

全球智慧農業發展趨勢與開發中國家的機會與挑戰

蔡致榮

農業部農業試驗所前研究員兼副所長、臺灣農業設施協會理事長

摘要

智慧農業（smart agriculture）代表著農業生產模式的典範轉移，透過整合先進科技如物聯網（IoT）、大數據、人工智慧（AI）、機器人技術和精準農業（precision agriculture），旨在提升農業生產效率、資源利用率，並實現永續發展。隨著全球人口持續成長，對糧食的需求不斷上升，以及氣候變遷帶來的嚴峻挑戰，智慧農業被視為解決未來糧食安全問題的關鍵。然而，儘管其潛力巨大，智慧農業的推廣和應用在全球各地，特別是開發中國家，面臨著獨特的機會與挑戰。本文將深入探討全球智慧農業的發展趨勢、技術應用、政策推動，並著重分析開發中國家在擁抱智慧農業過程中所面臨的機遇與困境，最後提出相關建議。

關鍵詞：智慧農業、精準農業、物聯網、大數據、人工智慧、開發中國家、糧食安全、永續農業

一、前言

農業是人類社會賴以生存的基礎產業，不僅提供糧食與纖維，也支撐著全球數十億人口的生計。然而，隨著全球人口預計在 2050 年達到近 100 億，對糧食的需求將大幅成長，而現有的農業生產模式並無法有效且永續的供應此需求。傳統農業面臨著多重挑戰，包括水資源短缺、土壤退化、病蟲害威脅、勞動力老化與流失，以及極端氣候事件頻繁發生所導致的災害。聯合國糧食及農業組織（Food and Agriculture Organization, FAO）指出，全球農業生產需要提升至少 50% 才能滿足未來人口的需求，且必須在環境友善的原則下實現。¹

在這樣的背景下，智慧農業應運而生，成為解決這些挑戰的重要途徑。智慧農業的核心理念是利用現代科技對農業生產的各個環節進行實時監測、數據分析與精準管理，從而優化生產流程、降低成本、提高產量和品質，並減少對環境的負面影響。它超越傳統農業的範疇，將農業從經驗驅動轉變為數據驅動，為農業生產帶來前所未有的效率與可能性。

對於開發中國家而言，農業往往是國民經濟的支柱，提供大量的就業機會。然而，這些國家的農業部門普遍存在技術落後、基礎設施薄弱、資金匱乏等問題，導致生產效率低下，糧食安全面臨嚴峻挑戰。智慧農業的發展為這些國家提供一個彎道超車的機會，但也帶來諸多複雜的挑戰，包括技術易取用性、基礎設施建設、人力資本培養、政策支持以及文化適應等。本文將深入分析這些機會與挑戰，並提出可行性建議。

二、全球智慧農業發展趨勢

全球智慧農業的發展呈現出多樣化、綜合化和普及化的趨勢，主要體現在以下幾個方面：

（一）技術融合與應用深化

智慧農業並非單一技術的應用，而是多種前沿科技的深度融合。其核心技術主要包括：

1. 物聯網（IoT）應用

物聯網是智慧農業的基礎，透過部署各類感測器，如土壤濕度感測器、溫度感測器、光照感測器、PH 值感測器等，實時收集農田環境數據。這些數據透過有線或無線網路傳輸到雲端平臺，為農民提供精準的農情資訊。例如，智慧灌溉系統可以根據土壤濕度數據自動調節水量，實現精準灌溉，節約水資源；² 在國內的應用實例中，桃城蒔菜農業生產合作社導入結合物聯網技術的智慧灌溉系統，透過即時監測環境狀況，精準調控灌溉水量，有效降低超過 4 成的

¹ FAO. (2017). "The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges." Food and Agriculture Organization of the United Nations.

² Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., and Bogaardt, M. J. (2017). "Big Data in Smart Farming—A review." *Agricultural Systems*, 153: 69-80.

