

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)20 年發布的第六次評估報告(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洪水增加，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，參考的氣候值為各測站 1961 年至 1990 年的平均。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。可以發現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時段，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。

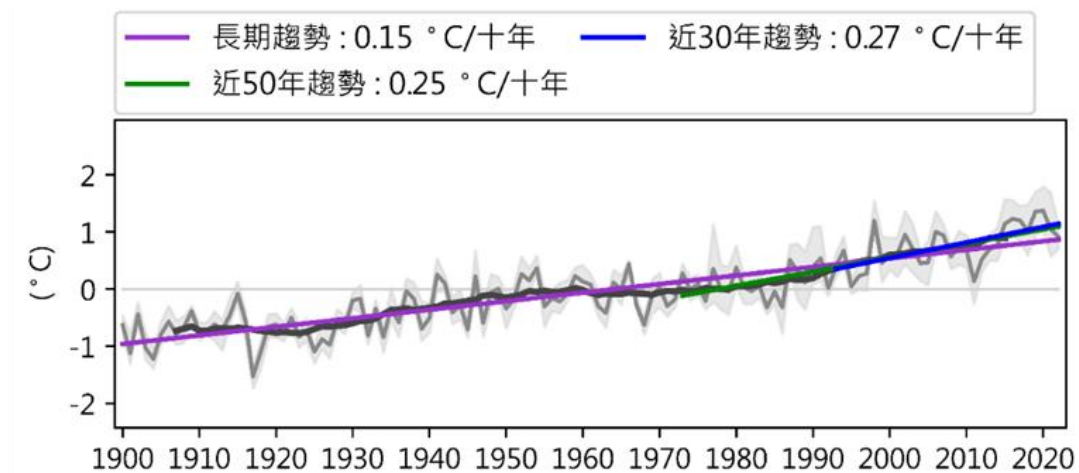


圖 2.1 臺灣全年平均氣溫距平值變化趨勢(6 個百年測站)

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)，其氣候平均計算時段為 1995 年至 2014 年：

- (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。

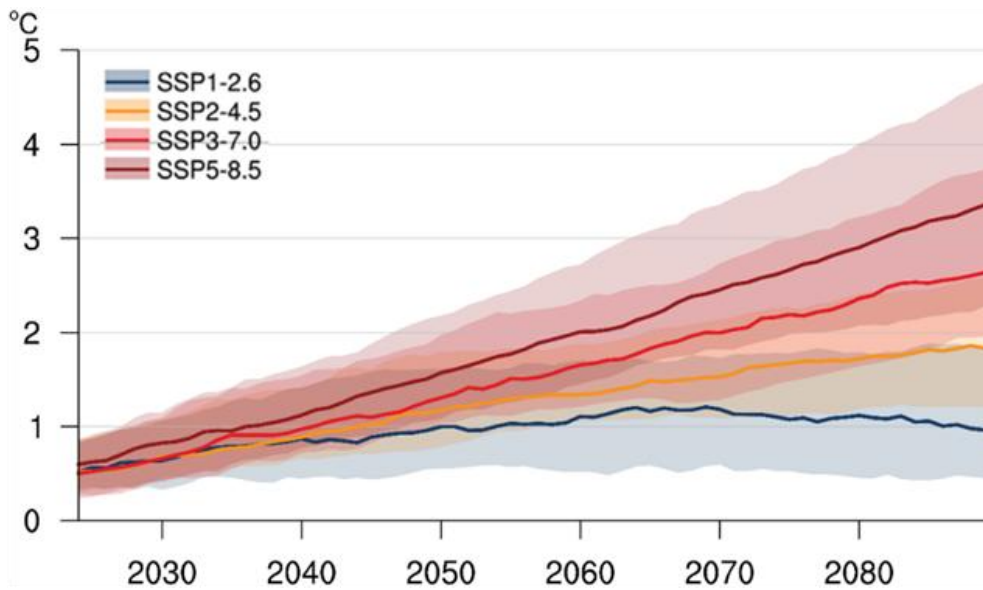


圖 2.2 臺灣全年平均氣溫距平值的未來變化趨勢(CMIP6 氣候模式)

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

年最大連續不降雨日以及標準化降雨指數沒有長期變化趨勢，但中、南部測站的年際變化幅度較大，且在 1960 年後臺南、恆春及臺東站氣象乾旱事件發生頻率明顯增多。過去嚴重乾旱事件最常發生區域為中、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。

