

生態系統領域
氣候變遷調適行動方案
(116-119 年)
(初稿)

主辦機關：農業部

協辦機關：海洋委員會

115 年 8 月

目錄

第一章 領域範疇及執行現況	1
第二章 氣候變遷衝擊情形	3
第三章 未來氣候變遷情境設定及風險評估	19
第四章 調適目標	31
第五章 推動策略及措施	34
第六章 我國國家永續發展目標關聯性	35
第七章 推動期程及經費編列	39
第八章 預期效益及管考機制	43
附件一 生態領域氣候變遷調適行動計畫列表	45
附件二 生態領域氣候變遷調適行動計畫參考文獻	54

第一章 領域範疇及執行現況

一、領域範疇

生態系統領域（以下簡稱本領域）係本期（116-119 年）國家氣候變遷調適行動方案中，首次自前三期之「農業生產與生物多樣性領域」獨立分項而成立之領域。本領域之設立，依《氣候變遷因應法》第 18 條第 3 項及第 19 條規定，由中央目的事業主管機關就易受氣候變遷衝擊之權責領域，研擬以四年為一期之領域調適行動方案；並依環境部於 112 年 11 月修訂、行政院核定之《國家因應氣候變遷行動綱領》（以下簡稱「行動綱領」）所揭示之政策方針為上位指引。

行動綱領作為全國溫室氣體減量管理及氣候變遷調適施政之總方針，以「建構能適應氣候風險之低碳家園，確保國家永續發展」為願景，揭示提升氣候變遷調適能力及民國 139 年達成淨零排放之雙軌長期目標，並以「減緩與調適並重」、「以自然為本」及「強化科學基礎與跨域協作」為核心原則。其政策內涵分為氣候變遷調適、溫室氣體減量及政策配套三大主軸；氣候變遷調適主軸並列七大面向，其中與本領域直接相關之政策方向，包括強化自然生態系調適、保護海岸生物棲地與海洋資源、增進生態系因應氣候衝擊之量能等內涵，並強調以自然為本、兼顧減緩與調適共同效益之策略思維，作為本領域研擬調適目標及行動之核心政策依據。

本領域於本期獨立分項，亦呼應國際治理趨勢之發展。聯合國《生物多樣性公約》第 15 次締約方大會（CBD COP15）於 2022 年通過《昆明—蒙特婁全球生物多樣性框架》（K-MGBF），確立 2030 年前扭轉生物多樣性流失之全球目標；IPCC 與 IPBES 亦於 2021 年聯合報告中指出，氣候變遷與生物多樣性流失互為因果，主張以「以生態系為本之調適」（EbA）與「自然解方」（NbS）整合處理。本期本領域獨立分項，有助系統性辨識生態系所面臨之氣候風險，並與《國家生物多樣性策略與行動計畫》（NBSAP）等並行國家政策整合推動。

本領域範疇涵蓋臺灣陸域、內陸水域及海域之自然生態系及其生物多樣性保育，工作面向兼及生態空間治理、生態系統氣候韌性，以及調適相關之科學研究等層面。為促進跨域整合，本領域並與水資源、農業生產、土地使用、災害防救及健康等領域共同協調，務實推動氣候變遷調適工作。例如濕地兼具生態保育、水資源調節及海岸防護等功能，本領域以自然生態系之保育與調適為核心關注對象，並就此類跨域議題與水資源、農業、土地利用及災害防救等相關領域分工協調。

二、執行現況

本領域於前三期國家氣候變遷調適行動方案中尚未獨立分項，相關工作主要承接自第三期（112-115 年）之「農業生產與生物多樣性領域」。第三期方案中與本領域直接相關之調適目標為「增進生態系因應氣候變遷之服務量能」，並透過強化自然生態系調適策略，涵蓋監測管理保護區域，維護生物多樣性及推動種原保存等措施。

1. 生物多樣性監測與指標體系發展

112 年持續推動臺灣生物多樣性觀測網（TaiBON）建構，並發展國家海域與陸域生物多樣性指標 79 項；113 年持續建置森林資源、生物多樣性、海域、濕地等資料庫，定期調查、蒐集並建立指標資料，據此調整生態系管理策略。同時，113 年並啟動建置「國家生物多樣性氣候變遷指標」之資料與方法，工作涵蓋鳥類趨勢、物種分布更新、熱點與受脅分析，以及 TaiBON 指標之整合應用，逐步將氣候暴露與生態回應指標化、常態化，作為跨部門循證決策之共同基礎。

2. 種原保存與物種保育

截至 112 年累計保存種子種原 103,020 份、無性繁殖種原 762 份；113 年國家植物園方舟計畫並新增收集臺灣特稀有植物 33 種，持續擴大臺灣原生物種之保存範圍，確保氣候變遷下生物遺傳資源之韌性與物種育種基盤之完整。

3. 國土生態綠網推動與棲地連結

延續本領域長期推動之國土生態保育綠色網絡建置工作，112 年起持續辦理重要生態區域之監測與復育；113 年並進入熱點調適階段，於氣候高風險地區進行棲地修復與綠帶建構，兼顧自然碳匯增益與氣候調適共同效益。透過綠網成果與生物多樣性資料平台之整合應用，已逐步完成生物多樣性高風險地圖之地理化與保育熱點之空間辨識，將保育目標與國土空間規劃連動建立空間基礎。

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。

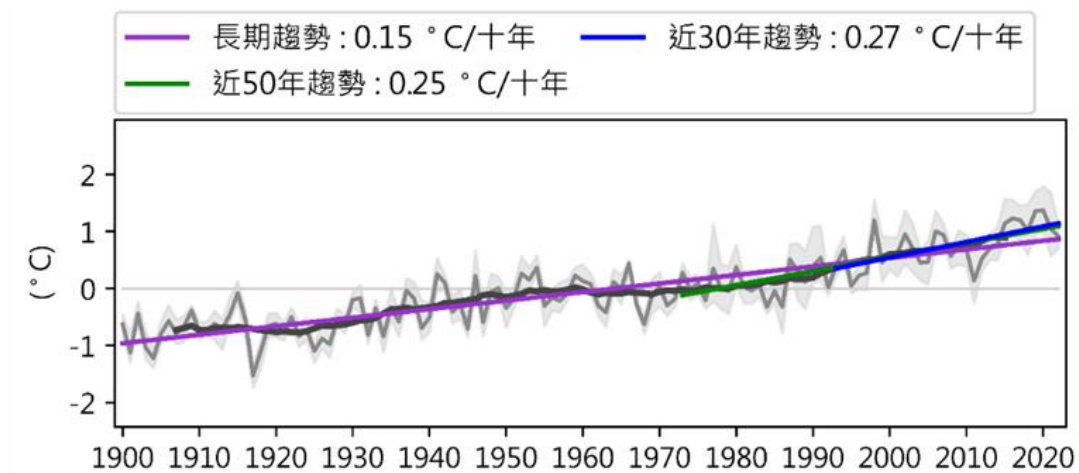


圖 2.1 臺灣全年平均氣溫平均值變化趨勢(6 個百年測站)

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。

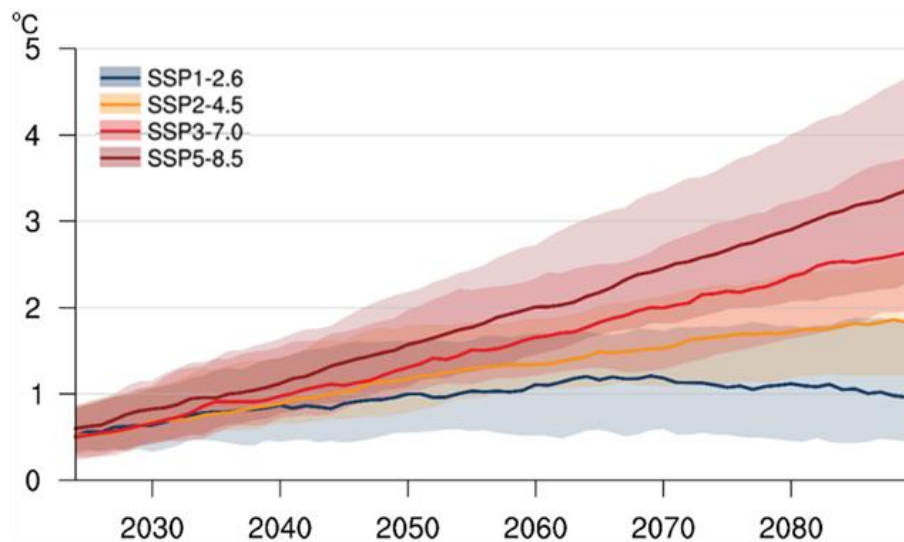


圖 2.2 臺灣全年平均氣溫距平值的未來變化趨勢(CMIP6 氣候模式)

