

農業 4.0-探究未來的耕種/養殖技術發展

摘譯:台灣農業科技資源運籌管理學會

前言

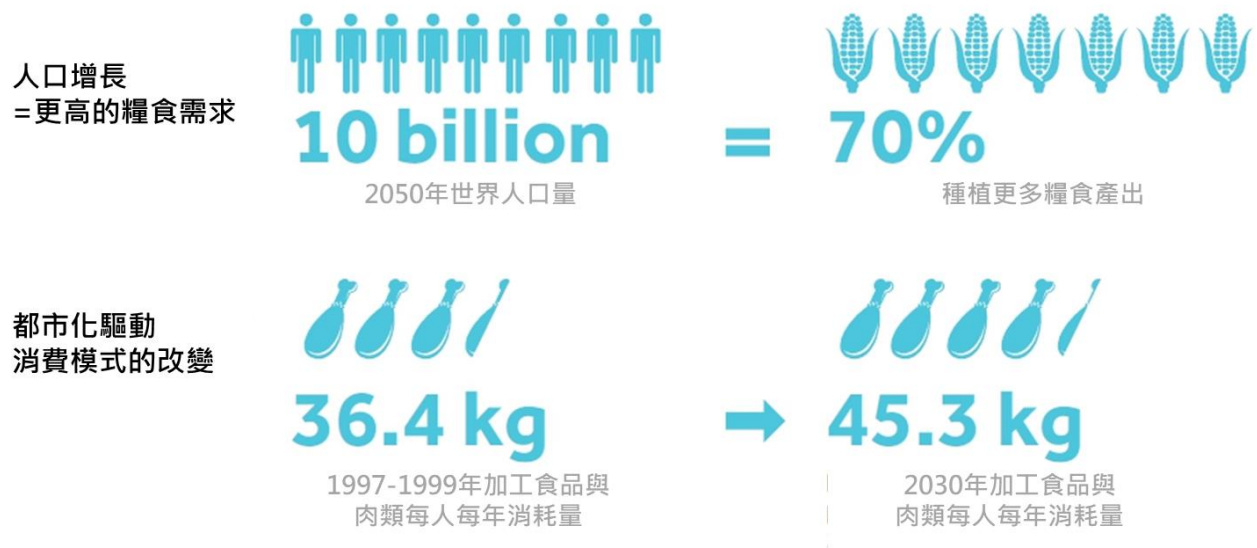
- 2015 年，聯合國 2030 持續發展事項與國際社會承諾終結飢餓，但事實是全世界大概有 8 億人口吃不飽，且估計到 2030 年全球人口大約有 8% (6 億 5 千萬人) 仍處於營養不良的狀態。
- 到 2050 年，我們需要生產多 70% 的糧食，同時，農業占全球 GDP 目前已縮減至 3% (僅剩十年前的 1/3)。農產業近年來極少革新，全世界需要更激進的方式來改變現況。
- 4 個主要發展造成傳統農業模式對於未來食物需求的壓力：人口總量、自然資源缺乏、氣候變遷與食物浪費。面對這些挑戰需要政府、投資者與革新農業技術的努力，且必須打破原有生產系統。
- 農業 4.0 將不再依賴整體區域性的用水、肥料與農藥，其將針對特定區域，如乾旱地帶種植，並應用大量乾淨資源如太陽能及海水。其他革新技術例如 3D 食物列印、人造肉、基因改造與水產養殖。
- 未來農業將應用機械人、溫濕感應器、空照影像與 GPS 等尖端技術，這些先進的精準農業技術將讓務農更符合收益、有效率、安全且友善環境。然而依照 FAO 報告，這些用以終結 2030 年飢餓及人口壓力的代價相當昂貴，每年需花費達 2,650 億美元的投資。
- 比起傳統的監督與促進功能，政府們在解決食物短缺需扮演更重要角色，需建立更寬闊、國際性的團隊合作架構，組織大型合作計畫，保留靈活度來驅動革新。這些大型計畫需及中於創造新產品、解決方案及市場領導者，且政府們需要加緊驅動目標達成。
- 為挑戰傳統模式與追尋新型態計畫，各國政府可以：
 1. 確保糧食安全並降低進口依賴
 2. 外銷包括產品、品牌及新式解決方案的整體鏈結
 3. 增加生產率，並推動轉型成為創新、知識型經濟

