

氣候變遷下的永續農業

楊純明^{1,2,*} 蕭巧玲³

摘要

楊純明、蕭巧玲。2022。氣候變遷下的永續農業。台灣農業研究 71(3):185–197。

綜合從業人數、糧食產值及利用土地面積占比 3 大因素，農業可謂是全世界最大的產業，為地表眾多物種提供棲息地和食物。當農業得以永續經營管理時，將可以維護糧食生產、生養休息重要棲息地、協助保護水域及改善土壤健康和水質，非永續的農法則將對人類和環境產生嚴重影響。近年來氣候快速變遷情境衍生的地表氣溫上升、降水型態改變、極端天氣強度與頻率增加及海平面上升等 4 大物理性徵狀，帶給包括農業在內的各產業諸多逆境及天然災害衝擊和龐大財物損失。尤其當前世界人口仍不停地增長，對農產品需求不斷地上升，加上氣候變遷的潛在威脅，作為與世界經濟、人類社會、生態環境深厚聯結的農業，乃成為全球最重要的保護前線之一。本文旨在綜合已發表文獻中有關氣候變遷中如何永續農業的策略與措施，以及若干實務做法，提供達成持續性農業經營管理的資訊，並重點介紹氣候變遷情境下實施永續農業的機會和挑戰。最後，歸納唯有擬定整合社會、環境和經濟 3 大利益的政策和執行措施，社會大眾和農業關係人才會支持並促進永續的農業系統，也才能在不斷變遷的氣候情境下達到農業的永續。

關鍵詞：永續農業、氣候變遷、生態環境、天然資源、農業永續。

前言

綜合從業人數、糧食產值及利用土地面積占比 (含農耕與牧草土地) 三大因素而言，農業可謂是全世界最大的產業；其中，從農人口超過 10 億人，每年產值近 1,300 億美元，農牧用地高達地球 50% 可居住土地，為地表眾多物種提供棲息地和食物。因此，當農業得以永續經營管理時，將可以維護糧食生產和生養休息重要棲息地，協助保護水域，並改善土壤健康和水質。反之，非永續的農法將對人類和環境產生嚴重影響，破壞地球上各種生態系的平衡，長久以往將危及人類和其他物種的生活與生存。

很不幸的，由於人類的長期超採 (用) 濫墾，全球的天然資源 (如水、土壤、化石能源) 已逐漸枯竭，大量化石能源的燃燒與各種化學

品的使用，又造成環境污染日趨惡化。農地則因為化學資材 (如農藥、生長劑、肥料、介質) 盲目投入而累積不可計數的毒害物質，並造成地力劣化及退化、土壤微生物平衡的破壞。再加上近年來氣候快速變遷情境衍生的地表氣溫上升、降水型態改變、極端天氣強度與頻率增加及海平面上升等 4 大物理性徵狀 (Core Writing Team *et al.* 2007)，更加劇了極端天氣與異常氣候的危害，以及帶給包括農業在內的各產業諸多逆境及天然災害衝擊和龐大財物損失。

凡此種種，吾人對於可持續資源管理的永續農業 (sustainable agriculture) 做法日益迫切，尤其當前世界人口仍不停地增長，對農產品需求不斷地上升，加上氣候變遷 (climate change) 的潛在威脅，作為與世界經濟、人類

收件日期：2021 年 8 月 2 日；接受日期：2022 年 5 月 16 日。

* 通訊作者：cmyang0616@gmail.com; cmyang@mdu.edu.tw

¹ 明道大學智慧暨精緻農業學系教授。台灣彰化縣。

² 明道大學智慧農業研究中心主任。台灣彰化縣。

³ 農委會農業試驗所作物組副研究員。台灣台中市。

社會、生態環境深厚聯結的農業，乃成為全球最重要的保護前線之一。本文旨在綜合已發表文獻中有關氣候變遷中如何永續農業的一般性策略與措施，以及若干實務做法，提供達成持續性農業經營管理的資訊，並重點介紹氣候變遷情境下的實施永續農業的機會和挑戰。本文先從指陳農業永續經營的必要性開始論述，帶入根本的土壤劣化 (soil degradation) 與地力衰退將對台灣農業永續 (agricultural sustainability) 造成的深遠影響。接續說明氣候與農耕間的相互交感關係，再延展至氣候變遷對農業生產各面向的重大效應，最後引入與介紹現行全球大力推動的韌性農業和永續農業系統，作為因應氣候變遷的可行與實用對策。

農業永續經營的重要性

農業的是否能夠永續經營與發展，乃人類和環境的長存命脈，其重要性無庸置疑。永續農業或稱永續農業系統 (sustainable agricultural system)，旨在提供更有利可圖的營農收入，促進環境管理、提高農場家庭及農村社區的生活質量，並達到農業永續的終極目標。換言之，從務實的立場，永續農業的目的在於滿足當今社會對食物 (品) 和紡織品/纖維的需求，同時又不損害後代滿足其自身需求的能力。從新興的農業人類學 (agricultural anthropology) 亦證實，早期人類社會的農業發展軌跡已融合永續農業的意識與做法，混合於社會文化和自然環境的相互作用，以多樣作物栽培、農牧搭配、保護土壤及敬天惜物的兼容農業生態系與糧食生產系統的農法進行農耕操作 (Sarker 2017)。如此，能夠隨著時間的推移而倖存下來的系統，必然是因為它們具有高度的韌性、適應性和多樣性 (Brodt *et al.* 2011)，反之必殞落消失。然而，當人類文明隨著人口增長必須快速的增加糧食和纖維生產以應付大量需求時，自然資源基礎的退化，使得後來世代的生產和繁榮跟著下降，歷史上美索不達米亞、地中海地區、前哥倫布時期美國西南部和中美洲等古代文明的衰沒，即被認為受到非可持續農業和林業做法強烈影響。

永續農業和農業永續

承上，可知『永續農業』係一種可操作的農業 (耕) 生產系統，『農業永續』則是透過永續農業生產系統操作可達到的一種可持續農業生產的狀態。固然有許多不同的定義，也有各種學理、政策和實踐方法來實現永續農業的各種目標，但仍然可以歸納出一些共同的主題和原則，並在農業生產系統中涵括社會、環境、經濟 3 項同等比重的元素 (Brodt *et al.* 2011)。依據美國對於永續農業的法律定義 (《美國法典》第 7 篇第 3,103 節)，是指實施植物和動物生產的綜合系統，具有特定地點的應用及特性，可長期：(1) 滿足人類對食物和纖維的需求；(2) 提高農業經濟所依賴的環境質量和自然資源基礎；(3) 最有效的利用不可再生資源和農場資源，並在適當情況下整合自然生物循環和控制措施；(4) 維持農場經營的經濟可行性；(5) 提高農民和整個社會的生活質量 (National Institute of Food and Agriculture n.d.)。

