臺灣農業減碳作為與碳交易機制之探討

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

摘要

為因應全球氣候變遷行動，臺灣雖然不為京都議定書之締約國，仍應分擔減量責任，減緩氣候變遷的衝擊，並於2015年頒布『溫室氣體減量及管理法』，明訂長期減量目標為2050年碳排放量較2005年減少50%，並預計 2025年前啟動總量管制與碳排放交易制度。近期響應聯合國政府間氣候變化專門委員會 (IPCC) 之目標，更提出2050年達淨零排放，以達全球平均氣溫升幅不超過 1.5°C的目標。為達此目標，並確保產業競爭力、經濟競爭力與糧食安全之發展，各部門皆提出階段性減碳目標與策略。其中農業部門肩負經濟發展、生態保護與糧食安全等任務，在第二階段溫室氣體排放管制目標為2025年總排放量減至5百萬公噸二氧化碳當量。本報告係藉文獻回顧介紹國際在因應氣候變遷之沿革、農業部門之減碳策略、碳交易機制與市場作為國內參考，亦介紹國內溫室氣體排放清冊、階段性減量目標與策略，淨零排放規劃路徑與碳交易制度之預備等，以發展低碳農業與碳交易機制。

關鍵詞: 低碳農業、碳交易、排放清冊

前言

19 世紀工業革命後，全球碳排放量急速上升，根據聯合國政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, 以下簡稱 IPCC)氣候變化 2014 年綜合報告中，以中度溫室氣體排放情境 (RCP4.5) 下，推估 2100 年大氣中二氧化碳的濃度將達到 538 ppm，全球均溫將上升 1.8 度，全球海平面可能上升 0.47 公尺 (IPCC 2014) 。如何降低空氣中二氧化碳濃度之上升，以及減緩氣候變遷是目前世界各國正面對的環境議題。本文係藉文獻回顧說明國際在因應氣候變遷的作為，以及在農業部門的減量對策，並說明我國在因應氣候變遷上，在法規與實際減排作為，以發展低碳農業，並建立碳交易機制概況。

材料與方法

藉由聯合國氣候變遷綱要公約網站資訊(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 、IPCC 排放指南與報告、國內外因應氣候變遷之文獻期刊、相關網站與農政單位提供之文件，彙整說明國際與臺灣因應氣候變遷的減量作為及碳交易機制，如以下節次:

*論文聯繫人
e-mail: Chiling@gmail.com

(一) 國際與臺灣因應氣候變遷的減量作為：

1. 聯合國因應氣候變遷沿革
2. 臺灣「溫管法」之頒布與管制目標
3. 國外農業部門溫室氣體排放占比與臺灣農業排放清冊
4. 國內外農業部門現行減碳策略
5. 其他可能的減碳措施

(二) 碳交易機制

1. 國際上農業相關碳排放交易機制
2. 臺灣碳交易機制推動策略與期程

結果與討論

(一) 國際與臺灣因應氣候變遷的減量作為

1. 聯合國在因應氣候變遷的沿革

聯合國大會於 1990 年決議成立「政府間氣候變化綱要公約談判委員會 (INC)」，並授權該組織起草有關氣候變化公約條文及相關必要之法律文件，並於 1992 年通過「聯合國氣候變化綱要公約」，在 1994 年 3 月 21 日正式生效，目前已有 197 個締約國。該公約締約方自 1995 年起每年召開締約方會議 (conferences of the parties，COP) 以評估應對氣候變遷的進展。

1997 年 12 月 11 日，在日本京都召開「第 3 次締約國大會」 (COP3) 通過《京都議定書》，規範附件一國家於第一承諾期 (2008-2012 年)減量責任。京都議定書引入了三種基於市場的機制，作為實現這些目標的另一種手段，包括排放交易 (emission trade, ET) 、清潔發展機制 (clean development mechanism, CDM) 、聯合減量 (joint implementation, JI)，從而創造了現在被稱為碳市場的機制。

2015 年 12 月 12 日，在法國巴黎召開「第 21 屆締約方大會」 (COP21)，通過《巴黎協定》，將減排義務擴及至中國大陸與印度等開發中國家，要求已開發國家需提供氣候變遷資金，來幫助開發中國家減少溫室氣體排放，並有能力面對全球氣候變遷所帶來的後果。巴黎協定重要內容包括 (1)與工業化前溫度水平相比，全球平均氣溫升幅控制於 2°C 之內，並致力於限制在 1.5°之內；(2)各國將提交國家自主貢獻 (Nationally Determined Contributions, NDCs) 作為減量目標之機制進行減排或限排，工業化國家必須有絕對減量目標值；(3)由已開發國家提供綠色氣候基金，協助開發中國家執行氣候變遷減緩與調適；(4)國家預期自定貢獻於簽署後正式成為國家自定貢獻，每五年提交報告及檢討，將於 2023 年首次全球盤點、透明公開呈現(UNFCCC 2021b) 。同年，法國在第 21 屆氣候高峰會 (COP21) 中提出千分之四倡議 (4 per 1000 initiative: soils for food security and climate) ，指出土壤不但能生產足夠的糧食，還有助於解決全球暖化的問題。根據研究估算，只要每年提高土壤 (包括農地、草原、森林等) 有機碳含量達 4‰，不僅可抵消每年因人類活動增加的二氧化碳量，還能增加土壤有機質、促進土壤健康，進而提升農作產量，達到減緩溫室效應及維護糧食安全等兩大永續發展目標。臺灣亦已簽署加入該倡議聯盟，以響應這一行動。

根據 IPCC 2018 年全球暖化 1.5°C (global warming of 1.5°C)特別報告指出，若要達成全球平均氣溫升幅不超過 1.5 °C 的目標，2030 年的全球人為二氧化碳淨排放量需比 2010 年降低約 45 %，約在 2050 年達到淨零排放；若要將全球變暖控制在 2°C 以下，則在 2030 年之二氧化碳排放量需比 2010 年降低約 25%，並在 2070 年左右達到淨零排放 (IPCC 2018) 。在 2019 年歐盟提出 2050 年達到碳中和目標後，帶動全球淨零討論的雪球效應，截至 2021 年 1 月底，已有 127 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。