1. 農企業面臨的幾個挑戰

1.1. 人口的增長將推動糧食需求

- **人口增長**：未來每十年人口預期增長 33%，從 2017 年的 76 億人將增加到 2050 年近 100 億人。到 2100 年保守估計將增加到 112 億人，甚至高達 165 億人口。
- 全球飲食方式也改變，高價動物性蛋白因都市化及收入提升而需求提升。
- **都市化增加**：到 2050 年將增加 24 億人成為都市化人口，都市化也造成基礎設施如冷鏈的需求增加。都市化也造就收入提升，增加動物來源食物的需求；1997-1999 年每人每年肉類消費 36.4 公斤，2030 年將增加到 45.3 公斤。
- 在已開發國家，依賴大量肉類速食及加工品，造成兒童肥胖，以及糖尿病、高血壓及心血管問題的慢性疾病。這些慢性病造成全球疾病高達半數的負擔，且在開發中國家伴隨感染性疾病造成更嚴重的危害。
- 肉類需求增加對環境的影響也加劇，增加的畜產養殖佔了幾乎 1/4 的農業用水，且佔了人類溫室氣體排放量的 18%，長遠來看環境無法負荷。
- 依照 FAO 的估算，到 2050 年我們需要生產多 70% 的糧食以滿足城市人口族群。雖然農業投入與創新提升了生產率，但仍不足以滿足需求。
- 雖然糧食的需求增加，鄉村人口族群卻持續萎縮，擁有主要勞動力、生產模式、土地所有權及社群組織的鄉村族群卻急速老化。

圖1：人口統計學



1.2. 現今天然資源使用量已高度緊繃

- 全世界農地已愈來愈不適合生產，25%的農地已被評為高度貧脊，其餘 44%則為中度或輕度貧脊。
- 水資源高度緊繃，全世界大於 40%的農村人口族群居住在缺水區域。
- 早期土地資源貧脊，可輕易找到閒置土地置換耕作，但現在耕地早已變成有限的資源。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。
- 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，造成土壤流失。
- 大約有 80%的全球森林砍伐量是因農業考量造成，並因此造成水資源流失而土壤貧脊。雖然有很高的灌溉系統使用率，人口的成長依舊造成水資源的貧乏；至 2050 年，光是開發中國家，所需維持灌溉水的投資就將高達 1 兆美元。
- 土地貧脊與短缺也造成了農事人員開始砍伐森林、冒險在陡坡上種植、過度放牧與不平衡的施肥。為了保護土壤與控制食物，預計須計畫性投入 1,600 億美元。

圖2：天然資源



- 直接與間接造成農地貧脊的因素：在不適當的土地上砍伐森林、植被過度削減、休耕期不足、過度放牧、不當輪作、不平衡的肥料施作

1.3. 氣候變遷造成農業生產量降低

- 氣候變遷正在迅速改變環境，根據 2014 IPCC 的報告，溫室氣體 (GHGs) 的人為排放程度已達歷史新高。
- 農業是溫室氣體主要生產者之一：過去 50 年內，農業、林業與其他土地利用造成的溫室氣體排放量幾乎翻倍，尤其為全球甲烷及氧化亞氮的最大來源。
- 農業生產力下降：氣候變遷的副作用包括降水變異，以及發生乾旱與洪水的頻率上升，造成農產力下降。雖然高溫可以提高作物生長率，FAO (2016) 研究指出當白天溫度超過某個程度，農產量將顯著下降。
- 氣候變遷將影響糧食生產的每一環節：氣候變化將導致長期的環境問題，例如地下水枯竭和土壤貧瘠，都將影響糧食和農業生產體系。
- 若未能努力適應氣候變遷，將大大影響糧食安全：氣候變遷不僅影響糧食供應，對食品品質、食物流通及使用都造成很大影響。

圖3：氣候變遷

溫室
氣體排放



降水變異
降低農作產量



乾旱與洪水的頻率增加，造成農作產量的降低

1.4. 食物浪費造成龐大的無效率市場與環境威脅

- 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。美國的食物浪費佔總 GDP 的 1.3%，造成龐大的無效率市場，這是在其他產業中不會發生的。
- 有 8 億人每天吃不飽，而每年美、英與歐洲浪費食物的四分之一就可以餵飽他們。
- 因為全球糧食供應系統，西方世界對糧食的需求造成發展中國家對食物生產的價格提升。此外，飢餓不是僅發生在落後國家，在英國超過百萬人口去年到過食物銀行，美國則有 4 千萬人處於缺乏糧食的狀態。
- 食物浪費也對環境有害，浪費的糧食需花掉比中國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，浪費的食物也造成全球 25% 的淡水的消耗。
- 食物浪費不只是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，所產生的毒性比二氧化碳更高 23 倍。
- 食物浪費是摧毀地球的一大主因，如果把浪費的食物當成一個國家，那將是中國和美國之後的溫室氣體的第三大排放國。

