

第二章 氣候變遷衝擊情形

一、 整體氣候變遷趨勢及衝擊

(一) 全球氣候變遷趨勢

2024 年人類活動導致的氣候變遷的明顯跡象達到了新的高度，這是第一個比工業化前時代高出 1.5°C 以上的日曆年，全球近地表平均溫度比 1850-1900 年的平均值高出 $1.55\pm 0.13^{\circ}\text{C}$ 。世界氣象組織於 2026 年 3 月發布的《2025 年全球氣候狀況報告》證實，2015 年至 2025 年是有記錄以來最熱的 11 年。海洋持續變暖並吸收二氧化碳。過去二十年來，海洋每年吸收的二氧化碳量相當於人類年能源消耗量的約十八倍。報告指出，北極海冰面積已達到或接近歷史最低水平，南極海冰面積為歷史第三低，冰川融化仍在持續。該報告也指出全球範圍內的極端事件，包括酷熱、暴雨和熱帶氣旋，造成了破壞和損失，凸顯了我們相互關聯的經濟和社會的脆弱性。

根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)於 2021 年發布之第六次評估報告(AR6)顯示，自 1950 年代以來，全球大多數地區的極端高溫事件的強度和發生頻率增加，而極端低溫的強度和發生頻率則減少，這些變化主要由人為活動造成的溫室氣體增加所驅動。人類活動對大氣、海洋及陸地暖化的影響已無庸置疑。大氣、海洋、冰雪圈與生物圈的變遷程度在過去數世紀至數千年來前所未有。人為氣候變遷已影響全球各地的極端天氣與氣候事件，如熱浪、豪雨、乾旱及熱帶氣旋等，相關觀測及其受人為影響的證據更加顯著。

AR6 報告顯示，20 世紀後期的暖化主要由人為溫室氣體排放驅動，自然因素的影響相對較小。AR6 報告針對不同的溫室氣體排放情境(SSP)模擬顯示，全球表面溫度將至少持續增溫至 21 世紀中葉。低排放情境(SSP1-1.9)預測 21 世紀末全球地表平均溫度上升約 1.0°C 至 1.8°C ，而高排放情境(SSP5-8.5)則可能高達 3.3°C 至 5.7°C 。在 SSP5-8.5 情境下，增溫超過 2°C 極可能在 2041 年至 2060 年間發生。AR6 報告指出，無論何種排放與社會經濟發展情境的假設，即使在未來幾十年內大幅減少溫室氣體排放或增加碳吸收，全球溫度仍將持續增溫至少到本世紀中，並可能超過工業革命時期的 1.5°C 至 2.0°C 。唯有全球在 2050 年達到淨零排放，全球暖化程度才有機會於 21 世紀末降回 1.5°C 。

全球暖化將導致氣候系統多方面的變遷，包括極端高溫、海洋熱

浪、豪雨、區域農業與生態乾旱的發生頻率與強度增加；熱帶氣旋數量減少，但強烈熱帶氣旋比例增加；北極海冰、雪蓋與永凍土的減少等。暖化將進一步改變全球水循環，導致水循環變異度、全球季風降雨、乾濕事件的嚴重程度增加，並對海洋、冰層及全球海平面等造成不可逆轉的影響。

在亞洲地區，IPCC 報告指出未來氣候變遷的趨勢包括：

1. 溫度：極端高溫事件將增加，冷事件減少。
2. 降水：極端降水、平均降水及洪水事件將增加。
3. 風場：地面風速下降，熱帶氣旋數量減少但強度增加。
4. 海岸與海洋：海平面上升將導致沿岸地區溢淹增加，海岸線倒退，海洋熱浪增加。

（二）臺灣氣候變遷趨勢

國家科學及技術委員會與環境部於 2024 年發布《國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適》（以下簡稱科學報告 2024），彙整近年國內外氣候變遷觀測、推估與衝擊研究相關進展，以下內容以摘錄自科學報告 2024 為主。

1. 氣溫

根據臺灣各測站的長期觀測資料，顯示出明顯的逐年暖化趨勢。以中央氣象署六個百年測站(臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮及臺東)觀測結果顯示，由近 30 年、近 50 年及長期(1900 年至 2022 年)的趨勢值來看，平均氣溫升溫趨勢由每 10 年約 0.15°C 至 0.27°C。近年的溫度上升趨勢越來越明顯。平均氣溫於 1920 年至 1940 年緩慢上升，1940 年至 1980 年持平，但 1980 年後開始有較大幅度的增溫，此增溫幅度明顯高於其他年間，如圖 2.1。根據測站百年資料，夏季開始提早、結束延後，近 50 年來每 10 年夏季延長約 6.31 天至 12.88 天，冬季縮短約 6.19 天至 12.20 天。

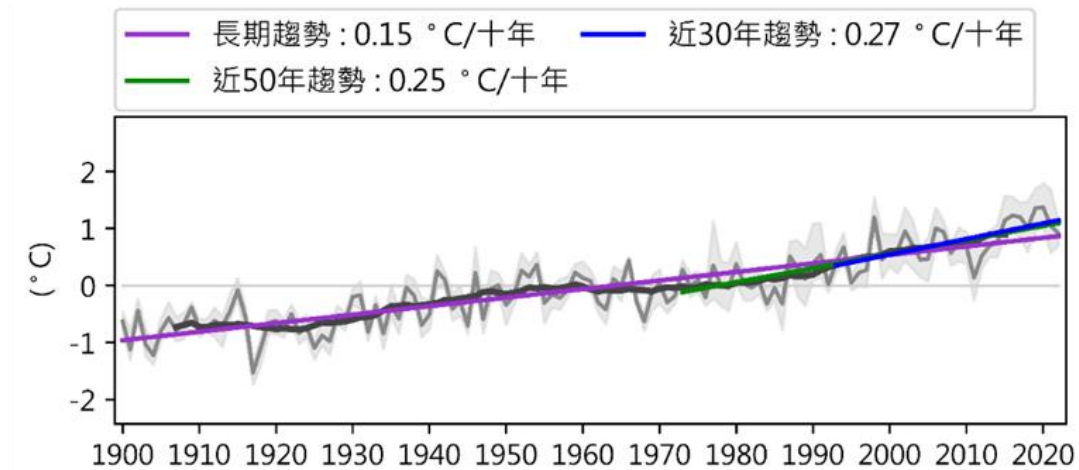


圖 2.1 臺灣全年平均氣溫平均值變化趨勢(6 個百年測站)