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

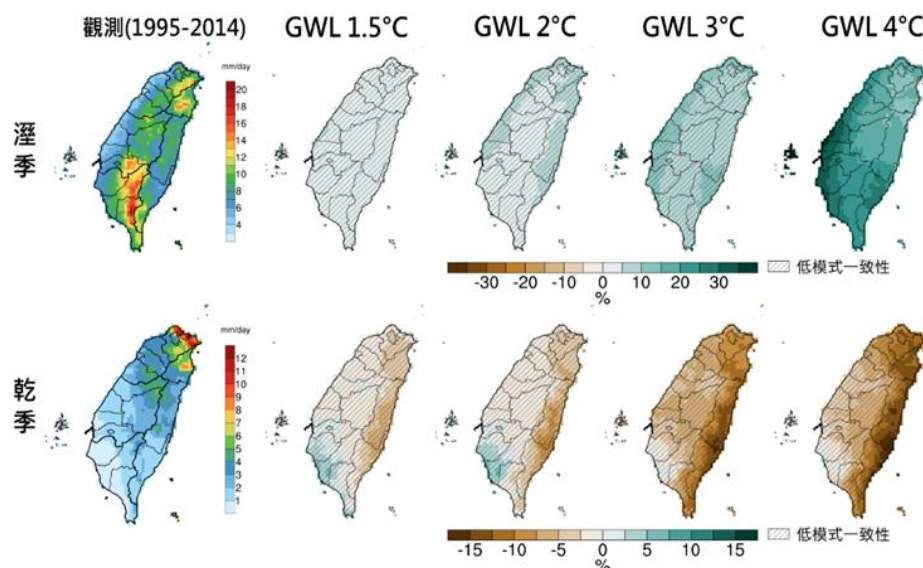
臺灣降雨趨勢在過去百年觀測紀錄中不明顯，過去嚴重乾旱事件最常發生的區域為中、南部，其次是北部。最常發生的季節為春季，其次是秋、冬季。氣象乾旱發生的頻率具有明顯區域特性及低頻振盪特徵，造成雨量偏低的原因皆與大尺度環流條件相關。

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。

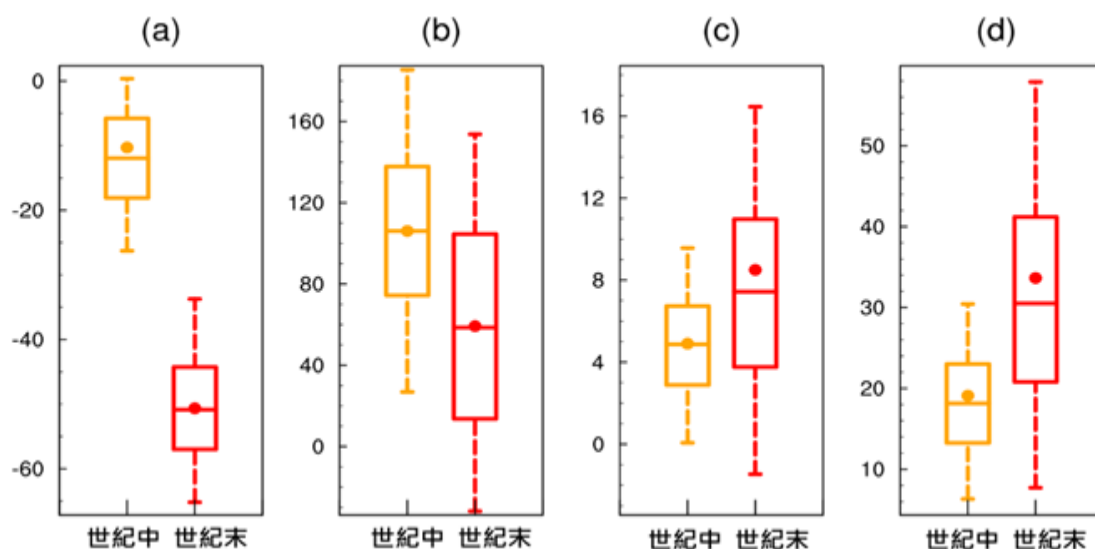


圖2.4 RCP8.5情境下，21世紀中(黃色)與世紀末(紅色)的(a)影響臺灣颱風頻率、(b)強颱頻率、(c)近中心最大風速、(d)距中心200km 內平均雨量的模擬結果

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。

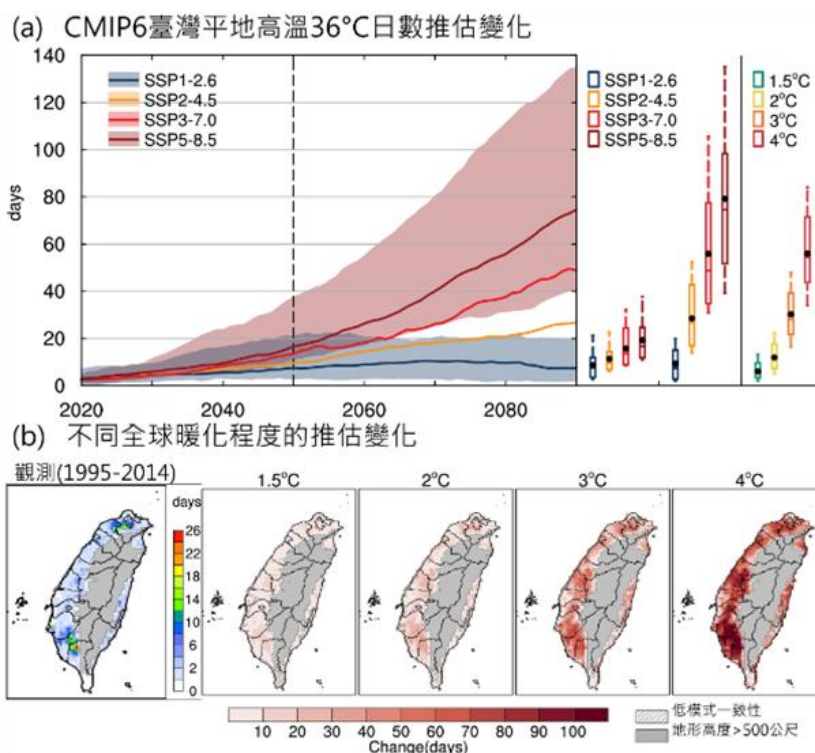


圖2.5 臺灣平地高溫超過36°C日數未來推估變化(CMIP6模式)

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

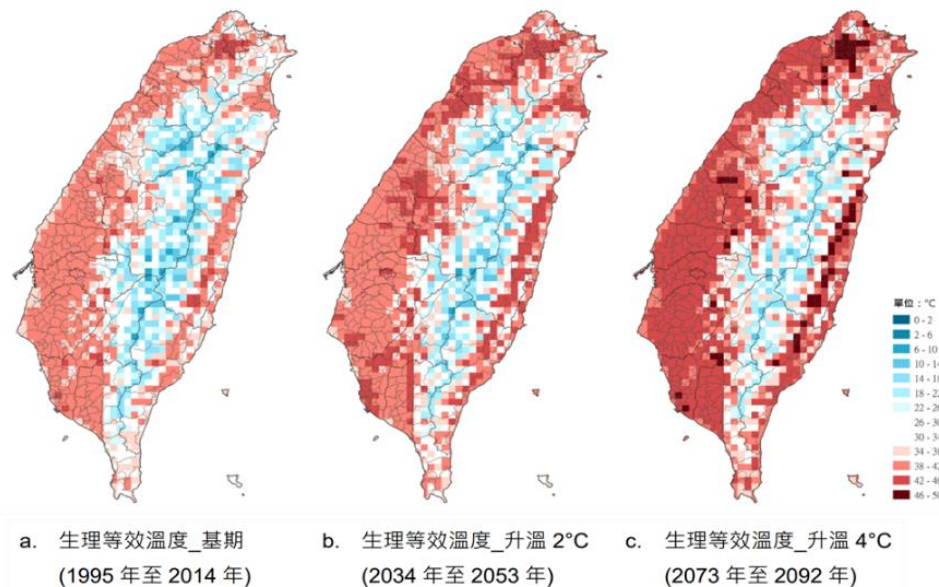


圖 2.6 台灣 PET 分佈圖(7 月 14:00 平均值)

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

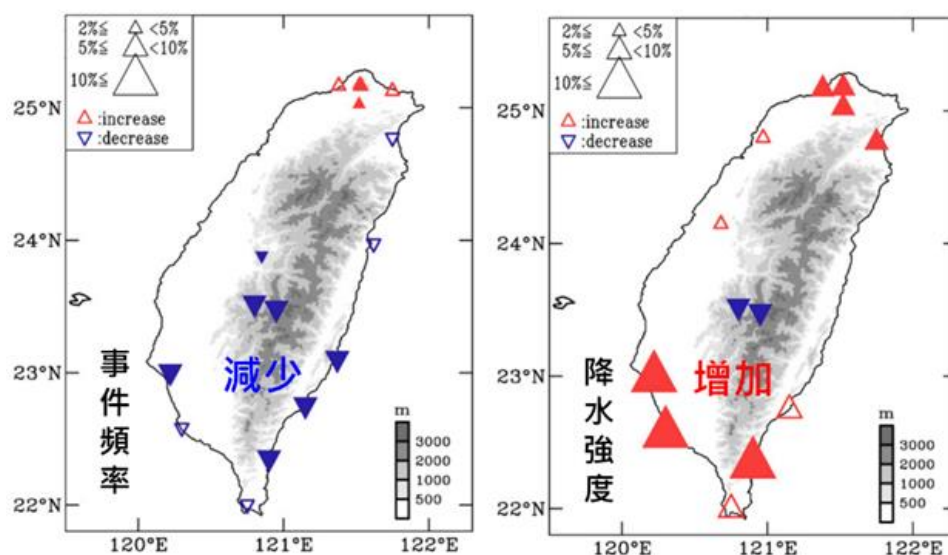


圖 2.7 夏季午後對流發生頻率及降水強度特徵，使用臺灣地面測站資料(1961 年至 2012 年間)

