

從田間到市場－ 智慧農業如何重塑農業價值鏈與糧食系統

林達德

國立臺灣大學生物機電工程學系特聘教授

摘要

隨著全球人口快速成長與氣候變遷風險日益加劇，傳統農業正面臨產能、資源與環境永續的多重挑戰。智慧農業，作為以數位科技驅動的現代農業模式，正逐步成為各國強化糧食安全與農業韌性的重要解方。透過物聯網（Internet of Things, IoT）、人工智慧（artificial intelligent, AI）、大數據、區塊鏈、自動化機具等技術的整合應用，智慧農業能實現更精準的資源管理與決策支援，從而提高生產效率、降低環境衝擊，並促進整體價值鏈的透明與效率提升。本文探討全球與臺灣智慧農業的發展現況與實踐經驗，聚焦其在提升農業價值鏈效率與資訊透明度、強化糧食體系的永續與風險調適能力方面的貢獻，並延伸探討臺灣在國際智慧農業合作與援助上的潛力與角色。最後，本文也檢視智慧農業發展面臨的挑戰，強調在政策支持、技術普及與多方協作下，打造包容性、永續性與具韌性的農業未來所需的努力與方向。

關鍵詞：智慧農業、糧食系統韌性、氣候變遷、數位轉型、數據治理

一、科技驅動農業轉型－智慧農業的全球與臺灣經驗

智慧農業通常是指運用先進的資通訊技術（Information and Communication Technology, ICT）於農業生產與管理中，以提升整體效率、品質、降低勞力並確保農產品安全的一種現代農業模式。其核心涵蓋了感測技術、物聯網（Internet of Things, IoT）、人工智慧（artificial intelligence, AI）、大數據分析、機器人、自動化農機與無人機等技術的整合應用。透過這些科技，農民可以即時監測土壤、氣候與作物生長情況，並根據數據進行精準的灌溉施肥、病蟲害防治與栽培管理等之決策，以提高產量和資源利用效率，同時降低對環境的衝擊。此外，智慧農業的應用已不僅限於田間生產端，更延伸至整個農業價值鏈，包括採收後處理、冷鏈物流、加工、品質分級、包裝、流通與市場銷售等環節。透過數位化生產紀錄與追溯系統，可提升供應鏈透明度與產品信任度，進而促進農產品品牌化與市場競爭力。同時，整合銷售平臺與消費者偏好數據，也有助於精準預測市場需求與調整生產策略，形成從田間到餐桌的智慧農業生態系。

從全球趨勢來看，智慧農業正逐漸成為各國因應糧食安全與氣候變遷挑戰的重要途徑。聯合國糧食及農業組織（Food and Agriculture Organization, FAO）預測 2050 年全球人口將達到約 97 億，糧食需求可能比目前增加一倍。傳統農業若不轉型，將難以在不擴大耕地的前提下滿足此需求，同時還可能加劇環境負荷。¹ 智慧農業因而被視為實現糧食增產與永續發展的關鍵策略之一。近年市場分析亦顯示智慧農業相關產業正快速成長，全球智慧農業市場規模從 2022 年的約 150 億美元預計將增至 2027 年的 330 億美元。² 各國政府與私人部門皆投入資源於智慧農業相關技術與應用的研發與推廣，以期提高農業生產力並增進供應鏈效率與透明度。在智慧農業實踐方面，各地已出現許多具體案例。例如，日本與韓國早在多年前即開始使用無人直升機進行農業施藥作業，特別是在稻作上應用廣泛。截至 2024 年，日本在農業領域廣泛應用無人機進行施藥作業，無人機農藥施藥面積已突破 100 萬公頃，應用作物包括水稻、麥、蔬菜、果樹、豆類等。韓國則已有約 30% 的農藥施灑作業使用無人機進行。兩國的地形多為丘陵與小面積農田，傳統大型地面噴灑設備使用受限，使得靈活且低污染風險的無人機成為理想選擇。³ 再如，一些非洲國家利用簡單的手機簡訊和行動應用為小農提供農業技術資訊，顯著改善了作物管理與收成。這些例子顯示智慧農業技術正逐步在全球不同地區落地生根，從先進國家的大型農企到開發中國家的小農族群，皆開始受惠於智慧農業帶來的效率提升與風險降低。⁴

臺灣在智慧農業的發展上亦不落人後。面對農業勞動人口高齡化與短缺、氣候變遷的因應以及以小農經營為主所帶來的生產規模和食品安全挑戰，政府自 2017 年起開始大力推動智慧農

¹ Alexandratos, N., Bruinsma, J. (2012). World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision., ESA Working Paper No. 12-03. FAO, Rome.