資料來源：國科會與環境部(2024)，「國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適」

根據 AR6 氣候模擬中不同的共享社會經濟路徑 (SSPs) 情境，臺灣的未來氣溫變化預測如下(圖 2.2)：

- (1) 短期(2021 年至 2040 年)：在此期間，臺灣的區域平均氣溫上升幅度差異不明顯，預計增溫 0.6°C 至 0.8°C。
- (2) 中期(2041 年至 2060 年)：不同情境下的氣溫變化開始顯現差異。在低排放情境(SSP1-2.6)下，預計增溫 1°C；而在極高排放情境(SSP5-8.5)下，增溫幅度達到 1.6°C。
- (3) 長期(2081 年至 2100 年)：在世紀末，氣溫增暖的情境差異更加明顯。在低排放情境下，增溫幅度可維持在中期的 1°C；然而，在極高排放情境下，暖化程度可能增長至 3.4°C 至 3.5°C。這將導致臺灣的氣候狀態更接近熱帶國家的特性，全年幾乎都是溫暖至炎熱的情況，夏季長達近 7 個月，幾乎無冬季存在。

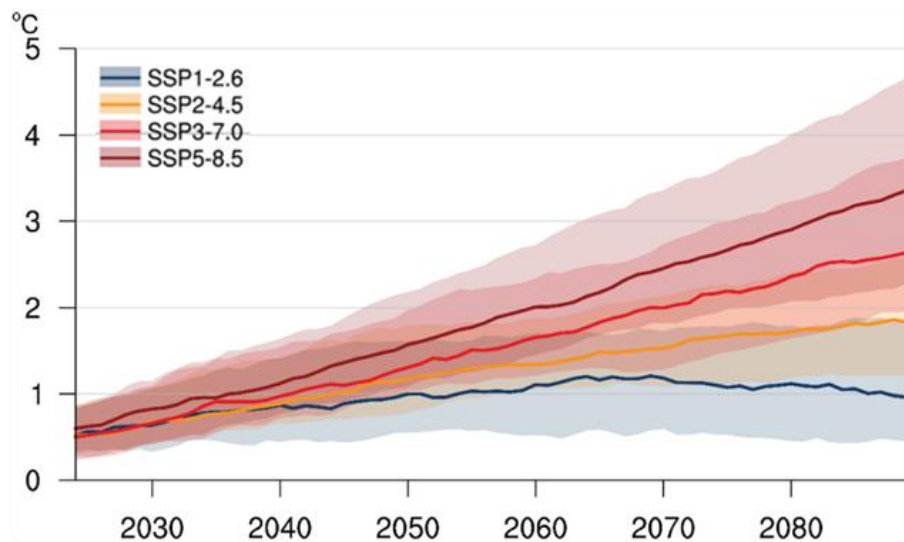


圖 2.2 臺灣全年平均氣溫距平值的未來變化趨勢(CMIP6 氣候模式)

資料來源：國科會與環境部(2024)，「國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適」

2. 降雨

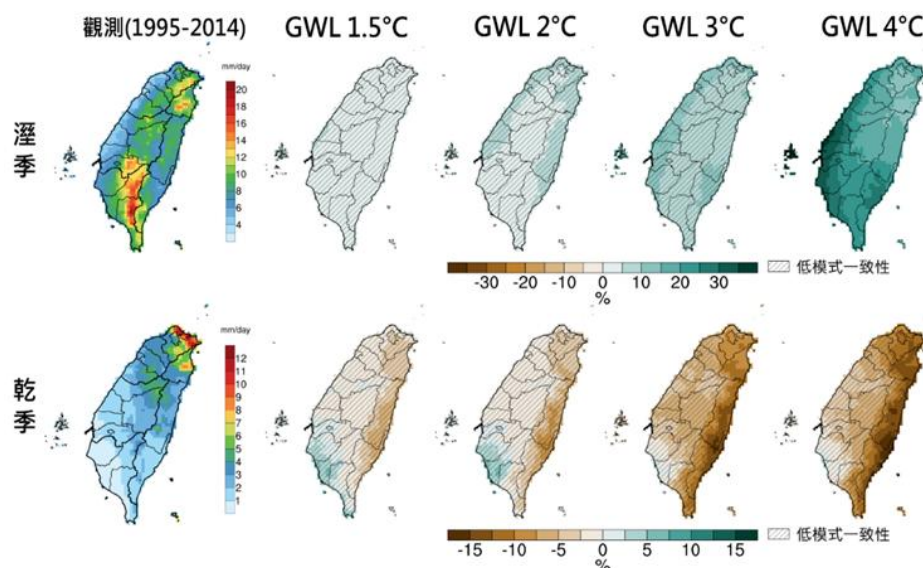
臺灣降雨趨勢在過去百年觀測紀錄中不明顯，過去嚴重乾旱事件最常發生的區域為中、南部，其次是北部。最常發生的季節為春季，其次是秋、冬季。氣象乾旱發生的頻率具有明顯區域特性及低頻振盪特徵，造成雨量偏低的原因皆與大尺度環流條件相關。

