

▼ 水稻甲烷排放為農業主要溫室氣體排放源之一，
圖為水稻溫室氣體排放調查

農業淨零策略的執行面向

文圖/廖崇億

為呼應全球淨零趨勢，臺灣於111年3月正式公布「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」，提出「十二項關鍵戰略」，制定行動計畫引導轉型。農業部綜整「自然碳匯」關鍵戰略行動計畫，規劃減量、增匯、循環、綠趨勢等4大議題主軸及具體策略措施，落實推動實行。

依據我國112年2月15日修正之「氣候變遷因應法」溫室氣體為二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、六氟化硫(SF₆)、三氟化氮(NF₃)。以國家碳排總量角度，即依據IPCC國家清冊指南，與農業有關的直接排放為CO₂、CH₄、N₂O。其中CH₄主要排放源為持續湛水的水田、家禽畜腸胃道發酵與廢水處理，N₂O主要排放源為含氮肥料施用與廢水處理，家禽畜呼吸或植體燃燒產生的CO₂則視為短期CO₂循環會被植物吸收，不列入計算，只計算尿素和石灰資材施用後水解或礦化產生CO₂排放。若以合作社、加工廠或農會等營運組織的碳排查，以及農產品的碳足跡，溫室氣體盤查的項目則會更多元，如農機具使用化石燃料燃燒產生的CO₂排放、冷藏庫使用的HFCs洩漏、化糞池裡產生的CH₄與N₂O，或是生產用電產生的間接碳排放等。因此，為了達到農業淨零，不同檢視角度會有不同減量目標，但都有共同的重點：減少化石燃料使用、降低礦產自然資源開發、提高能源與資源利用效率、減少廢棄物產出、促

進資源循環利用等，並透過增加碳匯或碳封存來達到淨零。農業部(原行政院農業委員會)並宣示在2040年達到農業淨零排放，擬定了減量、增匯、循環、綠趨勢四大策略，分述如下。

【減量】

109年農業部門碳排放量為3,345千公噸二氧化碳當量，約佔臺灣總溫室氣體排放量的1.15%，與79年的5,049千公噸二氧化碳當量相比，農業碳排約已減少34%，一些活動數據，如耕作面積、肥料使用及家禽畜飼養頭數的減少，是減量的主要指標。目前與農糧有關的水稻種植、農業土壤、農作物殘體燃燒及尿素使用，各佔農業部門的18.0%、36.8%、0.05%及0.9%。稻米為臺灣主食之一，栽培面積雖較30年前減少30%，近年栽培面積仍有24-26萬公頃，是主要碳排放源。農耕土壤碳排，主要計算是氮肥投入下，因微生物脫氮作用的中間產物： N_2O 釋出。79年後，在作物轉作政策、生產技術改善及農業活動衰退等因素影響下，農業相關活動數據有明顯減少，但在近10年趨於平緩。因此農業的減排需要更進一步的技術與資源投入，才能促使農業碳排放減量。

碳排減量有2個關鍵，一是活動減少，例如：氮肥料投入量減少、水稻面積減少等，通常與技術推廣、政策推動、經濟活動或生產環境改變有關，目前農業主管單位，透過肥料補助與企業贊助，促進農友轉用低碳排資材，以肥料實名登記補助，管理肥料使用總用量；二是排放係數的改變，即透過更高效率的生產管理模式，產生較低的碳排放，如節水管理下之水稻甲烷排放僅約慣行持續淹灌的50%，間歇灌溉的推廣及統計執行面積是減量的重要措施。添加硝化抑制劑或進行裹覆處理的緩釋肥料，提高作物氮利用，可降低 N_2O 排放，以日本國家清冊為例，使用硝化抑制劑的氮肥投入 N_2O 排放係數僅有一般肥料的74%，目前農糧署已推動裹覆肥料補助，期提高緩釋肥料利用量，降低氧化亞氮排放量。在減量作為上，活動數據與碳排係數調整，仰賴統計資料的精進、農業長期科學研究及農業環境調查。

農業研究單位過去到現在進行了許多環境親和相關研究，皆具減碳效果，在農糧產業上，如合理化施肥、精準施肥、水稻節水栽培或密植高產生產技術；在畜牧業，透過調整飼料配方、通氣式堆肥、廢水處理改進或沼氣回收利用，以降低溫室氣體的溢散；農業機械上，推動電動農機具或使用高效能機具等。過去的研究較缺乏實際碳排放量化之評估，許多技術重新被提出

再研究討論，改善技術並盤查碳排碳匯，避免額外的碳洩漏。所謂碳洩漏，指技術或政策的投入，雖在目標產生減排，卻在其它過程、製程或國家產生額外的碳排。因此碳排減量，除了應用新開發技術之外，應以更宏觀的角度來檢視整體系統。

【增匯】

碳排減量效果有一定限度，甚至只要有人為活動存在與化石燃料的持續使用，碳排放就無法避免，因此為了抵銷這些碳排放，需要設法把這些溢散的碳固定下來，在工業上常以科技技術利用碳捕捉或碳封存來進行，相關技術豐富成熟。但執行時，需要額外能源投入，如無法確保碳固定大於技術投入所需能源碳排，以及對應的規模，就無法達到碳匯的效益。以自然為本的森林、土壤或海洋碳匯成為各界關注與發展重點。

