

氣候變遷對農業、自然及人類的影響

前言

目前由於人類活動的關係，全球氣候正在不斷改變中，因此必須要付出巨大的社會及經濟成本，才能減緩這些變化所帶來的影響。全球平均溫度在過去不斷穩定上升中，1990 年代要比 1890 年代末期上升攝氏 0.6 度，而且，熱浪的次數也不斷增加，全球許多地方的冰凍期次數及期間則不斷減少。一般認為，氣候變遷是因為大氣中二氧化碳、沼氣、一氧化二氮、以及其它溫室氣體增加的緣故。

目前仍不知道氣候變遷將會在何時及何處影響農業生產及糧食安全。目前的氣候模型可以模擬部份的自然氣候變異，以預測未來自然範圍外的變化。最新的 2100 年預測認為，如果政府間氣候變遷委員會 (IPCC) 所模擬的情況繼續下去的話，全球平均溫度會繼續上升，高達攝氏 6 度，但尚不清楚這些氣候變遷的程度及時機，以及對地方、地區、國家的影響。IPCC 在 1995 年的報告後，便不斷發展全球大氣循環模型 (GCMs)，而且也對全球各地氣候變遷的空間及時間變化，提出不同的結論。

一般認為，氣候變遷對熱帶地區農業的影響，要比對溫帶地區農業的影響更為負面。已開發國家會受益極大：如加拿大、歐洲北部、以及部份前蘇聯地區，與不發生氣候變遷的情況相比下，可以產出更多的穀類；相反的，目前大多數發展中國家，會受到負面影響，預見在未來的 50—100 年，農地的範圍及可能產量，都會大幅度減少，特別是在撒哈拉以南的非洲地區(sub-Saharan Africa)及歐洲南部。撒哈拉以南的非洲地區中糧食不足地區，所受影響最為嚴重，因為這些地區最無力適應氣候變遷，也無力提高糧食進口量來抵消氣候變遷的影響。

氣候變異是目前已開發及開發中國家，造成每年糧食產量波動的主要原因，而且也是造成開發中國家，糧食缺乏的主因。到 2030 年時，比起

平均溫度及降雨量模式的改變，極端氣候事件模式的變化，會對長期及暫時的糧食短缺情況，造成更嚴重的影響。

一、農業對氣候變遷的調節

農業活動會排放溫室氣體，造成氣候變遷，但同時農業也能減低氣候變遷的影響，像是利用碳吸存以及使用生物燃料取代石化燃料。在京都議定書中，曾探討這些功能對經濟及環境的重要性。

- **碳吸存的好處：**過去只注意到森林在碳吸存中所扮演的角色，除此之外，作物及家畜生產也是十分重要的。因為作物殘留物、糞肥、以及管理較佳的草地中，均會衍生土壤有機物質，而土地有機物質可以吸存大量的碳，但此碳吸存的益處會隨著時間經過而消失。

未來的 20—30 年，農地對碳的全球預計吸存量每年為 4.5—6.1 億噸碳（相當於 16.4—22.2 億噸的二氧化碳），但是仍不知道從改善的作物及家畜管理方法，所增加的可能碳吸存量為何。在美國，耕作方法的改變（特別是保育性耕作及作物殘留物管理，耕作系統的改善及土地修復），可能可吸存 1.4 億噸碳（p.a.），相當是美國總溫室氣體排放量的 10% 左右。美國及英國的研究顯示，如果永久休耕的土地被森林化或不進行管理，它就可以吸大量的碳，因此，改良土地管理方法，可以增強農業土壤對二氧化碳的吸存量，也可以彌補農業活動排放溫室氣體所造成的影響，雖然要花上十年或更久的時間，才能把耕作地從碳的來源地，變成碳的吸存庫。因此，改善的土地管理方法，可助國家盡其國際協定的義務，減少溫室氣體總排放量。而且，在京都議定書的清潔發展機制（CDM）的規定下，對改善土地管理方法的支持，不但增加碳吸存，也會帶來其它的環境及經濟利益，有助於永續農業發展及鄉村發展。這裡的經濟利益指的是減少土壤流

失及氮淋失，更多的降雨滲透、更高的土壤含水量、及更低的能源花費。

大部份所需的技術及土地管理方法，會在 2030 年之前有所改善，這可能包括土地用途的改變，像是工業化國家中的農地，被回復到受管理的森林及草地，或是被回復到自然生態系統，成為永久休耕地的一部份；耕作模式的改變，像是利用生物物質進行耕作、使用 NT/CA、改善犁田及殘留物管理方法、提高土壤肥沃度及改善水資源管理方法、控制土壤侵蝕。

