



國家氣候變遷科學報告2024

執行摘要

第一章 全球與東亞氣候變遷

1. 自1850年以來的觀測紀錄顯示明確的全球暖化趨勢，且近年來暖化趨勢急遽增強：2001年至2020年全球表面溫度相較1850年至1900年高出 0.99°C (0.84°C 至 1.10°C)；2012年以來，全球地表溫度大幅上升，2016年至2020年是1850年至2020年之間最熱的五年。全球各地增溫幅度不一，陸地高於海洋，極區增溫比中低緯度顯著，尤其是北半球高緯度地區特別明顯。(圖1.2.1；圖1.2.2；1.2.1節)
2. 氣候歸因模擬探討近百年來全球暖化的原因，發現 20世紀後期的暖化主要導因於人為排放過多溫室氣體，自然驅動因素的影響相對不顯著。(圖1.2.1；1.2.1節)
3. 不同溫室氣體排放情境 (SSP) 模擬推估顯示，全球表面溫度都將持續增溫至少至21世紀中葉。21世紀末，低排放情境SSP1-1.9的全球地表平均溫度上升約 1.0°C 至 1.8°C ，高排放情境SSP5-8.5則可能高達 3.3°C 至 5.7°C 。SSP5-8.5 情境下，增溫超過 2°C 極可能在2041年至2060年期間發生。其餘情境推估顯示，全球地表升溫超過 1.5°C 將在2030年代初期實現。不同情境模擬均顯示，北半球暖化程度高於南半球、陸地升溫趨勢大於海洋且高緯度趨勢大於中低緯度的特性。(圖1.2.3；圖1.2.4；1.2.2節)
4. 自 1950 年代以來，全球大多數區域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。人為活動造成的溫室氣體增加是這些極端高低溫度事件增減的主要驅動因素。未來全球大多數地區與陸地地區的極端高溫與熱浪事件將更為頻繁且持續。(1.4.1節)
5. 1950年以來的觀測紀錄顯示，整體而言，陸地降水量有些微增加的趨勢，但不同地區呈現不同降水趨勢。熱帶地區、非洲北部、部份歐洲與中亞以及海洋大陸在1980年至2019年間降水增加，南美洲中部、北美西部、北非以及中東則呈現減少的趨勢。(1.2.3節)
6. 模式推估全球平均降水量將隨溫室氣體排放程度增強而增加，陸地降水增加比全球或海洋區域更為明顯。全球每增溫 1°C ，全球平均降雨量可能增加2%至3%。

相對於21世紀末，短期 (2021年至2040年) 降水變化推估的不確定性較高，並且不同排放情境之間的降水變化差異不顯著。造成不確定性的來源，可以分為以下幾類：氣候系統的自然變異、氣候模式、以及自然與人為氣膠的影響。北半球溫帶區域的降水變化率比全球陸地平均的變化率更為顯著。(圖1.2.5；1.2.3節；1.2.4節)

7. 自1950年代以來，較完整的陸地觀測資料顯示，已經可以偵測到強降雨事件的頻率、強度與降雨量增加的訊號，並且大部分觀測到的增加訊號可以歸因為人為因素導致。暖化情境下，每增溫1°C，極端降雨事件頻率與強度增加約7%。未來推估顯示，隨著全球暖化程度升高，幾乎所有陸地地區的極端降水都可能增加，較罕見的極端事件具有更高的增加比例。(圖 1.4.4；1.4.2節)
8. 氣象乾旱事件的過去趨勢，現有證據有限且區域趨勢估計不一致，不確定性較高。隨著全球暖化加劇，區域的乾旱頻率、強度與造成災害的機率都將成比例增加，更頻繁與嚴重的氣象乾旱範圍也跟著擴大。(圖 1.4.7；圖 1.4.11；1.4.3節)
9. 過去觀測紀錄顯示，全球3級至5級熱帶氣旋所佔比例與快速增強事件的頻率普遍呈現增加趨勢，西北太平洋熱帶氣旋活動有往高緯度遷移的跡象。未來推估顯示熱帶氣旋的降雨量與強度、強熱帶氣旋比例都會隨著暖化程度增強而增加。21世紀末，西北太平洋颱風生成數量減少且生命期縮短，並呈現向極區遷移的趨勢，颱風的最大風速與降雨都將增強。(圖 1.4.9；1.4.4節)
10. 結合多重極端災害的複合事件，在暖化的未來可能更加頻繁或嚴重。多數地區的複合事件極可能變得更加頻繁和強烈。(1.4.5節)
11. 歷史資料顯示全球大多數海域的海表面溫度呈現上升趨勢，以北半球高緯度地區最為明顯。自1850年以來，全球平均上升0.88°C，其中有0.60°C的升溫是發生於1980年之後。氣候模式推估世紀末全球海溫上升趨勢有極高的可信度，在SSP1-2.6平均增加0.86°C，SSP5-8.5則增加2.89°C。海溫持續暖化也將促使海洋極端事件，例如海洋熱浪與海洋層化效應，更容易發生。(圖 1.3.1；圖 1.3.3；1.3.1節)

