

氣候變遷對農業生產的衝擊

—解讀IPCC最新氣候評估報告(AR6)

農試所農工組 姚銘輝

一、前言

氣候變遷(climate change)是指因為人類活動而對地球大氣環境的影響。在18世紀中葉工業革命後因為大量使用石化燃料(主要為煤及石油)，導致由深埋在地下的固態及液態碳源轉為漫佈在大氣的氣態碳源(二氧化碳)，而大面積砍伐森林開墾為都市、工廠或農田，減少對大氣氣態碳源的固定。此外，人口增加及都市化發展將直接或間接造成氣候改變的原因。

聯合國轄下的跨政府組織“政府間氣候專門委員會”(Intergovernmental Panel on Climate Change ; IPCC)，集合全世界各學門的專家，針對全球未來氣候改變及各項衝擊做專業的評估，並將結論彙整成冊。每隔幾年就依據最新證據及方法學發布評估報告(Assessment Report; AR)，第一次評估報告是1992年發布，之後分別在1995、2001、2007、2013/14、2021/22發布評估報告。氣候評估報告有4冊，第一冊屬於物理科學依據(The Physical Science Basis)，第二冊是衝擊、脆弱度與調適(Impacts, Vulnerability and Adaptation)，第三冊是氣候變遷減緩(Climate Change Mitigation)，第四冊則是將前3冊綜整的報告(Synthesis Report)，這四冊是分別發布，以AR6為例，第一冊2021年8月9日發布，第二冊2022年2月28日，第三冊2022年4月4日，而第四冊將在2022年底發布。

依據IPCC最新一期評估報告(AR6)指出，至2040年全球平均溫度將較工業革命前上升1.5°C(表一)，北極冰層將因增暖而融化，海冰覆蓋面積大幅減小且厚度變薄，與1979年相比，北極海冰體積已經減少約3/4，冰雪可反射太陽輻射而減少地表積熱，但當融化為水反而吸收輻射熱能，南北極之冰雪與海水之間的變換，將對未來地球增溫速度有顯著影響。此外，海洋吸收二氧化碳是地球系統很重要的碳匯源，但當大氣二氧化碳濃度持續攀升，海洋吸收更多二氧化碳，海水酸化將影響甲殼生物的生存，

作者：姚銘輝研究員
連絡電話：04-23317715

間接影響整個海洋生態系；另一效應為海平面上升，海平面以近3000年來最快的速度上升中，相較於1901~1971年，目前海平面上升速度增加2倍，預估至世紀末全球海平面上升0.38~0.77公尺，此將造成低地或沖積三角洲被淹沒，影響農、漁業及生態多樣性。全球增溫除高溫熱浪侵襲增加外，大氣氣候型態也將有明顯改變，包括降雨型態朝向極端化發展趨勢，嚴重乾旱及致災型暴雨發生頻率將更為頻繁，雨季及早季的長度消長，即旱季愈長而雨季愈短，對發展中國家將因缺乏儲水及水利設施，民生及農業用水面臨嚴重短缺，而暴雨則造成土地流失及生命財產的損失。

二、台灣未來氣候變化趨勢

IPCC所發布評估報告相當龐大及複雜，以AR6第一冊物理科學報告即高達4000頁，對一般民眾難以瞭解其內容，我國科技部長期支持“台灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫”（Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform; TCCIP），此計畫參與者包括大氣、水資源、坡

地、淹水、農業及公衛等專家，進行未來氣候資料產製及調適策略的研擬，同時針對IPCC報告進行轉譯，讓外界可以容易瞭解整體氣候變遷最新趨勢，更重要是透過研究闡述台灣未來將面臨的氣候衝擊。TCCIP團隊針對AR6的資料分析，有關台灣未來氣候情境的推估如下：