2. 臺灣「溫管法」頒布與管制目標

依據 2018 年統計，全球排放 48,900 百萬公噸二氧化碳當量 (CO_2 eq) ，其中臺灣溫室氣體排放量總排放量為 275 百萬公噸 CO_2 eq，佔全球總排放量 0.56%，總排放排名為 23 (World Resources Institute 2021)。為回應全球減碳行動，於 2015 年頒布《溫室氣體減量及管理法》 (簡稱溫管法)，訂定國家因應氣候變遷行動綱領、溫室氣體階段管制目標及管制方式作業準則。

行政院於 2017 年 2 月 23 日核定《國家因應氣候變遷行動綱領》，明確擘劃推動溫室氣體減緩及氣候變遷調適政策總方針。為依循行動綱領推動溫室氣體減量政策，達成溫管法之國家溫室氣體長期減量目標，以 5 年為一期進行滾動式檢討並積極推動落實。

行政院於 2018 年 1 月 23 日核定第一期溫室氣體階段管制目標，以 2005 年為基期，自 2016 至 2020 年止，溫室氣體淨排放量減量 2%；第二期溫室氣體階段管制目標，自 2021 年至 2025 年止，溫室氣體淨排放量減量 10%；第三期溫室氣體階段管制目標，自 2026 年至 2030 年止，溫室氣體淨排放量減量 20%；第四期溫室氣體階段管制目標，自 2031 年至 2035 年止，溫室氣體淨排放量減量減少 25-30%；最終目標於 2050 年能將國家溫室氣體淨排放量較基準年 2005 年減少 50%，並朝「淨零碳排放」目標努力。目前 2019 年農業排放清冊刻正審議中，因此各部門尚未評估是否已達第一階段之減量目標。

在六大部門中，農業部門需自 2018 年 581 萬公噸 CO_2 eq 減量至 501 萬公噸 CO_2 eq，其中農糧部門依農委會規劃需配額 34 萬公噸 CO_2 eq 減排量。農糧部門為達國家溫室氣體第二階段管制目標，目前已有相關策略如推動友善環境農業耕作、推動對地綠色環境給付、合理化施肥、大區輪作、大糧倉計畫等策略持續執行中。

3. 國外農業部門溫室氣體排放占比與臺灣農業排放清冊

農業生產具生物特性，其溫室氣體排放量受氣候、地理環境、耕作及飼養方式、各國農產業結構差異等因素影響 (EPA 2020)，各部門排放量佔比各有差異。以臺灣農業部門而言，約占全國排放量 2%；日本為 2.7%，南韓為 3.0%，美國為 9.6%，歐盟為 10.3%，澳洲為 13.6%，以農牧業為主要經濟活動的紐西蘭，其農業部門碳排放量佔全國 47.8 % (COA 2020; UNFCCC 2020)。我國農糧署自民國 2011 年起建立農業部門溫室氣體之排放調查與監測體系，包含量測技術、減量評量指標與階段性目標。此外為因應 2015 年通過之溫管法，明文規範溫室氣體長期減量目標為 2050 年之溫室氣體排放量需降至 2005 年的 50%以下，且每年需向環保署提報各部門溫室氣體排放清冊。依每年農業溫室氣體排放盤查與清冊撰寫，更多本土數據的累積，修正排放係數、提高本土排放係數使用比例、提高清冊之準確性與精確性，以得知農業各部門排放量佔比與溫室氣體主要排放來源，作為相關減碳措施或政策研擬之參考依據，藉此達成溫管法規範之減碳目標。

依據 IPCC 於 2006 年出版國家溫室氣體排放清冊指南 (2006 IPCC guidelines for national greenhouse gases inventories) (IPCC 2006) 第四卷所述，農業部門溫室氣體排放共分為：3.A「畜禽腸胃發酵」:家畜及家禽消化食物時，腸胃發酵所產生之甲烷 (CH_4)、3.B「畜禽糞尿處理」:畜禽糞尿處理過程所排放之 (甲烷及氧化亞氮)、3.C「水稻種植」:水稻種植時產生之甲烷 (CH_4) (以稻米為主食之亞洲國家會有較多排放)、3.D「農業土壤」:農糧產業施用氮肥所生之氧化亞氮 (N_2O) 、3.E「草原焚燒」(因臺灣地理環境極少草原故不列入計算)、3.F「作物殘體燃燒」、3.G「石灰處理」、3.H「尿素施用」等。上述農糧與畜牧產業於生產活動中使用燃料部分則在能源部門計算 (EPA 2020)。

1990 至 2018 年臺灣農業部門溫室氣體排放量及其趨勢如圖 1 所示，自 1990 年起整體呈現下降趨勢，

主要因臺灣加入世界貿易組織 (World Trade Organization，WTO) 及經貿自由化，調整農業生產結構，推動休耕政策，造成耕地面積及畜禽飼養減少等因素，另合理化施肥推廣落實亦有助溫室氣體之減量。其中禽畜部門排放量在 1996 年後連續 2 年較大幅度下降，係口蹄疫致豬隻飼養頭數銳減之故。2018 年農業部門溫室氣體排放量為 581 萬公噸 CO_2 eq，各排放源占比如圖 2，農業土壤 35.9%為最大占比，其他如畜禽糞尿處理占 27.2%、水稻種植占 18.5%、畜禽腸胃發酵占 17.4%、尿素施用占 0.9%、作物殘體燃燒占 0.1%(EPA 2020)。

依據 2006 IPCC 指南架構，與森林有關的部門為 3.B.1「農業、林業和其他土地使用 (Agriculture, Forestry and Other Land Use, AFOLU)」部分之土地 (含林地維持為林地及林地與其他土地使用類型的轉換) 及 3.D.1「收獲林產品 (Harvested Wood Product, HWP)」等部分，其中 3.B.1 中目前尚缺乏土地利用變更、濕地、居住地、草原及其他的部分的估算，環保署正規劃納入評估，以作為未來減碳策略之參考。

依據林業部門溫室氣體排放清冊所估算之森林碳匯趨勢，1991 、2001 及 2009 年因林火及風災造成森林碳匯量顯著降低，但藉由災後投入造林及復育工作而逐漸恢復，其他各年度森林碳匯約 21.4 至 23.5 百萬公噸 CO_2 eq 之間，趨近於穩定。2018 年林業部門碳移除量為 21.5 百萬公噸 CO_2 eq，在土地利用改變中，林地仍維持林地之碳移除量為 20.6 百萬公噸 CO_2 eq、其他土地轉為林地碳移除量為 0.9 百萬公噸 CO_2 eq。