人力成本、節省逾一半用水量，並提升葉菜產量超過兩成，成功實現穩定品質與產量的目標。³

2. 大數據與雲端計算

農業生產過程產生海量的數據，包括氣象數據、土壤數據、作物生長數據、病蟲害數據、市場價格數據等。大數據技術能夠對這些數據進行分析、挖掘和預測，揭示潛在規律，為農民提供決策支持。雲端計算則為數據存儲和處理提供強大的後端支持，使得農業數據的共享和分析成為可能。⁴在國內的應用實例中，智慧農業計畫團隊所研發「智慧型作物蟲害影像監測系統」（pest detection system, PDS），結合 AI 影像辨識技術與嵌入式系統的高速運算與通訊能力，並搭配雲端與行動運算平臺，可自動辨識害蟲種類與數量，長期追蹤作物蟲害狀況及環境資訊，進而建構害蟲行為模式與預警系統，有效提升病蟲害防治的即時性與準確度。⁵

3. 人工智慧（artificial intelligence, AI）與機器學習

AI 在智慧農業中的應用日益廣泛。例如，透過圖像識別技術對作物進行健康診斷，識別病蟲害、營養缺乏；機器學習算法可以根據歷史數據預測作物產量，優化施肥和用藥方案。AI 驅動的農業機器人則可以執行播種、施肥、噴灑、採摘等重複性勞動，有效解決勞動力短缺問題。⁶在國內的應用實例中，農業試驗所攜手興農集團旗下玉美生技公司與國興資訊公司，運用「智慧農業數位分身」技術，在數位世界中打造虛擬農場，結合 AI、感測器與數據模型，能即時模擬並反映真實環境下的作物生長狀況。透過農業大數據分析，將資深農民的經驗與技術轉化為可傳承的數位知識，協助青農掌握智慧監控與精準生產的關鍵能力，推動農業智慧化升級。⁷

4. 機器人技術與自動化

農業機器人，如無人機、自動駕駛曳引機、採摘機器人等，正改變傳統農業的勞動模式。無人機可用於作物監測、農藥噴灑和施肥，效率高且成本低；自動駕駛曳引機則能實現精準播種和耕作，減少人力投入。這些自動化設備不僅提高生產效率，也降低勞動強度和潛在風險。

³ 農業部（2023），〈AI 精準灌溉，神農級的傳承，桃城蒔菜種出生鮮好滋味〉，第一期智慧農業綱要計畫亮點專輯，下載日期：2025.7.10，網址：<https://agtech.moa.gov.tw/ReadFile/?p=Topic&n=6ee6f5db-90c9-4244-82e1-a54cd0302151.pdf>。

⁴ Kamilaris, A., and Prenafeta-Boldu, F. X. (2018). “Big Data and Machine Learning in Agriculture: A Survey.” *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90.

⁵ 農業部（2023）。〈從白板到平板，智慧育苗承先啟後，青農逐夢踏實〉。第一期智慧農業綱要計畫亮點專輯，下載日期：2025.7.10，網址：<https://agtech.moa.gov.tw/ReadFile/?p=Topic&n=fd7bd602-8c82-4ac4-bceb-5928bbf3ae25.pdf>。

⁶ Eli-Chukwu, N. C. (2019). “Applications of Artificial Intelligence in Agriculture: A Review.” *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(4): 4377-4383.

⁷ 農業部（2023）。〈共通資訊平臺，數位分身搖籃，開創臺灣農業新風潮〉。第一期智慧農業綱要計畫亮點專輯，下載日期：2025.7.10，網址：<https://agtech.moa.gov.tw/ReadFile/?p=Topic&n=a4bcea88-60d2-499e-b084-547c67705562.pdf>。

5. 地理資訊系統 (geographic information system, GIS) 與全球定位系統 (global positioning system, GPS)

GIS 和 GPS 是精準農業的核心工具。透過 GIS，可以對農田進行精細的地圖繪製和分區管理，識別土壤差異和作物生長異質性。GPS 則為農機具提供精準的定位和導航，實現變率施肥、變率播種等操作，避免資源浪費。在國內的應用實例中，高雄區農業改良場開發毛豆採收機 GPS 車載影像監測系統，將機械化作業升級為智慧化與精準化耕作。透過 GPS 衛星定位技術，搭配車載影像與感測系統，能即時監測採收機移動軌跡，並將採收影像與相關數據上傳至雲端資料庫，全面掌握田間作業狀況。此系統有效縮短毛豆從採收到送達加工廠的時間，降低運輸過程中豆莢黃化與品質劣變風險，確保加工原料的新鮮與品質穩定。⁸