如以空間平均值的方式，呈現全臺水文頻率年降雨量的變化情況，10 年重現期降雨強度於增溫 2°C 情境下為 407mm (增加 16%)；於增溫 4°C 情境下，則為 468mm (增加 34%)。而 50 年重現期降雨強度於增溫 2°C 情境下為 581mm (增加

20%)；於增溫 4°C 情境下，則增加為 673mm (增加 39%)。上述分析結果可發現，臺灣水文頻率年降雨量，隨全球暖化程度而遞增，增溫 4°C 情境下的 10 年重現期降雨強度，已趨近基期的 50 年重現期降雨強度，亦即現今 50 年才會發生一次的極端降雨事件，未來每 10 年就可能發生。

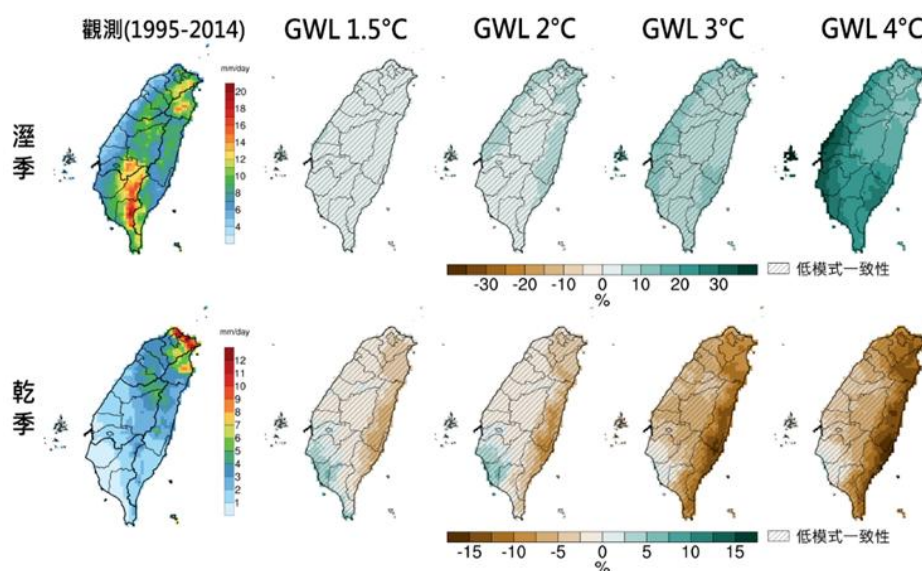


圖2.3 歷史與不同 GWL 下臺灣平均(上)溼季與(下)乾季的降雨空間變化

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 增溫趨勢約為每 10 年 0.63°C。

在海平面方面，臺灣周遭海平面變化趨勢受到聖嬰現象與太平洋年代際振盪影響，1993 年至 2015 年平均値約為每年升高 2.2(Lan et al., 2017)±0.3 毫米，略低於全球平均值的每年 3.2±0.1 毫米，可能與 2013 年後臺灣周遭平均海平面明顯下降有關。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 米。

4. 颱風

過去影響臺灣的年颱風平均發生個數及年強颱平均發生個數，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、末的年颱風平均發生個數分別減少約 10%、50%。但年強颱平均發生頻率則分別增加約 105%、60%；其中，年強颱平均發生頻率 105%，係指統計期間強颱年平均發生個數由 0.4 個增為約 0.8 個。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。