本研究評估最重要的 15 種作物，其全球未被收穫的總殘留（主要是作物的根、莖）量，在 1997/99 年約為 47 億噸 (p.a.)，預計會在 2030 年增加至 74 億噸。不同的地區，其殘留量界於 2.4-6.2 噸/公頃。熱帶氣候區域其殘留量會較高，像是豇豆 (Cowpeas)，每公頃的殘留量高達 24 公噸。大部份的作物，殘留物中有 25—50% 會成為土壤有機物質，而其中一半的生物物質為碳，因此，這 15 種作物的總碳吸存量，為 6.2-12.4 億噸 (p.a.)，在 2030 年時提高到 9.6-19.1 噸 (p.a.) (表 13.1)。再加上其餘作物的收穫地區，全球在 2030 年的碳吸存量預估為 11.7-23.3 億噸碳 (p.a.)。

上述預估值並不包括從 NT/CA 或是改善土壤侵蝕控制而增加的碳吸存量，但是，在使用 NT/CA 系統時會增加碳吸存的量；除此之外，農業氣候條件也會決定所增加的量：在溼潤溫帶地區，每一公頃可吸存 0.5-1.0 噸碳 (p.a.)，在濕熱帶地區為 0.2-0.5 噸，在半乾旱地區則為 0.1-0.2 噸。在過去數年間，NT/CA 地區成長非常快速，但與整體可耕作地區相比，仍只佔相當小部份。南亞及東亞中有很大地區可使用 NT/CA，但卻未使用。像是中國的黃土高原，仍然在實驗階段，但它可吸存 400 萬噸的碳 (p.a.)。

假設以雨水灌溉的農地為 1.5 億公頃，在 2030 年之前會使用 NT/CA，則每公頃將可吸存 200-400 公斤的碳 (p.a.)，這代表著將來可吸存 3000-6000 萬噸碳 (p.a.)。另外所帶來的環境利益，則可以減少土壤流失，能更佳涵養水份，並可節省石化燃料的使用。當不再使用邊緣耕種地區進行作物生產，並且對其種植草地或是豆類飼料，則每公頃可以再吸收

500-800KG 的碳 (p.a.)；而且，已無法生產糧食或不具產量的劣化土地，像是鹽化的土壤，如果被恢復的話，在溫帶地區則可以每年每公頃 100 公斤的速度吸存碳，在熱帶及亞熱帶地區，則為 200-300 公斤。所有可恢復用來吸存碳的鹽化土壤，超過 1.26 億公頃。但是，改善管理土地方法所帶來的可能碳吸存速度，會受到土地使用、氣候、土壤及其它因素的影響。碳吸存的速度，在最初的幾年中很高，然後會在到達極限之前，慢慢的降低，因此，短期研究會高估碳吸存的速度。某些碳吸存活動，可能要經過 40-100 年才會到達飽和程度。NT/CA 系統，在最初幾年內的碳吸存速率會特別高，但若重新引入傳統犁田耕作方式，則所吸存的碳則會被快速釋放出。不管如何，農業碳吸存庫，需要「時間」才能處理二氧化碳排放的問題。

二、氣候變遷對農業之影響

全球平均溫度預計在 2030 年會上升約攝氏一度，較高緯度地區會比低緯度區更快暖化，土地會比海洋更快暖化，北極區冰層將會比南極更快減少，因此，較高緯度的平均溫度會上升 2 度，是熱帶地區所增加溫度的 2 倍。預計降雨量也會改變，並表現出更大的地區差異性，南美地區的主要穀物產量地區將會增加降雨量，部份中美及南亞則受到降雨量減少影響，土壤含水量則更為不足。

整體來說，氣候變遷預計會增加全球平均降雨量及逕流量，到 2030 年會增加 1.5—3%。高緯度及赤道地區會增加更多，中緯度地區則會嚴重減少，所以部份中美及南亞，北洲及南非，以及歐洲，可用水資源則會大為減少。而且，地區中也存有嚴重差異。像是北歐及南歐，預計會嚴重受到氣候變遷所導致的逕流影響，但是，西歐及中歐則不會。降雨量變化的影響，將受到兩因素的影響而更為複雜：一是受到降雨量變化的影響，二

是因為二氧化碳肥料效應，使得水使用效率提高的影響。

在氣候變遷的研究中，主要著重在半乾旱及半濕潤地區，但是溼潤地區也很容易受到氣候變異的影響，像是生長季長度的改變，以及極端氣候事件的影響，特別是熱帶氣旋，所帶來強風及洪水造成的損失。這種災害，跟乾旱及其它的氣候變異事件相比，影響時間較短，且影響地區範圍不大，所以較少人會受到影響，但是，對糧食安全所造成的影響卻是一樣的嚴重。不僅失去作物及家畜，多年生長樹木及魚類產卵地也有嚴重受損的情形，同時也失去了未來收穫的作物及漁獲。所以，即使在事件發生數年之後，仍能感覺到對糧食安全所造成的負面影響。