- (一) 台灣各地氣溫未來推估將持續上升，21世紀中、末之年平均氣溫可能上升超過1.8℃及3.4℃。
- (二) 台灣各地高溫36℃以上日數增加，21世紀中及末分別增加幅度8.5日及48.1日，其中，都市地區增加較其他地區顯著。
- (三) 未來推估台灣的夏季長度從目前約130天增長為155-210天，冬季長度從目前約70天減少為0-50天。最劣情境下，2060年台灣就沒有冬天。
- (四) 台灣年總降雨量未來有增加的趨勢，21世紀中及末總降雨量分別增加幅度為15%及31%。
- (五) 年最大連續不降雨日數也有增加趨勢。21世紀中及末分別增加幅度約為5.5%及12.4%。

表一、IPCC AR6針對不同氣候情境及時期之全球氣溫估計值

情境	短期，2021-2040(年)		中期，2041-2060(年)		長期，2081-2100(年)	
	最佳估計 (°C)	非常可能 升溫範圍	最佳估計 (°C)	非常可能 升溫範圍	最佳估計 (°C)	非常可能 升溫範圍
SSP1-1.9	1.5	1.2至1.7	1.6	1.2至2.0	1.4	1.0至1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2至1.8	1.7	1.3至2.2	1.8	1.3至2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2至1.8	2.0	1.6至2.5	2.7	2.1至3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2至1.8	2.1	1.7至2.6	3.6	2.8至4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3至1.9	2.4	1.9至3.0	4.4	3.3至5.7

(六) 21世紀中及末影響台灣颱風個數將減少約15及55%，強颱比例將增加約100%及50%，颱風降雨改變率將增加約20%及35%。

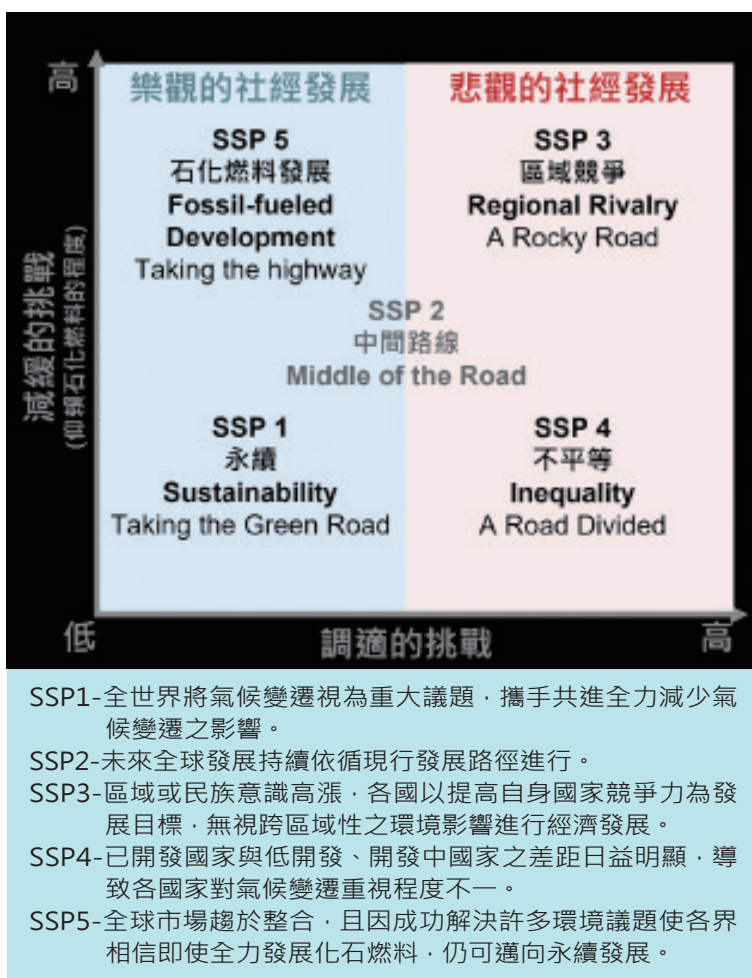
上述是以全球無法有效控制二氧化碳的排放下，最劣氣候情境下的分析(SSP5-8.5)(圖一)下的結果，但如果能有效減碳是可減緩氣候環境的惡化。