經由以上定義與描述內容，永續農業系統可以視當地的環境與資源，擬定具經濟意義的農場經營管理策略與措施，透過長期合理的生產與利潤和生態環境的維護來營造農業的永續。

農業永續經營的重要性及必要性

由於地球上人口的不斷增長，隨之而來的是資源需求的上升，因為提高糧食生產來餵養人口的同時是資源消耗的增加。然而，部分已開發國家的食物浪費亦是不爭的事實。例如，食物浪費在美國是一個巨大的社經問題，據估計從農場到餐桌過程浪費了 30-40% 的食物 (Smith 2019)。這些的非永續現象，反應了社會需要創新的永續性秩序和做法，而農產業亦勢必尋求更積極的永續農業系統以因應此一現實的必要，除了保護地球的自然資源外，亦需要透過維護土壤質量、減少農地侵蝕和保護水資源來造福環境。

採行永續農業的操作系統可以使農業朝向一個可更加持續的生產方式，當然也難以避免一些缺點。傳統農作栽培多係在同一片農地上栽植單一作物或品種，雖然當季可刈取單一化

的大量收穫物，對於希望繼續生產大規模農產品的農民來說，永續性耕作將無法得到這樣的結果。其次，單一作物的耕作方式較單純化，並且適合大面積農機作業，農場工作曆相較於多樣化作物栽培方式簡明。永續農業則可在同一農地上獲得數量相對較少的多樣化農產品，卻可能因此增加市場販售的收益及穩定糧食供應，亦因而提高投施肥料的利用效率及減輕病蟲害的擴散。又因肥料與農藥的施用量減少，大幅降低地面水 (surface water) 和地下水 (ground water) 的水質污染，以及水流經過地點環境的連帶破壞 (Smith 2019)。

綜合前述，本文特予歸納 5 項農業永續經營的重要性及必要性說明如下：

餵養全球續增的人口

截至目前為止，世界人口總數已接近 79 億 (Countrymeters n.d.)，據估計在 2050 年以前更將新增 20 億人。欲餵養如此龐大的人口，勢必要有穩定增加的糧食生產，可以想見這會是多麼大的一項挑戰，農業如何永續經營以持續增加產量，確實是當前吾人必須面對與解決的嚴肅課題。

維護生態環境

農業的經營固然提供了保護生物多樣性的獨特機會，無可諱言卻也可能威脅到野生物種和其生存空間。農業的操作及擴張侵占 (害) 了野生動植物的棲息地，投施的化學品及農場有毒資材製造了農地污染，大量的施用化肥及牲畜飼養產生了溫室效應氣體 (greenhouse effective gases)。這些農業營運的作為帶給環境和生態重大衝擊，相對地亦使農業如何永續增添了許多有待克服的各種挑戰。在此困境下，除了短期經濟收益，永續農業並兼顧自然資源和人力資源的長期管理來維護生態環境 (Brodt et al. 2011)。

降低農業經營製造出的污染

由於未有妥善的管制規範，農業在許多國家是主要污染源之一。各種農藥、化肥及其他有毒農用化學品不僅會留下殘毒於土壤中，也隨著灌溉水、土壤逕流水、滲漏水等途徑經過

溝渠、水圳、河川污染了淡水及海洋生態系統，甚至於逸釋大氣中。有些毒害物質可以在環境和生物中代代相傳，例如部分農藥被懷疑會擾亂人類和野生動物的荷爾蒙系統，化肥則影響水道沿線生物和海洋珊瑚礁 (World Wildlife Fund n.d.)。採用農績農耕方法，可以降低農業經營過程中製造出的污染。

協助解決以農業為主的開發中國家貧窮問題

一些以農為主的開發中國家，對於其 3/4 的極端貧困人口來說，農業是唯一可行的生計選擇。惟在欠缺合適的生產技術下，農地生產力偏低，又因開墾周圍生物多樣性豐富的野生土地，導致貧困加劇和生物多樣性喪失的惡性循環 (World Wildlife Fund n.d.)。對這些國家的農民而言，如何導入友善耕作的永續農法，一方面提升農作產量，另一方面不再盲目開墾荒地、破壞生態環境，將是其農業經營首要任務。

伸張灌溉水源的合理開發及有效使用

從表面的用水數據來說，農業部門消耗了地球上約 69% 的淡水。如果沒有創造性的保護與使用管理措施，農業生產將會消耗過多的水源並降低水質。如此，將對全世界的淡水系統產生不利影響，而不當的灌溉方式或對水源造成的污染，必將使得水資源更形枯竭、食品安全更受疑慮。在規律的降水型態受到氣候變遷的改變之下，乾旱及暴雨造成的乾濕對比情境將更加明顯，許多地方在水資源短缺的狀況將使得農業經營更為困難，糧食欠收也將讓貧窮國家人民陷入更深的困境。灌溉水源應當要有更深謀遠慮的合理開發、管理及利用，除了節水、省水，更當積極的力求水分的有效使用 (water use efficiency) 和提高農業的水分生產力 (water productivity)。

以永續農業觀點經營農業

牲畜排泄物發酵釋出溫室氣體等多元畜牧農場營運模式，被認為係大氣中溫室氣體累積的重要貢獻因子。農業生產開墾土地所砍伐原始森林或焚燒林木產生的二氧化碳，更將原本

積儲的碳釋放出來 (World Wildlife Fund n.d.)。因此，無論農耕或畜牧等農業經營活動，概需要以永續農業的觀點來規劃與經營，非但致力於逆境下的農業韌性調適作為 (adaptation)，也應該重視減少溫室氣體排放的農耕操作來助益於溫室效應緩解 (mitigation)。當農業經營得到可持續管理的理想狀態，又能兼顧調適與緩解的雙重功能時，農業即可以成為維護和恢復關鍵棲息地、幫助保護水域及改善土壤健康和水质之強固堡壘。

非營利國際農業組織對永續經營管理重要性的宣導和努力

除各國政府的農業部門之外，全球有相當多的非營利國際農業組織均協同致力宣導和努力於永續農業經營管理重要性。本文融合相關重點項目和世界野生動物基金會的做法 (World Wildlife Fund n.d.) 為例摘介，該組織曾多次邀集各方利害關係人召開會議，共同進行以下重要工作：(1) 評定並合力減少有礙於農業永續及加速氣候變遷的日益增加主要商品 (commodities)，以降低其負面影響；(2) 研擬並實行較佳的永續經營管理措施，以保護環境和維護生產者的管理底線；(3) 創建財政激勵措施，以鼓勵各方從事有關生物多樣性的保護；(4) 改進農業政策，以促進實施友善生態環境的農耕操作；(5) 確認永續農業有關的新營農收入機會，以保障從事永續農法生產者的經濟生存能力。

