



提升農業韌性，邁向調適生產

陸明德¹ 李長沛¹ 陳柱中¹ 何佳勳¹ 王毓華¹

一、臺灣氣候變遷分析與未來推估

國家科學及技術委員會與環境部於今（113）年5月發表「國家氣候變遷科學報告2024：現象、衝擊與調適」，根據百年測站資料分析，臺灣平均氣溫於過去110年（1911～2020年）上升約1.6°C，升溫趨勢由每10年約0.15°C增加至0.27°C，冬半年（11～4月）增溫趨勢較夏半年（5～10月）明顯，日最低溫的增溫趨勢亦較日最高溫增溫明顯。季節變動部分，夏季提早開始、延後結束，最高溫日期提早，最高氣溫升高。冬季延後開始、提早結束。最低溫日期延後，最低氣溫升高。冬季寒潮發生的頻率和低溫持續日數皆顯著的下降。

未來氣候變遷推估以1995～2014年氣候值為基期，短期（2021～2040年）將增溫0.6°C～0.8°C，長期（2081～2100年）於高排放情境將增溫3.4°C，世紀末極

| 註1：農業部農業試驗所。

端高溫（日高溫超過36℃天數）增加74.6天，夏季超過210天，冬季少於30天。年平均降雨增加15%，乾季（11~4月）降雨減少10~15%，濕季（5~10月）降雨增加5~15%，最長連續不降雨日增加10天，年最大一日降雨量降雨強度將增加28.6%。影響臺灣颱風個數減少50%，周遭強颱出現的頻率增加60%，臺灣陸地上颱風降雨強度增加40%。

二、國家氣候變遷調適架構

臺灣永續發展目標於2018年制定，計有18項核心目標，其中「核心目標13：完備減緩調適行動以因應氣候變遷及其影響」著眼於完備減緩與

調適行動，包括增進氣候變遷調適能力、強化韌性並降低脆弱度、執行溫室氣體階段管制目標、提升氣候變遷永續教育與民眾素養等，藉此因應氣候變遷及其影響。

112年2月「溫室氣體減量及管理法」名稱修正為「氣候變遷因應法」，納入2050年淨零排放目標，降低與管理溫室氣體排放，制定氣候變遷調適策略。定義氣候變遷調適為「人類與自然系統為回應實際、預期氣候變遷風險或其影響之調整適應過程，透過建構氣候變遷調適能力並提升韌性，緩和因氣候變遷所造成之衝擊或損害，或利用其可能有利之情勢」。該法新增調適專章，明定政府應定期公開氣候變遷科學報告，擬定