未來暖化情境推估的降雨變化不明顯(模式間差異較大，不確定性高)，但乾溼季(乾季為 11 月至 4 月；溼季為 5 月至 10 月)差距隨暖化程度增強而增加。以乾季為例，全臺多數區域降雨減少，特別是東北部與東部地區。隨著全球暖化程度越高，臺灣的降雨變化趨勢為乾季越乾、溼季越來越明顯，如圖 2.3。在暖化情境下，臺灣極端降雨變化趨勢主要為「降水兩極化」：連續不降雨日數呈現增加趨勢，但水文頻率年降

雨量也呈現更加嚴重的趨勢。

圖2.3 歷史與不同 GWL 下臺灣平均(上)溼季與(下)乾季的降雨空間變化

資料來源：國科會與環境部(2024)，「國家氣候變遷科學報告2024：現象、衝擊與調適」



3. 海溫與海平面

全球暖化所伴隨的區域海溫與海平面變化對於海洋生態與海洋或海岸相關產業相當重要。以臺灣海峽為例，根據觀測資料顯示，海溫過去百年呈現增溫趨勢。在近 30 年間，1998 年至 2012 年暖化停滯期間伴隨的海表增溫停滯的現象在 2012 年後已再次被增溫取代，2012 年至 2018 年增溫趨勢約為每 10 年 0.63°C （國家氣候變遷科學報告 2024）。

在海平面方面，依科學報告 2024 整合衛星測高與潮位站及高解析多衛星資料之分析，2013 至 2019 年間臺灣鄰近黑潮海域之海平面仍呈上升趨勢，約為每年 2.5 至 3.4 公釐，且具明顯空間差異，部分大陸沿岸可達每年約 6 公釐（國家氣候變遷科學報告 2024；原始研究 Yuan *et al.*, 2021）。21 世紀末時，臺灣周遭平均海平面上升較全球平均高，且臺灣東岸的變化較西岸大，此空間分布特性與海水熱膨脹效應及受大氣風場驅動之海洋環流改變有關，至本世紀末：低排放與極高排放情境下將分別上升約 0.4 與 0.8 公尺。

在海洋酸化方面，大氣二氧化碳濃度上升使海水吸收二氧化碳而導致表層海水酸化，為與海溫上升並列之氣候變遷因子。依《科學報告 2024》，臺灣周遭海域已納入海洋酸鹼度之觀測與評估；就本領域關注之沿海生態系而言，既有評

估推估臺灣沿岸海水 pH 至 2039 年將下降約 0.05 至 0.07、海表溫度上升約 0.66 至 0.73°C (Chiu *et al.*, 2017)。海洋酸化將抑制珊瑚、貝類及海草等鈣化或敏感生物之生理過程，研究指出當大氣二氧化碳濃度趨近 480 ppm 時，珊瑚礁之碳酸鈣淨堆積可能趨近於零甚或為負 (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007)。

4. 颱風

過去影響臺灣的颱風個數及強烈颱風個數，長期變化趨勢不明顯，且呈現年代際變化特徵，同時颱風路徑的變化受到大尺度環流影響，與全球溫度上升的關聯性不顯著。隨著暖化未來將持續，影響臺灣颱風的未來推估結果呈現「個數減少、強度增加」，此與西北太平洋颱風的變遷趨勢一致。以 RCP8.5 情境下的結果為例，21 世紀中、末的颱風個數分別減少約 10%、50%。但強颱出現的頻率則分別增加約 105%、60%。風速與降雨也皆呈現增加趨勢，近颱風中心最大風速增加約 9%，這對於海岸評估風暴潮及相關衝擊具重要性。前述的增減代表平均結果，但由於模式使用的海溫暖化空間分布會影響颱風頻率變化，故盒鬚圖中的範圍都是可能發生的，如圖 2.4。

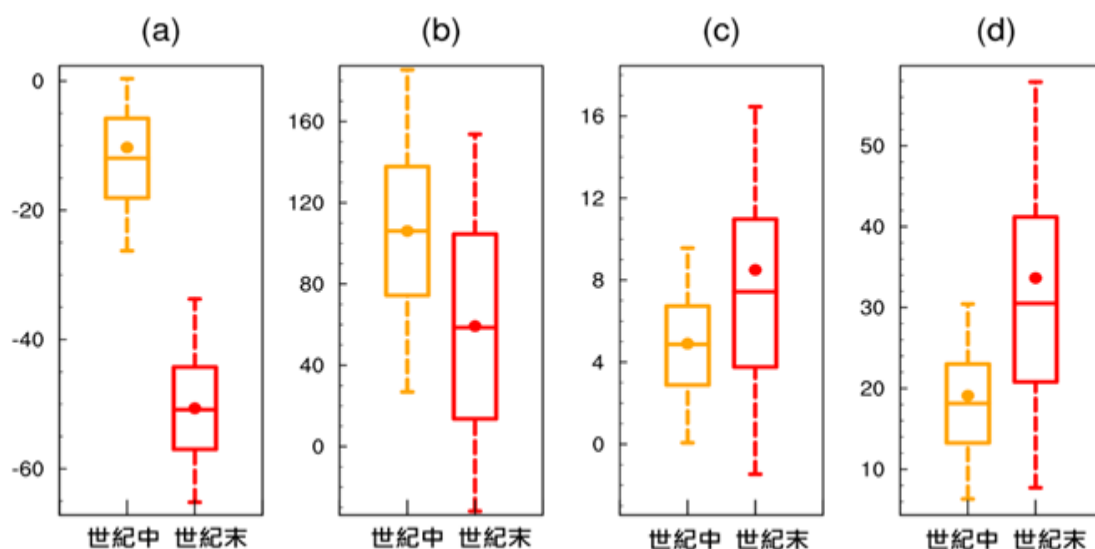


圖2.4 RCP8.5情境下，21世紀中(黃色)與世紀末(紅色)的(a)影響臺灣颱風頻率、(b)強颱頻率、(c)近中心最大風速、(d)距中心200km 內平均雨量的模擬結果