12. 觀測顯示自1950年起，全球海洋pH值逐漸降低，酸化趨勢明顯，並且在各種排放情境推估，酸化趨勢隨著暖化程度增加將更為明顯。暖化造成的海水酸化將進一步影響海水對於二氧化碳吸收的程度，降低海洋的碳匯功能。(圖 1.3.1；1.3.1節)
13. 由觀測證據顯示，大西洋經向翻轉環流是否呈現減弱趨勢，以及其趨勢是自然變異或受人為作用影響，尚未有定論。然而，在暖化情境的未來推估，大西洋經向翻轉環流皆呈現明確減弱趨勢。從1955年至2010年期間的水文資料顯示，黑潮在過去大致呈現加速趨勢且有離岸偏移趨勢，且在夏季較為顯著。(圖 1.3.6；圖 1.3.7；1.3.1節)
14. 目前海冰觀測顯示，北極海冰減少最為顯著，尤其在9月海冰開始形成的時節；南極的海冰減少較不顯著，但這幾年的觀測顯示南極海冰快速減少。在所有排放情境推估的暖化情境，南北極海冰皆呈現顯著減少趨勢。在最高排放情境 (SSP5-8.5)，北冰洋9月海冰預計在2050年左右可能完全消失，在低排放情境SSP1-2.6與SSP1-1.9，世紀末北冰洋海冰則仍不會完全消失。(圖 1.3.8；圖 1.3.1b；1.3.2節)
15. 觀測紀錄顯示，格陵蘭島與南極大陸的兩個全球主要陸冰冰層，皆呈現隨著時間加速減少的趨勢，進而造成全球海平面上升；冰川質量與北半球春雪覆蓋面積的長期觀測也呈現減少趨勢，然而在部分區域，例如北美和西伯利亞等地，積雪覆蓋面積反而有所增加；永凍土溫度在過去觀測紀錄呈現增溫趨勢。(圖 1.3.8；圖 1.3.9；1.3.2節)
16. 依據所有排放情境推估，格陵蘭冰層和南極冰層在本世紀都將持續減少，並且幾乎肯定冰川體積、地表永凍土體積與北半球季節性積雪覆蓋面積也將減少。(1.3.2節)
17. 海平面的高度在過去80萬年中呈現了顯著的波動，然而自19世紀中葉以來，全球平均海平面上升速率明顯加快，高於過去兩千年的平均速率。過去100年間的海平面上升速度，高於過去三千年中的任何一個世紀，且在最近20多年速率更

是明顯加快。人類活動造成的暖化，導致海水熱膨脹，是海平面上升的主因。在暖化情境推估，海平面高度上升將隨著暖化情境加強而加劇。至21世紀末，海平面高度將上升0.38公尺 (SSP1-1.9) 到0.77公尺 (SSP5-8.5)。在暖化情境下，海水的熱膨脹仍是海平面上升的最主要因素。在2100年之後，深海持續吸收熱量以及格陵蘭和南極冰原持續融化，全球平均海平面將持續上升 (圖 1.3.9；圖 1.3.1e；1.3.3節)。

18.自1900年以來的觀測紀錄顯示，北半球季風環流與降雨量呈現多年代際變化。自1980年以來，北半球季風呈現雨量增加及夏季延長的特徵。南半球季風活動受較強烈的年際變化及區域差異影響，在觀測資料中並無顯著長期變化趨勢。整體而言，全球季風受明顯的年際與年代際變化，以及區域間差異影響，無顯著的整體變化趨勢。(圖 1.5.2；1.5.1節)

19.在未來情境推估中，全球季風降雨可能增強，然而季風環流卻會相對減弱，主要原因是水氣增加。空間分布上，季風降雨增加具明顯南北向不對稱性，北半球增加幅度大於南半球，亞洲及非洲季風將增強，北美季風則減弱。(圖 1.5.3；1.5.2節)

20.北半球的南亞與東亞區域，人為活動造成的氣膠排放作用不利季風降水，然而未來推估則受溫室氣體增加所主導，各區域的季風降雨量均呈現上升趨勢。(圖 1.5.3；圖 1.5.4；1.5.2節)

21.季風活動的未來推估顯示，東亞地區由於季風肇始提前及夏季延長，季風降雨增強，主要貢獻來自梅雨雨帶的增強；區域上以東南亞和中國南部最為明顯。季風降水在所有未來情境推估中均為增加，且模擬時間越長、排放情境越嚴重，增加越多。然而受到氣膠排放、人為作用與氣候內部變異等因素影響，模式對季風降水的推估仍具相當程度的不確定性。東亞季風降水增加具高度信心 (High confidence)，季風季節增長的信心度則為中等 (medium confidence)。(1.5.3節)

22.根據高排放情境 (RCP8.5) 推估，整體而言，全球鋒面頻率高值區有往較高緯區

域移動的趨勢。東亞鋒面的未來推估 (RCP8.5, 2071年至2100年) 顯示冬季極鋒區與副熱帶的鋒面頻率略為下降；在黃河到長江之間，朝鮮半島、日本及日本東部海面的鋒面頻率則略為增加。北緯20°以南在菲律賓、臺灣東方外海上鋒面活動有明顯增加趨勢。春季則於北緯30°至北緯40°之間有明顯鋒面頻率增加，尤其是長江以北的中國沿海及日本。北緯20°至北緯30°之間鋒面頻率減少，尤其是華南地區到臺灣一帶。整體來說，鋒面極值區有往北移動的趨勢。(圖 1.5.6；1.5.4節；1.5.5節)

23.從1850年到1970年代，氣膠及其前驅物濃度呈現上升的趨勢，污染物排放、濃度及生命期等變化對氣候造成冷卻的效果，可部分抵銷溫室氣體造成的暖化。1970年代中期以後，各國開始關注及控制污染物排放，改善空氣品質，氣膠及其前驅物造成的淨輻射冷卻作用減弱，地球降溫的效果也隨之減弱。2010年至2019年間，全球一氧化碳濃度持續下降；二氧化硫及二氧化氮在北美、歐洲呈現持續下降趨勢，在南亞反而上升趨勢，東亞地區則是增加後下降的情況；值得注意的是臭氧，除了在美西及歐洲有下降趨勢，其他地區都是上升趨勢。(圖 1.6.1；1.6.1節)