近來研究指出，有些氣候變遷的影響，要比之前所預測的更快發生，這些影響主要來自：

1. 北部高緯度區的地區以及某些大陸中心的地區溫度上升
2. 作物及家畜承受了更多的熱壓力，像是夜間溫度升高，對穀物形成以及其它作物發育的因素，造成不良影響
3. 某些糧食短缺地區的降雨量可能會減少，如南非及拉丁美洲北部
4. 高溫使蒸發率增加，土壤濕度降低
5. 降雨量集中，大量降雨的天數增加，增加土壤侵蝕及洪水發生的風險—這趨勢在目前已很明顯
6. 季節降雨量分佈的改變，在主要作物生長季節中，降雨量減少
7. 海平面上升，某些人口集中易受洪水侵襲的國家，因為地層下陷，使得問題更嚴重
8. 更頻繁及更嚴重的極端氣候事件，影響了糧食生產及提供

● **直接影響—溫度及降雨量的改變**

1. **作物：**溫度及降雨量的改變，會改變土地的耕作適合度及作物生長。預計較高緯度中適於作物生長地區的耕作適合度，因為冬季變得更溫暖更短，所以

會增加；但是，對乾旱及半乾旱地區的耕作適合度，則會減少。例如在東非高地，高溫使得土地變得不適合種植小麥，但更適合栽種其它穀物。產量的變化也跟土地的耕作適合度變化一樣，中高緯度地區產量會增加，但低緯度地區則會減少。

到 2020 年，全球穀類產量，與不發生氣候變遷的情況相比下，產量要減少 0.5%，最大的地區性減少發生在非洲，穀物產量預計會減少 2—3%。大氣中二氧化碳濃度的增加，不只造成全球暖化，也有利於樹木/作物生長及產生生物物質。它刺激光合作用，並且改善水使用效率。到 2030 年時，這效應會因溫度或降雨量改變，導致作物產量減少而抵銷。

2. **森林**：如同作物產量一般，二氧化碳肥料效應將與氣候變遷的影響結合在一起，因此很難確定對森林的影響為何，但在 2030 年之前，這些影響是相對較小的。已發展國家似乎是主要的受益者，因為高緯度地區的高溫以及二氧化碳肥料效應，北美、北亞、歐洲及部份中國的北方及北方溫帶森林，在 2030 年前會成長更快速。但因為降雨量減少及高溫的關係，熱帶森林的面積及產量會減少，生物多樣性也會減少。

3. **家畜**：某些發展中國家的草地，因為溫度增加及降雨量減少的關係，預計會逐漸劣化。到 2030 年時，因為溫度上升及二氧化碳肥料效應，對家畜生產造成重要影響，這會對更多溫帶地區(主要是已發展國家，及阿根廷和中國)帶來好處，因為冬季農舍需求減少，飼料更為集中(生長更多草地)的關係。相反的，許多發展中國家，因為家畜承受更多的熱壓力，所以生產量會減少，又因為降雨量減少，會更加減少草料及飼料生產，但是二氧化碳肥料效應可抵銷這部份的影響。

4. **漁業**：有三種影響要加以考慮：海洋溫度增加，海洋洋流循環的改變，以及海平面上升。大部份的影響會在 2030 年後，甚至是 2050 年後發生，但是此後發生的程度則會非常嚴重。

北緯度的海洋平均溫度已快速上升（特別是在北海），海洋溫度上升會打亂海洋洋流循環及漁類繁殖模式，也會減少海面浮游生物的成長，或是改變其分佈，因此，減少了魚類食物供給，造成中緯度物種向北部水域遷移。這在歐洲已是嚴重的問題，因為氣候變遷影響鱈魚數量，使得目前北海過度撈捕的情況更嚴重，如果不採取行動，漁類資源將永久枯竭。在中緯度及南緯度的珊瑚，因為高溫使得珊瑚白化及死亡，因此損害了重要的漁類繁殖場所。

● 直接影響—海平面上升

全球暖化使得海平面上升，造成洪水及海水倒灌、土地流失，並且損害紅樹林沼澤及魚類產卵地。目前海平面正以每年半公分的速度上升，儘管已有國際協議限制氣候變遷，但未來數十年，海平面將以此速度繼續上升，因此到 2030 年，海平面會比目前高出 15—20 公分，2100 年為 50 公分，增加大部份南亞及東亞地區遭受洪水的風險，也使得當地人口及農業陷入危險。有三種生產系統會被嚴重影響到：蔬菜生產系統，它是以灌溉為主，並且主要集中在都市地區，這些地區會受到海水倒灌的影響；位於海平面或低於海平面的水產養殖系統；沿岸漁業系統，因為其利用紅樹林沼澤及其它海岸濕地中的魚類產卵地，而這些沼澤及濕地，會受到海平面上升的威脅。

因為熱帶氣旋發生的頻率及嚴重度都將會增加，因此極端高水量事件及更嚴重的風暴大浪，會侵襲更內陸的地區。儘管大部份的影響評估都在研究海平面的逐漸上升，但是，這些海洋大浪也會對糧食安全造成非常大的風險。到 2080 年，每年受到海洋大浪所引起洪水的影響人數，將是受到海平面上升影響人數的 5 倍。早期研究認為受影響的人口中，有 90% 每年都會遭受洪水侵襲，另外，因為都市化及工業化，使得海岸區有著較好的工作機會，所以人口移居至海岸區，再