未來氣候資料是各項衝擊評估及調適策略研擬的依據，IPCC在公布新版的評估報告同時也會提供未來氣候資料，由於大氣動態是非常複雜的議題，通常會有幾十種大氣環流模式(General Circulation Models ; GCMs)同時產製未來氣候資料，同時，因以全球為尺度，每一資料網格大小為250到600公里之間，整體大氣垂直結構分為10至20層，這樣的空間解析度無法直接用於台灣，因此，TCCIP團隊的另一工作為將IPCC未來氣候資料降尺度(down scaling)化，產製台灣適用的氣候資料庫，資料屬性為每日日高溫、日低溫、雨量及為農業領域產製之日射量，資料長度至本世紀末(2100年)，空間解析度

為5X5公里，此份資料可在網站下載使用(<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/>)。

三、氣候變遷對農業生產之衝擊

農業生產受天候影響極大，台灣近年因氣候變遷導致極端天氣事件發生更形頻繁。2016年年初強烈低溫及後續多次強颱侵襲，造成當年農損高達350億元；2018-2019年發生暖冬，開花生理需



圖一、IPCC 第六次評估報告(AR6)中，提供另一種未來氣候變遷情境「共享社會經濟路徑」(Shared Socioeconomic Pathways, 簡稱SSPs)。

低溫刺激的果樹大幅減產；2020年7月旱情逐漸顯現，至2021年上半年嚴重乾旱造成農業供水不足，水稻一期作休耕，坡地種植作物包括茶樹及果樹因缺水而減產；但下半年(尤其是8月)則遭遇嚴重澇害，高屏部分地區一周累積雨量高達2000公厘以上，蔬菜生產區浸水造成菜價飆漲。雖然目前無法將短期的災害發生和長期的氣候變遷作連結，但不論是氣候變異(climate variability)或氣候變遷(climate change)皆可說明，未來農業生產將面臨更大的衝擊及威脅。

農業生產受天氣環境影響甚鉅，包括高溫、低溫、旱澇或颱風等，災害發生的不確定性及強弱直接影響農民收益及農產品產銷平衡，由於近年來極端天氣的頻繁出現，農業如何短期應變及長期調適是應同時規劃及推動的課題。聯合國農糧組織(FAO)一直倡導氣候智慧型農業(Climate Smart Agriculture ; CSA)，主要目的是讓農民耕作與氣候變遷之間能夠平衡共存，在農作物種植過程減少溫室氣體排放以減緩氣候惡化，另一方面，善用氣候資訊規劃農作物種植種類及種植時機，讓糧食系統永續穩定的運作。因此，農耕制度或操作方式需了解即時天氣變化及長期氣候趨勢，雖然目前氣象預報時間長度仍限定在2周內較具可信度，但整體氣候長期趨勢已相當明顯，作物種植應朝向低風險及可調適的方向規劃。例如針對暖冬情境除改種熱帶果樹外，也可選育對低溫需求較低的溫帶果樹或品系種植，同時適栽區的選

擇也是調適選項之一；暴雨常對葉菜類蔬菜造成損害，溫室設施推廣即是有效的防範方式；針對乾旱之水資源調配，水稻旱田直播是一種因應未來缺水常態化的調適選擇。在未來不同氣候情境下，可透過科技研發及政策工具引導農民進行各項因應作為，以減緩氣候變遷對農業生產的衝擊。