24.全球暖化加速消耗臭氧，低污染地區地表臭氧減少，但污染反而更嚴重。在高排放情境 (RCP8.5) 情境下，全球暖化造成2100年平均氣膠濃度約增加 0.21 mg m^{-3} 。在全球暖化的情況下，熱浪頻率增加導致高污染臭氧或氣膠增加。亞洲地區的冬季是高污染好發季節，全球暖化導致亞洲地區大尺度環流改變，包括北極振盪指數增加、冬季季風減弱等，亞洲冬季將更容易發生高污染事件。(1.6.2節)

第二章 臺灣氣候變遷分析

1. 臺灣各測站溫度的長期變化趨勢一致，有逐年暖化的情況並具有年代際尺度的低頻振盪訊號，增溫趨勢越靠近現代越明顯。以百年測站而言，平均升溫趨勢由每10年約 0.15°C 增加至 0.27°C ，夏半年則由 0.15°C 增加至 0.32°C 。冬半年由 0.15°C 增加至 0.29°C (近50年趨勢)，近30年的冬半年增溫趨勢則趨緩 (未通過顯著性檢定)。(圖2.2.1；2.2.1節)
2. 臺灣各測站溫度顯示冬半年增溫趨勢較夏半年明顯，日最低溫的增溫趨勢亦較日最高溫增溫明顯，是日夜溫差縮小的主要原因。(圖2.2.2；圖2.2.3；圖2.2.4；2.2.2節；2.2.3節；2.2.4節)
3. 根據百年測站資料分析，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。整體來說，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2.2.5；表2.2.1；2.2.5節)
4. 臺灣各測站資料顯示，年總雨量及季節雨量有明顯的年際及年代際振盪，但沒有長期變化趨勢，且趨勢變化普遍未通過顯著性檢定。(2.3節)
5. 臺灣各測站資料顯示，年平均風速、最大風速及季節平均最大風速皆呈現減弱的趨勢，亦有年代際尺度的低頻振盪訊號。(2.4節)
6. 根據潮位站及衛星資料，臺灣海峽海域的海溫增加 (1957年至2016年間，年平均海溫增溫趨勢為每10年 0.23°C)。海平面上升趨勢 (1993年至2015年平均) 約為每年增加 2.2 ± 0.3 毫米) 略低於全球平均 (每年增加 3.2 ± 0.1 毫米)。(2.5節)
7. 測站資料顯示極端溫度的變化趨勢為高溫天數增加，低溫天數減少。(圖2.6.1；2.6.1節)
8. 極端降雨日數 (R80mm、R200mm與R350mm) 的變化各地沒有一致性，亦沒有

- 顯著的長期變化趨勢。僅山區的年際變化幅度在2000年後較大。(2.6.2節)
9. 根據百年測站資料分析，冬季寒潮發生的頻率和低溫持續日數皆顯著的下降。以臺北為例，近50年每年寒潮發生次數減少約3.8次，低溫日數減少約14.5天。(圖2.6.6；2.6.3節)
 10. 使用測站資料計算之年最大連續不降雨日及標準化降雨指數 (SPI12) 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、恆春及臺東站的氣象乾旱事件發生頻率明顯增多。(2.6.2節)
 11. 統計氣象乾旱事件的發生頻率，發現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。(2.6.2節)
 12. 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。(圖2.6.7；圖2.6.8；2.6.4節)
 13. 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。(2.6.4節)
 14. 北部地區夏季 (6月至8月) 午後對流發生頻率及降雨強度有增加的趨勢，山區則減少，中南部平地為發生頻率降低但降雨強度增加。(圖2.6.10；2.6.5節)
 15. 梅雨季的雨量長期趨勢、雨日降雨強度及極端降雨強度 (PR90) 在5月分皆有增加的趨勢，6月分則沒有明顯變化趨勢。(2.6.5節)
 16. 梅雨季午後對流發生頻率及降雨強度皆有增加的趨勢。(2.6.5節)
 17. 根據觀測資料，臺灣從1990年代後，各類污染物平均濃度呈現下降趨勢 (圖2.7.1；2.7節)。但是人為活動產生的硝酸鹽有增加的趨勢 (圖2.7.2；2.7節)。

第三章 臺灣未來氣候變遷推估

1. 未來的臺灣氣候變遷推估主要是應用CMIP6模擬資料的統計降尺度結果，以基期 (1995年至2014年) 氣候值為基準，進行短期 (2021年至2040年)、中期 (2041年至2060年) 與長期 (2081年至2100年) 這3個20年氣候時段評估。在四種SSP情境下平均溫度的變化，臺灣在短期平均增溫 0.6°C 至 0.8°C 。在世紀末，不同情境出現明顯差別，從SSP1-2.6增溫 1°C ，至SSP5-8.5增溫 3.4°C ，且升溫較顯著的區域皆為臺灣西北部。(圖3.2.1；3.2.1節)
2. 以全球暖化程度 (Global Warming Level, GWL) 評估臺灣增溫幅度，GWL 1.5°C 至GWL 4°C 增溫的中位數介於 0.6°C 至 2.7°C 。(圖3.2.3；3.2.1節)
3. 未來溫度季節長度變化的推估方面，在SSP5-8.5情境下，本世紀末夏季持續變長，超過210天，冬季持續變短，少於30天；惟有在SSP1-2.6情境下，夏季與冬季的長度能維持在世紀中的情況，分別為150天及45天左右。(圖3.2.5；3.2.1節)
4. 臺灣的降雨量推估，年平均降雨在短期與中期的增加幅度較小，於世紀末增加較多。在SSP5-8.5情境下，世紀末時，平均增加約15%，但多模式的降雨變化率分布範圍介於-6%至+83%，顯示推估結果的不確定性高且一致性低。空間上的分布結果也呈現低一致性。惟有在SSP5-8.5情境下的世紀末，西南部降雨有較大增加率 (+10%) 且具一致性。(圖3.3.2；3.3.1節)
5. 降雨季節分布推估結果顯示，臺灣未來的乾季 (11月至4月) 將越來越乾，濕季 (5月至10月) 將越來越濕，乾濕對比將隨全球暖化程度增加而更加嚴重。(圖3.3.4；圖3.3.5；3.3.2節)
6. GWL 3°C 及GWL 4°C 情境，乾季降雨減少約10%至15%，主要在東北部及東半部地區，且模式一致性較高。濕季降雨增加幅度，在GWL 3°C 時將小幅增加5%至15%。但在GWL 4°C 時，中南部沿海、臺東及澎湖區域可增加超過30% (模式一致性高)。(圖3.3.6；3.3.2節)

