

從全球氣候變遷到農業韌性

林裕彬*

近年全球高溫紀錄持續刷新，美國國家海洋暨大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）資料顯示，2026 年 7 月與 2024 年並列為有觀測紀錄以來最熱的 7 月（NOAA, 2026）。在全球升溫趨勢下，高溫、強降雨與乾旱反覆威脅農業生產。聯合國糧食及農業組織（Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO）與世界氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）最新聯合報告指出，過去半世紀以來，極端高溫事件的頻率、強度與持續時間均明顯增加（FAO & WMO, 2026）。高溫可能降低授粉與結實率，乾旱造成灌溉水源與土壤水分不足，豪雨與洪水則可能破壞農田、農路、灌排系統及溫網室設施；氣候條件改變也會增加部分病蟲害發生或擴散的風險，進一步削弱作物生產穩定性（Pappachan et al., 2025）。

跨區域研究發現，自 2000 年以來，高溫、乾旱與豪雨等複合事件已在印度、衣索比亞、美國、歐洲及俄羅斯等主要產區造成嚴重歉收，部分地區作物減產幅度最高達 30%（Lesk et al., 2022）。這些災害不僅減少當期產量，也會增加灌溉、補植、設施修復與病蟲害防治等支出，削弱後續生產能力。當極端氣候同時影響多個主要產區，其效應還會由田間生產延伸至加工、倉儲與運輸，造成市場供應減少、價格上升及貿易流向改變，並透過國際貿易傳遞至其他地區。因此，整合氣候、水資源、病蟲害及供應鏈管理，並提升各環節之調節與因應能力，將有助於強化整體農業韌性。

一、農業氣候帶與作物適栽區域的移動

氣候變遷也改變農業生產所依賴的溫度、降雨與水分供應條件，致使作物適栽範圍重新分布。相關報告與研究顯示，隨著溫暖氣候帶向高緯度延伸，許多作物的適栽範圍呈現往極地方向推移趨勢，原本較寒冷的溫帶與亞寒帶地區

* 國立臺灣大學生物環境系統工程學系特聘教授

可能增加部分作物的適栽機會；相對地，低緯度與熱帶地區因環境條件逐漸偏離作物需求，面臨適栽性下降與作物選擇受限 (King et al., 2018; Heikonen et al., 2025)。一項涵蓋稻米、玉米、大豆與小麥等重要糧食作物的全球模擬亦呈現相同趨勢：稻米、玉米與大豆的適栽區整體向高緯度移動，低緯度稻作區與部分亞熱帶小麥產區的適栽度則明顯下降 (Y. P. Lin et al., 2026, unpublished data)，另有研究推估，全球升溫 2°C 時，低緯度地區約有 10% 至 31% 的現有糧食作物產區可能落在原有氣候適栽範圍之外；全球 52% 的農地可能出現潛在作物多樣性下降，中高緯度地區則呈增加趨勢 (Heikonen et al., 2025)。

作物適栽區的空間變化受到降雨季節、極端高溫日數、水資源可及性、土壤及日照等多項條件共同影響，使不同作物的適栽條件在各地重新組合。氣候變遷可能使既有產區的種植條件逐漸惡化，同時為其他地區帶來新的機會。然而，適栽範圍擴大並不同於生產能力同步增加，新的適栽區域仍受基礎設施與土地利用競爭等條件限制，傳統產區減少的產能也難以在短期內由高緯度地區完全彌補。

二、病蟲害危害程度與分布範圍的改變

氣溫升高可能縮短部分害蟲的發育週期、增加繁殖次數，並提高越冬存活率，進而延長活動季節及擴大分布範圍。降雨與濕度的改變也會影響植物病原菌的存活、感染與傳播條件；豪雨容易促使病原菌隨雨水或地表逕流擴散，持續乾旱與高溫則會削弱作物生長，使其更容易受到部分病蟲害侵襲。傳播病害的昆蟲也可能向新的產區移動，使過去較少出現的病害逐漸進入其他種植區域 (Pappachan et al., 2025)。綜合全球研究結果，在升溫 2°C 情境下，蟲害造成的小麥、稻米與玉米產量損失，估計將分別增加 46%、19% 與 31%，而位於中高緯度之產區受到的影響較為明顯 (Ma et al., 2025)。