² Shahbandeh, M. (2025, June 4). Smart agriculture - statistics & facts. Statista. <https://www.statista.com/topics/4134/smart-agriculture/#topicOverview>.

³ Ozkan, E. (2025, June 4). Using drones for spray application - adoption trends in US and worldwide. Ohioline. <https://ohioline.osu.edu/factsheet/fabe-540>

⁴ FAO. (2024). Digital agriculture in FAO projects in sub-Saharan Africa. Accra. <https://doi.org/10.4060/cc9850en>

業的發展。行政院農業委員會（現農業部）啟動了一系列智慧農業計畫，透過產官學研合作在農業現場導入先進的資通訊技術、雲端平臺與自動化設備等，建立示範場域並加速科技擴散應用。在政策推動下，智慧農業的發展逐步展現系統化方向，策略主軸聚焦於三大面向：首先是智慧整合，藉由感測器、自動化機具與人工智慧等技術的開發與導入，實現農業生產精準化與省工化；其次是智慧服務，建置農業大數據決策平臺與農地動態監測系統，整合生產、環境與市場資訊，提供即時決策支援與預警功能；第三為智慧鏈結，透過物聯網與區塊鏈等技術串接生產履歷與溯源管理，強化農產品品質安全與供應鏈透明度。⁵ 整體而言，臺灣智慧農業的發展正處於技術導入與應用擴展的階段，隨著政策支持與產業參與逐漸深化，正逐步於傳統農業體系中建立新的運作模式與管理機制，為未來產業升級與數位轉型奠定基礎。透過這三項策略推進，臺灣智慧農業正穩步邁向高效、永續與韌性的發展目標。

二、農業價值鏈效率與透明度的提升

智慧農業對於農業價值鏈的革新，首先體現在整個農業產業鏈的效率提升。在生產端，透過精準農業技術，農民能更有效率地投入資源，例如依據田間感測數據決定施肥與灌溉的最佳時機和用量，從而減少浪費並提高產量。自動化機械和機器人則能接替或輔助人工完成播種、除草、收割等繁重工作，不僅降低人力成本，也縮短作業時間。同時，AI 演算法可以根據歷史數據和即時資訊優化農場管理決策，例如透過病蟲害的即時監測提早採取防治措施，避免作物栽培過程的損失。

資通訊與自動化技術的整合運用能顯著提升產業鏈上游生產端的生產力和效益。除了生產端，智慧農業亦促進了農產品在整個價值鏈中的透明度與連結性。過去，小農常因資訊不對稱而處於不利地位，例如不清楚市場需求變化或價格行情，導致產品滯銷或受到中間商剝削。現在，數位平臺與即時資訊服務為農民架起了從田間直通市場的橋梁。世界銀行（World Bank）於西非推行的數位農業平臺計畫即是一例：這些平臺提供農民即時的市場價格、市場需求和天氣等資訊，並撮合生產者與購買端交易，降低了交易成本，提高了農產品流通效率。在象牙海岸共和國所推動的農業數位市場平臺，於 2018-2023 年間連結了超過 40 萬農業相關人員，協助他們改善市場資訊與銷售管道，省去了中間環節的開銷，提高了收入。數位平臺也帶動了農村金融服務的發展，例如透過行動支付和電子錢包，農民能更方便地進行交易並獲得信貸支持。在貝南共和國推動的數位農業專案為逾 10 萬名農民提供了包含農機共享、作物栽培諮詢在內的多功能平臺服務，協助農民改善耕作決策並提高農業經營管理能力。⁶

⁵ 中華民國行政院，（2025, June 5）。國情簡介：重要農業施政措施。<https://www.ey.gov.tw/state/CD050F4E4007084B/cca9c73f-eab3-4628-9e73-afd18523027a>

⁶ World Bank. (2025). From fields to markets: the role of digital platforms in West Africa's agricultural success. <https://www.worldbank.org/en/results/2025/03/04/afw-from-fields-to-markets-the-role-of-digital-platforms-in-west-africa-agricultural-success>