7. 臺灣周遭海平面高度推估方面，在SSP1-2.6、SSP2-4.5及SSP5-8.5情境下，基隆及高雄兩個位置的模式推估範圍中位數分別介於0.48米至0.82米與0.41米至0.78米。(3.4節)
8. 海平面高度同時受到溫度、鹽度變化伴隨密度改變以及與極區冰川融化及河川逕流流入等物理過程影響。同時冰原模擬過程的潛在不確定因子，使模式推估趨勢低一致性、不確定性較高。臺灣南北海平面變化的差異受到區域性洋流及海水熱結構的影響，仍需藉高解析度數值模式產製動力降尺度資料瞭解其細節。(3.4節)
9. 根據少數高解析度大氣模式推估結果顯示，相對於基期，21世紀中末期，影響臺灣颱風個數將分別減少約10%與50%；周遭強颱風出現的頻率則是增加約105%與60%；影響期間颱風最強時的近颱風中心最大風速增加約5%與9%；臺灣陸地上颱風降雨強度普遍增加20%與40%。受降雨強度增加但是颱風頻率減少的因素下，臺灣陸地上颱風降雨累積在世紀中稍有增加、世紀末則是減少約10%至50%。(圖3.5.24；3.5.4節)
10. 極端氣候未來推估的部分，與乾旱有關的年最大連續不降雨日數呈現增加趨勢，在世紀末隨著暖化情境加劇，增加趨勢更為明顯，且南部的增加情況比北部更嚴重。(圖3.5.18；3.5.3節)
11. 標準化降雨指數則顯示，世紀末隨著暖化情境加劇，全臺乾旱事件越來越多，短時間尺度乾旱事件 (SPI3) 發生時的強度及頻率會增強。(圖3.5.23；3.5.3節)
12. 推估未來春季為少雨趨勢，其可能原因與提供水氣的低層西南風減弱以及東亞鋒面帶北移有關。(3.5.3節)
13. 極端高溫 (日高溫超過36°C天數)，在4種全球暖化程度 (GWL 1.5°C、GWL 2°C、GWL 3°C、GWL 4°C)，分別增加5.4天、10.6天、28天與54.5天。若以最劣SSP5-8.5情境的推估，本世紀末平均增加74.6天。增加天數較多的區域包括臺北盆地、中部近山區與高屏近山區。(圖3.5.1；3.5.1節)

- 14.極端低溫變化趨勢在所有暖化情境皆呈現天數減少。在4種GWL下，平均每年分別減少4.1天、6.6天、8.8天與10天。由於位處副熱帶的臺灣受寒潮爆發影響的機率較小，導致多模式推估趨勢的一致性低、不確定高。(圖3.5.7；3.5.1節)
- 15.日最低溫最小值的上升趨勢具有高模式一致性。在4種GWL下，溫度增加介於0.7°C至3°C，增溫幅度較高的區域為西部 (GWL 4°C情境)。(圖3.5.9；3.5.1節)
- 16.高暖化情境 (RCP8.5) 下的21世紀末，夏季增溫導致大氣垂直穩定度增加，不利於午後對流發生，使得午後對流的降雨頻率變少，但水汽蒸發散量增加降雨強度將增強。(圖3.5.10；3.5.2節)
- 17.高暖化情境 (RCP8.5) 下的21世紀末梅雨季，臺灣西半部迎風面的極端降雨事件天數及強度皆為增加，在東部地區則皆是減少。(圖3.5.11；3.5.2節)
- 18.在SSP3-7.0情境的21世紀中後期 (2060年之後)，梅雨季降雨量從6月中旬延遲至6月下旬發生，降雨強度增強。這與南海地區西南風增強的時間往後延遲，傳輸至下游的臺灣產生劇烈降雨時間往後遞延有關。(圖3.5.12；3.5.2節)
- 19.隨著全球暖化程度的加劇，未來推估年最大一日降雨量 (Rx1day) 降雨強度將增加，特別是在SSP5-8.5情境下，中部地區的增加幅度可能達40%。(圖3.5.14；3.5.2節)
- 20.水文頻率分析顯示降雨量隨著暖化嚴重程度增加，目前每50年才發生一次的降雨強度，於暖化程度達4°C時就會變成10年發生一次，極端降雨對臺灣的影響日益嚴重。(圖3.5.17；3.5.2節)
- 21.推估未來臺灣秋冬季的氣候條件將使空氣品質更為惡化。主要是因為低層風速變弱、穩定度增加、邊界層變淺不利於污染物傳送與擴散，以及東北季風日數減少。(3.6.1節)

22.大氣的增溫加速臭氧光化反應，導致臭氧濃度增加。目前臺灣空氣品質不良主要來自PM_{2.5}與臭氧，但未來臭氧造成空氣品質不良的狀況可能會更頻繁發生，後續的影響值得進一步研究。(圖3.6.1；3.6.1節)