6. 區塊鏈技術

雖然仍在早期應用階段，但區塊鏈技術在農產品溯源、食品安全管理方面顯示出巨大潛力。它可以記錄農產品從生產到消費的整個過程，提高產品透明度，增強消費者信任。⁹

而智慧農業實作中以少做多且係數據驅動最佳化操作的標竿當屬智慧設施農耕實踐。摩洛哥最大的藍莓生產商非洲藍 (African Blue) 的 Way Beyond 案例示範種植者如何透過即時氣候和植物健康可見性以避免農作物損失，其面對問題、解方與結果如下：¹⁰

⁸ 農業部 (2023)。〈智慧科技品質保證，臺灣農產國家隊向世界出發〉。第一期智慧農業綱要計畫亮點專輯，下載日期：2025.7.10，網址：<https://agtech.moa.gov.tw/ReadFile/?p=Topic&n=5e5c51f7-3e6d-43da-aa1d-116529294a7a.pdf>。

⁹ Kshetri, N. (2017). "Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy." Telecommunications Policy, 41(10), 1027-1038.

¹⁰ Way Beyond. (2023). "Case Study: Real-time climate and plant health visibility improves crop management." Retrieved on 2025.7.14, https://5939375.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/5939375/Files/WayBeyond%20African%20Blue%20Case%20Study.pdf?__hstc=&__hssc=&hsCtaTracking=7b39b4cf-a042-4947-b43d-0e553b29c8c3%7C75cbbc4d-f259-4243-9956-e77e71c2b3f9.

圖 1 摩洛哥最大的藍莓生產商非洲藍的 Way Beyond 案例

問題	解決方案 (FarmRoad 管理)	結果
• 手動數據收集 • 需要檢索的孤立氣候和植物健康數據 • 做出關鍵決策需要親自造訪農場 • 缺乏霜凍風險能見度 • 管理濕度水平以降低疾病風險	• 感測器網絡，捕獲溫度、濕度、PAR、RAD、氣壓和二氧化碳水平 • 作物登記及偵察 • 作物管理軟體 • 數據視覺化和分析 • 活動動態 • 即時警報	• 連續數位資料採 • 即時存取所有農場的氣候和植物健康數據 • 遠端改善作物管理決策 • 預測霜凍風險 • 限制病蟲害爆發集

資料來源：作者自行整理

使用數位農學（基於感測器網路、數據採集應用程式和線上平臺組成的 FarmRoad 系統）在正確的時間向正確的人提供正確的數據，Way Beyond 成功解決 4 個常見種植者問題，值得借鑑：

1. 提供以圖表和熱圖形式視覺化的連續植物和溫度資料，以顯示溫室中的熱區，並可以採取措施解決問題。
2. 避免導致疫情氣候條件，降低疾病爆發的風險
 - （1）像灰黴病（botrytis）這樣基於孢子的疾病需要長時間的高濕度（超過 90% RH）以及攝氏 13 至 23 度的中等溫度才能茁壯成長。一旦滿足這些條件，孢子就會發芽，大約需要兩週才能在植物上可見。
 - （2）利用濕度和氣溫數據，可以找出問題所在。此外，警報通知被配置為在氣候條件有利於該疾病時觸發，為種植者提供早期預警和採取糾正行動的機會，使他們可以主動（proactive）而不是被動（reactive）應對問題。

3. 在正確的時間遠端部署資源

使用 FarmRoad 設定警報，以在溫度降至霜凍風險等級時觸發通知，他們可以確保及時啟動加熱和通風以保護農作物，而無需往返農場。可節省許多工時、不必要的移動時間和燃料消耗。

4. 多個地點的農場績效缺乏可見性

- （1）利用數位農藝學，能夠持續監控多個農場，視覺化這些地點的氣候數據，並將這些數據提供給農場管理者和其他人，使更了解農場運作的生產力。
- （2）如今，可以親眼看到農場的概況，而不是多次打電話給多位農場經理詢問最新情況。既獲得更快、更準確的信息，又節省時間。

