

2050 淨零排放

農業部門路徑研討會



研討會手冊

日期：110年6月3日

指導單位：教育部 國立臺灣大學生物資源與農學院

主辦單位：國立臺灣大學生物多樣性研究中心

- 目的：提供農業部門業產官學研人員面對 2050 淨零排放路徑交流機會，透過探索農業部門因應 2050 淨零排放的國際趨勢、可行作法與實務經驗等，讓國內農業部門面對 2050 淨零排放能有較清晰的路徑圖，做為國內施政推動參考與擴大人員學習參與。
- 指導單位：
教育部
國立臺灣大學生物資源與農學院
- 主辦單位：
國立臺灣大學生物多樣性研究中心
- 協辦單位：
台北市政府環保局
- 時間：2021/6/3 (四)
活動方式：線上會議 (U 會議)
視訊網址：<https://u.cyberlink.com/meeting/565568067>
(請先在電腦或行動裝置上安裝 U 會議：<https://u.cyberlink.com/download>)
以使用會議 ID：565-568-067 加入。

時 間	議 程	報 告 人
09:30-09:50	2050 淨零排放農業部門路徑圖意涵	國立臺灣大學森林環境暨資源學系邱祈榮副教授
09:50-10:20	2050 淨零排放農業部門路徑—農業土壤	行政院農業委員會農業試驗所陳琦玲博士
10:20-10:50	2050 淨零排放農業部門路徑—生物炭	國立臺灣大學森林環境暨資源學系鄭智馨副教授
10:50-11:10	交流時間	
11:10-11:40	臺灣水稻田土壤溫室氣體排放	國立中興大學生物多樣性中心林幸助特聘教授
11:40-12:00	綜合討論	與會人員
12:00-13:00	午餐休息	
13:00-13:30	畜牧業淨零排放路徑	行政院農業委員會畜產試驗所程梅萍主任秘書
13:30-14:00	2050 淨零排放農業部門路徑—漁業	國立高雄科大漁業生產與管理系侯清賢助理教授
14:00-14:30	2050 淨零排放農業部門路徑—林業	國立臺灣大學森林環境暨資源學系邱祈榮副教授
14:30-14:50	交流時間	
14:50-15:20	2050 淨零排放農業部門路徑—交易機制	行政院農業委員會林業試驗所林俊成主任秘書
15:20-15:50	家樂福用商業支持及推廣低碳飲食	家樂福企業社會責任暨溝通總監蘇小真執行長
15:50-16:30	綜合討論	與會人員

- 報名網址：
https://docs.google.com/forms/d/111_F_PmQ-7GrwfqT-N1a4E2sIHtqXYe89C7qctBwtWs/viewform?edit_requested=true
- 報名期限：5/31(一)下午 5 點止



演講摘要

2050 淨零排放農業部門路徑—農業土壤

施雅惠¹、林旻頡¹、陳琦玲^{2*}

¹ 行政院農業委員會農業試驗所農業化學組助理

² 行政院農業委員會農業試驗所農業化學組研究員

為降低氣候變遷的風險和影響，聯合國氣候變化綱要公約（UNFCCC）2015 年第 21 屆締約國會議提出「巴黎協定」協議，期在本世紀較工業時代前控制升溫於 2°C 以內，並儘量維持在 1.5°C 以下。為達此目標，全球應在本世紀下半葉達到淨零排放（Net Zero emission）。聯合國政府間氣候變化專門委員會（IPCC）於 2018 年提出之全球暖化 1.5°C（Global Warming of 1.5°C）特別報告指出，如欲控制升溫於 1.5°C 以下，2050 年左右全球須達到淨零排放。目前全球已有超過 120 個國家宣示或規劃 2050 年淨零排放目標，包含日本、韓國、中國等鄰近國家。為因應全球氣候變遷行動，減緩氣候變遷的衝擊，台灣已於 104 年完成「臺灣溫室氣體減量及管理法（溫管法）」的立法，設定階段性減排目標，並預計 2025 年前啟動總量管制與碳排放交易制度。近日行政院更邀集各部會就我國淨零排放目標期程及因應作為，進行 6 大部門現況、淨零排放路徑、可能遭遇困難、建議作法等討論與評估。農業部門雖肩負經濟發展、生態保護與糧食安全等任務，且有森林約 21 百萬公噸 CO₂ 碳匯量，整體農業部門雖已是負碳排放，但因農業部門較具減排與碳匯之潛力，行政院仍設定農業的減排目標。目前農業部門占全臺溫室氣體總排放量約 2%，在第二階段（2021-2025）2025 年減排目標為由 2018 年的 5.8 減至 5 百萬公噸 CO₂ eq 排放量，較基準年（2005 年）減量 30%。農業土壤溫室氣體排放量約占農業部門非燃料燃燒使用排放量的 46%，為其最大的排放源，然而農業土壤也可為碳匯儲存場，因此除了可藉調整水稻栽培面積、鼓勵種植固氮作物、推廣生物性肥料、選育低需肥低碳排品種、提高肥料利用效率等措施，降低溫室氣體排放外，亦可藉農業操作增加土壤有機碳存量，以增加碳匯，包括有機農業實踐、畜牧廢水農地再利用、生物炭農地施用、果園草生栽

