

數位轉型促進綠色經濟發展之探討 —以農業為例

汪震亞*

壹、研究緣起與目的

貳、糧食安全問題

參、數位科技在農業生產的應用

肆、農業數位轉型推動政策

伍、結論與政策建議

摘 要

面對氣候變遷挑戰、勞動人口結構高齡化與疫情衝擊的新情勢，農業部門積極導入新興數位科技，推動農業的數位與綠色轉型，改善糧食供應鏈應對風險的能力，為農業部門治理提供新的機遇，並降低耕種行為對環境與生態的衝擊，進而實現「永續發展」目標。土地退化與荒漠化、氣候變遷、生質能源需求增長、新興經濟體所得提高、貿易管制政策與地緣政治風險等因素，導致農產品供需平衡的脆弱性。除此之外，COVID-19 爆發後所經歷的供應鏈混亂與糧食危機，更加促使各國政府重視科技研發與應用，減緩糧食供給壓力並改善環境、社會與經濟永續性。隨著由物聯網、5G 網絡、雲端運算、大數據、人工智能、區塊鏈、計算能力等數位工具組成的生態系統，使各種新興科技可以相互操作與補充，農業也迅速受到這一波「數位轉型」浪潮的波及，導入最新科技研發成果以促進農糧綠色經濟之發展，各國政府也通過公共政策加速推動前沿科技與傳統農業相結合。本文將針對造成全球糧食安全問題的主要原因、各種新興科技如何推動農業數位化創新，以及國內外政府推動智能農業的政策進行分析。

*作者為經濟發展處專員。本文係筆者個人觀點，不代表國發會意見，若有疏漏之處當屬筆者之責。

A study on the Efficacy of Digital Transformation in Green Economy – Taking Agriculture for Example

Chen-Ya Wang

Specialist

Economic Research Department, NDC

Abstract

The agricultural sector is actively absorbing emerging digital technology to facilitate digital and green transformation to adapt to the new situation of climate change, aging labor force and the impact of the pandemic. By improving the resilience of food supply chains, digital technology is providing new opportunities for agricultural sectors to reduce the negative impact of farming practices on the environment as well as ecosystem, and further achieve the goal of “sustainable development”. Negative factors such as land degradation & desertification, climate, growing demand for bioenergy, rising income in emerging markets, trade control policies and geopolitical risks, have contributed to the fragile balance between supply and demand for agricultural products. Besides, the supply chain disruption and food crisis after the COVID-19 outbreak have prompted governments around the world to pay more attention to R&D and application of science and technology to alleviate the pressure on food supply, and improve sustainability of environment, society, and economy. With ecosystem consisting of internet of things, 5G networks, cloud computing, big data, artificial intelligence, blockchain, and computing power, emerging technologies can interoperate complement each other. Agriculture is also rapidly affected by the wave of “digital transformation”. A variety of latest technological research and development results is introduced to facilitate development of agri-food green economy. In the meantime, governments around the world are accelerating the integration of cutting-edge technologies with traditional agriculture through public policies. This article is going to focus on the main causes of global food security problems, cases of various emerging technologies driving digital innovation in agriculture, and public policies promoting smart agriculture domestic and abroad.

壹、研究緣起與目的

根據聯合國環境規劃署(United Nations Environment Programme, UNEP)¹的定義，「綠色經濟」(green economy)意指改善人類福祉與社會平等的同時，顯著降低環境風險與生態匱乏的成果，可以簡單地理解為低碳、資源效率與社會包容性。在綠色經濟當中，所得與就業的成長應該由減少碳排放與汙染、加強能源與資源效率，並防止生態多樣性與生態系服務的公共與民間投資所驅動，以實現「永續發展」(sustainable development)目標。OECD (2019b)認為，晚近數位科技創新在農業部門的應用，為農業部門的治理提供新的機遇，以提高生產力、控管風險以及改善環境、社會與經濟永續性。

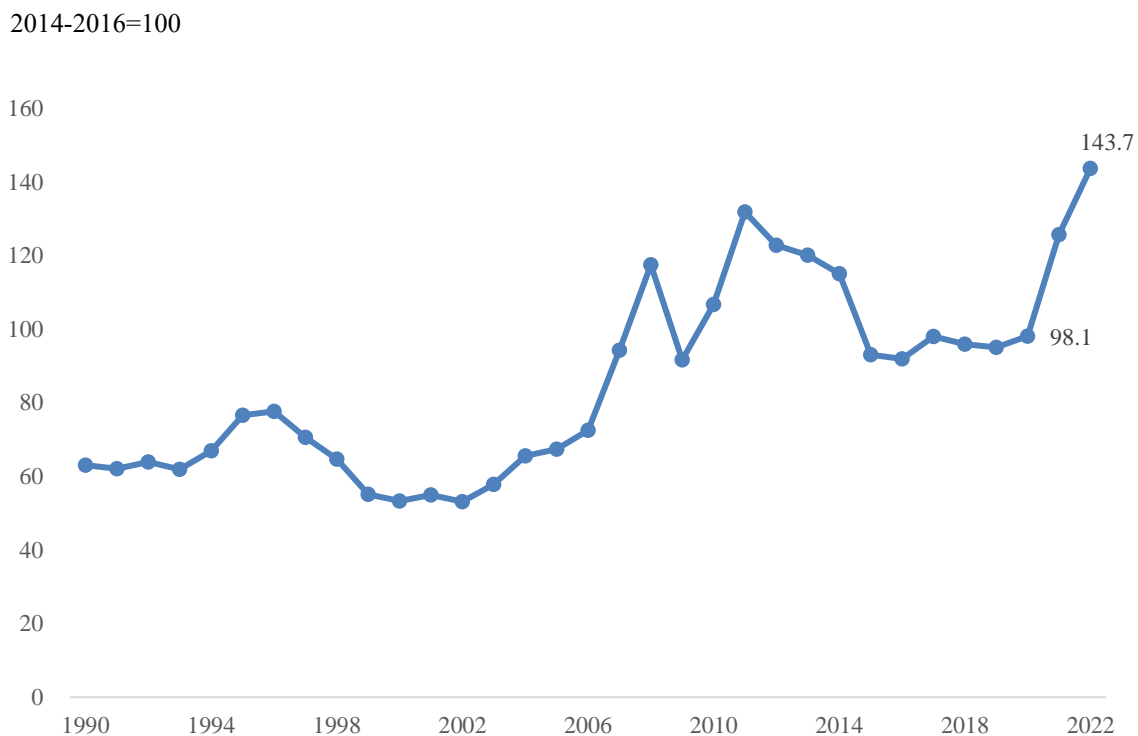
「氣候智慧型農業」(climate smart agricultural, CSA)是綠色經濟當中特別重要的一環，除了對抗全球氣候變遷，也關乎民眾基本生計議題。考量人口結構的漸進式變化，所帶來可預見的農村人口老化與農業勞動人口減少等課題，以及氣候變遷趨勢下，極端異常氣候可能擾亂農產品的生產與運輸，導致農業市場產出與品質更加不穩定，市場在重大衝擊下可能無法通過價格機制平衡供給與需求(Mbow et al., 2020)。然而，2020年新冠肺炎(COVID-19)的爆發，迅速擴散的疫情嚴重衝擊全球市場秩序，除了民眾直接遭受感染以致遭受身體健康危害之外，主要國家陸續實施嚴格的封鎖(lockdown)或社交距離(social distance)措施，許多重要港口發生嚴重的壅塞情勢，引發缺工、停產與物流中斷等現象。與製造業相比，對於高度依賴人力生產、產值相對偏低且不易保存的農產品而言，供需失調的全球經貿活動所帶來的挑戰更為艱鉅，供應鏈當中採收、加工處理、儲藏與配銷等每一個環節的脆弱性與缺失被層層凸顯，使農業數位轉型的需求益發迫切。

綜上所述，面對氣候變遷挑戰與疫情衝擊的新情勢，如何在疫後重建與供應鏈調整的同時，也積極推動農業的數位與綠色轉型，透過科技的研發與應用，以糧食供應鏈改善應對風險的能力，降低對體力勞動投入的需求，並為農業帶來新的競爭優勢與發展機會，減緩糧食供給的壓力並為實現「淨零排放」目標做出貢獻，實為多數國家極其重視的課題，爰本研究將著重於探討國內外推動農業數位轉型的政策與發展現況。

¹ <https://www.unep.org/regions/asia-and-pacific/regional-initiatives/supporting-resource-efficiency/green-economy>。

貳、糧食安全問題

與氣候變遷、土壤劣化及生物多樣性損失有關的環境壓力，傳染病、勞動短缺、貿易政策及地緣政治衝突帶來的供應鏈瓶頸，使得「糧食安全」(food security)問題不再只是貧窮國家或局部地區的問題，而必須受到世界各國的高度重視。由 FAO、(World Food Programme, WFP)與歐盟共同發布的《2022 年全球糧食危機報告》顯示，2021 年全球約有 7.02 億至 8.28 億人面臨飢餓問題，相對於 COVID-19 疫情爆發前增加了 1.5 億人，營養不良發生率²從 2019 年的 8.0%躍升至 2020 年的 9.3%，FAO 糧食價格指數(FAO Food Price Index, FFPI)亦從 2020 年的 98.1，迅速攀升至 2022 年 143.7 的歷史新高 (詳見圖 1)。



資料來源：FAO (<https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/>)，2023 年 1 月 30 日下載。

圖 1 FAO 糧食價格指數

「糧食安全」最廣泛被使用的定義，源自聯合國糧食及農業組織(Food and Agriculture Organization, FAO) 在 1996 年世界糧食高峰會(World Food

² 「營養不良發生率」(Prevalence of undernourishment)為聯合國永續發展目標(Sustainable Development Goals)第 2.1.2 項指標，定義為全年無法獲得足夠的食物滿足每日最低膳食能量需求的人口占比。

Summit)所提：「糧食安全存在於當所有人在任何時間，都能在物質上、社會上與經濟上，獲得充足、安全且營養的時候，以滿足他們的飲食需求與糧食偏好，維持有活力且健康的生活」，政策制定者與研究者主要關注於糧食安全的供應(availability)、取得(access)、利用(utility)與滿足(stability)等 4 個面向(詳見表 1)：

表 1 「糧食安全」四大面向

面向	說明
供應	有足夠數量的食物可提供給全體人口。
取得	每個人都能在經濟上與實體上獲取被供應的熱量。
利用	每個人都能將適當的飲食轉換為健康的結果，需要足夠的衛生設施與適當的食物準備。
穩定	上述所有條件必須在任何時間點都能滿足。

資料來源：Tandon et al. (2017)