資料來源：國科會與環境部(2024)，「國家氣候變遷科學報告2024：現象、衝擊與調適」

5. 極端事件

(1) 極端高溫

暖化趨勢及夏季長度持續增加，預期將衝擊農作物、生態、健康等領域。極端溫度的變化趨勢呈現高溫天數增加，低溫天數減少，夜晚氣溫降低的幅度越來越小。

根據 CMIP6 未來推估結果，以每年日最高溫超過 36°C 的天數代表高溫事件的指標，臺灣 500 公尺以下低海拔地區高溫日數將持續增加，短期(2021 年至 2040 年)增加約 14 天至 17 天，增加並不明顯；至中期(2041 年至 2060 年)則開始出現不同暖化情境的差異，排放情境最嚴重 SSP5-8.5 增加 41 天，相對的 SSP1-2.6 高溫天數增加則不明顯；長期(2081 年至 2100 年)差異更大，溫室氣體排放最嚴重(SSP5-8.5)與減排(SSP1-2.6)的情境，高溫天數差別有 87 天(模式高度一致性)。在極高排放情境下，世紀末全臺平均增加 75 天。若以 GWL 評估(即全球平均溫度相對於工業革命(1850-1900) 前的升溫程度)，GWL 4°C 下高溫日數將增加 55 天。高溫空間分布方面，增加較多的區域包括臺北盆地、中部近山區與高屏近山區，同時包含山谷(河谷與縱谷)。此與該區域缺乏海風調節、地形封閉等因素有關，如圖 2.5。

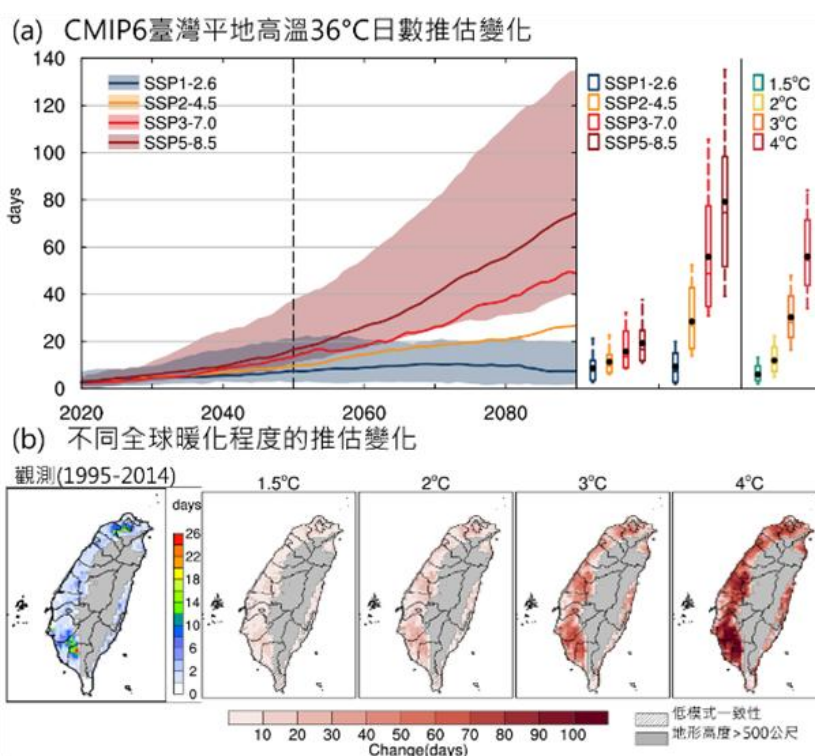


圖2.5 臺灣平地高溫超過36°C日數未來推估變化(CMIP6模式)

資料來源：國科會與環境部(2024)，「國家氣候變遷科學報告2024：現象、衝擊與調適」

隨著全球暖化與都市化進程加速，臺灣主要都會區的熱島現象日益嚴峻。臺北市在 2020 年連續打破紀錄，6 月 29 日測得 38.9°C，7 月 24 日更測得 39.7°C，創下臺北測站 124 年來的最高氣溫紀錄。過去臺灣都市熱島強度約在 2°C 至 2.5°C 之間，但由於盆地地形易蓄熱，加上高度都市化造成環境失衡，市中心氣溫比郊區高出 3°C，調節溫度能力顯著下降。隨著暖化程度提高，生理等效溫度(Physiological Equivalent Temperature, PET) 也隨不同氣候情境上升(圖 2.6)，戶外熱環境對人體健康的威脅將日益嚴

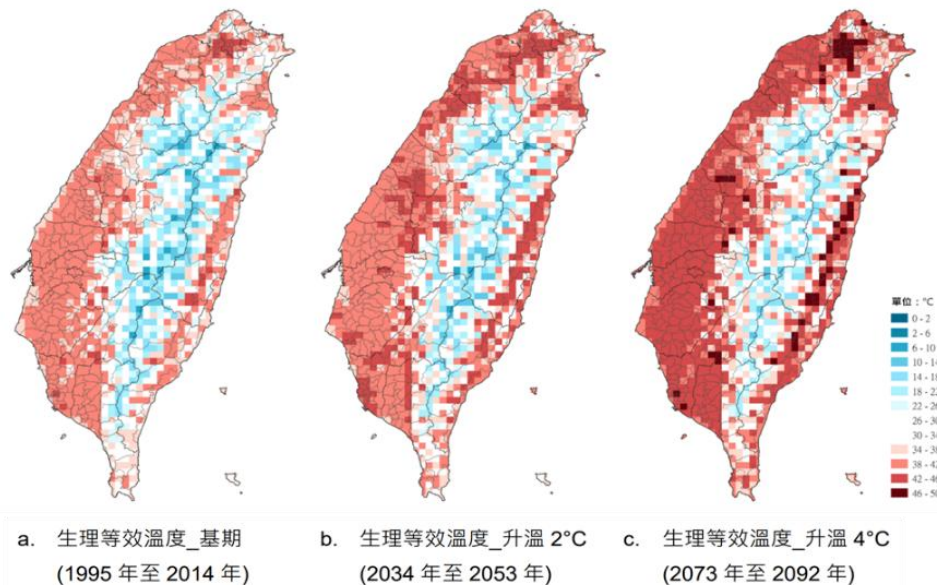


圖 2.6 台灣 PET 分佈圖(7 月 14:00 平均值)