圖4：食物浪費



3rd

第三大的溫室氣體排放量，僅次於中國與美國（若將食物浪費當成一個國家）

1.5. 結果：貧窮與飢餓

- 這些趨勢造成糧食短缺問題，結果造成貧窮與飢餓：7 億人口極端貧窮、8 億人口面臨慢性飢餓、20 億人則有微量營養素缺乏的問題。世界銀行估計這 8 億人中，有三分之一住在發展中國家的農村地區，絕大多數也處於政治危機與暴力衝突。
- 農糧產業在過去半世紀中取得重大成就：1960 年開始的綠色革命技術將全球農產量翻了 3 倍。不僅在農業本身，必要的增長策略同時也創造就業機會與收入多樣性。
- 為了終結飢餓，依 FAO 的估計每年需額外花費達 2,650 億美元的投資額。

圖5：造成缺乏與飢餓的全部趨勢因子

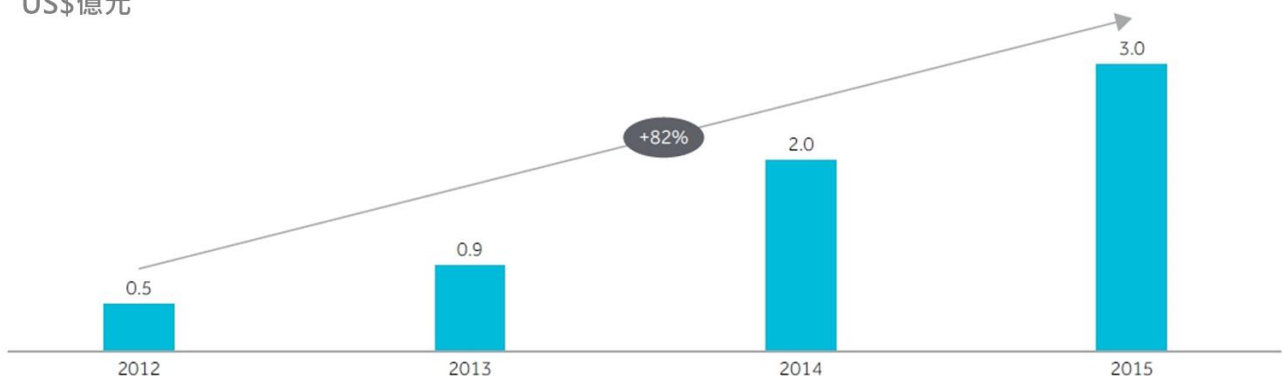


2. 農業 4.0：以創新技術打破原有生產系統

- 食品產業的傳統生產方式正進行根本性的轉變，農業的第一次技術革命取得重大進展：1961 至 2004 年，透過現代農業的做法，包括灌溉、化肥和農藥的使用，以及新的作物品種開發，東亞地區穀物產量每年增加 2.8%，整體產量成長超過 3 倍(世界銀行, 2008)。
- 然而生產效率正在放緩，所面臨的挑戰則更大：到 2050 年必須多生產 70% 的糧食，並使用更少能源、化肥和農藥，同時要降低溫室氣體排放以應對氣候變遷的問題。
- 農業 4.0 是即將到來的農業革命，其需同時了解食品短缺問題的需求端與供應端 (價值鏈)；運用的技術不能僅是創新，同時要改善並解決消費者真正需求，並重新塑造價值鏈。
- 因為感應器、設備、機械與資訊科技等技術的進步，現代農場與農業經營將大不同。未來農業將應用機械人、溫濕感應器、空照影像與 GPS 等尖端技術，這些先進的精準農業技術將讓務農更符合收益、有效率、安全且友善環境。
- 農業 4.0 將不需再依靠整個區域的水、化肥和農藥，相對農民會以最低使用量，甚至在供應鏈中將這些資材完全移除。農民將可在乾旱地區大量運用太陽能與海水等乾淨資源來栽種作物。
- 好消息是數位與技術的進步正全面進入產業，提升整個糧食價值鏈。自 2012 起農業技術新創公司每年以超過 80% 的速度高速成長，例如日本的孫正義投資了 2 億美金在研發室內垂直農場。
- 為了打破原有生產系統，農業 4.0 的新技術與解決方案的具體作法包括：
 1. 應用新技術以不一樣的方式生產
 2. 應用新技術帶給消費者糧食產品，增加食物供應鏈效能
 3. 整合跨產業的技術與應用