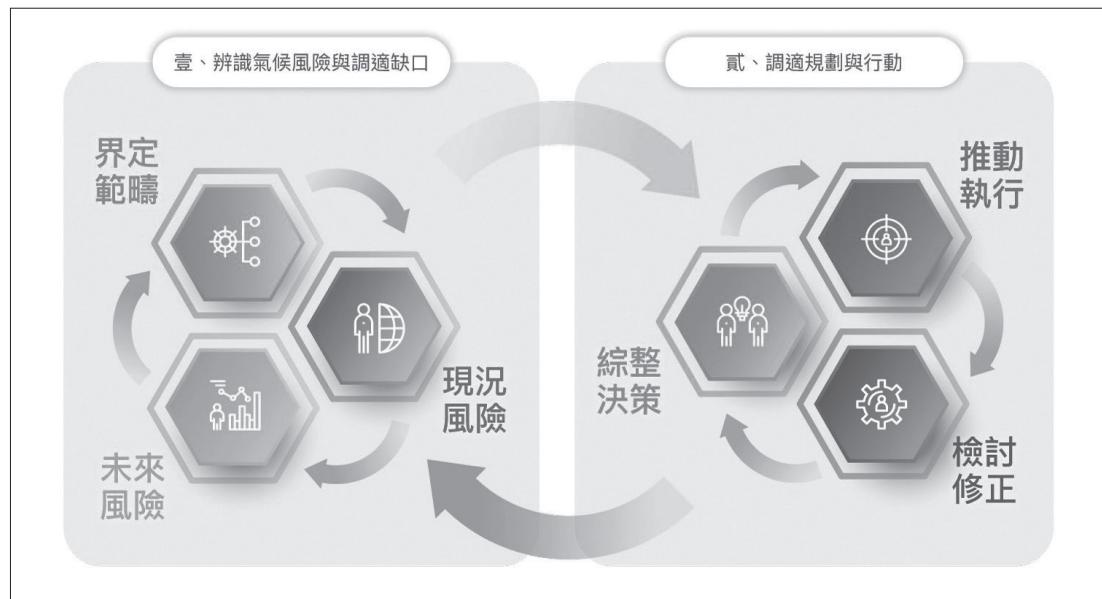


圖1. 國家氣候變遷調適架構。

圖片來源：國家氣候變遷科學報告2024：現象、衝擊與調適。

國家氣候變遷調適行動計畫，每年編寫調適行動方案成果報告對外公開。

第三期國家氣候變遷調適行動計畫（112年—115年）採用「固定暖化情境設定」作為「國家調適應用情境」，優先採「2021～2040年升溫1.5°C、2041～2060年升溫2°C」，作為各部門進行風險評估與辨別調適缺口之共同參考情境。國科會訂定「國家氣候變遷調適架構」，將調適工作分為「辨識氣候風險與調適缺口」及「調適規劃與行動」2階段6構面，第1階段3個構面，分別為界定範疇、檢視資源及現況氣候風險、評估未來氣候風險，第2階段3個構面包括綜整決策、推動或執行調適選項、檢討或修正調適選項，各個階段可以同時進行或採以不同的順序循環（圖1）（國科會和環境部，2024）。

調適分為應付式（cope）、漸進式（incremental）、與轉型式（transformative），應付式調適為對受氣候變遷影響的社會生態系統，仍可處於原本狀態或正常運作，漸進式調適為對社會生態系統進行細微小規模的調整，增強對氣候變遷影響的防護能力，轉型式調適為透過改善社會生態系統的基本屬性，以調適氣候變遷及其影響。目前調適研究領域仍主要探討漸進式調適的規劃與執行，希望在氣候變遷下仍可維護現有系統、發展路徑和行政慣例（國科會和環境部，2024）。

三、農糧產業氣候變遷調適

氣候變遷對農業造成的衝擊，於高溫情形下，水稻產量呈現減少趨勢，花卉開花時序改變，果樹之果實產期提前或延後，及品質的降低，因夏季高溫期延長，夏季蔬菜生產品種少，病蟲危害增加。降雨頻率改變會影響蔬菜及果樹之產量，降雨量不足會造成農作物缺水，降雨強度過大會直接破壞作物外觀與品質（環境部，2023）。

近年氣象觀測資料顯示，臺灣農耕環境已逐漸貼合上述未來氣候變遷情境，氣候所造成農業災損也逐漸改變，例如2016年後侵臺之颱風次數明顯減少，水資源不足下發生2020～2021年大乾旱，暴雨、暖冬及夏季高溫頻繁發生（國科會和環境部，2024）。農業部農業試驗所（簡稱農試所）分析2011～2020年不同災害別造成農糧產業平均受損金額，以颱風95.8億元為最高，其次為雨害45.8億元，低溫害16.7億元，另乾旱（11.7億元）及高溫（1.0億元）逐漸成為主要致災類型之一。

自113年開始，由農試所、農業部各區農業改良場、農業部種苗改良繁殖場、農業部茶及飲料作物改良場等共10個單位重新檢視轄區作物品項，針對水稻、茶、雜糧、果樹、蔬菜等16種指標（大面積、高風險）作物品項，強化風險對應調適技術，建