臺灣土地面積小、人口稠密，依據第四次全國森林資源調查成果，森林覆蓋率已達 60%，可供造林面積有限，預估未來新植造林面積將逐年減少。林務局推動造林及加強森林經營方案，預估至 2025 年每年可增加森林碳匯約 5 至 8 萬公噸，占總森林碳匯量之 0.3%。推估至 2050 年森林碳匯趨勢將呈現穩定的狀態約為 21.4 至 21.6 百萬公噸 CO_2 eq。

林務局目前辦理國有林造林工作係以有保全對象之崩塌地、濫墾收回林地為主，保障中下游經建成果及人民生命財產安全；近年因濫墾地多已收回並完成造林，崩塌地則須待自然刷坡、基腳穩定後始可造林。為提升碳吸存量，未來將加強人工林中後期撫育作業，讓停滯林分恢復生長，提升森林碳吸存效益。

依據清冊知盤點結果，農業部門溫室氣體吸收量遠大於排放量(圖 3)，且為我國唯一估算碳匯量之部門，森林碳匯每年約可吸收 21.5 百萬公噸的 CO_2 eq，除遠超過農業部門溫室氣體排放 581 萬公噸 CO_2 eq 外，亦相當於抵減全國溫室氣體排放量之 7.25%。

4. 國內外農業部門現行減碳策略

(1) 國際農業部門減碳策略

依世界主要排碳經濟體 (中國、美國、歐盟) 及與臺灣農業型態相近之經濟體 (日本、韓國) 相關之最新農、畜業溫室氣體排放管制政策資訊，其中以推動合理化施肥、生質能發展、設置節能或再生能源設備、有機農業、改良畜禽腸內發酵及制定政策法規等，為各國均有採行之措施 (COA 2021)。

英國於 2020 年底公告《綠色工業革命十點計畫》，宣示該國將透過十大重點項目，包含發展離岸風電、氫能及先進之新式核能、加速零碳排車輛轉型、推行綠色大眾運輸並鼓勵民眾騎自行車與步行、推動淨零航空及綠色船舶、綠色建築、投資碳捕捉、利用碳封存技術、維護自然環境、推動綠色金融及創新等策略，以期扭轉國家整體經濟及達成 2050 年淨零排放目標；涉及農業部門之策略為維護自護自然環境 (Protecting Our Natural Environment) ，英國表示將新建並指定更多的國家公園及傑出自然風景區，同時強化造林及復育泥炭地等土地管理作為，創造自然保育及復育相關工作機會，並提供生產補貼鼓勵農民

投資新技術，於減少碳排同時促進生產效率，同時提升生物多樣性，以對抗氣候變遷帶來之衝擊(COA 2021)。

(2) 臺灣農業部門溫室氣體減量路徑及措施

為配合國家溫室氣體減量目標，農業部門規劃優先達成第二期溫室氣體階段管制目標，即 2025 年農業溫室氣體排放量較基準年 2005 年減少 30% ，以務實的方式執行溫室氣體減量路徑。農委會於 2021 年 2 月 26 日召開「農業部門淨零排放目標期程及因應作為研商會議」，邀集各產業及試驗單位，以瞭解各單位在較長的時間尺度下，為降低權管產業之排放量，可配合規劃之作為及其成效，完成撰擬「我國農業部門淨零排放路徑評估報告」(COA 2021)，由農、漁、畜各產業盤點我國可開發之低碳農業技術，共同提出溫室氣體減量措施，同時由林業提出固碳措施如圖 4。

在減少燃料燃燒使用之排放部分，農業部門持續研發與推動溫室氣體減量策略，發展低碳與精準農業。在農業生產方面，持續推動有機與友善環境耕作及合理化施肥，透過教育農民精準施肥、減少化學肥料的使用，降低農田氧化亞氮的釋放量。為因應氣候變遷衝擊及配合水資源配置規劃，以大區輪灌制度、對地綠色環境給付及大糧倉計畫，對農糧作物種植種類及面積進行調整，鼓勵轉作具固氮能力之雜糧作物如大豆、落花生、紅豆及綠肥作物等，在維持國內稻米供應充足前提下調整水稻種植面積，減少浸水田導致之厭氧環境，以減少溫室氣體排放，除能有效減少水田之甲烷排放量，降低肥料施用量，並能提升我國糧食自給率、減少對國外進口雜糧之依賴。針對畜牧業則採廢棄物再利用之方式，包含養豬場沼氣再利用 (發電) ，除能減少畜禽糞便之甲烷及氧化亞氮逸散，亦能降低廢水處理之耗能等。預計輔導畜牧場沼氣再利用 (發電) ，其總頭數至 2030 年占總在養量 75% (預估為 375 萬頭)。在漁業方面則持續推動漁船用油減量，以獎勵休漁及漁船 (筏) 收購的方式，調整漁業經營結構、提升漁業用油效率 ；並推廣養殖業之節能設施，改善農業經營過程之用電效率。農業設施方面，推動設施型農業節能措施，畜牧業推廣並補助汰換節能設備，漁業則推動節能漁具設備及建置智慧漁港，減少漁船及漁港耗能並提升能源使用效率 (COA 2021)。

(3) 農糧部門其他可能的減碳措施

A. 提高肥料利用效率

依據清冊盤點結果，農地施用肥料之溫室氣體排放占農糧部門總排放量的 66%，在公營化肥產銷制度下，化學肥料價格低廉，大部分農友為確保作物產量，經常過量施肥，造成溫室氣體的排放。依據調查，水、旱、蔬菜田之肥料利用率需分別為 25%、30%、10%，應有減量空間 (Ning *et al.* 2010; Tan 2010; Wu 2011)，因此除了推動合理化施肥外，嘗試使用緩放性肥料，以提高肥料利用效率，應是有效作法，但需獲得肥料公司的認同，製造合用的肥料，並需評估單位營養素的價格。施用緩效性肥料，預期可減少 20%的肥料施用 (Jiang 2014)。