圖6：農業科技投資

2010-2015 全球創投於農業科技之金額
US\$億元



Source: Agtech, World Bank

2.1 應用新技術以不一樣的方式生產

水耕栽種

- 水耕栽種是不用土壤，在水溶液中使用礦物營養栽培植物的方法。
- 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，並永續運行。

藻類原料

- 量產藻類可作為水產養殖中的原料與魚粉的替代品。在大部分地區，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，能有效掌握水產養殖成本並降低財務風險。
- 全球僅有一小部分比例的漁獲是用來食用，其餘皆用來於當作水產養殖與其他畜產飼料。在中國等新興經濟體，漁獲加工成魚粉的比例不大可能隨著水產品的需求而增加。
- 漁獲的捕抓量不可能持續增加，畜產方面也是如此，尤其是肉牛的飼料轉換率低於 15%（餵養 1 公斤飼料換得 150 克牛肉），藻類原料可作為有效且便宜的替代飼料來源。

沙漠水產養殖與海水農耕

- 全世界大部分表面覆蓋著海洋，其餘的陸地只佔了大約 29%，其中又有三分之一是各種類型的沙漠。為了應對糧食危機，人類必須將沙漠和海洋作為食品生產的腹地。
- 沙烏地阿拉伯的 KAUST（阿卜杜拉國王科技大學）為沙漠農業研究的最前線，其面臨農業在沙漠環境下帶來的嚴峻挑戰，研究內容包括生物和非生物因素。生物研究的範圍包括：基因工程技術用以操控生物系統與植物生長發育、逆境下的植物生長調節劑、根據營養性調節枝與根形狀的植物激素等。
- 由於乾旱、鹽與高熱的因素，農作損失大概為總產量的 60%，作物改良可提高非生物的脅迫耐受性。植物適應極端威脅的能力取決於其與微生物的相互關係。KAUST 的研究包括：植物在極熱、乾旱和高鹽條件下生長相關聯的標記微生物；辨識植物與微生物相互作用以適應極端環境的分子機制；利用根的交互作用加強植物的逆境耐受度。
- KAUST 也嘗試以記憶體貯存及染色質因子修飾來提升病原體抗性、脅迫耐受性和產量，藉以培育脅迫耐受性作物。

永續包材：生物塑料

- 全球共有 1 億噸的垃圾殘骸在海中漂流，其中大部分是一次性的食品塑膠包裝容器與塑

膠袋。愈來愈多消費者呼籲產業界研發可回收、可生物降解或也可堆肥用的食品容器。

- 生物塑料已存在超過 20 年，然而開發者並未設法讓其擁有跟塑膠一樣的效果，並 100% 無害自然分解。
- TIFA 成立用以創造可行的塑膠包裝解決方案，其願景是創造一種相當於蔬菜或水果，可堆肥、回收的包材：當被丟棄時可分解且不殘留毒素。TIFA 發展先進的軟塑包裝，可完全融入現有的食品製程，提供與傳統塑膠相同的耐用與保存性，使用後也可以像橘子皮一樣當成有機廢棄物丟棄。

2.2 應用新技術帶給消費者糧食產品，增加食物供應鏈效能

垂直與城市農耕

- 2016 年阿聯酋進口了超過四百萬噸的水果和蔬菜，商業規模的農企業供應的新鮮農產品，有益於當地政府與居民。垂直農耕可永續提供高品質產品，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，其利用少於 95% 的水，少施化肥與營養補充劑，且無農藥，同時還可提高生產效率。
- 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；其領先全球，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。而因產品為在地種植且不需依靠輸入，水果與蔬菜的供應更為即時與新鮮。
- 舊金山的 Plenty 公司結合農業與作物科學，利用機械學習、物聯網、大數據與氣候控制技術進行大規模進行室內農耕，其可種植健康糧食並大量降低水與能源的使用量。
- 政府也開始利用這些技術生產，在荷蘭利用溫室生產全國 35% 的蔬菜產量，其只用了不到 1% 的耕地規模。荷蘭的 Wageningen 大學作了很多室內種植的相關研究，但其仍須依賴溫室外陽光的幫助。
- 然而考量經濟效益，垂直農耕仍需依賴於廉價電力，政府可以透過提供電力補貼或其他租稅優惠來支持這些農場的發展。擁有高知識、低能源成本，且政府願意建立公私營夥伴關係的國家將成為此一領域發展的領導者。

基因改造與人造肉

- 在開發中國家，利用傳統育種技術開發抗旱小麥作物來提高產量，但要解決未來的糧食需求，需進一步發展基因工程。
- CRISPR 基因編輯技術提供了新型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，更可用以生產含有必須維生素、營養與礦物質的作物。此外，CRISPR 技術也

