

第三章 未來氣候變遷情境設定及風險評估

一、調適應用情境設定

(一)「國家調適應用情境」設定

氣候情境為風險評估之依據，IPCC AR6 本次報告同時呈現排放情境（社會經濟共享情境，SSP）與全球暖化程度（Global Warming Level, GWL）。綜整 IPCC AR6 各情境推估與科學模擬依據，並考量前期行動計畫推動經驗檢討與操作之可行性，本期調適行動方案/計畫優先採「全球暖化程度」作為「國家調適應用情境」，以作為各部門進行風險評估與辨別調適差距之共同參考情境。

國家調適應用情境原則，相關情境說明如圖 3.1 所示：

1. 0°C：工業革命時期（1850-1900），為全球暖化的起始點，作為固定暖化情境的參考基準。
2. 1°C：現階段氣候基期（1995-2014），可作為現有風險評估及其未來缺口的參考基準。
3. 1.5°C：近期（nearterm, 2021-2040）的增溫情境。
4. 2°C：中期（midterm, 2041-2060）的增溫情境。
5. 3°C~4°C：考量 21 世紀末減碳失敗的增溫情境，將增溫 3°C~4°C（longterm, 2081-2100）之極端情境。

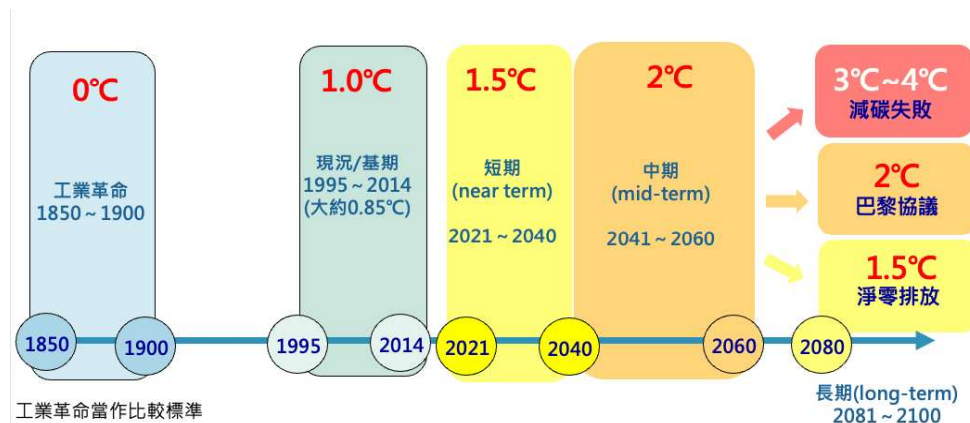


圖3.1固定暖化情境之參考基準、基期與增溫情境與時程

本期「國家氣候變遷調適行動計畫(116-119)」依據最新氣候變遷科學數據，將「國家調適應用情境」優先設定為「西元 2021-2040 年升溫 1.5°C、西元 2041-2060 年升溫 2°C」，作為各部門進行風險評估與辨別調適差距之共同參考基本情境，以兼顧施政期程規劃與降低調適差距之目標設定，並強化國家整體風險評估之一致性，助於跨部門風險評估應用與整合。

二、風險評估作業說明

編撰指引：請說明本領域進行風險評估的步驟、過程（如是否有辦理相關會議及討論）與規劃，建議對照「氣候變遷風險評估作業準則」撰寫。

本領域參酌國際發展趨勢、當前重要政策與過往「國家氣候變遷調適行動計畫（102-106 年）」、「國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年）」，經各機關依據主責項目與氣候變遷議題協助提供意見，綜合評估後所提出本期行動方案。為確保全民健康議題能持續因應氣候變遷，本期所提調適工作分為「辨識氣候風險與調適缺口」及「調適規劃與行動」等二階段。

一、 辨識氣候風險與調適缺口：

2022 年政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）第二工作小組（Working Group II）指出，極端高溫對人類健康之衝擊將隨氣候變遷持續加劇，並受都市化、人口高齡化及極端高溫事件增加等因素影響而更加顯著。熱浪暴露人口增加將提升熱相關健康風險，且不同地區之影響程度可能存在差異；其中高齡者、孕產婦及兒童等族群具較高脆弱性。報告亦強調，建立早期預警機制並結合健康介入與健康促進策略，為降低氣候相關健康風險之關鍵調適方向。