培、綠肥的應用與不適耕種地區之植樹等。本報告藉由文獻回顧，分析各項降低碳排與增加碳匯之潛量，與可能遭遇之困境，初擬農業部門農業土壤淨零排放之可能路徑。

建議事項：

- 一、肥料使用佔農業土壤的近九成，且目前肥料利用率低，提高肥料利用率為減排關鍵技術與策略。
- 二、依目前農業土壤的減排與碳匯策略盤查結果，預計 2050 年農業土壤仍是排放源，未能達淨零排放，尚待新技術開發。
- 三、減排與碳匯策略應考慮成本與共同效益。
- 四、如何驗證廣大農地的減排與碳匯效益是項挑戰，建議盡快將土地利用變化之碳匯變化估算納入清冊章節，包括濕地等，並建立可量測、可報告與可驗證 (MRV) 機制。

2050 淨零排放農業部門路徑—生物炭

鄭智馨

國立臺灣大學森林環境暨資源學系副教授

生物炭是近幾年十分熱門的農業議題，藉由將有機資材熱裂解成生物炭過程，提供農業使用上另一個資源回收再利用的選擇。經熱裂解後的有機資材，其成分以芳香族碳構造為主，微生物分解低，添加土壤後可長時間保留而達到碳吸存目的。此外，生物炭施用更能改良土壤性質與增加作物產量，達到負碳排放效果。目前的研究顯示，經施加生物炭後，土壤養分與作物產量普遍可增加，對土壤物理、化學與生物性值均有一定助益。

此次交流會議，除基本化學構造與土壤改良機制探討外，將對生物炭使用原料、國內生產、品管制定與預期展望進一步探討。

[使用原料] 生產生物炭的有機資材材料，基本上是同於堆肥所使用之有機資材，但兩者對有機資材之分類並不相同。堆肥依資材所能提供肥力之不同，將有機資材區分成碳源與氮源兩大類有機資材，生物炭則依據資材來源區分，將使用資材區分成未加工資材(e.g. 植物殘體)與加工資材(e.g. 禽畜糞、廚餘、農業加工廢棄物與汙泥等)兩類，這樣差異反映生物炭轉換過程，除碳元素被轉換成穩定結構外，氮元素也容易在裂解過程被轉換成惰性型態而降低氮素分解提供。不過，生物炭生產過程，對磷、鈣、鉀或鎂養分提供，則因轉換成灰分型態而增加這些養分有效性。

[國內生產] 國內現階段對於生物炭生產已有一些例子可供參考，例如田間現地生產，工廠專業生產或是移動式裂解拖車生產，不同生產方式除使用有機資材種類差異外，生產過程之溫度、持溫時間、產率也會有極大差異，這些差異仍須進一步比較評估。目前生產過程仍較缺乏對產氣與焦油產物的應用與說明，或是其他裂解方式，如快速裂解與汽化生產也較少被提及，這是生產端仍須說明之處。

[**品管制訂**] 生物炭品質訂定，包含(A)基本性質、(B)毒化物含量評估與(C)土壤改良性值等三項。生物炭之基本性質為水分、全碳、全氮、灰分等含量，以及pH值、電導度、生物炭顆粒分布與碳氮比等性質，其中，生物炭全碳含量與碳氮比，有最低數值之規定。毒化物則包含發芽率測驗與有機與無機重金屬含量分析。土壤改良性質項目則針對土壤施用之改良性質評估，包括有效氮、全磷、有效磷、有效陽離子營養元素，可揮發碳量與表面積分析等性質。(A)、(B)兩項須於初始生產時檢驗，(B)項依使用有機資材種類不同而有不同檢驗頻率，使用加工有機資材為生產材料時，必須每年檢驗，但若使用非加工有機資材為生產材料，則每隔3年檢驗。(C)項並不強制規定。

[**預期應用**] 田間生物炭施用，預期可輕易符合千分四倡議目標，達到土壤固碳效益。田間施用時，建議施用於酸性土壤與砂質土壤改良，或是應用於綠屋頂、都市園藝與栽培介質使用上，這些作法將使生物炭之物理化學改良優勢更明顯表現。

建議事項：

- 一、能更清楚說明生物炭施用降低農藥有效性相關研究？生物炭降低農藥有效性，主要以系統性農藥為主，例如投影片中的兩篇例子，均證明生物炭施用降低殺草劑的殺草效果。更多的研究可參考 Khalid et al. (2020) review 報告，作者提出更多生物炭施用對降低農藥有效性與農藥分解例子與相關機制討論。因此，生物炭土壤施用，一方面雖可降低農業藥劑的地下水污染，但卻也可能降低施用農業藥劑的有效性，這部分內容是生物炭農業土壤使用所必須考慮之點。

二、目前國內生物炭農業土壤施用研究與實驗不少，包括大專院校、農業試驗場所與農業等，建議應收集所有試驗結果並加以整合分析，確實了解生物炭土壤施用在國內的應用潛力與可能限制。

參考文獻

Khalid S., M Shahid, B Murtaza, I Bibi, MA Naeem, NK Nizai. 2020. A critical review of different factors governing the fate of pesticides in soil under biochar application. *Science of Total Environment* 711:134645.

