

探勘國際農業淨零碳排作為

李宜映 宋宛芝

台灣農業科技資源運籌管理學會

生物炭協會

前言

據政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Chang, IPCC）第六次評估報告表示，當升溫已超過攝氏 1.5 度，對全球帶來直接影響包括高溫、水資源的短缺與災害發生頻率上升，間接影響則包括病蟲害影響加劇、作物授粉媒介改變等造成農業損失，若未採取預防措施，將可能影響糧食安全。IPCC 報告指出 2019 年全球人為溫室氣體淨排放量為 590±66 億公噸二氧化碳當量，較 2010 年高出約 12%，比 1990 年高出 54%，在排放量增幅最大者為化石燃料與工業的二氧化碳，其次是甲烷，而增長率最高的含氟氣體，近幾年有明顯成長。鑑於此，聯合國氣候變化綱要公約 2021 年於蘇格蘭格拉斯哥舉行的 COP26，其合併三個國際公約締約國會議，包括《聯合國氣候變遷綱要公約》、《京都議定書》以及《巴黎協定》通過協議，此次會議以守住升溫臨界值攝氏 1.5 度為目標，敦促各政府提出減碳期程與積極路徑，更首次將「減少煤炭使用與降低化石燃料補貼」納入目標，達到 1.5 攝氏度目標有一個

簡單明瞭的重要指標為淨零排放 (Net Zero)，並呼籲世界各國提交實際減排計畫，以實踐巴黎協定定下的目標。爾後 2022 年在埃及舉行的 COP27 關鍵詞是「補償過去、適應當下、應對將來」，國際間除了共識損失與損害基金機制、再次確認 1.5°C 控溫目標、協商新財務目標、氣候培力行動、全球調適目標、農業與糧食安全、全球盤點等決議外，淨零轉型、漂綠監督機制、青年或氣候正義展館等倡議為重要焦點。在 COP27 會議上，近 200 個國家代表同意設立一個「損失受害基金」(Loss and damage)，幫助脆弱國家應對極端氣候災難。這是本次會議較正面的積極成果，亦凸顯先進國家與發展中國家在氣候變遷議題上，負有共同但差別的責任，而全球碳市場的議題預期將對台灣產生較大影響。據彭博 (Bloomberg) 新能源財經針對 20 大工業國家，進行包括電力、化石燃料脫碳、運輸、建築、工業和循環經濟等六大領域發展穩健度評估，所發表之《G20 零碳政策評比》報告，第一名至第五名分別為德國、法國、南韓、英國和日本，平均得分為 67%，上述國家皆已將淨零目標納入法規，並已建置減碳相關基礎設施，為全球淨零發展之領先者。本文也將透過次級文獻分析，探勘日本、法國、英國、歐盟等標竿國家農業淨零行為，掌握其針對國情與技術特點量身打造的政策配套，以有效支持低排放創新及技術擴散，並創造出社會與環境的共同效益，可

作為國內決策單位重要參考。

一、日本農業部門淨零轉型策略

2020年10月，日本宣告2050年碳中和目標，經濟產業省並於同年年底發表對應之「綠色成長戰略（グリーン成長戰略）」於「糧食與農林漁牧業」領域，將透過開發熱泵等節能技術以達到園藝設施零化石燃料使用、擴大有機栽培達全國耕地面積的25%、農機與漁船電動化或氫能化、提升人工林循環及木材擴大使用等創新策略，以提升農業生產力與建立永續發展的生產體系。由於日本農業部門於2030年減量目標中責任占比約3.5%，農林水產省於則針對7大領域包括「農畜業」、「食品」、「森林吸存」、「水產業」、「跨領域措施」、「創新開發」、「國際合作」分別擬訂對應策略，且設定量化指標及預期達成目標年度，以可階段性追蹤實施成效。日本農業整體碳中和策略可分為「減排」及「碳吸存」兩大方針：