此外，環境部亦將極端高溫及其衍生之熱傷害納入風險管理範疇，持續推動相關措施。現行亦由中央氣象署建立高溫預警與氣象資訊發布機制，並透過既有健康通報與監測機制，持續掌握熱傷害相關健康事

件之發生情形與變化趨勢。惟現行制度在健康風險監測資料應用整合，以及健康介入措施之連結與整體健康風險治理能力等面向，仍存在調適落差。因此，本健康領域將高溫熱傷害列為重點調適議題，以持續強化健康風險治理架構與調適能力。

二、調適規劃與行動：

在規劃調適工項，排序調適選項及規劃內部可行降低風險的調適行動，為此分別於 114 年 6 月 25 日線上辦理「國家氣候變遷調適計畫高溫熱傷害風險評估」讀書會，邀集衛生福利部內部單位共同瞭解，並由臺灣師範大學永續管理與環境教育研究所葉欣誠教授主講「氣候變遷因應框架談對健康調適之期許」；另於 114 年 9 月 1 日辦理「高溫熱傷害風險評估」讀書會，邀集環境部、勞動部及衛福部共同參與，由中央研究院環境變遷研究中心龍世俊研究員說明新一期「國家氣候變遷調適行動計畫」健康領域範疇、調適目標及策略，以及高溫熱傷害風險評估之評估脆弱度因子、界定高溫熱傷害脆弱族群、地區及調適缺口。

三、現況與未來風險評估

編撰指引：

* 建議參考風險評估作業準則、國外報告（IPCC/領域）、國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適以及國內研究（領域先前已彙整之評估結果/國科會）就領域特性，分成現況及未來兩部分酌予撰寫：

既有風險評估結果，依據最新科學資訊和準則進行更新

未曾辦理風險評估之策略或措施，本期參採最新科學資訊和準則，辦理風險評估（第一階段）

檢討準則操作窒礙難行之處，補強科學資料不足，直接進入第二階段之工作與原因（第二階段）

* 注意：依照風險評估作業準則，未來風險評估需與氣候衝擊對應。

* 重點彙整：以連結第四章之「調適目標」及第五章之「推動策略/措施」

（一）現況風險評估

在「氣候變遷高溫熱傷害風險評估」部份，採用聯合國政府間氣候變遷專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）方法論及其定義分析臺灣地區在2000年至2024年之間高溫熱傷害風險評估。由於高溫導致熱傷害風險之影響因素複雜，主要受到高溫熱壓力、人體暴露程度、社會脆弱性的綜合影響，因此以危害度、暴露度與脆弱度三者相乘計算高溫導致的熱傷害風險。這三者所選用方法說明如下。

危害度係依據每日最高溫度大於等於36度的標準，計算每年超標的日數，並將各縣市高溫暴露頻率分為三級，其中第3級代表熱危害程度最高，需優先關注；第1級則為相對危害度較低的地區。

暴露度係依據每日最高 WBGT 大於等於36度的標準，計算每年超標的度數天總和，並將各縣市 WBGT 超標的累積度天分為三級，其中第3級代表熱暴露程度最高，需優先關注；第1級則為相對暴露程度較低的地區。

脆弱度則以多項社會因子與環境資源作為指標，評估臺灣各縣市在面對高溫熱傷害時的脆弱性與調適能力。社會面向包含：原住民人口比例、老年人口比例、14歲以下人口比例、低收入戶人口比例、獨居老人比例與身心障礙人口比例，這些指標皆反映特定族群在生理、經濟或社會支持上的潛在弱勢程度，可能加劇其對極端高溫的健康風險。環境資源面向則涵蓋森林面積、濕地及草生地面積與河川湖泊面積比例，作為評估地區熱調適潛能的代理指標。

此外，也分析社會資源可及性與環境基礎設施作為熱傷害調適能力的代理指標，探討各縣市面對高溫熱風險之資源分布情形。像是在醫療與資訊基礎設施面向中，醫事人力比例、醫療院所病床數比例能反映醫療資源密度；固網與行動寬頻普及率則代表在緊急災害情境中資訊取得與溝通的可及性。

另外，在人口與土地利用面向，住宅人口密度可代表人口集中與

熱蓄積潛力，綠地與水域資源則可透過農田、公園綠地面積、河川及溝渠面積與蓄水設施面積等基礎設施進行評估。在社會支持系統方面，社區協會數量、照顧關懷據點密度與社區生產建設經費作為社區自主調適與照護弱勢族群能力的代表指標。