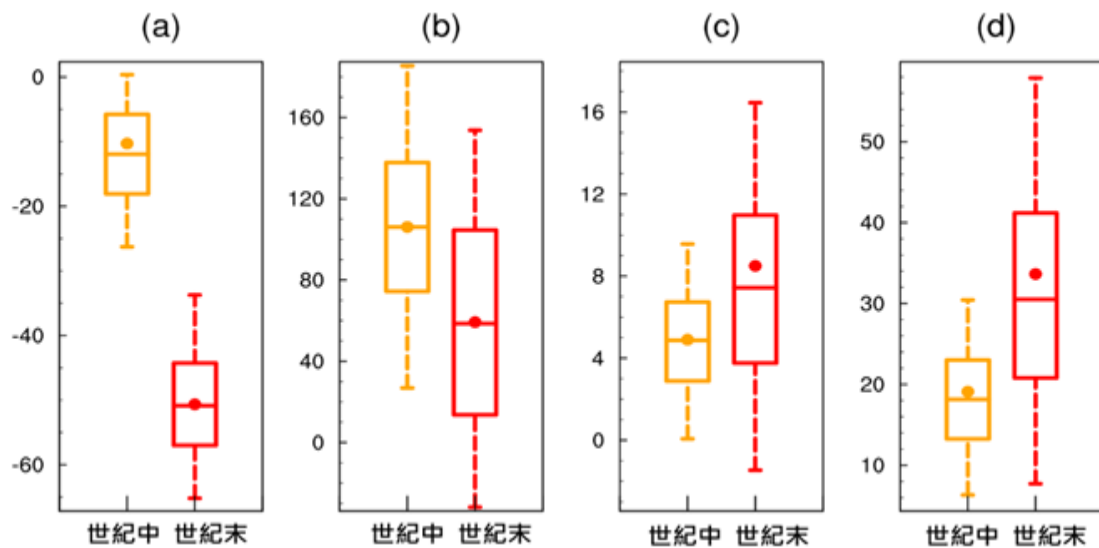


圖2.4 RCP8.5情境下，21世紀中(黃色)與世紀末(紅色)的(a)影響臺灣年颱風平均發生頻率、(b)年強颱平均發生頻率、(c)近中心最大風速、(d)距中心200km 內平均雨量的模擬結果

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，臺灣平地(只考慮海拔高度 500 米以下區域)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)，GWL4°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。

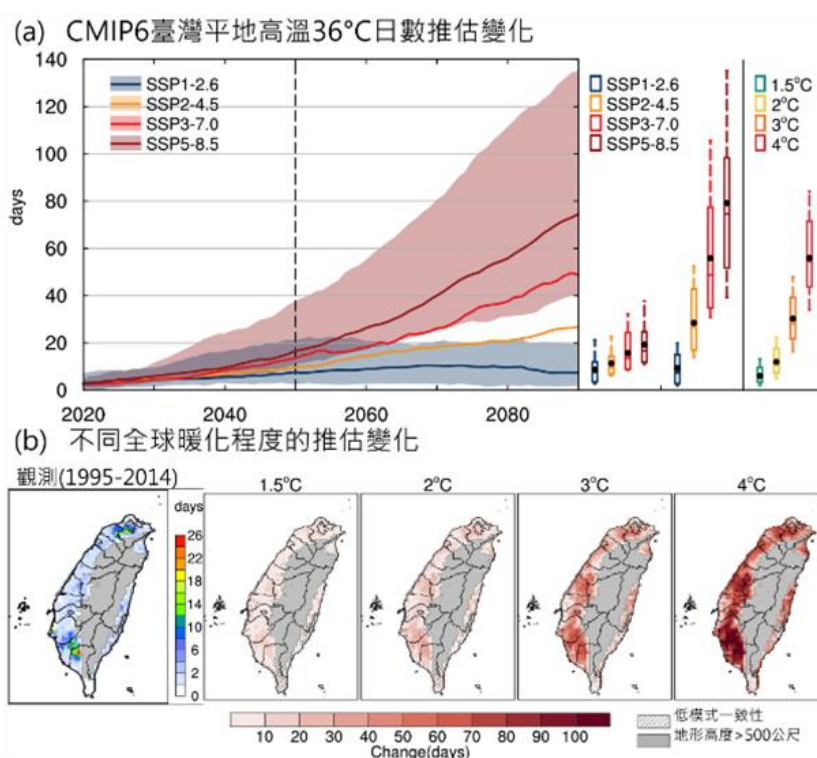


圖2.5 臺灣平地高溫超過36°C日數未來推估變化(CMIP6模式)

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(PET) 也逐不同氣候情境上升(圖 2.6)，戶外熱環境對人體健康的威脅將日益嚴峻。