（一）減排重要策略

- 1.促使農業機械及設施設備去化石燃料，改以氫能、電動或生質能等可再生能源驅動。
- 2.強化農用塑膠產品回收再利用，推動以木質素等生質原料取代塑膠製品。
- 3.精進畜牧業經營管理方法及低排放目標育種，並透過導入ICT、

AI 等智慧化技術，強化精準生產、準確管理，以達到省工、節能的成效。

(二) 碳吸存重要策略

1.農地土壤透過推動提升有機農業耕作面積，以及生物質肥料、堆肥的利用，提升土壤中有機質含量。

2.研發及導入新優良樹種、撫育管理技術以維護與擴大森林面積，達到大氣中二氧化碳直接吸收。

3.推廣日本全民大量使用可長期儲碳的木材，作為建材或新包材原料，形塑供需平衡、可永續發展的森林循環經營體系。

值得一提日本建立國內碳交易制度「J-信用 (J-クレジット, J-credit)」，不僅使農業領域減碳效益可透過跨領域交易轉變為經濟收入，亦有助全國協力達成碳中和目標。碳信用產出者包括中小農企業、農民、地方農民自治團體、森林所有人等，透過執行如導入節能設備 (電動空調或高效率照明設備等)、利用再生能源 (木材與太陽能等)、採用減碳飼養或耕作方法 (使用低甲烷排放飼料、農地施用有機質肥料或木炭等)，及森林撫育、栽植等措施之後，所減少或吸存的二氧化碳量，即可換算為 J-信用，並販售給需要的企業與地方自治團體，轉換為資金收入。現今已有實際案例可考，頗具參考價值。

二、法國農業部門淨零轉型策略

法國 2018 年農業產值達 730 億歐元，約占歐盟全體的 16.9%¹，在小麥、玉米、大麥等穀物產量為歐盟成員國中最高，其於歐盟農業部門中碳排放量占 18%，同樣居於首位，因此法國於農業淨零轉型中扮演重要角色。法國農業部門調查顯示溫室氣體組成以畜牧業排放的甲烷為主，占 45%，第二名則為土壤施肥產生的氧化亞氮，占 41%，與日本整體雷同，法國基於巴黎協定為轉型為「低碳社會」，提出「國家低碳策略（Stratégie Nationale Bas-Carbone, SNBC）」，尤以 2018 年提出的第 2 期為最，其第 2 期國家低碳戰略制定 41 項公共政策措施，包括減少碳足跡、增加能源轉型投資、低排放技術開發、限制土壤人工化(Soil artificialisation)、公民參與低碳文化轉型、低碳職業轉換等跨部門措施，以及運輸、建築、農業、工業、能源、廢棄物管理、森林碳匯等部門的溫室氣體減量目標和主要推動措施。

法國對於低碳農業轉型措施方面，努力因應過度使用化肥而造成的氮排放現況，預計在 2030 年之前，法國的農場要將化肥使用量減少 15%，並且對兩年未能達到目標的農場進行徵稅。除此之外，政府還將鼓勵農場種植更多樹木來改善土壤質量，從而解決水污染問題並促進碳固存。相關措施如下：

¹ 曾依璇（2019 年 6 月 10 日）。〈穀賤傷農的血汗迴圈 法國的農業改革路〉。中央通訊社。
<https://www.cna.com.tw/topic/newsworld/127/201906100002.aspx>

(一)增加作物多樣性:發展輪耕、混農林業等措施，以維護農業生態基礎設施，發展永續農林畜牧業。尤以法國本土的 31%及法屬圭亞那 96%的領土皆為森林覆蓋，一年碳吸存量約 40 MtCO₂e，極具利用價值，因此法國制定造林策略，以強化森林及木材的碳吸存能力，並精進對土壤碳匯的觀察和統計方法。另在確保生物多樣性的前提下，增加木材的取得及商業化利用，並開發完善的回收再利用機制，延長木材使用的生命週期的使用。