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)。

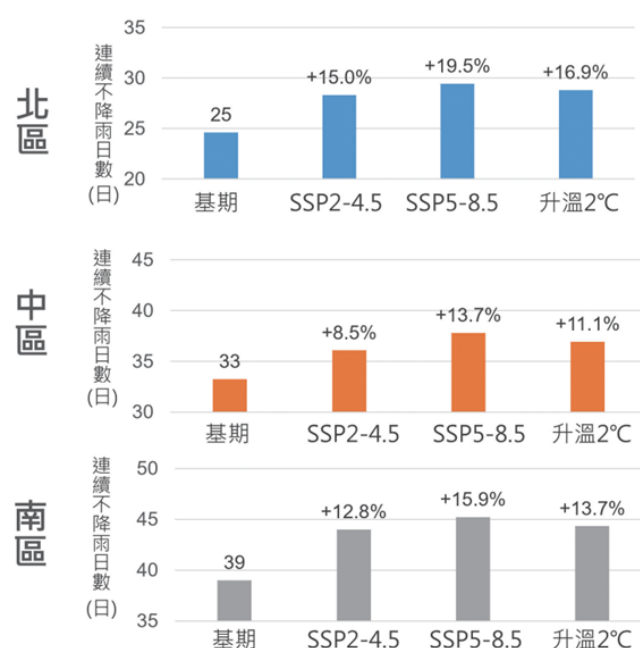


圖2.8 不同氣候變遷情境下連續不降雨日數增減情形

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。

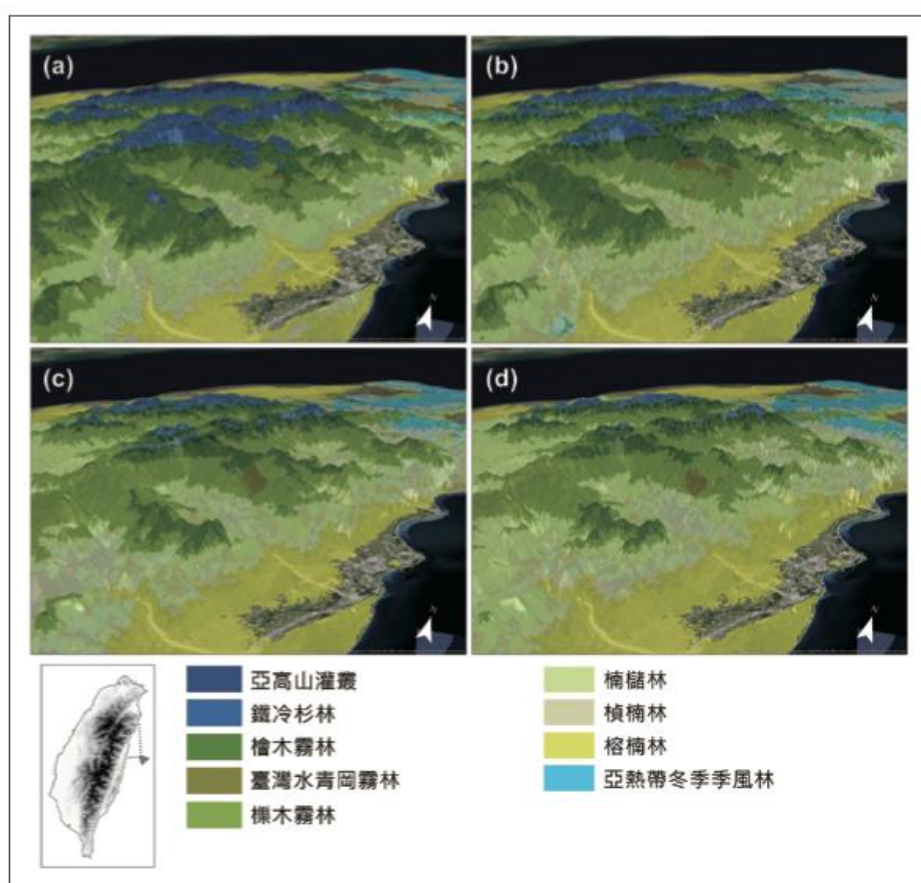


圖2.9 AR5 RCP4.5臺灣天然森林的分布與未來三階段變化圖

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高海拔樣區，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。

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 年），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 年），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 年）的增溫情境。
4. 2°C：中期（midterm, 2041-2060 年）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 年）之極端情境。

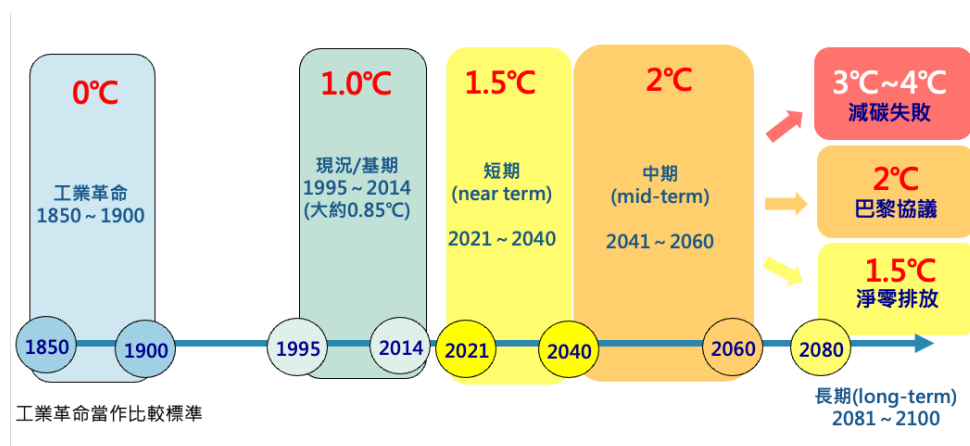


圖3-1全球暖化程度之參考基準、基期與增溫情境與時程

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「2021-2040 年升溫

1.5°C、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

本期本領域之氣候變遷風險評估，係依《氣候變遷因應法》第十八條第三項授權訂定之《氣候變遷風險評估作業準則》（以下簡稱《作業準則》）辦理。本節依《作業準則》之法定步驟，說明本領域辦理氣候變遷風險評估之方法、過程與後續規劃；本節之科學資訊來源以《科學報告 2024》、聯合國政府間氣候變化專門委員會第六次評估報告第二工作小組報告（以下簡稱「IPCC AR6 WGII」），以及本領域顧問學者之同儕審查文獻為主。

（一）法源依據與評估定位

依《氣候變遷因應法》第十九條規定，中央目的事業主管機關應就易受氣候變遷衝擊之權責領域擬定四年為一期之領域調適行動方案，並依《作業準則》使用氣候變遷科學報告進行氣候變遷風險評估。

本領域為本期國家氣候變遷調適行動方案中，自前三期「農業生產與生物多樣性領域」獨立分項而成立之新領域，過往尚未獨立辦理氣候變遷風險評估，相關評估工作主要承接自前期合併方案中與生態系相關之既有研究與監測成果。本領域屬首次獨立辦理氣候變遷風險評估之情形，本期定位為「依《作業準則》辦理之第一階段工作」，以建立評估架構、辨識風險主軸與盤點資料缺口為主。

（二）評估步驟與本領域之辦理對應

依《作業準則》第四條規定，氣候變遷風險評估應包括下列三項事項：界定範疇、檢視資源及氣候衝擊現況，以及評估未來氣候變遷風險。本領域依此三步驟之辦理對應如下。

1. 界定範疇

依《作業準則》第五條，本領域辦理範疇界定之事項如下：

（1）確認易受氣候變遷影響對象、對應之業務範疇及權責機關：本領域易受氣候變遷影響對象為臺灣陸域、內陸水域及海域之自然生態系及其生物多樣性。權責機關包括農業部林業及自然保育署、生物多樣性研究所、林業試驗所、漁業署、農村發展及水土保持署、防檢

署、動物保護司、資源永續利用司，並協同海洋委員會海洋保育署及內政部國家公園署等相關機關共同推動。

(2) 評估易受氣候變遷影響對象之氣候危害類型、可能受影響之時間、空間尺度及範圍：本領域納入評估之氣候危害類型，依《科學報告 2024》及 IPCC AR6 WGII 所揭示者為主，包括高低溫、乾旱、極端降雨及海平面上升等四大氣候衝擊面向。空間尺度涵蓋臺灣陸域、內陸水域及海域之自然生態系，時間尺度依本章第一節所訂「國家調適應用情境」，以全球暖化程度 1.5°C（2021 至 2040 年）及 2°C（2041 至 2060 年）為共同基準。