在了解自然碳匯前，須先了解碳匯與碳庫差異，碳庫為穩定的碳量，持續耕作的農地、土壤中的有機質與碳酸鹽類或穩定存在的森林等，如果這些環境沒有受到破壞，場域將持續保存碳。在土壤深度0-30公分農地單位面積碳庫量約30-100公噸/公頃，森林約60-300公噸/公頃，當環境被開發，例如森林變成農田，這些碳庫將產生變化而釋出碳，產生碳排放，在碳盤查上稱之為「土地利用變化」；而碳匯管理下的土壤或森林等環境，除了維持每年的碳庫，另有額外增加的碳固定量。

森林碳匯，是最早被確認效益的碳匯，惟最近衍生「外加性」爭議多，若以國家尺度而言，森林碳匯計入較無異議，但在企業購買之碳中和碳權，森林碳匯常被認為缺乏人為外加性投入而備受爭議。過去國內森林強調保育，使森林碳匯趨於自然碳平衡而逐漸達碳匯飽和，若要進一步增加碳匯，應適度活化森林並進行利用。

對於短期作物，如水稻、雜糧及蔬菜等，這些作物也會吸收大氣中的二氧化碳並固定，收穫部位採收後被食用，而遺留在田間的殘體，會翻耕入土被微生物分解，因此無論作物被食用或在土壤中被分解，產生二氧化碳會回到環境中形成碳循環，對於短期作物，最終僅存少量不易分解的殘體形成腐植質，產生碳匯；不考慮殘體造成的土壤碳匯下，每年短期作物本身生長的生物量是不被視為具碳匯存在量。

因此，最主要農業的碳匯即土壤中累積的有機質。經相關研究，土壤碳存量不亞於森林，甚至可能更高，增加土壤碳匯管理包含加強地表覆蓋、減



相對一般農田，高山草原有機質豐富，碳儲量高(左為高山草原，右為大坪頂果園)

少耕犁、增加有機質投入與草生栽培等；但土壤有機質累積是相當緩慢的過程，以果園草生栽培為例，初期管理變化每年每公頃可能造成1-4公噸的碳匯，但1-5年穩定後，每年最多增加僅百公斤的土壤碳匯；其它農糧生產管理，初步估計每年要有6公噸以上的有機碳投入，才会有數公斤到數百公斤的碳匯產生，如為單純旱作或低生產管理，還有負碳匯可能。此外，管理、土壤類型及地區氣候的差異，使土壤碳匯的增長不如樹木生長容易評估計算，國外增加土壤碳匯管理的方式，在臺灣不見得適用，因此當前土壤碳匯研究將著重在定性與定量，即確認可促進土壤碳匯管理措施與增加量。

【循環】

農業生產過程中，會產生廢棄物與副產物，部分肥料生產業者會將資源收集，循環利用製成有機質肥料回歸田間生產；但部分則無特別處置利用，雖可能無碳排產生，但也無碳匯和附加利益產生。過去為降低畜牧廢水排放造成環境汙染，需經過三段式廢水處理，以降低有機質與營養鹽，但如果降低處理程度，將這些有機質與營養鹽改投入田間作物生產，除降低額外肥料資源投入外，亦降低廢水處理過程所需的能源消耗，雙方面降低農業生產經營碳排，甚至可利用廢水發酵產生的沼氣進行發電，降低化石燃料發電比例。

果樹是農業耕作較有可能具有森林碳匯量的潛力，但相對森林樹木的持續生長，果樹大多只有3-5年的生長期，此後隨修剪枝或翻新重植，如果沒

有將這些生物質，另外收集利用或封存，而僅堆積、粉碎或焚燒處理，就不具有碳匯存在。因此，若將這些副產物收集，製成生物炭，藉其穩定型態就可達到碳封存目的，經研究生物炭燒製過程中所耗能源，低於生物炭本身的碳存量，惟生物炭施用封存方式，尚有爭議，因有些植物具有重金屬富集性、燒製溫度會影響有害物質生成，一旦施用或投入土壤中，就無法取出，故目前對生物炭相關法規與規範仍在積極制定中。

【綠趨勢】

為了更進一步達到淨零減碳，除了產業主體在碳排放的減量外，也逐漸拓展到產業上下游與金融體系，甚至用電管理的間接碳排放。由於在組織盤查規則，金融企業所投資的企業碳排將被列入評估，所以為了降低金融等服務業企業碳排放，金融業可能提升減碳或低碳企業的投資，降低高碳排企業的融資。

臺灣目前雖以化石燃料發電為主，能源碳排在全球相對偏高，但隨綠能的拓展，臺灣電力碳排放係數由99年0.612公斤碳當量/度，下降到目前111年0.495公斤碳當量/度；而且電動機械平均效率高於燃油，因此電動機械的推廣使用，是淨零碳排推動的重要策略之一。

除減排增匯技術之外，淨零碳排可結合食農教育，建立正確的碳排知識與淨零涵義，才能有效推動。透過基礎知識推廣，由上而下，從農業研究人員、農業生產團體、生產的農友以及消費者等，透過市場或加工供應需求，逐步推廣淨零減碳。以工業製造業近年最熱門的手機為例，最常發生的碳足跡追溯，包括組裝、零件生產、零件原料及礦物原料，也就是說，要進入供應鏈，就必須進行碳盤查。農業產品目前尚不會受到碳關稅(CBAM)影響，但在加工食品的碳足跡追溯上，農產外銷加工品未來勢必受影響，為了及早因應，相關知識推廣不可忽略。

【結語】

我國農業部門雖然碳排量比例不高、也非碳盤查首要衝擊對象，但因應市場供應鏈、外部資源挹注機會及提升生產技術，調整過去以產量最大化為目標，轉向環境永續及利益兼顧為目標，淨零排放不是農業發展的阻礙，而是農業轉型的契機。