可以用於食用性動物的改良。

- 人造肉具有很大的發展潛力，但仍處於前期未成熟的發展狀態，其對於糧食安全、環境、食用動物疫病與動物福利都將產生很大的影響。
- MosaMeat 是少數具有人造肉技術的荷蘭新創公司，其目前正在開發培養絞肉(漢堡肉)商品，並計劃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。

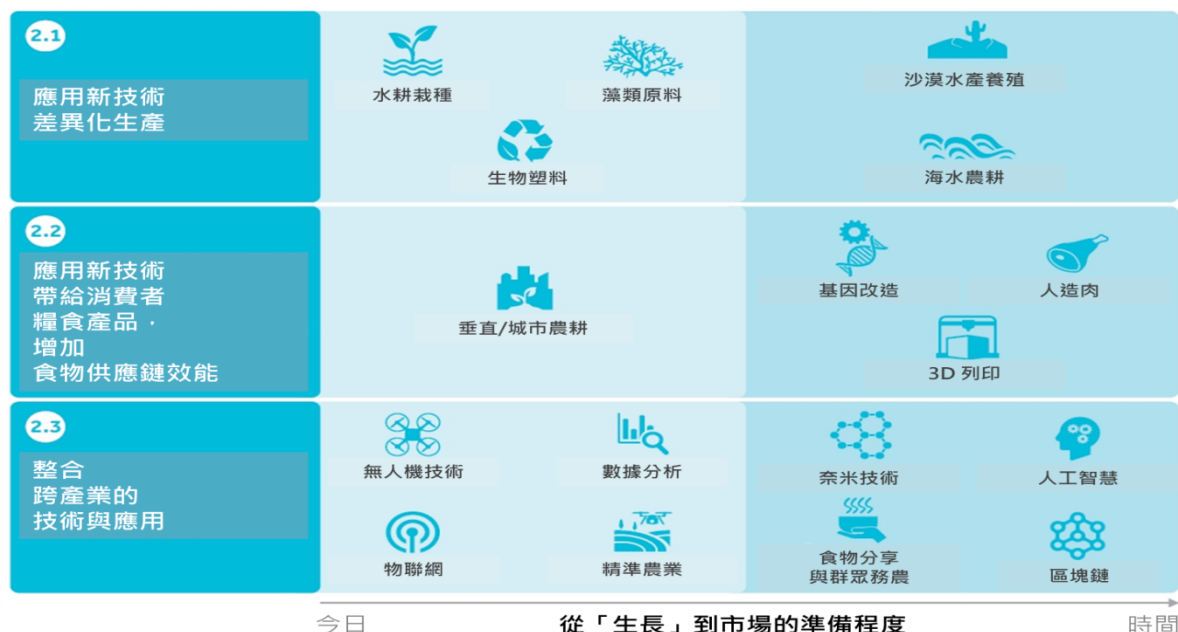
在食品上應用 3D 列印技術

- 在製造業中相當重要的 3D 列印技術，目前也被應用於食品生產。3D 列印是利用原料層層打樣型塑創造出物品，在食品上可用來製造熟悉的菜餚。專家認為可利用膠體作為食品基質進行打印，原料則可利用藻類、葉菜等可再生原物料。
- 荷蘭應用科學研究組織已發展出微藻的打印方法，其可作為蛋白質、碳水化合物、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。3D 列印實際上是將「泥」變成菜餚的技術，在另一研究中，研究人員就將研磨的食用蟲粉加入餅乾中。
- 未來的食品零售商可能直接存放「食物墨水匣」而非完整、容易變質的食品，不僅可騰出貨架空間，也可降低運輸及貯藏的成本。
- 3D 食品列印也用以發展肉類替代品，有研究開始利用藻類當成動物性蛋白的替代來源，也有嘗試在實驗室培養肉牛細胞。

2.3 整合跨產業的技術與應用

- 由於「精準農業」的發展增強農場的連結性，未來幾年內農業生產效能與生產力都將大幅上升。到了 2020 年，超過 7500 萬的農業物聯網設備將被應用：農場從 2014 年每天