資料來源：國科會與環境部，「國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適」圖 4.7.2.4。2024 年。

(2)極端降雨

根據中央氣象署署屬測站的大雨、豪雨及大豪雨日數資料，自 1950 年至今各地皆沒有顯著的長期變化趨勢。只有山區變化幅度在 2000 年後較大。臺灣夏季(6-8 月)午後對流降雨為重要的水資源來源，但也容易造成積淹水的災害。1961 年至 2012 年間測站資料發現，北部夏季午後對流的發生頻率有增加的趨勢，但在其他區域卻是減少的趨勢。在夏季午後對流強度變化方面，多數區域有增強。

在未來極端降雨變化部分，動力降尺度資料 (HiRAM-WRF) 在 RCP8.5 情境下，21 世紀末夏季午後對流降雨，呈現頻率減少，強度增加(圖 2.7)。

夏季午後對流降雨頻率與強度的趨勢變化

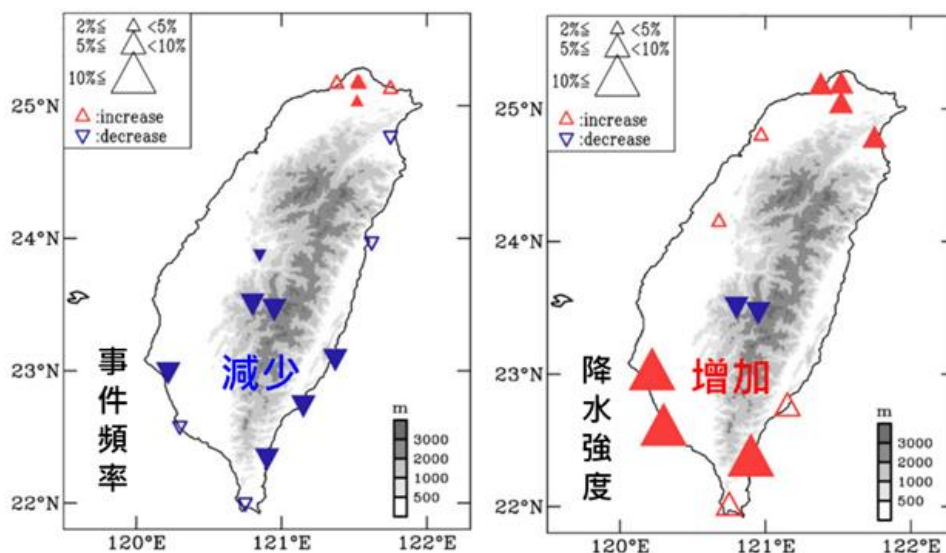


圖 2.7 夏季午後對流發生頻率及降水強度特徵，使用臺灣地面測站資料(1961 年至 2012 年間)

資料來源：Huang *et al.*, 2015。

「連續不降雨日數」通常用於評估長期的乾旱期(無雨日)，並作為氣象乾旱的指標，北部、中部及南部的連續不降雨日數可能分別增加 16.9%、11.1% 及 13.7%，導致未來不降雨的期間將變得更長(圖 2.8)。