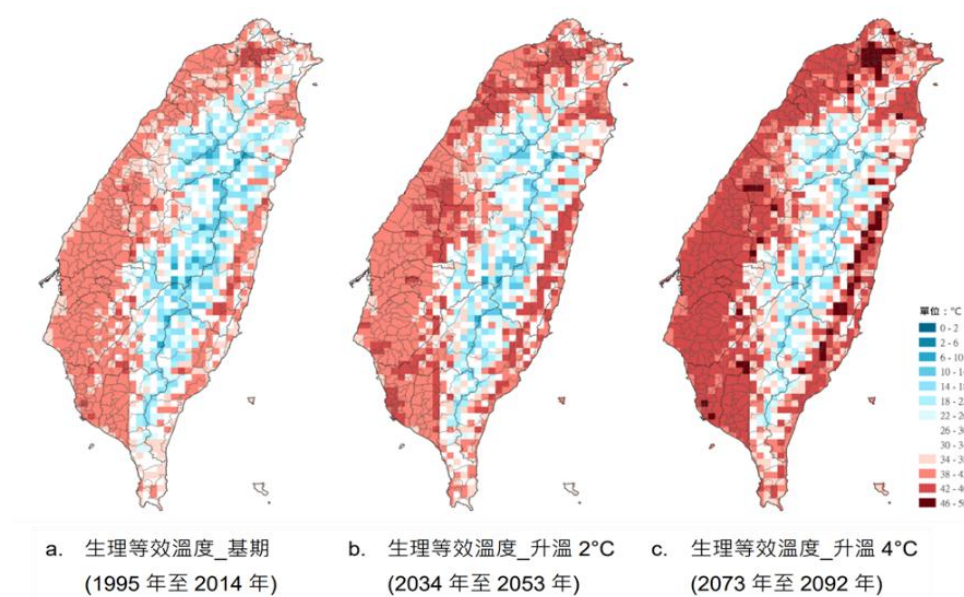


圖2.6 臺灣 PET 分佈圖(7月14:00平均值)

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)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。只有山區的年紀變化幅度在 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

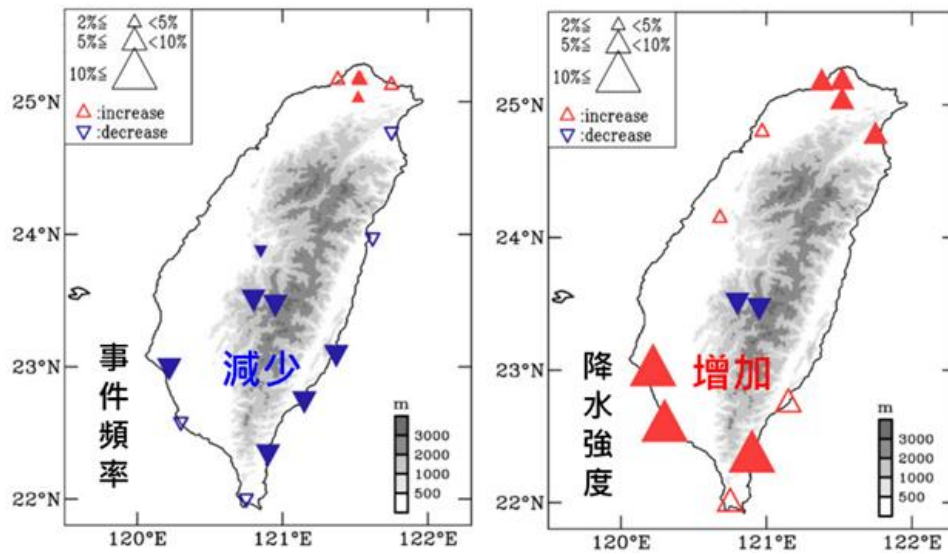


圖2.7 夏季午後對流發生頻率及降水強度特徵，使用臺灣地面測站資料(1961年至2012年間)