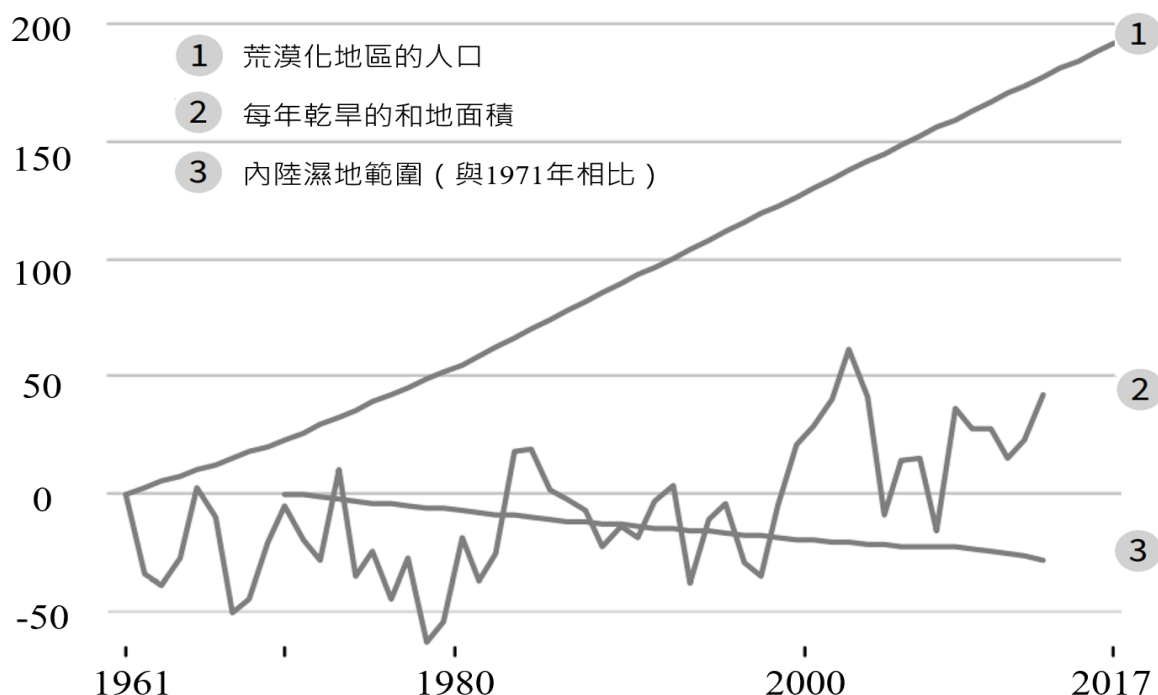
若糧食供需失衡現象未能獲得緩解，糧價持續上漲恐引起許多國家與地區通膨壓力，以及政治與社會穩定上的不確定因素。國際主要糧食價格持續上揚，反映農產品供應鏈的脆弱與風險，茲將其主要成因說明如下。

一、土地退化與荒漠化

政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)在《氣候變遷下與土地特別報告》當中，將「土地退化」(land degradation)定義為直接或間接人為因素所導致的土地條件負面趨勢，以致土地生產力下降、管理成本提高。由於農業生產經常涉及長期且大規模的單一品種作物栽植、不當的農藥與肥料使用與過度灌溉，造成土壤有機質、養分與礦物質流失，因此農業是導致土地退化的主要部門。

如果是發生在乾旱、半乾旱與亞濕潤乾旱地區的土地退化，則稱為「荒漠化」(desertification)，不可持續的農業活動與其他土地管理實務，所帶來的地表植被覆蓋減少與地下水枯竭，提高水分蒸散量並降低降水量，導致耕地面積減少與產出大幅降低，加劇糧食供應系統的脆弱性。據 IPCC (2019) 估計，地球上無冰陸地約有四分之一的表面受人為因素影響而退化，農田土壤侵蝕速率是土壤形成速率的 10-20 倍，2015 年約有 5 億人生活的地區，在 1980-2000 年間經歷過荒漠化(詳見圖 2)。

與1961年相比的變化(%)



資料來源：IPCC (2019)。

圖 2 土地退化與荒漠化相關指標

二、氣候變遷

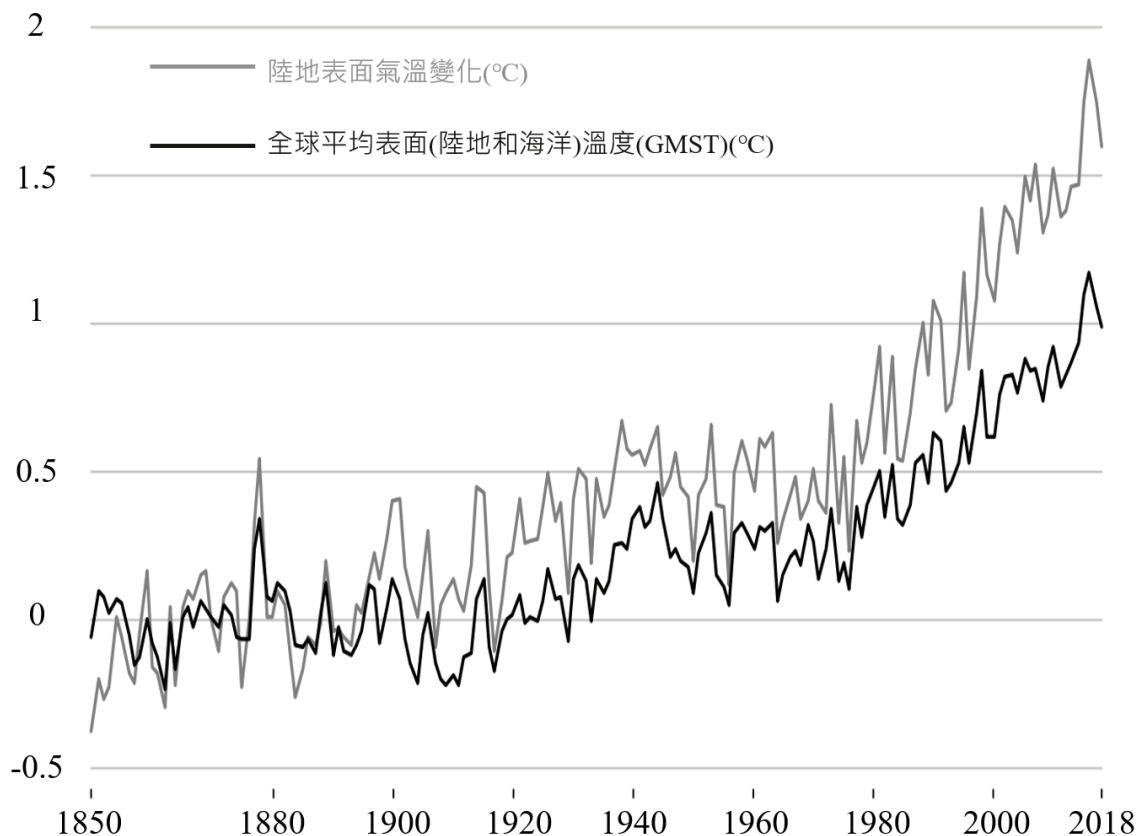
與前工業化時期(1850-1900 年)相比，當前(1999-2018 年)觀測到的地面(陸地與海洋)平均氣溫升高了 0.87°C ，而平均陸地表面氣溫增加了 1.53°C ，亦即地面平均氣溫上升幅度幾乎是全球平均地面平均地表溫度上升幅度的兩倍 (詳見圖 3)。在此過程當中，農業是最容易受到影響的部門，無論是短期極端天氣事件的頻率與強度增加，或溫度與降水等長期氣候模式的轉變 (Adams, Benzie, and Sadowski, 2021)。

主要糧食作物當中，稻米雖產自熱帶地區，國際稻米研究所 (IRRI) 指出，水稻植物在開花與成熟階段最為敏感，如果繁殖階段溫度超過 35°C ，或成熟期夜間溫度升高，對水稻產量與穀物品質將有不利影響³，Jägermeyr, Müller, Ruane et al (2021)研究發現，如果放任溫室氣體排放，將使 2030 年玉米產量下降 24%，但主要產自高緯度地區的小麥會有約 17% 的成長。

³ 資料來源：<https://www.irri.org/climate-change-ready-rice>。

儘管氣候變遷可能對不同種類的農作物帶來積極貢獻或負面影響，考量到在全球化貿易時代，農產品產地與消費者通常相距甚遠，即使部分農作物面對氣候變遷相對穩定，或能進一步提高產量，但可能需要以高昂的成本重新分配到各個國家，總體而言氣候變遷為全球糧食安全帶來的風險遠高於機會(Adams et al., 2021)。

與1850-1900年相比的溫度變化(°C)



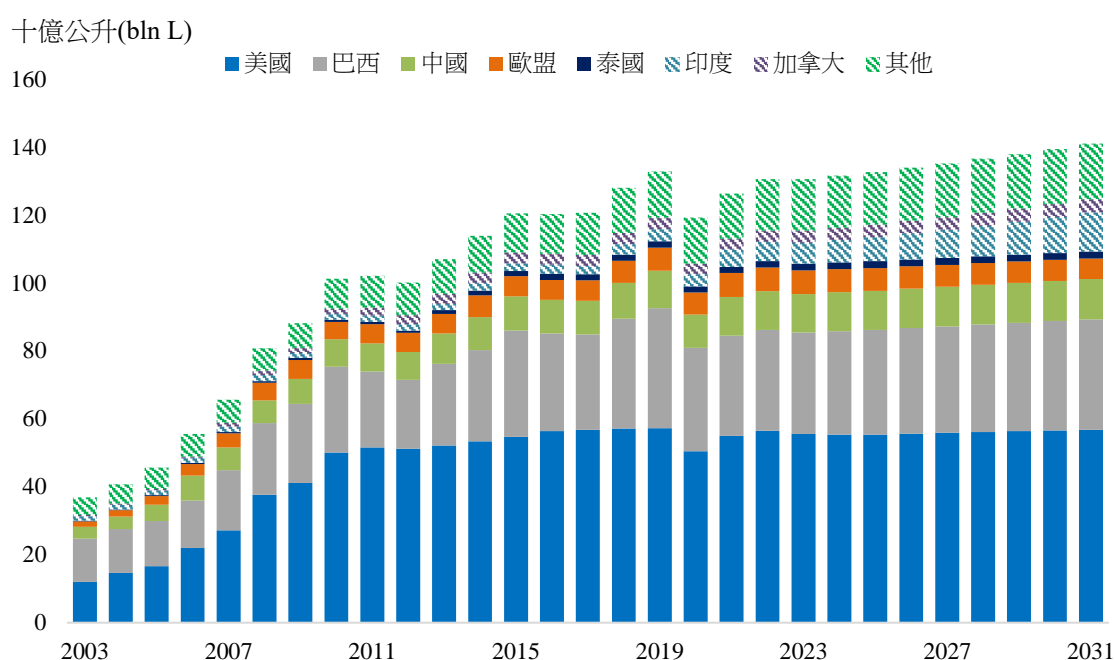
資料來源：IPCC (2019)。

圖 3 與 1850-1990 年相比觀測到的溫度變化

三、生質能源需求增長

由於中東、俄羅斯等產油地區地緣政治風險，導致國際原油價格上漲與供應不穩定問題，使世界各國更進一步體認到必須降低對特定地區能源的依賴，加上為實現淨零減排目標，勢必要逐步淘汰化石燃料，生質能源科技的發展提供了一個可行的解決方案，只要擁有適合種植甘蔗、糖蜜、木薯與玉米等含糖作物的土地資源，即可生產甚至出口相對便宜且清潔的燃料。

