

因應氣候變遷強化社會－生態－生產地景 回復力與社區調適能力

文／圖 ■ 李光中 ■ 國立東華大學自然資源與環境學系副教授

范美玲 ■ 農委會花蓮區農業改良場研究員兼副場長

一、前言

近年全球各國鄉村地區受都市化、氣候變遷以及慣行農法等影響，出現農村生態環境劣化、經濟蕭條、糧食安全危機、農村社會老化、城鄉發展不均、農村傳統文化消失等問題，農業生態環境的維護和增進已成為全球關注議題。近年國內外各相關部門相繼倡議永續農業和創新農法，諸如：社區林業、氣候智能型農業（Climate-smart Agriculture, CSA）、生態農業、有機農法、自然農法、混農林業等，希望透過不同農法強化農業生態系統因應氣候變遷等衝擊的回復力，支持安全的糧食供給，並維護農村的生態、社會、經濟和文化環境。

在上述背景下，2010年在日本名古屋召開的第10屆生物多樣性公約締約國大會中，聯合國大學高等研究所和日本政府環境省共同啟動了「國際里山倡議夥伴關係網絡」。里山倡議的核心概念是「社會－生態－生產地景（socio-ecological production landscapes）」，希望透過農業生產地景的保全活用，達到經濟、社會和生態（三生）效益，以實現人與自然和

諧共生的生物多樣性愛知目標。所謂「保全活用」原是日文用語，即中文的「保育利用」，但「保全」兩字的中文涵意更突顯地景尺度中人地互動的依存性和完整性；「活用」兩字雖涵蓋利用，但「活」字更強調資源利用要具再生性和永續性。

因此，里山倡議特別強調應採用「地景取向（landscape approach）」的規劃方法，也就是將農業生產耕地、農村聚落與周圍環境，視為一種具有完整性和連結性的農業生態系統－「社會－生態－生產地景」。在社會－生態－生產地景中，農田裏的作物和其它物種的多樣性、棲地多樣性以及環繞農田周圍的地景多樣性，都需要透過增進農村社區的調適能力，以保全農業生態系統的完整性和連結性，並強化其回復力，以因應日益加劇的氣候變遷衝擊，維持農村社區經濟、社會和生態的永續性。

本文首先探討全球氣候變遷對鄉村社區農業生態系統的衝擊，繼而分析農業生態系統回復力和社區調適能力的內涵，最後提出強化

農業生態系統回復力和社區調適能力的策略，提供政府相關部門在鄉村地區推動里山倡議、自然保育和農村永續發展的政策規劃參考。

二、氣候變遷對鄉村地區農業生態系的衝擊

全球氣候變遷伴隨的風險，將使鄉村地區未來的農業生產環境益形脆弱，農村社區的農民將面對許多超過他們「正常」經驗的挑戰。全球各地將面臨更多極端天氣事件，諸如：強烈降雨、海平面上升、暴雨和乾旱的位移、氣溫升高等 (IPCC¹, 2012)。依據相關天氣預測，氣候變遷將使非洲南部和南亞的作物產量大幅降低 (2030 年前，前者玉米將減產 30%，後者的稻米、粟和玉米將減產 10% 左右) (Lobell et al., 2008)。中高緯度地區，未來因在地氣溫上升 1 ~ 3°C 的情形下，作物產量可能略增；然而在低緯度地區，作物產量則會減少 (IPCC, 2007)。氣候變遷對作物生產將有顯著影響 (表 1)，地方極端天氣和病蟲害突發等事件，將使年復一年的四季作物生產更加難以預測，需儘速採取調適性的經營措施加以回

應 (PAR², 2011)。

全球人口持續增加亦將加劇氣候變遷衝擊，學者預估 2050 年前全球人口預計將超過 90 億人，人類對糧食和其它農產品的需求將有增無減，也因此全球將面臨土地和水等自然資源短缺、都市化增加等問題。由於農業生產仍然是大部分農村社區 (約 25 億人口) 的主要收入和主要生計經營模式 (World Bank, 2008)，面臨氣候變遷所引發的負面連鎖效應，農業部門的相關政策和計畫需緊急採取更健全、更彈性的調適措施，以確保農村農民生計和糧食安全 (FAO³, 2012)。

依據我國 2012 年訂定之《國家氣候變遷調適政策綱領》，近十餘年來臺灣極端降雨事件大幅增加，造成許多生命財產損失。氣候變遷對農、林、漁、牧等生產環境以及生態系、物種與基因、保護區等生物多樣性都將造成負面衝擊 (經濟建設委員會，2012)。我國氣候變遷調適政策將「農業生產」及「生物多樣性」合併為一領域，其總目標為：「發展適應氣候風險的農業生產體系與保育生物多樣性」，調適策略包括：「達成長期自然資源養