（二）政策推動與投資增加

全球各國政府都認識到智慧農業的重要性，紛紛制定政策支持其發展。例如：

- 我國於 2017 年起推動智慧農業計畫，以十大領航產業為範疇，並自 2023 年推動「智慧農業躍升普及計畫」，以建構產業生態系落實智農研發成果應用。¹¹
- 歐盟推出「共同農業政策」(Common Agricultural Policy, CAP) 改革，鼓勵農民採用數位技術和永續農業實踐。
- 美國農業部 (U.S. Department of Agriculture, USDA) 積極推動農業科技創新，並提供資金支持研究與開發。
- 中國將智慧農業納入國家發展戰略，大力推進農業資訊化、智慧化建設，並提供大量補貼和支持。
- 印度也正推動數位農業，旨在利用科技提升農業生產效率和農民收入。

同時，全球對智慧農業的投資也在穩步成長。不僅傳統農業企業和科技巨頭紛紛進入該領域，新興的農業科技新創公司也如雨後春筍般湧現，吸引大量風險投資。表明智慧農業已成為全球資本市場關注的熱點。

（三）永續發展與環境保護導向

智慧農業的發展不僅追求經濟效益，也高度重視永續發展和環境保護。透過精準農業技術，可以實現水資源、肥料和農藥的精準投放，減少過度使用帶來的環境污染。例如，透過土壤檢測和作物生長模型，可以精確計算作物所需的養分量，避免肥料浪費和徑流污染。同時，智慧農業還有助於監測和預防病蟲害，減少農藥使用。這些都有助於保護土壤健康、水體清潔和生物多樣性，符合聯合國永續發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGs) 的要求。因此，智慧農業是提高農業獲利能力和經濟、環境和社會永續性的必要典範。

（四）供應鏈整合與數據共享

智慧農業的發展趨向於整合農業生產、加工、物流和銷售的整個供應鏈。透過數據共享和平臺協作，可以實現從田間到餐桌的全程追溯性，提升食品安全水準。同時，生產者可以根據市場需求實時調整生產計畫，減少庫存和浪費，提高農產品的流通效率和附加價值。在國內的應用實例中，智慧農業「共通資訊平臺」，彙整有機、產銷履歷、臺灣優良農產品 (CAS) 標章及生產追溯農產品 QR Code 等三章一 Q 溯源資料，提供全臺超過 3,000 所國中小學的午餐秘書，透過教育部「校園食材登錄平臺」進行登錄使用，有效協助追蹤各項農產品從產地到校園

¹¹ 農業部 (2024)，〈推動「智慧韌性 永續安心」－農業政策行動策略〉，下載日期：2025.7.10，網址：<https://www.moa.gov.tw/ws.php?id=2515553>。

的流向與過程。¹²

（五）國合會在智慧農業方面的國際合作實例

臺灣透過財團法人國際合作發展基金會（國合會）在智慧農業領域的國際合作，致力於協助夥伴國家提升農業技術，並落實南南合作的精神。以下透過三個案例，說明臺灣如何協助在地推展智慧農業：

1. 泰國：應用智慧農業系統提升園藝作物栽培能力¹³

國合會與泰國皇家計畫基金會合作，透過駐泰國技術團，協助泰國導入智慧農業系統。該計畫設立 10 座智慧農業系統溫室及露天栽培示範場域，並針對甜瓜、小番茄等作物進行栽培試驗。計畫成果顯示，相較於傳統農法，智慧農業栽培模式的產值增加 10%，化學農藥用量減少 15%，達到提升農民收入與環境永續的雙贏目標。

2. 吐瓦魯：協助智慧農業落地¹⁴

國合會駐吐瓦魯技術團成功爭取歐盟資金，推動「智慧農業科技導入計畫」。該計畫將在當地設立立體農場示範區，引進智慧精準灌溉控制系統與立體栽培設施，以生產萵苣等生菜，增加在地蔬菜產量，改善當地居民的健康與糧食安全。