葉面施肥比土壤施肥效率高、見效快，且可克服不良環境的影響，迅速滿足植物生長發育所需。但葉面施肥易受環境條件、植物種類和生育期不同而效果差異大，尚須與土壤施肥一同應用於農作生產才具增產活提高品質的效果 (Guo 2013)。雖然葉面施肥的肥料效率可達 80%或以上，但因為葉面施用肥料之濃度必須精確控制，且噴灑間隔密集，需要耗費較多人力，是不易全面推廣的另一個原因。若能掌控施用時機與濃度，預估可減少 50%肥料施用量。

B. 施用硝化抑制劑

硝化抑制劑能夠選擇性的抑制土壤中硝化細菌的活動，從而減緩銨態氮轉化為硝態氮的反應速度，提高銨態氮、尿素的穩定性，不致快速轉換為硝態氮而淋失，從而增加氮肥肥效。一般施肥時搭配硝化抑制劑，預估可減少 10-20%的肥料施用。

C. 使用生物肥料

生物肥料是以微生物為主體，係指具有活性微生物體 (包含其休眠孢子)，如細菌 (含放線菌類)、真菌、藻類等微生物之微生物體及其代謝產物的特定製劑，應用於農業生產具供應植物養分的效果，包括增進植物養分和元素之供應量與總量、刺激植物生長與促進植物對營養和元素的吸收 (Yang 2009)。如施用固氮菌，可減少 50%氮肥施用；微生物肥料 (溶磷菌)的添加，可減少 30-50%磷肥施用。

D. 農作物品種改良

因應氣候變遷所造成的影響，農作物的品種改良越來越受到重視，藉由育種，培育出可在不同的氣候與土壤環境下生長、高氮素利用率之品種或增加植物本身抵抗病蟲害的能力，以減少農藥的使用等，均可有效的降低氣候變遷所造成的影響，也可降低肥料、農藥與能源使用，降低溫室氣體排放 (National Museum of Natural Science 2019)。

E. 增加土壤碳匯-施用生物炭

臺灣在加入仟分之四倡議後，即評估實現每年增加 0.4%土壤有機碳目標的可能性。以不同土類之有機碳含量估算全台有機碳含量，在深度 0-100cm 土層中約為 2.37 億公噸。經長期試驗結果估算不同農業操作之固碳潛力，包括有機農業、果園草生栽培、綠肥施用、平地造林、施用生物炭農地等。結果顯示，在這些操作中以生物炭應用具有最高的固碳潛能 (Chen *et al.* 2019)。

生物炭 (Biochar) 被認為具有改善土壤、促進作物生長及固碳之效果，IPCC 於 2018 年的報告中亦肯定其碳匯能力，被視為減緩氣候變遷對環境影響程度的可能手段(IPCC 2018)。生物炭多以植物性有機物經高溫熱裂解，形成高度抗分解之穩定芳香族雜環碳結構，埋於土壤中可維持數十年至數千年，等同於將植物藉由光合作用固定的碳封存於土壤中，形成另一型態碳庫 (carbon pool)，可有效的增加土壤碳匯。碳匯計算方式採用國際生物炭倡議組織 (International Biochar Initiative, IBI) 採用之文獻 $H/C_{org}<0.4$, $BC_{+100}=70\%$進行計算 (Budai *et al.* 2013)，即施用於土壤中 100 年後仍可保留約 70%的有機碳含量。以生命週期估算生物炭碳足跡，以柑桔枝條炭為例計算，製造過程產生的溫室氣體排放約佔其碳匯量 5%。

若以生物炭有機碳含量 50%估算，2%的施用量應用於全臺灣 30 萬公頃的酸土耕地中，則可增加 390 萬公噸的有機碳含量。如果每年在 2,000 公頃農地上施用 2%生物炭，可使臺灣土壤有機碳以每年 0.1‰的速率封存。

F. 綠電

鑑於全球正處在能源轉型的關鍵時代，綠色能源將是未來驅動經濟發展的新引擎。2020 年經濟部能源局能源統計資料指出 (Bureau of Energy 2020)，目前臺灣火力發電量佔總發電量 82.2%，其次為核能發電 11.2%，再生能源 5.4%，最後為抽蓄水利 1.1%。另外火力發電中又以燃煤為主，約佔 55%，燃氣佔 43%，燃油佔 2%，但燃煤過程中會產生許多空氣污染與溫室氣體排放，增進全球暖化。再生能源又稱做綠電，藉由太陽能、風力、河流水位落差、燃燒生質能與廢棄物等動力來源，替代有限的燃料能源，減輕發電裝置對環境造成的污染程度。農委會推動「農糧製儲銷屋頂附屬太陽光電」，截至 2020 年已設置太陽光電 265.6MW，每年可取代燃煤發電 294.7 百萬度電，約 15 萬公噸 CO_2 eq。扣除製作太陽能板產生 2.7 萬公噸 CO_2 eq，共可減排約 12.7 萬公噸 CO_2 eq。並藉由水產試驗所漁電共生試驗成果，推動「漁電共生」，自 2020 年 12 月 3 起，以高雄市及屏東縣優先，逐步擴散推動，以達成臺灣 2025 年 20GW 太陽光電設置目標。

(二) 碳交易機制

1. 國際上農業相關碳排放交易機制

京都議定書中提出之減量機制包括共同減量、清潔發展機制與排放交易，其目的主要是希望締約國能

夠透過國際合作方式，以最小成本的方式來達成減量目標。共同減量係指附件一所列締約方以推動共同排放減量計畫的方式，向其他附件一締約方交換或取得所謂「排放減量單位 (Emission Reduction Units, ERU) 。清潔發展機制係指附件一所列締約方在非附件一所列之開發中國家，推動相關排放減量計畫，取得所謂「經驗證減量額度 (Certified Emission Reduction, CER) 」。排放交易係指附件一所列締約方以交易方式，向排放量尚未達到容許排放配額的其他附件一所列締約方，取得尚未使用或剩餘之排放配額 (Unused Or Surplus Emission Units)額度，稱排放權。擁有排放單位的國家，將多餘未被使用的允許的排放量或分配量單位 (Assigned Amount Units, AAU) 出售給超出其目標的國家 (UNFCCC 2021a)。

碳交易系統的設計分為兩種，一種為「總量管制與交易 (cap-and-trade) 」系統，另一種為「基線與信用額度 (baseline-and-credit) 」在兩個系統中所產生之可交易單位，稱作「排放權」(Pan 2007)。總量管制與交易指在總量管制下，國際公約或國家依據特定準則分配許可排放權給排放源，此機制較具有強制性，可確認減量目標是否確實達成。而未使用完的許可排放權配額即可在交易市場中進行交易。而基線與信用額度是排放源透過減量計畫或專案，經認定所核發的「減量抵換/信用額度」進行交易，如我國溫室氣體排放額度抵換專案。

