友善農業之用水及節水

蔡耀賢[1*]、向為民[2]

[1] 農委會農業試驗所農化組助理研究員。台灣 台中市。

[2] 農委會農業試驗所農化組研究員(退休)。台灣 台中市

摘要

友善農業對灌溉用水傾向於維持農地的永續利用和保護自然環境生態，節水的策略和方法與慣行農業相同，惟須遵守不使用合成化學物質之有機規範。台灣灌溉用水應該依據氣候變遷下對未來情境推估的狀況做適當的處置，以區域雨水資源的豐沛與否重新考慮調整耕作制度及主要的節水策略。節水灌溉系統的開發以及作物水分生理與需水量的研究與相關資料的收集、灌溉調度 (irrigation scheduling) 的建立等都需要投注資源持續進行。農地的土壤管理以增加土壤水分儲蓄能力為主要的節水策略，如雨水 (綠水) 的儲蓄與利用、適合區域耕作制度的保育性農業 (conservation agriculture)、建立改善耕地的保水能力和改善根系及生根環境的技術。

節水策略與技術的推廣，需要更可靠的資訊系統和專家指導，建立一個友善、及時的資訊系統，幫助農友決定每天的灌溉量、預估下一次灌溉的時間與灌溉量、計算灌溉效率、評估經濟效益，並針對農民進行培訓和教育，藉以改善現行灌溉管理之缺失。

自然環境條件日益改變，水資源的使用必須調適。依照流域降雨多寡以及區域乾濕季節的變化重新分配可用的資源，惟降雨明顯減少的地區在乾旱季節仍需維持農作生長與自然保育，以避免農地土壤劣化。農業用水必須減少其對水庫水以及地下水的依賴。水權轉移的過程中，需要有一定的機制以維護水權所有人的權利以及提供適當的農業用水與環境用水，以避免影響自然環境與農業生態。

關鍵詞： 友善農業、灌溉、節水。

前言

氣候變化影響糧食生產，隨著全球極端天氣事件發生越來越頻繁，在糧食生產方面越顯得困難 (Brown & Funk 2008; Hatfield & Prueger 2011; Dono *et al.*, 2013)。台灣百年以來平均溫度長期變化趨勢顯示暖化現象十分明顯，降雨日數則普遍呈現減少的趨勢，雨日的減少主要為小雨日數 (日雨量 < 1.0 mm) 大幅度減少所造成 (Lu *et al.*, 2012)。依未來情境推估，臺灣乾濕季節的差異越趨明顯；在 IPCC 所設定暖化最嚴重的情境 (RCP8.5) 下，臺灣濕季的降雨將可能增加，南部地區較為明顯，而乾季的降雨將可能減少，中部地區較為明顯 (國家災害防救科技中心等 2018)。溫度的升高與降雨的變化，兩者對作物灌溉需水皆有影響。溫度升高增加作物的蒸散需水，可能因為二氧化碳濃度升高 (葉片氣孔導度降低) 而

*論文聯繫人
e-mail: hhwwmm1o22@gmail.com

被抵消；然而若因降雨量減少及其分布的改變，導致土壤儲水之降低，則將會增加淨灌溉水量的需求 (Stöckle *et al.*, 2011)。

水資源因其用途廣泛的特性而被視為高度競爭的資源，農業灌溉約佔全球淡水取水量的 70%，經常被視為是淡水使用價值最低的一種。在缺水的地方，已將諸如滴水灌溉和管路輸送系統之類的先進灌溉技術推廣為“節水技術” (water conservation technologies, WCT)，以減少農業用水量，從而將水釋放給其他用途（例如環境）。Pérez-Blanco *et al.* (2020) 在 230 多個理論和經驗論文的廣泛回顧的基礎上，認為 WCT 應被視為在缺水地區穩定和增加農業水生產效率和農民收入的手段；如果區域內最終的目的是節約用水，則必須採取節約用水政策，在各種用途 (例如從灌溉到環境) 之間重新分配可用的資源。

台灣農業灌溉用水除引自天然河川外，亦有引用回歸水及直接利用天然降雨。總灌溉用水量 113 億噸中，74 億噸 (66%) 來自較不穩定之河川及回歸水 (區域排水，約 7 億噸)；39 億噸水源 (34%) 來自較穩定之水庫壩堰及地下水 (農委會 2015)。國內推行的有機友善農業對於灌溉則傾向永續利用和環境保護，相關法規要求「生產地應施行良好之土壤管理及水土保持措施，維護水土資源、生態環境與生物多樣性，確保資源之永續利用。」，實際上有機或一般的農法在灌溉操作上並無差異，有機農法強調避免滲漏污染以及提升水的生產力 (water productivity)。