以上這些事項，可以提供農政單位參考與實務規劃，裨益於擘劃出適合國情和農業生態環境的永續農業藍圖，以及可供推動的路徑圖。

台灣土壤劣化與地力衰退影響 農業永續

土壤係地球和人類最基本的天然資源之一，亦是農業生態系的基盤，人類生活依賴著土壤，因為它生產我們所需要的糧食及纖維，包括肉品、乳製品、小麥、水稻、玉米、大豆、棕櫚油、棉花等全球大宗農產品。土壤亦為農業之本，人類糧食中的植物生長在土壤中，動物的食物也直接或間接來自植物，且提供棲息住所，因此人類生活基本上離不開土壤。另外，

眾所周知土壤尚且具有保安國土、涵養水源、淨化水與空氣、保育生態與景觀、緩和天氣、蘊育微生物等多樣功能 (multi-functinality)，乃人類珍貴的資產。基此，吾人應當保護愛惜土壤，不可予以污染破壞致使其失去原有的功能，才能成為永續農業的堅強後盾。

台灣土壤劣化問題

台灣在地理上位於溫帶及熱帶地區交接的亞 (副) 熱帶地域，屬於高溫、多雨、潮濕的海島氣候型態，又處於東亞颱風 (熱帶氣旋) 通道及斷層地震帶之間，致天災頻繁常傳災情。然而，在這些因子的交感下，又因眾多人口的糧食需要，採行異於溫帶一年一作的高度集約耕作方式，此種超限利用土壤的結果致使農地土壤容易引起地力衰疲退化，或引發忌地的症狀。環保署 2021 年的資料顯示 (Yang n.d.)，台灣常見的土壤劣化問題，大致涵蓋物理性、化學性及生物性 3 大層面；其中，物理性有土壤密實、結皮、沖蝕 (水蝕與風蝕) 及排水不良等，化學性有土壤酸化、鹽鹼化、肥力流失、養分不均及毒害物質蓄積等，生物性則有土壤有機質減少、大型生物與微生物密度減低及病蟲害生態劣變等。事實上，大幅人類活動及土地開發擴張之下，已普遍降低了土壤品質，如污染、土蝕、乾旱、水洗等情況，嚴重影響了土壤涵養生命的能力，長期以往將產生許多人口遷徙、森林濫伐、都市擴展甚至於糧食系統崩壞等負面結果。以上這些現象，在氣候變遷趨勢下預料將更形嚴重，吾人必須預先妥適規劃因應作為。

土壤的鹽化 (soil salinity)

土壤鹽分是近年來阻礙全球糧食安全和環境永續的主要及普遍挑戰之一 (Mukhopadhyay *et al.* 2021)。更糟糕的是，氣候變遷引發海平面上升的負面影響，加速了土壤鹽分的拓展，可能在不久的未來將問題蔓延至目前未受干擾的地區。歷經各方多年的努力之下，許多技術已被研發來趨緩土壤的鹽化，如應用改良劑、選育耐受基因型作物、合適的灌溉、排水及土地利用策略、保育性耕作 (conservation farming)、植栽復育 (phytoremediation) 和生

物復育 (bioremediation) 等技術，這些方法也提供了土壤固碳、碳匯 (carbon sink)、保護和天然資源的循環利用，可被利用於永續農業的配套管理。近年發展出的複合式農地開墾策略 (integrated farmland reclamation strategy)，如結合地下排放水的鹹水養殖、耐鹽性品種共生高鹽分耐受性微生物、整合多項技術的綜合農耕系統等，其目的皆希望可以在氣候變遷情境下維持永續性的農業操作。

土壤的永續性耕作

雖然科學性的物理證據非常明確 (Core Writing Team *et al.* 2007)，氣候變遷議題上的政治化爭議卻仍存在世界各地，亦由於出現正反抵觸的言論，反而誤導真相、掩蓋事實，甚至延宕科研的進行。為了避開意氣用事的情緒化指責，必須以科學研究數據因地制宜的導引，並善用政策工具提供必要的經濟誘因和技術輔導，才能有利營造採行永續農業的友善氛圍。本文僅以世界上常用的不耕犁耕作 (no-till farming)、土表覆蓋作物 (cover crops) 及作物多樣性 (crop diversity) 為例，簡介土壤永續性耕作的做法如下：

不耕犁耕作

不耕犁耕作是一種農耕模式，也是土壤保護技術之一，旨在以不翻轉土壤與減少土層結構破壞的情況下種植作物。此種耕作可同時保留土壤中的養分及固碳狀態，利於維持土壤作為一個由礦物顆粒、有機物質、空氣、水和微生物組成的複雜且高度結構化的實體完整性，進而獲得改進土壤質地、增進土壤健康及減輕耕犁燃料與肥料費用支出的效果 (Magdoff & van Es 2009; Brodt *et al.* 2011)。

土表覆蓋作物

土表覆蓋作物或植物，亦是一項可進一步降低農場肥料與化學品使用、耕犁成本及消除雜草孳生的永續性耕作方法，並減少農場的碳足跡 (carbon footprint) (Magdoff & van Es 2009)。選用合適的覆蓋植物，尚可以增加產量與品質，如豆類和禾本科植物 (包括穀物的黑麥、小麥、大麥、燕麥) 都被廣泛使用，其

他如薺苔屬植物 (如油菜、芥菜、草料蘿蔔等)、蕎麥及一年生或多年生牧草 (如黑麥草、高粱、蘇丹草等) 也被利用。非豆科的覆蓋草類植物對於吸取前作留下的養分 (尤其是氮) 非常有用，由於往往具有廣泛根系而可減少土壤侵蝕、抑制其他雜草的萌發與生長，且自身產生大量生質殘留物，使有助於添加土壤有機物質。

作物多樣性

不同作物與品種對於環境因子有不同的偏好組合及不等的適應能力，因此在農場種植多樣種類的作物 (和牲畜) 或輪作，有助於降低極端天氣或病蟲害帶來的風險，以及市場條件改變或需求起伏引起的產銷失衡窘境。此外，作物和其他植物 (如樹木、灌木) 的多樣性增加，也有助於土壤保護、野生動物棲息地提供及有益昆蟲數量增加，這些都有利於農業在多變的人為和天然環境中持續的生產。此種又稱為生物動力型農業 (biodynamic agriculture) 的農耕模式，考量了農業生態系 (agro-ecosystem) 的平衡，能夠維持農田的永續性生產 (Paull 2011; Lejano *et al.* 2013)。以美國一些杏仁園常以三葉草和草類作為園區覆蓋作物為例，除了減少雜草干擾及水分消耗，也增加了生物多樣性，不僅有助於養分循環並為有益昆蟲提供棲息地及增加土壤有機質 (Brodt *et al.* 2011)。這種典型的永續農耕方式之一，潛在益處在於透過可保護較多的物種來保持動植物高度的遺傳多樣性，並為未來抗病蟲害的育種提供更多的遺傳資源，同時保護水土資源進而維護農地生產力。