(3) 邀集有關機關、學者、專家及民間團體共同界定評估範疇：本期於本案執行期間邀請生態領域之專家學者，提供本領域氣候變遷風險評估之文獻基礎及方法建議；本期並規劃辦理本領域氣候變遷風險評估專家會議及利害關係人公聽會，邀集相關機關、學者、專家及民間團體共同檢視評估範疇，建立後續滾動修正之機制。

2. 檢視資源及氣候衝擊現況

依《作業準則》第六條，本領域辦理資源盤點與現況衝擊評估之事項如下：

(1) 盤點權責機關及易受氣候變遷影響對象之可掌握資源：本領域既有之資料與監測機制，包括臺灣生物多樣性觀測網(TaiBON)、國家生物多樣性氣候變遷指標、臺灣繁殖鳥類調查(BBS Taiwan)、eBird Taiwan、臺灣物種名錄(TaiCOL)、臺灣生物多樣性網絡(TBN)、臺灣生物多樣性資訊機構(TaiBIF)、臺灣生物多樣性資訊聯盟(TBIA)、臺灣生命大百科(TaiEOL)、臺灣野生生物遺傳物質冷凍典藏計畫(TaiBOL)、台灣及全球入侵種資料庫(TaiGISD)，以及 GLORIA 高山植群樣區、長期森林動態樣區與農業試驗所「臺灣農業長期生態研究」所累積之長期生態監測資料。本期評估以前述既有資料、監測成果與可公開取得之研究資料為基礎，參採既有文獻與官方資料所提之物種分布模型(Species Distribution Model, SDM)、氣候速度(climate velocity)、嗜熱化指標、標準化降雨蒸散指標(SPEI)、差異化標準化燃燒指數(dNBR)等工具，作為風險辨識與後續資料缺口盤點之參考。

(2) 評估氣候衝擊現況：依《作業準則》第二條規定，氣候變遷風險評估係指對氣候變遷風險進行量化或質化之科學評估，並考量危害度、暴露度及脆弱度等風險要素之關聯影響。本期評估生態系統領域調適行動方案整合既有研究與監測觀察，呈現本領域現況風險之初

步辨識結果。

(3) 規劃權責機關及易受氣候變遷影響對象屬性之質化、量化或綜合之衝擊評估方法：本領域因本期首次獨立分項、過往無對應之基層資料蒐集機制，本期評估以質化整合為主、量化指標為輔；量化引用以專家學者既有發表之同儕審查文獻所提供之具體數值為限。

3. 評估未來氣候變遷風險

依《作業準則》第七條，本領域辦理未來風險評估之事項如下：

(1) 使用當期氣候變遷科學報告及最新國內外科學研究：本領域評估採《科學報告 2024》為當期氣候變遷科學報告，並參採 IPCC AR6 WGII 及相關學者既有同儕審查文獻為主要科學資訊來源。前述科學資訊以本章第一節所訂「國家調適應用情境」（全球暖化程度 1.5°C 及 2°C）為共同基準，評估本領域易受氣候變遷影響對象及所對應業務範疇之未來衝擊或風險。

(2) 依檢視現況之評估結果及方法進行未來風險評估、辨識調適差距或指認高風險地區呈現本領域未來風險辨識之初步結果。考量本領域於本期屬首次獨立分項辦理風險評估，僅辨識「危害度 × 暴露度 × 脆弱度」三大面向別之風險主軸，以文獻與內容作為未來建立常態量化評估機制及高風險地區指認之基礎，未進行乘積式整體推估。

(3) 邀集有關機關、學者、專家及民間團體共同檢視調適差距或指認高風險地區之合理性：本期於文獻整理後，透過專家會議與公聽會邀集各界檢核風險評估結果，建立諮商修正機制。

（三）調適方案研擬工作之承接

本章依《作業準則》第五條至第七條完成「氣候變遷風險評估」之成果，將延續於第四章「調適目標」與第五章「推動策略及措施」，呈現《作業準則》第八條至第十一條所要求之「調適方案研擬與執行」，除了建立領域內常態化之風險評估推動機制外，亦作為下一期方案邁入第二階段調適工作之關鍵基礎。

三、現況與未來風險評估

本節將依前述風險評估作業說明所訂之評估程序，呈現本領域風險評估之初步辨識結果。考量本領域於本期首次獨立分項、過往尚未獨立辦理氣候變遷風險評估，僅依最新科學資訊與準則規範，彙整可能遭遇之風險；具體之高風險地區指認、調適差距量化分析等工作，

俟未來評估方法成熟及資料累積後辦理。

本章之風險分為現況與未來兩部分呈現：(一) 現況風險評估：對應《作業準則》第六條「檢視資源及氣候衝擊現況」之評估，係就已觀測之氣候危害、所暴露之生態系統與物種及其既有脆弱條件，依既有研究與監測成果，辨識目前已可掌握之風險與資料缺口；(二) 未來風險評估：對應第七條「評估未來氣候變遷風險」，以本章第一節所訂「國家調適應用情境」(全球暖化程度 1.5°C 及 2°C) 為共同基準，承接現況辨識結果，研判未來可能加劇、位移或新增之風險方向。

二者評估結果之落差，即《作業準則》所稱之調適差距。本節於相關風險項說明資料缺口、判讀限制及可參考之評估依據，係為銜接《作業準則》第七條所定未來風險評估、調適差距辨識或高風險地區指認之需求；惟本期屬初步質化辨識，具體評估方法與指標選擇仍待後續依資料累積及專家檢視滾動精進。

(一) 現況風險評估

本節各面向之現況風險，主要著重於既有科學知識、長期生態監測數據及研究成果之盤點。評估方式係考量由物種、族群、群聚、地景至整體生態系統等不同層級之生態特性，就「目前已觀測到」之氣候危害因子、所暴露之衝擊對象，以及其脆弱條件關係加以辨識。藉由呈現目前本領域已掌握之實質生態衝擊與證據基礎，推估生態系統所面臨之可能風險與資料缺口，並將各面向風險彙整於本節末之風險綜整表。

1. 陸域保育空間涵蓋不足與棲地破碎化限制調適能力

截至 115 年 4 月，臺灣之陸海域保護區共 97 座，扣除範圍重複部分後總面積共 1,210,657 公頃，其中陸域保護區約 694,449 公頃，將近陸域面積之 20% (林業及自然保育署，2026)；海域保護區約 516,208 公頃，佔我國海域面積之 8.38% (海洋保護區，2026)。除此之外，亦於保護區外推動國土生態保育綠色網絡及「保育共生地」(OECD，或譯為「其他有效地區保育措施」)，以保育淺山、平原、海岸等人為活動環境之生態棲地。

臺灣中高海拔已有相對完善之保護區體系，但根據林業及自然保育署 (2026) 統計，仍有約六成之保育類野生動物與受脅植物生活於受保護之國有森林之外，平地及淺山地帶之物種棲地破碎化，仍屬本領域之重大保育挑戰 (許皓捷等，2021)。譬如以 eBird Taiwan 公民科學資料分析臺灣冬季水鳥多樣性熱區，全臺 994 個冬季水鳥熱區中

僅約三分之一座落於現有保護區範圍內（陳宛均等，2024），此缺口在氣候變遷衝擊下，保護程度仍顯不足。

2. 複合性壓力加劇沿海陸域棲地脆弱度

根據《科學報告 2024》，臺灣位於西北太平洋，1961 年至 2003 年間之海平面變化率超過全球平均值之 1.5 倍，1993 至 2015 年間平均每年上升 2.2 公釐。以 1920 年代至 2020 年代之歷史地形圖及 Landsat 衛星影像重建西部潮間帶泥灘變遷，臺灣西部潮間帶泥灘面積於 1950 年代至 2010 年代由約 460 平方公里降至約 194 平方公里，流失約 58%（約 266 平方公里），依 IUCN 生態系紅皮書（IUCN Red List of Ecosystems）之生態系分布衰退準則已達瀕危等級（Chen *et al.*, 2024）。臺灣沿海陸域棲地之流失，除受氣候變遷之衝擊，亦面臨超抽地下水、河川輸砂與海岸及上游開發等複合性壓力，影響棲息生物之生存，等為本領域沿海生態空間規劃與保育優先性判斷之重要風險訊號。

3. 極端氣候情境減損生態系統服務能力

(1) 陸域生態系

臺灣高山生態系因海拔梯度陡峭、可遷移空間有限，對暖化、乾旱及極端事件具有較高敏感性。觀察高山植群對於溫度與水分變化的反應，依 GLORIA 國際標準化方法監測臺灣 6 處高山山頂之結果，三個監測週期（2005–2009、2010–2014、2015–2019）比較顯示，部分較低海拔山頂已出現嗜熱物種比例增加、嗜濕物種減少、玉山箭竹等優勢種擴張及整體物種豐富度下降等現象（Kuo *et al.*, 2022）。這研究顯示觀察的高山植群組成已可觀察到與溫度升高的影響及水分條件變化相關之變動訊號。