供應鏈透明度的提升也是智慧農業的一大貢獻。結合區塊鏈等技術的農產品生產履歷制度，可將農產品從生產、加工、流通到銷售的各環節資料予以記錄並串連，實現產品源頭可追溯。這種透明度讓消費者對食品安全更有信心，同時也保障了生產者的權益。近年來，農民和農企業開始使用區塊鏈平臺來追蹤作物種植過程和物流資訊，減少中間商的資訊壟斷，讓農民直接與終端市場對接。例如運用區塊鏈追蹤模型記錄咖啡從種植到銷售的每個環節，確保數據不可篡改與公開透明。幫助農民獲得公平價格，減少中間商壟斷，提升消費者對產品來源的信任。同時結合智能合約自動化交易與支付，提高供應鏈效率，保障咖啡品質安全，促進農民生計改善與消費者體驗升級。⁷ 歐洲也有多個實證研究證明區塊鏈在強化食品可追溯性方面的潛力。區塊鏈技術能提升有機與公平貿易食品供應鏈中資訊的透明度與可信度，透過記錄農產品生產與交易的各項資料，有助於建立供應鏈夥伴間的信任機制。⁸

臺灣在推動智慧農業的同時，也積極強化農產品的產銷履歷制度，透過導入自動化感測技術與數位紀錄工具，協助農民即時蒐集與上傳生產資料至溯源平臺。智慧農業計畫中建置的共通資訊平臺，使農產品從田間管理、施肥灌溉到採收加工的資訊皆可完整留存並透明化，不僅強化食品安全管理，也提升生產歷程的可追溯性。消費者的回饋資料亦可透過數據系統回饋給農民，作為下季生產規劃的依據，進一步形成市場到田間的資訊迴路。智慧農業與產銷履歷制度的整合，促進農業價值鏈各環節的資訊互通與信任建立，強化流通效率，實現真正從田間到市場的透明鏈接。⁹

三、糧食系統的永續與韌性強化

智慧農業的發展不僅提高了農業價值鏈的效率，也為糧食系統的永續性與韌性帶來了新的契機。在環境永續方面，數位技術有助於促進資源的合理利用和生態保護。精準農業透過感測與數據分析，使農民只在需要時才適量施用水、肥料和農藥，避免了傳統粗放式耕作中常見的資源浪費與污染問題。例如智慧灌溉系統全年可減少用水 28.1%，且產量與傳統灌溉無顯著差異；¹⁰ 自動監測土壤養分則可避免過度施肥，降低氮肥流失造成的環境負荷。進一步透過農業物聯網收集的環境與作物數據能輔助農業溫室氣體排放的監測與管理，為減少碳足跡提供科學依據。總體而言，智慧農業與「氣候智慧型農業」（Climate-Smart Agriculture, CSA）的理念相

⁷ Alamsyah, A., Widiyanesti, S., Wulansari, P., Nurhazizah, E., Dewi, A. S., Rahadian, D., ... & Tyasamesi, P. (2023). Blockchain traceability model in the coffee industry. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(1), 100008.

⁸ van Hilten, M., Ongena, G., & Ravesteijn, P. (2020). Blockchain for organic food traceability: Case studies on drivers and challenges. *Frontiers in Blockchain*, 3, 567175.

⁹ 呂椿榮。（2025, June 7）。共通資訊平臺，數位分身搖籃，開創臺灣農業新風潮。<https://www.intelligentagri.com.tw/xmdoc/cont?sid=0M202582807159457022&xmsid=0M068492401417538149>

¹⁰ Abdelhamid, M. A., Abdelkader, T. K., Sayed, H. A., Zhang, Z., Zhao, X., & Atia, M. F. (2025). Design and evaluation of a solar powered smart irrigation system for sustainable urban agriculture. *Scientific Reports*, 15(1), 11761.

