

第二章 氣候變遷衝擊情形

3. 整體氣候變遷趨勢及衝擊

(一) 全球氣候變遷趨勢

依據聯合國政府間氣候變遷專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）2021年8月公布之氣候變遷第六次評估報告（IPCC AR6）第一工作小組報告「氣候變遷物理科學」顯示：人類對大氣、海洋及陸地暖化的影響乃無庸置疑。大氣、海洋、冰雪圈與生物圈已發生廣泛且快速的變遷，且近期的地球氣候系統與其各面向的變遷程度是過去數世紀至數千年來前所未有的，人為氣候變遷已影響世界各地許多極端天氣與氣候事件（如熱浪、豪雨、乾旱、熱帶氣旋），相關觀測及其受人為影響的證據更加顯著。

依據 IPCC 評估，無論何種排放與社會經濟發展情境的假設，各國氣候模式模擬推估結果顯示，即使幾十年內大幅減少溫室氣體排放或增加碳吸收，全球朝向2050淨零目標邁進，全球溫度亦將持續增溫至少到本世紀中，和工業革命時期相比全球將增溫1.5°C，甚至到2.0°C。唯有全球在2050年確實達到淨零排放，全球暖化程度才有機會於21世紀末降回1.5°C（和工業革命時期相比）。

全球暖化下將造成氣候系統諸多面向的變遷，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（颱風）減少但強烈熱帶氣旋比例增加、以及北極海冰、雪蓋與永凍土的減少等。暖化將進一步改變全球水循環，其中包括水循環變異度、全球季風降雨、乾濕事件的嚴重程度，且會導致其他的現象的變遷，尤其是海洋、冰層以及全球海平面等，在未來數世紀至數千年皆為不可逆轉過程。伴隨著全球暖化加劇，各區域預計將更頻繁面臨複數氣候衝擊驅動因子及複合性變遷。且不能排除冰層崩解、海洋環流劇變、複合性極端事件之可能性及影響。

IPCC 報告亦提供各區域的關鍵氣候資訊，針對亞洲地區的氣候變遷未來變遷趨勢評估摘錄如下：

- ✓ 溫度：極端高溫事件將會增加、冷事件減少
- ✓ 降水：極端降水、平均降水、洪水事件將會增加
- ✓ 風場：地面風速下降；熱帶氣旋的數量減少但強度增加
- ✓ 海岸與海洋：推估海平面上升造成沿岸地區洪水增加、海岸線倒退；海洋熱浪增加

(二) 臺灣氣候變遷趨勢及衝擊

國家科學委員會氣候變遷科研團隊依據 IPCC AR6報告與國內最新資料進行之臺灣氣候變遷變遷趨勢與本地氣候變遷衝擊評估情形 (https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ipcc_ar6.aspx)，摘錄重點如下：

根據中央氣象局觀測資料分析顯示，臺灣年平均氣溫於過去110年（1911-2020年）上升約1.6°C，近50年及近30年增溫呈現加速趨勢（圖4）。在四季分布方面，21世紀初夏季長度已增加至約120-150天，冬季長度則縮短約70天，且近年來冬季甚至縮短至約20-40天（圖5）。