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)。

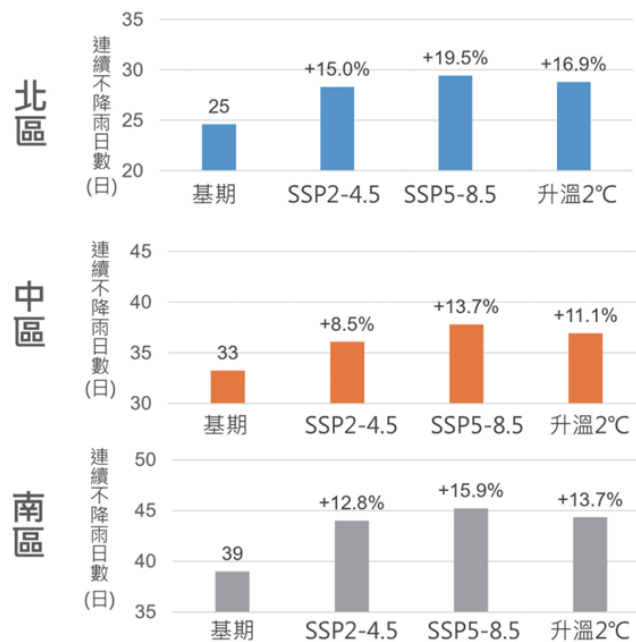


圖2.8 不同氣候變遷情境下連續不降雨日數增減情況

二、水資源領域氣候變遷衝擊

全球氣候變遷將導致臺灣未來的水文條件變化，並對水資源整體造成衝擊，使未來水資源管理的風險提升。為確保我國水資源在未來的氣候風險下得以永續經營，應分析氣候變遷對水資源可能的影響，並從中確立氣候變遷對水資源的主要衝擊；再評估臺灣水文情境下的水資源供給與需求的脆弱度及風險，最終綜整氣候變遷下水資源主要風險，以作為規劃推動我國水資源調適策略與行動計畫的基礎。

全球氣候變遷對水資源的影響因子可綜整為四項：(1)溫度上升、(2)不降雨日數增加、(3)降雨強度增加以及(4)海平面上升，上述影響因子對我國水資源調適範圍內的：(一)水資源開發與保育、(二)水資源供給、(三)水資源需求等課題將造成衝擊。以下依據 3 項調適課題，分別列舉說明可能受到氣候變遷影響的 11 項水資源細項課題，後續再針對細項課題進行衝擊評估：

(一) 水資源開發與保育

依據開發與保育的標的，水資源開發與保育的細項課題可分為：

(1)地表水與(2)地下水。

(二) 水資源供給

依據供給的程序，水資源供給的細項課題可分為：(3)水庫蓄水、(4)水庫取水、(5)河川引水、(6)淨水、(7)輸水以及(8)地下水抽用。

(三) 水資源需求

依據各需求來源，水資源需求的細項課題可分為：(9)農業用水、(10)生活用水以及(11)工業用水。

表 2.1 逐項分析 4 項氣候變遷影響因子對 11 項水資源細項課題的影響，並且從中確立氣候變遷對於水資源的主要衝擊(共計 17 項)，「溫度上升」主要導致水資源需求提升，影響地表水資源的蘊藏量，「不降雨日數增加」主要影響水資源設施原本蓄豐濟枯的調節功能，「降雨強度增加」主要影響水資源設施的可蓄水量，並導致濁度上升而影響取水與減低淨水效率；「海平面上升」主要影響地下水資源的蘊藏量。綜合上述分析結果，在我國水資源調適範圍內，共計有 9 項將承受氣候變遷主要衝擊的水資源細項課題：(1)地表水、(2)地下水、(3)水庫蓄水、(4)水庫取水、(5)河川引水、(6)淨水、(7)農業用水、(8)生活用水及(9)工業用水，應進一步逐項評估風險，以作為國家水資源調適行動方案規劃與推動的基礎；此外彙整說明 17 項氣候變遷主要衝擊與 9 項水資源主要細項課題的關聯性(圖 2.9)。