目前聯合國碳抵換平台 (United Nations Carbon Offset Platform)與農業相關的清潔發展專案項目如圖 5。由聯合國監督，在發展中國家推動之清潔發展機制項目，他們減少或避免的 tCO2 e 排放量可賺取 1 CER。個人、企業或組織可以購買 CER，以抵消其自身不可避免的排放或對全球氣候行動的貢獻，各項目 CER 價格不同。我國雖然無法執行 CDM，但可以此為借鏡，發展我國農業其他減碳措施。

世界銀行在 2020 年「全球碳定價現況及趨勢發展報告」中提到，2019 年碳定價機制繼續主流化，為加強氣候承諾，很多司法管轄區擴大了碳定價機制，並開始考慮在現有碳定價體系範圍之外補充其他碳定價手段，以達到減排目標。早期全球碳權交易市場有一半以上碳信用由清潔發展機制簽發，近年逐漸發展為自願減量市場 (World Bank 2020)，自願減量市場是由社會責任驅動，自願執行減量之業者、區域、政府單位、國家或非營利組織建立碳信用機制，透過獨立減量或是增加碳匯專案，經第三方確認後核發的碳信用單位進行交易，但該市場之交易單位不一定會被其他締約國政府承認。在過去五年，碳信用市場有 42%來自林業，可能因碳匯項目具有降低排放成本的巨大潛力，同時還能產生額外共同收益 (World Bank 2020)。

全球已施行或計畫施行碳定價的國家或地區已成長至 61 個，其中 31 個屬於碳交易制度、30 個屬於碳稅制度，估計占全球溫室氣體排放量 22%、約 120 億公噸。排放交易系統 (ETS)遍及 35 個國家，13 個州或省和 7 個城市的四大洲，覆蓋全球 GDP 的 40%，並且正在開發其他系統 (ICAP 2020; World Bank 2020)。

2. 臺灣碳交易機制推動策略與期程

農委會於 2010 年舉辦「因應氣候變遷農業調適政策會議」，最終提出農業因應氣候變遷調適策略，秉持「健康、效率、永續經營」之農業施政方針，以「低風險、低碳排、新商機」為願景，並歸納出：1.依風險程度建構糧食安全體系；2.整合科技提升產業抗逆境能力；3.推動低碳農業；4.發揮邊際土地的生態及滯洪功能；5.強化農村自主防災體系；6.開創低耗能、低碳排的綠金新商機；7.建立生物多樣性風險管理策略等 7 項關鍵策略。配合本院經濟建設委員會規劃之「我國氣候變遷調適政策綱領」研擬行動計畫，除了推動低碳農業外，亦期能藉由碳交易開創綠金新商機。

在過去幾年農委會與環保署除了積極推動低碳農

業操作的同時，亦推行各項配套政策，如有機農產品有機轉型期農產品標示及標章管理辦法、農業節能減碳貸款、對地綠色環境給付計畫、溫室氣體抵換制度以及產品碳足跡標籤，以減低實行減碳農業之成本負擔，並帶來額外經濟效益。

(1) 農業節能減碳貸款

依農業節能減碳貸款要點，農 (漁) 民、農 (漁) 民團體及農企業如欲購置使用沼氣、太陽能、風力、非抽蓄式水力、農林植物、國內農業事業廢棄物直接利用或經處理以產生能源之農業相關機械設備時，依農業節能減碳貸款要點可向設有信用部之農 (漁) 會、依法承受農 (漁) 會信用部之銀行當地分行或全國農業金庫申請，減輕購置負擔。

(2) 產品碳足跡標籤

針對特定的同一種類型、功能之產品或服務，依生命週期計算自原料取得到廢棄處置過程中產生的溫室氣體排放量總和，揭露單位產品碳排放量，具有發掘產品碳排放熱點，做為日後減碳目標。環保署亦推出低碳產品獎勵辦法「環保集點制度」，促使消費者選擇對環境友善之產品，亦提高業者申請標章之意願。消費者可透過註冊環保集點會員，凡購買具有環保標章、碳足跡標籤、MIT 微笑標章或在地農產品 (CAS 標章/有機農產品標章/TAP 產銷履歷) 認證之綠色商品，即可依消費金額獲得綠點獎勵。

(3) 溫室氣體抵換制度

依環保署自 2005 年起推動產業溫室氣體自願減量管理制度，發布「溫室氣體抵換專案管理辦法」，促進各類型排放源減量技術發展。有意願申請專案之業者可向環保署進行提案，引用公告之減量方法學撰寫減量計畫書。計畫書經中央目的事業主管召集審議小組以及查驗機構確認後，專案需計入 7-10 年 (依專案類型不同)溫室氣體排放定期查驗，提送最終溫室氣體排放減量與移除增量報告於環保署審查，審查通過後即可獲得核發減量額度 (碳權)。當我國碳交易市場啟動時，產業可透過國家溫室氣體登錄平台申請額度帳戶，進行減量額度轉讓、註銷及抵換等相關作業。截至 2020 年已核發 13 件溫室氣體減量額度之專案，共計 1,105.7 萬噸 CO_2 eq，皆為工業產業 (EPA 2021)。而與農業相關的有 2 件計畫註冊已審查通過，1 件計畫正在審查，皆由漢寶農畜產企業股份有限公司提出，將豬糞堆肥、沼氣發電及畜舍架設太陽能板等減碳技術引入，後續監測結果若通過驗證，預計共可申請 3.07 萬公噸 CO_2 eq 減量額度。

目前仍持續推動自願減量與強制盤查登錄，待相關機制均完備後，研擬總量管制與排放交易制度推動期程，分階段公告排放源並訂定階段排放總量目標，預計 2025 年前啟動總量管制與排放交易制度。

結論

農業部門溫室氣體排放雖非臺灣主要排放源，亦肩負經濟發展、生態保護與糧食安全等任務。但因應氣候變遷，除了研擬因應的調適策略，以減緩氣候變遷之衝擊外，亦應在確保糧食安全下，發展並推動低碳農業，並藉由碳交易開創綠金新商機。目前農糧部門已推動多項減碳、碳匯及綠電發展之策略，將持續落實各項行動方案，以達到我國溫室氣體長期減量目標。並盤點具潛力之可碳交易項目，發展碳權計算方法學，增加農業部門之減排經濟效益。