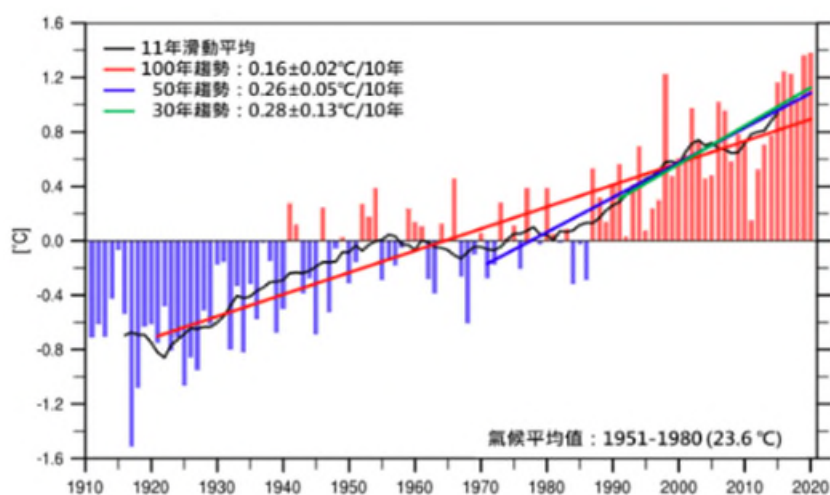


圖4、臺灣年平均氣溫變化趨勢

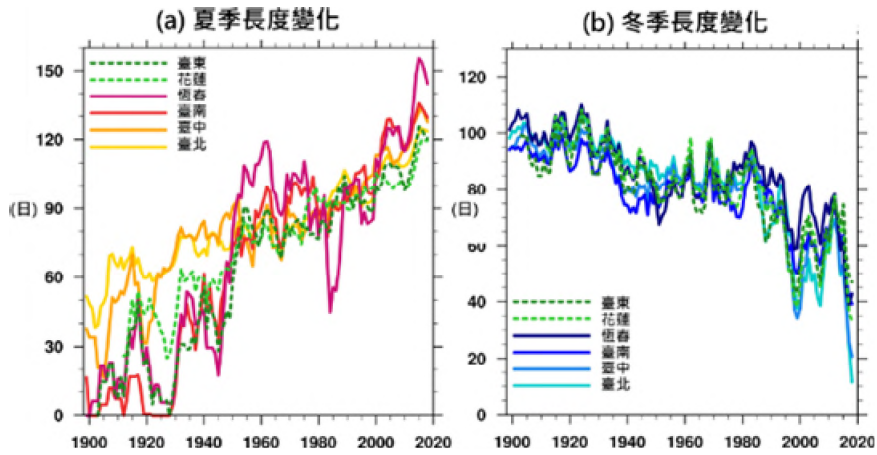


圖5、臺灣冬夏兩季長期變遷趨勢

在降雨方面，年總降雨量趨勢變化不明顯，但1961-2020年間少雨年發生次數明顯比1960年前時期增加，其中年最大1日暴雨強度在1990-2015年間，強度與頻率均呈現明顯增加趨勢（圖6）；另與乾旱有關之年最大連續不降雨日數趨勢變化明顯，過去110年增加約5.3日最大連續不降雨日數（圖7）。