氣候 (climate) 與農耕 (farming) 之相互影響

氣候及氣候分區

氣候，是指氣象因子 (如光照、氣溫、降水、風模式等) 的長時間變化，一地氣候的規律性變化，除了決定當地生物的種類與生活行為之外，亦左右民眾的作息和產業活動。氣候變遷對於不同地區帶來各樣不同的天氣和氣候型態改變，必將影響幾乎各個產業，農業自不例外。以美國佛蒙特州 (the State of Vermont)

為例，氣候變遷使其近年來的春季更為潮濕，夏季的乾燥時間更長，乾旱期間拉長，冬季則更加溫暖，總此延長了農作物的生長季節 (University of Vermont n.d.)。台灣的土地面積雖然不大，由於特殊的地理位置、緯度、海島型氣候及多元的地勢變化，形成了許多的氣候分區 (氣候資源區) (Chiang 1954; Chen 1957; Chiou *et al.* 2004)。透過這些氣候分區的研究探討，將有助於對動植物棲地基本特性的瞭解，並予分析氣候與動植物族群分布之關係及相互之影響 (Chiou *et al.* 2004)。在氣候變遷情境下，更需要調查各氣候分區發生的改變，逆境與天然災害造成栽培作物的影響，才能切中要點、恰到好處的研擬各別因應對策。

氣候及氣候變遷

2006 年的一部《不願面對的真相》(An Inconvenient Truth) 紀錄片，讓世界各地的民眾得知難以被忽視的全球溫暖化現象 (global warming)，大氣和海洋中過量的溫室氣體 (如二氧化碳、甲烷、水蒸氣、氧化亞氮) 使地球猶如被籠罩在溫室中，入射地表的太陽輻射熱量 (能) 難以散去，以維持循常的日夜平衡，導致地表溫度升高，並增加各種極端天氣事件 (如乾旱、暴雨、熱浪、寒潮、暴風雪等) 發生的頻率與強度，引發觸目驚心的氣候危機 (climate crisis)。因為快速的氣候變遷帶來的影響不僅是溫度及降水變化，更會是衝擊人們生活各層面的威脅，形成社經動盪、物種滅絕及糧食危機。

如前述，氣候變遷係指氣候 (或氣象指數) 在一段長時間內的波動變化，該段期間從數十年至數百萬年不等，而波動範圍可以是區域性或全球性。依此定義，氣候變遷其實自地球形成以來即持續的進行中，然而除了自然因素 (如太陽輻射、地球運行軌道變化、造山運動)，因為長期大量化石能源 (如煤炭、石油、天然氣) 的開採利用，經年累月燃燒支援人類的各項活動之下，釋放出來的溫室效應氣體促成了全球溫暖化，致使氣候加快變遷速度 (通常簡稱為氣候變遷)。近 50 年來全球暖化日益明顯，尤其最近的 30 年，氣候的快速變遷也愈形顯著，由政府間氣候變遷專門委員會 (Intergov-

ernmental Panel on Climate Change; IPCC) 的報告 (Core Writing Team *et al.* 2007) 及歐盟的實際氣候變化均得到驗證。歐盟的研究報告指出，歐洲的人類系統和生態系統非常容易受到河流泛濫、乾旱或沿海洪水等重大氣候變化的影響，雖然某些北歐地區得到正向結果，但大多數國家是負面影響。而在不同地區的這些不同類型的組合影響會加劇其系統脆弱性 (歐盟南部和東南部地區的農業受到最大衝擊)。

有識之士乃大聲疾呼世界各國應當檢討其環境政策，限制一些溫室氣體排放的人類活動 (如工商發展、交通往來、開墾林地、集約農業等)，以期能夠控管氣溫上升及氣候變遷的速率 (National Research Council 2010)。據悉，2010–2020 年已是有溫度紀錄以來最熱的 11 年，倘若溫室氣體持續現行排放，地表溫度很有可能在未來數十年一直上升，科學家預測在 21 世紀內全球升溫可能達到攝氏 1.4–5.6 度之間 (Core Writing Team *et al.* 2007)。在未來 30 年、或甚至 10 年內達成淨零排放 (net zero emissions) 目標，已然成為全球共識及努力的方向。

氣候快速變遷對全球之全面性影響

許多研究分析氣候變遷對全球造成的影響，發現對於地球的物理和生物系統皆將產生不同的效應，且依不同地區有明顯差別，惟其影響的嚴重程度會隨著所涉及不同地區平均溫度的升高幅度而有很大差異。整體來說，氣候變遷對全球的影響屬於全面性的，許多地區最主要社經層面受到的影響在於水的供需問題，水資源供應可能會減少，嚴重干擾國計民生和產業活動；在生態與生物多樣性方面，破壞了生態平衡及生物棲息住所，增加了動植物滅絕的風險；由於預測的海平面上升和異常天候事件的發生，海岸將面臨更大的侵蝕及淹沒風險；在醫療保健上，暴露於起伏不定的天氣和氣候變化，民眾的健康可能會受到影響；對於農業與糧食生產，預期將呈現更大的波動，引起糧食供應和糧價上升的高風險 (Smith & Gregory 2012; Thornton *et al.* 2018; Kumar *et al.* 2019)，導致糧食供應鏈運轉失調。

氣候變遷惡化的控管

聯合國 2015 年通過的《巴黎氣候協定》(The Paris Agreement)，各國首次同意『本世紀末前，必須控制地球升溫於攝氏 2 度以內』，並且每 5 年必須檢討『國家自定減碳貢獻』(Nationally Determined Contributions; NDCs) [United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) 2016]。此協定係一項具有法律約束力的氣候變化國際條約，由 196 個締約方於 2015 年 12 月 12 日在巴黎舉行的第 21 屆締約方會議上通過，並已於 2016 年 11 月 4 日正式生效實施。其主旨在相較於工業化前氣溫水準，以將全球暖化限制在遠低於攝氏 2 度為目標，尤以攝氏 1.5 度為佳。IPCC 在 2018 年發布新的研究報告，亦建議各國必須以 1990 年平均溫度為參考基準，且進一步希望：(1) 將地球升溫控制在攝氏 1.5 度之內；(2) 2030 年的碳排放減少 45%；(3) 在 2050 年達到淨零碳排 (net zero carbon emissions)，或稱碳中和 (carbon neutrality)，認為這是防止氣候變遷帶來人類嚴重災難的唯一方法 (UNFCCC n.d.)。

欲達到二氧化碳減排並進一步至淨零碳排並非易事，需要世界上所有國家一起努力，尤其一些碳排大國 (如中國大陸、美國、歐盟印度、俄羅斯、日本等) 更需要有決心並拿出實際減排行動。台灣的發電來源有高達近 75% 來自於火力發電，人均排放量比甚至高於中國大陸和日本，勢必要有一定作為，特別是過於低廉的油、水、電價格及再生能源的開發利用課題 (Yang 2016)。盤點國際上對於節能減碳議題的務實做法，本文歸納 6 項要點提供參考，期勉人人自許為『地球永續』尖兵。簡要說明如下：

