

農業跨域技術開展全球糧食生產新契機

作者\ 林文風（台灣農業科技資源運籌管理學會副研究員）

李宜映（台灣農業科技資源運籌管理學會研究員）

陳翠妙（行政院農業委員會畜產試驗所研究員）

2050年全球的主要挑戰

聯合國糧農組織（FAO）預測2050年有4大主要因素將造成傳統農業模式對於未來食物需求的壓力：包括人口總量增加、自然資源缺乏、氣候變遷與食物浪費。人口方面，專家預測將增加24億人口並轉往都市，都市化除了造就收入提升，亦造成基礎設施如冷鏈的需求增加。都市化人口對動物來源食物的需求，迫使人們需要多生產70%的糧食；同時，肉類需求增加對環境的影響也加劇，增加的畜產養殖占了幾乎四分之一的農業用水，且占人類溫室氣體排放量的18%，長遠來看對環境的負面影響相當大。在氣候變遷的影響下，現今天然資源使用量呈現高度緊繃，包括全球大於40%的農村人口族群居住在缺水區域，因為農業發展造成土地資源貧脊。植被的過度削減加上不當的策略性休耕、輪作及過度放牧，全球至少有25%的農地已被評為高度貧脊，其餘44%則為中度或輕度貧脊；前述土地資源短缺造成耕地更小，產出更少，也造成農村更為貧困。全球生產的糧食有33%~50%完全沒被吃下肚，浪費的食物價值超過1兆美元。食物浪費也對環境有害，浪費的糧

食需花掉比中國大陸還大的土地面積來種植，且造成土地砍伐、物種滅絕、原住民遷移及土壤貧瘠。此外，食物浪費不只造成資源本身的耗損（土地、水、勞動力、能源、製造與包裝等），當其進入掩埋場，不經氧化而產生甲烷，所產生的毒性會比二氧化碳更高23倍（FAO, 2018）。

由上可知，未來的農業生產方式有必要轉型，並應用新技術以不一樣的方式生產，才能提供人口成長所需的糧食；此外需使用更少能源、化肥和農藥，以因應氣候變遷的問題並改善環境。本文以次級資料分析方法蒐整美國、日本、歐盟等各國案例，分享農業跨域技術的營運模式及應用成效。

農業跨域技術的發展契機

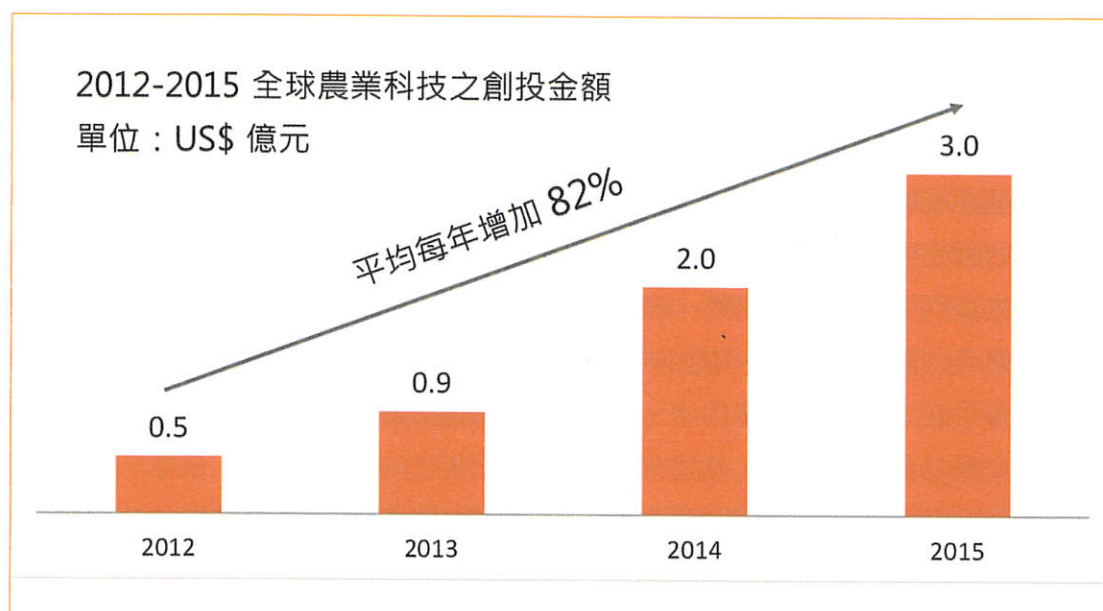
跨域技術的導入是新一波的農業科技革命，其技術不僅創新，更顛覆過去傳統生產的經營模式，讓務農者得以更環保永續的思維經營農業生產環境，並符合收益和效能（表1）。尤其在資訊技術如5G或數位技術的突飛猛進下，聯合國預測到2050年都市化雖會降低農村勞動力，但農業跨域技術將減輕農民工作負擔，可遠