惟若採取過於積極的淨零碳排轉型策略，或能源價格上漲使種植生質能源原料作物更加有利可圖，生質能源的大規模使用提高土地的競爭程度，農產品可能出現供需失衡現象，對糧食安全造成嚴重的衝擊，特別是過去依賴石油進口的國家(Cushion, Whiteman and Dieterle, 2010)。雖然主要國家已減少對生質能源所提供的政策激勵，轉而推廣電動車以取代燃油車，生質能源需求量成長預料將有所放緩，開發中國家基於支持農民創造收入與提高能源自主性等政策目標，對發展生質能源仍有強烈需求(詳見圖 4)。

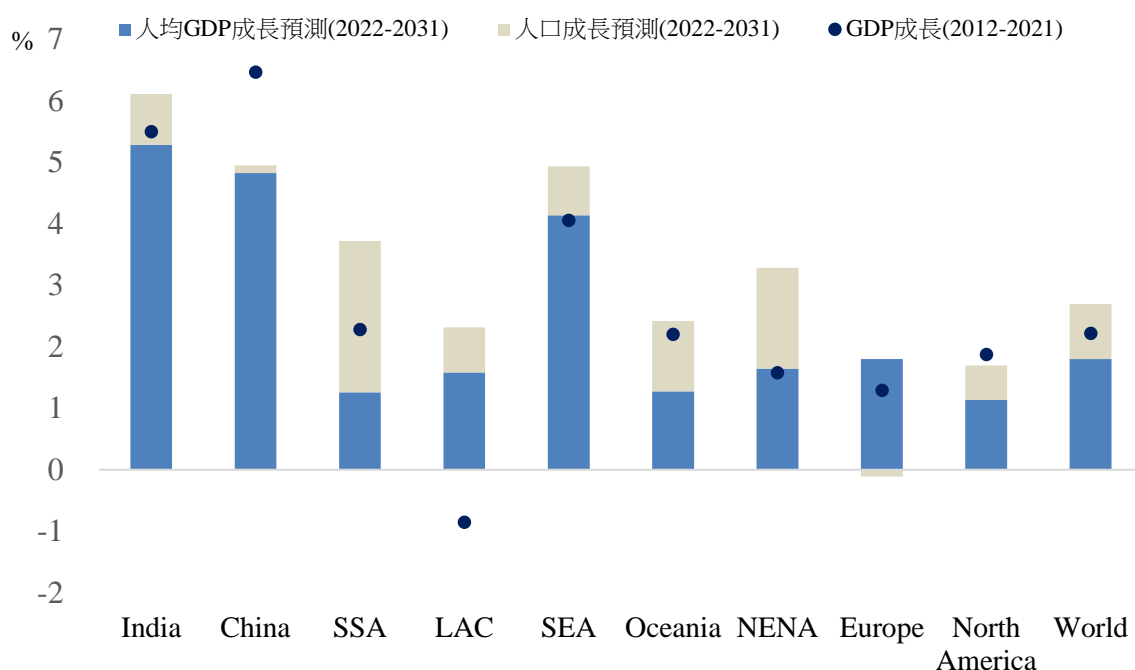


資料來源：OECD/FAO (2022)。

圖 4 全球乙醇消費發展

四、新興經濟體所得提高

亞太與印度等區域的開發中國家所得與人口數量快速發展(詳見圖 5)，民眾消費能力提升帶來飲食模式改變，民眾對健康與永續發展問題的認知不斷強化，都會使未來糧食需求量大幅提升與組成結構趨於複雜，從主食類轉向蔬果、肉、魚類與乳製品，許多人口密度高且成長迅速的國家，已從農產品淨出口轉變成淨進口國 (OECD/FAO, 2022)。供給面部分，經濟發展通常伴隨著城市擴張，住宅與工商用地快速取代耕作用地，以及勞動力從農業轉向工商業、從農村轉向都市，導致務農人口高齡化現象，使能否確保糧食自給能力形成一大挑戰，對城市貧民更易遭受不利影響 (Tandon et al., 2017)。



註：SSA 為次撒哈拉非洲；LAC 為拉丁美洲與加勒比海；SEA 為東南亞；NENA 為中東與北非。
資料來源：OECD/FAO (2022)。

圖 5 2022-2031 年 GDP 與人口成長率

五、貿易管制政策

近年來國際貿易局勢緊張升溫、民族主義與保護主義聲浪高漲，多邊貿易體系式微，當面臨國際糧價高漲與糧食供應不足的疑慮，糧食生產國政府更傾向採取單方面出口稅、配額等貿易障礙以限制出口，糧食進口國亦設法提高糧食自給率與戰備儲糧，以確保本國糧食安全，對全球糧食貿易體系運作產生相當大的影響(林家榮，2014)。2020 年 COVID-19 在全球範圍的大流行，除了疫情防控措施對農產品生產、物流與配銷等環節的直接干擾，各國政府紛紛對糧食與肥料等重要物資採取出口管制，相繼實施限制糧食出口政策⁴，COVID-19 經驗使各國政府更加認知到糧食貿易體系的脆弱性，未來「糧食保護主義」浪潮或將有進一步蔓延之勢。

六、地緣政治風險

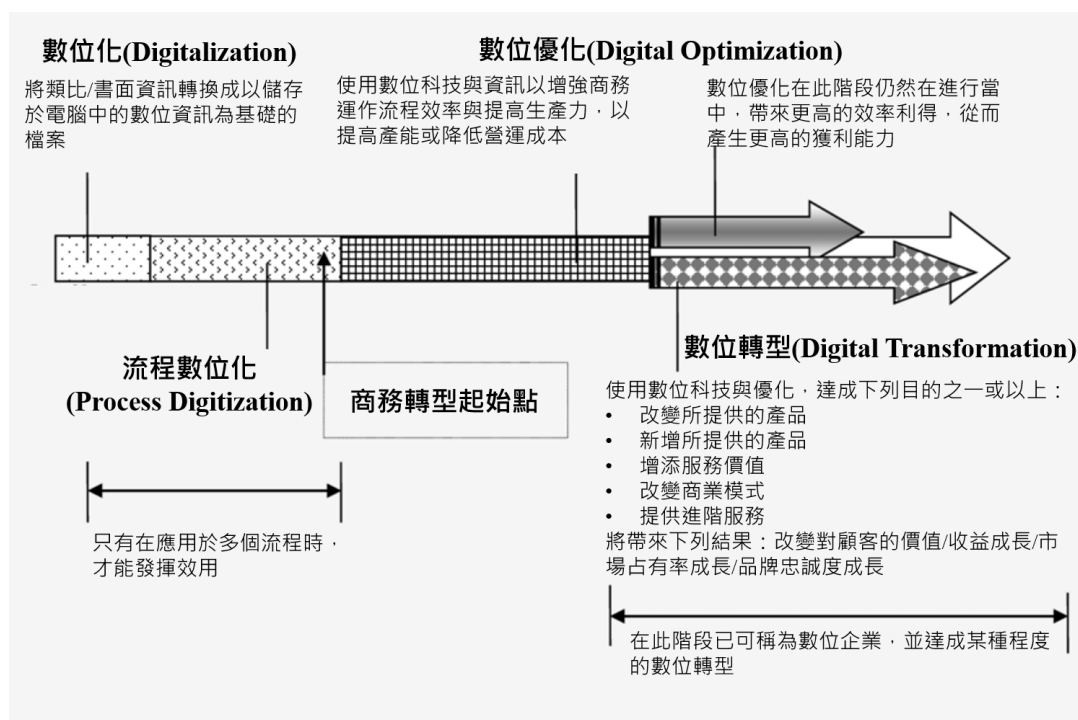
地緣政治衝突熱點地區的國內政治或國際衝突，除了導致當地民眾因無法獲得基本生計與援助而造成人道危機，或逃離家園的民眾在其他國家

⁴ 各國糧食出口限制政策時程與內容，具體可參考 IFPRI, COVID-19 Food Trade Policy Tracker (<https://www.ifpri.org/project/covid-19-food-trade-policy-tracker>)

形成難民群體，對接受難民國家的糧食安全帶來難以預測的挑戰之外，糧食作物的生產、運輸與交易也必然因此受到影響。農業工作人口流離失所或徵召參軍，直接干擾糧食生產季節所必要的人力投入，重要陸運交通管線與水路航運中斷，加以當地國政府或具備實質管轄權力的政治實體通常會對糧食實行配給制，並監控糧食出口，意味著即便本身並未直接涉入地緣政治危機，也仍然會透過糧食價格上漲而遭受間接衝擊。

參、數位科技在農業生產的應用

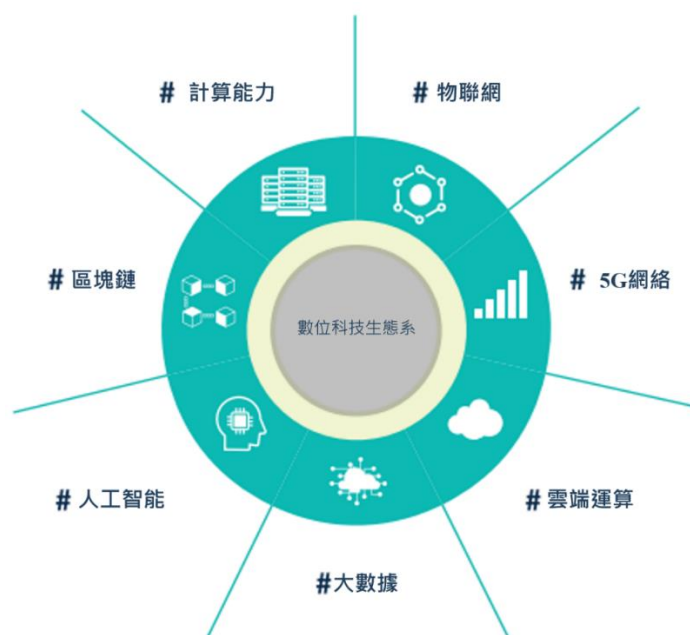
隨著數位科技時代的到來，農業發展走向數位轉型是不可避免的趨勢。一般而言數位科技的應用，由淺入深可以區分為數位化(Digitization)、數位優化(Digital Optimization)與數位轉型(Digital Transformation)三個階段，數位化指初步採用電腦科技，將紙本資料或流程轉換為數位格式，由電腦儲存的階段，例如收集溫濕度、日照、土壤酸鹼值與二氧化碳濃度等數據；數位優化則是應用數位科技與網路互連，改善既有的商業活動，提高效率與生產力，例如以數據分析優化產值與節約中間投入，與建立農產品線上交易平台；數位轉型則是利用數位科技重新塑造商業價值，發展新產品與新市場，例如在室內空間針對目標作物生長需求創造仿生態環境，就近供應當地市場。