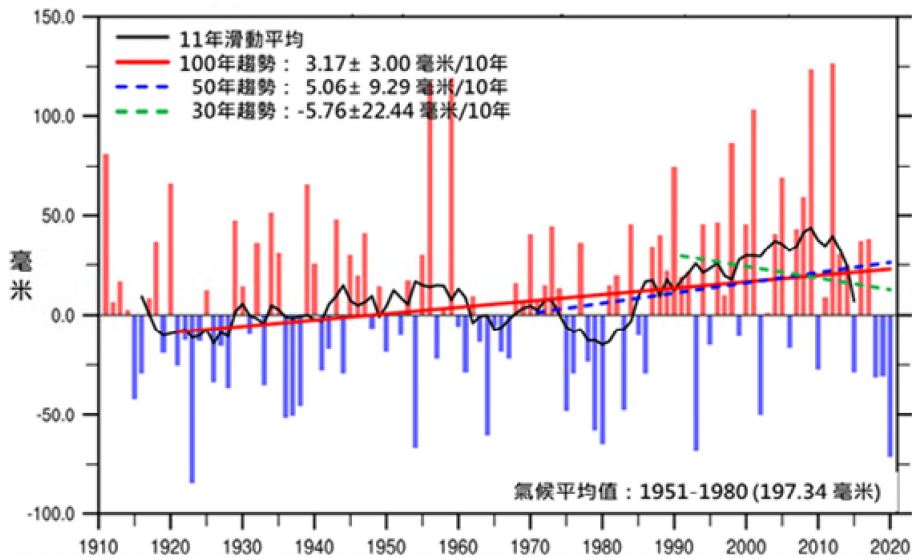


圖6、臺灣年最大1日暴雨變化趨勢

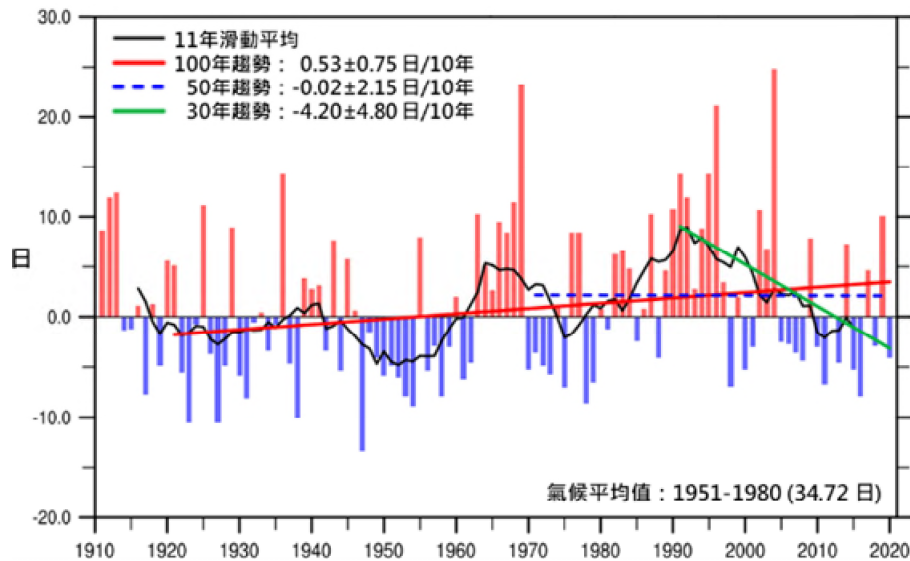


圖7、臺灣年最大連續不降雨日數變化趨勢

依據本土氣候變遷模擬與未來推估分析，依據 IPCC AR6的最新資料顯示，全球高度排放溫室氣體的最劣暖化情境（SSP5-8.5）與理想減緩情境（SSP1-2.6）相比較，前者對我國衝擊程度將明顯大於後者。

在氣溫方面，最劣情境下，於本世紀末高溫達 36°C 以上日數將較基期增加約48天；理想減緩情境下，增加天數降為6.6天（圖8）；於四季分布方面，夏季長度從約130天增長至155-210天，冬季長度從約70天減少至0-50天，變遷趨勢於最劣暖化情境下顯著，理想減緩情境下則相對緩和（圖9）；

與災害衝擊有關之「年最大1日暴雨強度」方面，在最劣情境下之21世紀末強度增加約41.3%，理想減緩情境下，暴雨強度增加幅度約為15.3%（圖10）。最劣情境（AR5 RCP8.5暖化情境）下於本世紀中及本世紀末，影響臺灣地區颱風個數將減少約15%、55%，但強颱風比例將增加100%、50%，颱風降雨改變率將增加約20%、35%，（圖11）。未來最劣暖化情境（AR5 RCP8.5暖化情境）下，本世紀末颱風風速約增強2%~12%，平均增強8%。因其先天地理環境，臺灣沿岸地區颱風風浪衝擊以東北及東南部海岸衝擊較大，颱風暴潮衝擊則以北部、東北部及中部海岸衝擊較大，故於升溫情境下，其衝擊皆高於其他地區。據 IPCC AR6升溫 2°C 情境顯示，臺灣周邊海域海平面上升約0.5公尺，於升溫 4°C 情境將導致海平面上升1.2公尺。

與乾旱水資源有關的部分，年最大連續不降雨日數各地有增加的趨勢，最劣情境(SSP5-8.5)下，21世紀中、末平均增加幅度約為5.5%、12.4%；理想減緩情境(SSP1-2.6)下，21世紀中、末減少幅度約為1.8%、0.4%。(圖12)

