正視溫室效應及溫室氣體之減量

國立中興大學農藝系 羅虹
農試所作物組 楊純明

一、前言

俗語說民以食為天，所以農業的生產必須要為人類帶來足夠的糧食，農耕操作應當以滿足糧食安全需求為最高目的。生長良好的作物才能夠產生豐足的糧食，然而除了作物本身的條件之外，氣候（象）更是影響作物能否生長良好的重要因素。近年來天氣變化無常，氣候和昔日相比明顯有別，使得氣象環境失去原先的穩定平衡。造成氣象渾沌不明的主因，目前多歸諸於增強的溫室效應，以及所促成的全球暖化現象。追源溯往主要係因為工業革命以來大量石化燃料的消耗及各種人類行為釋放出的大量溫室氣體，而這些溫室氣體的長期持續累積即增強了地球的溫室效應，並造成了全球暖化現象。更可怕的是，溫室效應增強後果不只是全球氣溫的上升，也改變了氣象系統的常態運轉，使得氣候快速的變遷。氣候快速變遷直接造成對自然環境的脅迫，譬如生態失衡、海平面上升、地理景觀改變等，間接則帶來對人文環境的衝擊，產業運輸、生活型態、經濟活動、國際貿易及社會政治層面等都因而波動。人類應當摒棄駝鳥心態正視溫室效應及氣候快速變遷問題，並且積極的尋求解決對策，降低溫室氣體的排放量，減輕溫室效應對生態、環境及產業生產所帶來的負面效應。而社會大眾更應該拿出道德良知，身為地球村的一員都必須誠心面對此一嚴肅議題，齊心努力讓我們共同生活的環境在明日能更加美好。

作　　者：楊研究員純明
連絡電話：04-233302301-7117

二、何謂溫室效應

地球表面由一層大氣層包圍，就像是溫室的透明玻璃表層，具有容許光線穿透、防止地面溫度散失及保持溫度的功能，並使地球表面的溫度得以維持適度的變化範圍，這就是所謂的溫室效應(greenhouse effect)。假若地球沒有大氣層來保留住太陽輻射的能量，完全釋放出全部入射的光輻射，則依照黑體輻射理論計算地球平均溫度將為-18℃，因此常態下的溫室效應使人類得以在現行溫暖的地球上生存。只可惜人類活動過度的排放溫室氣體，使得大氣吸收了過多原應釋放到太空的輻射能，增強了地球的溫室效應。據估計過去百年以來，全球的平均氣溫已上升了0.3～0.6℃，而且升

溫趨勢持續進行中，人們再不正視暖化問題將置自已於不可知的未來。

三、溫室氣體

溫室氣體之所以能夠保持地球表溫，乃由於其具有吸收長波輻射的特性，非但抓住了入射的長波輻射能，又保留住原本應該散發回太空的地表長波輻射熱。尤有甚者，溫室氣體會減少大氣對流層中的臭氧濃度，稀薄大氣臭氧層另導致紫外線照射至地表輻射量的增加。長期累積的溫室氣體打亂了進出地表的能量平衡，使得大氣層（圈）內溫室效應增強，而增強的溫室效應被認為是引發氣候快速變遷的元兇。因此談論溫室效應與氣候變遷，必須同時考量、合併應對，不宜切割單獨處理。在京都議定書中規定必須減量的溫室氣體有六項，分別為二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亞氮(N_2O)、氫氟碳化物(HFC_S)、全氟化碳(PFC_2)及六氟化硫(SF_6)，其中和農業相關的溫室氣體主要為前三項。

(一)二氧化碳(CO_2)

二氧化碳是由一個碳原子及兩個氧原子鍵結而成的化合物，常溫下為氣態，係植物行光合作用生成碳水化合物所必須的材料，也是動植物呼吸作用的產物。大氣中的二氧化碳濃度會因不同季節而有些微波動，在植物生長旺盛的春夏季節大氣中濃度較低，而在秋冬季節則因植物休眠或死亡使得大氣濃度上升。工業燃燒石化能源、汽機車排放廢氣、火山爆發、地熱溫泉等各種自然與人為活動，都會有二氧化碳的逸釋。