作物生育期與病蟲害危害時序同步改變，可能使既有的監測安排與防治時程不再適用。對新受影響的產區而言，若缺乏病蟲害辨識與管理經驗，且尚未建立相應的監測系統、抗病蟲品種及防治技術，作物產量與品質將更容易出現波動。農業調適應整合氣象條件、作物生育狀況與病蟲害動態資料，及早掌握危害時點及分布範圍之變化，適時調整防治措施。結合早期預警、抗病蟲品種、田間管理與整合性防治，可提升防治措施的靈活性，並在病蟲害種類或危害模式改變時迅速因應，以維持農業生產穩定。

三、灌溉作為氣候變遷調適的效益與限制

在降雨不穩定與作物適栽性下降的產區，灌溉可於抽穗、開花或結實等對缺水較為敏感的生育階段適時補充水分，維持作物正常生長。美國一項涵蓋九種主要作物及超過 22 萬筆長期產量紀錄的研究顯示，灌溉能降低水分不足對產量的影響，使作物年際產量波動平均減少 41% (Kukal & Irmak, 2020)，顯示適時供水有助於提升農業生產的穩定性。對降雨時序逐漸改變的地區而言，穩定的灌溉水源也有助於調整種植期程與作物配置，增加農業生產的彈性。全球模擬則顯示，灌溉效益具有明顯的區域差異：北美、歐洲、東亞與南亞部分地區可藉此改善作物適栽性，缺水的北非、中東及部分撒哈拉以南非洲地區成效相對有限；各類作物的反應亦不盡相同，稻米受益區域較廣，玉米、大豆與小麥則呈現較大的空間差異 (Y. P. Lin et al., 2026, unpublished data)。

不過，灌溉效益能否持續，仍取決於當地水資源條件。長期乾旱會縮減區域可供水量，降低灌溉在缺水時期的調節能力。2000 至 2015 年間，全球灌溉面積增加 11%，其中 52% 的新增面積位於原已承受水資源壓力的地區，顯示灌溉擴張若未充分考量當地可持續供水能力，可能加劇不同用水部門間的競爭，並削弱其長期調適效益 (Mehta et al., 2024)。灌溉策略應依據區域可用水量、作物需水特性與氣候風險配置水源，並結合耐熱耐旱品種、節水技術、土壤保水管理及種植期調整，使灌溉發揮調節降雨變異與穩定生產的功能，兼顧短期生產需求與水資源的長期可用性 (FAO & WMO, 2026; Mehta et al., 2024)。

四、全球農糧貿易的調整與供應韌性

農業氣候帶與作物適栽區的移動，正逐步改變全球農業產能與糧食進出口版圖。部分既有產區可能因高溫、缺水或病蟲害加劇而失去生產優勢，其他地區則可能因種植條件改善而增加產量，進而改變主要出口國與進口國之間的供應關係。不過，現有全球糧食貿易仍呈現出口集中、進口分散的特性。經濟合作暨發展組織 (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) 與聯合國糧食及農業組織 (FAO) 推估至 2034 年，小麥、稻米與多數雜糧的出口仍將高度集中於主要出口國；玉米的全球供應則高度仰賴美國、巴西、阿根廷與烏克蘭 (OECD & FAO, 2025)。主要產區一旦遭遇極端氣候或減產，供應量與價格波動便可能迅速擴散至全球市場。

國際貿易可調節區域間的糧食盈缺，將糧食由供應相對充足的地區運送至短缺市場，降低單一國家完全依靠國內生產所承受的氣候風險。近期整合全球作物模擬與貿易流向的研究發現，現行貿易體系可減輕許多低所得國家的國內減產影響 (Bajaj et al., 2025)。然而，貿易並未消除風險，而是改變其傳遞途徑。當進口來源集中於主要出口國，來源地區的歉收、出口限制、運輸中斷與成本上升，均可能同時影響多個進口市場，使區域性的生產問題轉化為跨國供應及價格波動。若多個主要產區在同一時期遭遇不利氣候，可供替代的來源將進一步減少，貿易原有的調節能力也會受到限制。因此，提升糧食供應韌性不能僅依賴增加進口或追求自給率，還須分散來源地區與運輸管道、建立適度糧食儲備與市場風險監測，並維持必要的國內產能，讓國際貿易發揮調節供需及分散風險的功能。