能源轉型

減少二氧化碳排放是控制氣溫上升的首要工作，眾所周知二氧化碳排放主要來自燃燒化石能源，其最大部分是用來發電、作為機械動能、生產製造商品及便利民眾生活。為了顧及經濟、環境和民生需要，在日常已經離不開電力的前提下，勢必要以清淨再生能源取代化石

燃料，才能實現降低碳排放量及達到多贏且永續的目的。

守護海洋

從減量的立場，可以善用大自然扮演的重要角色。海洋面積廣達 3 億 6 千 2 百萬平方公里，約占地球表面積的 71%，擁有 13 億 5 千多萬立方千米的水量 (地球上總水量 97%) (Anonymous n.d.)。吾人當盡力守護清淨海洋，發揮海洋吸收氣候系統中 90% 多餘熱量、調節地球上的雨水 (飲用水) 與天氣系統、提供食物等功能之外，更維繫其從大氣中吸收儲存 20-30% 人為排放二氧化碳的海洋碳匯機能。

養護森林

森林吸收二氧化碳使用於生長，儲存生質量於積材中，係天然的『碳儲庫』。根據聯合國糧農組織 (Food and Agriculture Organization; FAO) 於 2011 年估計，全球森林儲藏近 6,520 億噸的碳，有效幫助地球儲存巨量的二氧化碳，對整體減碳極有助益。一如海洋面臨的危機，全球森林因為工商或農業利益大規模砍伐、焚燒及污染，使得森林生態逐漸失衡削弱其原有功能，甚至將已封存的二氧化碳釋放至大氣，助長氣候的變化與變遷。如何養護森林和海洋資源，維護甚或增進其碳匯，制定更嚴格的保護法規已刻不容緩。

在地消費、減少食物浪費

除了飲食，平時消費儘量選擇當季、在地產品，以減少運輸及存放所需能源。同時宣導惜食不浪費、減少廚餘及降低糧食足跡 (碳足跡) 的美德，從源頭減量做起，讓自己做一名聰明消費者，節能減碳從自身做起。

降低肉食比例

畜牧業係農產業和生活中增加全球溫室氣體排放的來源之一，多達 23% 的溫室氣體排放量來自農業和土地使用，而畜牧業即占了近 18%。由於牲畜飼養屬於食物鏈的高端，消耗大量的飼料，其排泄物又釋放大量助長氣候變遷的甲烷。因此，減低肉品的需求，將有助於減少溫室氣體的排放。

減用不易分解包材 (減塑生活)

購買食衣住行的物品，常會使用產品包裝，尤其是塑膠材料。如果可以減少重複包裝，或以可多次重複使用及可分解的材質與容器取代一次性塑膠包材，即能減少製造的資源消耗及後續的環境成本，也能減緩氣候變遷的推力。

氣候變遷之調適與緩解

在可預見的未來，氣候變遷走勢將依然如昔，對於氣候變遷下農業的未來，吾人必須要採行一系列與農業操作相關的調整措施，來維繫農業的常態運轉 (Smith & Gregory 2012)。目前國際上通常歸納為兩個主要的因應策略：『調適』與『減緩』。前者係尋求減少受到氣候變遷危害的影響，後者則是針對氣候變遷的根本原因致力於降低溫室氣體排放量。然而，在面對氣候變遷時此兩種策略皆屬必要而應並行，需要持續透過經營風險管理的單位，將氣候變遷的可能衝擊納入整體營運考量，預估風險發生機率與影響程度，並制訂風險應變的調適與緩解計畫及危機處理機制，以便及早提出預警。

本文建議農業的因應可分從機制面 (mechanism) 與執行面 (implementtion) 兩方向進行，機制面在於政策與結構的變革，由政府農業部門負責，執行面則可從農場的經營管理和農事工作者 (農民) 的技術解決方案予以調整，而兩者皆可依期程訂定短、中、長程規劃以收階段性具體成效。就基層的農場和農事作業，本文整理關於農作物和動物飼養的幾項可行做法為例，期拋磚引玉引發更多迴響：(1) 農作物，例如：透過遺傳育種等生物技術善用基因的多樣性，提高耐抗逆境韌性或選育高韌性新品種，以因應環境的改變；調整農場作業時序 (如種植或播種日期、採收與處理時間)，以配合或避開可預期的天氣型態波動；選用更合適的作物或品種，以適應生育季節的變化 (如溫度、濕度、雨量、病蟲害) 或新環境條件；開發耐抗逆境的韌性栽培管理技術 (如調整行株距、灌溉、施肥、遮陰、覆蓋)，以降低逆境或天然災害 (如高溫、低溫、乾旱、淹水) 的損失；透過監測系統偵 (檢) 測、作物輪作或綜合管理技術，以提高病蟲害管理的效果；改

進灌溉及耕犁方法，以減少灌水損失、灌溉用水、增加土壤保水量及降低溫室氣體逸釋。(2) 動物飼養，例如：引進或選育更耐熱的牲畜品種及改良飲食與餵養模式，以舒緩熱緊迫危害；定期調整飼料配方及檢測水質，以提升飼養條件；改善動物畜舍的通風和冷暖氣系統，以維護牲畜飼養環境；加強回收或循環再生飼養用水，以有效增進飼養衛生管理；同步改進牲畜飼養和排泄物的管理方法，以減少溫室氣體的排放。

在上位農業部門層面的機制式調適措施，以歐盟訂定的 Common Agricultural Policy (CAP) 為例 (European Commission n.d.-a, n.d.-b)，相關內容整理如下：(1) 分析相對較脆弱的地區和糧食產業，評估改變物種和品種，以因應氣候變遷趨勢的需求和機會，尋求新的產業發展契機；(2) 大力支持農業研究和試驗性生產，評選適當物種和開發最適合新環境條件的品種，並開發創新的農耕和韌性栽培技術，以提升調適與緩解能量；(3) 透過推廣與訓練系統傳達 (授) 予各農業從業人員和農民團體，以提供有關農場管理的重要資訊、專業技術和建議來建構基盤的調適與緩解能力；(4) 在農村發展政策中融入創新思維及永續農業規劃，接受新技術、研究、創新及知識傳播的驅動，以因應氣候變遷和環境改變造成的新問題；(5) 擬定因應氣候變遷的相關農業政策，備擬可綜合或互補的不同政策工具和解決方案來應對氣候變遷帶來的挑戰，建立快速反應的訊息網絡，以支持在地農業的永續發展。