資料來源：Lozic (2019)。

圖 6 數位轉型三大階段

隨著由各種數位科技組成的生態系統(詳見圖 7)，使各種新興科技可以相互操作與補充，並不斷推動農業數位化創新。據 OECD (2019a) 統整，數位科技生態系統由七種類型新興科技組成，茲整合 World Bank Group (2021) 與 Asian Development Bank (2021) 對各項技術的說明，以及應用在農業生產領域的發展現況與潛能如下。



資料來源：OECD (2019a)

圖 7 相互依存的數位科技生態系統

一、物聯網

物聯網 (Internet of Things, IoT) 是由短程與遠程通訊設備連結各種功能的感測器 (sensor) 組成大型機對機通訊 (Massive M2M communications)，當設備嵌入感測器後，可持續性、低成本地自動從周圍環境與目標對象蒐集與生成數據資料，並通過無線網路與其他設備相互傳輸，讓裝置對所蒐集到的訊息做出反應，從而使遠端工作設備得以自主運作。IoT 在建立農業與食品巨量資料方面具有巨大的潛力，可通過感測器從環境中蒐集照明、溫濕度、二氧化碳濃度、土壤條件等各種數據，並將測量值發送到雲端，協助農業從業人員在選擇作物，以及水、肥料與殺蟲劑所需數量的決策，減少浪費與提高產量，或在溫室農業依據感測器所提供資訊，控制照明、恆溫的電氣系統。除了專門用以監控農業生產的固定式系統，IoT 結合無人載具 (unmanned

vehicle, UV) 可在大面積的農業生產場域自動執行任務，並進行地理測繪與環境數據蒐集，上傳至雲端平台進行分析，產製報表輔助農業從業人員或顧問團隊進行決策，提前預測農作物的產量與品質(Musker, 2019; Chailimov, 2020)。

二、5G 網絡

5G 網絡全稱「第五代行動通訊技術」(5th generation mobile networks)，根據聯合國國際電信聯盟 (International Telecommunication Union, ITU) 所設定國際行動通訊-2020 (IMT-2020) 發展目標，5G 網絡可提供高達 20Gbps 的傳輸速率，最慢不低於 10Gbps⁵，遠高於 4G 的 100Mbps。5G 網絡具備低遲延與大規模裝置連接等特性，可近乎實時將感測器所蒐集到的數據與攝影機所攝錄的影像傳達給農業機械與系統，並讓農場管理者使用個人設備高速下载資料與遠端控制，可滿足大規模農業機械設備互聯通訊與全自動化精確耕作，對網際網路速率與可靠性更高的要求 (OECD, 2019a)。

三、雲端運算

雲端運算 (cloud computing) 是集結軟體應用程序、儲存容量與計算等各種計算資源，又可讓客戶端按照自身需求隨時訪問的一種服務模式。雲端運算的應用遠超出資料、圖片與影像的簡單儲存與下載，還是軟體、應用程式與計算資源的共享空間，使用者無須直接購買整個設備，得以將大量投資於 ICT 的固定成本轉化為較低的邊際成本，並可隨時根據不斷變化的業務需求改變使用模式，大幅度提高計算資源的成本效益與功能多樣性。資料提供者可以將土壤、天氣、研究、作物、肥料、農藥以及市場價格等所有與農業有關的資訊集中在雲中，讓農業從業人員與研究者隨時可以連接到雲端設備訪問這些數據，降低在科技知識與資源方面所面臨的限制與大型企業對知識與資訊的壟斷能力，以及讓使用者通過集中化的決策支援系統，有效利用農業資源與改善農產品營銷 (Choudhary et al., 2016)。

四、大數據

大數據 (big data) 必須有大量 (volume)、快速蒐集 (velocity) 與形式多

⁵ 資料來源：ITU-R M.2410-0: "Minimum Requirements Related to Technical Performance for IMT-2020 Radio Interface(s)", Nov. 2017.

樣 (variety) 的資料，可能來自產業界、學術界與政府的主動提供，也可能是個人使用應用程式、社交媒體或設備時所輸入訊息與使用行為，隨著智能手機的普及與 IoT 科技的進步，產生的數據也在快速增加，並得益於雲端運算做為資料存儲空間與數據處理的能力來源，讓使用者可以從過去因為太大且過於複雜，以至於無法由傳統數據處理軟體進行分析的數據集當中提取有用資訊，藉以發現新見解、預測未來與加強決策能力，實現以資料為導向的創新。大數據在精準農業⁶的發展中發揮重要作用，農業綜合企業將其與遙測技術及地理資訊系統相結合，可向客戶提供產量預測與投入建議，以及幫助政府或國際組織建立災荒早期預警系統，或幫助金融業發放農業信貸與制定保險計畫 (Musker, 2019)。

五、人工智能

人工智能 (artificial intelligence, AI) 是一系列演算方法，旨在模仿人類的認知功能與應用知識的能力，來解決複雜的現實世界問題。得益於機器學習、大數據分析與雲端運算處理能力的大幅提高，AI 可以通過執行各種認知性任務，學習做出決策與預測，最大程度提高實現所設定目標的機率。AI 具有自動性與學習能力，通過經驗、人員提供的數據，或經由 IoT 感測器與影像識別 (image recognition) 科技所蒐集到的數據資料，讓 AI 利用機器學習進行功能發展或改進，分析與判斷最佳灌溉、施肥與噴藥方式，達成「精確農業」(precision agriculture) 目標，提升產量的同時節約種子、肥料、水、空間與時間的花費，最大限度減少水汙染、土壤破壞與作物損失，並監控農作物與牲畜的成長與健康情形，辨別雜草、病蟲害或作物病變等異常現象 (Chailimov, 2020)。

六、區塊鏈

區塊鏈 (blockchain) 是一種去中心化的技術，相對於傳統的集中式資料庫，可以在電腦所組成網絡中存在的每個分散式帳本進行定期更新與維護，使每個「節點」(node) 所保持的「副本」(copy) 都維持相同，變更紀錄對於網絡中其他所有人都是可查證的，不需要中介機構即可驗證所有權，並

⁶ 精準農業 (precision agriculture) 指廣泛使用感測器 (sensors) 監測評估人為干預 (如種子品種、殺蟲除草藥劑、灌溉施肥等) 對產量的影響，或實現大型農業機械的自動化，幫助使用者進行決策，以實現提高生產效率與減少環境汙染的目的。

針對各種資產類型進行安全交易的技術。新的事件與交易自動儲存於「區塊」(block) 中，再以高級加密技術按照時間順序相互鏈接，以創建數據紀錄。分散式帳本的內容只能「附加」而不能篡改，如果有人試圖變更儲存於區塊的資訊，則「鏈」(chain) 將會斷開，網絡上所有「節點」都會意識到這一點。建立智能農業的一個關鍵問題，是開發一個安全的系統以促進數據的使用與管理。傳統的做法是以集中的方式管理資料，容易導致數據失真、濫用與網路攻擊，區塊鏈技術可以確保農產品從種苗到最終銷售，整條供應鏈的所有資訊對所涉及的參與者都是透明且無法被單方面竄改。去中心化儲存方式讓資料不易被毀損或丟失，因此許多智能農業模式都是以 IoT 與區塊鏈兩種技術的聯合應用而推出。此外，區塊鏈科技也常被應用在農業保險、食品供應鏈與電子商務等領域，以協助保險公司確認災害損失理賠金額、維護食品安全與降低交易成本 (Xiong et al., 2020)。

七、計算能力

高性能計算 (high-performance computing) 是高速處理資料，並執行一般個人電腦所無法處理的複雜計算的功能，可以用於解決大型科學、工程或商業問題，在複雜生產過程的實時控制的使用也變得愈來愈重要，例如模擬自然界的「固氮作用」(nitrogen fixation) 合成低能源負擔的化學肥料；量子計算(quantum computing) 則採取全然不同於傳統電腦的二進制方法，而使用「量子位元」(qubit)的「狀態」(state)對資訊做資訊的儲存與運算，相較於傳統電腦可以產生指數等級的加速。雖然此一新興領域仍有重大障礙有待克服，特別是大多數量子設備必須在接近絕對零度(absolute zero)的超低溫下運行，但如果成功，數據處理能力將有巨大飛越，並能大幅提升 AI 與雲端計算的速度與能力 (OECD, 2019a)。

肆、農業數位轉型推動政策

一、臺灣現行政策

臺灣氣候雖適合農作物生長，但也容易發生病蟲害，以及颱風、豪雨、乾旱等極端氣候侵擾，難免對農業發展造成不利影響，更為重要的是地理環境限制，平均每位農戶耕地面積約 0.72 公頃，屬於小農經營型態，生產成

本較高⁷。根據主計總處統計，65 以上農業就業人口占比逐年升高，2021 年已高達 20.1%，遠高於初次從事年齡統計年度 (1987 年) 的 3.8% (詳見圖 8)，反映具備經驗與技術的農業從業人員恐有青黃不接的危機，導入科技以發展精緻農業、精準農業以解決農村勞動力短缺，並提高農產品附加價值是必然的方向。