高山植群應對乾旱複合壓力，以 1951 至 2022 年資料分析臺灣高山地區乾旱事件之研究指出，嚴重乾旱與極端乾旱事件已可被量化辨識，且 2016 年後極端乾旱事件有增加趨勢（Kuo *et al.*, 2026）。當乾旱與高溫同時發生時，植群生產力下降幅度較為顯著，部分冷涼及喜濕物種於樣區中減少或消失，群落組成亦可能朝同質化方向變化。此顯示高山生態系之現況風險不宜僅以平均升溫判讀，亦需納入乾旱、高溫及水分條件變化之複合壓力；標準化降雨蒸散指標（SPEI）所反映之乾旱壓力仍需後續持續監測。

淺山平原地區的生態系也因土地利用形式變化產生之壓力，減損各生態系的生態系統服務能力，降低對於氣候變遷壓力的調適能力，惟目前尚無適當研究評估風險。

紅樹林等沿海藍碳生態系兼具棲地維持、海岸防護與碳循環功能，惟其調適與減緩效益高度受物種組成、潮汐水文、鹽度、營養鹽、沉積物來源、分解與外輸過程影響，不宜僅以造林面積、植被面積或單一碳匯係數判定。且底泥碳庫有相當比例來自上游河流之外源有機質，而非紅樹林自身生產(Li *et al.*, 2018；Lin *et al.*, 2021, 2023；Yong *et al.*, 2024, 2025)。因此，紅樹林復育之氣候風險在於氣候變遷壓力上升時，環境受到極端氣候事件的衝擊而影響到生態系統服務能力。另外在紅樹林復育時，若忽略物種、水文及底泥碳來源差異，可能高估單一復育措施之減碳共效益，並影響場址選擇與成效判讀。關於氣候變遷壓力對於生態系統服務能力之影響，目前研究較零散，缺少整體面向或完整的研究。現有研究多屬特定物種、樣區或監測網絡之成果，於此僅列舉數項尚不宜推論為全臺生態系之整體風險分級，但可作為本期辨識生態系現況壓力之重要案例。

(2) 海域生態系

氣候變遷可能降低海岸生態系維持生態系統服務之能力，既有風險評估指出，臺灣海岸生態系中，主要承受海溫上升與海洋酸化衝擊之珊瑚礁、海草床與藻礁屬相對高風險群；其他沿海生態系之風險樣態不同，需依暴露度與脆弱度分別評估 (Chiu *et al.*, 2017)。

就珊瑚礁而言，全球研究與 IPCC 評估均指出海洋熱壓力將增加珊瑚白化與群聚退化機率，進而削弱珊瑚礁生態系提供棲地、生物多樣性維持及漁業支持等生態系統服務之能力。然而珊瑚礁退化並非僅由氣候因子單獨造成，亦可能與營養鹽、污水、過漁及大型藻優勢化等在地壓力交互作用，進一步削弱珊瑚礁韌性與生態功能。南臺灣研究顯示，營養鹽富化可促進大型藻覆蓋並削弱珊瑚競爭力 (Liu *et al.*, 2009)；另具化感作用之大型海藻 *Galaxaura divaricata* 會降低多數草食性魚類對可食大型藻之取食量，並可能影響部分非草食性魚類之取食行為 (Lee *et al.*, 2026)。此類在地壓力雖非氣候因子本身，惟會影響珊瑚礁面對熱壓力與酸化之韌性，增加生態功能衰退之可能性，屬複合風險之一環。

海草床具有重要棲地支持與碳循環功能，惟其生態功能與碳匯效益可能受氣候變遷及環境條件變化影響，其中物種組成、演替階段、底泥有機碳保存、分解與外輸過程為碳匯效益的重要影響因子。東沙及南臺灣海草床研究指出，部分海草床雖具高生產力與生態功能，惟海草床生態系的碳儲存未必長期埋存於底泥（南臺灣泰來藻床僅約 4% 之葉片生產被長期埋存），且不同海草物種對乾濕季、潮位變化與營養鹽條件之反應不同（Chiu *et al.*, 2013；Huang *et al.*, 2015；Lin *et al.*, 2018；Lee *et al.*, 2021；Chen & Lin, 2022）。因此，海草床之碳匯與棲地功能之能力，受物種組成、覆蓋度、底泥碳庫、水質與營養鹽狀態等多因子影響；在氣候變遷情境下，相關資料缺口仍增加其風險判讀與調適規劃之不確定性。

4. 高溫乾旱情境增加森林火災發生與擴散潛勢

每年十月至次年四月氣候較乾燥，為林火好發季節，主要為人為引起，如用火不慎、亂丟菸蒂、蓄意縱火。根據林業及自然保育署(2024)統計，民國 106 至 113 年國有林地火災件數，平均一年 50 件，其中因 110 年遭逢 56 年大旱，森林火災件數高達 93 起（行政院災害防救辦公室，2022）。既有研究彙整 1987 至 2023 年臺灣高山國家公園 42 起火災紀錄，並運用 Landsat 衛星反射率推導差異化標準化燃燒指數（dNBR）分析火災後森林恢復情形，發現六成受災網格以復育，但仍有經過 32 年未復育之情形（Kuo *et al.*, 2026）。森林火災之發生與災後恢復受氣候條件、地形、燃料、人為活動及其他擾動共同影響，因復原不易，加上氣候變遷下高溫與乾旱日數增加，人為因素若不得妥善管控，將提高森林火災風險，相關監測與資料仍待後續補強。

5. 微氣候變化改變物種互動與生態系穩定性

氣候變遷壓力下，溫度、水分因子受到影響，造成微棲地結構的改變，亦可能透過微氣候變化影響物種間之互動，屬跨生態系之風險。Chan *et al.* (2023) 以臺灣合歡山埋葬蟲與麗蠅幼蟲之資源競爭為例指出，森林砍伐可增加日較差（diurnal temperature range, DTR），並改變白天與夜間活動物種於資源競爭中的相對表現。此研究提醒本領域在評估棲地劣化、森林邊緣化及復育管理成效時，除氣候因子本身外，亦需留意土地利用變遷、植被覆蓋、微氣候條件及物種互動關係之複合影響。此類風險目前仍屬案例型證據，後續仍需補強相關證據之議題。

6. 現況風險之綜整觀察

綜整現有證據，辨識出現況風險高度集中於「棲地環境實質壓縮」與「自然系統運作失衡」。高山森林與雲霧林面臨的暖化與乾旱複合壓力，以及西部沿海潮間帶泥灘流失、濕地與藍碳生態系變動、珊瑚礁熱壓力及海洋相位轉變等危機，不僅威脅著瀕危物種的續存，更顯示出氣候壓力已逐漸削弱大自然原有的環境緩衝、碳吸存與基礎棲地維持等底蘊。

面對高溫異常、極端降雨與海平面上升等持續影響，儘管我國已投入諸多保護與保育措施，目前觀測到的物種分布初期位移、極端天氣對現存脆弱棲地造成的實質破壞，以及海平面上升對沿海保護區造成的立即性邊界擠壓，凸顯了物種的避難退路與生存網域的壓力困境。

雖受限於資料分散、監測網絡密度不足及跨生態系評估方法尚未一致，目前仍不宜解讀為完整之量化評估結果；但這些已辨識出的立即性壓力，將成為後續調適研擬的關鍵參據。確保未來的保育行動能有效因應氣候變遷下的棲地連結需求與自然機能衰退危機。

（二）未來風險評估

奠基於前述現況風險證據基礎，本節未來風險評估進一步聚焦於氣候變遷可能導致衝擊與威脅加劇風險辨識。本節依國家調適應用情境（全球暖化程度 1.5°C 之 2021–2040 年、2°C 之 2041–2060 年）為共同基準。辨識方式同於現況評估，參採《科學報告 2024》及 IPCC AR6 WGII 及學者同儕審查文獻等最新科學資訊，以研判在未來情境下推估對各生態層級所產生之變化趨勢與疊加效應。

1. 高山特有與孿遺物種適生範圍持續限縮

氣候變遷可能使部分物種之適生棲地向高海拔或較冷涼區域移動，惟臺灣高山物種受島嶼地形、山頂效應及既有棲地分布限制，可遷移空間有限。以臺灣冷杉為例，Chiu *et al.* (2022) 推估其現今氣候下之潛在適生面積為 73,151 公頃，實際分布約 16,857 公頃，主要位於海拔 2,700 至 3,600 公尺之高山環境；於升溫 0.5°C、1.0°C、1.5°C 及 2.0°C 情境下，潛在適生面積分別降為現況之 70.2%、47.1%、30.2% 及 10.0%。此結果顯示，於 GWL 1.5°C 與 2°C 情境下，高山特有物種之適生棲地可能顯著縮減，且因向上遷移空間有限，未來保育空間規劃須同時考量現有分布、潛在未來棲地及棲地連續性；針對此類於自然棲地中退無可退之高脆弱物種，亦凸顯推動域外保育與種原保存（如方舟計畫）以避免物種滅絕之急迫性。