第四章 臺灣氣候變遷衝擊

4.1 水議題

1. 依據AR5 RCP8.5情境下氣候變遷淹水衝擊模擬成果顯示，基期至世紀中、世紀末可能發生淹水的範圍普遍呈現增加趨勢，其中大約14%的鄉鎮處於較高的洪水風險，而3%鄉鎮淹水情勢將在氣候變遷下更為嚴峻。這些地區需要及早規劃防洪措施和防洪策略，以降低洪水風險。(4.1.1節)
2. 依據未來枯水期降雨的研究 (AR6 SSP2-4.5、SSP5-8.5及GWL 2°C情境)，未來北區、中區、南區之連續不降雨日數皆有一致延長情況，在GWL 2°C 情境下分別為+16.9%、+11.1%及+13.7%，且大部分月分水源潛能量 (Q85) 有減少趨勢，在最為嚴峻情況下其河川水量低流量減少幅度約介於-18.2%至-49.5%之間；另外，發生「梅雨延遲」及「颱風降雨延遲」的可能性有增加趨勢 (AR5 RCP4.5情境)，亦即未來極端水文情況將更加頻繁發生。(4.1.2節；圖4.1.2.1；圖4.1.2.2；圖4.1.2.3；圖4.1.2.4；圖4.1.2.5)
3. 依據AR5 (RCP4.5世紀中、RCP8.5世紀中) 及AR6 (GWL 2°C及GWL 4°C) 情境下臺灣北區、中區、南區及東區水資源之綜整分析，年雨量的增加幅度從+1%至+16%，年流量幅度從-1%至+27%；豐水期間，雨量改變幅度從+1%至+9%，流量從-2%至+31%；而枯水期間之雨量呈減少趨勢，變化量從-2%至-12%，流量幅度從-13%至+12%。此種豐枯季水量分布不均之情況，將對未來水資源之供給帶來更多的挑戰。(4.1.3節；圖4.1.3.2；圖4.1.3.3；表4.1.3.2；表4.1.3.3)
4. 現況供水量在AR5的RCP8.5情境下，北部可能減少3.3%至6.0%、中部可能減少3.9%至4.3%、南部可能減少2.7%，東部則可能有枯旱及高濁度期間供水不穩定問題。地下水以AR4的A1B情境正負一倍標準差作為未來推估結果，地下水九分區可能減少比例介於-19.6%至-54.6%，或增加比例介於+20.9%至+48.1%。(4.1.3節)
5. 水議題涵蓋多個權責單位，未來在氣候變遷的調適策略上需要以跨部會合作或統合管理方式來進行，盤點實際用水量並妥善分配調適能量，以科學資料作為循證基礎輔佐國家水資源戰略訂定，使各調適選項可發揮最大之共效益，確保水資源

利用效益的最大化，以降低氣候變遷對水領域之衝擊。(4.1.6節)

4.2 坡地

1. 在AR5 RCP8.5情境下，北部地區基期平均崩塌率為0.16%至0.47%，21世紀末則為0.23%至0.77%，顯示未來氣候變遷對北部地區坡地衝擊有加劇趨勢。(4.2.2節)
2. 在AR5 RCP8.5情境下，中部地區基期平均崩塌率為1.3%至3%，21世紀末則為1.4%至4%，整體土砂衝擊具提升趨勢。(4.2.2節)
3. 南部地區基期平均崩塌率1.7%至2.9%，在21世紀中增加至3.2%，21世紀末則下降到1.3%。(4.2.2節)
4. AR6全球暖化程度2°C情境下，中南部山區維持高風險等級，北部與東部山區風險等級提高；4°C情境下，部分山區風險等級明顯加重。(4.2.2節)

4.3 海岸

1. 依據IPCC AR6全球暖化程度1.5°C與2.0°C的推估結果，臺灣海平面上升的程度分別為20公分和34.5公分。(4.3.2節)
2. 在全球暖化程度2.0°C下，臺灣因海平面上升造成的海岸溢淹範圍較全球暖化程度1.5°C更加深入內陸，且淹水深度更深。1.5°C各縣市淹沒面積百分比為0.08%至2.71%；2.0°C各縣市淹沒面積百分比增至0.30%至4.30%，兩種情境皆以雲林縣淹沒面積百分比最高。在全球暖化程度1.5°C情境下，沿海地區海岸溢淹深度超過1.5公尺的縣市包含新北市、彰化縣、雲林縣、嘉義縣及臺東縣；在全球暖化程度2.0°C情境下，沿海地區海岸溢淹深度超過1.5公尺的縣市除了上述縣市，增加桃園市、新竹縣市、臺南市、高雄市與花蓮縣。(4.3.2節)
3. 在AR5 RCP8.5情境下，未來臺灣沿海地區面臨大於1.2公尺颱風風暴潮衝擊之海岸線長度將增加12.5%；而面臨大於12.0公尺颱風風浪衝擊之海岸線長度將增加3.6%。(4.3.3節)