在多項指標上皆屬脆弱區，反映出其社區層級的資源較少，應優先強化其組織與基礎建設以因應熱風險。透過上述指標之空間化分析，有助於辨識社會與環境層面上高溫熱傷害的潛在熱點區域，作為後續高溫脆弱度評估與在地化調適策略擬定之科學依據。

利用 IPCC 方法，各縣市在升溫2°C情境下，未來高溫熱傷害風險，結果可以了解是何項因子造成的高風險。此外，IPCC 方法也可再進一步探討脆弱度因子的貢獻，例如脆弱度因子使用身心障礙人數百分比、農戶數百分比、公園綠地面積百分比、濕地及草生地面積百分比、醫事人力百分比及醫療院所病床百分比等，在未來在規劃調適策略時，可優先針對脆弱度等級較高的因子進行規劃，或者是未來在評估調適策略是否有效時，可透過降低脆弱度因子等級來看風險是否有降低。

（二）未來風險評估

在空氣品質方面，依據「國家氣候變遷科學報告 2024」，氣候變遷將改變污染物傳輸及擴散條件，增加空氣品質管理挑戰。高溫、弱風、大氣穩定及境外污染傳輸等氣候因子，均可能影響細懸浮微粒（PM_{2.5}）及臭氧（O₃）污染事件發生機率。雖然我國空氣品質已具明顯改善成果，未來仍須持續推動污染改善工作，並強化氣候變遷情境下之風險監測、預報及調適規劃能力，以降低極端氣候對環境品質造成之衝擊。

氣候變遷對室內空氣品質影響亦不容忽視。高溫、高濕、降雨型態改變及通風換氣條件受限，可能造成二氧化碳、細菌、懸浮微粒

及甲醛等污染物累積，提高室內環境暴露風險。嬰幼兒、兒少、高齡者及慢性病患者等敏弱族群對空氣污染較為敏感，若其活動場所未能維持良好通風換氣及污染源管理，將增加健康危害風險。極端天氣事件亦可能影響空氣品質監測設備、預警系統及相關環保設施之運作效能。未來除持續推動污染防制工作外，亦須強化敏弱族群保護、環保設施韌性及跨機關健康防護機制，提升整體調適能力。

在水質品質方面，同樣依據「國家氣候變遷科學報告 2024」，氣候變遷未來將對用水產生的風險包括暖化與乾旱情境下的水質惡化及極端暴雨與強颱衝擊下的高濁度與化學污染風險。

在氣候變遷與未來暖化的情境下，臺灣枯水期的流量預期將顯著減少，且連續不降雨日數增加，這對水質帶來了嚴峻的考驗。當河川與湖庫的水源量大幅下滑時，水體對污染物的稀釋能力下降，將導致水中的硝酸鹽、氨氮及重金屬等污染物濃度隨之攀升。與此同時，氣溫與水溫的升高，會加速水體中的氮、磷循環，極易誘發水庫出現嚴重優養化與低溶氧現象，進而促使藍綠藻快速繁殖並釋放出具健康風險的「微囊藻毒素」及嗅味物質，大幅增加自來水淨化的難度。此外，當地面水因乾旱短缺而過度轉向抽用地下水時，除易引發海水入侵與地下水鹽化外，地下水位的劇烈變動亦會改變地球化學環境，促使地下水中的砷、鐵、錳等重金屬或有害物質加速溶出，進一步威脅水源安全。

另一方面，雖然未來侵臺的颱風數量可能減少，但強颱比例與極端降雨強度卻面臨「新常態」的增強趨勢。當極端暴雨發生時，強烈降雨會引發山區嚴重的土石流失與山崩，導致大量泥沙湧入河川與水庫，使原水濁度瞬間飆升，極易超出淨水廠的處理極限。此外，猛烈的地表徑流會將集水區及周邊農牧業的農藥、化肥、動物用藥及各類環境荷爾蒙大範圍沖刷入水源區；淨水廠為了因應高濁度與高有機