五、臺灣農糧安全的雙軌調適策略

全球農糧生產與貿易格局持續變動，臺灣應同步強化國內生產與國際供應之調整能力。國內生產端應以維持必要的生產基礎與基本供應能力為目標，在國際市場波動時提供穩定支撐。透過掌握不同產區與生產季節的氣候條件，適度分散產能並保留跨區域、跨期作的調整彈性，可提高各地生產的互補性，擴大因應不同氣候情境的調節空間 (IPCC, 2022)。國際供應端則應降低對特定產地與運輸路線的依賴，推動進口來源及貿易夥伴多元化。除了掌握主要供應國的氣候、生產、庫存與出口政策變化，也應依不同糧食品項的進口前置時間及替代難易程度配置儲備，並預先建立替代採購、運輸及區域合作管道，以分散出口限制、價格上升與物流中斷所帶來之影響 (OECD & FAO, 2025; Bajaj et al., 2025)。

雙軌策略須建立兩端相互支撐的調節機制，並將氣候、水資源、生產、庫存、貿易及價格資訊納入共同分析架構，及早辨識國內減產、主要出口國歉收、出口限制或運輸受阻等可能同時發生的情境，作為產能配置、灌溉調度、進口採購與糧食儲備的決策依據。當國內生產受到極端氣候影響時，可透過替代進口來源與釋出儲備補充供應；國際市場發生波動時，則可藉由必要的國內產能與庫存降低外部衝擊。兩端資源的彈性配置，可減少氣候災害、缺水、減產與貿易中斷相互疊加造成的供應缺口，提升整體糧食供應體系之穩定性與韌性。

參考文獻

- Bajaj, K., Mehrabi, Z., Kastner, T., Jägermeyr, J., Müller, C., Schwarzmüller, F., Hertel, T. W., & Ramankutty, N. (2025). Current food trade helps mitigate future climate change impacts in lower-income nations. *PLOS ONE*, 20(1), e0314722. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314722>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, & World Meteorological Organization. (2026). *Extreme heat and agriculture: FAO–WMO joint report*. <https://doi.org/10.4060/cd9394en>
- Heikonen, S., Heino, M., Jalava, M., Siebert, S., Viviroli, D., & Kummu, M. (2025). Climate change threatens crop diversity at low latitudes. *Nature Food*, 6(4), 331–342. <https://doi.org/10.1038/s43016-025-01135-w>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- King, M., Altdorff, D., Li, P., Galagedara, L., Holden, J., & Unc, A. (2018). Northward shift of the agricultural climate zone under 21st-century global climate change. *Scientific Reports*, 8, 7904. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26321-8>
- Kukul, M. S., & Irmak, S. (2020). Impact of irrigation on interannual variability in United States agricultural productivity. *Agricultural Water Management*, 234, 106141. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106141>
- Lesk, C., Anderson, W., Rigden, A. J., Coast, O., Jägermeyr, J., McDermid, S., Davis, K. F., & Konar, M. (2022). Compound heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(12), 872–889. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00368-8>
- Ma, C. S., Wang, B. X., Wang, X. J., Lin, Q. C., Zhang, W., Yang, X. F., van Baaren, J., Bebbber, D. P., Eigenbrode, S. D., Zalucki, M. P., Zeng, J., & Ma, G. (2025). Crop pest responses to global changes in climate and land management. *Nature Reviews Earth & Environment*, 6(4), 264–283. <https://doi.org/10.1038/s43017-025-00652-3>
- Mehta, P., Siebert, S., Kummu, M., Deng, Q., Ali, T., Marston, L., Xie, W., & Davis, K. F. (2024). Half of twenty-first century global irrigation expansion has been in water-stressed regions. *Nature Water*, 2, 254–261. <https://doi.org/10.1038/s44221-024-00206-9>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2026). *Global Climate Report: July 2026*. National Centers for Environmental Information. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202607>
- Organisation for Economic Co-operation and Development, & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2025–2034*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/601276cd-en>
- Pappachan, A., Kamidi, R., Khare, T. R., Hosamani, V., Raviraj, V. S., & Saini, P. (2025). Impact of climate change on pest and disease outbreaks in agricultural ecosystems. In A. Kumar, O. O. Babalola, J. S. Panwar, & G. Santoyo (Eds.), *Climate Change and Agricultural Ecosystems: Current Challenges and Adaptation* (2nd ed., pp. 227–266). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-26520-4.00011-1>