臺灣水稻田土壤溫室氣體排放

林巧雯、徐任葶、張恩澤、林蔚任、林幸助*

*國立中興大學生命科學系教授

稻米是臺灣的主要農作物，然而水稻田中的甲烷(CH₄)和二氧化碳(CO₂)排放是農業生產的主要溫室氣體來源。先前研究顯示熱帶區域的甲烷排放量佔全球排放量的 67%。然而，在臺灣對於水稻田溫室氣體排放和相關調節因素的量化資訊仍缺乏。本研究在 2016 年至 2020 年期間，於臺灣嘉義溪口農試所之慣行農法(Conventional Agriculture)與永續農法(Sustainable Agriculture)耕作的水稻田，監測水稻不同的生長期程之甲烷與二氧化碳排放量以及相關環境因子(土壤溫度、含水量、有機質、密度，氧化還原電位及淹水高度)。結果顯示，水稻田自施肥至分蘖期間，因灌溉用水注入田中，土壤形成了厭氧環境，產生了大量的甲烷。此外，在收穫前，由於水稻田進行排水，有大量的二氧化碳從土壤中釋出。土壤氧化還原電位與甲烷排放呈負相關，而與二氧化碳排放呈正相關，顯示土壤氧化還原電位是調節水稻田溫室氣體排放的主要因素。慣行農法的平均二氧化碳總通量(39259 ± 8190 kg CO₂ ha⁻¹ season⁻¹)遠大於永續農法(19235 ± 3386 kg CO₂ ha⁻¹ season⁻¹)，表示減少施肥量的永續農法能夠降低溫室氣體排放。比較各地區(宜蘭、苗栗、嘉義及屏東)慣行與永續農法的溫室氣體排放量，發現各地區特性影響較大，慣行與永續農法之間的溫室氣體排放量並沒有顯著差異。整體而言，CH₄的排放量與土壤含水量和有機質有正相關，CO₂的排放量則與土溫有顯著正相關，但與淹水高度呈負相關。

建議事項：

台灣海洋藍碳已有資料，建議如同森林碳匯也應一起納入環評增量抵換項目。

畜牧業淨零排放路徑

程梅萍

行政院農業委員會畜產試驗所主任秘書

依據 2019 年農業部門溫室氣體排放清冊初稿，畜禽糞尿管理溫室氣體排放佔農業部門 27.2%，畜禽腸胃道排放佔 17.4%，畜牧部門合計佔 44.6%，政策推動沼氣再利用，具有減少糞尿管理甲烷排放及替代部分化石燃料發電之功效，畜牧業具有溫室氣體排放減量之潛力。依據 CIEL「淨零及英國畜牧」評估報告，2050 年農業部門減量目標為 64%，以目前之減量方式至 2035 年僅達目標值之 19%，其餘 81% 仍有待努力；為達淨零目標，其建議 1. 提升生產效率 2. 新穎替代飼料 3. 調整氮肥使用 4. 智慧科技及精準畜牧場管理 5. 碳吸存及計算 6. 全系統評估 7. 改善排放報告及不確定性 8. 加強計算方法。另外，報告也在超過 70 種減量方法中，依減量潛力及經濟可行性，選擇出包含厭氧消化、飼料添加物等 24 項策略。FAO 則提出「五項低碳畜牧業行動方案」，包括 1. 提升畜牧生產及資源使用效率 2. 由提升再利用及減少損失強化循環生物經濟 3. 投資於自然為基礎的碳中和 4. 健康永續飲食及蛋白質選擇 5. 發展政策工具引導改變。依據我國「溫室氣體減量及管理法」第 4 條，國家溫室氣體長期減量目標為 2050 年減量為 2005 年之 50% 以下，農業部門亦須配合達成減量目標，目前已有畜牧業者以畜舍屋頂太陽能發電及糞尿沼氣發電申請碳抵換專案並取得抵換額度。建議畜牧業在糞尿處理排放減量方面：1. 依既有的減量方法推動沼氣發電 2. 推動堆肥場以集中式好氧堆肥取得碳抵換額度 3. 建立糞尿施灌新減量方法 4. 建立其他新研發糞尿處理技術之減量方法；在畜禽腸胃道排放減量方面：1. 提升畜禽生產效率 2. 使用循環原料並評估其減碳效益 3. 研究飼料添加物或其他減量技術之減碳量及經濟效益；在碳中和方面，除了繼續推動畜牧場太陽能發電外，亦可投入牧草地碳吸存研究。此外，在畜牧業排放係數仍需投入本土係數之研究調查，以精進碳排放之計算；並在較精準的排放係數下，評估投入各項減量方法之情境模擬及經濟效益分析，以釐清畜牧業淨零排放之可行性。