圖7：發展時程
技術與發展圖



平均產生 19 萬個數據點，到 2050 年每天平均將產生 410 萬個數據點。

- 愈來愈多的設備連結提供了糧食生產更大的契機，同時也增加了複雜性。解決方案是利用認知技術幫助理解、學習、推理、互動並提升效能。這些創新技術帶來長遠的影響，但也伴隨著更大的承擔，改變的關鍵因素包括：
 1. **物聯網 (IoT)**：物聯網的數位化轉變正在改造農業世界，其提供糧食生產上結構性與非結構性數據的關聯性。IBM 的 Watson 物聯網平台應用機械學習技術，將感應器或無人機收集到的數據轉換成真正的 AI 管理系統。
 2. **技術與操作流程自動化**：聯合國預測到了 2050 年，全球三分之二的人口將居住於城市區域，大大降低農村勞動力。新的技術將減輕農民的工作負擔：將可遠端操作、自動化處理、辨識風險並解決問題。未來農民將結合技術與生物技能，而非單純的農業操作。
 3. **數據驅動農耕**：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。
 4. **諮詢機器人**：目前以 AI 驅動的諮詢機器人 (虛擬助理) 已應用於零售、旅遊、媒體及保險業，但在農業上，還可用來幫農民針對特定問題提供解答與建議。

無人機技術

- 由於大量投資與寬鬆的規範，無人機的時代已經到來：在所有應用的產業中，以無人機提供解決方案的總市值高於 1,270 億美元，而其中最有發展性的領域就是農業。無人機提供農業高科技改造方案，在作物栽種週期中的 6 個功能包括：
 1. **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。
 2. **種植**：新創公司創造了無人機種植系統，可降低種植成本達 85%。此系統將種子與營養源投射進土壤，提供作物生長所有的必須營養成分。
 3. **作物噴灑**：無人機可掃描地面，即時均勻噴灑覆蓋；用無人機空中噴灑比傳統機械操作更快上 5 倍。
 4. **作物監測**：利用無人機收集時序影像，可觀察作物發展變化，提升控管以改善低效能生產。
 5. **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。
 6. **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。

- 未來無人機可能組成自主機群，收集數據並執行任務，其最大的挑戰是感應器對高品質數據的收集，以及軟體運算的能力。

區塊鏈與農產業價值鏈

- 區塊鏈為分散式帳存技術，提供高度安全性的數位交易與帳目紀錄。雖然區塊鏈目前主要用於流通虛擬貨幣，亦可發展應用於農業交易。
- 區塊鏈可增進效率並減少詐欺行為，改善食品安全、農民支付與交易時間。經由改善供應鏈的可追溯性，監管機構能夠快速辨識食品污染的來源，並確定汙染過程中受影響產品的範圍；此外亦可透過偵測供應鏈中食品腐敗問題來降低浪費。
- 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，而區塊鏈的透明度還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，都可以有效的被監管，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。
- 區塊鏈技術可用以防止哄抬價格與延遲付款，同時免去中間商並降低交易費用，進而衍生更公平的价格並幫助小農提升獲利。

奈米技術與精準農業

- 盲目地使用農藥和化肥驅動了 20 世紀的綠色革命，其造成土壤生物多樣性的喪失，以及病原菌與害蟲抵抗性的上升。
- 由奈米技術驅動的精準農業將帶動新一波革命，包括由奈米粒子輸送給植物，以及透過先進的生物感應器來精準農耕。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。利用奈米技術進行精準農耕的優勢包括：
 1. 大約有 60%的肥料流失到環境中造成污染
 2. 奈米肥料可幫助農藥緩慢且持續地釋放，用量精準
 3. 更佳的植物保護與疫病處理
 4. 生物感應器用以檢測作物農藥，有助於更周全的決策

食物分享與群眾務農

- 共享經濟與群眾外包（crowdsourcing）也可用以防止食物浪費；社群可分享各類商品與服務，包括乘車、住宿與食品在內的各種產業。

- 由社會企業創立的 Olio 餐廳，開發連結人群與當地商家的 app，提供剩餘食物共享的服務以降低食物浪費。
- Naranjas del Carmen 則建立了群眾務農 (crowdfarming) 的概念，創造了土地與樹木所有權的共同開墾系統。透過這個模式，樹上的果實歸給栽種者，創造生產與消費的直接連結，避免價值鏈中過度生產造成的浪費。