物原水，勢必得增加加氯消毒的劑量，這將導致自來水中具致癌風險的「三鹵甲烷」等消毒副產物濃度顯著上升。

因應極端氣候對飲用水安全之衝擊，國內自來水事業與環保機關已具備常態性應變機制。倘遇颱風豪雨導致原水濁度飆高，淨水場將依操作標準機動調整混凝劑與消毒藥劑投放量，其藥劑種類及品質管制均受「飲用水管理條例」嚴格控管；另逢旱季缺水時，則由自來水事業機動調度伏流水或備援水源。因應天然災害或其他不可抗力因素導致原水惡化，依《飲用水水質標準》第 5 條之一規定，主管機關因天然災害需分區供水者，針對感觀性或影響適飲性之水質項目（如鐵、錳及自由有效餘氯等），適用其災害應變期間水質標準（調適放寬標準），以兼顧枯水期之民生供水穩定；地方環保局亦配合加強相關水源與供水端之水質抽驗，確保供水韌性與飲水安全。

在化學物質方面，受氣候變遷影響下，民眾為因應氣溫上升與極端降雨，積極採取防熱傷害與防水等調適生活型態，帶動相關功能性民生用品的需求，亦改變了整體社會的化學物質使用型態與組成。為掌握此趨勢，「化學物質環境流布背景調查專案工作計畫」長期監測國內環境中之持久性有機污染物、環境荷爾蒙及國際關注新興物質等多數與民生相關之化學物質；透過持續追蹤環境介質中化學物質的濃度動態，落實具氣候韌性的化學物質源頭與環境管理。

此外，因應高溫下毒性及危害性關注化學物質災害風險增加之預防及應變。由於我國地狹人稠，各類化學物質等運作場址與生活區毗鄰，並參考 IPCC 第五次評估報告指出極端氣候的驅動因子亦包含「極端溫度」。因此，極端高溫催化化學反應風險：隨全球暖化與極端連續高溫日數增加，列管毒性及關注化學物質運作場所面臨更高的「環境熱壓力」。高溫環境將直接導致易揮發性化學物質之蒸氣壓驟增（增加洩漏與毒氣擴散風險），以及自反應、自燃或熱失控類型物質之熱不穩定性大增，大幅提高工廠火災及爆炸等化學災害的基礎機

率，大幅提高工廠火災及爆炸等化學災害的基礎機率，大幅增加救援及環境復原困難與複雜程度，不論對救援工作或救災人員之安全保障，都極具挑戰性。

綜觀近年來我國化學品種類及數量快速成長，部分化學物質具易燃、爆炸性、毒性、腐蝕性等危害特性，考量災害事故隨著科技日益精進及複合式極端氣候災害疊加（如強颱、豪雨、乾旱）易導致化學毒性及關注化學物質運作場所之基礎設施（如冷卻系統、貯存槽體、防爆隔牆）受損或斷電。當「高溫熱失控」疊加「斷電/淹水致冷卻失效」時，將引發嚴重的複合式毒化災，對周邊公共衛生與社區居民健康造成重大威脅，因此，考量為完善災害預防機制及人員安全風險，應全面就列管之毒性及關注化學物質針對其物理特性進行盤點，針對其高風險物質運作場所，邀集地方政府相關單位及專家學者共同協助輔導，以提升業者災防整備量能。此外，亦可透過評估化學物質管理之相關風險，導入科技化管理，如預警與救災技術，並精進與擴大涵蓋各類複合型事故預防、整備與應變等量能，輔助提升預警時效，取代救災人力進入熱區，以提升民眾、救災人員之健康與安全保障。

另外因應氣候變遷下都市有害生物治理，由於高溫環境可能導致環境衛生害蟲產生棲地、活躍度或習性改變之情事，進而擴大影響人民之範圍，甚或可能源於棲地變化，從母族群脫離之害蟲子族群，因拓荒者效應而建立抗藥性族群，於地理位置中生成抗藥性區(Resistant pockets)，再者環境衛生害蟲生理機制如解毒酵素之活性變化，皆可能提升防治困難度，爰應釐清高溫或極端氣候對於防治本國環境衛生害蟲而言，所造成之正反面影響，進而系統性評估危害度、暴露度與脆弱度。惟為調適上述情境所帶來之衝擊，以現行制度與人力資源不足以因應，爰規劃推動環境蟲害研究聯盟，以整合學研單位研究量能，奠定環境用藥管理(包含抗藥性與綜合害蟲防治策略)協作基礎，期於未來延續該合作模式，整合產官學用界建立都市有害生物治理組織，以應對日益嚴峻之環境衛生害蟲防治挑戰。