3. 聖克里斯多福及尼維斯：因應氣候變異調適能力提升¹⁵

國合會執行「農業因應氣候變異調適能力提升計畫」，以應對該國 2015 年嚴重旱災造成的農業衝擊。該計畫旨在提升當地農業的氣候變異應變能力，建立 4 座農業氣象站，並開發農業資訊整合平臺與災害防減技術，協助農民降低因氣候變異造成的損失。

從以上案例可見，國合會推展智慧農業國際合作的核心精神在於技術分享與能力建構。這些合作不僅僅是提供硬體設備，更重要的是因地制宜地將臺灣的經驗與技術傳授給夥伴國家，讓他們能夠獨立自主地運用智慧科技解決農業問題。這種不求回報的分享精神，正是南南合作的核心體現，透過共同努力，促進開發中國家間的相互支持與永續發展。

¹² 農業部（2023）。〈共通資訊平臺，數位分身搖籃，開創臺灣農業新風潮〉。第一期智慧農業綱要計畫亮點專輯，下載日期：2025.7.10，網址：<https://agtech.moa.gov.tw/ReadFile/?p=Topic&n=a4bcea88-60d2-499e-b084-547c67705562.pdf>。

¹³ 國合會（2025）。〈泰國應用智慧農業系統提升園藝作物栽培能力計畫〉。國合會官方網站，下載日期：2025.8.19，網址：<https://www.icdf.org.tw/wSite/ct?xItem=70802&ctNode=31284&mp=1>。

¹⁴ 國合會（2025）。〈臺歐攜手—國合會協助智慧農業落地吐瓦魯〉。國合會官方網站，下載日期：2025.8.19，網址：<https://www.icdf.org.tw/wSite/ct?xItem=73559&ctNode=31381&mp=1>。

¹⁵ 國合會（2022）。〈聖克里斯多福及尼維斯農業因應氣候變異調適能力提升計畫〉。國合會官方網站，下載日期：2025.8.19，網址：<https://www.icdf.org.tw/wSite/ct?xItem=47766&ctNode=31290&mp=2>。

三、開發中國家的機會

對於開發中國家而言，智慧農業的崛起帶來前所未有的發展機會，有望解決其長期以來所面臨糧食安全、農民收入低下和永續發展等問題：

（一）提升糧食生產效率，保障糧食安全

開發中國家普遍面臨糧食生產效率低下的問題，這直接威脅到國家糧食安全。智慧農業可以透過精準監測、數據分析和自動化操作，顯著提高作物產量和品質。例如，精準灌溉技術可以節約大量水資源，同時確保作物獲得適量的水分，提高抗旱能力；病蟲害的早期預警和精準施藥可以有效控制病害蔓延，減少作物損失。這對於長期受飢餓困擾的地區來說，意義重大。

（二）提高農民收入，改善生計

智慧農業不僅能提高產量，還能透過優化資源利用、降低生產成本以提升農民的經濟效益。精準施肥（藥）可以減少投入，機器人技術和自動化可以降低勞動成本。此外，透過智慧農業平臺，農民可以更及時地獲取市場資訊，了解消費者需求，調整生產策略，甚至直接參與到供應鏈中，獲得更高的議價能力和利潤空間。這對於改善開發中國家廣大農民生計，減少貧困具有直接而積極的影響。

（三）促進永續農業發展，應對氣候變遷

開發中國家往往是氣候變遷的受害者，極端天氣事件對農業生產造成巨大衝擊。智慧農業能夠提供更精準的氣候預測和災害預警，幫助農民提前做好防範措施。同時，精準農業實踐有助於減少農業生產對環境的負面影響，如減少溫室氣體排放、降低肥料和農藥徑流污染、保護土壤健康，實現農業生產的永續發展，符合全球應對氣候變遷的趨勢。

（四）減少勞動力流失，吸引年輕人回歸農業

許多開發中國家面臨農村勞動力向城市大量流失的問題，導致農業生產力下降和農村空洞化。智慧農業的應用可以降低農業勞動的強度和枯燥性，提高工作效率和科技含量，使農業成為更具吸引力的產業。特別是對於年輕一代，科技的融入可以激發他們對農業的興趣，吸引他們回到鄉村，為農業發展注入新的活力。