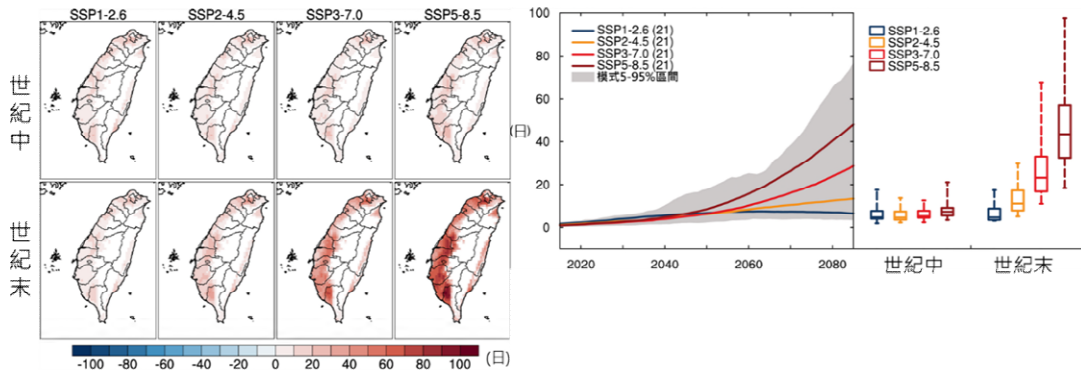


圖8、臺灣未來高溫超過36°C空間分布與年高溫日數推估

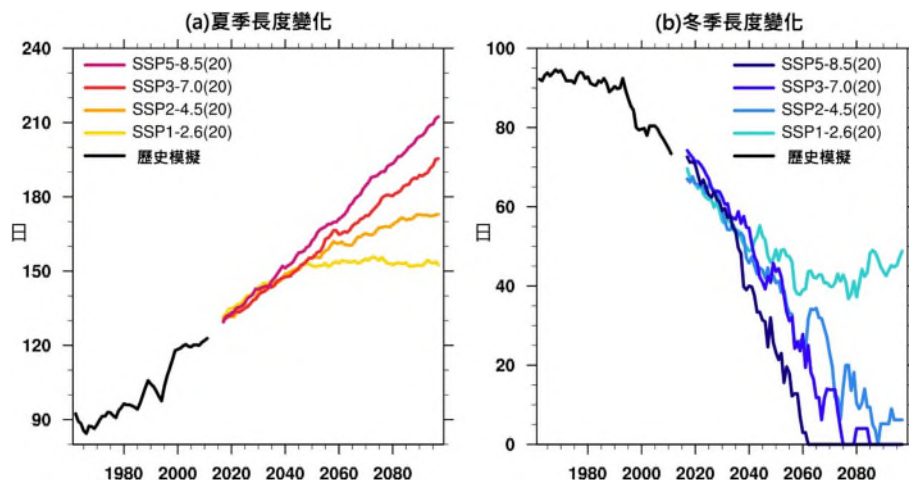


圖9、臺灣未來季節長度推估

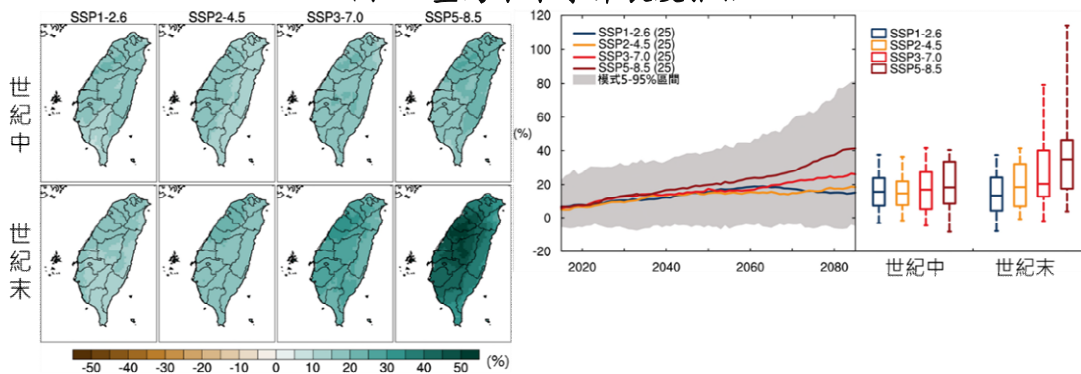


圖10、臺灣未來年最大1日暴雨空間分布與強度推估

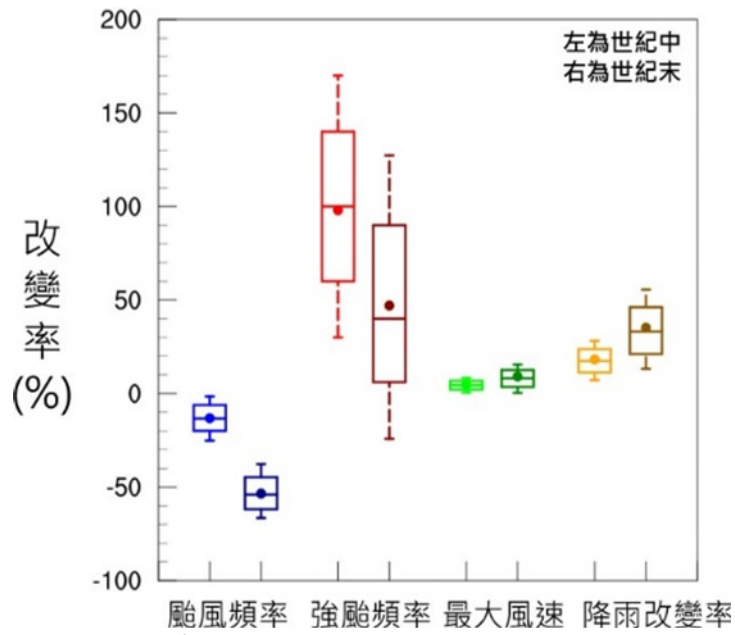


圖11、臺灣未來颱風特性變化趨勢推估

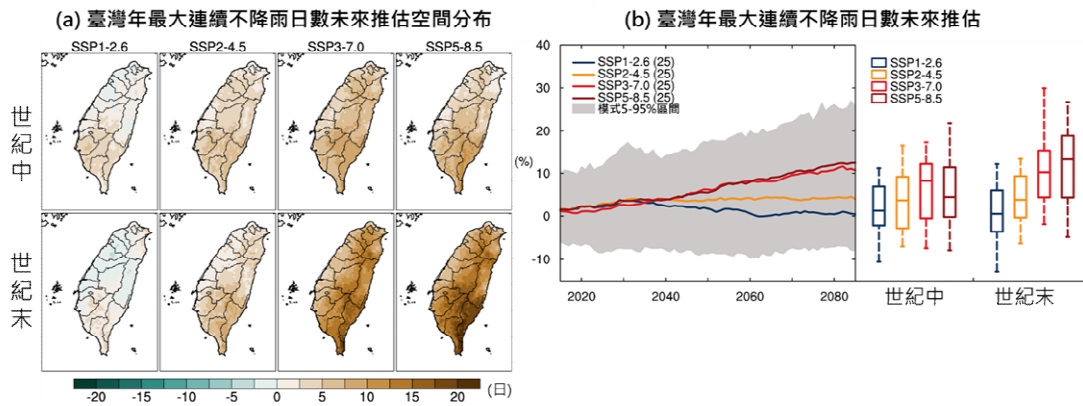


圖12、臺灣未來連續不降雨變化趨勢推估

4.

5. 本領域之氣候變遷衝擊

(一) 能源供給領域

聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)於2023年3月20日發布的「第六次綜合報告：氣候變遷2023(AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023)」總結氣候變遷、廣泛的衝擊和風險、減緩和調適的全面回顧，該報告指出 人類活動排放溫室氣體，已明確導致全球變暖，2011-2020年全球地表溫度已比1850-1900高出1.1°C，人為造成的氣候變遷已經影響到全球每個地區的天氣和氣候極端事件。