加上都市超抽地下水，使得問題更嚴重。

即使不發生氣候變遷，人口成長及都市化，也會使得遭受海岸洪水影響的人數大增，這些影響是因為內陸降雨量增加，都市化、工業化及淤積，使得河流寬度減少，使得河川逕流的大量增加。

● 間接影響

間接影響主要是透過對資源的影響—特別是對水資源的影響，以及對生態系統的影響—當溫度及降雨量發生變化，生態系統也會因此而改變，以及對生物多樣性的影響。

水資源部份預計會發生很大的變化，因為減少了逕流量及地下水的補充量，主要影響區域包括澳洲、印度、南非、近東/北非、大部份的拉丁美洲以及部份歐洲。主要減少會發生在 2030 年後，但是短期內仍會對灌溉系統造成負面影響，而且，中緯度大陸內部，夏季乾旱發生次數大增，造成森林大火的發生。主要害蟲的分佈及動態也會有變化，雖然到 2030 年前，平均溫度只會有小小的變化，但是已足以造成害蟲發生重要的變化；另外，較少的寒流及冰凍期，會增加某些害蟲或是疾病載體的生存範圍，並且使得他們能很快形成族群，達到危害的程度。

大部份中歐及北歐，會更受到嚴重病蟲害的影響，像是馬鈴薯的科羅拉多甲蟲及小麥黑穗病。儘管已知這些病蟲害的控制方法，但仍會造成產量損失，增加相關的生產投入成本及環境花費。但是，這並不僅是溫帶地區的問題，在副熱帶的澳洲，溫度上升高達攝氏 2 度，這有助於昆士蘭果實蠅的散佈，使得生產大量往南移。

害蟲動態的重要變化，便是害蟲存續時間的增加(特別是能在溫帶地區過冬)，以及族群動態的變化，因為某些主要害蟲的生命週期，是由溫度來決定的。高溫會造成更大量的害蟲族群，也會使得帶有植物病毒的害蟲宿主，存在範圍增加，像是帶有穀類病毒的蚜蟲，目前受到冬季低溫或是低夜溫的控制。雖然目前並未

將這些損失加以量化，但是產量的減少以及生產成本增加所造成的損失，仍是相當可觀的。

最後，高溫會帶來高風速，造成颶風的發生。高風侵蝕及沙塵暴，會危害植物生長，並會使家畜窒息。自然資源管理決策，不論是在農地層級或是國家層級上，都要能夠減少或加強這些因素對糧食安全的影響。例如，各國協力支持的 IPM，可能會減輕病蟲害爆發的影響；相反的，不良土地管理方法，將會加重土壤侵蝕及其它危害的影響。

三、氣候變遷對糧食安全的影響

到2030年前，氣候變遷對全球糧食生產的影響尚微，可用一般糧食儲存、糧食補助、以及國際貿易來加以處理。像是在1992/93年南非的乾旱，使得某些國家的作物產量減少到一半，但仍未發生飢荒，而且對糧食安全的負面影響也只是短期存在而已。雖然國家及國際間的行動，便能限制飢餓人口的增加，但在2020年，非洲穀物產量會減少2—3%，將會造成約1千萬人口，遭受飢餓的風險。

但是，糧食安全受到社會經濟條件的影響較大，而不是農業氣候的影響；除此之外也受到取得食物管道的影響。因此，氣候變遷對糧食安全的影響，要比目前大部份影響評估更為複雜。在未來，糧食安全將主要受到各種因素彼此間的影響，像是政治及社會經濟穩定狀況、技術的進步、農業政策、增加的人均及國家收入、貧窮減少、女性教育、飲用水品質、以及增加的氣候變異。

氣候變異的增加也會造成一些問題，氣候變遷所造成的溫度或降雨量改變，會影響到糧食生產；海平面上升使得魚類產卵地受損，減少沿海漁獲量；因為熱帶氣旋的發生頻率及嚴重度增加，使得一國的出口作物受損，進而使得該國的外匯收入減少。

在糧食短缺國家中，人們栽種或是購買糧食的能力，通常有很大的季節以及年度差異性。在部份非洲，有所謂的「飢餓季節」，通常發生在收穫之前，因為

存糧減少，穀物價格大增，造成暫時的糧食短缺，但在大部份的長期糧食生產及氣候變遷對農業的季節及年度影響分析中，是找不到這些情況的，但是，這些情況是卻決定了人們購買糧食的能力。