在生活環境方面，依據國家調適基本情境，在未來升溫 1.5°C 至 2°C 的情境下，夏季高溫日數與極端熱浪的頻率將大幅增加。這將導致資源回收場內大量暫存的塑膠、廢電子用品或鋰電池等物質，其熱失控與自燃風險呈現倍數成長；一旦發生資收場大火，不僅會釋放出具備健康威脅的化學污染物與懸浮微粒，影響周邊空氣品質，亦會加劇呼吸道疾病患者的急診就醫風險。同時，在未來強颱比例與極端降雨增加的推估下，低窪或防災設計不足的資收場若遭遇淹水情形，將使整體回收去化系統面臨嚴峻的過載風險，間接影響災後環境衛生之復原進度。

此外，受全球暖化及氣候變遷影響，臺灣未來將面臨更頻繁且強度更高之颱風、豪雨、地震及複合型災害，不僅可能於短時間內產生大量災害廢棄物，亦將改變病媒生物之生存環境與分布範圍，進一步增加環境污染及公共衛生風險。當災害規模超過地方既有清運與處理量能時，建築廢棄物、家具、家電、樹木殘枝及混合垃圾等災害廢棄物可能大量堆置，導致清運延遲及處理設施負荷增加；若未能於災後黃金復原期間完成妥善分類、暫置及去化，除可能阻礙救災及復原作業外，亦可能因積水、病媒蚊蟲孳生、腐敗惡臭及有害物質逸散，衍生傳染病、呼吸道疾病及其他健康風險。此外，高溫環境下廢棄物中夾雜之有機物、塑膠及鋰電池等高風險物質，亦可能因蓄熱、自燃或化學反應引發火災，造成空氣污染及二次環境衝擊。

另一方面，氣溫上升及降雨型態改變，將使原本受低溫限制之病媒蚊活動範圍逐步擴大。過去主要分布於北回歸線以南地區的埃及斑蚊，以及多分布於海拔 1,500 公尺以下地區的白線斑蚊，未來可能向北部或更高海拔地區擴散，使登革熱等蚊媒傳染病之潛在風險區域增加。極端降雨及淹水事件後所形成之積水環境，亦可能進一步提高病媒蚊孳生機會，增加疫情發生及擴散風險。

在衛生福利部權管之傳染病風險評估方面，氣候變遷將影響病媒及人畜共通傳染病之分布與生態，地域性傳染病傳播風險亦可能上升。相關規劃係運用傳染病監測資料，建立不同情境下之短、中及長期傳播風險預測模型，並結合危害度與脆弱度等面向進行風險評估，以瞭解傳染病防治之調適缺口，作為後續防治政策制定與調整之依據。

在職業健康風險方面，農業及其他從事重體力勞動之戶外工作者屬於高暴露且高風險族群。隨氣候變遷影響加劇，極端高溫事件發生頻率、持續時間及強度預期將持續上升，戶外作業勞工長時間暴露於高溫環境之情形將更為普遍，致熱衰竭、熱中暑等熱相關健康危害風險增加。尤其中小型事業單位在高溫風險辨識與管理能力上仍有不足，且防護資源相對有限，使其於面對極端高溫事件時更為脆弱，整體勞工健康保護面臨更大挑戰。因此，有必要強化高溫作業熱危害預防與管理機制，以提升整體調適能力。

在社福與護理照護體系及機構韌性方面，隨全球暖化及氣候變遷影響日益加劇，極端高溫、強降雨及颱風等事件之發生頻率與強度均顯著提升，對獨居且行動不便之身心障礙者及社福與護理照護機構服務對象之健康與營運安全構成多重風險，包括熱傷害、失溫及慢性病惡化等健康危害。同時，強降雨及風災可能導致淹水、交通中斷及基礎設施受損，進而影響服務供應、醫療支援、物資配送及人員調度等運作，並增加整體照護體系運作不確定性。環境變化亦可能提高傳染病與衛生風險，增加群聚感染事件發生機率，並加重機構照顧負荷與人力壓力，進而影響整體服務品質。此外，地方層級對於脆弱族群名冊更新頻繁，亦可能影響災害應變之即時性與完整性，顯示整體照護體系於面對氣候變遷衝擊時，亟需強化監測預警與應變調度機制，以提升整體氣候韌性與風險管理能力。