(二)減少甲烷排放:改善畜禽排泄物管理及飼養方針，降低腸道發酵氣體的產出，包括改良動物飼糧、植物肥料，減少過量的蛋白質含量。

(三)減少二氧化碳直接排放:開發生質能源廣泛替代化石燃料使用，並改善農用設施設備的能源使用效率，並積極開發可替代資源如使用有機質肥料、間作固氮植物，建立植物自給蛋白質來源。

(四)提振生物經濟發展:開發低溫室氣體排放量的材料並提高其附加價值，如沼氣、木質材料、生質材料、新世代生質燃料等。另外推動有機廢棄物(包含農林業生產過程中的剩餘生物質)的系統化收集與分類，另透過作物或植物覆蓋，增加土壤中有機質含量，或減少土壤人工化(Soil artificialization)，避免土壤儲存的碳逸散。法國 2018 年底開始推行低碳標章(Label bas-carbone)制度，獎勵有利於因應氣候變遷與鼓勵全國減排溫室效應氣體者。該標章迄今已認證逾百件計畫，

達成減排量相當於 30 萬噸溫室氣體，目前已認證計畫類別主要包括造林、受創劣化森林之復育及植被改善(將灌木轉植為碳匯量較高之喬木)、為改善畜牧業友善生態經營作法及栽種樹籬與果樹，以及減少施肥驅蟲等農藥投放等新農法等。

(五)推動消費者低碳飲食轉型: 推廣使用低碳、友善、在地生產之優質農產品，以致力改變消費者對食物需求與偏好，並制定新的營養建議和減少食物浪費相關措施。尤以法國於 2021 年 2 月通過「氣候與韌性法案」，自 2023 年起，學校或政府餐廳每日須義務提供素食餐點的選項，每周至少提供一次純素食餐；餐飲業的餐點組成需有 50%是永續食材，亦包含 20%有機食材，或標示產地來源和品質等，可自銷售終端為法國農業淨零轉型提供另一股拉力。

具體而言，地方有關減碳排放或二氧化碳封存之計畫與方式，經以科學基礎之標章認證為有效可行者，即可由當地企業、公務部門或地方政府提供資助，作法亦成為歐盟低碳推行典範之一。目前法國政府低碳標章設有網站專頁，推廣經認證之相關低碳減排計畫資訊，以便各界可依本身事業需求篩選資助標的(網址 <https://www.ecologie.gouv.fr/label-bas-carbone>)，有助於低碳轉型的價值理念擴散至各地。

三、英國農業部門淨零轉型策略

英國身為《聯合國氣候變化框架公約》(UNFCCC)的締約國之一，於2019年修訂《氣候變化法》，成為世界上第一個用法律形式確定淨零排放(Net Zero)目標的國家，此法案最主要的目的之一，就是全力讓英國成為低碳經濟的國家。英國預計在2050年時達到以1990年為基準減碳80%的目標，在此前提下，英國將逐年編列碳預算(Carbon Budget)來達成此目標，並因此衍生出淨零相關商機。

英國相對其他國家特殊之處在於早就視氣候變遷為一商機，其不僅在境內，以擴大內需的方式，投入低碳能源、低碳認證、低碳金融商品、低碳畜農業、低碳建築等，現今包括離岸風力發電技術、碳認證、環境顧問等已成功輸出國外，並獲取至少44億英鎊。由於英國低碳轉型白皮書(UK Low Carbon Transition Plan)涵蓋農業、能源、建築、運輸、商業等各面向的低碳方針及具體作法，被視為將英國帶入低碳經濟世界霸主的最高指導原則，亦成為各國參考的範本。

由於英國源於農業二氧化碳總排放量占全國的1.6%，一氧化二氮總排放量占全國的70%，甲烷總排放量占全國的49%。從數據中不難看出，與其他生產部門相比，農業是甲烷和氧化亞氮等高溫室效應氣體的主要排放源。因此英國推進農業低碳轉型的規劃方案與路徑，可以概括為下列兩大方面：