（五）促進區域平衡發展，縮小城鄉差距

智慧農業的推廣有助於提升農村地區的技術水平和基礎設施建設，例如網路覆蓋、電力供應等。這將有助於縮小城鄉之間的發展差距，促進區域平衡發展。同時，農業的數位化轉型也為農村地區帶來新的商業模式和創業機會，例如農業技術服務、農產品電商等，進一步帶動農村經濟的多元化發展。

四、開發中國家的挑戰

儘管智慧農業為開發中國家帶來巨大的機會，但其推廣和應用也面臨著一系列嚴峻的挑戰：

（一）基礎設施薄弱

- 1. 網路連結不足：**智慧農業高度依賴穩定的網路連結，特別是偏遠農村地區。許多開發中國家農村地區的網路基礎設施極其薄弱，甚至沒有電力供應，這嚴重阻礙物聯網感測器數據的傳輸和雲端平臺的應用。
- 2. 電力供應不穩：**智慧農業設備通常需要穩定可靠的電力供應，而許多開發中國家的農村電網不完善，停電頻繁，這對依賴電力的智能設備運行構成挑戰。
- 3. 交通運輸困難：**農業機械和設備的運輸、維護和售後服務都需要良好的交通基礎設施，而偏遠地區的交通往往不便，增加部署和維護成本。

（二）技術與知識門檻

- 1. 技術易取用性低：**智慧農業技術，特別是高端設備，價格昂貴，對開發中國家的農民而言難以負擔。此外，技術的本土化和適應性也需時間，不同地區的氣候、土壤、作物類型差異大，需要客製化的解決方案。
- 2. 專業人才匱乏：**智慧農業需要具備資訊科技、農業科學、數據分析等多學科知識的複合型人才。開發中國家普遍缺乏這類專業人才，農民對新技術的理解和應用能力也普遍較低，培訓體系不完善。
- 3. 數據共享與互操作性問題：**即使數據被收集，也可能存在數據標準不統一、平臺間無法互通等問題，阻礙數據的有效利用和價值的最大化。

（三）資金匱乏與融資困難

- 1. 高昂的初始投資：**導入智慧農業系統，包括感測器、自動化設備、軟體平臺等，需要巨大的初始投資，這對於普遍經濟狀況較差的農民來說是沉重負擔。
- 2. 缺乏信貸支持：**傳統金融機構對農業貸款態度保守，特別是高科技農業的風險評估缺乏經驗，導致農民難以獲得必要的資金支持。
- 3. 投資回報期長：**農業投資的回收週期相對較長，可能影響投資者的積極性，也增加農民承擔風險的壓力。

（四）政策法規與社會文化因素

- 1. 政策支持不足：**儘管一些國家開始關注智慧農業，但許多開發中國家缺乏系統性的政策支持，包括財政補貼、技術標準、土地流轉政策、數據隱私保護等。

2. **小農經濟與土地碎片化**：許多開發中國家以小農經濟為主，土地碎片化嚴重，難以實現規模化經營，使得智慧農業設備的投入產出效益難以顯現。
3. **文化與習慣阻力**：農民長期以來習慣傳統耕作方式，對新技術可能存在抵觸情緒，對數據驅動的農業生產方式缺乏信任，改變其生產習慣需要時間和耐心。
4. **數據隱私與安全**：隨著農業數據的累積，數據的擁有權、使用權、隱私保護和網路安全問題日益突出，相關法規和監管體系尚未健全。

（五）市場與供應鏈挑戰

1. **農產品銷售管道**：即使提高產量和品質，如果農產品銷售管道不暢，市場資訊不對稱，農民仍然難以獲得合理利潤。
2. **價值鏈整合程度低**：智慧農業的價值需要透過整個供應鏈的整合來實現，但開發中國家的農業價值鏈普遍整合度不高，中間環節多，損耗大。