立實證場域驗證，並同時進行重要病蟲害調查與發生預測。

國家災害防救科技中心(NCDR)以國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫(TCCIP)」，應用IPCC情境產製之臺灣未來區域氣候變遷之降尺度資料為基礎，開發農業氣候情境查詢圖臺，提供現況與不同溫室氣體排放情境下的氣候推估資料，讓使用者進行風險分析。AR5版本提供溫室氣體排放情境代表濃度路徑RCP4.5(中等穩定)與RCP8.5(高排放)等2種情境，可查詢2030、2040、2050年等3個時期；AR6版本提供全球溫度上升情境全球暖化程度(GWL)1.5°C(短期，2021~2040年)、2°C(中期，2041~2060年)、4°C(長期，2081~2100年)等3種情境，可推估不同空間與時間的氣候值指標、雨量門檻、溫度門檻等氣候資料。舉例來說，以RCP8.5情境推估臺中市大里、烏日、霧峰區

7、8月平均高溫，現況、2030年、2040年、2050年的溫度值分別為32.8°C、33.7°C、34.1°C、34.5°C；以全球暖化1.5°C、2°C、4°C情境推估的溫度值分別為33.6°C、34.0°C、35.5°C，未來夏天炎熱高溫更趨明朗，對水稻栽培產生衝擊(圖2)。

為模擬未來氣候條件進行試驗，農試所建置「低溫逆境篩選設施」可進行10°C以下模擬寒害之試驗，有效提升低溫逆境的選拔效率；建置「高溫逆境篩選設施」可控制氣溫在39°C以上，有效進行大量試驗材料篩選；建置「多重逆境篩選設施」可進行高、低溫，高、低濕度，淹水、強風、乾燥等環境變化對病害發生的影響試驗。於高溫逆境篩選設施內種植45個水稻推廣品種，進行2年4期作試驗，配合電阻抗式流式細胞儀檢測花粉活力技術、非破壞性紅外線熱影像光譜之植物表型分析、與光合作用分析技術，提供高溫忍受性篩選的

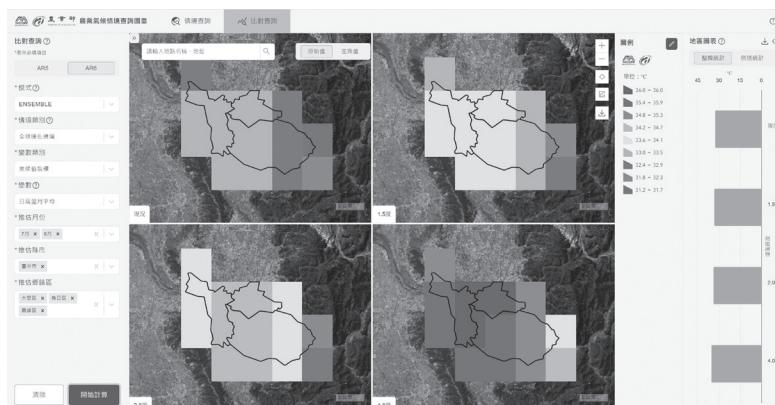


圖2. 臺中市大里、烏日、霧峰區7、8月平均高溫現況與全球暖化1.5°C、2°C、4°C情境下的推估數值。
圖片來源：農業氣候情境查詢圖臺。

依據。經多年期的評估結果顯示，桃園3號、桃園5號、台南16號在高溫下有較高的稔實率，其中，台南16號、桃園5號高溫下有較高的完整米率，為高溫生長環境推薦種植品種。

有關水稻整體調適作為分為3個階段，短期為調整種植時間、採用早熟品種，中期為加強更新耐高溫品種，減緩對一期作生產衝擊，長期為建立品種地圖，以專區計畫生產。農試所整理近年韌性農業水稻研究計畫成果顯示，高溫環境下利用日夜輪灌調適技術可提升完整米率及減少未熟米率，透過調整施肥量及施用時期，可減少白堊質率。台南16號及台農74號等2個品種在慣行栽培或調適栽培條件下，對於高溫逆境具有較強之抗耐性，另外導入耐熱性基因也可達到提升稔實率及穩定品質的作用。針對低溫逆境，台梗14號、台南11號、台南16號、台東33號、台農71號和台中秈10號等水稻優良推廣品種，以流動水處理以提高水溫，可增進水稻對低溫逆境的韌性。鑑於降雨型態改變，面臨水資源分配不均的隱憂，積極導入各項與水分利用效率有關的應變措施，中興大學已建立節省10%、15%灌溉水的間歇灌溉模式，臺南區農業改良場則配合早熟稻及調整栽培期應用，於一期作具節省用水效益。臺中區農業改良場（簡稱臺中農改場）稻麥輪作新型態的耕作制度，也具有減少用水量及增加收益之