建議事項：

● 畜牧業減碳策略建議

一、在糞尿處理排放減量：

1. 依既有的減量方法推動沼氣發電
2. 推動堆肥場以集中式好氧堆肥取得碳抵換額度
3. 建立糞尿施灌新減量方法
4. 建立其他新研發糞尿處理技術之減量方法

二、畜禽腸胃道排放減量：

1. 提升畜禽生產效率
2. 使用循環原料並評估其減碳效益
3. 研究飼料添加物或其他減量技術之減碳量及經濟效益

三、碳中和：

1. 推動畜牧場太陽能發電
2. 投入牧草地碳吸存研究

四、碳盤查：

1. 在畜牧業排放係數仍需投入本土係數之研究調查，以精進碳排放之計算。
2. 評估投入各項減量方法之情境模擬及經濟效益分析，以釐清畜牧業淨零排放之可行性。

● 政策建議

- 一、與環保署合作，針對農企業自願進行碳盤查，以取得碳抵換額度或碳標籤者，予以補助委託盤查、第三方驗證、申請費等。
- 二、配合食農教育，加入淨零排放有關說明，引導消費者選擇低碳產品。
- 三、成立輔導團隊，協助沼氣再利用及屋頂附設綠能設施畜牧業者取得再生能源憑證或碳抵換額度，以備進行綠電或碳交易。

四、投入科技計畫，建立新減量方法學，以符合可量測、可報告、可驗證(MRV)

原則，取得減碳相關數據，以利業者依循取得碳抵換額度等誘因。

2050 淨零排放農業部門路徑—漁業

侯清賢

國立高雄科技大學漁業生產與管理系助理教授

1980 年以來，人為溫室氣體排放引起的全球氣候危害已於許多研究中得到證實，且於 1990 年後對人類社會的威脅與日俱增。為減緩溫室氣體排放可能產生的影響與衝擊，1997 年 UNFCCC 公約之第三次締約國會議中通過《京都議定書(Kyoto Protocol)》，並針對全球溫室氣體排放量進行限制與協議，但溫室氣體排放量與大氣中的溫室氣體濃度仍於爾後數年繼續增加。「510 億噸」，為根據已發布的最新統計數據得出之全球每年排放至大氣中的溫室氣體噸數(單位係指美噸，1 美噸約 0.907 公噸)。隨著人類社會的發展，人們若沒有針對現代生活的方式進行改變，全世界將持續製造更多溫室氣體，氣候危害亦持續惡化。基此，這些現況與趨勢亦促使全球各國人士，如國際學者、政治家等，開始採取相關行動與聯署，要求各國政府應對氣候危害造成的威脅，採取更為迫切的因應措施，其中亦包括 2025 年實現「淨零碳排放(Net-zero carbon emissions)」，以期於有效的運用下減少氣候可能對全球的影響與衝擊。

事實上，「淨零碳排放」的實現將可能面對非常多困難，且需要各部門進行重大的政策改變，但英國的氣候變遷委員會(Committee on Climate Change，簡稱 CCC)依然表示英國可於 2050 年前實現這目標，且英國政府於 2019 年 6 月 27 日將 CCC 之建議納立法之基礎。同時，CCC 亦表示若全球一同實現該目標，將有 50% 的機會可將全球暖化升溫控制於 1.5°C 以下。為因應全球減碳的趨勢，現已有 127 個國家開始考慮或已公布淨零排放目標，並提出淨零時程，如挪威的 2030 年、瑞典與蘇格蘭的 2045 年、法國與紐西蘭的 2050 年、中國的 2060 年等，歐盟亦跟隨此一趨勢，承諾於 2050 年前實現「碳中和(Carbon neutral)」，以實現《巴黎氣候協定(Paris Agreement)》設定的目標。

相較於其他產業，海洋捕撈漁業或水產養殖漁業的二氧化碳年排放量的貢獻度較小(Figure 1)，以英國為例，海洋捕撈漁業為 0.68 Mt CO₂-eq. year⁻¹，占當年度英國的總二氧化碳排放量的 0.14%，故相較於陸地的動物性蛋白質，多數的水

產品為「低碳足跡之動物性蛋白質(Low carbon footprint protein)」。然而，為因應全球減碳趨勢，漁業產業的碳排放量仍可能持續縮減，主要透過供應鏈、推動高度循環經濟，鼓勵消費者選用低碳水產品、碳足跡認證標章、使用較少碳的捕撈技術等路徑，制定漁業管理工具與政策，促使生產者自願性控制自身的二氧化碳排放量(Table 1)，以實現與呼籲全球減碳趨勢與永續目標之達成。