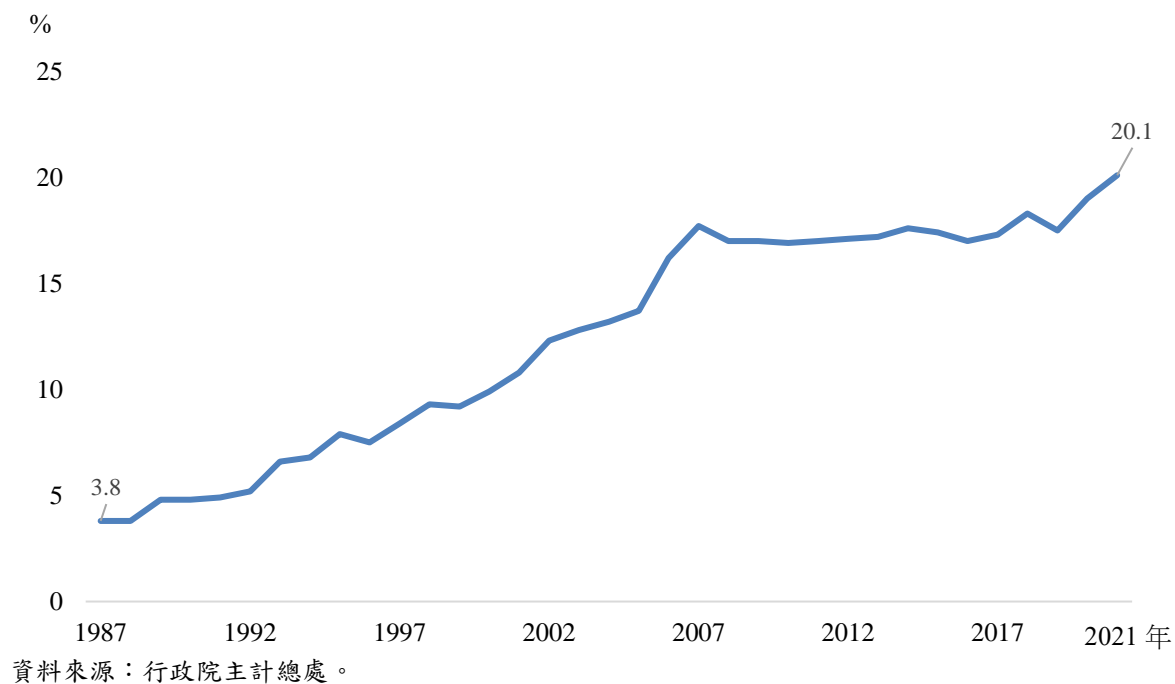


圖 8 65 歲以上農業就業人口占比

(一) 智慧城鄉生活應用發展計畫

行政院於 2017 年「數位國家・創新經濟發展方案(簡稱 DIGI+方案)」提出「智慧城鄉」(DIGI+Cities)的概念，意指「城鄉平衡發展，國民享有安康生活」，並於同年推出的「前瞻基礎建設計畫」列入「建構開放政府及智慧城鄉服務」項目，經濟部工業局據以推出「普及智慧城鄉生活應用計畫」，結合創新科技帶動地方數位治理轉型，建立「地方出題、中央補助產業解題」的協作機制，中央政府亦可衡酌總體環境導引產業發展，即 Top-Down 與 Bottom-up 雙軌併行模式，計畫補助上限 40%，期程為 2018-2020 年為第一階段。2021 年，經濟部工業局配合「前瞻基礎建設 2.0 推動計畫」，推出「智慧城鄉生活應用補助計畫—地方場域試煉暨輸出國際」，除持續以創新科技

⁷ 參考資料：行政院農業委員會，「農業經營現況」，111 年 8 月 8 日，網頁連結：
<https://www.ey.gov.tw/state/CD050F4E4007084B/0ededcaf-8d80-428e-96b7-7c24feb4ea0d>。

帶動地方數位治理轉型，更強調加速創新應用服務解決方案的在地試煉與輸出國際，計畫期程 2021-2022 年。前述兩期計畫在智能農業領域的具體實績整理於表 2。

表 2 智慧城鄉計畫智農領域實際案例

智慧城鄉計畫	計畫概述	計畫具體內容
普及智慧城鄉生活應用計畫 (2018-2020 年)	AIoT 智能水產養殖	為協助養殖業者抵禦天然災害，並精準掌控魚塭變化，打造「智慧養殖監測系統」，即時監測水中關鍵參數，並提供預警服務以降低災損，並幫助業者建立養殖履歷紀錄資料庫。
	無人機農噴	為解決農業缺工問題，透過無人機空拍影像遙測農作物健康狀況，結合 AI 影像辨識系統分析農產健康情況，並利用多光譜及熱傳感功能，實施無人機藥劑肥料噴灑。
	智慧農產經濟平台	串聯物聯網農業雲、產銷履歷、智慧產銷、智慧觀光及商務共享，運用物聯網及大數據分析，監控作物生長情形與農產品質，結合區塊鏈生產履歷，保障食品安全與提供產銷服務。
智慧城鄉生活應用補助計畫—地方場域試煉暨輸出國際 (2021-2022 年)	森林足球場	運用物聯網、人工智能與大數據量化樹的生態價值，導入區塊鍊技術，發行數位貨幣做為獎勵足球隊、兌換生活物資，及捐贈種樹活動中交易所保值的工具。
	微醺農場小黃瓜種植	以小黃瓜為目標品項，在可進行遠端監控、定時灌溉及施肥的智慧化科技溫室，透過自動化養液、環境控制、熱水淋洗消毒等系統，建立離地式介質栽培的標準化作業程序。
	養好魚水產育成監控系統	透過智能監測水產養殖技術，可以自動錄影監控及辨識養殖水產，並研發水下影像除霧技術提升 AI 辨識精準度，計算掌握魚群的生長資訊，降低養殖門檻風險及成本。
	生豐水產 AI 智慧養殖	運用智慧監控系統收集水質、溫度及養分等參數，透過大數據分析進行風險預知及相關預警，並透過 AI 驅動設備自動化運作，調整場域水車運作、自動投料等設備。
	火龍果數位分身創新應用	發展 AIoT 技術並使用於光照管控、疏花授粉、選果分級等，透過 AI 導入的數據，建構智能農業數位分身 ⁸ 技術，讓原本是夏季水果的火龍果轉型在冬季量產。
	可可智農科技	在農場導入 AIoT 傳感器，導入自動灌溉、土壤監測及水肥液體等智能農業科技，建置可可種植管理資訊、整合種植數據建立溯源資訊與生產履歷。

資料來源：智慧城鄉生活應用發展計畫官方網站(<https://www.twsmartcity.org.tw/>)。

⁸ 「數位分身」(digital twin)指運用在真實世界的實體系統所蒐集的資料與數據，在虛擬世界所創建的數位型態對應物，讓使用者可以進行測試與預測，特別是在不確定因素過多的農業領域，數位分身模型可以讓從業人員在自身的經驗與知識，以及 AI 所提供決策之間進行比較，輔助其作出最佳判斷，同時讓 AI 獲得充分訓練，讓專業技術得以通過數位方式傳承。

(二) 新農業創新推動方案

2016 年 12 月 8 日，行政院農業委員會（下稱農委會）提出「新農業創新推動方案」，提出「扭轉過去消極補貼的舊思維，建立強本革新的新農業」願景，以「創新、就業、分配及永續」原則推動十大重點政策與執行策略⁹，其中「科技創新強勢出擊」策略提出要運用跨域前瞻科技，強化省工、節能之自動/智慧化機械設備研發及應用，提升農業經營效能，穩定優質農產品產銷能力。2021 年 3 月賡續推動「新農業創新推動方案 2.0」，在「推動智能農業」重點政策與執行策略方面，提出要落實科研發展機制、導入或研發自動化及智能化之精準生產、建構雲世代數位服務等科技整合體系，以及推動數位服務商業化及建置普及應用環境¹⁰。

為執行「新農業創新推動方案」及其接續方案有關智能農業的策略，農委會於 2017 年推動以「智慧服務」與「數位服務」為主軸的「智能農業 4.0」¹¹，逐年制定「業界參與補助計畫」，透過補助研發經費方式，鼓勵農業界主動投入經費於智能農業技術、產品、服務應用及研發，2019 年開始辦理「智能農業成果擴散、跨域合作及運籌管理計畫」，此後逐年推動「智能農業成果擴散示範計畫」，加速科技服務業者將技術研究成果商品化，促進農業從業人員導入新技術，擴大農業科技產業應用價值與提升農場管理效率。

(四) 雲世代產業數位轉型

為掌握與因應數位經濟帶來之社會影響，2019 年 11 月 4 日「行政院科技會報第 17 次會議」提出「雲世代產業數位轉型」政策戰略計畫，推動對象包括製造業、資訊服務業、零售服務業、農漁產銷業、小微企業等，農委會於 2021 年開始推動「雲世代農業數位轉型業界參與計畫」，以轉型為主、數位為輔營運模式，聚焦「養殖漁業」與「外銷潛力作物」及其相關農業機械創新營運模式，鼓勵農業界主動投入經費於數位轉型技術、產品、服務應用及其研發以提升農業產業競爭力。

⁹ 參考資料：107-109 年度智慧城鄉推動成果手冊。

¹⁰ 資料來源：行政院農業委員會，網頁連結：<https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=3>。

¹¹ 「智能農業 4.0」概念係行政院農業委員會於 2015 年 6 月 4 日行政院 2015 重大科技策略會議所提出，藉由生產力 4.0 科技發展，特別是感測技術、智能機器裝置、IoT、大數據分析等前瞻技術，建構智能農業產銷與數位服務體系，從「勞力密集+經驗密集」的農業 1.0、「技術密集+機械密集」的農業 2.0、「知識密集+自動化密集」的農業 3.0，進展到「智慧服務+數位服務」的農業 4.0。

表 3 農委會農業數位轉型補助計畫

	智能農業業界參與補助計畫	智能農業成果擴散示範計畫	雲世代農業數位轉型業界參與計畫
政策目標	促進政府計畫補助研發完成之智能農業成果，擴散應用至契作戶、合作農場等農業場域，或將技術商品化或發展創新服務模式。	導入前瞻技術提升農業生產效率，減輕勞力負擔，為提供優質農事作業環境，創新高質化農業經營模式。	針對產業鏈的產銷管理與行銷等環節，導入雲端數位工具提升整體管銷效率，完整農業產業鏈上各節點之數位轉型。
策略主軸	<ul style="list-style-type: none"> ■ 以智農聯盟推動智能農業生產關鍵技術開發與應用。 ■ 建置農業生產力知識與服務支援體系，整合資通訊技術打造多元化數位農業便捷服務與價值鏈整合應用模式。 ■ 以人性化互動科技開創生產者與消費者溝通新模式。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 產業升級擴散應用：農企業、農民團體、農業產業團體導入經政府計畫補助且具產業服務能量之智能農業研發成果。 ■ 科技整合落地布局：科技服務業者將經政府計畫補助之智能農業相關研發成果落地並與自身技術整合。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 建立漁產業數位產銷體系 ■ 完善外銷潛力作物數位商轉模式 ■ 建構農機共享創新營運模式
申請資格	科技農企業、百大青農或種畜禽場負責人、農業產銷班、農民團體、農業產業團體	農企業、農民團體、農業產業團體及科技服務業者	從事「養殖漁產業」、「外銷潛力作物」或「農業機械創新營運模式」相關三大產業之農企業、農民團體、資訊服務、運輸儲運與通路行銷業者、農事服務業者
補助上限	<ul style="list-style-type: none"> ■ 政府補助款必須小於自籌款，且自籌款須小於申請單位實收資本額或財產/資本/股金總額。 ■ 每一申請案件之政府補助款以不超過新臺幣 500 萬元為原則。 		<ul style="list-style-type: none"> ■ 專案補助款與各補助科目補助款應小於總金額之 50%。 ■ 聯盟型計畫業者配合款不得超過參與業者總計實收資本。

備註：本表參考對象為最新年度版本「111 年度智能農業業界參與補助計畫」與「112 年度智能農業成果擴散計畫」，實際上各年度所推動計畫內容皆有一定程度演變。

資料來源：行政院農業委員會。

(五) 智能農業共通資訊平台

經盤點數位科技在農業的應用，可體現到數據蒐集與善用，對優化系統運作模式的重要性，進而在農業數位科技領域的競逐中掌握先機。農委會於 2017 年統籌建置「智能農業共通資訊平台」，匯集農漁畜業相關大數據資料，包含產銷、資訊業者應用、相關研究與感測數據等資料，透過共通資訊平台之 Open API 機制，讓第三方資訊開發業者授權使用，從而進行數位農業系統的應用開發，並節約建置資料庫以及 AI 機器學習的時間與成本。

