土壤含水量大於田間飽和容水量的部分為滲漏量。由系統連結之日本土壤清單(Japan Soil Inventory)資料庫，獲得FC和WP的網格數據，土壤網格尺寸為 500m×500m。但因為日本土壤清單資料庫是以水田土壤條件所測量資料，數據需先建立水田到旱田的轉換估算函數(pedotransfer function)，納入土壤顏色和土壤質地等額外參數使估算的FC和 WP準確率可以提高。

（四）灌溉判斷指標

IDSSS主要透過兩個指標來判斷是否需要灌溉，分別是乾旱壓力指數(draught stress index, DSI)以及可利用水貯量(available water storage, AWS)，並用圖示呈現作物水分受限程度的時序變化，作為灌溉時機之判斷依據，可視化的介面也提高農民使用工具的接受度。

1. 乾旱壓力指數(drought stress index, DSI, %) ，DSI反映了土壤體積含水量(volumetric soil water content, θ)距離WP有多近，指數的範圍從 0% 到 100%。當田間土壤含水量達到或接近FC，乾旱壓力為 0%。當田間土壤含水量下降到WP時，乾旱壓力達到 100%。在DSI為100%時，作物的蒸散作用會完全停止。農民可以自行設定一個乾旱壓力閾值，當DSI 超過此閾值時，系統就會建議或警示使用者應進行灌溉。

2.可利用水貯量(available water storage, AWS, mm) ，$AWS = (\theta - \theta_{WP}) \cdot Zr$ (4)其中，θ ：土壤體積含水量 (%)。θ_{WP}：永久萎凋點土壤體積含水量 (%)。Zr：有效土層深度(Effective Layer)(mm)，等同於根系深度。

有效土層深度指的是作物根系可以有效利用水分的深度範圍。IDSSS透過328個樣點的田間調查，決定有效土層深度，調查結果發現：在一般土壤中，有效土層深度大致等於耕犁深度(plow depth)，若是火山灰土(Andisol)則以耕犁深度再加 5 公分的參數設定下，模式運算出的表現最佳。

（五）應用效益與推廣情形

研究顯示，在2016-2020年一般氣候條件下，導入IDSSS可使大豆產量平均提升約10%；而在2023年嚴重乾旱期間，增產效果更為顯著，最高可提升約100%。此外，系統也可透過

－農業試驗所技術服務季刊．2026年9月．147期－
DOI：10.30248/TSQBTARI.202609_(147).0006

回溯分析歷史資料，掌握容易發生乾旱的時期規律，協助農民針對高風險時段提前制定因應策略；例如於即將缺水時，可提早關閉排水口，以提高土壤含水狀態。目前IDSSS已透過政府與產業合作推廣，並開發成多種應用平台，如：AgriLook(山形縣、石川縣)、SAKUMO®(日本全國)以及Agri Recommend(日本全國手機版本)，讓農民在實際耕作中應用灌溉決策技術。

三、結語與展望

綜合本次參訪經驗，日本在灌溉管理上的思維，與臺灣目前多以「理想供水條件」推估作物需水量的模式有所不同。日本更著重於從「乾旱風險」出發，透過評估水分逆境來降低作物減產與災損風險，並據此規劃灌溉時機與用水量。此種以逆境情境為核心的概念，結合氣象、土壤與作物生育資料庫，以及農民實務經驗，發展出如IDSSS灌溉決策支援系統，並透過可視化介面呈現土壤水分變化與乾旱風險，使農民能更直觀掌握灌溉時機，進一步提升實際應用的可行性與接受度。IDSSS的建立仰賴長達數十年且龐大的基礎研究與資料整合，並非短期即可完成的成果。其內容包含全國1km氣象網格資料庫、日本全國土壤資料庫、作物積溫生長模型建立、328個農田樣點之根系深度資料、278個樣點為期3年的乾旱與產量關係調查，以及4年的實際應用驗證，並持續依使用者回饋進行系統優化。即使日本已具備完善的氣象觀測系統與高效能運算能力，農民仍反映降雨預報準確度尚有改善空間，顯示相關技術仍需長期投入與持續修正。

整體而言，日本經驗提供了不同於臺灣傳統灌溉規劃的思考方向。臺灣目前已具備完善的土壤與氣象資料基礎，未來建議我國可整合土壤歷史調查、氣象觀測與預報、作物生育栽培與水分需求資料，除了考量理想供水外，亦可導入水分逆境參數進行灌溉優化，並結合農民經驗發展符合農民需求、可視化且易於操作的決策工具。結合臺灣在地環境與制度條件，逐步建立專屬於臺灣的灌溉支援系統，提升灌溉管理對極端氣候風險的調適能力。此外，日本許多水田轉作地區已建置可控制式暗渠排水系統，並配合完善之灌排設施與區塊化管理，可依降雨與土壤水分狀況調整暗渠開閉，以進行地下水位管理。降雨過多時可排水降低濕害風險，乾旱時則可保留土壤水分，減緩作物水分逆境，尤其對水田轉作大豆等作物具有一定優勢。相較之下，臺灣農田多以明渠灌排為主，具有易於觀察、維護及成本較低等優點，但於部分高降雨或乾旱地區，仍可能面臨土壤水分過多或不足問題。未來可依不同作物、區域環境與土壤條件，評估於特定地區導入地下排水與地下水位管理之可行性，並結合現有灌溉設施，逐步提升農田對極端水分環境與氣候變遷之調適韌性。

DOI：10.30248/TSQBTARI.202609_(147).0006