表 2.1 氣候變遷對水資源的影響分析

水資源調適課題 與細項課題(11 項)		氣候變遷影響因子(4 項)			
		溫度上升	不降雨日數增加	降雨強度增加	海平面上升
水資源 開發與 保育	地表水	主要衝擊(1)：導致蒸發散量增加，影響地表水資源的蘊藏量。	主要衝擊(2)：影響地表水資源的蘊藏量。	無	無
	地下水	無	主要衝擊(3)：降低入滲量，影響地下水資源的蘊藏量。	無	主要衝擊(4)：導致鹽水入侵地下水含水層，影響地下水資源的蘊藏量。
水資源 供給	水庫蓄水	主要衝擊(5)：導致蒸發散量增加，影響水庫蓄水量。	主要衝擊(6)：影響蓄水，降低蓄豐濟枯調節功能。	主要衝擊(7)：導致淤積量增加，可蓄水量減少。	無
	水庫取水	無	無	主要衝擊(8)：導致濁度上升，影響取水。	無
	河川引水	無	主要衝擊(9)：導致河川流量降低，影響取水。	主要衝擊(10)：導致濁度上升，影響取水。	無
	淨水	主要衝擊(11)：導致水質劣化，影響淨水效率。	主要衝擊(12)：導致水質劣化，影響淨水效率。	主要衝擊(13)：導致濁度上升，影響淨水效率。	無
	輸水	無	無	無	無
	地下水抽用	無	無	無	無
水資源 需求	農業用水	主要衝擊(14)：導致蒸發散量提高，農業用水需求增加。	主要衝擊(15)：導致灌溉水源短缺，影響農產。	無	無
	生活用水	主要衝擊(16)：導致生活用水需求增加。	無	無	無
	工業用水	主要衝擊(17)：導致工業冷卻用水需求增加。	無	無	無

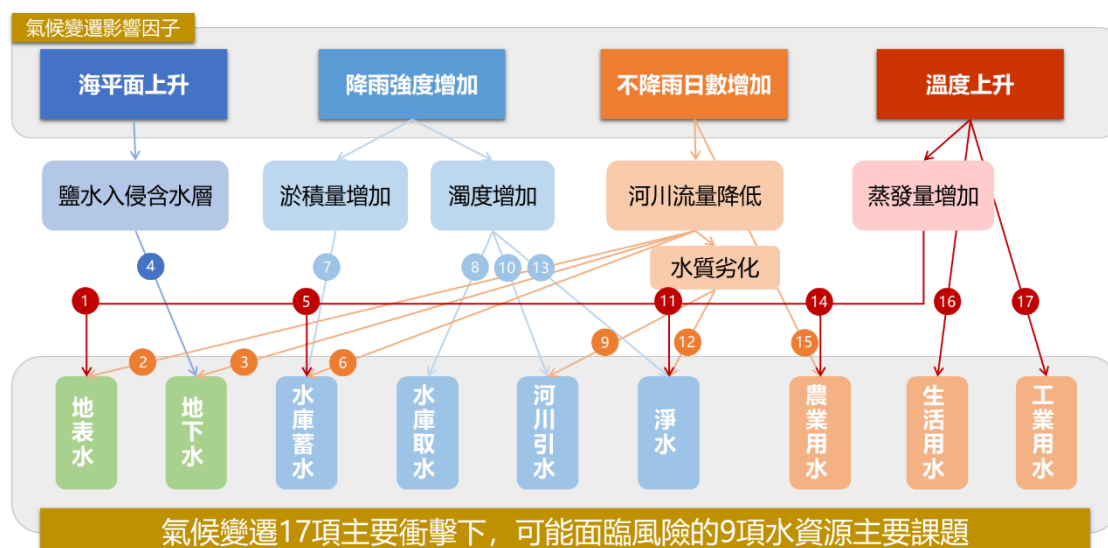


圖 2.9 氣候變遷主要衝擊下可能面臨風險的水資源細項課題

此外，依據科學報告 2024 所述，整體而言全臺年雨量及流量為增加之情況，豐水期間之雨量或流量有增加情況，枯水期間之雨量或流量則有減少情況(如表 2.2 及表 2.3)，而此種豐枯季水量分布不均的情況，可能造成未來水資源供給上更多困難與挑戰。各區降雨及流量變化情形概述如下：

(一) 北部地區

1.雨量

年雨量為增加趨勢，豐水期雨量為增加趨勢，枯水期雨量為減少趨勢；各指標在 AR5 及 AR6 之模式中位數範圍，年雨量為+1%至+13%，豐水期雨量+4%至+9%，枯水期雨量-3%至-11%。

2.流量

年流量為有增有減，豐水期有增有減，枯水期為減少趨勢；各指標在 AR5 及 AR6 之所有模式中位數範圍，年流量為-1%至+12%，豐水期流量+3%至+19%，枯水期流量-3%至-13%。

(二) 中部地區

1.雨量

年雨量為增加趨勢，豐水期為上升趨勢，枯水期為減少趨勢。各指標在 AR5 及 AR6 之模式中位數範圍，年雨量為+1%至+14%，豐水期雨量+2%至+8%，枯水期雨量-2%至-12%。