(一) 推動低碳農業生產技術

- 1.透過如改善糞肥管理，改進牲畜和耕種生產方法，減少相關建築物和農業機械的碳足跡等，以提高農業生產力亦同時達減少碳排放效益。
- 2.種植樹木，保護和修復土壤，增強農田的碳吸收能力與儲量，另外種植合適的能源作物，以恢復土壤有機碳以提高土壤肥力。
- 3.增加可再生能源和生物能源的使用，例如自行種植芒屬植物等生物能源作物，實現能源自給自足，並在增加生產作物多樣性和預防土壤有機碳流失的同時，實現農民額外收入。

(二)制定低碳農業激勵政策

目前英國正規劃兩種類型的政策，除了針對性較強並直接應用於農業、林業、泥炭地和其他形式土地使用及管理的相關政策外，英國還在研究國家脫碳戰略、能源政策，以及尋求改變人民飲食行為及未來食品市場的倡導性方案，相關政策如下：

- 1.向農業和林業提供選擇性的資金補貼，獎勵包括碳管理在內的公益服務(例如英國環境部剛宣布的新補貼計畫，農民將獲得每公頃高達70 英鎊的再生技術補貼，補貼範圍包括與牲畜一起種植農作物，以促進土壤健康的混合農業系統)。
- 2.鼓勵培訓並使用碳盤查、碳審計和減排規劃工具，並根據可證實的環境改善成果來提供補貼或激勵款項。碳盤查上係以二氧化碳、一氧化二氮、甲烷三者的排放量為盤查要點，調查作物生產、牲畜養殖過

程中使用的能源，以及食品加工產業等的溫室氣體排放量，亦會調研英國人民大量消耗如牛肉、羊肉、豬肉、乳製品等關鍵食品。

3.由於英國非常重視農民對氣候變遷的應變能力，因此有諸多研究在報導政府透過調查農民對溫室氣體的排放意識，了解農民的態度與知識，再藉此訂定讓生產者有感的減量與調適政策，增強對農業問題的研究投入，啟動更多的試點計劃，同時為農民提供高質量和可信賴的訊息諮詢、培訓和指導服務，加強提升農民對低碳農業措施的接受度，推動農民網絡組織形成和相關倡議的發起。

4. 英國在提升企業與大眾的淨零共識面向，會透過政府官網，加強大眾面對氣候變遷的網站內容與建議，並提供民眾、企業減碳與脫碳的專業諮詢服務。藉由加強溝通與參與，為產品和服務提供環境影響標籤，幫助提升企業與大眾的淨零意識進而作綠色選擇。同時政府透過與產業合作，建立監管機制、降低成本、提供品質更高及對環境衝擊低的產品與服務。

當制定和推出新的農業發展政策，通常需要極大的資源投入和可行性評估，因此英國積極開發有利於減排的創新農業技術，以及碳排放計算工具，為農民開拓更多收入途徑，藉此提升農業生產者的參與積極性。目前上述一些措施已在英國各地農場已陸續採用，如部分農場已在嘗試改用少耕技術、耕地輪作休耕制度和太陽能驅動的自動光

電機械等，兼有畜牧養殖業務的部分農場，已開始選擇養殖具有更高飼料效率的雜交牛品種等。

四、歐盟農業部門淨零轉型策略

2020 年 12 月，歐盟執委會 (European Commission, EC) 提出 2030 年將較 1990 年減碳 55% 之目標，亦納入歐洲氣候法中，以可確實逐步達成淨零。2021 年歐洲議會及歐盟成員國就該法達成政治協議，為歐盟 2050 年淨零轉型立下重要里程碑。