4.4 糧食安全

1. 臺灣以熱量計算之糧食自給率的變化，由43%下降至31%。(4.4.1.2.1節)
2. 依據國外Peng et al. (2004) 研究指出氣候暖化可能會造成亞洲主要水稻產區 10%至15%的產量損失，尤其在旱季夜間溫度升高1°C則減產10%，白天溫度升高在28°C至34°C之間，每升高1°C則產量下降高達7%至8%。(4.4.1.2.2節)
3. 依據國科會TCCIP團隊利用作物生長模式 (DSSAT) 之分析，未來水稻在世紀中及世紀末產量整體呈趨勢下降，平均分別減少13%及18%。(4.4.1.2.2節)
4. 在AR5 RCP8.5情境下，世紀中及世紀末之玉米產量改變率分別減少10%及17%，影響區域仍以北部及東部地區最為明顯。(4.4.1.2.2節)
5. 依據AR5 RCP8.5全球暖化程度2°C及4°C下之溫濕度指數的變化，畜禽熱緊迫 (THI $\geq$ 72) 的紅色警戒區域，逐漸由南往北、從平原往淺山擴展。(4.4.2節)
6. 2010年後，沿海地區的高溫危害發生事件數開始增加，並對養殖漁業生產造成養殖物種合適度改變、養殖期混亂、作業不確定性提升、突發性暴斃死亡、水質穩定度降低、作業成本增加、魚病發生率提升等生產面向的問題。(4.4.3.2.3節)
7. 使用統計降尺度網格日溫度資料，結合我國水產養殖漁產業常見連續性低溫與高溫災害事件指標，分析AR6之全球暖化程度 (+1.5°C與+2°C)，並計算相對於基期 (1976年至2005年) 之極端溫度事件改變量 (次)。相較於基期，全球暖化情境下彰化沿海地區的低溫事件發生次數減少；反之，高溫危害與暴露變化則持續加劇。(4.4.3.2.5節)
8. 依據2014年至2019年間資料，烏魚主要漁獲位置有逐漸北移的趨勢，漁場環境位置有受到氣候變遷的影響。(4.4.3.3.1節)
9. 水試所研究預測環境變化之影響，每當海水溫度上升攝氏1度，劍尖槍鎖管之漁獲量將會下降15%，影響的產值可能銳減達兩億元。(4.4.3.3.1節)

10. 櫻花蝦為臺灣西南海域重要漁獲物種，生命週期短，其豐度容易受到環境變動的影響。適合生存的水溫大約為11°C至25°C，水溫是影響櫻花蝦繁殖行為最重要的因素。分析2005年至2019年資料 (戴靖萱等，2020)，東港櫻花蝦產量呈下降趨勢，此結果與海洋環境的變化形成蝦群分布的改變有一定程度之影響。(4.4.3.3.1節)

4.5 生態

1. 依照國家植群多樣性調查的分類結果，可將臺灣森林細分為21種類型，除了7類型森林的形成與地形有關，分布面積狹小，多限縮在珊瑚礁岩、河灘、石灰岩地、火災跡地、崩塌地等局部地區；其餘14類森林的分布面積較為廣泛，且其分布與氣溫與雨量梯度有顯著相關，可作為區域氣候下的代表性植群 (Li et al., 2013)。(4.5.1.1節)
2. 王文千 (2019) 對83種臺灣繁殖鳥類進行氣候變遷脆弱性評估，結果指出，有41種鳥類具有氣候變遷高暴露度；對溫度及雨量較敏感的鳥類則分別有16種及22種；綜合食性、孵育幼鳥等特性後，有46種鳥類因應氣候變遷衝擊的能力較低。(4.5.1.2節)
3. 氣候變遷亦可能導致高海拔特有種生物之棲地嚴重縮減，並造成其族群降低。以高海拔特有種信義熊蜂為例 (Lu & Huang, 2023)，因信義熊蜂喜好針葉林及草原植被，不喜闊葉林、混淆林、農田及開發區。在AR5 RCP2.6至RCP8.5情境下，由於林相改變造成其適存棲地將縮減41%至87%不等，南部山區於世紀末將無適棲之處。(4.5.1.2節)
4. 依據AR4的15種未來情境資料針對臺灣冷杉與鐵杉在2020年至2039年期間的適生研究 (Lin et al., 2014)，將近一半情境指出臺灣冷杉與鐵杉的適生範圍將顯著向高海拔移動，適生面積將逐漸減少。(4.5.1.2節)
5. 依據RCP4.5及RCP8.5針對水青岡的模擬 (Lin, 2020)，得知2100年適生面積為現生之7.10%或0.87%，研究發現水青岡森林缺乏向高海拔退縮路徑，而呈現就地縮小、滅絕之趨勢。(4.5.1.2節)

6. 未來氣候變遷使低溫環境範圍變狹窄，可能使埋葬蟲與麗蠅的競爭模式單一化，對埋葬蟲較有利的競爭形式可能不復存，進而限縮其分布或造成族群縮小。
(4.5.1.2節)
7. 氣候變遷仍持續發展中，以臺灣海峽為例，自2012年起暖化停滯伴隨的海表增溫停滯現象已逐漸被快速增溫取代，增溫的幅度約為 $0.63^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ (Lee et al., 2021)，而海水暖化可能導致水溫垂直和水平分布型態改變，亦迫使棲息其中的生物發生適應上的改變。(4.5.2.1節)
8. 依據 McRae et al. (2022) 研究，珊瑚能夠承受超過季均溫以上的水溫緩慢上升，但若水溫短期內超過其夏季平均最高水溫 2°C 以上，則會白化。但珊瑚若處於短期快速地升溫狀態 (連續8天達 32°C)，則有50%至100%的珊瑚會白化。(4.5.2.1節)
9. Lee et. al. (2022) 的研究亦指出，鯖鱈魚類、鎖管、帶魚屬、鬼頭刀等主要沿近海漁業資源的總量變化與北太平洋環流振盪 (North Pacific Gyre Oscillation, NPGO) 指數呈正相關，並預測在RCP8.5的情境下，2035年臺灣沿近海總漁獲量預估將下降2.41%。(4.5.2.1節)