契合，追求同時達成提高產量、增強氣候韌性、降低排放的「三贏」目標。¹¹

在糧食系統的韌性方面，智慧農業亦展現出強化抗風險能力的潛力。氣候變遷導致極端天氣頻繁，使農業生產面臨更大不確定性。然而，現代資訊技術可以為農民提供更及時的預警與調適建議。例如，利用遙測衛星、氣象站和物聯網裝置建立的早期預警系統，能提前發出乾旱、洪水或病蟲害暴發的警報，幫助農民及時採取行動減輕災害衝擊。臺灣在這方面已有實踐：政府整合歷年氣象與災害資料建立了空間資訊決策系統，提示農民避開高風險時段或地區栽種作物，並推廣強化型農業設施以抵禦颱風豪雨等災害。¹² 又例如，臺灣與國際水稻研究所（International Rice Research Institute, IRRI）於印尼進行的合作計畫中架設了微型氣象站收集天氣資訊，透過即時數據指導農民耕作安排，使其更從容應對氣候異常。該計畫還引入了無人機田間監測等技術協助農田管理，並教導農民改種早熟抗倒伏的水稻品種，以降低極端天氣下的產量損失。¹³ 事實上，數位技術與傳統農藝措施相結合的「韌性農業」正成為強化糧食安全的重要途徑：一方面利用智慧工具提升監測和應變效率，另一方面透過數據分析指導農業生產結構調整（例如多樣化種植、選育耐逆品種），共同增強整個糧食系統面對氣候與市場衝擊時的恢復能力。

除了印尼的合作實例外，臺灣亦在其他地區推動多項智慧農業援助計畫，進一步體現智慧農業在強化糧食系統韌性上的應用潛力。例如，「泰國應用智慧農業系統提升園藝作物栽培能力計畫」運用物聯網（IoT）環境感測與控制技術，有效提升作物產量與品質；¹⁴ 「中美洲區域香蕉黃葉病防治計畫」運用衛星監測與病害快速分子檢測技術，導入臺灣防疫經驗，提升區域香蕉產業之發展韌性；¹⁵ 而「斐濟韌性栽培推廣計畫」則導入韌性栽培技術與發展適地智慧農業技術，協助當地小農提升面對氣候變遷的調適能力。¹⁶ 這些實務案例不僅展現臺灣科技導向的合作模式，也體現智慧農業在官方發展援助（Official Development Assistance, ODA）中強化糧食安全與農業韌性的應用價值。

值得一提的是，數位科技正逐漸成為非洲小農提升生計與糧食系統韌性的有效工具。非洲多國透過行動裝置向小農提供氣候資訊與農業建議，協助其改善作物管理策略並強化應變能力。在衣索比亞、奈及利亞與馬利，參與這類數位氣候服務的小農，其作物產量平均提升約

¹¹ World Bank. (2024, June 19). Climate-Smart Agriculture. <https://www.worldbank.org/en/topic/climate-smart-agriculture>

¹² 余祁暉、張羽萱、李佳玲（2019）。臺灣農企業智慧農業發展現況調查。農業生技產業季刊，（57），52-55。

¹³ TaiwanICDF assists Indonesia with high-quality rice seed production and publishes results with Hasanuddin University. (2023, Aug 31). TaiwanICDF. <https://www.icdf.org.tw/wSite/ct?xItem=70723&ctNode=31572&mp=2>

¹⁴ 泰國應用智慧農業系統提升園藝作物栽培能力計畫。（2025, May 6). TaiwanICDF. <https://www.icdf.org.tw/wSite/ct?xItem=70802&ctNode=31284&mp=1>

¹⁵ 中美洲區域香蕉黃葉病防治計畫。（2025, August 7). TaiwanICDF. <https://www.icdf.org.tw/wSite/ct?xItem=69611&ctNode=31290&mp=1>

¹⁶ 斐濟韌性栽培推廣計畫。（2025, April 23). TaiwanICDF. <https://www.icdf.org.tw/wSite/ct?xItem=73242&ctNode=31367&mp=1>

25%。這些技術幫助農民更精準地掌握播種時機、選擇合適品種，並在面對極端天氣前採取預防措施。同時，數位工具也強化了農民對市場價格與金融資源的可及性，使其在氣候變遷與價格波動下具備更高的恢復力。¹⁷ 這些實例顯示，只要能將實用資訊有效傳遞至基層農戶，即使在資源有限的條件下，也能顯著提升農業體系的韌性與經濟穩定性。對以小農為主體的臺灣農業而言，這些經驗亦具重要的借鏡價值。

四、臺灣在全球智慧農業合作的角色

在推動智慧農業全球化落實的進程中，技術合作與國際援助扮演關鍵推手，特別是在資源有限的開發中國家。國際組織與開發援助機構（如 FAO、世界銀行、國際農業研究諮商組織等）透過資金、技術轉移與能力建構，協助縮小數位落差，強化農業生產效率與氣候韌性。然而，除了既有的援助體系，臺灣亦具備成為亞太與非洲區域智慧農業合作領導者的潛力與優勢。