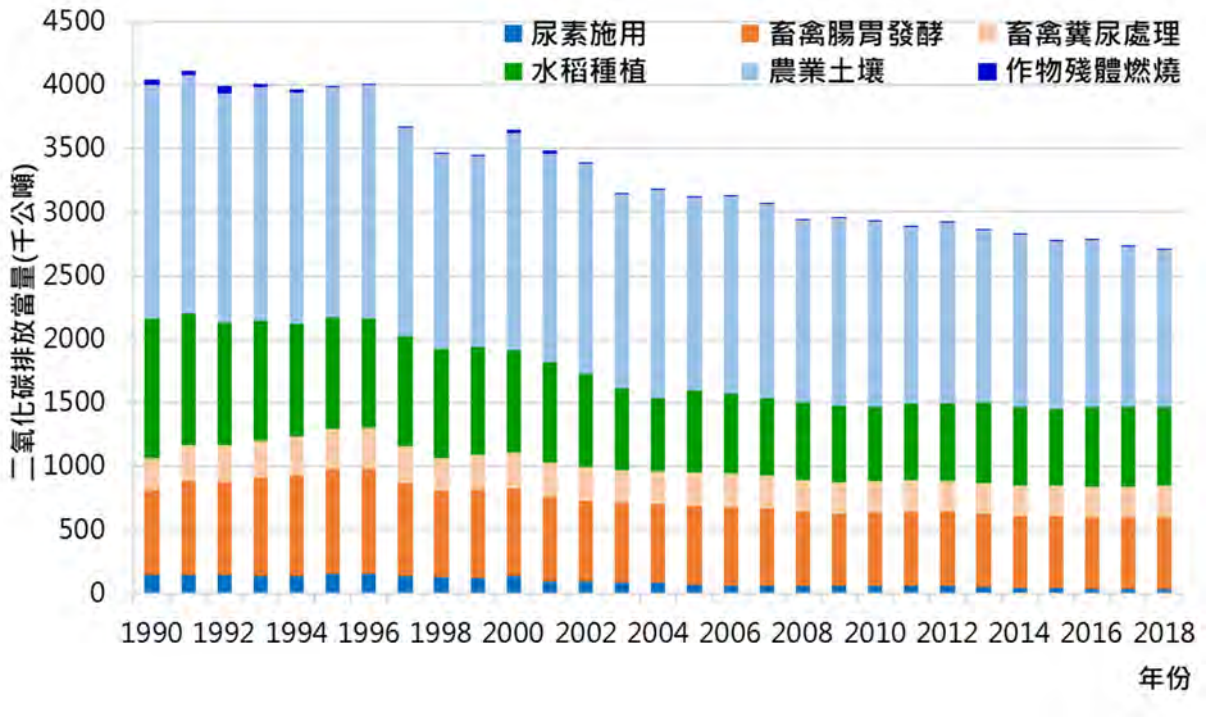


圖 1. 1990 至 2018 年臺灣農業部門排放量趨勢

Fig.1 Agricultural Sector emissions trends of Taiwan from 1990 to 2018

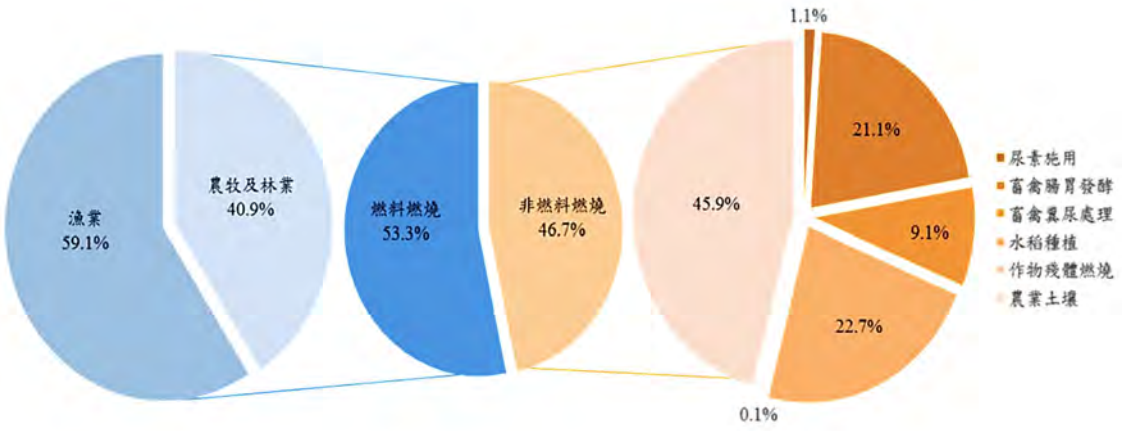


圖 2. 2018 年臺灣農業溫室氣體主要排放來源

Fig. 2 Main sources of agricultural greenhouse gas emissions of Taiwan in 2018

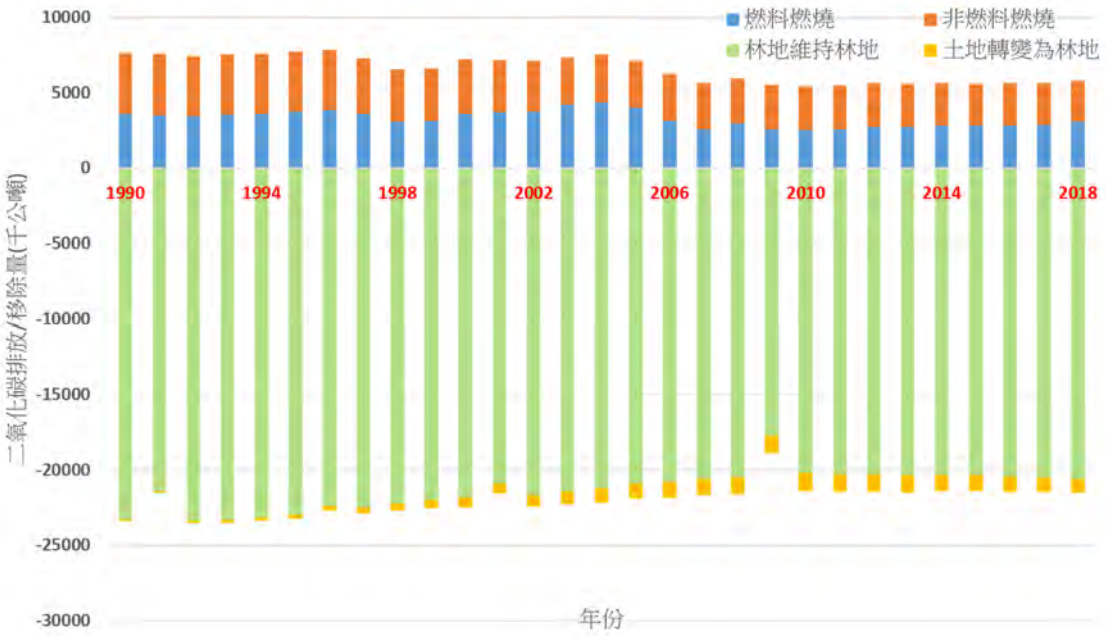


圖 3. 農業部門 2018 年二氧化碳排放/移除量

Fig. 3 Carbon dioxide emissions and removals from the Agriculture Sector in 2018

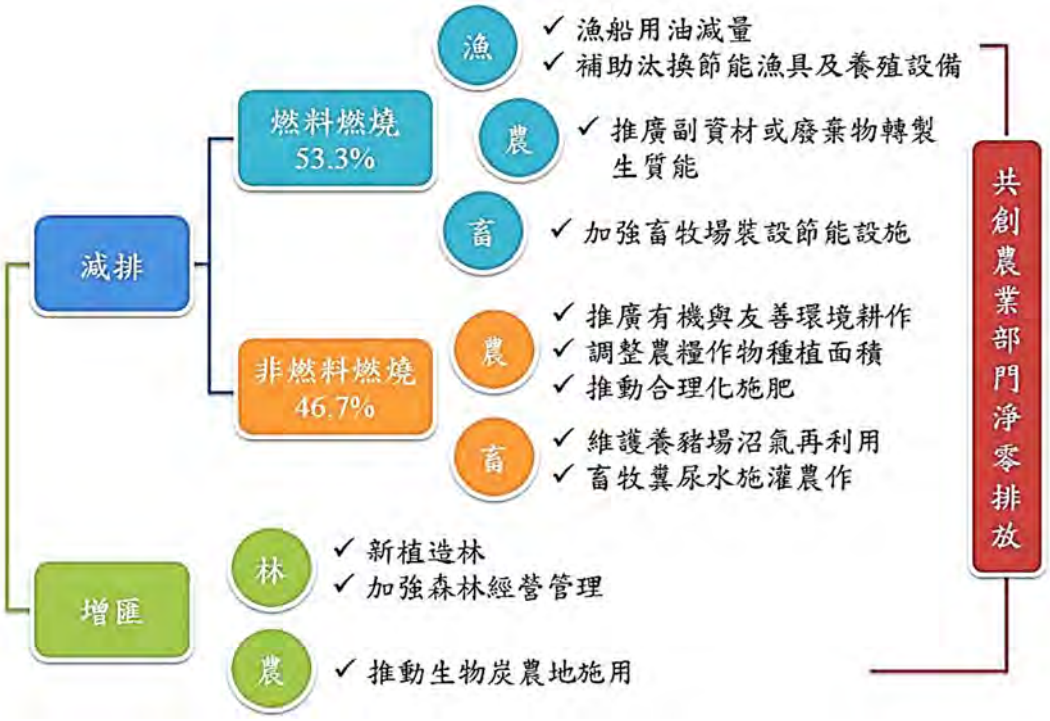


圖 4. 農業部門溫室氣體淨零排放措施