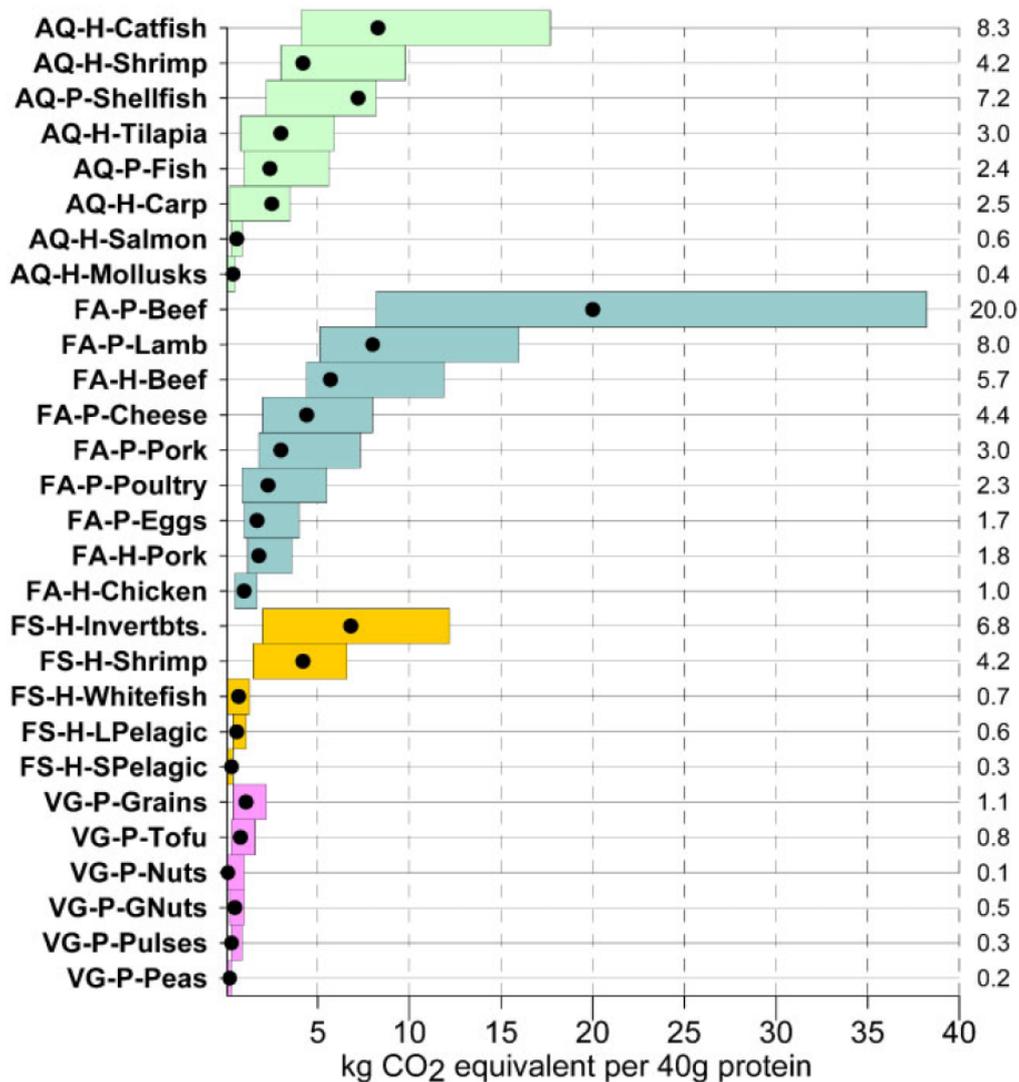


Figure 1. A comparison of the carbon footprint (i.e. total greenhouse gas emissions from life cycle analyses, LCA, expressed as kg CO₂equivalents, kg CO₂-eq, for a typical single meal for one person assumed to be 40 g of protein, Hilborn et al., 2018) of different foodstuffs.

Table 1. Different ways marine science might provide the fishing industry with the tools they will need to reduce their own greenhouse gas(GHG) emissions.

Tool	Science action
Monitor emissions	Provide improved fishery-specific GHG emission data per kW hour fishing by gear type/vessel type Provide estimates of net-to-plate GHG emissions, including transport and processing Develop new data collection/archiving systems, which integrate detailed fuel use with other fisheries data (e.g. catch and effort)
Clear and incentivized reduction targets	Provide GHG emission estimates for different catch options Develop advice for minimum GHG emission targets per ecoregion/fishery that also satisfy existing management frameworks (e.g. precautionary approach/MSY)
Strategies and options to change operations	Develop advice on maximizing emission-reducing fishing strategies Develop advice on emission-reducing gear type/gear modifications/novel gear Develop advice on exploiting different species/species mix to minimize GHG emissions Develop methods to maximize protein output per unit GHG emission (e.g. minimize discards/ utilization of more of the catch)
Communicate improvements up the supply chain	Provide independent published evidence/information sheets/data sheets on GHG emissions in a fleet/ecoregion/fishery Provide independent GHG emission audit/assurance schemes

The four categories of tools were recommended by [Poore and Nemecek \(2018\)](#).

建議事項：

根據全球主要國家已提交或更新之淨零碳排放願景、碳中和期程、國家自主貢獻目標(NDCs)，落實目標之政策規劃，共總整為三大面向議題進行建議：

- 建議制定明確的漁業減碳目標
 - 一、我國漁業具體二氧化碳減量管理整體政策規劃與期程之擬定。
 - 二、建議提供不同海洋捕撈漁業與水產養殖漁業，作業方式產生之溫室氣體排放評估模式，以及各單一漁業最低排放量目標。
 - 三、建議參考「對地綠色環境給付計畫」，制定漁業環境基本給付與相關配套措施之獎勵性政策，促進友善環境作業，確保漁業永續經營。
- 排放量監測與管制規定之擬訂
 - 一、按照漁具或副漁具設備、船舶設備、船舶類型、養殖設施、養殖作業設備制定 GHG 排放標準。
 - 二、建議提供 GHG 的完整監測與管制，其過程應包括：生產、加工與運輸之整體供應鏈。
 - 三、開發新的數據蒐集、存檔系統，將詳細的燃料使用與漁業數據結合(如漁獲量或努力量)。