節水灌溉技術

現代化的灌溉著重在灌溉系統與灌溉管理兩方面著手改進；前者，研發新的節水設備與系統，例如進行微噴灌、滴灌、地表下滴灌、低壓低流速滴灌等，改善灌溉水在田間的分布以提升灌溉效率。後者，針對作物品種的水分生理與需水量進行試驗研究，以期充分明白水分缺乏發生在作物不同生長階段，對產量降低的影響程度；進而選擇在缺水敏感階段以外的生長，允許某種程度的水分缺乏，讓水分用在最關鍵期，藉以提升用水效率 (Hsiang 2018)。

水資源研究常將不同來源的水以顏色標示，例如綠、藍、灰、黑等；農業用水多為藍水或綠水。綠水為土壤儲蓄的雨水，藍水則為地下水及地面水。歐洲創新農業聯盟水與農業焦點小組 (EIP-AGRI Focus Group on Water and Agriculture)，為因應水資源短缺討論農場層次的調適策略分為三大類，其中“practices to increase water availability for crops”就是利用保育性農業 (conservation agriculture)、敷蓋或覆蓋減少土壤水的損失或增加土壤儲存水的能力來增加水的可用性 (EIP-AGRI 2016)；即為提升綠水有效利用策略。其餘兩類的調適策略則分別為節水“the efficient use of water”、建立新的作物制度以及增加水源開發以提升農場的韌性“farm resilience under water scarcity” (EIP-AGRI 2016)。全球農業每年藍水消耗量 1,200–1,800 $km^3 year^{-1}$，而綠水消費量約為 5,000 $km^3 year^{-1}$ 是藍水的三倍，近年來綠水在提高農業生產力方面越來越受到重視 (Shiklomanov & Rodda 2003; Vo¨ro¨smarty *et al.*, 2005)。

水足跡 (water footprint) 被定義為生產上所需的用水量，在農業方面主要由綠水、藍水及灰水 (稀釋農業污染所需的用水量)，可用於評估不同種植模式及灌溉技術下的耗水量並可從中分析節水策略。導入土壤的覆蓋及滴灌技術被證實能有效的減少水資源的浪費 (Hoekstra *et al.*, 2011; Nouri *et al.*, 2019)。採用節水灌溉技術可改善水分利用效率除了具有經濟方面的優勢，同時還可以並降低對生態的負擔如抽取地下水及污染物的產生等 (Faurès & Svendsen 2007)，但相較於傳統灌溉採用節水灌溉技術需較高成本及技術門檻，推廣節水灌溉技術必須要相對應專業知識以降低維運成本 (Alam 2015)。

綠水對於作物生產之影響

綠水為土壤儲蓄的雨水，Edoardo *et al.* (2020) 為了解無灌溉 (rainfed) 農業的狀況下綠水對於四種主要糧食作物水稻、玉米、大豆及小麥之影響，利用模式分析進行相關研究，研究結果顯示綠水的減少對於玉米及小麥產量有顯著影響，在乾旱及半乾旱區玉米產量減少了 23–39%，而小麥產量減少了 12–15%；濕潤區小麥對於綠水的減少最不敏感，但過多的綠水會造成小麥產量減少 7%、大豆減產 6–12%。濕潤區水稻產量對於綠水的變化影響約 2%，但在乾旱及半乾旱地區綠水不足會導致產量減少 5–23%。

增加綠水可增加作物產量以改善糧食安全，乾旱區有較低的濕度及較高蒸發散潛勢對綠水管理更需要重視，應視環境條件採取相對應的農業管理策略，許多研究都指出覆蓋作物可提高土壤保水能力及作物有效水含量。Basche *et al.* (2016) 為了解覆蓋作物對土壤水分含量之影響，在玉米及大豆輪作系統加入黑麥草作為覆蓋作物，結果顯示在整個栽培季期間覆蓋作物處理下的土壤含水量均高於無覆蓋處理；田間容水量在 0–15 cm 和 15–30 cm 土層增加了 10.9%和 10.0%，有效水分含量於 0–15 cm 和 15–30 cm 土層增加了 21.1%和 21.9%。土壤物理性質的改善可以保留更多的土壤水增加綠水的供應量，未來在面臨缺水危機下可穩定農業生產力。