Fig. 4 Greenhouse Gas Net Zero Emissions Measures in the Agriculture Sector

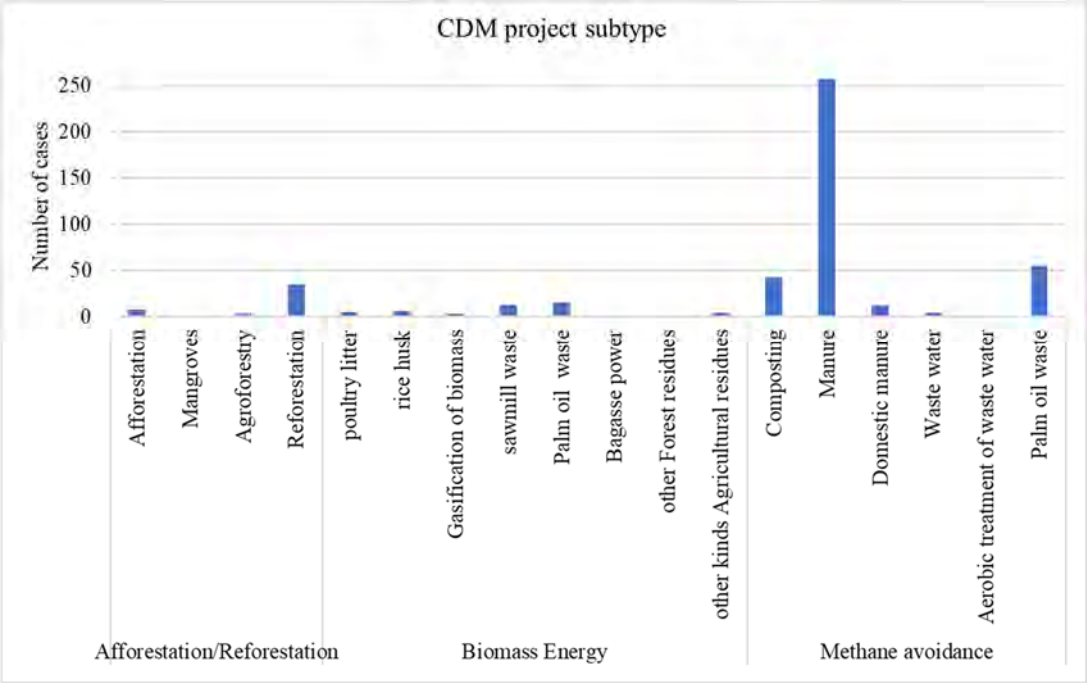


圖 5. 國際上農業相關清潔發展機制計畫

Fig. 5 International clean development mechanism (CDM) projects of agriculture

參考文獻

Budai, A., Zimmerman, A. R., Cowie, A.L., Webber, J.B.W., Singh, B.P., Glaser, B., Masiello, C. A., Andersson, D., Shields, F., Lehmann, J., Camps Arbestain, M., Williams, M., Sohi, S., and Joseph, S. 2013. Biochar Carbon Stability Test Method: An assessment of methods to determinebiochar carbon stability. International Biochar Initiative.