四、我國藍碳(Blue carbon)已有評估資料，建議應將海洋藍碳、碳匯(Carbon Sink)與碳吸存(carbon sequestration)，納入 109 年行政院環保署公告《行政院環境保護署審查開發行為溫室氣體排放量增量抵換處理原則》之評估項目。

● 研擬產業經營者之營運策略/供應鏈選項與可行作為

一、建議制定水產品碳足跡認證標章之標準。

二、開發水產品的新型利用方式，以提高每單位二氧化碳排放量對應之動物性蛋白質產量，例如減少漁獲丟棄/利用更多漁獲、提高水產品廢棄物之處理與應用等。

三、建議推動高度循環經濟，鼓勵消費者選用低碳水產品。

2050 淨零排放農業部門路徑—林業

邱祈榮

國立臺灣大學森林環境暨資源學系副教授

國立臺灣大學生物多樣性研究中心主任

2015 年巴黎協定通過，訂出希望控制全球增溫幅度控制在比工業革命前上升不超過攝氏 2 度，最好不超過攝氏 1.5 度的目標。隨著氣候變遷影響的衝擊，越來越多國家已經驚覺到氣候已經進入緊急狀態，因此許多國家紛紛表態，將 2050 年碳中和宣示、或立法納入國家減碳目標，來促使達成不超過攝氏 1.5 度的目標。

達成 2050 年碳中和最主要仰賴減碳及負碳技術的發展，減碳包括再生能源、儲能及能源管理技術的提升等，無論減碳技術如何進步，終究還是有排放，需要仰賴負碳技術來中和。至於負碳技術則是包括碳匯及碳捕捉技術等。

依據溫室氣體減量及管理法，碳匯：指將二氧化碳或其他溫室氣體自排放單元或大氣中持續分離後，吸收或儲存之樹木、森林、土壤、海洋、地層、設施或場所。林木因光合作用，透過光能將水及二氧化碳轉化成碳水化合物及氧，這碳水化合物為一種化學能方式，能夠將碳固定並經由食物鏈達成能量流轉。由於林木構成的森林其生態服務價值多元，也為社會大眾所親近與熟知，因此對於碳匯議題的考量，仍應考慮到與碳相關的其他共伴效益。

進一步區分森林碳匯及林業碳匯如下：

- 森林碳匯：指森林生態系統吸收大氣中 CO₂ 並將其固定在植被和土壤中，從而減少大氣中 CO₂ 濃度的過程，屬自然科學範圍
- 林業碳匯：指通過實施造林再造林和森林管理、減少毀林等活動，吸收大氣中的 CO₂ 並與碳交易結合的過程、活動或機制。既有自然屬性，也有社會經濟屬性。

一般在碳中和碳匯議題方面，應該是包含較廣的林業碳匯。基本上整體增加林業碳匯的思維在於

FAO 曾指出森林減少排放及增加碳匯的四種策略：

- 維持或增加森林面積：造林及再造林維持或增加森林面積
- 維持或增加林分碳密度：加強森林經營
- 維持或增加地景碳密度：落實森林保護、保護區管理及避免森林土壤碳排放
- 增加木產品固碳與生質燃料替代功能：延長木產品使用壽命、替代建材及生質燃料

森林中碳保存時間的長短，與森林管理模型有直接關係，從森林經營管理模式來看，大致可以分為：碳保存、碳儲存及碳替代三種管理模式：

● 碳保存模式：

這種經營模式主要重點在於保存既有森林固定的碳量，減少森林的碳排放，例如減少毀林、森林保護及林火與病蟲害控制等。可以透過延長輪伐期、避免林木傷害、增加森林土壤碳量與提高木材使用效率方式來增加碳匯量。

● 碳儲存模式：

這種經營模式主要重點在於增加森林、土壤及木材的碳儲存量，可以透過森林更新、新植造林、延長輪伐期、增加森林土壤碳量；增加木材需求與提高木材使用年限，讓已經成為碳的林產品能延長固定於木材內。

● 碳替代模式：

增加從森林生物量轉換為其他產品(直接或間接由化石燃料產生的產品，如生質能、建材等)碳量擴大森林提供原材料、燃料等的使用範圍。可透過造林、提高森林生長率、以生質燃料取代化石燃料，形成抵換排放的替代效益。

透過不同管理模式將可林業碳匯的能力，尤其在森林維可再生資源，若能夠經由適當的造林、伐採與利用技術，增加森林面積、提高林木生長、林產品利用及生質燃料的使用，充分發揮林業負碳效益，應是 2050 碳中和農業部門重要的路徑之一。

於實務上可以透過下列四個方向來達到增加林業碳匯的數量：

- 碳吸存策略：厚植森林資源，增加森林碳吸存量
- 碳保存策略：維護森林健康，保存林木既有碳匯
- 碳替代策略：推廣木質材料替代效益，擴大碳替代功能
- 碳管理策略：健全管理體制，提昇森林碳效益