(六) 政策成效

農委會的「雲世代農業數位轉型業界參與計畫」，截至 2022 年 9 月共成立 16 個組產業聯盟，共 73 家業者參與，並建置雲市集—農業館，以「軟體即服務」(SaaS)¹²架構為核心，供農企客戶彈性訂購所需的應用軟體服務，累計已達 1,031 家小微型農業從業者申請導入。另外，「智慧農業成果擴散示範計畫」已補助 31 案，帶動農民、農企業及技術服務業等業者投入 9,476 萬元，承接政府研發成果落地應用¹³。

截至 2022 年，農委會累計促成智慧農業投資逾 20 億元，並成立作物蟲害 AI 管理等 10 個智慧聯盟，補助農民購置 1.8 萬台農機，節省農業人力超過 20 萬人/日，對於促進臺灣農產品出口成長做出顯著貢獻。舉如，百賢農產股份有限公司與農委會所屬農業改良場合作成立智慧農場，創立臺灣第一個毛豆品牌「臺灣九號」後，屢創綠色產業外銷佳績¹⁴。

二、其他國家案例

(一)美國

美國農業部(U.S. Department of Agriculture, USDA) 通過國家食物與農業機構(National Institute of Food and Agriculture, NIFA)的「美國農業與食品研究倡議」(Agriculture and Food Research Initiative, AFRI)，推出「永續農業系統計畫」(Sustainable Agricultural Systems program, SAS program)，為糧食與農業科學的基礎與應用研究、教學與推廣項目提供「AFRI 競爭性資助」(AFRI Competitive Grant)，尋求通過自動化、人工智慧與預測分析決策工具緩解農業供應鏈的勞動力挑戰。

該計畫曾資助的重要計畫包含：以自走型水下無人機管理牡蠣、貽貝和扇貝等貝類的水產養殖與採收，以及運用環境感測成像與 AI 測繪演算法，創建高精密度作物地圖的「智能永續貝類水產養殖管理」(smart sustainable shellfish aquaculture management, S3AM)¹⁵；運用大數據建立在各種天氣條件

¹² 「軟體即服務」(Software-as-a-Service, SaaS)，是讓使用者可透過網際網路，連接到雲端供應商所開發並維護的雲端應用程式軟體的交付模式。

¹³ 參考資料：行政院施政報告，立法院第 10 屆第 6 會期，111 年 9 月。

¹⁴ 參考資料：國家發展委員會新聞稿，「因應國際變局臺灣產業屢創佳績，證明政策方向正確，5+2 產業成果顯著」，112 年 1 月 17 日。

¹⁵ 參考資料：<https://isr.umd.edu/research-funding/transforming-shellfish-farming-smart-technology-and->

變化下，作物選擇、肥料使用、灌溉調度等常規決策，對農業生產及環境可持續性的複雜交互作用之「農業用水與營養管理儀表板」(Dashboard for Agricultural Water use and Nutrient management, DAWN)¹⁶；使用 AI 與自動害蟲管理系統(automated pest management systems)，從水、養分、鹽度與害蟲管理等方面改善美國西部農業環境的「具有 AI 的農業投入管理演算法」(algorithms for agricultural input management with AI)¹⁷。

美國聯邦通訊委員會 (Federal Communications Commission, FCC) 於 2020 年提出規模 204 億美元的「農村數位機會基金」(Rural Digital Opportunity Fund)，用於協助未來 10 年農村光纖基礎設施佈建¹⁸，為將來的 5G 網路佈建奠定基礎。2019 年 12 月 FCC 進一步提出從聯邦普及服務基金 (Universal Service Fund) 撥出規模 90 億美元建立「美國農村 5G 基金」(5G Fund For Rural America)，幫助電信商在人口稀少或地形崎嶇的地區部署 5G 網路，其中至少 10 億美元留做發展精準農業¹⁹。

除了補助國內農業科技研發與應用，美國亦致力於運用國際援助推動農業數位轉型。美國國際開發署(U.S. Agency for International Development, USAID)轄下的糧食安全局(Bureau for Food Security)與美國全球發展實驗室(U.S. Global Development Lab)，於 2015 年 9 月共同啟動「未來食品保障數位發展」(Digital Development for Feed the Future, D2FTF)計畫，旨在將精準農業(precision agriculture)、數據驅動的農業(data-driven agriculture)²⁰、資通訊科技支持的推廣(ICT-enabled extension)²¹與數位金融服務(digital financial services)²²等數位工具，整合到 USAID 全球糧食安全倡議「未來食品保障」(Feed the Future)計畫，藉由數位科技提高產量與保障糧食安全。

management-practices

¹⁶ 參考資料：<https://cmns.umd.edu/news-events/features/4607>

¹⁷ 參考資料：<https://agnetwest.com/nifa-grant-helps-ucr-develop-agricultural-technology/>

¹⁸ 參考資料：<https://www.fcc.gov/auction/904>

¹⁹ 參考資料：<https://www.fcc.gov/document/pai-announces-plan-launch-9-billion-5g-fund-rural-america>

²⁰ 包含一套獲取、分析數據，與將其轉換為可操作、及時且脈絡清晰的資訊，供小農業者做出更有效的農業決策，改善農業生產力的價值。

²¹ 使用數位管道傳遞資訊，提供農民與價值鏈參與者即時資訊，幫助農民認知到可以使用的方法與工具，掌握豐富的種植方法、投入、氣候、疾病與市場等多元主題的豐富資訊。

²² 幫助解決農業價值鏈的金融近用問題的長期性挑戰，降低交易成本並提高透明度，提供傳統農村在傳統銀行分行以外，運用正規金融系統進行交易的能力。

(二)歐盟

「科技研發架構計畫」(Framework Programmes, FP)是歐盟為促進歐洲的研究與發展，於 1983 年創建的歐盟層級科技、研究與創新政策計畫，以歐盟執委會研究與創新總署(Directorate-General for Research and Innovation, DG RTD)為最高權責機構，協調歐盟會員國的研究政策，強化科技基礎、促進創新能力與確保歐洲在全球的競爭力。FP 每一期為期 7 年，並根據經濟情勢與價值觀的演進持續檢討修正架構內容，已發展為全球最大的科技研究合作平台。

第 8 期科技研究計畫(FP8)又稱「地平線 2020」(Horizon 2020)，執行期程為 2014-2020 年，政策框架由「卓越科學」(Excellent Science)、「產業領導力」(Industrial Leadership)與「社會挑戰」(Societal Challenges)三大支柱構成，農業數位轉型課題同時歸屬於第二支柱的「資訊與通訊技術」與第三支柱的「永續食品安全」。Horizon 2020 期間曾投入金額超過 2 億歐元贊助多項農業數位轉型計畫²³，其中以「糧食與農業互聯網」(Internet of Food & Farm 2020, IoF2020)與「智能農業樞紐(SmartAgriHubs)」最具代表性。

1.糧食與農業互聯網²⁴

原為歐盟執委會於 2015 年 3 月建立「物聯網創新聯盟(Alliance for Internet of Things innovation, AIOTI)」下，智能農業與糧食安全應用小組(Working Group 06 - Smart Farming and Food Safety)所辦理的試點計畫，2017 年 1 月成為 Horizon 2020 第二支柱「產業領導力」的子項目，獲得歐盟執委會所提供 3,000 萬歐元補助，主要投資農耕、乳業、水果、蔬菜、肉類五大試驗領域，共有超過 22 個歐盟國家的 120 個合作夥伴。

IOF 2020 目的是加速 IoT 的應用，以確保充足、安全與健康的食品，並加強歐洲農業與食品鏈的競爭力，通過促進農業從業人員、食品產業、科技供應商與研究機構的共生生態體系，鞏固歐洲在全球 IoT 產業的領先地位。2020 年 COVID-19 疫情爆發期間，IOF 2020 成立 COVID-19 工作小組(COVID-19 Taskforce)，向整個歐洲農業食品產業分享，使用 IoT 在生產過

²³ 參考資料：<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitisation-agriculture-horizon-2020>

²⁴ 參考資料：<https://www.iof2020.eu/>

程讓現場工作人員保持社交距離，以及應對供應鏈混亂的案例。

2. 智能農業樞紐

當前支持智能農業數位化解決方案、鼓勵農村應用數位科技，以及促進數位科技研究與創新投資的政策為「智能農業樞紐(SmartAgriHubs)」，由歐盟第 8 期科技研究計畫(FP8)「地平線 2020」(Horizon 2020)所支持，屬於第三支柱「社會挑戰」的子項目，計畫期程為 2018 年 11 月至 2022 年 10 月。

SmartAgriHubs 建立由 9 個區域集群(Regional Clusters)²⁵與其中的 140 個數位創新樞紐(Digital Innovation Hubs, DIH)²⁶、2,000 個能力中心(Competence Centers)²⁷組成的大型網絡，現已有 164 個歐洲農業食品產業合作夥伴，並確立農耕、水產、乳業、水果、蔬菜、肉類與新穎食品(novel foods)等七大領域的 28 個旗艦創新實驗(Flagship Innovation Experiments)，目標是將 80 個新型數位解決方案導入市場，並幫助全歐洲超過 200 萬個農場數位化，促進農業與 IT 創新的連結。該計畫的實驗項目可區分為下列幾種類型：

- 大數據蒐集與決策支援：運用感測器蒐集農場數據，例如水量、溫度、濕度、NH₃、二氧化碳、地形與牲畜運動軌跡等，建立資料庫、製作報告與繪製地圖，讓生產者得以隨時掌握關鍵參數。
- 線上決策支援工具：將感測器蒐集的資料轉換為客製化建議，指導使用者在早期階段針對異常狀況採取必要對策，或進行中長期戰略規劃。
- 精確農業：運用 IoT 感測器數據、網路氣象或門戶網站(portal)數據向農業機器下達指令，促進精確施肥、澆灌與採摘。
- AI：運用 IoT 感測器所蒐集數據訓練 AI，以提高產出可預測性、建立自動化管理系統，或藉由高光譜影像深度學習分析蒐集農作物狀態資料，以

²⁵ SmartAgriHubs 將歐盟區分為 9 個區域集群(Regional Clusters)，分別為中歐、法國、伊比利亞、愛爾蘭與英國、義大利與馬爾他、東北歐、西北歐、斯堪地那維亞、東南歐，每個集群都有一組農業數位創新樞紐、能力中心與創新實驗，以及獨特的專業知識，在區域範圍內解決當地農業與糧食的挑戰。

²⁶ 數位創新樞紐(Digital Innovation Hubs, DIH)為支援性的組織，旨在加速創新的發展與採用以提高企業競爭力，在最接近最終使用者的地方提供實驗設施、技術測試、融資建議、市場情報與交流機會等一站式服務，滿足農業生產者與食品加工者的需求，並撰寫「需求評估報告」(Needs Assessment Report)供 SmartAgriHubs 社區了解 DIH 所提供內容與農業部門需求間的差距，以及縮小差距可努力的方向。