表 1、氣候變遷對作物生長的預測影響舉例 (FAO, 2013)

事件	潛在影響
大部分地區冷期變暖和短、白天和晚間變熱 (幾乎確定)	原較寒冷的地區產量增加；原較溫暖的地區產量減少；新病蟲害和病原發生率增加；對農作生產有潛在影響
大部分地區的豪雨事件頻度增加 (非常有可能)	作物受損；土壤侵蝕；土壤浸水導致耕地無法耕作
乾旱影響地區增加 (有可能)	土地劣化和土壤侵蝕；作物受災導致低產量；耕地減少
劇烈的熱帶氣旋 (颱風) 活動增加 (有可能)	作物損害
極端高海平面上升發生率增加 (排除海嘯) (有可能)	灌溉水、河口和淡水系統鹽化；耕地喪失

資料來源：IPCC, 2007; FAO, 2008

護之永續目標，加強農業的生態服務功能，維持優良農地之適地適種，以平衡生態環境之涵養，強化農地資源之有效利用」。上述總目標和相關策略雖然可與國際發展趨勢接軌，然而如何兼顧長期養護自然資源、加強農業生態服務功能和農地資源有效利用等多元目標，則有賴整合性的資源規劃，將農業生產環境視為一「農業生態系」加以經營，透過強化其農地環境友善耕作、物種多樣性保育和周圍地景維護之關聯性，以增進農業生態系之回復力。

三、農業生態系回復力與社區調適能力

(一) 農業生態系的定義

Cabell and Oelofse (2012) 賦予農業生態系一個廣義的定義：「為了生產、運送和消費糧食、薪材和纖維而經營的生態系。其範圍含生產的物理空間，以及致力於將糧食帶到餐盤、將纖維運到工廠、將薪材送到爐邊的資源、設施、市場、機構和人群」。Wood et al. (2002) 則認為農業生態系應包括非糧食價值的資源，將農業生態系定義為：「為了生產糧食和其他具社會和環境服務價值的非糧食物品，而由人類經營的生物和自然資源系統」。美國環境保護署則以組成要素的觀點，將農業生態系定義為：「由作物、牧場、家畜、其它動植物、大氣、土壤和水的動態組合，農業生態系包含耕地以及未經耕作的土地、水系、農村聚落和野生物等較大範圍的地景元素」(US EPA, 2010)。本文著眼地景和生態系層級內，如何透過農業生產方式的經營，以強化農業生

態系統的回復力，爰參考上述定義，將農業生態系界定為：「為了生產糧食和其他具社會和環境服務價值的非糧食資源，由人類經營的生物和自然資源系統，包括農作物、牧場、家畜、其它動植物、大氣、土壤和水所組成的耕地，以及未經耕作的土地、水系、農村聚落和野生物棲地等較大範圍的地景」，並進一步將農業生態系分為「物種多樣性」、「農業耕地」、「生態系和地景」等三個生態系層級。