一、 碳吸存目標：厚植森林資源，增加森林碳吸存量

森林在碳吸存面向主要係透過增加林地的面積與提昇林地碳密度，也就是透過量與質的方式厚植森林資源，來增加森林碳吸存量。在實際具體策略方面，主要是以增加森林面積，及提高單位面積碳吸存量為主。於增加森林面積方面，大致可以分為國內及海外造林兩大部份；提高單位面積碳貯存量則是以落實森林經營措施，來提高單位面積碳密度。落實森林經營措施提高單位面積碳密度

於提高單位面積碳吸存量方面，主要針對現有人工造林地，透過適當地經營措施，來增加單位面積的生長量，以增加碳吸存量。在具體措施方面有積極進行林木改良研究與推廣，提供優良栽植品系；加強林地更新整地，防止林地沖蝕退化；落實經營撫育措施，培育健康且生長快速的人工林；推行異齡林經營模式，充分利用林地；建立完善林木經營計畫，有效利用林地生產力等措施。

二、 碳保存目標：維護森林健康，保存林木既有碳匯

碳保存面向的目標在於保存森林生態系中已存在的碳庫（carbon pool），亦是防止或減少已經固定在碳匯（carbon sink）中的碳釋放。行動策略方面有維護森林健康減少森林碳匯損失、維護生態系穩定強化碳匯儲存功能及增加林產品利

用效能，延長林木碳匯功能等三項實務工作：

◇ 維護森林健康，減少森林碳匯損失

主要在於透過積極保林與護林的作為，如防止濫墾、防火及病蟲害防治，來確保森林健康，減少森林已固定碳匯的損失。維護生態系穩定，強化碳匯儲存功能方面，減少生態脆弱或敏感的地區不當干擾，落實保護區經營管理，維護生態系穩定，減少森林碳匯的釋出。積極採取穩定林地土壤措施，避免擾動土壤造成森林土壤碳匯釋出。

◇ 增加林產品利用效能，延長林木碳匯功能

可加強研發環保無毒的加工處理技術，延長木製品保存碳素的時間，也是有效的固碳方法。此外，積極推廣木質文化，增加林產物使用，讓社會生活環境形成都市森林，更能保存木材固碳效益。

◇ 加強木質廢棄物回收再利用，充份發揮木質材料固碳作用。

三、 碳替代目標：推廣木質材料替代效益，擴大碳替大功能

碳替代之目標為將森林生質碳轉移至產品（如建築用材與生質燃料），藉以替代石化製品的能源與產品、水泥製品和其他建築材料，或是使用做為生質燃料，皆可減少對化石燃料的需求，得以達到減碳的目標。行動策略方面有推動木質材料取代高耗能材料及發展木竹材料為生質燃料取代化石燃料兩大方向：

◇ 推動木質材料取代高耗能建築材料

木質材料在加工處理過程相對於混凝土及鋼材屬於較低耗能的工程材料，加上木質材料本身就能固定碳素，因此有非常好的碳替代效益，隨著零碳或負碳建築的興起，值得大力加以推廣；在替代材料方面可以取代建築結構及內裝用材，或者於生態工程的材料均可以木質材料加以取代，以增加木質材料的替代效益。

◇ 發展木竹材料為生質燃料取代化石燃料

基於碳中和的概念，木質材料是透過光能來固定碳，若以燃燒方式轉成熱能釋出，對於碳的平衡並不具影響，但利用木質燃燒時具有燃燒效率偏低及體積龐

大運輸不易之特性；因此目前積極發展能夠提高木質燃料的燃燒效率，並應發展小型燃燒器具，配合適當的產運銷體系，讓木質燃燒的利用形成永續產業。

四、碳管理目標：健全管理體制，提昇森林碳匯效益

林業碳匯為有效達成前述的三個目標之外，還需要一些配套的管理機制，例如三個目標彼此間如何分工及分配，或者如何建立碳匯交易的審議機制等，都需要有完整的管理體制，方能讓不同林業碳匯目標整合起來，並在完善的管理體系下運作，方能達到最大森林碳匯效益。在碳管理目標之下，需要有不同的行動策略來達成目標：

◇ 增強林業基礎研發能力，提供碳匯計算必要數據

針對本土林木或林分基礎活動數據或轉換參數，如生長、材積、生物量及碳轉換等估算參數不足之處，需要投入研究能量，提供具有學術支撐的基礎數據。另應加強不同碳匯策略可行性、執行技術、成本效益評估與政策評估等方面研究，做為比較不同林業碳匯減碳策略、評估林業碳匯減碳政策執行成效等，做為施政參考依據。

◇ 精進國家林業碳移除量估算體系

目前溫室氣體減量及管理法要求每年要提交國家溫室氣體排放清冊，林業部門亦每年都遵照要求估算出林地碳移除量予以提交。然而目前估算範圍並未包括都市區域的樹木，如行道樹及公園樹木，應在未來予以納入估算，方能掌握全國樹木碳移除量。此外，在減量管制行動方案方面，林業部門亦提出造林及加強森林經營兩大方案，納入溫管法管制行動方案，也應該一併加以檢討如何納入國家既有國家清冊的估算體系，方能達到完整的計算。另外目前林業國家清冊計算範圍係將全國森林覆蓋區域納入，將其碳移除量統一劃歸國家所有。若從土地所屬及管轄權角度，如私有地或公有地等，其碳移除量的碳權屬誰，應該還是要予以釐清，方便地方政府進行地區型碳中和的評估，更應保障私有地主的所屬碳權。