氣候變遷也對全球能源產業造成相當影響，如2012年颶風珊迪(Hurricane Sandy)摧毀美國紐約變電所之電力設施，使運作出現問題導致爆炸；2017年颶風哈維(Hurricane Harvey)挾帶災難性降雨引發洪水，導致德州煉油廠關閉；2022年10月奈格颱風(Nalgae)肆虐菲律賓，造成280個城鎮電力供應中斷。而英國氣候風險獨立評估報告之技術報告(UK Climate Risk Independent Assessment (CCRA3) Technical Report¹)，也闡述高溫、乾旱、海平面上升及極端降雨事件對於能源設施都有相當程度的衝擊。

極端天氣事件對能源供給設施的衝擊最為直接明顯，過去我國也曾因颱風、極端降雨、及乾旱等事件，導致設施損壞，進而影響能源供給，例如：

1. 極端降雨衝擊事件：2017年6月梅雨鋒面侵襲，因雨勢過大，造成輸電鐵塔倒塌，機組因此跳機。同年7月尼莎颱風登陸，造成輸電電塔倒塌，進而影響供電。
2. 乾旱衝擊事件：2020年到2021年上半年，除北臺灣外，中南部地區雨量偏少，颱風也未登陸，釀成半世紀來最嚴重旱災。水情告急下，導致水力發電廠無法取水發電，影響發電量。

¹Jaroszweski, D., Wood, R., and Chapman, L. (2021) Infrastructure. In: The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report. [Betts, R.A., Haward, A.B., Pearson, K.V. (eds)] Prepared for the Climate Change Committee, London

經濟部能源局自2011年起，即開始推動「溫室氣體管理與調適推動計畫」，建立相關風險評估方法與工具，以及提供氣候變遷資料等，協助並輔導能源產業鑑別氣候衝擊、評估氣候風險，並進一步規劃與執行調適行動。根據歷年調適工作推動之成果，可發現國內各種能源類型，在過去已面臨強風、極端降雨、乾旱、高溫、鹽害腐蝕等不同氣候類型之衝擊(相關衝擊影響如表2所示)。

表2、能源產業受氣候衝擊影響彙整表

能源類型	氣候衝擊影響				
	強風	極端降雨	乾旱	高溫	鹽害腐蝕
火力發電	造成線路與粉煤機跳脫	儲煤場降下超大豪雨，影響煤場排水	影響冷卻系統	影響發電效率	-
水力發電	-	廠房淹水，發電設備嚴重受損無法運轉發電。	水力發電發電能力明顯下降	使雷擊趨勢上升，造成機組設備損壞	-
風力發電	風力機組設備吹損、折斷	-	-	使雷擊趨勢上升，造成葉片、機組設備損壞	-
太陽光電	光電板可能被吹損	可能造成光電板損壞	-	影響發電效率	光電板失去發電效益
輸配電設施	強風吹斷樹枝，影響設備	造成變電所淹水，開關設備損壞	-	高溫跳機之可能性	鐵塔等設施恐造成鏽蝕
供油設施	導致進船偏移，暫緩卸收油料	燃料油管線沖斷	-	-	管線設備鹽分鏽蝕
供氣設施	風速大於船舶靠港規定，導致LNG船無法進港	雨沖毀導致過河段管線裸露	-	-	管線設備鹽分鏽蝕

(二) 產業領域

近年來全球氣候變遷釀成的氣候災害(如水災、乾旱、熱浪等)頻仍發生，已直接或間接影響到產業活動，其衝擊主要來自於瞬間強降雨、乾旱及高溫導致供水或供電中斷。依據 IPCC AR6報告與國內最新資料進行之臺灣氣候變遷變遷趨勢與本地氣候變遷衝擊評估情形可知，在最劣情境(SSP5-8.5)臺灣各地氣溫將持續上升，且於21世紀中、末超過36°C日數將可能增加9日、48日，同時年最大1日暴雨強度也有增加的趨勢。而根據美國能源部(U.S. Department of Energy)的報告(Climate Change, Infrastructure, Urban Systems, and Vulnerabilities, Technical Report²)指出，若氣候變遷導致的極端溫度持續發生，夏季高溫使空調、冷氣使用增加，連帶提高電力的需求。其次，短時間龐大的電力需求，將可能提高跳電頻率發生的風險，若生產設備缺乏緊急供應電力等設備，恐導致供應鏈的中斷。