3. 政府的角色

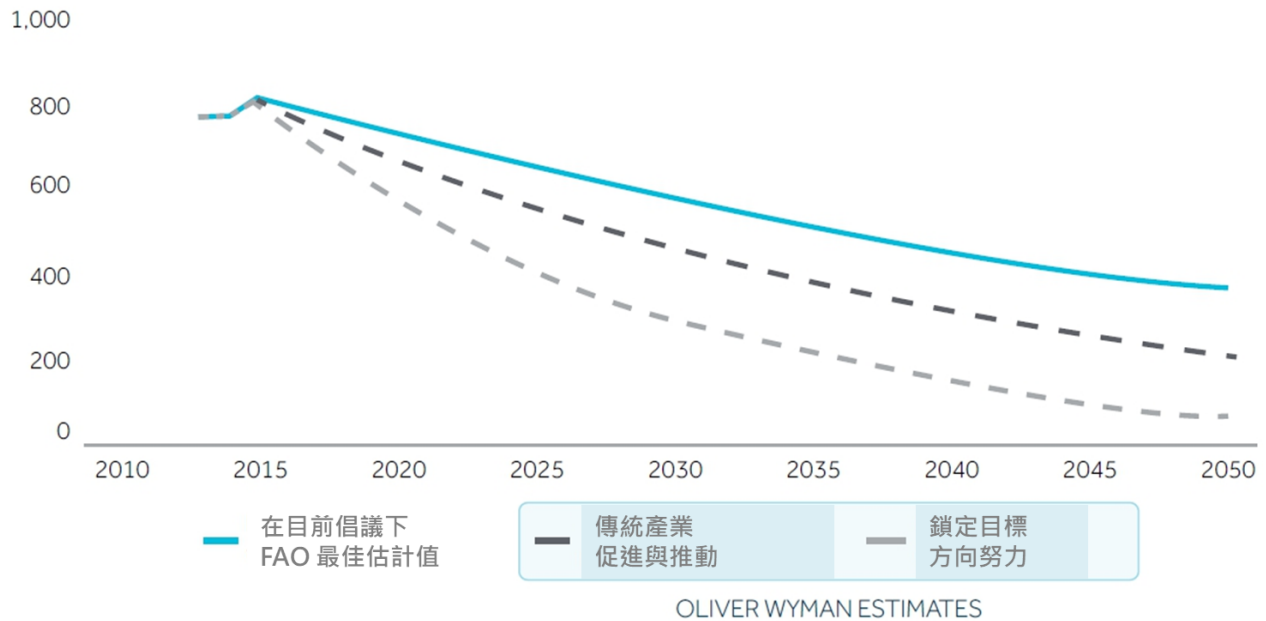
- 所有新技術都造成利害關係人的改變，尤其是政府，其必須以農產業解決飢餓與糧食短缺問題。各國政府面對氣候變遷、天然資源短缺和人口壓力的威脅，必須將強對農業 4.0 的技術發展。為了挑戰傳統模式，各國政府可以：
 1. 確保糧食安全並降低進口依賴
 2. 外銷包括產品、品牌及新式解決方案的整體鏈結
 3. 增加生產率，並推動轉型成為創新、知識型經濟
- 政府目前有兩種政策劇本可選擇：僅扮演傳統產業的推動及促進者，或朝針對性目標導向而努力。

3.1 以傳統產業擔任促進/主導者的方法是不夠的：遵循鎖定目標導向的策略

- 傳統產業透過推廣和協調的方式，政府扮演目標性生態系統的推動者，打造一個正向環境讓參與者進來，其為政府吸引業者的典型模式。在此模式下政府給予支持，經由：
 1. 進入新市場與商業化支持的夥伴關係
 2. 財政獎勵
 3. 監管的靈活度
 4. 以實惠的價格提供基礎建設
- 透過這種做法，雖然可更直接應用且更容易短期實現，卻也更不容易掌控這類型的人參與。其本質是種「建立而後產業跟進」的作法，而非確保挑選最佳與最精明的人一起工作解決問題。其同時也僅針對商界的商業應用，且通常不包括其他單位、大學與政府大型計畫的更廣泛合作。最終，傳統產業的升級與促進方法是建立於，擁有最佳生態系統的各國間競爭。
- 在針對型目標導向的努力下，各國不僅將全球糧食危機簡單視為威脅，同時也會是個機會，來進行大膽創新的大型計畫。
- 針對型目標導向方案，通常需要有遠見的決策來做出改變，最有名的成功範例就是美國的阿波羅計畫。1969 年登陸月球被視為人類歷史上最偉大的技術成就，但在 1961 年甘迺迪總統宣布計畫開始時，沒人認為有機會達成，甚至連美國 NASA 官員自己都質疑是否能成功。

圖8：實現安全的 S 曲線影響 - 1. 什麼都不做、2. 由下而上、3. 極端程序法

生活在飢餓狀態族群的情境
人口密度



1969 年，在花了八年時間及 240 億美元（現值 1,500 億美元）後，全世界超過 500 萬人透過電視觀看阿姆斯壯登陸月球。阿波羅任務建立於半導體、通訊及自動化的創新，這些技術在當時都是難以想像的，同樣的這些技術也造就日後的全球化、外包、精益生產等，創造了目前全球化的生產體系、產品與大規模客制化。從這首次的大膽創新計劃，我們可以學習到：