鑑於氣候變遷同時對社會、經濟及環境 3 大元素形成壓力，農業必須透過更可持續的生產方法來改善其各面向成效，而農業部門和農場/農民亦必須具備逆境及天然災害的調適能力來面臨氣候變遷的各項挑戰，並且採行緩解氣候變遷的知識和行動力。尤有甚者，所有地球村的居民可能需要在未來幾十年間秉持永續思維，針對農業生產和糧食消費行為兩方面做出根本性的改變 (Smith & Gregory 2012)。如此，在氣候變遷的狀況下，唯有遵循自然資源和農場的可持續經營管理軌道，並行社經與環境皆永續的農村社區，才能綜合實現農業永續的終極目標。

農業在氣候變遷中之角色及緩解氣候變遷功效

農業既是受到全球氣候變遷衝擊最大的社經部門，亦是溫室氣體（以甲烷 CH₄ 及氧化亞氮 N₂O 兩項氣體化合物為最大宗）的主要生產者之一，因為農業經營管理直接依賴氣候變化進行相關農事活動，也因此農業是調適與緩減氣候變遷影響最有效進程的試驗場域。換句話說，除了調適氣候變遷各面向作用之外，農業尚可以透過減少溫室氣體排放和增加土壤中的碳匯、植物光合作用、植被與微生物的負碳排（carbon negative）效果來協助緩解氣候變遷。據估計，全球農業整體的二氧化碳減排潛力約為 5.5–6.0 Gt，相當於 2030 年全球二氧化碳的排放量。其中，將近 89% 可通過持續及提高土地和植被吸收有機碳的能力，其餘的 11% 可來自減排措施得到的效果（Smith & Gregory 2012）。

為了促進農業的緩解功效，必須要有完整的做法來達成此一目標，並且將這些有用的做法納入實際的農業操作中。擬定調適與緩解氣候變遷影響的永續策略即為其一，重要的是整個農業供應鏈成員（包括農民、農事服務業者和政策制定者等關係人）皆當對因應氣候變遷的相關因應對策有所瞭解，才能夠雙向溝通、上情下達、下情上傳，在相互溝通分享及凝聚共識的氛圍下落實各種因應做法。為期達成農業永續經營的目的，則應當針對當地特殊的環境與資源透過系統化的研究，發展創新和有效的解決方案，才能因地制宜應對在地農場和農民面臨氣候變遷引起的各種挑戰。

為了實現以上這些目標，農政部門可協同研究機構為生產者和其他利益相關者提供滾動式的教育訓練機會和諮詢（商）服務，甚至可指定特定機關（構）作為研究資訊的資源中心和知識出口，加大多管齊下的行動力道。而該中心尚可協助聯合各級政府農業單位、農會、產銷班、農民、非營利組織及私部門，形成溝通連繫網絡或攜手進行密切合作。針對氣候變遷情境下的韌性農業及永續農業從事必要和客製化的應用研究，以分別解決一般性及特定的議題。從永續農業的角度，幾個重要的課題包括農業系統（農業生態系加上糧食系統）對於

極端天氣事件的調適能力，水土資源的保護與合理而有效的使用，水質的維護與管理，農業廢水與牲畜排泄物的處理與創新用途，以及減少天然災害的防護與救助（濟）體系等。

因應氣候變遷之韌性農業系統 (resilient agricultural systems) 和永續農業

韌性農業系統

所謂的韌性農業系統或韌性農耕系統，主要在於面對諸如降水增加、乾旱缺水、極端天氣增多或氣溫升高/降低等氣候變遷衍生的常見情況時，農業（耕）系統仍能夠儘速的克服逆境或災害造成的損（危）害回復適度的產能。如此的農業生產回（恢）復力（彈性），對於維持產業經濟和生態環境的可持續性至關重要，亦是永續農業的關鍵環節之一。韌性或恢復的復原力重要性，在於大多數農業生態系統面臨的條件（包括氣候、病害蟲族群、社會、政治背景等）通常是高度不可預測的，而且從長遠來看穩定度偏低（Brodt *et al.* 2011），這也是追求農業的永續必須面對與克服的現實。

韌性農業系統解決方案

一套成功的韌性農業系統/架構應當不單在於『應付』突發狀況，更當能夠具備相關的直接和更具創造性的解決方案，從事前-事中-事後進行系列性、系統化的『控制』，始終給予指導、監督和管理，以確保各項因應措施皆按照規定與預定的方法、程序及規範進行。美國佛蒙特州大學的永續農業中心（University of Vermont n.d.）即提出以下關於韌性農業系統解決方案涵蓋的主題，值得學習和參考，包括：(1) 以不同方式管理土壤和水；(2) 多元化的農企業態樣（尋求商機）；(3) 採用新的和不同的農企業；(4) 基礎設施的廣泛投資；(5) 栽培新的作物類型和品種。

對於農作生產而言，健康充沛的水土資源、配套產業鏈的農企業、完善的基礎設施及滿足市場需求的多樣韌性物種/品種等因素，確實是韌性農業系統及永續農業成敗的要件，政府相關部門可以集思廣益建立在地的自主韌

性農業系統，俾於調適當地的特殊條件，鞏固當地產業的創新發展機會。特別是提高作物種子的遺傳潛力，乃實現聯合國永續發展目標 (sustainable development goals; SDGs) 所需農業創新的最有效方式，以因應各地特有獨有的狀況 (United Nations Department of Economic and Social Affairs n.d.)。植物育種可以透過能夠因應氣候變遷、病蟲害變異及資源限制的特定性狀基因導入，即生物性與非生物性逆境性狀，以及透過結合高精度表型體、細緻基因組信息、高密度遺傳圖譜、生物資訊學、遺傳建模和作物生長模擬方法等，來加速傳統育種選育出合適的新品種提高作物的永續性和生產潛力 (ERA-LEARN n.d.)。而且這些整合研究發展，亦可以提供達成所揭櫫 SDGs (尤其是第 2、6、8 項) 所需要的品質創新改進。

韌性農業系統和永續農業

美國是全球最大的農業生產國，加州又是農糧作物生產的重鎮，被認為處於因應氣候變遷的前線，故積極採取行動在氣候變遷下強化韌性農業系統以持續農業生產的時間較以往更加迫切 (Mazurek 2021)。加州政府的氣候與農業網絡 (California Climate and Agriculture Network) 內有列出氣候變遷下具有韌性農業系統內涵的永續農業生產方式與技術供各界參考，希望當地農場和農民多加採用以建立糧食供應的彈性與韌性。其部分內容類似於本文前述，因有異曲同工處及借鏡參採價值，本文特予摘整如次：

高效灌溉管理 (efficient irrigation management)

節約用水對任何農場都非常重要，尤其是在乾旱時期。當農場使用大部分能源於地下水的抽取時，灌溉效率成為減少化石燃料消耗和溫室氣體排放的關鍵。透過如滴灌、點噴、種植覆蓋作物、栽培旱作物等一系列的節約用水措施/技術，將可節水與節能。