五、建議與展望

面對上述挑戰，開發中國家在發展智慧農業時應採取多方面、協同的策略：

（一）加強基礎設施建設

1. **優先發展農村數位基礎設施**：政府應加大對農村地區網路和電力基礎設施的投資，鼓勵電信運營商將服務延伸至偏遠地區，並探索如衛星網路、太陽能供電等替代方案。
2. **完善農村交通物流網路**：改善農村公路網，為農業機械的運輸和農產品的流通提供便利，降低物流成本。

（二）提升技術易取用性與人才培養

1. **推動本土化研發與適用技術轉移**：鼓勵科研機構和企業開發適合當地氣候、土壤和經濟條件的智慧農業技術，降低技術成本，並注重技術的簡易性和易用性。尤其，政府可鼓勵研發適用小農更具價格優勢之感測器與應用軟體，掌握自主技術及智慧農業發展。透過國際合作引進成熟技術，並進行本土化改造。
2. **建立健全的農業科技推廣體系**：透過農業院校、研究機構、推廣站等平臺，提供針對農民的智慧農業技術訓練，包括操作技能、數據分析、故障排除等。鼓勵「農業科技示範場域」和「農業科技園區」的建設。
3. **培養複合型人才**：鼓勵高校和職業學校開設智慧農業相關專業，培養既懂農業又懂資訊技術的複合型人才，為智慧農業發展提供智力支持。

（三）創新融資模式

1. **設立智慧農業專項基金：**政府可設立或引導設立智慧農業發展專項基金，提供低息貸款、擔保或直接補貼，降低農民和企業的投資門檻。
2. **鼓勵普惠金融（Financial Inclusion）發展：**鼓勵金融機構為小農提供小額信貸、政策性農業保險，探索基於數據的信用評估模型，降低貸款風險。
3. **吸引社會資本：**創造良好的投資環境，吸引國內外企業、風險投資基金等社會資本進入智慧農業領域，鼓勵公私合作（Public-Private Partnership, PPP）模式。

（四）完善政策法規與營造良好環境

1. **制定智慧農業發展策略與規劃：**將智慧農業納入國家和地方的發展策略，明確發展目標、優先領域和支持政策。
2. **健全土地流轉政策：**鼓勵土地流轉和規模化經營，為智慧農業設備的高效利用創造條件，同時要保障農民的合法權益。
3. **建立農業數據標準和共享機制：**制定統一的農業數據標準，確保數據的互操作性；建立數據共享平臺，在保障數據安全和農民隱私的前提下，鼓勵數據的合理利用。
4. **完善法規和標準：**針對農業機械人、無人機、農業大數據應用等制定相關法規和技術標準，確保技術應用的安全和規範。
5. **加強國際合作：**積極參與全球智慧農業合作項目，學習先進經驗，引進技術和資金。

（五）促進產業鏈整合與模式創新

1. **鼓勵農業產業化生態系運作：**透過基石者企業帶動小農戶，融入智農科技利基者與政府學研促進者的助力，建立「公司＋農戶」採合作社或聯盟方式等合作模式，共同導入智慧農業技術，實現規模效益。
2. **發展農產品電商與供應鏈溯源體系：**透過線上平臺擴大農產品銷售管道，利用區塊鏈等技術建立農產品溯源體系，提升品牌價值。
3. **推廣「農場即服務」（Farm as a Service, FaaS）模式：**將雲端運算和服務（農場管理、設備租賃、數據分析等）導向架構的原則應用於農業領域，降低農民採購智慧農業設備的門檻，透過服務租賃模式，讓農民可以按需使用先進設備，避免一次性高額投入或承擔過多的運營成本。

（六）善用臺灣技術或知識並與多邊援助機構合作推動智慧農業

智慧農業是開發中國家提升農業生產力、確保糧食安全和應對氣候變遷挑戰的重要途徑。多邊援助機構在全球扮演關鍵角色，而臺灣則在智慧農業技術方面具備豐富經驗，能為開發中國家提供實質幫助。