Bureau of Energy. 2020. Energy statistics. https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/english/content/SubMenu.aspx?menu_id=979 (visit on 03/15/2021)

Chen C. L. , C. Y. Chou, M. C. Lin, J. H. Hu. 2019. Application of Agricultural Practices to Increase Soil Carbon Sequestration in Taiwan. Climate Smart Agriculture for the Small-Scale Farmers in the Asian and Pacific Region. pp. 89-105. National Agriculture and Food Research Organization (NARO) & Food and Fertilizer Technology Center (FFTC) for the Asian and Pacific Region. ISBN: 978-4-908914-02-7.

Council of Agriculture, Executive Yuan (COA). 2020. Report of the National Greenhouse Gas Emission Inventory Review Meeting. Council of Agriculture, Executive Yuan

(COA). (in Chinese)

Council of Agriculture, Executive Yuan (COA). 2021. Evaluation report on the path of net zero emissions in agricultural sector. Council of Agriculture, Executive Yuan (COA). (in Chinese)

Environmental Protection Administration, Executive Yuan (EPA). 2020. 2020 REPUBLIC of CHINA National Greenhouse Gas Inventory Report. Environmental Protection Administration, Executive Yuan (EPA). (in Chinese)

Environmental Protection Administration, Executive Yuan (EPA). 2021. National Greenhouse Gas Platform. https://ghgregistry.epa.gov.tw/ghg_rwd/Main/Index (visit on 03/15/2021)

Guo, Y. W. 2013. The absorption mechanism and influencing factors of foliar fertilization. Taichung District Agricultural Research and Extension Station 102 year Special Discussions. (in Chinese)

International Carbon Action Partnership (ICAP). 2020. Emissions Trading Worldwide: Status Report 2020. Berlin: International Carbon Action Partnership.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories .Vol. 4. Japan.: IGES.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)). Geneva. Switzerland.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2018. Global warming of 1.5°C. IPCC Report (Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)). In Press.

Jiang, W. J. 2014. Fertilization for dummies-slow-release fertilizer. Science Development, 496:40-44. (in Chinese)

Pan J. h. 2007. The Enlightenment of Foreign Carbon Dioxide Emission Rights Trading to my country's Financial Industry. TWSE Monthly Review, 538:16-33. (in Chinese)

Ning J. F, S. H. Yang, X. H. Zou, Y. Chen, L. L. Sun, L.Wei, J. L. Wu. 2010. Effects of Nitrogen Application Rate on the Growth of Mustard and Nitrate Residue in Soil. Chinese Journal of Topical Crops, 31(8):1329-1334. (in Chinese)

National Museum of Natural Science. 2019. Variety identification of crops. https://www.nmns.edu.tw/gallery/Human_Cultures/agricultural/variety/index.html (visit on 03/15/2021)

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2020. National Inventory Submissions 2020. https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020 (visit on 03/15/2021)

United Nations Framework Convention on

Climate Change (UNFCCC). 2021a. The Kyoto Protocol. UNFCCC Process and meetings. https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms (visit on 03/15/2021)

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2021b. The Paris Agreement. UNFCCC Process and meetings. https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement (visit on 03/15/2021)

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2021c. United Nations Carbon offset platform. https://offset.climateneutralnow.org/AllProjects (visit on 03/15/2021)

World Bank. 2020. State and Trends of Carbon Pricing 2020. Washington, DC: World Bank.

World Resources Institute. 2021. Climate Watch. https://www.climatewatchdata.org/sectors/agriculture#drivers-of-emissions (visit on 03/15/2021)

Yang, C. C. 2009. The purpose and essentials of the application of microbial fertilizer .National Chung Hsing University Agricultural journal 69 (in Chinese)

Tan Z. W. 2010. Fertilization technology of corn. Special collection on Application Fertilization for Crop, 100:81-92. (in Chinese)

Wu Z. Z. 2011. Three elements of fertilizer in soil. (in Chinese)

Developing Low Carbon Agriculture and Carbon Trade mechanism in Taiwan

Ya-Hui Shih[1], Ming-Chieh Lin[1] and Chilng Chen[2*]

[1] Research Assistant, Agricultural Chemistry Division, Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, R.O.C.
[2 *]Research fellow, Agricultural Chemistry Division, Agricultural Research Institute, Taichung,Taiwan, R.O.C.

Abstract

In order to respond to global climate change actions, although Taiwan is not a party to the Kyoto Protocol, it should still share the burden of reduction and mitigate the impact of climate change. Taiwan promulgated the "Greenhouse Gas Reduction and Management Law" in 2015, which clearly set a long-term reduction target to reduce carbon emissions by 50% in 2050 compared to 2005. It is expected that the total volume control and carbon emissions trading system will be launched before 2025. Recently, in response to the IPCC's goal, it has also proposed to achieve net zero emissions by 2050, so that the global average temperature rise will not exceed 1.5°C. In order to achieve this goal and ensure the development of industrial competitiveness, economic competitiveness and food security, various sectors have proposed phased carbon reduction goals and strategies. The agricultural sector is responsible for economic development, ecological protection and food security. In the second phase, the goal of greenhouse gas emission control of agricultural sector is to reduce total emissions to 5 million metric tons of carbon dioxide equivalent by 2025. This report uses a literature review to introduce the history of international carbon reduction strategies in response to climate change, the agricultural sector’ s carbon reduction strategies, carbon trading mechanisms and markets as a domestic reference. It also introduces domestic green house gases inventory, phased reduction targets and strategies, net-zero emission planning paths and carbon trading systems for the preparations on the development of low-carbon agriculture and carbon trading mechanisms.

Key Words: Low Carbon agriculture, Carbon trade, Emission inventory

*Correspondence address
e-mail: Chiling@gmail.com