端操作、自動化處理、辨識風險並解決問題，得以回應消費者真正需求，並藉此重新塑造糧食生產價值鏈。自2012年起農業技術新創公司每年以超過80%的速度高速成長，例如日本的孫正義等人投資了2億美金在研發室內垂直農場。投資者深知農業跨域技術包括3大效益：一、應用新技術以不一樣的方式生產；二、應用新技術帶給消費者糧食產品，增加食物供應鏈效能；三、有助於串接整合跨產業的技術與應用（De Clercq et al., 2018）。

表 1. 糧食生產的新技術

技術功能性	技術類別
增加食物供應效能	藻類原料 (algae feedstock)
	垂直與城市農耕 (vertical & urban farming)
	基因改造 (genetic modification)
	人造肉 (cultured meats)
整合跨產業技術應用	3D 列印 (3D printing)
	物聯網 (internet of things, IoT)
	區塊鏈 (blockchain)
	無人機 (drone)

(資料來源／De Clercq et al., 2018)



農業科技投資成長。

(資料來源／De Clercq et al., 2018)

一、藻類原料 (algae feedstock)

全球僅有一小部分比例的漁獲是用來食用，其餘皆用來當作水產養殖與其他畜產飼料。在中國等新興經濟體對水產品的需求持續增加，然而漁獲的撈捕量不會持續增加。藻類原料

可作為有效且便宜的魚粉替代飼料來源，量產藻類的成本為每噸400～600美元，比起魚粉可省下60%～70%，每噸可節省約1,700美元。此外，藻類原料比起捕魚更可靠，能有效協助養殖業者掌握水產養殖成

本並降低財務風險 (Vigani et al., 2015)。

二、垂直與城市農耕 (vertical & urban farming)

因應都市化人口增加，利用極少的土地資源有效率地生產糧食，也是農業跨域技術的應用重點。例如澳洲的Sundrop公司開發了海水的水耕栽種技術，此系統結合太陽能、發電、海水淡化與水耕栽種，不需依賴石化燃料與土地，可建立海水溫室在任何地方種植蔬菜，生產與傳統種植方式相當的作物產量。美國的AeroFarms公司自2004年開始建構與發展室內垂直農耕，生產安全且營養的糧食，其以高科技、數據化與商業規模發展垂直農耕，比起同面積的傳統農耕，其一年期有高達390倍的生產潛力，且不需顧慮極端氣候或季節變化，且因產品在地種植，不需依靠輸入，水果與蔬菜的供應更為即時與新鮮。其利用垂直層層堆疊來種植作物，在具挑戰性的環境生產糧食，搭配城市農耕，利用土壤、水耕及霧培法栽種，減少95%用水量，少施化肥與營養補充劑且無農藥 (Al-Chalabi, 2015)。

三、基因改造與人造肉 (genetic modification & cultured meats)

FAO預估2002~2050年，全世界肉類的消耗量將加倍，相較於畜養牲畜，利用生物反應器製造肉品有助於

減輕地球的負擔。由於基因改造的技術在21世紀有突破性的發展，科學家們皆有共識，若要解決未來的糧食需求，需進一步發展基因工程技術。

尤其CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats) 技術提供新形態的基因選擇與編輯方法，其不僅可研發高產量及抗逆品種，更提升作物的營養價值。CRISPR技術也可以用於食用性動物的改良，例如荷蘭MosaMeat是少數具有人造肉技術的新創公司，其目前正在開發培養絞肉（漢堡肉）商品，並計畫在未來幾年推向全世界。MosaMeat認為其在實驗室製造的「非屠體肉」可作為全世界人類優質的蛋白質來源，同時能避免許多傳統肉類生產的環境與動物福利問題。雖然人造肉具有很大的發展潛力，但仍處於前期發展狀態，預期未來對糧食安全、環境、食用動物疫病與動物福利都將產生很大的影響 (Chapman, 2018)。

四、應用於食品生產的3D列印技術 (3D printing)

在製造業中相當重要的3D列印技術，原理是利用原料層層打樣形塑出產品；目前也被應用於食品生產，可將「原料泥」變成熟悉的菜餚。專家認為可利用膠體作為食品基質進行列印，原料則可利用藻類、葉菜等可再生原物料。荷蘭已發展出微藻的列印方法，其可作為蛋白質、碳水化合物

物、色素及抗氧化劑的來源，並將此配方加入胡蘿蔔類的食物中。可想像未來的食品零售商可能直接存放「食物墨水匣」，其不僅可騰出貨架空間，也可降低運輸及貯藏的成本（Godoi et al., 2016）。

五、資通訊技術：物聯網、區塊鏈與無人機 (IoT, blockchain & drone)