1. **集中全力。**當甘迺迪設定提案開始，他並未繪出新路徑，而是集中串連現有的能力。創建工作計畫時不要從無到有，而是給出方向、願景與堅持來達成目的。
2. **不要規範。**在設定目標時，甘迺迪列出具體事項並給了期限，留給 NASA 自行達成。創建工作計畫時，設定好要做什麼（what）、期限（when），而要如何做（how）就留給專家來解決。
3. **納入其他夥伴。**雖然 NASA 擁有全世界最好的工程師團隊，仍需要其他 12,000 家公司共同達成登月計畫；儘可能從外部吸收最好的專業知識進來。
4. **採取小步驟。**最好的專案是在視野內串聯小型計畫，NASA 計畫包含了 23 個小規模、任務型的目標團隊，其可讓 NASA 持續評測結果。
5. **投入時得到投資回報。**美國在太空任務中優於蘇聯就是因為有效回報投資，制定好方案而不要在最後才支付報酬。
6. **進度溝通。**跟最重要的關係人好好說清楚整體進度。

不該是二擇一的方案主張

- 糧食危機需要大膽的解決方案，應該理解問題並採取正確的步驟進行。政府無需就鎖定目標導向或傳統方法二者選邊站，應該在採取目標導向和解決問題的思路基礎上，打破價值鏈重新整合協作。

圖9：方法的差異性

可能的情境

傳統產業促進與推動 由下而上法	 鎖定目標導向策略 由上而下法	
重點在供應 - 建立後產業跟進	重點在需求，讓產業先來而後共同建立	
有機的 - 拉進	計畫性種植 - 推動	
競爭 - 基於核心與供應商關係	協作 - 基於製造、生產與研發關係	
地理位置 / 全球競爭力	專注於目標	
獎勵以擴大規模	解決問題的資金為基礎，以吸引最佳夥伴	
在地化現有產業 / 價值鏈 / 取代性競爭	形塑未來解決方案及新產品 / 創造新的優勝者	
廣泛與多樣性	集中與目標性	

各國政府應該做些什麼？

- 各國政府應改善生態系統並營造適當環境，提供財政獎勵、監管的靈活度，並以實惠的價格提供基礎建設。各國政府必須站在解決糧食安全問題的最前線，透過開明的獎勵與協調促進發展，就如同之前成功的阿波羅太空任務，持續推動直到解決糧食危機。在這個方向上，有幾個措施可以考慮：
 1. 協調食品安全體系
 2. 增加過程中品質的透明度
 3. 開發頂尖國家糧食安全研究與合作中心
 4. 調查並衡量非關稅壁壘的影響
 5. 提升國內食品檢測量能
- 政府可以扮演促進協作的關鍵角色，包括實現規模、效能，並改變整個價值鏈與市場，特別是國內市場較小，由相對小型企業組成的產業規模。
- 為了保持競爭力，企業間需要能互通訊息，並與當地競爭對手與國際同行共享知識與資源。關鍵是保持深度與高品質的網絡與互動，深度的互動網絡可以帶來更快速、更創新的解決方案。
- 增進企業與研究機構的協作互動是必須的，在地企業通常缺乏如研究機構般全面性的優勢。過度複雜的智慧財產權、研究補助與商業產出無法互補，以及缺乏企業需求與科學解決方案的有效轉譯，都可能增加雙方協作的困難度。
- 為了實現目標，政府應該為方案找尋最優秀的人才，優秀人才的競爭激烈，差異化是吸引人才的關鍵：
 1. 提供高品質的工作機會
 2. 讓全球專家看到這將會是唯一的機會，並帶來全世界的影響
- 創立教育方案與認知的舉措包括：
 1. 針對全球糧食危機的急迫性推出教育方案，教育人民與企業優化糧食供應並降低浪費
 2. 規劃強而有力的交流活動
 3. 包括學校、大學、私人企業、在地與國際活動，涵蓋所有相關單位及議題
 4. 建立獎勵制度，以確保此議題上保有良好作為與認知

參考文獻：

De Clercq, M., Vats, A., & Biel, A. (2018). *Agriculture 4.0: The future of farming technology*. World Government Summit in collaboration with Oliver Wyman. Available online:

<https://www.worldgovernmentsummit.org/api/publications/document?id=95df8ac4-e97c-6578-b2f8-ff0000a7ddb6>