冰河孿遺物種亦呈現類似風險。《科學報告 2024》表示臺灣水青

岡 (*Fagus hayatae*) 霧林「至 2100 年適生面積可能僅餘現生之 7% 甚或不及 1%」，顯示此類物種之棲地限縮風險需納入保育空間規劃。昆欄樹 (*Trochodendron aralioides*) 之集成模型研究亦指出，不同區域族群於未來氣候下可能呈現不同之遷移與流失風險（至 2050 年中部中海拔族群可往上遷、北部低山族群則大量流失），反映子遺物種保育不宜僅以現況分布判斷，仍需納入未來適生區位與區域族群差異 (Lin & Chiu, 2019)。

2. 海平面上升與複合壓力加劇沿海關鍵棲地退縮

於未來氣候情境下，沿海潮間帶、泥灘地及濕地可能受海平面上升影響，並與海岸開發、綠能基礎設施擴張及棲地破碎化等壓力交互作用，增加沿海關鍵棲地退縮與功能受影響之可能性。若缺乏整體棲地網絡規劃，可能進一步限制沿岸生物因應環境變遷之空間。

3. 氣候避難所與生態連結空間布局未臻完善

未來保護區規劃不僅需維持現有保護區功能，亦須檢視保護區是否能涵蓋物種未來適生棲地、氣候避難所及遷移廊道。既有研究以臺灣高山樹種（臺灣冷杉、臺灣鐵杉）為例指出，現有保護區於氣候變遷情境下仍可涵蓋多數適生地，惟為抵銷適生棲地縮減及模型不確定性，仍需透過系統性保育規劃辨識保護區外之補充保育區位 (Lin et al., 2014)。國際「氣候智慧型保護區」研究亦指出，未來保護區規劃應同時考量物種未來棲地、氣候避難所、氣候連通性及調適潛力區 (Buenafe et al., 2023, 2025)。因此，本領域未來風險不在於現有保護區立即失效，而在於若未將未來棲地與連通性納入空間規劃，可能形成新的保育缺口。

4. 極端氣候減損生態系統功能維持與恢復力

臺灣棲地長期面臨破碎化與品質下降之挑戰，未來若再疊加氣候變遷衝擊，生態系恢復所需時間可能延長，並增加功能維持之挑戰。以崩塌地為例，依《科學報告 2024》推估，未來侵臺之颱風將呈現「個數減少、強度增強」之趨勢，單次事件引發坡地崩塌、土砂擾動及溪流棲地變動之可能性亦可能提高。然現有崩塌地資料多偏重災害與工程治理，較缺乏棲地品質、生物群聚、溪流濁度、底質變化及復育後生態功能恢復之長期評估，若缺乏生態指標與長期監測，將增加復育成效評估及調適策略優先順序判定之不確定性，亦可能限制生態系恢復力之掌握，如難以判斷復育措施對於提升生態系韌性之效用，以及投入具氣候調適意義之復育措施排序與成效指標設定。

紅樹林等沿海藍碳生態系之碳匯效益高度受物種別、潮汐水文、物種組成及分解與外輸過程影響，於未來暖化與酸化之雙重壓力下不確定性可能進一步提高。根據《科學報告 2024》，臺灣之海平面於 21 世紀末將提升 0.4 至 0.8 公尺，然而紅樹林垂直生長之上限為每年 7 毫米 (Saintilan *et al.*, 2020)，若海平面上升速度超過此閾值，紅樹林又無法向內陸擴張，可能面臨調適受限，進而影響海岸防護與碳匯功能之維持。

依 IPCC 海洋與冰凍圈特別報告 (SROCC, 2019)，珊瑚礁於全球升溫 1.5°C 即面臨極高風險，於 1.5°C 與 2°C 情境下預估分別大幅減少 (約七至九成、逾九成五，屬全球尺度評估)；惟承前述現況，臺灣海域大規模白化之長期監測資料仍有限，未來氣候情境下對珊瑚礁生態功能變化之評估仍具有相當不確定性。

5. 乾旱與火災削弱森林碳匯維持能力

於 GWL 1.5°C 及 2°C 情境下，暖化與乾旱之複合壓力可能進一步提高，並透過群落同質化等機制改變高山生態系結構，不僅需耗費長年恢復，也可能影響森林碳匯。根據陳奕穎等 (2024) 研究，2020 至 2021 年間之乾旱期間，臺灣中部森林之淨生態系交換量 (NEE) 為正值或接近於 1，顯示碳吸存功能暫停。經統計分析，淨生態系統交換、輻射因子、地下水位和野火之間存在顯著相關，亦即若反覆發生嚴重乾旱，將增加森林火災機率，並降低森林長期碳吸存潛力。因此乾旱與火災之監測至關重要，惟林火趨勢受氣候、地形、燃料、人為及次生干擾共同影響，dNBR 可作為輔助監測之一，相關資料仍待後續補強。

6. 氣候變遷與入侵種交互作用提升入侵種擴散潛勢

入侵種與氣候變遷之交互作用屬未來需預警但不確定性較高之議題。全球模式綜整研究指出，氣候變遷可能改變入侵種之潛在分布，且不同類群反應並不一致；部分無脊椎動物與病原體可能具有較高擴張潛力，但草本植物與脊椎動物之分布變化則受海洋阻隔、棲地條件與傳播限制等因素影響 (Bellard *et al.*, 2018)。就臺灣而言，目前尚缺乏外來入侵種對未來氣候情境反應之系統性本土評估，故不宜直接推論特定類群將必然向高海拔或冷涼棲地擴張。外來入侵種與氣候交互作用屬目前資料較不足、判讀限制較高之議題，仍需後續持續補強相關資料。

7. 未來風險之綜整觀察

本領域已有部分本土研究與氣候情境推估成果，顯示未來高山特有與孑遺物種棲地限縮、沿海關鍵棲地退縮、極端天氣擾動將會加劇。綜觀上述未來風險仍與現況風險辨識出相似方向及更嚴峻之「適生空間壓縮」與「自然功能失能」。具體而言，高山物種與沿海棲地退無可退的困境，凸顯出未來物種避難與遷徙的空間連結將面臨嚴峻挑戰。而更加極端氣候模擬情境，亦將深刻衝擊大自然原有的碳吸存、海岸防護與棲地維持等種種功能，導致環境調節機能失能衰弱。

儘管目前針對林火所致淨生態系交換量暫停、外來入侵種突破低溫限制風險，以及跨生態系與保護區之氣候韌性評估仍存在資料缺口。前述所辨識出之未來風險與威脅，未來仍宜以結合更多長期監測、高解析度氣候資料、海陸整合圖資及臺灣生態系分類架構為基礎，全面考量由物種、族群、群聚、地景至整體生態系統等不同層級之生態特性，並引導後續調適行動設計，以因應未來情境下棲地網絡斷裂與自然系統運作失衡之長期危機。

第四章 調適目標

一、領域調適目標及研擬依據

生態系統領域依據《氣候變遷因應法》及氣候風險評估結果，研訂本領域調適目標如表 4.1。針對氣候變遷可能造成「適生空間壓縮」與「自然功能失能」之重要風險議題，建立「強化氣候風險導向之生態空間治理」及「增強氣候變遷下生態系衝擊因應能力」調適目標，以提升生態系統之保育、調節與復原能力。另考量氣候變遷風險具長期性、複雜性及高度不確定性，仍須持續累積生物多樣性基礎資料，深化長期監測，並且精進相關風險評估方法及工具，爰建立「充實生物多樣性調適研究量能」調適目標，作為本領域推動執行過程滾動調整之科研基礎。綜上，本領域確立三項調適目標，以完備由科學評估、空間治理至衝擊因應之整體調適架構。

表 4.1 生態系統領域與氣候變遷因應法之對照

本領域調適目標	對應氣候變遷因應法
目標一：強化氣候風險導向之生態空間治理	第六條第 3 項： 積極採取預防措施，進行預測、避免或減少引起氣候變遷之肇因，以緩解其不利影響，並協助公正轉型。
	第五條第 3 項第七款： 納入因應氣候變遷風險因子，提高氣候變遷調適能力，降低脆弱度及強化韌性，確保國家永續發展。
目標二：增強氣候變遷下生態系衝擊因應能力	第五條第 3 項第七款： 納入因應氣候變遷風險因子，提高氣候變遷調適能力，降低脆弱度及強化韌性，確保國家永續發展。
	第六條第 3 項：

	積極採取預防措施，進行預測、避免或減少引起氣候變遷之肇因，以緩解其不利影響，並協助公正轉型。
目標三：充實生物多樣性調適研究量能	第五條第3項第一款： 參酌國內外最新氣候變遷科學研究、分析及情境推估。
	第五條第3項第七款： 納入因應氣候變遷風險因子，提高氣候變遷調適能力，降低脆弱度及強化韌性，確保國家永續發展。
	第六條第3項： 積極採取預防措施，進行預測、避免或減少引起氣候變遷之肇因，以緩解其不利影響，並協助公正轉型。
	第六條第4項： 致力氣候變遷科學之研究發展。