4.6 健康

1. 氣候危害事件發生時，會經由影響特定傳播類型導致特定病原體疾病傳播度惡化 (如氣溫升高情境下，透過影響蚊蟲傳播進而造成登革熱或屈公病等蟲媒性傳染病傳播強度及廣度提升之情形發生) (圖4.6.2.1)，這說明氣候危害事件發生時，會經由影響特定傳播類型導致特定病原體疾病傳播度惡化 (Mora et al., 2022)。
(4.6.2.2節)
2. 水患事件也可能間接提高水媒疾病染病風險，除人體接觸污染的地表水、洪水、動物排泄物外 (Suk et al., 2020)，若災民因避災而與齧齒類動物共存於避災區，也可能提高感染鉤端螺旋體風險 (Watson et al., 2007)。另外，當颱風季節降雨量每日超過80mm時，志賀桿菌病罹病率也顯著增加為原來兩倍 (Chen et al., 2022)。(4.6.2.2節)

3. 相較夏季平均溫度的環境，由熱浪導致的慢性肺病死亡風險約提高為1.8%至8.2%之間 (Witt et al., 2015)；當室內溫度升高至平均溫度以上，將容易導致中度至重度慢性阻塞性肺病 (Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD) 的患者發生呼吸困難、咳嗽和咳痰惡化 (McCormack et al., 2016)。(4.6.2.3節)
4. 國內空氣污染物質與呼吸系統疾病相關性研究結果指出，空氣污染加劇將造成過敏性結膜炎 (Allergic Conjunctivitis, AC) 和過敏性鼻炎 (Allergic Rhinitis, AR) 之風險增加 (Hsieh et al. 2020; Zhong et al. 2019)，其中NO₂、O₃和氣溫變化與結膜炎發病率呈正相關，而鼻炎則主要與NO₂濃度呈正相關。(4.6.2.3節)
5. 因綠地空間存在較多的過敏原，而可能使孩童AR致病風險顯著提高約8.4%，包含戶外溫濕度變化亦是AR主要的致病因子 (Lee et al., 2020)。空氣污染 (PM₁₀、PM_{2.5}和NO₂濃度增加) 會導致COPD患者的肺功能和血氧飽和濃度下降，並提高肺氣腫嚴重程度 (Tran et al., 2022)。(4.6.2.3節)
6. Kim et al. (2019) 在分析12個國家共341個地區的都市資料後，論證較高的環境溫度與自殺風險的增加有關。美國與墨西哥資料也發現，溫度變化和自殺呈現線性關係，當月均溫 (average monthly temperature) 每增加1°C，其月均自殺率 (monthly suicide rate) 會隨之增加約0.68%至2.1% (Burke et al., 2018)。(4.6.2.4節)
7. 依據Chen et al. (2019) 針對臺灣民眾的研究，當民眾長期暴露於高低溫環境下，當年均溫高於中位數23°C的地區 (圖4.6.2.3)，每增加1°C會導致重鬱症 (major depressive disorder) 的發生率增加約7%，其中對65歲以上的族群影響最高。(4.6.2.4節)
8. 龍世俊等人 (2018) 具體提出對於氣候變遷健康調適4個需強化的科學研究方向，包含建立氣候健康衝擊整合性預警模式、減緩氣候變遷與促進健康之共效益健康調適策略研究、新型態氣候變遷與健康調適之衛生教育或健康促進工具發展及策略研究、深化本土氣候變遷與健康調適研究之科學能量，其中最需要先推動的應是建立氣候健康衝擊模式及工具。(4.6.4節)

4.7 城鄉空間

1. 面對日漸擴張且人口高度聚集的都市腹地，為了建構及落實氣候變遷下的因應能力及策略，能否整合氣候變遷科學與人文社會關鍵議題，並導入風險、衝擊、脆弱度及調適規劃等理論中探討評估與管理面向，將是關聯臺灣都市及城鄉地區能否永續發展的首要課題。(4.7.1.1節)
2. 目前投入探討長期氣候與空間互動變遷情境下之災害脆弱度，及考量調適介入後之風險削減關聯性的研究則較缺乏，建議未來可增加投入結合土地利用變遷空間分析與脆弱度指標評估，進行調適策略預先研擬，再判斷其於未來情境中的潛在調適能力，藉此有效整合未來都市空間發展、土地利用與調適策略動態調整情境，以降低災害風險，並避免不當調適情況。(4.7.1.1節)
3. 坡地衝擊及風險評估在臺灣發展現況雖不乏指標建置及操作案例，且多能以空間圖層方式呈現評估結果，但較偏向過往傳統的坡地災害評估，建議未來可加強考量氣候變遷下坡地崩塌危害因子之衝擊及風險，以協助研擬未來時空變遷尺度下之調適策略與脆弱熱點資源投入。(4.7.1.2節)
4. 許多研究雖已針對農地提出衝擊及脆弱度評估結果，但有效的農地調適將需整合未來氣候變遷因子納入國土空間進行整體考量與規劃，除考量與周邊土地及人類社會經濟活動之互動影響關係，也需權衡農地生產與生態系統服務功能間之利益。(4.7.1.2節)
5. 鄉村空間氣候變遷衝擊上，學者以「農地類型」與「氣候變遷下之農地脆弱度等級」的組合，區分「多元使用型(環境生態保育型)」、「農業生產維持型」、「農業環境平衡型」、「農業生產增值型」四類，分別建構農地氣候變遷之調適目標，據以進一步研擬農地調適的策略與行動計畫。(4.7.1.2節)
6. 國土保育地區及海洋資源地區方面，海洋及海岸地區中之相關重要保護區或防護區，不乏氣候及環境變遷衝擊評估技術及現況風險案例建立，建議未來可持續投入考量長期氣候變遷影響，探討可能的危害因子對區位範圍或保護標的之衝擊，以將各保護區或防護區在依循有關上位法令及計畫指導下，協助將考量現況為主

體的保護及保育工具，推展為具降低長期氣候變遷風險效力的轉型式調適策略。

(4.7.1.3節)

7. 各類空間依其特性在氣候變遷衝擊之調適各有因應的策略作為，唯行政區之管轄範圍包含各類空間，因此需要綜合考量，國土計畫將氣候變遷議題納入到空間規劃，即為整合行政區內各類空間調適作為的平台之一。(4.7.1.4節)