◇ 發展具公信力之植林驗證機制

針對國內若推行植林碳匯時，應引進國際驗證規範，建立國內可行的植林驗證程序及審議標準，做為推行植林碳匯的檢核標準。同時也要積極輔導有興趣參與碳匯植林計畫的企業，讓其瞭解碳匯計量的方法及其驗證的程序與標準，讓所有的工作都能符合未來碳交易機制的要求。

◇ 積極協調部會整合，推動碳匯交易管理機制

積極協調與林業碳匯的其他部會，例如與碳替代中生質燃料相關的能源局及建築材料相關的營建署，均要能建立共識，共同推動碳匯交易管理機制，讓林業碳匯的實施能真正落實。

◇ 建立碳匯成本效益評估機制，追蹤推動成效

推建立適當的碳匯成本效益評估機制，來掌握不同碳匯策略的差異。同時林業碳匯是一種長期性的減碳方式，所以應該針對任何推動的林業碳匯策略，發展有效的成效追蹤方法，以長期追蹤實施成效。

◇ 配合國際趨勢，協助參與國際林業碳匯活動

積極參加各種國際會議，瞭解國際林業碳匯的最新趨勢，以在全球能夠參與林業碳匯的交易或管理，以提昇國內林業碳匯的認識與落實。同時，應適當地協助台灣企業，在國際上參與林業碳匯的交易，讓台灣在國際的林業碳匯市場能夠佔有一席之地。

建議事項：

一、碳吸存策略：厚植森林資源，增加森林碳吸存量

1. 增加林地的面積：國內及海外造林
2. 提昇林地碳密度
 - (1) 林木改良研究與推廣，提供優良栽植品系；
 - (2) 加強林地更新整地，防止林地沖蝕退化；
 - (3) 落實經營撫育措施，培育健康且生長快速的人工林；
 - (4) 推行異齡林經營模式，充分利用林地；
 - (5) 建立完善林木經營計畫，有效利用林地生產力

二、碳保存策略：維護森林健康，保存林木既有碳匯

1. 維護森林健康減少森林碳匯損失
2. 維護生態系穩定強化碳匯儲存功能
3. 增加林產品利用效能，延長林木碳匯功能
4. 加強木質廢棄物回收再利用，充份發揮木質材料固碳作用

三、碳替代策略：推廣木質材料替代效益，擴大碳替代功能

1. 推動木質材料取代高耗能材料
2. 發展木竹材料為生質燃料取代化石燃料

四、碳管理策略：健全管理體制，提昇森林碳效益

1. 增強林業基礎研發能力，提供碳匯計算必要數據
2. 精進國家林業碳移除量估算體系
3. 發展具公信力之植林驗證機制
4. 積極協調部會整合，推動碳匯交易管理機制
5. 建立碳匯成本效益評估機制，追蹤推動成效
6. 配合國際趨勢，協助參與國際林業碳匯活動

2050 淨零排放農業部門路徑—交易機制

林俊成

行政院農業委員會林業試驗所研究員兼主任秘書

聯合國政府間氣候變遷委員會 (IPCC) 最新報告指出,「2°C」目標已不夠,要把工業革命以來的溫升控制在 1.5°C。目標遠大,但各國減碳腳步緩慢。努力實現 2050 年前二氧化碳淨零排放目標為各國的共同目標。當一個國家(組織)的一年內所有溫室氣體排放量與溫室氣體清除量達到平衡時,就是淨零溫室氣體排放。

本次報告藉由分析全球碳價與自願性抵換市場現況與趨勢,從森林碳管理策略方向及日本、韓國現行碳抵換制度的內容中,找出國內森林碳權交易之可能路徑。



2050淨零排放農業部門路徑研討會
AGRICULTURE NET-ZERO 2050

【家樂福用商業支持及推廣低碳飲食】

家樂福企業社會責任暨溝通總監 蘇小真
Marilyn SU, CSR & Communication Director, Carrefour

中央畜牧場的沼氣發電



利用豬隻排泄物 + 生物細菌技術淨化做藻類蝦飼養
太陽能提供再生能源,日產4000 千瓦的電力

愛動物也愛環境-改善動物福利減碳



未來肉 **地中海飲食**

3

源鮮智慧農場 亞植有機農場



室外屋頂板是太陽能板
室內的青菜總共有14層，
依據不同的種類，接受不同的燈光照射，
重複的水循環

全循環雞場
雞糞自家牧場使用
母雞吃農場的葉菜及有機穀物

4

建議事項：

- 一、零碳排計劃一定要產官學緊密合作，特別是從市場端思考碳排的綠色議價是否可以變成可接受的市場商品。
- 二、這是個很大的投資需要全員一起往同方向前進的計劃。希望有明確可行可衡量的政策及定期衡量才可能達成。
- 三、希望成立不同小組的工作會議和專家研究可落實及規模化的方法。