(二) 生態系之回復力與脆弱度

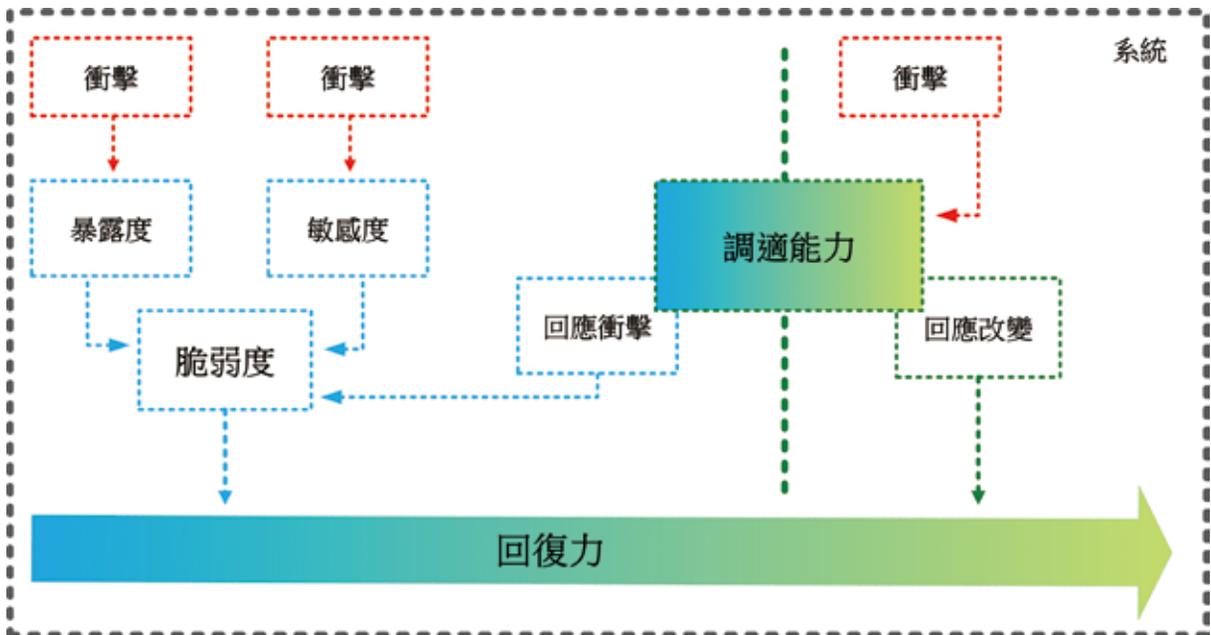
回復力 (resilience) 可以描述為系統、社區、家戶或個人得以避免、減輕或克服風險以及承受衝擊後恢復的能力。回復力可以視為脆弱度 (vulnerability) 的相反詞，然而回復力更具有時間尺度的概念。一個系統具回復力，是指對衝擊較不脆弱，而且可以隨著時間從衝擊所造成的影響中，經調適而回復。因此，回復力的基本要素是調適能力 (adaptive capacity)，而調適能力係透過從衝擊中回復以及回應改變等兩方面，以確保系統的「彈性」(圖 1, Gitz and Meybeck, 2012)。例如，設置種子保存機構，能協助喪失作物的農民在下一季取得作物種子 (回應衝擊)，同時協助農民取得更能適應新環境的種子 (回應改變)。

氣候衝擊的影響不僅取決於衝擊本身的強度，也和受到該衝擊系統之脆弱度有關。脆弱度可以定義為受負面影響的傾向 (IPCC, 2012)。由於脆弱度是複雜的概念 (Fellmann, 2012)，需要跨尺度和跨面向加以考量 (Gitz

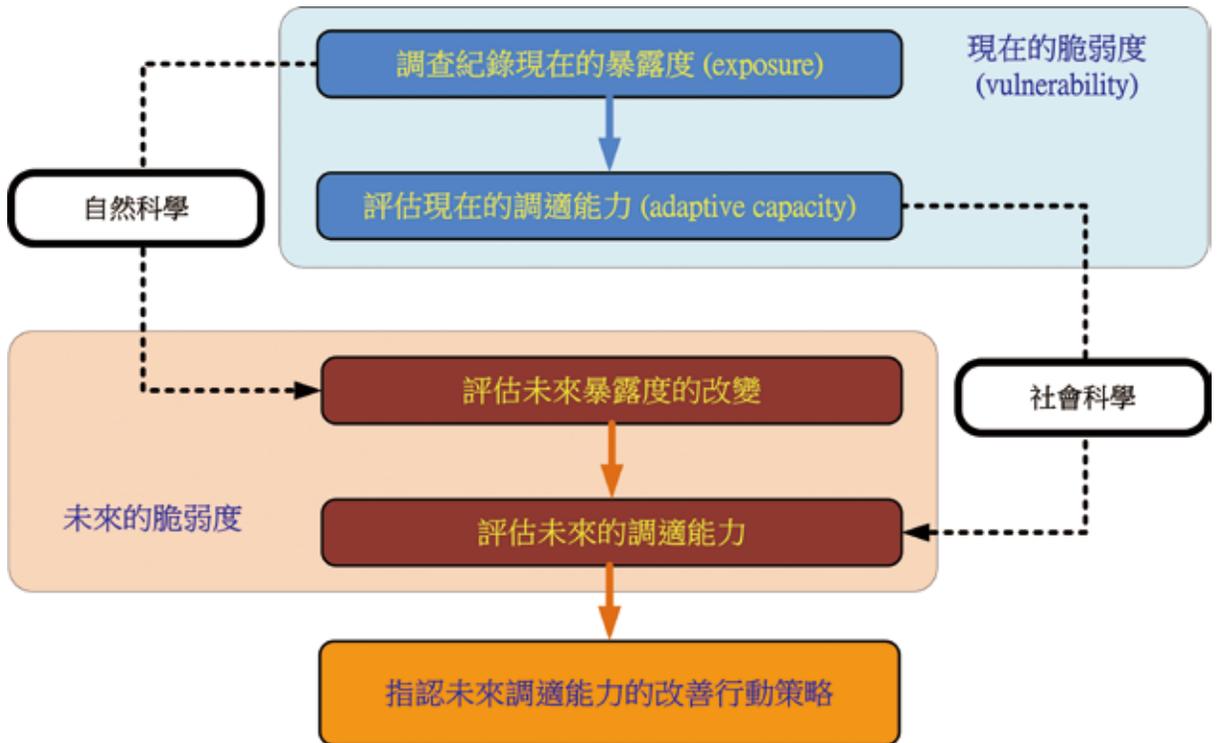
and Meybeck, 2012)。一個系統對於特別型態風險之「特別的」脆弱程度，可用該系統對應於該風險相關的潛在衝擊之暴露度 (exposure) 和敏感度 (sensitivity) 加以分析，同時也與該系統克服該衝擊影響的調適能力有關 (圖 1; Gitz and Meybeck, 2012)。此脆弱度和調適能力的評估和行動策略之建議，通常需要由自然科學與社會科學進行跨領域合作研究 (圖 2)。