台灣農業生產與糧食需求上仍有落差，尤其糧食自給率維持在30-35%之間，黃小玉等大宗糧食作物仍仰賴大量進口，面對未來氣候變遷的挑戰，當糧食出口國發生災害或戰爭，限制糧食出口時，國內需求即面臨短缺。替代糧食來源或國內作物種植皆有待規劃，而國內生產雖較能確保供應穩定，但同樣面臨氣候的衝擊。台灣地狹人稠的情形，所需糧食皆由國內自行生產是不切實際的想法，例如每年進口450-500萬公噸玉米，台灣所有耕地皆種植玉米也無法達到進口量。但進口玉米9成以上皆為飼料用，肉類食品雖提供必要蛋白質及脂肪，但過多攝取反而造成身體的負擔，尤其脂肪攝取過多與心血管疾病有密切關係，若國人飲食習慣比照日本人少脂肪及多碳水化合物的攝取樣態，經計算每年即可減少140萬公噸玉米的進口。飲食中減少脂肪攝取量是國內醫生所建議，尤其是高熱量及動物肉品的食用。如果將糧食安全和國民健康一起論述，從消費端減少需求，既能維護國人健康又降低糧食安全風險，政策推動上是可以取得雙贏。

農委會推動「建構因應氣候變遷之韌性農業體系研究」政策型計畫，強調農林漁牧產業在氣候變遷威脅下如何建構韌性農業體系，著重長期調適作為及生產區規劃，及在不同災害類型及發生時間下，進行農業脆弱度分析及恢復力建構。然而，台灣氣候多變及地形複雜，農業本身作物種類繁多且耕作面積小，整體耕作規劃及調適策略研擬須兼顧消費需求面及農民權益。過去執行科研計畫對於災害分析及氣候變遷調適皆有成果，但因基準或調查分析方式不同，成果間難以彙整，由於相關計畫仍在執行中，建議可利用TCCIP所提供氣候資料及氣候情境為基準，作為各項研究項目的分析基準，方便未來橫向或縱向的整合。另建議以糧食安全或脆弱度分析作為計畫最終目標，以糧食需求面作為生產規劃的依據，因應未來台灣人口將明顯減少，優先種植國外進口具風險性之糧食作物。此外，由現況觀察高經濟作物的種植區域已有向北及向高山種植的趨勢，依此發展趨勢將與既有作物及林地競爭，應以較大面向及較長時間尺度去思考氣候變遷調適及具體作為，確保未來農耕的永續及糧食供應穩定。另外，建議彙編整體因應氣候變遷之調適報告，依據未來不同氣候情境，分析各項衝擊及相對應之調適作為，整合農、漁、畜、林等產業，及考量農業生態、病蟲害及生物多樣性的衝擊，需要全面性的綜合評估，否則僅由單一產業調適容易偏頗，所研擬之調適策略也

容易與其他產業衝突而窒礙難行。雖然整份調適報告涵蓋面極廣，不易在計畫期程內完成，但僅需規劃架構及內容後，逐年分階段性完成分析及撰寫，最終仍能完成我國的因應氣候變遷之農業調適報告。

四、結論

雖然未來氣候的變化趨勢基本已確定，但隨著人類對於減碳的共識及執行力，將左右未來氣候環境是朝向“悲觀”或“樂觀”的方向發展，而所相對應的農業調適策略也不盡相同，但不論如何，對於氣候衝擊需有全面性的因應規劃及確實可行的策略。農業部門在面對氣候變遷，在短期應著重災害防範及應變作為以減少農損，長期則強調氣候變遷調適及建構韌性栽培體系。面對多變天候及持續惡化的農業栽培環境，災害防範強調“避災”及“減災”，除建立早期預警及迅捷的災害通報系統外，作物栽培制度也應朝向氣候智慧型農業，擴增農業氣象資源服務(如增設氣象站及預報服務)，提供農民實際運用於耕作中，並在作物種植區或季節時朝向災害風險低的情境規劃。而因應氣候變遷則建議撰寫農業調適報告，由未來糧食供給面及農民收益為前提，依據不同氣候情境研擬衝擊評估及調適策略，除生產面技術研發外，政策工具的規劃及推動也同樣重要，期盼透過科技研發及落實政策推動等作為，減緩極端天氣所帶來的衝擊，以達成照顧農民生計及穩定農產品供應目標。