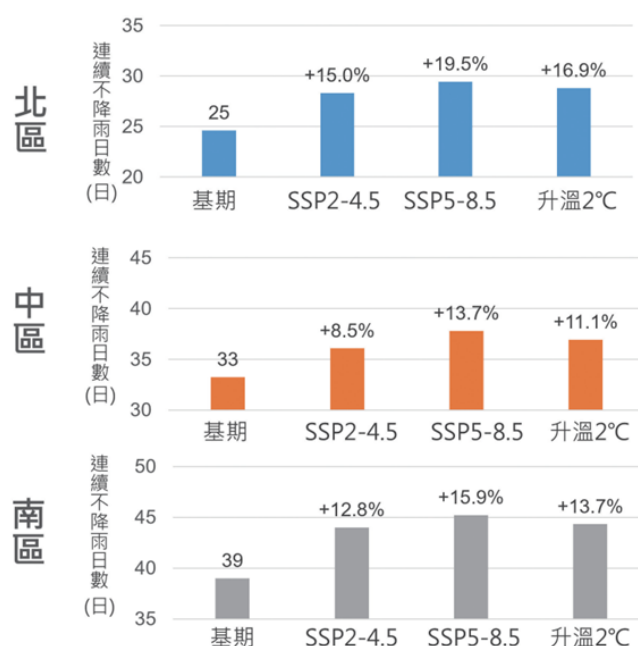


圖2.8 不同氣候變遷情境下連續不降雨日數增減情形

二、本領域之氣候變遷衝擊

（一）本領域面臨氣候變遷的整體衝擊

生態系由生物及環境因子相互交織而成，與外在氣候條件密切連動，亦相互影響。氣候變遷除直接衝擊個別物種之生存與適應外，亦透過生態系內部之交互作用關係，將其影響擴大為整體系統之變化與回饋。國內外目前所觀察到之現象，諸如物種分布範圍改變、開花結實時序提早或延後，以及生態系結構之異常變動等，研究均認為與氣候變遷有程度不等之關聯。氣候變遷對生態系之衝擊，不僅來自平均氣溫之長期上升，亦來自極端氣候事件型態之改變。依 IPCC 第六次評估報告之推估，以工業革命前（1850–1900 年）為基準，當全球升溫達 1.5°C 時，陸地上原本每十年發生一次之極端高溫事件，其發生頻率約增為 4.1 倍；升溫達 2°C 時則約增為 5.6 倍。同一升溫程度下，極端強降雨事件之發生頻率亦分別約增為 1.5 倍與 1.7 倍；於易乾化之區域，農業與生態乾旱事件則分別約增為 2.0 倍與 2.4 倍（IPCC, 2021, Figure SPM.6）。前述推估顯示，即使全球平均增溫幅度有限，極端事件之發生頻率與強度仍可能隨暖化程度增加而上升。對本領域而言，此一「平均狀態變化」與「極端事件加劇」並存之特性，應作為氣候衝擊辨識與後續風險評估之重要背景。

臺灣作為一座高山島嶼，地形陡峭且河川短促，加上人口高密度與密集土地開發，使得我國生態系統面臨的氣候風險與國際上廣泛的趨勢有著顯著的在地差異。如，高山生態系中的物種因海拔梯度陡峭，在面臨氣候暖化時可向上遷移的避難空間與退路極為有限；而淺山、平原與海岸生態系則因高度的人為開發，面臨嚴重的棲地壓縮。這些島嶼環境與社經發展的本土特性，使得臺灣自然生態在面對氣候變遷的極端衝擊時，顯得更加敏感與脆弱。

惟不同物種對氣候變遷之敏感性與調適能力差異甚大，無法一概而論。生態學界主要依循物種分布、生活史、播遷能力、族群變動及種間關係等面向，辨識對氣候變遷敏感或易產生變化之物種、族群與生態系。以下綜整《科學報告 2024》中關於氣候變遷對本領域陸域生態系之整體衝擊，並補充延伸至人類社會之共通課題：

1. 物種分布與棲地之位移與壓縮

暖化趨勢可能改變物種適生環境與分布範圍，部分物種可能呈現向較高海拔或較低溫區域移動之趨勢。然而，氣候變遷下之生態後果不必然立即表現為物種消失，亦可能先呈現為分布範圍擴張、棲地重疊及群聚組成改變。對臺灣而言，受島嶼地形、海拔梯度、土地利用及棲地連結度限制，中低海拔物種若隨暖化向上擴張，可能與原有高海拔物種產生棲地空間重疊與資源競爭；而已位處稜線或高海拔環境之物種，則可能面臨可遷移空間有限及適生棲地縮減之壓力。

入侵種之未來分布亦已被確認受氣候變遷影響，甚至為主要驅動力。在全球暖化與極端氣候的交互作用下，冬季暖化與平均氣溫上升促使「低溫障壁」降低，使得原先受環境低溫限制的外來種得以突破屏障，向更高海拔地區擴張定殖。同時，極端降雨等極端天氣事件頻率增加，不僅破壞既有本土棲地結構、增加環境的「可被入侵性」，也可能透過物理營力加速外來物種的傳播。此外，綜整全球模式研究指出氣候變遷效應因類群而異，相較於受限於海洋天然屏障的陸域植物與脊椎動物，無脊椎動物與病原體之入侵範圍被預測極可能因暖化而產生顯著擴張 (Bellard et al., 2018)。此種擴張機制不僅引發不可預測的資源競爭，更將大幅加重既有本土生態系的脆弱度。

2. 物候改變與種間交互作用失序

氣溫、降雨及季節性條件之變動，可能影響植物開花、結實與動物繁殖、遷徙、育雛等時序。由於不同物種對氣候變遷之敏感度、擴散能力及棲地需求不同，原有捕食、授粉、寄生、競爭或共生等物種互動關係，可能於時間或空間上產生不同步現象，進而影響食物網穩定性、生殖成功率及生態系服務功能。惟此類交互作用變化具高度物種及地區差異，仍需仰賴長期監測與個案研究逐步累積證據。其中，植物開花、結實等物候時序之改變已有實際觀測，而物種間之去同步（即物候失調）則多屬模式推估，信心水準相對較低。

3. 族群動態與生態系組成之改變

颱風強度與頻度、極端高低溫、乾旱及短延時強降雨等氣候變化，對生態系結構、更新動態及族群數量具長期累積效應。在森林與陸域植被方面，極端氣候對成熟林木影響多呈漸進性，惟對世代交替關鍵小苗庫存活率影響極為劇烈。水分逆境或過濕環境均會改變小苗病害與種間競爭壓力，進而重塑森林之更新動態與樹種演替方向。

在群落結構方面，環境因子的變化正打破原有捕食、競爭與共生

等動態平衡。極端天氣擾動不僅改變物種之育雛、生殖與存活率，更促使微棲地條件重組，導致原本受環境限制物種優勢產生轉移。頻繁干擾與長期累積影響，將驅使生態群落朝向「同質化」方向演替，逐步改變整體生態系統穩定性與自然恢復力。

4. 氣候衝擊與既有人為壓力之疊加效應

生態系統所承受的衝擊，絕非僅來自單一的氣候因子（如溫度或降水）改變，而是經常與既有人為干擾產生強烈的疊加效應。氣候變遷的壓力往往會進一步放大既有環境問題的嚴重性。如陸域及淺山生態系，長期的土地利用形式變化、人為開發與棲地破壞，造成嚴重棲地破碎化；海岸與海洋生態系，面臨超抽地下水、河川輸砂減少、海岸開發、過度捕撈、污染及優養化等壓力。種種人為問題與氣候變遷雙重夾擊，限縮物種的退避空間，導致嚴重削弱生態系統調適與恢復能力。