1. 臺灣扮演技術與知識提供者的角色

臺灣在農業發展上累積豐富經驗，特別是近年來在智慧農業領域的突破，使其具備成為開發中國家重要夥伴的潛力。

- (1) **氣候適應型農業技術**：臺灣地狹人稠，農業技術已發展出高效、精準、節約資源的特色。例如，在水資源管理方面，臺灣的智慧灌溉系統能根據土壤濕度和氣象預報，精準控制灌溉量，這對缺水的開發中國家非常有價值。此外，臺灣在溫室控制、病蟲害預警系統等方面也具備成熟技術，能幫助開發中國家應對氣候變遷。
- (2) **數位化與數據應用**：臺灣的農業資訊系統整合生產、物流、銷售等環節，並透過大數據分析來優化決策。臺灣可以分享這些經驗，協助開發中國家建立自己的農業大數據平臺，讓農民能更有效地掌握市場資訊，提升收益。
- (3) **客製化解決方案**：臺灣的農業技術並非一體適用。臺灣可以根據不同開發中國家的獨特氣候、土壤和社會文化條件，提供客製化的智慧農業解決方案。例如，為熱帶地區開發耐熱的智慧溫室系統，或為缺乏電力的偏遠地區設計太陽能供電的感測器。
- (4) **人才訓練與技術轉移**：臺灣可以與多邊援助機構合作，共同開辦智慧農業訓練課程，邀請開發中國家的農業技術人員和農民來臺學習。透過實地參訪與實作，讓他們不僅學到技術，更能理解臺灣的農業經營模式。此外，臺灣也能派遣專家前往當地，進行技術轉移與輔導，確保技術能順利落地。

2. 開發中國家與多邊援助機構的合作策略

開發中國家若想有效與世界銀行、亞洲開發銀行（Asian Development Bank, ADB）等多邊援助機構合作，推動智慧農業，可從以下幾個面向著手：

- (1) **明確的需求評估與專案規劃**：首先，開發中國家需對自身的農業現況進行徹底分析，釐清面臨的具體挑戰，例如水資源短缺、病蟲害問題或勞動力老化。接著，根據這些需求制定切實可行的智慧農業專案計畫，例如導入智慧灌溉系統或建立農產品溯源平臺。專案計畫應包含明確的目標、預期成果、預算分配和執行時間表，以利於向援助機構提案。
- (2) **強化公私部門夥伴關係（PPP）**：多邊援助機構越來越傾向於支持結合公私部門資源的專案。開發中國家可以鼓勵本國的農業科技公司、新創企業參與智慧農業專案，共同向援助機構爭取資金。這不僅能確保技術的永續性，也能為當地創造就業機會。
- (3) **能力建構與知識分享**：除了硬體設備，軟體層面的能力建構同樣重要。開發中國家應與援助機構合作，為農民和相關政府官員提供訓練，使其了解如何操作和維護智慧農業設備，並分析數據。這能確保專案成果能長久發揮效益，而非曇花一現。
- (4) **示範專案與規模化推廣**：可以先從小規模的示範專案開始，證明智慧農業技術的有效性與經濟效益。一旦專案成功，便能以此為範例，向援助機構爭取更多資源，將技術推廣到全國，達到更大的影響力。

總之，開發中國家可以主動與多邊援助機構建立合作關係，而臺灣則能以其獨特的技術和經驗，扮演重要的技術與知識提供者角色。這種三方合作模式能有效地將資金、技術和在地需求結合，為全球糧食安全和永續發展做出貢獻。

六、結論

智慧農業是未來農業發展的必然趨勢，它將重塑農業生產方式，提升糧食安全水準，並為永續發展做出貢獻。對於開發中國家而言，智慧農業既是解決長期發展困境的重大機遇，也帶來基礎設施、技術、資金、人才和政策等方面的嚴峻挑戰。然而，只要開發中國家能夠正視挑戰，並採取積極有效的應對策略，包括加強基礎設施建設、提升技術易取用性、創新融資模式、完善政策法規，以及促進產業鏈整合，就有望抓住智慧農業的發展浪潮，實現農業的現代化轉型，最終改善農民生計，保障國家糧食安全，並實現更具韌性和永續的發展。這不僅需要政府的引導和支持，也需要科技企業、科研機構、金融部門和農民本身的共同參與和協作，共同開啟農業發展的新篇章。