氣候變遷影響也有空間上的差異，以及國家是否有能力利用這差異來彌補本地糧食生產短缺的問題。氣候影響評估模型中，並不會考慮這些問題，但是這仍然是很重要的，因為氣候變遷對糧食生產所造成的大部份負面影響，不一定會造成糧食短缺，像是印度及中國等大國，擁有不同的農業氣候狀況，一個地區的洪水或乾旱，可由其它未受影響地區的糧食生產或存糧來彌補。因此，當中國東北及中部在 1998 年遭到嚴重洪水時，本地糧食生產上的損失，很快便由其它地區的糧食加以彌補。在某些國家中，當農業只佔小部份的 GDP 時，任何極端氣候事件所造成的糧食短缺，一般可由進口加以彌補。到 2030 年時，預計有更多的國家進口其它地區的糧食，來彌補氣候變遷對國內糧食生產所造成的影響。

四、社會經濟發展及氣候變遷的影響

基於以上所述，未來需要考慮到農業情況及在大經濟範圍內檢視糧食安全，然而在很多方面，將與今日情況有很大的不同。1970 年代，孟加拉被認為是無法存續的國家，而南亞，特別是印度，則認為被是糧食最缺乏的地區，撒哈拉以南的非洲地區則具有較好的糧食展望，但事實上，在過去十年，孟加拉及印度進行了良好的農業政策，對灌溉系統進行投資，成功克服了大量糧食生產短缺的問題，而同時間，撒哈拉以南的非洲地區，農業表現則不良，並存在長期的食物短缺。

未來的 30 年，大部份目前出現糧食危機的國家，看來可能會克服他們糧食生產或是糧食取得的問題，但大部份糧食安全問題仍集中在撒哈拉以南的非洲地區。預計拉丁美洲及亞洲將有高經濟成長，所以他們將有能力增加進口糧食，來克服任何氣候變遷對糧食生產所造成的負面影響。這也顯示僅評估氣候變遷對糧

食短缺國家的國內生產所造成的影響是不夠的，還需要 (i) 評估氣候變遷對外匯收入的影響；(ii) 擁有過剩糧食國家是否能增加他們的商業出口或是糧食援助；(iii) 分析是否氣候變遷會影響到窮人的收入。

不論氣候如何改變，任何對糧食安全狀況的影響都與目前大不相同。糧食生產也會隨著新技術的改進而改變，並且是朝向較有利方向進行。因為消費者偏好改變以及人均收入增加的關係，也會使得食物消費及糧食安全出現變化。

非農業方面的經濟成長，加速的都市化，以及非農業工作機會的增加，使得人們收入更不需要依賴農業，在極端氣候事件發生時，人們有更方便更穩定的管道取得食物，因此更不易受到氣候變遷的影響。鄉村窮人家庭收入增加，糧食購買力上升，減少了季節性或是長期糧食短缺的情況，特別是在撒哈拉以南的非洲地區，目前有 20—25% 的鄉村收入，是來自於農地外的收入，而且購買糧食的量也比家庭產生的量要來得多。再加上政府政策支持及基礎建設的改善，使得進口糧食可以快速送到乾旱或是其它自然災害影響的地區，因此糧食安全將不再依賴本地的糧食生產，因此，只要糧食價格不上揚，便會有更少人受到氣候變遷的影響。

五、氣候變遷及作物生產

在窮人的糧食安全中，穀類產量扮演重要的角色。目前的預估認為，與不發生氣候變遷的情況相比下，依地區的不同，生產量可能會有-5 到+2.5% 的改變。在大部分的國家中可以增加耕地面積來克服這問題。而且，小範圍但成功的年度產量改善計劃，可以彌補氣候變遷所造成的 5% 產量減少。

因為海平面上升而使得糧食安全風險極大的國家及地區，包括南亞、部份的西非及東非、加勒比海、印度洋及太平洋島國。這些地區包括了很難保護或是保護成本巨大的三角洲地帶，但是，他們在孟加拉、緬甸、埃及、印度、泰國及越南的糧食生產上，卻扮有重要的角色。當農地太小而無法提供足夠的糧食時，即

使把高地改為糧食生產用，仍然無法抵銷沿岸地區損失所帶來的影響，這時就凸顯考慮糧食安全的重要性。有三個因素會影響到糧食安全：

1. 因為洪水及海岸侵蝕，而失去農地及魚類育苗場
2. 海水倒灌
3. 洪水損及作物及糧食儲存

每一個因素都會使人民失去生活，減少農業生產及收入。

失去農地的情況可能非常嚴重，在印度，有超過 6500 平方公里的沿岸窪地，其中大部份都被用來耕種用。若海平面上升一米時，印度便會失去 5500 平方公里。在孟加拉，到 2030 年前，海平面會以類似的速度上升，每年會造成 80 萬—290 萬公噸的稻米損失，抵銷了因溫度、降雨量、大氣中二氧化碳濃度改變所增加的產量。

海水入侵內陸，污染灌溉用水的地下蓄水層，對作物產量造成負面影響，這在某些北非國家已是很嚴重問題—因為超抽地下水的關係，而且這個問題會隨著海平面上升，而變得更嚴重。但是在未來的 30 年中，有很多方法可以克服這問題，像是引進新的小麥、稻米、油料作物及綠色蔬菜的基改品種，這些品種都具有耐鹽份的特性，但是，鹽化也會損害土壤，造成產量減少，所以需要使用其它方法來處理，但是，只要能適當的改變政策及技術，海水倒灌對糧食安全所造成的影響，還是相當小的。