5. 負面影響外溢衝擊自然依賴人口之生活與經濟

生態系統遭受氣候變遷衝擊，依賴或使用自然資源之不同社會群體，亦可能承受不同程度之影響，包含生存、居住、健康、衛生、資源取用等權益，隨性別、年齡、經濟條件、生計型態、居住地區及資源可近性而有所差異。例如高山及集水區植被退縮可能改變水源涵養功能（IPBES, 2019；Díaz *et al.*, 2019），進而影響整體流域之水質、水量，與相關人口之權益。惟目前可掌握之在地資料，尚不足歸納特定社會群體所遭受之具體衝擊，後續宜持續關注相關報告與文獻。

（二）四大衝擊面向

1. 高低溫

依《科學報告 2024》之觀測資料，氣溫上升對本領域陸域生態系之衝擊，已從高海拔山區之長期監測中具體浮現。臺灣多處高山山頂之環境監測顯示，2010 年至 2019 年間各樣點之溫度均呈顯著上升趨勢，其中冬季升溫幅度尤為明顯，平均每年增加約 0.2°C 至 0.3°C，冬季年低溫日數則減少約半數。隨之而來之生物反應為植被組成之改變：海拔較低之數處監測樣點已觀察到嗜熱性物種比例增加、嗜濕性物種數量減少之情形，山區總雨量雖無顯著變化，惟氣溫升高與蒸散

量增加共同作用之下，高山植物之組成正逐漸改變。

森林型別之適生面積模擬結果亦顯示同向趨勢。臺灣冷杉、檜木霧林帶及臺灣水青岡(*Fagus hayatae*)霧林等高山型森林，於 RCP4.5 與 RCP8.5 情境下，至本世紀末適生面積均可能大幅縮減，並向更高海拔位移；其中以臺灣水青岡霧林之衝擊最為顯著，模擬結果指出 2100 年其適生面積可能僅餘現生之約 7% 甚至不及 1%。受臺灣島嶼地形限制，已位處稜線及高海拔之物種可遷徙空間極為有限。

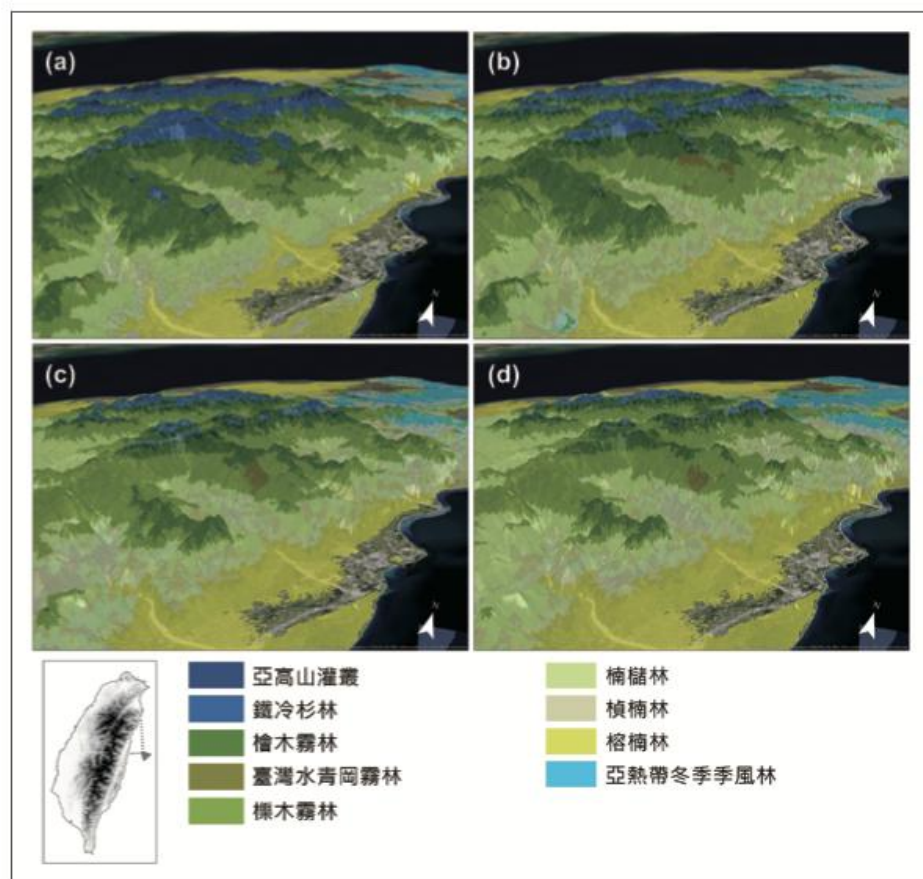


圖2.9 AR5 RCP4.5臺灣天然森林的分布與未來三階段變化圖

資料來源：國科會與環境部，「國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適」圖 4.5.1.2。2024 年。

動物族群方面，繁殖鳥類中具有高氣候暴露度者比例甚高，部分鳥類已觀察到繁殖海拔上移之趨勢。依《2020 臺灣國家鳥類報告》，過去二十年間臺灣已觀察到鳥類分布向北移動及低海拔鳥種之擴張。高海拔特有種信義熊蜂之適存棲地需具備特定氣溫與雨量條件，於各 RCP 情境模擬下將縮減四成至近九成不等，且南部山區甚至可能無適棲之處。

冬季暖化亦影響原本依賴低溫條件之物種。代表性遷徙性蝶類紫斑蝶屬與青斑蝶屬，已觀察到於大武地區渡冬期縮短、數量大幅減少之現象。整體而言，高低溫條件之改變不僅推升個別物種之生存壓力，更可能透過影響植物生長、開花與動物繁殖、育雛之時序，改變原有之種間交互作用關係。