在一個特定的系統中，某一面向受到的衝擊可能會擴散到其他面向。例如，當作物受到衝擊，經濟和社會面向也會受到影響，衝擊的擴散效應可以是放大的或減緩的，取決於社經政策和制度是否完備。在很多情形下，不同性質衝擊的效應之間可以呈正相關，在這種情形下，減少對某一類衝擊的脆弱度，有助於降

低對另一類衝擊的脆弱度。此外，生態系統可以用不同的尺度加以定義，較高階尺度的系統通常由一些較低階尺度的不同系統所組成，而某一系統層級的脆弱度取決於較低和較高系統層級脆弱度的綜合影響。以生物物理面向而言，農業生態系中的地景系統是由農業耕地系統和非耕地系統所組成，較高階系統的脆弱度除了取決於次系統的脆弱度，也取決於其他相連結的系統 (包括更高階系統) 對衝擊是否脆弱或敏感。例如一處農業耕地對某一類風險的脆弱度，為該耕地本身脆弱度加上耕地所在地景的脆弱度複合而成，而這個脆弱度又同時受該地景中其他耕地與非耕地之脆弱度的影響，以及該地景所在之較高階層系統的影響 (FAO, 2013)。



▲圖 1、回復力的組成 (Gitz and Meybeck, 2012)



▲圖2、系統脆弱度及調適能力之評估與行動策略的研究架構圖 (Sutherland et al., 2005)

(三) 生態系之調適能力

IPCC 第 4 次評估報告中，將調適能力 (adaptive capacity) 定義為：「一個系統調適氣候變遷以減輕損害、把握機會或因應後果的能力」(IPCC, 2007: 869)。IPCC 第 3 次

評估報告中，詳細分析調適能力的 6 項決定因子包括：經濟資源、技術、資訊和技能、基礎建設、機構和制度、公平性等 (IPCC, 2001; Smit et al., 2001; 表 2)，以下引述其要點如次：

表 2、生態系調適能力的決定因子 (Smit et al., 2001)