據歐洲環境署統計，2016 年歐盟的農業部門溫室氣體排放量佔整體的 16%，居第五名，其中主要來源為畜禽動物腸胃發酵占 39%，農地土壤施肥 32% 為其次，農地利用與管理占 14% 為第三，第四為畜禽排泄物管理占 13%。「歐洲綠色協議」中提及農業減碳重要目標，主要針對農地土壤施肥及利用，包括減少 50% 的農藥、化肥及抗生素使用、有機農地面積增加至 25%、10% 農地用於保護生態多樣性等，而具體策略將可自歐盟共同農業政策 (Common Agricultural Policy, CAP) 的革新中窺知一二。由於歐盟 CAP 於 2021 年 6 月提出以成為一個「更環保、更公平的 CAP」為願景的改革方案，並設定 10 大關鍵目標，與淨零轉型最為相關的 2 個主要目標：「針對氣候變遷的行動」、「環境保護」，其對應策略進行概述：

(一) 針對氣候變遷的行動

將透過減少溫室氣體排放、加強碳封存，以及促進可再生能源的使用，以對減緩氣候變遷作出貢獻，並適應其帶來的影響。

1. 利用減排技術或適當耕作方式，減少溫室氣體直接排放，如減少水稻生產、氮肥施用、飼養反芻動物，以減少 CH_4 和 N_2O 的產生。
2. 農地與草地或自然植被相比有機碳濃度相當低，須利用適切的農業土壤管理方法以增加內涵的有機碳，如栽培覆蓋型作物、降低耕作深度、免耕栽培等，以形成碳匯。
3. 促進生物質的永續生產，包括植樹造林與芒草生產利用、農業副產物的再利用等。並透過建置跨領域互動網路，如歐洲農業創新夥伴關係，匯聚科學、技術、知識等領域參與者，在維護糧食安全的前提下形成生物經濟體系。
4. 降低農業生產中的化石燃料使用（能源和化學肥料、農藥）。
5. 減少農業生產過程中的損失和浪費，如透過精準施肥減少多餘肥料逸散。

（二）環境保護策略

歐盟的農地表層土壤中含有約 510 億 tCO_2e ，碳匯量相當可觀，需促進對土壤的有效管理與維護，降低對化學產品的依賴，

並增加土壤中的有機碳含量。

1. 透過輪作或混作固氮植物（豆科植物、草地等），促進土壤肥力，減少害蟲和雜草的滋生，減少氮肥施用。慣行農業的輪作通常持續 3~5 年，有機農業則為 5~10 年。
2. 減少長期栽培會造成較嚴重土壤侵蝕的植物，如玉米、甜菜根、馬鈴薯等，增加輪作如短期牧草、小麥、大麥等對土壤影響較低的作物，可增加土壤中有機質含量。
3. 在夏季收成後栽培覆蓋型作物或於冬季作物間作，保護裸露土壤，降低土壤流失，並增加土壤中的有機質。
4. 透過等高栽培降低土表逕流帶來的侵蝕。

CAP 針對資金的運用進行大幅度的調整，40%將用於氣候相關領域，相關成員國亦需設定更高的環境保護及減排目標，並投入更多 CAP 資金，以支持歐盟朝永續農業轉型。包括：

1. 建立「有條件」的受益體系，如每個農場至少 3%的耕地須用於保護生物多樣性等非生產用途，若獲得生態計劃支持則須達到 7%。
2. 將濕地和泥炭地納入保護範圍，作為碳匯重要來源之一。
3. 要求農民進行輪作，可採作物多樣化作為替代方案或過渡措施。
4. 成員國須將 25%的預算分配給生態計畫，以支持超過義務、自發