8. 建議土地利用領域未來可投入研發結合土地變遷技術與脆弱度指標之空間複合性風險評估技術，藉此有效結合未來整體空間活動發展、土地利用與調適策略，以此進行整合性調適策略先期研擬，再判斷其於未來情境中的潛在調適能力，作為預先評估調適執行效益的方法之一，包含協助探討轉型式調適策略之效力。

(4.7.2.4節)

9. 高度的城市發展將帶來環境、生態、健康、社會經濟等影響，且將因此造成環境失去平衡與氣溫調節的功能，使都市地區氣溫明顯高於周圍郊區，都市熱島效應日益嚴重。以雙北市為例，因盆地地形容易蓄熱，且為高度都市發展區域，市區中心溫度比郊區高出 3°C 以上的情況愈來愈頻繁，顯示都市戶外熱環境條件日益嚴峻。(4.7.2.1節)

10. IPCC AR6 WGIII (Pathak et al., 2022) 報告中指出可透過建築設計節省能源成本，亦有助於提升室內熱舒適以及增進人體健康；而透過推行都市綠化、藍帶規劃，以及涵水、透水鋪面等都市雨水資源管理措施，可改善都市蓄熱問題，並提升都市整體的熱舒適程度。(4.7.2.3節)

第五章 氣候變遷風險評估與調適

1. 使用任何風險定義進行評估的目標，皆是為了規劃及確定管理手段以降低風險至所設定的損傷目標或達到社會廣泛可接受的風險程度。本章摘要國內外重要風險定義、風險組成因子 (表5.1.1)，作為我國相關重要政策與科研等應用參考。(5.1.1節)
2. 調適行動主要為對抗預期將發生事件，目的在於降低對氣候變遷的脆弱度或提高系統的韌性。本章摘述國內外調適定義，協助我國各層級有關機關及單位建構調適基礎認知。(5.1.2節)
3. 本章整合文獻所提及之操作重點，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫 (TCCIP) 提出之「國家氣候變遷調適架構」各操作階段內容之說明，內容包含第1階段「辨識氣候風險及調適缺口」及第2階段「調適規劃與行動」(圖5.1.2)，以協助各界後續進行氣候變遷風險評估與調適規劃有關方案之研擬參考。(5.1.3節；5.1.4節)
4. 本章彙整第四章各小節所提出之國內科研技術在衝擊評估資料、工具及方法之應用障礙與缺口，以提供各界未來投入風險評估科研能力之精進建議，包括基礎監測的研究推動、不同空間尺度的資料的研發，預測模式的建置等面向。(5.2.1節)
5. 本章提出科研面向近期可增加考量推動的新興研究議題，包含複合風險、不當調適、漸進式及轉型式調適、動態調適路徑規劃、調適及減緩共效益等，並論述各議題之定義、國內外研究發展現況、可參考應用的評估方法或調適技術、及我國未來科研應投入之重點建議等，作為我國未來跨領域、跨部門調適治理之考量參考。(5.2.1節)
6. 未來複合性災害風險評估目的不僅是預防短期災害，更應是可應用於規劃長期性氣候變遷危害與土地使用交互影響的調適方法。(5.2.1節)
7. 國內外已提出不當調適主要研究架構包含 (1) 路徑架構 (Pathways Framework)；(2) 預防性架構 (Precautionary Framework)；(3) 評估架構 (Assessment Framework)；

- (4) 反饋架構 (Feedback Framework)；(5) 整合空間風險分析觀點的不當調適評估路徑架構 (Maladaptive Evaluation Pathways)；(6) 適用於國家尺度的調適政策規劃之監測與評估架構。(5.2.1節)
8. 氣候變遷衝擊不斷增強的未來，原本社會所依賴的漸進式調適已逐漸無法有效控制風險在可接受的程度，轉型式調適為一必要嘗試發展及推動的調適策略型態。本章彙整轉型式調適在推動制度和行為的限制與障礙，並建議轉型式調適初期可透過漸進式調適的協助，以減輕轉型過程對隨時間推移不斷變化的社會價值觀之衝擊，此將有助於克服社會及制度障礙，促進調適轉型成功。(5.2.1節)
9. 調適規劃與決策必須適當考量氣候隨著時間推移的變遷程度，以因應未來發展及社會價值觀下的共同發展目標。調適路徑工具之發展可協助各級政府未來在不確定性的氣候風險下，欲解決的氣候風險優先順序，及評估各時期可投入資源及願承受的風險，進而予以規劃在連續時間推移下的多樣調適選項組合，並可作為決策者及利害關係人溝通的基礎，助於提出取得共識之調適決策。(5.2.1節)
10. 規劃調適時若能同時考慮連結減緩效力，將可增加額外利益及帶來市場以外的效益，並可管控不當調適的發生，但潛在的障礙、交易和風險經常被忽視，其中關鍵原因即為調適和減緩在慣例上仍是分開思考與執行的兩種行動。後續建議需針對跨政策間的效益進行綜合評估，包含綜效、權衡、共效益及衝突等面向，未來整合減緩及調適的相關研究仍需投入進行更多的實證評估，以探究不同措施之間綜效的差異，作為共效益方案最優規劃之參考依據。(5.2.1節)
11. 為協助各部門在調適規劃與推動過程可能遭遇的障礙與限制，並考量「氣候變遷因應法」為我國氣候變遷事務必須依循之新興法令，本章彙整治理機制中需留意及迴避之衝突與障礙等社會制度面向，包含論述調適跨層級及跨部門治理機制、調適障礙與限制、調適公平性及脆弱族群、法令之競合等議題。(5.2.2節)