使用再生能源 (renewable energy)

以最大限度的提高能源效率和擺脫化石燃料，是農場減輕氣候足跡 (climate footprint)/碳足跡的重要步驟，具有包括再生能源生產與

使用 (如再生能源驅動的農機)、減少石油為基元的肥料與農藥及降低農事操作對化石燃料投入的依賴等效果。

操作有機農業 (organic practices)

過去 50 年以來，農業的產業化與集約化導致傳統農業普遍仰賴以石油為基礎的農業化學品 (如除蟲劑、除草劑、化肥)，種種負面的結果促成禁止大多數合成化學品投入的有機農業 (耕) (organic farming) 興起。農場的有機化意味著減少溫室氣體排放，更潔淨的土壤、水和食物，以及有機與永續技術帶來額外的好處 (如增進土壤健康及肥力、提升食品安全)。

增進土壤健康 (increasing soil health)

如本文前述，農業可以透過減少溫室氣體排放和增加土壤中的碳匯來緩解氣候變遷，植物也經過光合作用從大氣中吸收二氧化碳充當碳匯，如此成為可持續減輕甚至協助扭轉氣候變遷巨大潛力的碳農業 (carbon farming)。而約 40% 的碳沉積到土壤中為細菌、真菌、原生動物和線蟲等微生物提供食物，再藉此轉化成礦物元素回饋土壤天然肥料。農場另可以施用堆肥、種植覆蓋作物、低耕或不耕等做法，促進固碳而增加有機質和增強土壤肥力。

維持綠化農業 (keeping agriculture green)

農地的綠化是維持綠化農業的不二法門，諸如重新造林牧場、恢復河岸綠帶、栽植綠籬和種植多年生植物等農地管理皆是有效措施，並因此可獲得提供野生動物庇護所、美化農場、吸引有益昆蟲進行授粉和形成天然的害蟲防治生態鏈等多種好處。這些綠化的植物及林木在其生物量中儲存碳，既保護土壤免受侵蝕與節約用水，又扮演緩解氣候變遷的角色。

降低牲畜甲烷排放 (reducing livestock methane emissions)

農業占加州溫室氣體排放量的一半以上，以生產牛肉和乳牛的甲烷排放為主要來源，另有造成水源污染的排泄物。於是，以草地輪流牧放牲畜的做法被大力推廣，一方面直接提供優質草料飼養牲畜，再方面牲畜糞便施予土壤有機肥，減少厭氧發酵逸釋溫室氣體。

草地放牧的牲畜管理 (pasture-based livestock management)

加州一半以上的土地是牧場，具有巨大的固碳潛力。這樣的草地放牧飼養方式，有助於土壤健康和微生物生命，也利於多年生草類在土壤中生長和儲存水分，值得推廣。

農地保護 (protecting farmland)

由於都市和工商發展，加州每年至少損失 40,000 mi² 的農田。對於可持續管理的農場和牧場形成相當壓力，也威脅固碳和減排溫室氣體的潛力，影響食物供應、野生動物棲息地及生物多樣性，以至於氣候的變化，據此可見保護農地的重要與必要。

鼓勵在地食物消費 (supporting local food consumption)

美國的食物平均里程約 1,500 mi 才能到達餐桌，而運輸需要使用化石燃料和其他自然資源，並產生溫室氣體的排放。因此，消費在地食物將可縮短儲運距離，從而保護了這些資源。當農貿市場支持在地農民的農產品時，農民就可以留當地營農並成功種植糧食，在愛護地球的同時維持大眾的生存所需。

推動氣候友善政策 (pushing for climate-friendly policies)

支持當地氣候友善型農業和永續農業的方法有很多，但減少氣候變遷的損害、建立氣候調適能力及實施永續農業則需要重大的政策制定與宣導，諸如農田保護、健康土壤、水資源管理、再生能源、有機農業促進和其他永續農業需要的行政、立法和預算行動。作為社會的一分子，我們可以與政府和農民站在一起，敦促立法者通過法案來護衛大家的未來。

結語

本文最後要強調，永續農業並非一個單一且明確定義的最終目標，而是在社會、環境和經濟等 3 方面透過科學研究與應用實證不斷發展的農耕系統，並受到當時發生的問題、觀點和價值觀的影響與時俱進。顯然的，永續農業

是一個理論與應用相互驗證的農耕系統，也是一項思維與務實之間的辯證，更是過去與未來理想的妥協 (Smith & Gregory 2012)。永續農業方法力求以這樣的邏輯論述利用天然資源、保護環境，使它們能夠持續再生其生產能力，並最大限度地減少對農地/農業生態系邊緣以外生態系統的危害影響。在氣候變遷部分，農業調適氣候變遷的能力在 30 年前不被認為是一個關鍵問題，但現在則受到越來越多的關注。如何在氣候變遷的情境下進行農業的永續管理與發展已成為顯學，亦是當前人類為求生存和創造繼起的生命，以及為求生活並增進未來世代生活的重大議題。其次，構成永續農業的內涵，可能會從一組條件 (如土壤類型、水資源、氣候、勞動力、生產成本) 變為另一組條件，從一種文化和意識形態變為另一種態樣，從而產生隨時空動態調整的連續性『永續』，而非『永續』與『非永續』二分法之間的爭議 (Brodt *et al.* 2011)。重點在於藉由規劃更多依賴養分和能量內部循環的生物整合農業生態系統，維持經濟可行的生產體系並減少潛在的負面干擾因子，以達到社會、環境和經濟的共享三贏。總而言之，唯有擬定整合社會、環境和經濟三大利益的政策和執行措施，社會大眾和農業關係人才會支持並促進永續的農業系統，也才能在不斷變遷的氣候情境下達到農業的永續。

引用文獻

- Anonymous. n.d. Introduction to oceans. <https://sites.google.com/site/haiyang951753/hai-yang-de-fen-bu-de-qu> (visit on 07/08/2021) (in Chinese)
- Brodt, S., J. Six, G. Feenstra, C. Ingels, and D. Campbell. 2011. Sustainable agriculture. *Nat. Edu. Knowl.* 3(10):1.
- Chen, C. H. 1957. Taiwan's climate classification. *Meteorol. Bullet.* 38(1):1-9.
- Chiang, B. R. 1954. Taiwan Climate History. Taiwan Island Studies Series. No. 26. Economic Research Office, Bank of Taiwan. Taipei, Taiwan. 220 pp. (in Chinese)
- Chiou, C. R., Y. C. Liang, Y. J. Lai, and M. Y. Huang. 2004. A study of delineation and application of the climatic zones in Taiwan. *J. Taiwan Geogr. Info.*