在「高低溫」的氣候衝擊評估中，根據 IPCC AR6 報告與臺灣百年氣象觀測資料顯示，極端低溫的強度與發生頻率已呈現顯著減少趨勢，臺灣冬季低溫日數更大幅縮減。據此，本領域受低溫因子影響之關注焦點，相對較少來自短期極端寒害事件之直接衝擊，而係主要反映於「低溫環境流失」與「冬季暖化」所引發之棲地縮減、物候改變及低溫障壁解除等長期生態危機。

2. 乾旱

乾旱條件對本領域之衝擊，多以「乾旱與高溫共同作用」之複合形式呈現。高海拔山區之長期監測顯示，植物生長季早期經常出現低降水量與極端高溫並存之情形，導致高山植物易發生缺水及生長量下降；此外，氣溫升高、短暫乾旱及潛在蒸散量增加等因子共同作用，亦被認為將逐漸改變高山植物之組成。

霧林帶相關研究亦呈現類似觀察。臺灣水青岡所分布之數處中海拔樣區，2019 年至 2021 年連續三年春季水氣不足，導致水青岡開芽狀況不佳且時序紊亂，同時觀察到專食嫩葉之鱗翅目昆蟲數量逐年減少之趨勢，顯示水氣條件之變化已對該生態系產生實質影響。

森林更新過程對水分條件亦相當敏感。長期樣區研究顯示，乾旱時期之森林小苗存活率與雨量呈顯著正相關，且乾旱條件下之小苗較易受周圍密集樹苗形成之負密度制約效應影響，存活壓力增大。整體而言，乾旱對陸域生態系之衝擊不僅展現於植物個體生長，更可能透過影響森林更新與植食性昆蟲族群，逐步改變森林之結構與組成。

就森林火災而言，國際研究指出氣候變遷下乾旱與火季延長可能加劇植被火災之環境衝擊；惟臺灣林火近年研究已整合 1987 至 2023 年高山國家公園之火災歷史紀錄 ($n=42$)，提供火災歷史、受害面積與災後恢復力之分析基礎；惟臺灣林火趨勢受氣候、人為活動、燃料條件、地形及災後干擾等因子共同影響，尚不宜逕作林火風險已由氣候變遷升高之因果結論。火災後之恢復亦受氣候因子、地形及強震或颱風等次生干擾顯著影響。因此，此議題需持續監測，也需針對不同植被與地形之脆弱性進行評估。(Kuo *et al.*, 2026)

3. 極端降雨

極端降雨對本領域陸域生態系之衝擊，主要展現於颱風帶來之強風豪雨對森林結構之影響，以及高雨量年份對森林更新與動物繁殖之干擾。颱風強度過高或過低，均可能造成森林群落形態及生活史多樣性之下降；長期樣區監測顯示，森林遭逢多個颱風侵襲後，林冠葉面積指數需經逾十年方能恢復至原有緻密度。未來颱風發生頻率雖預期降低，惟強度、雨量與風速將增強，對森林結構與組成之影響可能加劇。

森林更新階段對極端降雨之反應亦不容忽略。高雨量年份之過濕環境，使森林小苗較易遭受病害侵擾，出現較高死亡率；相對於成熟樹木，小苗動態對環境變化更為敏感，是森林更新之關鍵環節。

動物繁殖方面，部分中低海拔鳥類雖於暖化條件下因低溫日數減少而對繁殖較為有利，惟若於春末夏初遭遇強降雨，仍可能因巢穴潮濕或淹水而導致育雛失敗，減少族群數量。

在內陸水域方面，臺灣特有之櫻花鉤吻鮭僅分布於大甲溪上游高山冷水溪段，對棲地條件與水文擾動高度敏感；氣候變遷下颱風與強降雨強度之增加，會造成河川洪峰流量急遽上升，產生強大水流將魚群沖刷至下游，進而顯著降低其卵、幼魚及成魚之存活率，尤其在卵至幼魚階段。相關模擬研究顯示機端降雨與壩體移除，可能削弱壩體移除等棲地中作為避難所等復育措施之成效 (Battle *et al.*, 2016, 2020)。此外，內陸水域之溪流生態系亦可能受豪雨等極端事件造成洪峰流量增加，進而改變河川棲地結構與底棲生物群聚。

4. 海平面上升、海洋熱浪與海洋酸化

海平面上升對生態系之衝擊，主要涉及沿海濕地、河口、潟湖、泥沙灘、紅樹林、鹽沼及海草床等陸海交界生態系之棲地壓縮、水文條件改變與鹽化壓力 (Saintilan *et al.*, 2020)。惟此類議題涉及海岸、海洋、濕地、土地利用及災害防救等多重權責。

在海洋生態系方面，海洋熱浪與海水增溫可能引發珊瑚白化，並誘發珊瑚至大型藻之相位轉變 (Liu *et al.*, 2009)；海洋酸化亦可能對珊瑚、貝類及海草等造成生理壓力，影響海域生態系之結構與功能。(Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007)

濕地生態系除受海平面上升影響外，亦同時承受極端降雨、乾旱

等多重氣候壓力；其衝擊不僅及於度冬與遷徙水鳥之棲地，亦可能影響沿海養殖（如文蛤及牡蠣養殖）等生產活動。（Chen *et al.*, 2024b）

根據上述五大共通課題與面臨關鍵四大面向衝擊現象，氣候變遷對生態系統之衝擊已於不同生態層級具體浮現：在物種與族群層級，表現為物種之分布位移、適生範圍壓縮、物候時序失調及渡冬族群減少；在群聚與物種互動層級，引發資源競爭改變、高山群落同質化、珊瑚礁相位轉變及低溫障壁降低所驅動之外來入侵種擴散；在地景與生態系統層級，則展現為沿海濕地與泥灘地實質流失、森林結構長期擾動及生態系統服務之功能衰退。此些由長期監測與同儕審查文獻累積，證明氣候危害已超越單一物種之生理耐受，並為台灣帶來系統性之生態危機。