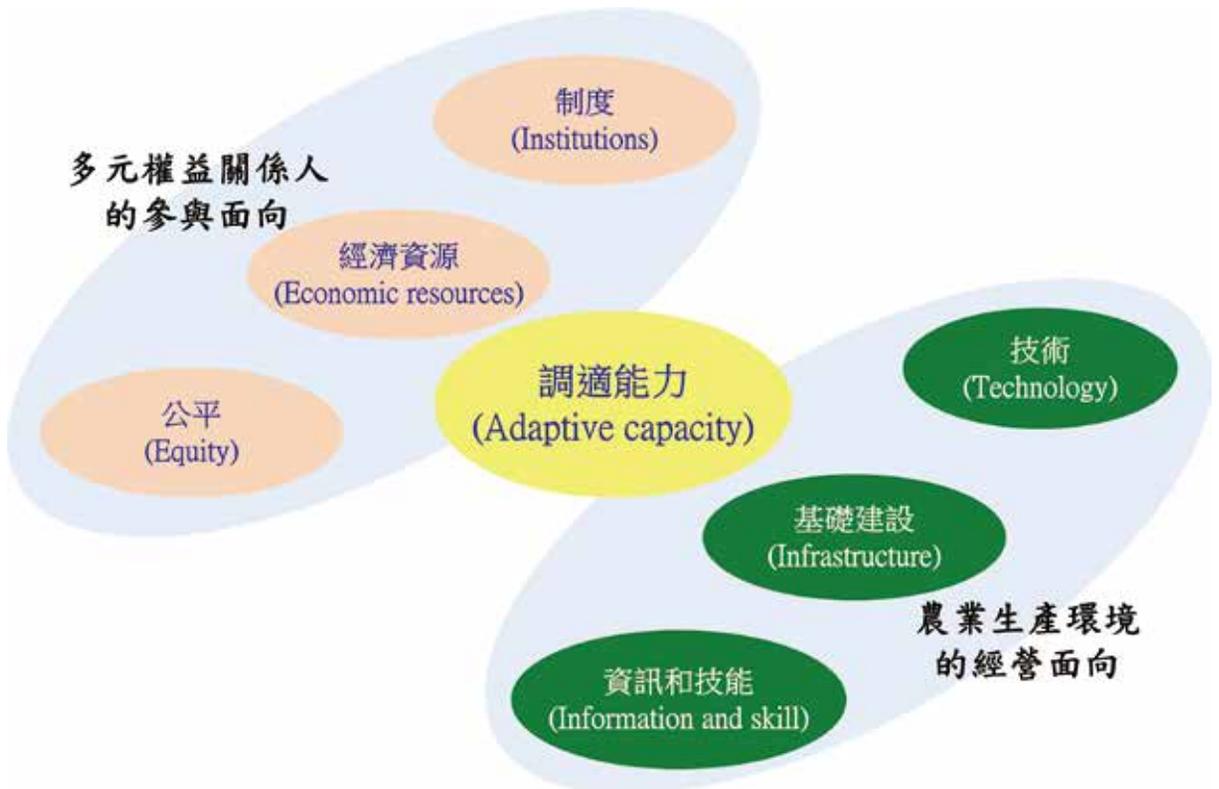
決定因子	理由
經濟資源	<ul style="list-style-type: none"> ●較大的經濟資源可增加調適能力 ●財力資源缺乏將限制調適能力
技術	<ul style="list-style-type: none"> ●技術缺乏將限制潛在調適方案的選擇範圍 ●技術較不先進的地區，較不可能發展和/或實施技術調適 (Technological Adaptation)
資訊和技能	<ul style="list-style-type: none"> ●缺乏資訊豐富、具技能和訓練有素的人員將其衝擊降到最低 ●資訊通訊較發達的地區較可能適時調適
基礎建設	<ul style="list-style-type: none"> ●較多種類的基礎建設可提供較多行動選擇，進而增加調適能力
制度	<ul style="list-style-type: none"> ●建全的社會機構有助於減少氣候相關風險的衝擊，進而增加調適能力 ●政策和法規可以增進調適能力
公平性	<ul style="list-style-type: none"> ●資源的公平分配可增加調適能力 ●資源的可獲取性和權屬認定等兩者都重要

1. 經濟資源：國家和群體的經濟狀況，不論以經濟資產、資金資源、財政方法、財富或貧窮等名詞概念表示，明顯都是其調適能力的決定因子之一。一般而言，富有國家比貧窮國家更有能力準備所需經費，以克服氣候變遷衝擊。雖然貧窮不應視為脆弱度的同義詞，但貧窮影響一個地區克服衝擊的能力，窮困的地區比較缺乏身分和權力來選擇調適行動。許多證據顯示，貧窮國家和弱勢團體對災害的調適特別脆弱。
2. 技術：一個國家缺乏技術將可能嚴重阻礙其選擇和推動調適方案的能力，不同層級（例如從地方到中央）和不同部門的調適能力，都可能受到技術可得和可及程度的影響。許多氣候變遷的可能調適策略，與技術皆有直接或間接的關聯性（例如預警系統、防護結構、作物育種和灌溉、聚落遷徙或重新設計、洪水控制方法等）。因此，一個社區目前的技術水平以及技術發展能力，是其調適能力的重要決定因素；社區是否開放於新技術利用，是社區是否能強化調適能力的關鍵點。例如，在探討亞洲農業和未來氣候變遷的相關研究中指出，培育耐抗熱的稻米品種是非常重要的，而有能力發展新技術就有助於增進調適能力。
3. 資訊和技能：成功的調適需要獲得可用方案的知識，以及評估和推行最適合方案的技能。目前天氣災害資訊已變得更可取得，有助於研究、討論和推動調適性策略，但國家中若缺乏訓練有素的人，將影響其評估推行調適性方案的能力。一般而言，知識程度高的國家常較開發中國家具有較大的調適能力。因此，需確保有關氣候變遷和調適的資訊，能在國家和區域層級廣為傳播，同時在不同層級中設置公眾論壇，以溝通、討論來激發創新的調適策略。
4. 基礎建設：調適能力也與社會基礎建設（social infrastructure）有直接相關。例如，菲律賓的民答那峨島使用水力發電生產90%以上的電力，供應地方發展和工業所需。然而在 El Niño 影響期間，乾旱導致水力發電量不足，嚴重增加該區域經濟脆弱度。
5. 制度：研究顯示，具有健全社會制度的國家，通常比缺乏制度設計的國家，具有較大的調適能力，而不適當的制度設計，將損害調適能力。相關研究亦顯示：制度面的限制影響了越南海岸社區獲取資源的權力和可及性，因而增加了脆弱度；孟拉加的糧食生產、聚落等地區，對氣候變遷特別脆弱，顯示現有的制度設計對於調適能力有很嚴重的限制，制度面的不完善加上經營管理能力的弱點，使得孟加拉想要降低氣候變遷的脆弱度變為極度困難；拉丁美洲的案例也呈現，不一致和不穩定的農業政策增加了糧食生產部門的脆弱度，而經濟和政治方面的劇烈變動，致使農業系統對氣候變遷更加脆弱。
6. 公平：一般認為，若社會機構和制度設計能夠確保資源得以在社區、國家或全球各