經濟部工業局自民國101年起推動「製造業企業調適示範專案」，透過調適管理程序，協助企業鑑別氣候風險及其潛在衝擊項目。根據歷年製造業調適示範專案推動結果發現(如表3)，造成製造業生產效能降低之氣候事件主要為「強降雨」、「乾旱」及「高溫」，其原因如下：

1. 瞬間強降雨造成排水不及，導致廠區淹水，可能使生產設備停擺或損壞，台電公司電力供應緊急跳脫，導致工廠無法營運。
2. 由於部份產業製程需要穩定、持續的水資源，故當瞬間強降雨造成原水濁度過高導致暫停供水，或者因乾季降雨減少致使供水量不穩定，皆可能會影響產業製程。
3. 夏季高溫造成民生用電及工業用電需求增加，可能提高跳電風險，影響生產設備運作並降低產能。其次，高溫會降低冷卻水塔之冷卻效率，亦加劇用電量之需求，同時影響生產製程。

² Wilbanks, T. J., & Fernandez, S. (2014). *Climate change and infrastructure, urban systems, and vulnerabilities: Technical report for the US Department of Energy in support of the national climate assessment*. Island Press.

各氣候事件對產業之衝擊，依衍生災害衝擊、直接/間接衝擊及產業影響層面等面向，彙整產業衝擊如表3所示。降雨強度增加，可能造成淹水、坡地及暫停供水，主要影響層面較廣泛，包括資產面-重要設施或公用設備損壞、製程面-生產中斷損失、供水/供電系統停擺、人員面-人員安全及管理調度、供應鏈-運輸通路停擺、財務面-額外的營運成本及生產成本增加。

降雨強度減少將衍生乾旱(缺水)的災害衝擊，主要影響面向以製程面及財務面為主，分別為供水不足，將造成部份產業製程中斷，以及因應水源不足，額外增加之製程用水成本，或增設之儲水設施成本。

而高溫可能產生的產業影響層面也有：資產面-重要設施或公用設備損壞、製程面-缺電風險增加導致限電、人員面-高溫造成的身體不適及流行疾病影響工作人員安全及管理調度、財務面-用電量增加造成之營運成本上升，以及冷卻相關之生產成本增加。

表3、降雨及溫度的變化對產業的衝擊彙整表

面向		降雨強度增加	降雨強度減少	高溫
衍生災害衝擊		<ul style="list-style-type: none"> ● 淹水災害 ● 坡地災害 ● 暫停供水 (原水濁度高) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 乾旱(缺水) 	—
直接/間接衝擊		直接衝擊	間接衝擊	間接衝擊
產業影響層面	資產面	<ul style="list-style-type: none"> ● 重要設施設備損壞損失 ● 公用設備損壞損失 	—	<ul style="list-style-type: none"> ● 重要設施設備損壞損失 ● 公用設備損壞/損失
	製程面	<ul style="list-style-type: none"> ● 生產中斷損失 ● 供水系統停擺 ● 電力配電系統停擺 	<ul style="list-style-type: none"> ● 生產中斷損失 ● 供水系統停擺 ● 產能擴張受限 ● 廢棄物/廢水處理中斷 	<ul style="list-style-type: none"> ● 全台總用電量增加，促使台電實施限電措施，影響製程運作
	人員面	<ul style="list-style-type: none"> ● 人員安全 ● 人員管理調度 	<ul style="list-style-type: none"> ● 人員管理調度 	<ul style="list-style-type: none"> ● 員工生產力下降
	供應鏈	<ul style="list-style-type: none"> ● 運輸通路停擺或其成本增加 	—	—
	財務面	<ul style="list-style-type: none"> ● 額外的營運成本(人員/設備維修及購置) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 生產成本增加(增購原物料) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 公司營運成本增加(如增加空調用電成本等)

面向	降雨強度增加	降雨強度減少	高溫
	<ul style="list-style-type: none"> ● 生產成本增加(增購原物料) ● 儲水成本增加(設置儲水設施) ● 電力成本增加(設置緊急發電機) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 儲水成本增加(設置儲水設施) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 生產成本增加