(二)甲烷(CH_4)

甲烷是由一個碳原子及四個氫原子所組成之最簡單烷類分子，主要產生於濕水環境的土壤內（如水田、沼澤地），經由潮溼土壤中甲烷菌分解有機物質成甲烷逸釋至大氣中，另飼養牲畜的畜牧業也是排放甲烷的來源之一。水田釋放甲烷的三種途徑為(1)水面擴散作用釋出、(2)氣泡形式釋放及(3)稻株氣胞組織逸釋。甲烷吸熱效率很高（吸收輻射潛勢為二氧化碳的30倍），對溫室效應影響潛力甚高。

(三)氧化亞氮(N_2O)

氧化亞氮是由一個氧原子及兩個氮原子組成，在常溫下為無色不可燃氣體（又稱為笑氣）。農地過度施用氮肥係促進氧化亞氮大量排放的原因，經土壤中微生物的硝化及去硝化作用過程釋出。氧化亞氮吸熱效率亦甚高，每一分子氧化亞氮吸收紅外線的強度約為二氧化碳的200倍。

此外，雖然此一化合物的生成無關於農業生產，本文仍特別介紹氟氯化物。該化學產品是一種無毒且極為穩定的人造化合物，存在於一般生活之中，例如冷氣機及冰箱的冷媒、沙發中的泡棉等均是。由於化學性質十分安定，一旦被釋入大氣，除非進行光分解反應否則會不斷累積在對流層當中，最後上升至平流層。此時可因為紫外線照射而分解產生氯原子，活潑的氯原子與臭氧結合將使平流層中臭氧分解消失。稀薄的臭氧濃度，常被形容為臭氧層破洞，將使來自太空的紫外線額外穿透大氣層照射至地表。

四、農業生產之溫室氣體減量對策

近年來為了提高糧食生產供應增長的世界人口，土地利用方式明顯改變，農地也因此超限使用，更造成了農業排放溫室氣體通量的大幅上升。欲降低農

業生產過程的溫室氣體排放量，應當依照各個地區的特定狀況採用不同之減量措施，以配合其特殊的時空環境與條件，如此才能獲得顯著減量成效。

(一)二氧化碳減量對策

土壤是地表主要的碳積儲(carbon sink)，當原生生態系之土壤轉變為耕地時，即可測得大量二氧化碳自土壤中釋出。據估計過去150年來為農業開發土地所累積的二氧化碳排放量，相當於燃燒石化能源釋出的總量。針對土地利用及農業操作的二氧化碳減量對策，可概分從降低現有排放源之排放量及提高碳積儲容量等兩方面著手。

(1)降低排放源之排放量

諸如降低土壤呼吸之碳逸釋、減緩土壤有機質分解速率、妥善處理農地廢棄物及禁止燃燒農地殘留物（如稻稈）等措施，都是可行且有效的減量對策。

(2)提高碳積儲容量

實際可行的碳積儲容量提高方法，如(1)不耕犁、低度耕犁等促進農田碳截取能力的耕耨作業；(2)提高生質能源使用比例的政策；(3)添加土壤有機質肥料、腐植質等有機質的土壤肥力作法；(4)提升作物水分與氮肥利用效率技術；及(5)採行改良式耕作管理（如輪作）等。其次，將多餘農地轉變為自然生態系統，栽種多年生作物（如牧草、林木）或生質能源作物，亦兼具降低排放量和提升碳積儲的雙重效果。

(二)甲烷減量對策

除了畜牧業排放之甲烷，農作生產之甲烷排放源主要來自水田栽培、廢棄物分解(燃燒)及能源使用。因此，農耕方面的甲烷減量措施如次：嚴格禁止農田殘留物燃燒、改進水田栽培管理、多用銨態氮肥少用硝酸態氮肥、提高土壤氧化速率、採行間歇式斷水、耕耨鬆土減輕水田還原程度及栽種有較低甲烷傳輸速率的水稻品種等。