²⁷ 能力中心(Competence Centers)做為數位創新樞紐(DIH)的基礎，提供先進的科技專業能力，讓使用者得以接觸數位科技的最新知識與資訊，以及使用測試與實驗設施，在各自的 DIH 內與農業食品創新供應鏈的全體合作夥伴，共同支援農民與企業數位轉型與促進農業食品產業數位解決方案的實現。

改善噴灑操作或早期發現病蟲害。

—產品溯源：使用智能農業科技識別糧食批次，定義品質，紀錄種植歷史與原產地等有關產品資訊的數據，連結到電子糧食市場。

—專家諮詢：組織專業人士提供諮詢服務或召開研討會，為農業從業人員介紹新想法與尖端技術，提供將創新的數位解決方案應用現有商品的建議，加速農場創新解決方案的散播，並提高數位科技在農場的採用率。

(三)日本

日本內閣依據 1995 年《科學技術基本法》，每 5 年制定一期「科學技術創新基本計畫」，2016 年 1 月 22 日公布的第 5 期計畫提出「Society 5.0」(ソサエティー5.0)概念，代表繼狩獵社會、農業社會、工業社會與資訊社會後的第 5 階段社會型態，網路空間與物理空間高度融合，物理空間感測器的大量資訊整合到網路空間，經過人工智慧進行大數據分析，並將分析結果以多種形式反饋給物理空間，創造前所未有的新價值。在農業領域，Society 5.0 以機器人實現農業自動化與蒐集數據，結合天氣預測與市場設定工作計畫，依據消費者需求進行物流配送，以增加糧食產量、穩定供應、減少糧食損失與刺激消費，以及解決農民老齡化、務農人數減少與技術難以傳承等。

日本政府於 2020 年 3 月 5 日在總理大臣官邸召開第 36 次未來投資會議，揭示「2025 年起全面實現全國農業數據化」的目標。為此，農林水產省於 2020 年 4 月 1 日頒布「智能農業綜合推進對策措施實施大綱」(スマート農業総合推進対策事業実施要綱)，在農業生產現場引進與示範尖端機器人、AI、IoT 等農業領域先進技術，加速智能農業社會的實現，計畫內容分為「智能農業試驗計畫」與「智能農業普及環境整備」兩部分：

1.智能農業試驗計畫

在「智能農業綜合推進對策事業」啟動前，日本農林水產省已於 2019 年推出「智能農業試驗計畫」(スマート農業実証プロジェクト)，利用機器人、AI 與 IoT 等先進科技解決農業高齡化與人手短缺問題，提高民眾務農意願，將智能農業科技實際引進生產現場，進行為期 2 年的示範，幫助農業從業人員理解不同地區如何因應環境利用智能科技，同時也避免盲目引進

造成資源閒置與浪費。試驗計畫採取公開招聘模式選取示範案例，包含稻田、旱作、露天蔬菜、設施園藝、花卉、果樹、茶、畜牧與區域型 5G²⁸等實證課題，申請者進行現場演示與接受「試驗課題審查委員會」質詢，審核通過後才能獲得支持，截至 2022 年已徵集 205 案²⁹。

2. 智能農業普及環境整備

農林水產省投入資金補助農林水產業者、民間企業與學研機構進行改善環境的研究與實驗，例如遠端操控農業機器人技術與安全保障措施、推廣溫室農業等先進設施種植園藝作物與穀物的經營體系、建構土壤診斷資料庫與檢驗土壤微生物多樣性的評價方法進行科學土壤改良，以及推動智能農業教育等。此外，最具代表性的作為是開發「農業數據合作平台」(農業データ連携基盤)，由「農業數據合作平台協議會」(WAGRI)整合公私部門的歷史農作收穫、農產市場、土壤、農地水文資料、氣象與各種作物種植資料，建立開放資料庫供民眾進行有效利用，民間企業開發的 IoT、AI 與農業機器人等智能裝置都能付費登入會員後，連接該平台共享資訊。

(四)新加坡

新加坡土地面積 721.5 平方公里，人口多達 570 萬人，糧食需求極為依賴馬來西亞、印尼等周邊國家，國內農產品產量占民眾營養需求不足 10%，糧食自給率偏低不僅是民生問題，同時也是國家安全問題。因此，新加坡政府於 2019 年 3 月宣布「30·30 願景」，目標是在 2030 年以前確保國內出產的農產品，可以滿足國民 30% 的營養需求，其中 20% 來自蔬菜、10% 來自雞魚蛋白質。為了協助業者採用農業用途的數位化科技，加速達成「30·30 願景」，新加坡政府於 2019 年 4 月成立新加坡食品局(Singapore Food Agency, SFA)³⁰做為專責執行機構，並制定 3 個補助計畫：

²⁸ 日本總務省於 2019 年 12 月公布《關於導入區域型 5G 指導方針》(ローカル 5G 導入に関するガイドライン)，除了全國性電信業者，任何個人、企業與機關皆能申請，以加速在全國型 5G 推展較慢區域的鋪設，2021 年列入「智能農業試驗計畫」。

²⁹ 2019-2022 年分別有 69、55、34 與 23 個案件中選，另 2020 年疫情期間為了解決勞動力不足採取緊急經濟對策，運用「補正預算」額外徵集 24 案，總計 205 案。

³⁰ 新加坡食品局(Singapore Food Agency) 成立於 2019 年 4 月 1 日，由農糧獸醫局(Agri-Food and Veterinary Authority, AVA)、國家環境局(National Environment Agency, NEA)和衛生科學局(Health Sciences Authority, HSA)合併組成。

1. 農業食品集群轉型基金

新加坡食品局於 2021 年 4 月推出為期 5 年、總規模 6,000 萬星元的「農業食品集群轉型基金」(Agri-Food Cluster Transformation Fund, ACT)，取代其前身農糧獸醫局(Agri-Food and Veterinary Authority, AVA)於 2014 年 8 月成立的「農業生產力基金」(Agriculture Productivity Fund, APF)。ACT 基金運用 2018 年 4 月由新加坡企業發展局(Enterprise Singapore, ESG)所推出，旨在幫助企業進行數位轉型的「生產力解決方案補助金」(Productivity Solutions Grant, PSG)，支持採購新加坡食品局所預先審定匡列的農業設備與系統，如充氧系統、自動計數器、自動灌溉等³¹，以便進行小規模試驗以提高生產力、資源效率並減少污染與浪費，符合條件的費用可獲 70%的資金支持。此外，ACT 基金也支持農場自行開發創新型農業技術與系統、測試新技術與系統的可行性，以及購買大型商業規模，自動化和先進的農業技術解決方案新建或改造農場空間，符合條件者可獲最高 30%的現金預付款。

2. 30x30 Express

2020 年 4 月 COVID-19 疫情凸顯糧食供應鏈脆弱性問題，環境與水資源部(Ministry of the Environment and Water Resources, MEWR)與專責推動「30·30 願景」的新加坡食品局設立 3,000 萬星元的「30x30 Express」計畫，加速在未來 6 至 24 個月內擴大雞蛋、葉菜類蔬菜與魚類的生產能力，並邀請前揭三類農產品業者於 2020 年 5 月 29 日前，提出可持續技術與先進農場系統等創新提案³²。在此項計畫中，最具代表性的模式是運用非傳統農業用地，例如在室內空間與建築物屋頂發展自動化、工廠化的集約垂直農業，同時解決新加坡土地面積狹小與勞動力短缺問題，各政府機構亦積極匡列適宜改造成糧食作物產地的公共建築物，進行公開招標供務農業者租賃。

3. 新加坡食品故事研發計畫

為支援「30·30 願景」，新加坡政府於 2019 年 3 月投入 1.44 億星元資金，推出「新加坡食品故事研發計畫」(Singapore Food Story R&D Programme)，現由新加坡食品局與科技研究局(Agency for Science, Technology and

³¹ 清單連結：<https://www.gobusiness.gov.sg/productivity-solutions-grant/equipment/food/>。

³² 參考資料：<https://www.mse.gov.sg/resource-room/category/2020-04-08-press-release-on-30-x-30-express/>

Research, A*STAR)共同管理，提供科技研發人員專案經費，執行主題型研發活動，涵蓋都市農業、替代蛋白質與食品安全等領域³³。其中較具代表性的項目是「城市代謝農業模組」(Urban-metabolic Farming-module, UmFm)，以生態韌性(eco-resilient)為目標的大型城市垂直農場，可搭建於組屋的側面與人行道，運用人工智慧學習感測器所蒐集到的溫濕度、PH 值等數據與作物生長狀態的關係，優化灌溉與施肥的安排，且與純粹室內農業相比可最大程度利用自然陽光，減少空間與能源需求³⁴。

(五)以色列

以色列長年以「科技興農」作為國策，積極將最新前沿科技運用於農業生產，並兼顧環境保護永續發展思維。在近年由農業及農村發展部(Ministry of Agriculture and Rural Development) 和以色列創新局(Israel Innovation Authority)所推出的「政府聯合支持試點計畫－農業(農業科技)」(Joint Government Support for Pilot Programs - Agriculture (Agri-Tech))³⁵是該國推動農業數位轉型的旗艦型政策。為鼓勵農業用科技創新與開發，本計畫對各領域農業的科技公司在開發用作食品或工業原料的動植物產品的技術、改善與節約動植物生長時間的產品等計畫，提供研發支出 60%的資金支持以開發農業設備或創新農業科技(在開發區經營的公司可獲得額外10%的補助)，其中數位轉型題材包含：可以自動處理集約化魚類養殖過程中排泄在大量的有機物質的自動化與控制系統、全天候監控與回報毛毛蟲出沒的樹木的精密震動感測器、無人機搭載人工智能影像辨識病變作物與雜草，以及讓車輛行經果園時自動測量水果尺寸的智能系統³⁶。

伍、結論與政策建議

一、結論

在第四次工業革命的脈絡下，數位科技提供綠色經濟巨大的發展機遇與商業利益，提升產業競爭力、強化供應鏈韌性與維護環境永續發展。例如，

³³ 參考資料：<https://www.sfa.gov.sg/food-farming/singapore-food-story/r-and-d-programme>

³⁴ 參考資料：<https://www.singaporetech.edu.sg/digitalnewsroom/farming-at-your-doorstep/>

³⁵ 「政府聯合支持試點計畫」(Joint Government Support for Pilot Programs)是以色列創新局與各政府部門針對選定的領域進行的跨部門合作，各自對應不同的主管機關，如農業科技的合作對象為農業及農村發展部(Ministry of Agriculture and Rural Development)。

³⁶ 參考資料：<https://innovationisrael.org.il/en/news/nis-9-million-six-selected-start-ups-agricultural-pilots>

自動化與機械化耕種減少勞動負擔，垂直農業在極為有限的土地營造免於病蟲害與極端天氣的室內耕種環境，AI 藉由機器學習與高性能演算探索因應各種不同條件的最優化資源運用模式等。因應日益受到重視的氣候變遷議題，以及 COVID-19 期間因國際供應鏈混亂與糧食保護主義而惡化的糧食危機，宜透過公共政策積極發展智能農業，包括鼓勵學研機構與科技公司投入研發創新，導引到農業產銷實務最需要的方向。