層級公平分配，將有助於調適能力。在技術創新的研究案例中發現，資訊的差異傳播將阻礙組織調適策略的推動；此外，對年齡、性別、種族、教育程度和健康條件等不同社群加以不同等的對待，也會影響其組織因應風險的能力。

上述 6 項決定調適能力的因子並非各自獨立，調適能力是上述因子的組合結果。本文將 6 項決定調適能力的因子，進一步歸類為「權益關係人的經營面向」和「農業生產環境的經營面向」，前者包括制度、經濟資源和公

平性，以社會科學為主要探究方法；後者包括農業生產環境涉及的新技術、基礎建設、資訊和技能，以自然科學為主要探究方法（圖 3）。而所謂「權益關係人（stakeholder）」，係指任何握有「籌碼（stake）」（權力和影響力）的人或團體，以及「受決策結果影響」的人或團體（Bryson and Crosby, 1992; Healey, 1997），前者常包括政府農業及保育部門、與保育及農產品產銷有關的民間組織和企業、具農業技術、自然保育、社區參與等專業的學者專家等；後者常指個別農民和農村社區。



▲圖3、調適能力的決定因子（依據IPCC, 2001; Smit et al., 2001）

四、強化農業生態系回復力與社區調適能力的策略

Mijatovic et al. (2013) 整理全球 172 件有關農業生物多樣性貢獻於農業生態系回復力的個案和計畫，歸納出「生態系或地景」、「農業耕地」、「物種多樣性」等三種層級的調適策略以及相對應的農業生產模式和措施。該研究強調除了各層級的調適策略外，更應著力於層級與層級間的調適策略。以下分述農業生態系各層級與層級間的調適策略：

(一) 農業生態系各層級的調適策略

首先，生態系和地景層級的經營目標，在於透過生態系保護和復育、地景復育和永續使用自然資源等策略，以減緩和緩衝氣候變遷的效應；其次，農業耕地層級的經營目標，主要透過水、土壤、作物、綠籬及相關農法的多樣化和永續經營，以強化耕地生產環境的回復力；第三，物種多樣性層級的經營目標，主要透過保護、使用和再分配作物的種內和種間多樣性，以強化農業系統的回復力以及維持逆境下的生產活動 (PAR, 2011)。Mijatovic et al. (2013) 歸納出上述三種層級的調適策略如表 3。

表 3、強化農業生態系回復力之各面向調適策略 (Mijatovic et al., 2013)

生態系或地景

1. 生態系保護和復育 (64)
 - 集水區復育
 - 重新造林
 - 棲地保護
2. 水和土壤調整經營 (72)
 - 水收集和灌溉
 - 再植生、植樹及其他方法對抗土壤侵蝕

農業耕地

1. 多樣化 (82)
 - 種植較高大多樣性的作物
 - 混農林業
2. 調整農業措施 (88)
 - 土壤肥沃度改良 (例如覆蓋作物和敷蓋)
 - 作物週期調整 (改變種植日期) 以及耕種新的作物類型組合 (例如間作)
 - 雨水收集 (例如滲水坑以及栽植坑)