由於「精準農業」的發展加強了農場的連結性，未來幾年內農業生產效能與生產力都將大幅上升。2020年將有超過7,500萬個農業物聯網設備，愈來愈多的設備連結提供糧食生產更大的契機（Jaiganesh et al., 2017）。此外，隨著消費者對有機、非基轉和無抗食品的需求提升，市面充斥著仿冒標籤的新聞，而區塊鏈的透明度可以用來對抗仿冒食品。即便是在農場、倉庫或工廠中的極少量交易，都可以有效地被監管，並透過物聯網技術（如感應器與RFID標籤）與整個供應鏈串聯。根據Maersk公司的估計，透過區塊鏈改善效能、降低詐欺和人為錯誤，可為他們省下數十億美元（Min, 2019）。

此外，由於大量投資與法規的鬆綁，專家預測無人機最有發展性的領域就是農業，預計在農業生產上可提供的6項功能包括：（一）土壤與場域分析：透過3D地圖預測分析早期土壤，無人機可用以規劃播種，並收集數據以進行灌溉與氮含量的管理；（二）種植：新創公司創造了無人機

種植系統，將種子與營養源投射進土壤，提供作物生長所有的必需營養成分，可降低種植成本達85%；（三）作物噴灑：無人機可掃描地面，即時均勻噴灑覆蓋，比傳統機械操作更快上5倍；（四）作物監測：利用無人機收集時序影像，可觀察作物發展變化，提升控管以改善產能；（五）灌溉：無人機感應器可辨識場域中過於乾燥或是需要改善的區域；（六）健康評估：透過可見光與近紅外線掃描作物，無人機配備的裝置可以幫助追蹤植物變化並評估健康度，同時警示疫病的發生。無人機目前最大的挑戰則是感應器對高品質數據的收集以及軟體運算能力（Rao Mogili & Deepak, 2018）。

政府為糧食生產跨域技術應用的重要推手

由於物聯網的數位化轉變正在改造農業世界，例如經由天氣、種子類型、土質、疫病、歷史數據、市場趨勢與價格等相關資訊的交叉分析，農民將作出更明智的決定，以數據驅動農耕。甚者，在未來奈米技術可應用在農業生產，利用奈米微膠囊包覆的傳統肥料、殺蟲劑和除草劑，可緩慢而持續地釋放養分和化學藥劑，供給植物更精確的劑量，其有助於防止60%的肥料流失到環境中造成汙染，並讓植物能受到保護與良善的疫病處理。

各國政府面對氣候變遷、天然資源短缺和人口壓力的威脅，皆積極發展農業生產技術，同時新技術也就造利害關係

人權利義務關係上的改變，因此各國政府透過財政獎勵、監管的靈活度，規劃興建基礎設施，以營造適當產業環境。同時政府也發展相關配套措施以促進發展，包括：一、協調食品安全體系；二、增加監管過程中品質的透明度；三、開發頂尖國家糧食安全研究與合作中心；四、調查並衡量非關稅壁壘對糧食生產的影響；五、提升國內食品檢測量能（De Clercq et al., 2018）。

為了實現產業發展目標，可透過國際雙向合作、產學合作等策略導入跨域人才，以強健農企業體質。同時加強知識產權保護工作、完善專利保護制度，並提供優惠政策，為農企業從事研發提供更高的誘因。全球糧食危機與跨域技術的發展將為地狹人稠的臺灣帶來新的挑戰與機會，臺灣的資通訊與生技產業發展蓬勃，在熱帶農業居於領先地位，跨域技術整合將為我國農業找到新的競爭力與發展契機。

致謝

本文感謝行政院農業委員會「議題導向之農業科技領域策略規劃與輔導訓練（109農科-1.1.2-科-a1）」計畫經費補助。

參考文獻

1. Al-Chalabi, M. (2015) Vertical farming: Skyscraper sustainability? *Sustainable Cities and Society* 18:74-77.
2. Chapman, S. (2018) What's the beef? *New Science* 239:22-23.
3. De Clercq, M., Vats, A. & Biel, A. (2018) Agriculture 4.0: The future of farming technology. World Government Summit in collaboration with Oliver Wyman.
4. FAO. (2018) The state of world fisheries and aquaculture: Meeting the sustainable development goals. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
5. Godoi, F. C., Prakash, S. & Bhandari, B. R. (2016) 3D printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering* 179:44-54.
6. Jaiganesh, S., Gunaseelan, K. & Ellappan, V. (2017) IOT agriculture to improve food and farming technology. 2017 Conference on Emerging Devices and Smart Systems (ICEDSS).
7. Min, H. (2019) Blockchain technology for enhancing supply chain resilience. *Business Horizons* 62(1):35-45.
8. Rao Mogili, U. M. & Deepak, B. B. V. L. (2018) Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science* 133:502-509.
9. Vigani, M., Parisi, C., Rodríguez-Cerezo, E., Barbosa, M. J., Sijtsma, L., Ploeg, M. & Enzing, C. (2015) Food and feed products from micro-algae: Market opportunities and challenges for the EU. *Trends in Food Science & Technology* 42(1):81-92.