臺灣自 2017 年起積極推動智慧農業，累積了豐富的政策經驗與技術實踐，特別適合應用於以小農為主體、耕地零碎且資源有限的開發中國家。過去在與東南亞與非洲等地區的合作中，臺灣已分享包括微型氣象站建置、無人機農業監測、智慧灌溉管理與病蟲害預警系統等實用技術，協助合作國家逐步建立氣候韌性農業體系，並提升在地農民的數位應用能力。這些既有成果不僅強化受援國的糧食安全，也為臺灣未來深化與其他國家的智慧農業合作奠定了信任與技術輸出基礎。

臺灣的智慧農業技術具有「低門檻、易部署、具實證效益」等特點，極為適合開發中國家實施。透過技術援助與經驗移轉，臺灣可提供包括小型與特作農業機械、精準施肥、自動化灌溉、亞熱帶溫室工程、作物環境感測與數據決策平臺在內的解決方案，協助他國建立永續且可擴展的智慧農業系統。同時，臺灣在教育與人才培育方面亦能發揮作用，透過開設短期培訓課程、遠距教學平臺與示範場域交流，提升在地農技人員的實作與維運能力，確保技術落地與永續發展。

此外，臺灣亦可發揮「中介平臺」的角色，協助國際組織、在地政府與私部門共同規劃與推動智慧農業專案，促進多方合作與資源整合。透過區域合作平臺如東南亞國協（Association of Southeast Asian Nations, ASEAN）機制，臺灣可藉由參與技術論壇與產業對接平臺（如亞太經合會、亞洲太平洋地區糧食與肥料技術中心、亞太農業研究機構聯盟等）投入區域智慧農業之發展。這不僅有助於推動在地化可行的技術應用與培力模式，也能強化臺灣在亞太糧食安全與農業數位轉型中的實質參與及國際能見度。

未來，隨著智慧農業技術的持續創新與需求擴大，臺灣應積極尋求在國際農業數位轉型中

¹⁷ Brookings Institution. (2025, June 19). Digital solutions in agriculture drive meaningful livelihood improvements for African smallholder farmers. <https://www.brookings.edu/articles/digital-solutions-in-agriculture-drive-meaningful-livelihood-improvements-for-african-smallholder-farmers/>

的定位，將本地成果輸出為可行的合作與援助模型，在促進全球糧食安全的同時，也提升自身的國際影響力與農業科技能量。

五、結語

從田間到市場，智慧農業正重塑農業價值鏈與糧食系統。資訊科技的導入使農業生產各環節更高效、精準且互聯：在田間管理上，感測器與智能機械提升資源利用率與勞動效率；在供應鏈中，數位平臺與溯源體系增進資訊透明度與交易效率；在糧食體系層面，智慧農業為永續發展與風險韌性提供有力支撐。事實證明，智慧農業有助於提高產量、減少環境衝擊，並增強對氣候與市場波動的抵抗力，有助於確保糧食供應並推動永續發展。

然而，智慧農業的發展仍面臨挑戰。技術紅利的分配並不均等，小農與資源不足地區若無法參與，可能加劇數位鴻溝與不平等。為避免此情況，政府、科研單位、企業與國際組織須共同合作，打造包容的智慧農業生態系。政府應提供政策支持與基礎設施，協助農民負擔得起並理解新技術；科研與產業應研發貼近需求的方案，降低技術與經濟門檻；國際社會則應強化合作與知識交流，推動智慧農業普及。

在推動農業國際合作方面，臺灣已將智慧農業納入對外發展合作的核心策略。透過外交部「榮邦政策」與行政院八大旗艦計畫中的「智慧新農業」，聚焦智慧農機、氣候韌性與數位治理，並由外交部與農業部透過雙部長會議機制，強化跨部門政策協調與資源整合。實務上，我國已在東南亞與非洲地區協助合作國建置微型氣象站、導入智慧監測與灌溉系統，並提供技術訓練與示範場域交流。臺灣智慧農業技術具備低門檻、易部署與實證效益，未來可進一步擔任亞太與非洲區域合作平臺與中介者角色，推動智慧農業落地應用，提升農業外交能見度與政策效益。

在多方協力下，智慧農業正逐步改變傳統農業樣貌。從田間到市場的各環節加速數位化，重構價值鏈運作，並提升糧食系統的永續與韌性。隨著技術進展與政策推動，我們可望迎來更智慧的農業未來：農民耕作更有效率，民眾享有更安全透明的食品，農業環境也朝向永續發展。儘管挑戰仍在，智慧農業實現糧食充足與環境友善的目標，值得我們持續投入。