洪水會損及作物及糧食儲存，這在國家層級、地域層級、以及家庭層級上來說都是很重要的問題：在國家層級上，當農業是主要的出口收入來源時，這收入要用來進口發展經濟所需的貨物，也要用來進口彌補國內生產不足所需的糧食；在地域層級上，如果公共或是私人糧食儲存受損，則預期會出現糧食短缺或是高物價；在家庭層級上，每一季的糧食儲存，可確保家庭不受到收穫期前價格上漲的影響。

六、對生活與收入的影響

大部份的糧食危機是由貧窮所引起的。個人所得程度及糧食價格決定了糧食購買力，對農民來說，他們用來生產糧食的自然資源的質與量，決定了他們的收入，因此，任何氣候變遷對土地及水資源的影響，對農業生活及非農業生活的影響，以及對糧食價格，或是其它被售出而用於購買糧食的農業大宗貨物價格的影響，都會對糧食安全造成重大影響。在 2030 年前，除了撒哈拉以南的非洲地區外，仍不確定氣候變遷是否會對農業生活造成重大影響。影響國家經濟表現的各種國內及國際間因素，可能會抵消氣候變遷所造成的任何小影響。

但是氣候變遷仍對收入及收入分佈造成一些負面影響。如易受乾旱侵襲地區的低收入人民，及易受洪水侵襲地區的低收入及中等收入人民，他們可能會失去糧食儲存及財產；因海平面上升或海水倒灌而消失或受損失的農民；因洋流改變，或是幼苗生長區或是魚池受到洪水侵蝕，造成漁獲量減少的漁民；糧食或是出口作物栽種者，受到強風的影響。

極端氣候事件發生頻率的增加，會對某些國家及地區的經濟表現造成嚴重影響，並且造成暫時的糧食危機。2000 年在莫三比克的洪水，世界銀行預估經濟成長減少了 2—3%，並且影響了總出口收入；中國在 1998 年的洪水，造成超過美金 1 千億的損失，並且因為是主要省份受損，所造成的損失相當是他們 GDP 的 3—4%。在 2000 年，柬埔寨因洪水遭受類似的經濟損失。在每個例子中，遭受暫時糧食缺乏的人口增加 10—100 倍或更多，但是，因為其它地區及季節的收成仍非常好，因此通常可以在數月內恢復，而且對國家糧食生產的整體影響仍是相當小的。

最後，需要考慮到政策要如何因應氣候變遷。首先，碳吸存及碳排放許可的交易，可改善整農業的整體永續經營情況，提高了農地收入，也製造新的農業生活。在某些地區中，生產生物燃料，減少碳排放活動，以及生產食物等彼此之間

會對土地及勞動力資源進行爭奪，但這種影響在未來的 20—30 年，仍然很小。此外，新的非石化能源系統，特別是風力，可以提供邊緣地區（像是在印度西南部的坡地）新的農業生活，並提供低價格的能源給鄉村電力化。

● 對糧食價格的影響

到 2030 年時，氣候變遷會減少某些溫帶地區的作物及家畜生產成本，這是因為暖冬、較長的生長季節、並減少了在冬季集中餵食家畜的需要。相反的，某些發展中地區的濕熱帶及半乾旱地區，也許會面臨到生產成本上升的情況，因為夜間高溫使得稻米產量減少，灌溉成本變得更高，以及海平面上升所造成的海水倒灌。

這種地區差異性造成的影響，可能會促使已開發國家的價格下降，使得開發中國家的價格上升，但在這兩種情形中實質價格的變動，在 2030 年前仍是相當小。氣候變遷造成的穀類產量減少，會造成全球穀類價格上升約 5%（部份非洲則會上升更多），在 2050—2080 年時會大幅上漲。穀類要比其它糧食作物，更容易受到氣候變遷的影響，而且許多發展中國家正在成為穀類的淨進口國，因此更容易受到因氣候變遷而造成穀類價格上漲的影響。

但是，大部份的研究認為，在短期內氣候變遷對目前穀類生產地區的影響，仍是正面的，而且就長期來看，適於生產穀類的地區會大量增加。因此，即使在氣候變遷的情況下，穀類的全球市場價格仍相當穩定；另外，目前及未來所實行的 WTO 農業協議，會部份抵銷掉價格的上漲。國際及國內之間的價格差異不大，所以國內的價格變動會隨著全球市場價格一起變動，但是，國內及本地的價格波動，仍受到極端氣候事件的影響，且當國際及國內價格關係更密切時，可以緩和這些波動，但並非完全消除。

科技及基礎建設的改善，使得糧食可以更快的由生產過剩的地區流動到缺乏的地區，因此會抵銷一部份國家及本地價格上漲的壓力。但這在過去數十年間進行的十分緩慢。在莫三比克的南部，因為 2000 年春季洪水造成糧食短缺，使得