- Sci. 1:41–62. (in Chinese with English abstract)
doi:10.29790/JTGIS.200410.0004
- Core Writing Team, R. K. Pachauri, and A. Reisinger. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. 104 pp.
- Countrymeters. n.d. World population. <https://countrymeters.info/cn/World> (visit on 07/12/2021) (in Chinese)
- ERA-LEARN. n.d. Project: Advanced tools for breeding BARley for Intensive and Sustainable Agriculture under climate change scenarios. <https://www.era-learn.eu/network-information/networks/suscrop/1st-transnational-joint-call-on-sustainable-crop-production/advanced-tools-for-breeding-barley-for-intensive-and-sustainable-agriculture-under-climate-change-scenarios> (visit on 07/08/2021)
- European Commission. n.d.-a. Sustainable agriculture in the EU. https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/sustainability_en (visit on 07/08/2021)
- European Commission. n.d.-b. Tackling climate change. https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/sustainability/environmental-sustainability/climate-change_en (visit on 07/10/2021)
- Kumar, R., V. P. Singh, D. Jhajharia, and R. Mirabbasi. 2019. Agricultural Impacts of Climate Change. Vol. 1. CRC Press. Boca Raton, FL. 322 pp. doi:10.1201/9780429326349
- Lejano, R., M. Ingram, and H. Ingram. 2013. Chapter 6: Narratives of nature and science in alternative farming networks. p.145–172. *in*: The Power of Narrative in Environmental Networks (Lejano, R., M. Ingram, and H. Ingram, eds.) MIT Press. Boston, MA. 225 pp. doi:10.7551/mitpress/9780262019378.003.0006
- Magdoff, F. and H. van Es. 2009. Building Soils for Better Crops: Sustainable Soil Management. 3rd ed. Sustainable Agriculture Network Handbook Series. Book 10. Sustainable Agriculture Research and Education. Brentwood, MD. 294 pp.
- Mazurek, B. 2021. 10 ways farmers can fight climate change. <https://cueso.org/article/10-ways-farmers-can-fight-climate-change> (visit on 07/08/2021)
- Mukhopadhyay, R., B. Sarkar, H. S. Jat, P. C. Sharma, and N. S. Bolan. 2021. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *J. Environ. Manage.* 280:111736. doi:10.1016/j.jenvman.2020.111736
- National Institute of Food and Agriculture. n.d. Sustainable agriculture programs. <https://www.nifa.usda.gov/grants/programs/sustainable-agriculture-programs> (visit on 07/15/2021)
- National Research Council. 2010. Advancing the Science of Climate Change. The National Academies Press. Washington, DC. 526 pp. doi:10.17226/12782
- Paull, J. 2011. Attending the first organic agriculture course: Rudolf Steiner's agriculture course at Koberwitz, 1924. *Europ. J. Soc. Sci.* 21:64–70.
- Sarker, M. N. I. 2017. An introduction to agricultural anthropology: Pathway to sustainable agriculture. *J. Sociol. Anthropol.* 1:47–52. doi:10.12691/jsa-1-1-7
- Smith, A. 2019. The importance of sustainable agriculture. <https://www.plugandplaytechcenter.com/resources/importance-sustainable-agriculture/> (visit on 07/12/2021)
- Smith, P. and P. J. Gregory. 2012. Climate change and sustainable food production. *Proc. Nutr. Soc.* 72:21–28. doi:10.1017/S0029665112002832
- Thornton, P., D. Dinesh, L. Cramer, A. M. Loboguerrero, and B. Campbell. 2018. Agriculture in a changing climate: Keeping our cool in the face of the hothouse. *Outlook Agric.* 47:283–290. doi:10.1177/0030727018815332
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. n.d. Do you know all 17 SDGs? <https://sdgs.un.org/goals> (visit on 07/10/2021)
- United Nations Framework Convention on Climate Change. n.d. IPCC special report on global warming of 1.5°C. <https://unfccc.int/topics/science/workstreams/cooperation-with-the-ipcc/ipcc-special-report-on-global-warming-of-15-degc> (visit on 07/05/2021)
- United Nations Framework Convention on Climate Change. 2016. Aggregate Effect of the Intended Nationally Determined Contributions: An Update. United Nations. Geneva, Switzerland. 75 pp.
- University of Vermont. n.d. Farming & climate change program. <https://www.uvm.edu/extension/sustainableagriculture/farming-climate-change-program> (visit on 07/08/2021)
- World Wildlife Fund. n.d. Sustainable agriculture. <https://www.worldwildlife.org/industries/sustainable-agriculture> (visit on 07/15/2021)
- Yang, C. C. n.d. Soil deterioration problem and improvement in Taiwan. https://works.ilepb.gov.tw/01003_W_01/download/new_t/20050630_1.html (visit on 07/10/2021) (in Chinese)
- Yang, C. Y. 2016. Did you know that Taiwan is one of the “big carbon emitter” countries? <https://www.thenewslens.com/article/51948> (visit on 07/08/2021) (in Chinese)

Sustaining Agriculture under a Changing Climate

Chwen-Ming Yang^{1,2,*} and Chiao-Ling Hsiao³

Abstract

Yang, C. M. and C. L. Hsiao. 2022. Sustaining agriculture under a changing climate. *J. Taiwan Agric. Res.* 71(3):185–197.

Concerning the three major factors: the number of people who make a living, the worth of food production, and the proportion of land used, agriculture is the world's largest industry, providing habitat and food for many species on the earth. When agricultural operations are sustainably managed, they can preserve and restore important habitats, help protect watersheds, and improve soil health and water quality. Unsustainable practices will have serious impacts on humans and the environment. In recent years, mounting physical evidence derived from rapid climate changes, including rising surface temperature, changing precipitation patterns, increasing intensity and frequency of extreme weather, and rising sea levels, have brought many adversities and natural disasters to various industries including agriculture. In particular, the current world population is still growing continuously, and the demand for agricultural products is constantly rising. Because of the potential threat of climate change, agriculture, which is deeply connected to the world economy, human society, and the ecological environment, has become the world's most critical protection frontline. This article aims to synthesize the strategies and measures for sustainable agriculture in a changing climate and some practical practices in the published literature to provide information on achieving sustainable agricultural management, and to summarize the opportunities and challenges for implementing sustainable agriculture in the context of climate change. Finally, it is concluded that only by formulating policies and implementation measures that integrate the interests of society, environment, and economy, the public and agricultural stakeholders will support and promote a sustainable agricultural system, and can also lead to agricultural sustainability in the ever-changing climate.

Key words: Sustainable agriculture, Climate change, Ecology and environment, Natural resources, Agricultural sustainability.

Received: August 2, 2021; Accepted: May 16, 2022.

* Corresponding author, e-mail: cmyang0616@gmail.com; cmyang@mdu.edu.tw

¹ Professor, Department of Smart and Quality Agriculture, Mingdao University, Changhua County, Taiwan, ROC.

² Director, Smart Farming Research Center, Mingdao University, Changhua County, Taiwan, ROC.

³ Associate Research Fellow, Division of Crop Science, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.