效應。另外，建立水稻乾式直播栽培管理系統，以節省育苗成本、栽培初期的用水量，也有省工效果。

果樹產業整體調適作為分為3階段，短期為導入新開發耐逆境調適技術，減緩衝擊，中期為更新低需冷性等耐逆境品種，完善種苗及配套栽培技術，長期為調整溫帶果樹產業，加強熱帶果樹研究推廣。農試所整理近年韌性農業果樹研究計畫成果顯示，在升溫 1.5°C 方面主要的影響層面是暖冬導致溫帶及亞熱帶果樹的開花異常問題。甜柿將現有的催芽技術進行改良使其在處理時機及倍數更加精確，高接梨夏季異常的高溫，導致梨蜜症的產生，在著果後至套袋期間噴灑氯化鈣或螯合鈣資材，或是利用套袋、活動式遮陰設備、噴霧降溫有改善的作用。龍眼目前已用催花劑（氯酸鉀）且在世界各國廣泛使用，荔枝短期策略是以修剪及控梢技術讓其低溫需求量略為減少，中期策略是南部更換極早熟品種，中部更換早熟品種，長期方面是育出低溫需求低且消費者最容易接受的品種。在水資源減少10%的情境下，番石榴及木瓜已研發節水灌溉及簡易過濾生產體系。在災變天候增加方面，寒害是近年來面臨較大的問題，芒果利用摘穗及除葉等技術進行產期調整，蓮霧搭建設施進行增溫處理，高接梨可以調整嫁接時間與套袋等調適技術。

有關個別作物調適技術開發部分，針對氣溫上升 1.5°C 之高溫逆

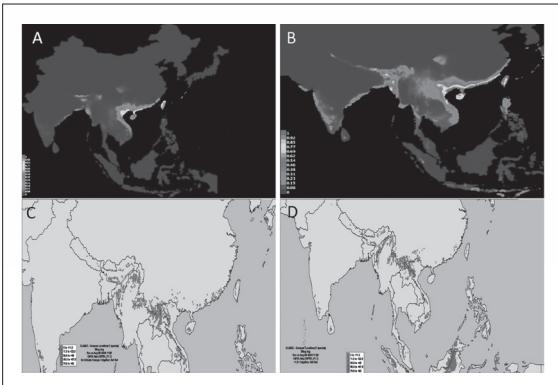


圖3. 荔枝椿象於臺灣及鄰近國家之潛在適生區分布預測，(A)以MaxEnt分析20年平均氣象資料之荔枝椿象族群發生分布概況；(B)2030年氣象資料模擬荔枝椿象族群發生之分布差異；(C)以CLIMEX分析20年平均氣象資料之荔枝椿象族群發生分布概況；(D)模擬溫度上升1.5°C情境下荔枝椿象族群發生之分布差異。

境，花椰菜夏季生產可運用覆蓋資材及簡易遮光設備，以提高結球率和採收整齊度。高接梨利用噴施鈣及噴霧降溫等調適技術，可減緩梨蜜症發生率約20~30%。高溫情境會影響作物生產，也會改變有害生物的世代更替頻率及地理分布區域，藉由建立物種適生區預測分布模型（圖3），研擬氣溫上升1.5°C情境之3種水稻（褐飛蝨、瘤野螟及馬來亞黑椿象）、2種荔枝（荔枝細蛾與荔枝椿象）、1種玉米（秋行軍蟲）及3種柑橘與鳳梨（柑