玉米價格快速上漲，而同時，北邊的玉米價格只有南部的一半且持續下滑中，但是，從北到南的高運輸成本，使得從南非進口玉米反而更便宜。

極端氣候事件影響糧食價格的方法極具特色：價格會快速大幅上漲—特別是當人民同時失去家庭及經濟存糧，而且交通又中斷時；價格只在本地發生改變，都市與很難取得外來糧食補給的鄉村，價格在兩者之間會差異會很大；價格增加只是短期現象，只發生數星期而不是數月之久。這些特點顯示出經濟發展便可以有效減低國家受氣候變遷及極端氣候事件發生頻率及嚴重性增加的影響。

在此須注意的一點是，氣候變遷影響研究所使用的模型，其所預估的國際大宗貨物價格變化，與消費者實際所付出的價格並不一致，因此與低收入家庭購買所需糧食的能力，也不一致。例如，麵包越來越成為被購買的貨物，而不是家庭烘焙的食物，即使對鄉村窮人來說也是一樣的，而且穀類的成本不到購買價格的25%，其它的成本來自於處理、分配、及行銷成本。因此，即使在未來30年間，氣候變遷增加了農地交易或是國際糧食價格，但這增加對消費者物價的影響是非常小的，且因為多從零售商處購買食物，對低收入家庭的糧食安全的影響也很有限。

七、科技及政策選擇

大部份用來減輕或是適應氣候變遷的行動，可滿足目前所需，也不需要投入大量資金，所以很適合貧窮小型農戶及大型農戶使用。農家不需要證明這些減低某些氣候變遷影響的行動，可以帶來何種的經濟利益，如水資源保存的改善，有助於克服目前的乾旱問題，也能減少任何未來降雨量減少的影響。大部份的行動也有助於減輕貧困，以及改善取得糧食的管道，而不僅僅只是確保糧食的生產。

八、減少及減輕溫室氣體排放

目前主要的行動是要減低農業在造成氣候變遷中所扮演的角色：減少礦物肥料、糞肥、家畜排洩物、及稻米生產時所排放的沼氣及一氧化二氮，這所帶來的好處像是能更有效使用肥料及進行更好的廢棄物回收利用，所以可以減低生產成本，並且也能減少空氣及水污染。在農業化學部份，政策上的因應方式，包括取消任何能源投入的補助，並且引進碳排放稅，以鼓勵在肥料及殺蟲劑生產中，能更有效率的使用能源。

其它的政策因應方法，包括了一般鼓勵永續農業的方法，像是進行保育型耕作農業，再加上使用特殊的方法，像是對氮肥增收環境稅；鼓勵精確施用肥料及糞肥的方法及提出更好的使用時機；發展排放較少沼氣的稻米品種；對稻米栽種，直接用種子方法來栽種，並進行更好的水資源管理方法，才能減少沼氣排放；提高家畜飼料品質；改善家畜廢棄物管理方法；鼓勵使用生物燃料作物來取代石化燃料；並且擴大農業森林的面積。

九、減輕與適應氣候變遷的影響

若要採取一些行動來減輕並適應氣候變遷，首先必須要成立全面支援機制，才能幫助農夫適應氣候變遷，並且能在更多變的條件下，增加生產。這種機制，包括了可以改善農耕系統恢復力的作物生產方法。

第二，因為發生越來越多的乾燥、乾旱、鹽化及極端氣候事件，因此將優先使用以下的方法：

1. 在場址上及場址外，都要維持大量的作物基因基礎，也要發展並銷售更多具有抗旱性的作物品種及家畜品種。
2. 培育更能耐高溫的作物、家畜及魚。
3. 發展能抗鹽份的小麥、稻米及油料作物。

4. 鼓勵使用 NT/CA 及發展農森業，因為可以利用並維持生物上多樣性，進而改善農業生態系統的恢復性。
5. 利用保育性耕種農業，來提高降雨使用效率及地下水的補充量，也要利用適當的價格政策，管理系統及技術，來增加灌溉用水的使用效率。
6. 支持牧業及其它家畜生產系統，並其中很多都已處於面臨糧食危機的情況。所採取的行動，要能維持家畜的移動力，並且在地區上，要投資補充飼料的生產，獸醫服務，以及水資源的提供，另外，也要在乾旱時，投資改善家畜市場交易情況，才能在乾旱或是洪水後，可以輕易的再補充家畜。
7. 對海平面上升及風暴大浪的情況，發展經濟上可行且更好的海洋防禦系統及洪水管理系統。

以上所有的行動，都能有助於改善目前氣候變遷的影響，並能抵銷將來氣候變遷所帶來的不良影響。

● 減少或避免對糧食安全的影響

目前 IPCC 認為，本地極端氣候事件的發生頻率及嚴重度都會增加，包括與聖嬰現象有關的事件，特別是乾旱、洪水、熱帶氣旋、及冰暴，這些事件的增加，將會極大影響到窮人。