二、追蹤指標

生態領域依我國目前進展與本期調適規劃，針對各項目標建立相應追蹤指標，衡量調適行動推動情形及追蹤調適進展。

（一）國土綠網關注區域與保育軸帶圖層更新數

為衡量目標一「強化氣候風險導向之生態空間治理」之推動情形，將透過「國土綠網關注區域與保育軸帶圖層更新數」指標進行追蹤。本領域將持續整合國土生態綠網關注區域及保育軸帶之生態與土地利用資訊，每年建置或更新相關主題圖層，並評估生態受脅、棲地連結及土地利用變化情形，針對生態瓶頸與棲地斷裂區推動修復。爰此，本指標將作為檢視生態空間資訊更新與循證治理推動情形之依據，並支援自然解方及區域保育決策。

（二）生態系統韌性與服務功能修復面積

為衡量目標二「增強氣候變遷下生態系衝擊因應能力」之推動情形，將透過「生態系統韌性與服務功能修復面積」指標進行追蹤。本領域將於生態劣化處持續推動植群復育及棲地修復工作，透過植被重建、棲地改善及生態環境維護等措施，提升生態系統韌性與連結性，強化水源涵養、土壤保持及防災減災等生態系統服務功能，以提升自然環境面對氣候變遷衝擊之調適能力。爰此，本指標將作為檢視生態修復推動進展之依據，並據以掌握生態系統韌性及服務功能提升情形。

（三）國家生物多樣性氣候變遷指標建立數

為衡量目標三「充實生物多樣性調適研究量能」之推動情形，將透過「國家生物多樣性氣候變遷指標建立數」指標進行追蹤。本領域將持續進行野生動物長期監測，並運用開放之生物多樣性時空分布資料，分析氣候變遷對物種分布、族群變化及生態系統健康之影響，建立可反映生物多樣性對氣候變遷反應之複合型指標。爰此，本指標將作為檢視生物多樣性監測資料應用及氣候變遷影響評估推動情形之依據，並據以掌握野生物與生態系統面對氣候變遷衝擊之變化趨勢。

第五章 推動策略及措施

生態系統領域於3項調適目標下，提出4項推動策略及8項調適措施，如表5-1。各項調適策略與措施規劃上均以科學為本，考量現有科學資料仍較分散，部分區域與物種類群之監測密度、物種氣候敏感性資料尚有不足，風險評估方法與工具亦待精進，本期爰同步強化生物多樣性監測、氣候風險評估及種原保存，作為生態系統風險管理之重要科研基礎，並依據最新科學證據，適時調整調適措施。

表 5.1 本期生態系統領域調適目標、策略及措施

調適目標	策略	措施
1.強化氣候風險導向之生態空間治理	1.1 推動陸域及海域調適網絡整合	1.1.1 串聯陸域生態保育軸帶與關鍵棲地
		1.1.2 統合海域生態保育軸帶與空間網絡
		1.1.3 建置保育共生地體系
2.增強氣候變遷下生態系衝擊因應能力	2.1 推動棲地韌性復育	2.1.1 建立受氣候衝擊棲地之生態韌性修復機制
	2.2 強化生態系氣候風險管理	2.2.1 強化氣候變遷下森林火災監測管理機制
		2.2.2 強化氣候變遷下外來入侵種監測與防治
3.充實生物多樣性調適研究量能	3.1 完備生物多樣性監測、風險評估與調適決策基礎	3.1.1 建置生物多樣性時空變遷與氣候風險資料基盤
		3.1.2 強化種原保存調適潛能

第六章 我國國家永續發展目標關聯性

生態系統領域調適行動方案（116-119 年）之領域各調適目標對應我國國家永續發展核心目標及指標如表 6.1：

表 6.1 生態系統領域調適行動方案與臺灣永續發展目標之對應

生態系統領域行動方案			臺灣永續發展目標 SDGs		
調適目標	調適策略	具體措施/ 行動計畫	核心目標	具體目標	對應指標
本領域全體共 3 項調適目標	本領域全體共 4 項調適策略	本領域全體共 8 項措施/ 8 項行動計畫	13 完備減緩調適行動以因應氣候變遷及其影響	13.1 增進氣候變遷調適能力、強化韌性並降低脆弱度	13.1.1 盤點氣候風險，訂定調適行動計畫據以施行
1. 強化氣候風險導向之生態空間治理	1.1 推動陸域及海域調適網絡整合	1.1.1 串聯陸域生態保育軸帶與關鍵棲地	15 保育及永續利用陸域生態系，以確保生物多樣性，並防止土地劣化	15. 保護、維護及促進陸域及內陸水域生態系統的永續利用	15.1.3 進行生物多樣性維護管理及流域監測的比率
		1.1.2 統合海域生態保育軸帶與空間網絡	14 保育及永續利用海洋生態系，以確保生物多樣性，並防止海洋環境劣化	14.2 以永續方式管理並保護海洋與海岸生態 14.5 保護至少 10% 的海岸與海洋區	14.2.1 使用生態系管理概念進行資源管理的海域數 14.5.1 海洋保護區面積占我

					國海洋區域的比例 14.5.2 海岸保護區面積占我國海岸地區（近岸海域）的比例
		1.1.3 建置保育共生地體系	14 保育及永續利用海洋生態系，以確保生物多樣性，並防止海洋環境劣化 15 保育及永續利用陸域生態系，以確保生物多樣性，並防止土地劣化	14.2 以永續方式管理並保護海洋與海岸生態 15.2 落實森林永續管理，終止森林盜伐，恢復遭到破壞的森林	14.2.1 使用生態系管理概念進行資源管理的海域數 15.2.1 實現永續森林管理的進展
2. 增強氣候變遷下生態系衝擊因應能力	2.1 推動棲地韌性復育	2.1.1 建立受氣候衝擊棲地之生態韌性修復機制	15 保育及永續利用陸域生態系，以確保生物多樣性，並防止土地劣化	15.3 恢復退化的土地與土壤	15.3.1 退化土地面積

	2.2 強化生態系氣候風險管理	2.2.1 強化氣候變遷下森林火災監測管理機制	15 保育及永續利用陸域生態系，以確保生物多樣性，並防止土地劣化	15.1 保護、維護及促進陸域及內陸水域生態系統的永續利用	15.1.1 森林覆蓋率
		2.2.2 強化氣候變遷下外來入侵種監測與防治	15 保育及永續利用陸域生態系，以確保生物多樣性，並防止土地劣化	15.8 採取措施預防及管理外來入侵種，以降低其影響	15.8.1 通過國家立法，並投入充分資源預防或控制外來物種入侵
3. 充實生物多樣性調適研究量能	3.1 完備生物多樣性監測、風險評估與調適決策基礎	3.1.1 建置生物多樣性時空變遷與氣候風險基盤	13 完備減緩調適行動以因應氣候變遷及其影響 15 保育及永續利用陸域生態系，以確保生物多樣性，並防止土地劣化	13.1 增進氣候變遷調適能力、強化韌性並降低脆弱度 15.1 保護、維護及促進陸域及內陸水域生態系統的永續利用	13.1.1 盤點氣候風險，訂定調適行動計畫據以施行 15.1.1 森林覆蓋率 15.1.3 進行生物多樣性維護管理及流域監測的比率
		3.1.2 強化種原保存調適潛能	13 完備減緩調適行動以因應氣候變遷及其影響	13.1 增進氣候變遷調適能力、強化韌性並降低脆弱度	13.1.1 盤點氣候風險，訂定調適行動計畫據以施行

				13.3 提升 氣候變遷 永續教育 與民眾素 養	13.3.3 因 應氣候變 遷之調適 科學能力 建構與服 務
--	--	--	--	--------------------------------------	---

第七章 推動期程及經費編列

本期方案係延續前期（112-115 年）階段成果據以滾動修正，參酌其推動期程，將國際發展趨勢納入考量，以 4 年（116-119 年）為一期推動本期方案，依氣候變遷因應法規定，每年定期追蹤執行成果函報行政院。

本期方案各項延續型行動計畫經費，皆由各中央目的事業主管機關編列預算支應，或透過前瞻基礎建設計畫等整合推動，新興計畫則依據「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」及預算籌編相關規定辦理。各項計畫循程序報奉核定後據以推動。

生態系統領域各計畫內容說明如下，摘要表列於附件一。

一、計畫名稱：串聯陸域生態保育軸帶與關鍵棲地（計畫編號:1.1.1）

- （一）推動期程：116-118 年
- （二）經費編列：140,000 千元
- （三）調適工作項目：

本計畫因應氣候變遷對陸域生態系與關鍵棲地之影響，整合國土生態綠網 44 處關注區及 45 條保育軸帶，評估生態受脅情形，並辦理生態瓶頸與棲地斷裂區修復。另強化保護（留）區因應氣候變遷之措施研析，持續更新生態圖資及保育空間藍圖，作為推動自然解方與區域治理之依據。後續將依生態調查、長期監測及氣候風險評估結果，滾動檢討保育軸帶布局，作為推動自然解方及區域治理之依據。

二、計畫名稱：統合海域生態保育軸帶與空間網絡（計畫編號:1.1.2）

- （一）推動期程：116-119 年
- （二）經費編列：324,400 千元
- （三）調適工作項目：

本計畫因應氣候變遷對海洋生態系、關鍵棲地及海洋野生動物之影響，盤整關鍵棲地及海洋野生動物分布資料，推動棲地調查、復育潛力評估及成效監測。另建立海洋保護區管理

政策方針，完善海域保護區之評估、輔導與管理機制，作為強化海洋生態系韌性及海域保育治理之依據。後續將依調查監測資料、復育成效及氣候風險評估結果，持續檢討海域保育布局與管理作法，提升海洋生態系韌性及保護區治理效能。