橘葉蟻、鳳梨嫡粉介殼蟲與亞洲柑橘木蝨）之害蟲分布地區整合管理調適策略，以強化害蟲監測及抗藥性策略之即時掌控，配合友善資材之開發以達防治效果。在水資源短缺調適技術方面，春夏作甘藷噴灌技術可維持甘藷塊根發育生產，並節省灌溉水量約22%，提升水分利用效率達84%，經成本效益分析顯示淨收入可提高近1成。在因應極端天候調適技術方面，係針對低溫、強風及強降雨等極端天候，其中低溫逆境調適技術，包含蓮霧園運用設施內加溫可降低受害率10~30%（圖4），而高接梨穗可利用加熱噴霧處理提高著果率約10~20%。在強風及強降雨部分，青蔥藉由多重防護設施減災技術及疫病綜合防治管理（圖5），可減少災害損失和疫病發病率約20~50%，紅棗遇豪雨採用銀黑塑膠布隔絕，可減少裂果率約9%。

臺中農改場於彰化縣大城鄉實際執行水稻台南11號與小麥台中選2號的稻麥輪作調適試驗，對照組為水稻連作。水稻乾濕輪灌一小麥輪作組試



圖4. 蓮霧園運用設施內加溫處理可維持強勢株避免寒害。
圖片來源：農業部農業試驗所鳳山分所。

驗結果顯示，全年度每公頃需水量為1萬3,190m³，較水稻連續灌溉—水稻連續灌溉試驗組，可節水3,325m³(20.1%)。評估調適執行成效，稻麥輪作組農家賺款可達12萬2,823元，與水稻連作11萬5,353元相近，倘稻麥輪作再納入小麥轉作每公頃4萬5,000元補助，每公頃收益可較水稻連作增加5萬2,471元(楊和林，2023)。臺中農改場於111年1月於彰化縣大城鄉辦理「稻麥輪作節水栽培技術觀摩會」，本調適技術節水效果顯著，同時又兼顧穩定農友收益，值得推廣農友採行。

農試所與中興大學、臺中農改場及苗栗區農業改良場合作，應用水稻乾濕交替的灌溉模式，導入遠端遙控、即

時監測與智慧調控感測器，在不影響原有產量水準下，可節省栽培用水20~30%，亦減少植株倒伏風險與稻米心腹白率、穩定米質(圖6)。採用本方法灌溉，只需投資10萬元購買無線水位計、通訊主機與太陽能水閥門等田間感測器設備，實際費用依設備不同而異，每個月只要付120元通訊費，即可達到一手掌控水位紀錄也能遙控水閘門，還可預約灌溉時間，不用半夜清晨起來開水閥，大幅減少3/4灌溉管理的人力與時間，降低田間肥、水的溢流情形，更可搭配氣象站，全方位掌握田間狀況(吳和王，2021)。