IPCC 認為，增加的乾旱及洪水，會影響所有發展中地區。這些極端氣候事件對糧食安全造成極大的威脅，所以要對農業及其它經濟部門，採取政策行動及進行投資。

對許多國家來說，減少糧食不安全的主要關鍵就是更好的災難準備計劃，但在處理對氣候變遷的長期影響時，很重要的就是能減低糧食及農業生產對氣候變遷的敏感度。許多針對乾旱及海平面上升所採取的行動，是依據災難管理策略的模式而形成的。這管理策略主要是用來減少熱帶風暴對農業的影響，而這策略的目標，包括了要避免或減少死亡、傷害、避難場所的缺乏以及糧食短缺、窮人的財產或生活損失，以及要準備大範圍救助及修復的資金及實施步驟。要實行這些

策略，就需要：

1. 發展早期示警系統，以及乾旱、洪水及風暴的預警系統
2. 救助及修復準備計劃
3. 引入更能抗風暴、抗乾旱、抗鹽份的作物
4. 所使用的土地使用系統，可以穩定斜坡，並能減少土壤侵蝕及土石流的風險
5. 在可能的洪災範圍上，建立家畜避難所及糧食儲存
6. 讓漁夫擁有通訊系統及安全裝置，他們才可以從早期風暴預警系統中受益，並且也要建立信貸系統，漁夫才能很快的更新任何損失漁船或是設備

十、結論

儘管農業造成氣候發生變遷的影響力，會一直增加，但是，農業減輕氣候變遷的貢獻，也有所增加，像是可以吸存更多的碳，並且可以更快回復氣候變異所帶來的影響。

氣候變遷對全球糧食生產的主要影響，預計會在 2030 年後發生，但是之後會變的越來越嚴重。一直到 2030 年時，這影響表現仍是相當中立的，甚至會給全球帶來利益。較高緯度地區的糧食生產，將會漸漸受益於氣候變遷，而大部份熱帶地區則會因此受害，但是，中期來說，地區之內仍存在很大的差異性，像是西非、中非、東非的穀類生產會減少，在南非則有所增加。一直到 2030 年，糧食生產減少的影響仍是相當小的，而且大部份國家都可以利用農業操作方法的改善，來抵銷氣候變遷所造成的影響。

面對氣候變遷首先要做的可能是增加農業生態系統的恢復性、增加栽種地區，以及更好的利用基因資源及技術，來增加產量及多樣性。而且，除了撒哈拉以南的非洲地區外，發展中國家的收入正增加中，這使得很多發展中國家在因應氣候變遷的影響時，可以選擇擴大糧食進口，或是利用農業來減輕或是適應氣候變遷的影響。全球傳統穀類出口國應該能滿足任何增加的需求，因為氣候變遷使得他

們的生產能力增加，或是因為他們有能力適應氣候變遷，進而克服任何的負面影響。

到 2030 年時，大部份與氣候變遷有關的嚴重及大範圍農業及糧食安全問題，可能都是由氣候變異所引起的，而不是由氣候逐漸變遷所引起的，儘管氣候變遷也是很重要的，因為他們會加重現存的農業氣候限制。但是，極端氣候事件越常發生，並不必然會導致糧食危機，因為還要考慮到其它的經濟及社會變化。因為發展中國家的經濟及就業結構將會出現結構性的改變，都市化及非農業收入更能決定人們取得糧食的能力，因此，某些國家的糧食安全將會有所改善，他們也較不會受到氣候變遷的影響。已開發國家將會更常發生極端氣候事件，但是這些並不會長期影響到他們糧食出口能力。但是，許多國家的低收入人口，仍受到由氣候變遷引起的短期或中期糧食供給限制的影響，窮人仍需面臨基本糧食安全的問題，以及欠缺糧食購買力的問題。

儘管氣候變遷對糧食生產及糧食安全的影響，在 2030 年之前仍很小而且也充滿不確定性，但在本世紀之餘的影響則是大範圍且很嚴重，到 2100 年時，氣候變遷可能會嚴重威脅全球及本地糧食安全，因此，現在就要採取行動來處理這威脅。所採取的行動，包括了減少農業對氣候變遷的影響力—可利用減低 GHG 的排放，以及其它減輕或是適應氣候變遷的方法。

制度的改革也很重要，甚至比技術的改善更為重要。在制度上，要採取行動，提高國家的應變準備，也要減少都市與鄉村的貧困人口，使得這些易影受影響的低收入人口，可以購買所有所需的基本糧食。農業發展政策也要強調改善的重要性，不光是改善農業生態系統的生產能力，也要改善農業生產系統的多樣性及恢復力。重要的是，現在就要開始改善制度及技術，因為新技術的發展，改善糧食缺乏區與過剩區之間的鐵公路交通，以及港口或是火車站與偏遠隔離地區之間的鐵公路交通，都需要很長的時間。