性的環境友善行動（實施生態農業、有機農業、低碳農業、增強動物福利等）。

5. 成員國須將農村發展中的 35% 資金用於支持氣候調適、生物多樣性、動物福利措施等。

6. 成員國須將用於水果、蔬菜的市場調節資金的 10-15%，及葡萄酒業支援資金的 5% 用於環境保護措施。

2022 年歐盟敲定一項制定國家減排目標的立法，目標在 2030 年減少農業、建築和交通等部門的整體碳排放量。其就「歐盟減碳責任分攤規範」(ESR) 達成協議。「歐盟減碳責任分攤規範」的目的在確保以公平的方式，讓所有歐盟成員國為實現氣候目標做出貢獻。各國可以交易限量的碳排配額，或是「存」下部份的碳排配額，如果他們的排放在某年較低時，當未來他們的排放太高時，也可以從未來的年份「借用」配額。自「歐洲綠色協議」、CAP 改革方案、歐盟減碳責任分攤規範中皆可發現，歐盟農業部門淨零策略以土地利用轉型，形成碳匯為最大重點。同時為考慮各成員國農業型態較為多樣，因而保留更多彈性，透過資金的配給制度形成強制力，搭配年度對成員國的戰略計畫績效審核，作為配套措施，其於淨零轉型管理層面尚具參考價值。

結語

我國雖非國際協議的締約國，然對於減緩氣候變遷之行動從未缺席。本文介紹四個國家/地區之農業淨零轉型策略，整理國際各國在農業部門的減碳作法，皆有推行下列作法如 1.推動合理化施肥，提升氮肥施灑效率，減少水田的甲烷排放；2.發展生質能源產業、畜禽糞便再利用(如堆肥或沼氣再利用)；3.設置節能或太陽能設備，減少化石能源消耗；4.推動有機農業，訂定有機生產原則、標籤、認證及交易規則；5.透過調整飼料成分等方式改善畜禽動物腸內發酵排放；6.強化溫室氣體相關政策法規制定及實施。雖依各國農業型態不同而有所差異，然個標竿國皆有認知為達到淨零或碳中和，除了透過能源去化石燃料化、減少化學肥料的使用，及提升生產過程中的副產物/廢棄物回收再利用，以減少碳排放之外，碳吸存更為農業重點著力項目，利用妥善林木創造利用、輪作綠肥、土壤覆蓋增加有機質等方式，提升森林、農地土壤的固碳能力，對於碳中和目標的貢獻不可小覷，可供我國農業未來持續精進淨零轉型策略參酌。然而，推進農業的低碳轉型，面臨的一大挑戰，是尚無針對農業的統一碳排放數據統計標準，必須要加強科學標準在驗證碳排放數據方面的作用，同時在考慮到農業生產種類、規模、產量、地域等方面存在差異的情況下，努力提高標準的可用性和一致性，儘可

能為農民及其他相關從業者提供減排基礎環境，以及提供可持續經營的碳排數據依據。

參考文獻

1. Bloomberg New Energy Finance, 2021. G20 Zero Carbon Policy Scoreboard. : Issue 2021. Retrieval Date:2022/11/25.
2. European Commission, 2021, The new common agricultural policy: 2023-27, https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/new-cap-2023-27_en.
3. the UK Business Group Alliance for Net Zero, 2020, A Just Transition to Net Zero: The ‘Fairness Principles’, <https://www.britishchambers.org.uk/media/get/A%20Just%20Transition%20to%20Net%20Zero%20-%20The%20Fairness%20Principles%20-%2009%20November%20FINAL%5B2%5D.docx>.
4. 經濟部國際貿易局，2021，日本經濟產業省修訂綠色成長戰略。
5. 農林水產省，2021，みどりの食料システム戦略。
6. 投資臺灣事務所，2021，法國生態轉型部推廣低碳標章，<https://investtaiwan.nat.gov.tw/doesNewsPage?lang=cht&search=269264&source=foreign#>。
7. 林祥輝，2019/08/12，法國第2期國家低碳戰略草案，國家能源發展策略規劃及決策支援能量建構計畫。
8. IPCC，AR6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change
9. 施雅惠、陳琦玲，2022，淨零捷徑—有機農業的機會與挑戰，2022/06/07 中興大學簡報。
10. 鄭柏彥、邱翎忻、蔡綾容，2017，歐盟共同農業政策對於氣候變遷之改革，財團法人台灣綜合研究院。
11. 歐盟共同農業政策〈The new common agricultural policy: 2023-

27 > °