水稻使用間歇灌溉，除了節水之外，也有降低溫室氣體排放的減緩共效應，依據國際水稻中心(IRRI)的研

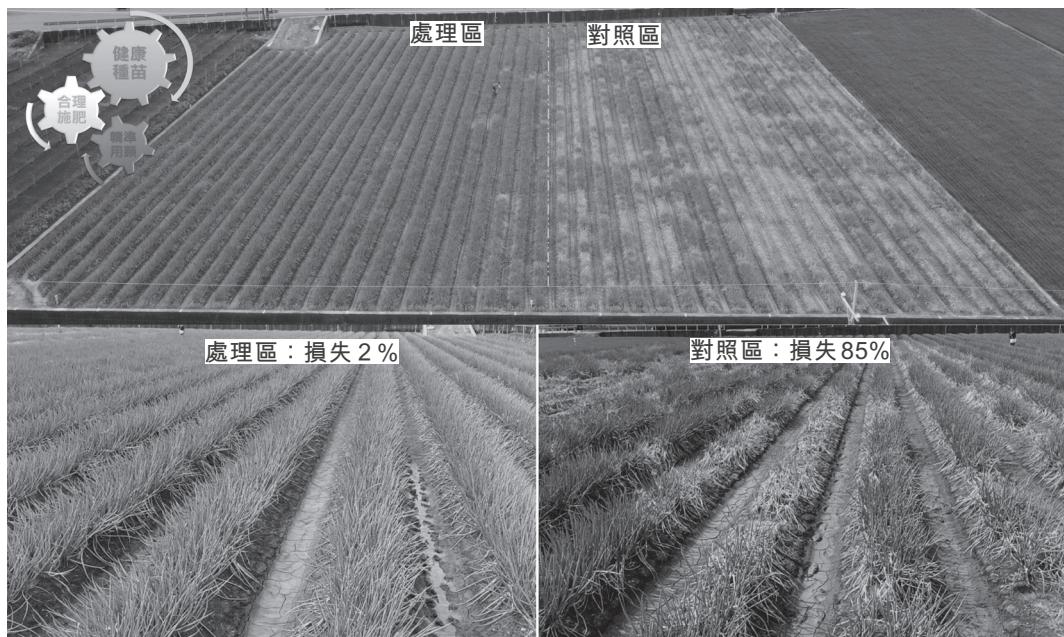


圖5. 藉由疫病綜合防治管理，可使青蔥產量損失由85%降至2%。

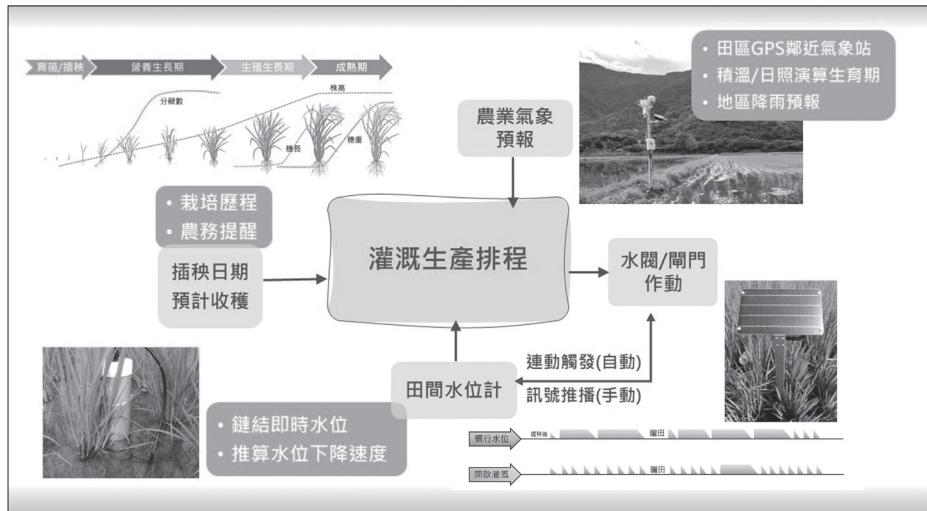


圖6. 應用水稻乾濕交替的灌溉模式，導入遠端遙控、即時監測與智慧調控感測器，在不影響原有產量水準下，可節省栽培用水20~30%。

究，在乾燥的情況下，產生甲烷的細菌會遭受抑制，與連續灌溉相比，可以減少甲烷排放量30~70%，目前農業部正調查臺灣各生產區域水稻田碳排係數與建立水稻間歇灌溉之低碳栽培模式與示範場域進行驗證（圖7）。

四、結語

氣候變遷調適需要農業部行政單位與試驗改良場所共同參與，依照國家氣候變遷調適架構以區域尺度選定指標作物產業，模擬未來情境進行風險評估，擬定調適方案選項，進行技術實證，未來將跨域合作開發評估工具及預測模組，與持續開發調適技術進行長期調適研究，檢討修正調適規劃，解決短期問題，布線中長期調適作為，在減災原則下，推動長期調適

計畫，以提升農糧產業面對氣候變遷的韌性。

（參考文獻請逕洽作者）



圖7. 水稻田間歇灌溉示範場域量測溫室氣體排放量。