物種多樣性

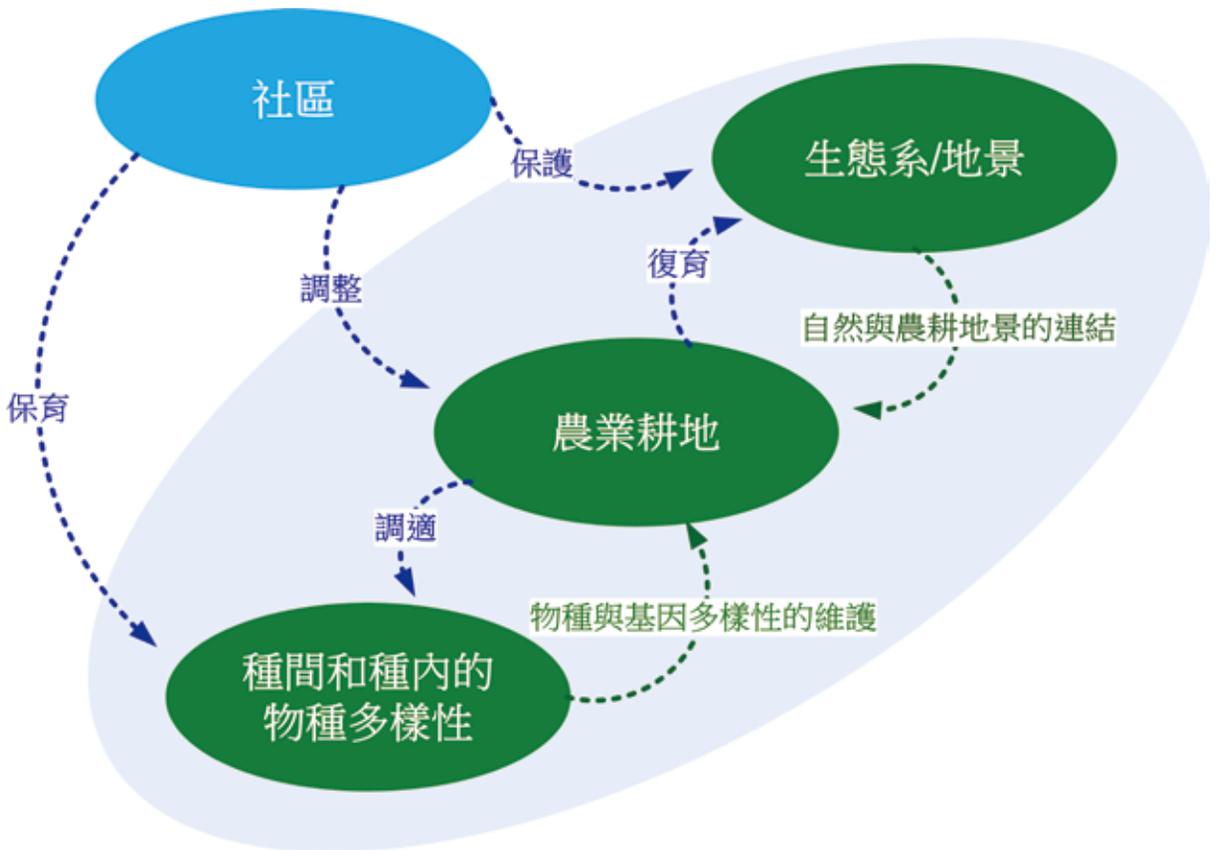
1. 使用耐抗性物種和不同品系以及改良耐抗性 (83)
 - 使用、保育和推廣耐抗性物種和不同品系 (例如抗乾旱、鹽份、浸水等作物品種) 以及短期作物
 - 透過選種和育種技術改良作物耐抗性

註：(n) 表示全球 172 件案例中，採用該措施的案例數

(二) 農業生態系跨層級的調適策略

PAR (2011) 指出，除了各層級採取適當的調適策略，農業生態系回應氣候變遷尚需要一種跨層級 (cross-scale) 的動態策略，包括：「強化自然與農耕地景的連結」、「強化農業

耕地對於保護和復育生態系的支持性角色」、「增進物種與基因多樣性的維護」以及「社區參與的重要角色」，以增進農業生態系的整體回復力 (圖 4)。以下引述 PAR (2011) 相關策略內容：



▲圖4、農業生態系中不同層級間的動態調適策略 (PAR, 2011: 20)

1. 強化自然地景與農耕地景的連結：

在許多傳統農業地景中，自然野地和耕地常整合於在地管理系統中，以強化兩者的互惠關係。例如分布廣泛的輪耕 (游耕) 措

施，很難歸類於人為耕種地景或自然原野地景。在傳統耕地中，當作物種植後，許多野生生物也隨之棲息和覓食於其間。不同型態的森林或一些特別樹種，雖非特意種植，但也

受到維護、管理並使用於糧食、燃料、藥物、建材和其他生活所需。具有對極端氣溫和鹽份抗耐度的野生物種，未來更將成為社區的重要資源。例如在孟加拉的易洪泛地區，開始種植耐抗鹽份的蘆葦品種、耐抗鹽份和乾旱的水果和木材樹種，以減輕受洪患和海平面上升的災害，確保世代的長期生計所需。具體工作還包括設置社區苗圃、擴展原住民的可可、芒果等水果以及紅樹林。