以水足跡評估水資源管理策略

Muhammad *et al.* (2020) 利用 SPARE:WATER 模型計算水足跡 (water footprint ; WT) 以評估節水方案以確保水資源的永續利用，分析區域位於巴基斯坦旁遮普省和信德省的灌溉區，覆蓋境內印度河盆地約 1800 萬公頃。結果顯示：棉花因有較高灌溉需水量但產量偏低，造成其水足跡值最高為 20690m^3t^{-1}，水稻、小米、芝麻及高粱的水足跡相對高，分別為 7001 m^3t^{-1}、10,240 m^3t^{-1}、17,423 m^3t^{-1} 和 8997 m^3t^{-1}，較低水足跡作物為玉米 2969 m^3t^{-1}、飼料作物 875 m^3t^{-1}、秋葵 1766 m^3t^{-1}、瓜類作物 1515 m^3t^{-1}、洋蔥 862 m^3t^{-1} 及番茄 1184 m^3t^{-1} 等。為了達到水資源最佳化，利用調整作物耕作制度來評估區域作物水足跡，該研究總共建立了 37 種耕作制度來進行評估不同方案下區域作物水足跡。模擬結果顯示在最佳耕作模式下，區域作物水足跡最多可減少 35%，進一步透過耕作模式最佳化和改進灌溉技術（即噴灌和滴灌）的，組合最高可減少 50%。

節水灌溉技術之推廣

Biao等 (2019) 將節水灌溉技術分類為工程節水技術（EWST）、農業節水技術（AWST），生物及化學節水技術（BCWST）和管理節水技術（MWST）等，在實地調查發現260名農民在面臨乾旱逆境下有意願採用節水灌溉技術者佔53.1%，其中79.2%的人採用了工程節水技術，52.3%的人採用了農業節水技術，而管理節水技術以及生物及化學節水技術所需專業知識較高，造成許多農民難以掌握，導致這兩種技術的採用率相對較低，分別佔31.2%和36.9%。農民偏好採用高度成熟的技術，因其具有容易操作、成本低，效果顯著等優勢。調查的結果同時顯示戶長特性、家庭特性、農場特性、生產條件、技術觀念及環境因素等均，會影響採用節水灌溉技術的可能性。

Levidow *et al.* (2014) 則指出推廣服務可以提供必要的知識，幫助農民適應和實施可行的解決方案，進而從灌溉技術中獲得更多收益。然而在歐洲的案例顯示節水技術與設備上的投資導致用水費用增加，但是卻沒有獲得節水技術應有的全部潛在利益。農民通常缺乏方法和動力來了解農作物的用水、實際灌溉應用、對不同水管理操作的產量反應，導致用水效率提升困難。農民是尋求純收益的最大化，然而卻缺乏知識預測特定灌溉方式的效果或在事後評估其灌溉效率。

文章指出農民需要一個簡單、及時、友善、免費的資訊系統，有助於決定每天的灌溉量、計算灌溉效率、評估經濟效益，尤其是預估下一次灌溉的時間與灌溉量。因此，需要更可靠的資訊系統和有能力的專家來指導農民更有效地利用水。這顯示了針對農民進行培訓和教育的廣泛需求，可以改善現行的灌溉管理之缺失。

討論

台灣農業灌溉用水 66%來自河川及回歸水 (區域排水)，可以延緩雨水流入大海的時間，涵養地下水源；農業用水也應該考慮區域雨水資源的豐沛與否。依未來情境推估，臺灣乾濕季節的差異越趨明顯，濕季降雨將可能增加而乾季降雨將可能減少；春旱以及夏澇災害頻率的增加可能難以避免。

展望

自然環境條件的改變之下，水資源的使用必須調適；依照流域降雨多寡以及區域乾濕季節的變化重新分配可用的資源，惟降雨明顯減少的地區在乾旱季節仍需維持農作生長與自然保育，以避免農地土壤劣化。春旱頻率增加的情境下耕作制度必須調整，農業用水必須減少其對水庫水以及地下水的依賴；水權轉移的過程中，需要有一定的機制以維護水權所有人的權利以及提供適當的農業用水與環境用水以避免影響自然環境與農業生態。

節水灌溉可以提高用水效率，增加產值，同時還可以降低滲漏減輕環境的負擔。農友在灌溉操作上，對灌溉時間點以及灌溉量的掌控仍有很大的改善空間，並未能發揮灌溉設施應有的利益。推廣服務可以提供必要的知識，幫助農民適應和實施可行的解決方案，從而從灌溉技術中獲得更多收益。

引用文獻

Alam, K. 2015. Farmers' adaptation to water scarcity in drought-prone environments: a case study of Rajshahi District, Bangladesh. Agric. Water Manag. 148, 196–206.

Basche A. D., Kaspar T. C., Archontoulis S. V., Jaynes D. B., Sauer T. J., Parkin T. B. and Miguez F. E. 2016. Soil water improvements with the long-term use of a winter rye cover crop Agric. Water. Manag. 172, 40-50.

Biao, Z., F. Zetian, W. Jieqiong, and Z. Lingxian. 2019. Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China. Agricultural Water Management. 349–357.

Council of Agriculture, Executive Yuan. 2015. Irrigation White Book

Dono, G., R. Cortignani, L. Doro, L. Giraldo, L. Ledda, M. Pasqui, and P. P. Roggero. 2013. Anintegrated assessment of the impacts of changing climate variability on agricultural productivity and profitability in an irrigated Mediterranean catchment. Water Resour. Manag. 27, 3607–3622.