(三)氧化亞氮減量對策

土壤排放之氧化亞氮佔了生物圈釋出至大氣圈之氧化亞氮總量的70%，可見人類活動造成土壤氮循環改變確是氧化亞氮不斷升高主因之一。農耕的氧化亞氮排放源可歸納為旱作栽培、施用無機氮肥、堆肥分解及生物性氮固定等，而可行之減量對策包括實施水旱田輪作、減緩有機氮肥施用、將農耕地轉為林地或草地、實施交替式土壤耕耨、增進氮肥利用效率、多次分施氮肥、施用硝化抑制劑及精準施肥等。

五、溫室氣體減量措施對農業經濟影響評估

由於溫室效應加速了氣候變遷，分別對自然與人文環境帶來衝擊，最佳減量措施與策略的選擇必須評估該項對策之成本與效益。成本面的評估係指減量對策的實施對人類造成之負擔，而效益面的評估係指其在獲得減量控制後對人類和整個社會帶來的利益。從政策面觀點而言，任何溫室氣體減量對策之經濟影響評估，必須從政治、技術、經濟等層面綜合判斷，瞭解關聯性與可行性，才能以最少的成本得到最大的收益。此外，經濟學者分析溫室效應/氣候變遷對農業之影響，可歸納如下：（一）不同估算方法之成本計算差異；（二）溫室效應帶來的經濟損失在發展中國家高於已開發國家；（三）因應氣候變遷在農業所做的調整可降低生產成本；（四）二氧化碳上升會增加病蟲草害發生，然已開發國家（如歐美）對控制病蟲害之

能力優於開發中的國家；及（五）氣溫上升使高緯度農地生長季增長，使座落於高緯度之已開發國家（多為先進國家）較能從氣候暖化現象獲得利益。

六、減量對策需要各方配合

國內政府部門已成立了各級溫室氣體減量推動計（企）畫，以因應京都議定書之生效，經濟部更特別設立推動小組作為各單位溝通平台，在提升我國產業國際競爭力下並確保減量目標逐年達成。而根據溫室氣體減量法草案所進行的相關配套研析包括了：（一）溫室氣體獎勵補助政策及執行建議；（二）先進國家溫室氣體減量技術最新資訊蒐集與彙整；（三）因應溫室氣體減量法（草案）之排放量交易、排放量減量登錄平台之建置與管理；及（四）針對法案之重要議題舉辦相關論壇或研習會深入探討等，目的在於透過訂定溫室氣體減量措施、產業宣導、金融與租稅獎勵誘因及產業自律等機制，落實國內溫室氣體排放量的真正減降。再者，政府於三次全國能源會議上，也擬訂了諸多議題廣納各界意見，試以解決減量成效不佳的各種原因。

然而，溫室氣體的減量除了政府部門應該成立推動單位積極進行之外，尚需要社會大眾的全力支持與配合。對此我們首先應該利用教育宣導方式，讓每個人都知道人人都該為溫室氣體減量盡一份心力，留給自已和下一代美好的生活環境。其次，溫室氣體減量屬國際事務，必須藉由國際間的溝通、合作並形成集體共識，一起謀求解決方法來避免繼續對氣象系統的破壞。而農業生產過程中的減量空間，政府可以用補貼、獎勵或懲罰等作法立法規範，或建立食品減碳、溫室氣體減量等不同的認證標章制度（如碳足跡制度），同時考核農產品的產銷流通管道，提倡在地生產、在地消費，讓各方都參與在溫室氣體減量行列中。

七、結語

氣候變遷乃億萬年前即已存在的大自然現象之一，但是近年來人類的活動卻嚴重的影響氣象常態運轉，長期將大量的溫室氣體排放至大氣中，增強了溫室效應。所造成全球氣溫升高、海平面上升、降水（雨）型態改變、極端氣象發生頻率增加等異常天候，勢將形成擴大沙漠化地區、威脅生態系統、衝擊農業生產等無數不良後果，此時若不及時善後結果將難以想像。以去(98)年8月莫拉克颱風帶來的暴雨為例，在短短三天中竟然降下近3,000釐米的雨量，造成的農業災損超過百億元，委實十分驚人和可怕。地球只有一個，生活空間只有你、我，我們該好好珍惜大自然賜予的恩惠，齊心努力將溫室氣體的減量落實於社會各層面。