2. 強化農地耕作對於保護和復育生態系的支持性角色：

永續農業可減輕氣候變遷對脆弱生態系的負面衝擊，並增進劣化地景的復育。例如在印度的 Rajasthan 地區，過去因乾旱和環境劣化，嚴重危害在地社區的生計安全，一項由社區主導的集水區復育計畫，重新設置了傳統的雨水收集系統——‘johad’。Johad 是用泥土圍成的簡單窪地，建造在河流上游的小支流中，用以收集雨水，除了可以供給灌溉用水、生活飲用水、牲畜和野生物用水外，並且可以補充地下水源和促進森林生長。總計在 1,000 處村落回復或設置超過 5,000 個 johad，結果復育了 Avari 河，同時也回復本土鳥類族群。又如在中美洲宏都拉斯和尼加拉瓜，愈來愈多農民捨棄火耕（刀耕火種，slash-and-burn），而採用 FAO 專家與當地農民在 Quezungal 村發展的新農法——Quezungal 刀耕敷蓋混農林業系統（Quezungal slash-and-mulch agroforestry system），即不再放火燒林以減少碳排放，而以彎刀砍除小樹和雜草，留下大樹蔽護農地，並維持以樹和灌木的殘枝、種子以及作物殘餘

作為農地的敷蓋，提供有機堆肥，並保護土壤和作物免受沖蝕災害。

3. 增進物種與基因多樣性的維護：

在農地中維持高度多樣性的農耕活動，有助於強化農業系統的回復力。具有多樣性的物種、作物和家畜的農業系統，有助於就地維護具調適性生物族群的多樣性和演化。在許多情形下，野外近緣種的基因滲入（introgression）或是異花授粉（cross pollination），有助於產生作物的新基因型（genotype）或是維護作物的基因庫。由庭園、田地、果園、邊界和生態棲位所組合而成的農業地景鑲嵌斑塊，常有助於就地保育基因和物種的農業多樣性，進而增進農地面對環境變遷的調適能力。基因多樣性的重要性，於尼日和馬利共和國在過去維護傳統的珍珠玉米和高粱屬品種的案例中，顯示這段期間兩個國家雖經歷旱災，上述作物品種隨之改變，但作物的總多樣性和平均產量大致都能維持不變，顯示這些多樣的品種具有足夠的調適性，使農民能夠度過乾旱期，地方機構也樂於繼續採用這種能維持多樣性的耕種方式。

4. 社區參與的重要角色：

農業生物多樣性的調適性經營，涉及個別農民和農村社區等兩個層次。在個別農民的層次，不同農民或將各自採用各種不同的作物和農業耕作方式，然而針對水、土壤和生物多樣性的調適性經營，則需要以生態系或地景層級的視界，透過社區居民合作，以組織力（群策群力）進行集體貢獻。全世界已有愈來愈多社區組織投入農業生物多樣性和地景的永續經營計畫，例如在尼日，Tuareg 游

牧族群透過牧原經營協會來保護和改善他們的放牧地，進而增進環境對氣候變遷的回復力。又如在厄瓜多的山區，為了避免不當的農耕和放牧造成生態系的衰退，一些新的社區本位（community-based）計畫已開始實施；此外，肯亞北部的 Turkana 游牧民族以及坦桑尼亞 Shinyanga 區的 Sukuma 農牧民族，皆透過增進在地組織對自然資源的妥善經營，復育了原本劣化的林地，其中 Turkana 復育了 3 萬公頃林地，Sukuma 復育了 25 萬公頃林地，減緩了乾旱可能造成的風險。此外，為了增加農業系統多樣性，亦需要鼓勵社區從事基因資源的經營。許多社區已開始設置社區種子銀行，推廣

傳統的耐抗逆境作物品種。例如在印度的北方邦（Uttar Pradesh），設置種子銀行以促進在地糧食體系的多樣化，已成為該區對抗洪水災害的機制之一。🌱

參考文獻（請逕洽作者）

備註：

- 1、IPCC：政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel Climate Change）
- 2、PAR：農業生物多樣性研究平台（Platform for Agrobiodiversity Research）
- 3、FAO：聯合國世界糧農組織（Food and Agriculture Organization）