2.流量

年流量為增加趨勢，豐水期流量有增有減，枯水期流量有下降趨勢；指標在 AR5 及 AR6 之所有模式中位數範圍，年流量為-1%至+18%，豐水期流量-1%至+24%，枯水期流量-8%至+3%。

(三) 南部地區

1.雨量

年雨量為增加趨勢，豐水期雨量為增加趨勢，枯水期雨量為減少趨勢；各指標在 AR5 及 AR6 之模式中位數範圍，年雨量為+1%至+16%，豐水期雨量+1%至+5%，枯水期雨量-2%至-9%。

2.流量

年流量為增加趨勢，豐水期流量為增加趨勢，枯水期流量則互有增減；各指標在 AR5 及 AR6 之模式中位數範圍，年流量為-1%至+19%，豐水期流量-2%至+21%，枯水期流量-4%至+11%。

(四) 東部地區

1.雨量

年雨量為增加趨勢，豐水期為增加趨勢，枯水期為減少趨勢；年雨量範圍+2%至+16%，豐水期雨量+6%至+7%，枯水期雨量-6%至-12%。

2.流量

年流量為增加趨勢，豐水期為增加趨勢，枯水期則互有增減；各指標在 AR5 及 AR6 之模式中位數範圍，年流量為+2%至+27%，豐水期流量+4%至+31%，枯水期流量-8%至+12%。

表 2.2 氣候變遷雨量變化率

分區	指標	AR5		AR6	
		RCP4.5世紀中 變化率 (%)	RCP8.5世紀中 變化率 (%)	GWL 2°C 變化率 (%)	GWL 4°C 變化率 (%)
北	年雨量	+13 (-3至37)	+12 (-4至37)	+1 (-10至17)	+6 (-9至17)
	豐水期雨量	+9	+8	+4	-
	枯水期雨量	-8	-11	-3	-
中	年雨量	+14 (-6至37)	+14 (-5至39)	+1 (-12至19)	+12 (-11至46)
	豐水期雨量	+7	+8	+2	-
	枯水期雨量	-10	-12	-2	-
南	年雨量	+14 (-5至37)	+16 (-3至42)	+1 (-13至17)	+14 (-9至64)
	豐水期雨量	+3	+5	+1	-
	枯水期雨量	-9	-9	-2	-
東	年雨量	+15 (-2至39)	+15 (-1至41)	+2 (-12至17)	+16 (-12至43)
	豐水期雨量	+6	+7	-	-
	枯水期雨量	-6	-12	-	-

表 2.3 氣候變遷流量變化率

分區	指標	AR5		AR6	
		RCP4.5世紀中 變化率 (%)	RCP8.5世紀中 變化率 (%)	GWL 2°C 變化率 (%)	GWL4°C 變化率 (%)
北	年流量	+12 (-6至+42)	+10 (-9至+43)	-1 (-17至+22)	+4 (-16至+19)
	豐水期流量	+19 (-8至+55)	+18 (-7至+57)	+3 (-20至+29)	+15 (-14至+41)
	枯水期流量	-1 (-16至+24)	-4 (-22至+17)	-3 (-24至+16)	-13 (-34至+4)
中	年流量	+18 (-11至+49)	+18 (-7至+55)	-1 (-19至+27)	+14 (-18至+70)
	豐水期流量	+23 (-11至+56)	+24 (-8至+66)	-1 (-19至+26)	+16 (-17至+82)
	枯水期流量	+3 (-25至+32)	+1 (-34至+34)	-1 (-24至+29)	-8 (-26至+43)
南	年流量	+17 (-7至+46)	+19 (-4至+51)	-1 (-20至+23)	+17 (-16至+97)
	豐水期流量	+18 (-8至+47)	+21 (-3至+56)	-2 (-20至+25)	+18 (-16至+101)
	枯水期流量	+11 (-32至+77)	+11 (-35至+65)	+3 (-30至+79)	-4 (-29至+97)
東	年流量	+21 (-5至+55)	+22 (-3至+57)	+2 (-19至+26)	+27 (-18至+83)
	豐水期流量	+24 (-5至+56)	+26 (-4至+68)	+4 (-20至+35)	+31 (-14至+104)
	枯水期流量	+10 (-23至+65)	+12 (-17至+50)	-8 (-29至+31)	-7 (-34至+26)