臺灣藉由前瞻基礎建設「智慧城鄉」農業項目，以及「智能農業 4.0」的推動，提升科技業者通過實證與試煉，發展應用解決方案的意願，以及推動智能機具與技術落地與擴散應用，以緩解地狹人稠與耕地零碎的先天限制，以及日益嚴峻的農業就業人口短缺與高齡化問題。為掌握農業數位轉型的最新趨勢，本文另外蒐集美國、歐盟與日本等主要經濟體，以及新加坡、以色列等在農業科技創新卓有作為的小型國家之政策作為進行對照。其中，美國、歐盟與以色列較注重前言科技競爭力與永續發展議題，政策偏向於對研究與實驗的支持；日本與新加坡在糧食安全議題，以及農業高齡化與人力短缺壓力嚴峻，相對重視新技術在農業生產與經營的實質效益，政策偏向於對技術擴散應用的輔導與補助，對於面臨類似問題的臺灣尤具參考價值。

二、政策建議

因應氣候變遷、都市化與高齡化加劇糧食不安全問題，數位科技的跨領域應用可望在其中扮演重要角色，不但解決民眾生計問題，同時建構更具韌性、循環、永續與競爭力的綠色經濟。由 Lozic (2019) 研究所提出，從單純的數位化到數位轉型之間的發展階段之特性，推動農業轉型最終階段係透過數位科技重塑農業之商業價值，而非單純對勞動力投入的取代。藉由大量投入公共資源擴散特定科技的普及並非真正的解決之道，且此舉極容易產生資源錯誤配置的風險，為此必須建構有利於整個產銷過程進行數位轉型的環境，謹研提政策建議如次：

(一)輔導青年從事農業創業，培育科技青農

農業人口持續高齡化，除勞動力短缺問題，農業數位轉型的關鍵在於大量引進具備數位技能的勞動力，新進工作者的縮減也阻礙了導入數位科技所必要的相關技能人員加入。為營造青年返鄉或留鄉創業的支援體系與平

衡城鄉發展，2019 年行政院核定「地方創生國家戰略計畫」，由國家發展委員會偕同相關部會協助地方政府推動地方創生，解決務農人口高齡化及產銷資訊不透明之問題，2021 年起每年推動建置 30 處「地方創生青年培力工作站」，由 45 歲以下經營地方創生 5 年以上的青年擔任主持人，每年每處可獲最高新臺幣 300 萬元補助³⁷。政府可通過此項政策，提供相關誘因鼓勵數位產業相關企業、學研與金融機構與之建立跨域結盟夥伴關係，協助地方導入 IoT 技術，以科技監控掌握農作物生長週期，提升農業產銷效率，並打造觀光商機，吸引青年返鄉工作（林俊秀，2018）。

(二)加強偏鄉資通訊基礎設施以促進新科技導入

隨著新興智能化科技的快速發展，各國政府積極推動糧食生產運用數位科技進行轉型，以提高產出與強化應對外部衝擊的韌性之際，智能化基礎建設充裕與否將是重要成功因素之一，除了促進綠色經濟發展，更有完備「數位人權」的涵義。惟農業所在工作場域經常位於存在信號連接問題的偏遠地區，電信業者考慮偏遠地區安裝通訊設施成本缺乏經濟誘因，使鄉村資訊基礎建設進展相對緩慢，限制新興數位科技的導入。美國 FCC 設立的「美國農村 5G 基金」，提供資金給電信業者在人口稀少、地形崎嶇的區域也能佈建 5G，讓農村居民也能從數位轉型中受益，進而帶動農業數位轉型投資，為值得參考的案例。在 5G 商用環境尚未臻成熟之際，可先行在成熟的 4G 環境，對盡可能多數農業生產場域進行科技整合示範與擴散，未來逐步佈建 5G 以因應更大規模的資料傳輸潛在需求。

(三)促進都市近郊發展垂直農業提高糧食安全韌性

新加坡為提高自身糧食供應鏈韌性，在政策上投入可觀資源推動垂直農業，在非傳統耕地上種植作物，並輔以數位化科技進行自動化生產與環境調節，運用物聯網技術偵測溫濕度、含氧量與光線等數據，以條件值控制內部環境，除了有效解決耕地狹小與勞動短缺問題，還可以隔絕極端天氣侵擾，在病蟲害無法入侵的條件下，可有效節省農藥的使用，採收後直接包裝出貨，保證食品安全與衛生，對於臺灣具高度借鑒意義。建議參考新加坡食品局的經驗，將閒置公有建築物改造成適宜作物生產的場域，供農業或養殖業從業

³⁷ 參考資料：國家發展委員會新聞稿，「110 年度首度推動 30 處『地方創生青年培力工作站』，最終入選名單結果出爐！」，110 年 6 月 1 日。

人員租賃與發展室內智能農業，用最少的人力與土地面積盡可能擴大產能。儘管垂直農業無法替代傳統生產模式，卻可發揮關鍵的補充作用，特別是在因歉收或進口價格上漲的情況下，發揮穩定都市地區糧食供應的作用。

(四)推動農業科技援外與系統解決方案輸出以累積經驗與數據

當前智能農業模式尚在起步階段，隨著資通訊基礎建設與相關技能人才培訓，智能科技將催生更多應用發展方式。除了經濟部工業局所推動的解決方案輸出，建議仿照美國 D2FTF 的做法，將智能農業列入駐外農業技術團與新南向區域農業發展旗艦計畫，與所在國團隊合作開發適宜當地環境的新農業模式。藉此，農業用智能科技企業可以累積經驗、蒐集數據，藉以學習數位科技如何適應各種不同的氣候與地理條件，促進當地糧食產量與農業永續性，並向國際展示農業科技應用與創新的能力，促成更多向海外輸出智能農業解決方案的機會。藉由鼓勵業者將臺灣成功的農業數位科技應用案例複製到海外，不僅有利於達成聯合國永續發展目標，消除飢餓並促進永續農業，同時亦可打開高科技產品與服務出口市場，吸引更多人才投身於智能農業科技開發與應用領域。

參考文獻

1. 行政院農業委員會，(2015)，「生產力 4.0 科技發展策略會議－生產力 4.0 科技發展策略會議：農業生產力推動策略」，行政院 2015 重大科技策略會議，2015 年 6 月 4 日。
2. 行政院農業委員會，(2016)，「新農業創新推動方案」，行政院第 3526 次會議，2016 年 12 月 8 日。
3. 林家榮，(2014)，「國際農產貿易重要議題簡析」，《農政與農情》，第 270 期，頁 75-80。
4. 林俊秀，(2018)，「政府部門以科技力導入推動地方創生的具體做法」，《台灣經濟論衡》，第 270 期，頁 75-80。
5. 許仁弘、鄭向農、游雅茵、陳南宏，(2021)，「淺談 COVID-19 對全球農業部門之影響及應對方案」，《經濟前瞻》，第 197 期，頁 39-45。
6. 許仁弘、鄭向農、洪子淵、賴威廷，(2021)，「由國際數位轉型之發展談臺灣農業數位轉型契機」，《經濟前瞻》，第 198 期，頁 129-135。
7. 經濟部工業局智慧城鄉計畫辦公室，(2020)，《107-109 年度智慧城鄉推動成果手冊》，經濟部工業局。
8. 蕭郁蓉，(2019)，「歐盟科研與創新政策發展經驗及對我國之啟示」，《經濟研究》，第 19 期，頁 228-263。
9. Adams, K.M., M. Benzie, S. Croft and S. Sadowski, (2021), *Climate change, trade, and global food security: A Global Assessment of Transboundary Climate Risks in Agricultural Commodity Flows*, Stockholm: Stockholm Environment Institute.
10. Asian Development Bank, (2021), *Asian Economic Integration Report 2021: Making Digital Platforms Work for Asia and the Pacific*, Manila: Asian Development Bank.
11. Chalimov, A., (2020), "IoT In Agriculture: 8 Technology Use Cases for Smart Farming (and Challenges to Consider)," retrieved from: <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-technology-use-cases-for-smart-farming-and-challenges-to-consider/>
12. Choudhary, S. K., R. S. Jadoun and H. L. Mandoriya, (2016), "Role of Cloud Computing Technology in Agriculture Fields," *Computer Engineering and Intelligent Systems*, Vol.7, No.3, pp. 1-7.
13. Cushion, E., A. Whiteman and G. Dieterle, (2010), *Bioenergy Development: Issues and Impacts for Poverty and Natural Resource Management*, No 2395, Washington: World Bank Group
14. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO, (2022), *The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable*. Rome, FAO, <https://doi.org/10.4060/cc0639en>
15. Intergovernmental Panel on Climate Change, (2019), *Climate Change and*

- Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*, [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press
16. Jägermeyr, J., Müller, C., Ruane, A.C. et al, (2021), "Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models," *Nature Food*, Vol. 2, pp. 873-885.
 17. Lozic, J., (2019), "Core Concept of Business Transformation: From Business Digitization to Business Digital Transformation," 48th International Scientific Conference on Economic and Social Development – "Managerial Issues in Modern Business" - Warsaw, 25-26 November 2019.
 18. Mbow, C., C. Rosenzweig, L.G. Barioni, T.G. Benton, M. Herrero, M. Krishnapillai, E. Liwenga, P. Pradhan, M.G. Rivera-Ferre, T. Sapkota, F.N. Tubiello, Y. Xu, (2019), "Food Security," *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*, Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
 19. Musker, R., "Big Data in Agriculture and Nutrition," in S. Fan, S. Yosef and R. Pandya-Lorch (Eds.), *Agriculture for Improved Nutrition: Seizing the Momentum* (pp. 142-153), International Food Policy Research Institute.
 20. OECD, (2019a), *Going Digital: Shaping Policies, Improving Lives*, Paris: OECD Publishing.
 21. OECD, (2019b), *Digital Opportunities for Better Agricultural Policies*, Paris: OECD Publishing.
 22. OECD and FAO (2022), *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031*, Paris: OECD Publishing.
 23. Tandon, S., M. Landes, C. Christensen, S. LeGrand, N. Broussard, K. Farrin and K. Thome, *Progress and Challenges in Global Food Security*, EIB-175, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, July 2017
 24. United Nations Environment Programme, (2011), *Towards a green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication. United Nations Environment Programme*. Retrieved from: <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=126&menu=35>.
 25. USAID, (2018), *Digital Tools in USAID Agricultural Programming Toolkit*. Retrieved from: <https://www.usaid.gov/digitalag/documents/how-program-digital-tools-agriculture-programs>.
 26. World Bank Group (2021), *World Development Report 2021: Data for*

Better Lives, Washington: World Bank Group

27. Xiong, H., T. Dalhaus, P. Wang and J. Huang, (2020), “Blockchain Technology for Agriculture: Applications and Rationale,” *Front. Blockchain*, 3:7. doi: 10.3389/fbloc.2020.00007