Edoardo B., F. Hassaan, H. Matias, Z. Esha, K. Matti, B. Casey, and J. Anders. 2020. Impact of green water anomalies on global rainfed crop yields. 15, 124030.

EIP-AGRI. 2016. Water & agriculture: adaptive strategies at farm level, Final Report

Fraiture, C., and C. Perry. 2007. Why is agricultural water demand unresponsive at low price ranges? Molle, & Chap. 94–107.

Hatfield, J. L., and J. H. Prueger. 2011. Agroecology: Implications for Plant Response to Climate. Crop Adaptation to Climate Change. 27–43.

Hsiang W. M. 2018. Crop water management. Sustainable agriculture.

Levidow, L., D. Zaccaria, R. Maia, E. Vivas, M. Todorovic, A. Scardigno. 2014. Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. Agricultural Water Management.146, P. 84-94.

Lu M., Y. Zhuo, S. Li, Q. Li, and Y. Lin. 2012. Taiwan climate change. Date from 1911–2009. Atmospheric Science.

Muhammad, M., A. Zahid, and L. Breuer. 2020. Water Resources Management Strategies for Irrigated Agriculture in the Indus Basin of Pakistan. 2020. Water. 12, 1429

National Science & Technology Center for Disaster Reduction, Research Center for Environmental Changes, Ministry of Science and Technology. 2018. Future and past of weather in Taiwan.

Nouri, H., B. Stokvis, A. Galindo, M. Blatchford, and A. Y. Hoekstra. 2019. Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: The effect of soil mulching and drip irrigation. Sci. Environ. 653,241–252.

Pérez-Blanco, C. D., A. Hrast-Essenfelder, and C. Perry. 2020. Irrigation Technology and Water Conservation: A Review of the Theory and Evidence. Review of Environmental Economics and Policy Volume 14, Number 2

Shiklomanov, I. A., and J. C. Rodda. 2003. World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century, Cambridge Univ. Press, New York.

Stöckle, C. O., J. Marsal and J. M. Villar. 2011. Impact of Climate Change on Irrigated Tree Fruit Production. Acta Hort. 889, 41–52

Vo'ro'smarty, C. J., C. Le´veˆque, and C. Revenga. 2005. Fresh water in Ecosystems and Human Well-Being: Current States and Trends. Millenium Ecosystem Assessment. 165–207.

Optimal using and saving water on eco-friendly agriculture

Yau-Shian Tsai[1*] and Wei-Min Hsiang[2]

[*] Corresponding author, e-mail: sin310217@tari.gov.tw

[1] Assistant Researcher, Agriculture Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

[2] Researcher , Agriculture Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.(retired)

Abstract

Irrigation on eco-friendly agriculture tends to maintain agricultural land sustainable used and protect the natural environment and ecology. The methods of water-saving strategies are same as conventional agriculture, but it comply with organic agriculture regulations not use synthetic chemicals and genetically modified crops. Taiwan's irrigation water should be appropriately handled according to the estimated conditions of future scenarios under climate change, and the cropping system should be reconsidered based on whether the regional rainwater resources are abundant or not, and the adjustment of the cropping system should be the main water-saving strategy .The development of water-saving irrigation systems, the study of crop physiology and water demand, the collection of related data, and the establishment of irrigation scheduling all require continuous investment. The soil management of agricultural land will take the increase of soil moisture storage capacity as the main water-saving strategy, increase the storage and utilization of green water. Suitable for regional cropping system conservation agriculture, and improve the water-holding capacity of agricultural land, and improve the root system those technical method should be established as soon as possible. The promotion of water-saving strategies and technologies requires a reliable information system and expert guidance. Established a friendly and timely information system to help farmers decide the daily irrigation amount, estimate the time and amount of irrigation for the next irrigation, and calculate irrigation efficiency, evaluation of economic benefits. Training and education for farmers to improve modern irrigation management. Introduce water footprint analysis to evaluate water use and water conservation in the area. Under the change of natural environmental conditions, the water resources must be adjusted. The available resources must be redistributed according to the amount of rainfall in the river basin and the changes in the dry and wet seasons of the region. The areas significantly reduced rainfall still need to maintain crop growth and natural conservation in the dry season. To avoid deterioration of farmland soil. Agricultural water use must reduce its dependence on reservoir water and groundwater. In the process of water transfer, a certain mechanism is required to protect the water rights owners and provide appropriate agricultural water and environmental water to avoid affecting the natural environment and agricultural ecology.

Key words: Eco-friendly farming, irrigation, water saving

*Correspondence address
e-mail: hhwwmm1o22@gmail.com