三、計畫名稱：建置保育共生地體系（計畫編號:1.1.3）

- （一）推動期程：116-119 年**
- （二）經費編列：依年度經費核定**
- （三）調適工作項目：**

本計畫因應氣候變遷對保護區外重要棲地及生態系連結之影響，建置保育共生地（OECM）體系，推動保育共生地認證及多元治理，強化保護區外重要棲地串聯，完善陸域及海域保育網絡。後續將依認證推動情形、棲地保育成效及氣候風險評估結果，持續檢討保育共生地布局與治理作法，提升生態系因應氣候變遷之韌性。

四、計畫名稱：建立受氣候衝擊棲地之生態韌性修復機制（計畫編號:2.1.1）

- （一）推動期程：116-119 年**
- （二）經費編列：590,000 千元**
- （三）調適工作項目：**

本計畫因應溫度變化、極端降雨及颱風等氣候事件對坡地環境、森林棲地及下游地區之衝擊，辦理國有林治山防災及崩塌地復育工作，推動崩塌地處理、防砂工程與裸露崩塌地改善，穩定坡地環境、降低沖刷及二次災害風險，維護下游公共設施與民眾生命財產安全；並於國土綠網關注區域保育軸帶內之棲地斷裂點與生態劣化處，依自然地景特性及關注物種需求，推動原生植群復育與棲地改善，強化國土綠網保育軸帶生態連結，促進生態系復育與韌性。後續將依環境監測、生態調查及執行成效，持續檢討治山防災與生態修復作法，並滾動調整優先推動區位，以強化整體環境因應氣候變遷之能力。

五、計畫名稱：強化氣候變遷下森林火災監測管理機制（計畫編號:2.2.1）

- (一) 推動期程：116-117 年
- (二) 經費編列：約 63,000 千元/年
- (三) 調適工作項目：

本計畫因應高溫、乾旱及降雨型態改變等氣候因素可能提高森林火災發生風險，透過林地燃料管理、林火風險評估及精準式防火宣導，強化整體防災策略，降低森林火災發生機會。另持續更新防救災裝備，導入科技與人工智慧技術，提升災時應變指揮能力與救災量能，確保救災人員安全並減少森林資源損失。後續將依林火監測資料、風險評估結果及災害應變經驗，持續檢討預防管理與救災作法，精進森林火災風險治理能力。

六、計畫名稱：強化氣候變遷下外來入侵種監測與防治 (計畫編號:2.2.2)

- (一) 推動期程：116-117 年
- (二) 經費編列：150,000 千元/年
- (三) 調適工作項目：

本計畫因應氣候變遷帶來的溫度變化、極端降雨及颱風等氣候事件可能加劇外來入侵植物擴散及生態棲地劣化之風險，辦理重要生態熱區銀合歡及刺軸含羞木移除作業，持續推動恆春半島銀合歡移除後造林後撫育工作，並辦理全國外來植物中長期變化趨勢與因應策略評估，強化外來入侵植物管理與棲地復育成效。後續將依分佈監測、棲地變化及風險評估結果，持續精進防治措施，並依物種特性及入侵風險，滾動調整優先防治對象、重點區域與資源配置。

七、計畫名稱：建置生物多樣性時空變遷與氣候風險資料基盤 (計畫編號:3.1.1)

- (一) 推動期程：116-119 年
- (二) 經費編列：依年度經費核定
- (三) 調適工作項目：

本計畫因應溫度變化、降雨型態改變及極端氣候事件對生物多樣性分布與生態系變遷之影響，建置生物多樣性時空變遷與氣候風險資料基盤，持續辦理生物多樣性監測調查、林型

及土地覆蓋圖資更新，整合跨機關生物多樣性資訊，強化空間資訊分析與共享應用，支援保育決策及氣候變遷調適。後續將依長期監測及氣候風險分析結果，持續完善物種分布、棲地敏感度及氣候暴露資訊，辨識高風險物種與生態熱區，並強化跨機關資料整合及空間資訊應用，支援保育規劃與調適決策。

八、計畫名稱：強化種原保存調適潛能（計畫編號:3.1.2）

- （一）推動期程：116 年**
- （二）經費編列：20,640 千元**
- （三）調適工作項目：**

本計畫因應溫度變化、極端降雨等氣候變遷可能加劇受威脅植物族群衰退與滅絕風險，辦理受威脅植物種原採集、保存及繁殖工作，並推動環境教育與保種場域維護，提升種原保存與繁殖量能，增進民眾對植物多樣性保育及氣候變遷風險之認識。後續將視物種受脅情形、保種成果及氣候風險變化，滾動調整種原保存與繁殖工作重點，持續健全保種資源基礎，並支援物種保育策略研擬及棲地復育工作。

第八章 預期效益及管考機制

一、生態領域預期效益

(一) 強化氣候風險導向之生態空間治理：

整合陸域與海域保育網絡、關鍵棲地及保護區外保育地區，強化跨域協調與空間布局，提升生態空間連結性、跨域協調能力及整體治理效能。

(二) 增強氣候變遷下生態系衝擊因應能力：

透過棲地修復、外來入侵種防治、森林火災風險管理及受威脅物種保育，降低氣候衝擊與生態劣化風險，提升生態系韌性及服務功能之穩定性。

(三) 充實生物多樣性調適研究量能：

整合生物多樣性監測、空間圖資及氣候風險資訊，強化高風險物種與生態熱區之辨識，提升保育資源配置、調適策略研擬及前瞻政策布局之科學依據。

二、生態領域管考機制

據氣候變遷法第 19 條第四項，易受氣候變遷衝擊權責領域之中央目的事業主管機關應每年編寫調適行動方案成果報告，送中央主管機關報請行政院核定後對外公開。

農業部為易受氣候變遷衝擊之農業生產領域及生態系統領域中央目的事業主管機關。在生態系統領域，調適行動方案之各協辦機關每年將提交行動計畫執行成果及進度說明予以主責單位統一彙整為領域成果報告，於法定期限前函送主管機關環境部，環境部進一步綜整領域成果，撰擬國家調適計畫年度成果報告，循程序審核後公布並提報至永續會進行管考。

生態系統領域行動方案各協辦機關皆需持續追蹤各別調適行動計畫執行情形，執行完成計畫辦理退場，並通盤檢視機關調適策略推動重點與方向，增減或修正提列之優先行動計畫，併同上述領域成果報告定期提交，並由環境部每半年召開跨部會協商，針對關鍵議題進行討論凝聚共識，研提有效作法，據以落實調適策略監測與評估機制，以符滾動修正原則。本領域為加快生態系統調適行動，

定期於各執行機關交流調適策略執行成果，並分享最新進展資訊，以確保資訊間沒有落差。

附件一 生態領域氣候變遷調適行動計畫列表

調適目標	調適策略	調適措施	行動計畫名稱	對應作業準則之步驟	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄 (年)	計畫 類型
1.強化氣候風險導向之生態空間治理	1.1 推動陸域及海域調適網絡整合	1.1.1 串聯陸域生態保育軸帶與關鍵棲地	串聯陸域生態保育軸帶與關鍵棲地	■辦理氣候變遷風險評估(可複選) ■界定範疇 ■檢視資源及氣候衝擊現況 ■評估未來氣候變遷風險 □研擬、推動調適方案及策略(可複選) □調適選項及綜整決策 □推動或執行 □檢討或修正	本計畫因應氣候變遷對陸域生態系與關鍵棲地之影響，整合國土生態綠網 44 處關注區及 45 條保育軸帶，評估生態受脅情形，並辦理生態瓶頸與棲地斷裂區修復。另強化保護（留）區因應氣候變遷之措施研析，持續更新生態圖資及保育空間藍圖，作為推動自然解方與區域治理之依據。後續將依生態調查、長期監測及氣候風險評估結果，滾動檢討保育軸帶布局，作為推動自然解方及區域治理之依據。	農業部林業及自然保育署 / 農業部林業及自然保育署各地區分署、生物多樣性研究所、農業試驗所	140,000 千元	116-118	新興

調適目標	調適策略	調適措施	行動計畫名稱	對應作業準則之步驟	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄 (年)	計畫 類型
1.強化氣候風險導向之生態空間治理	1.1 推動陸域及海域調適網絡整合	1.1.2 統合海域生態保育軸帶與空間網絡	統合海域生態保育軸帶與空間網絡	■辦理氣候變遷風評估(可複選) ■界定範疇 ■檢視資源及氣候衝擊現況 ■評估未來氣候變遷風險 ■研擬、推動調適方案及策略(可複選) □調適選項及綜整決策 ■推動或執行 ■檢討或修正	本計畫因應氣候變遷對海洋生態系、關鍵棲地及海洋野生動物之影響，盤整關鍵棲地及海洋野生動物分布資料，推動棲地調查、復育潛力評估及成效監測。另建立海洋保護區管理政策方針，完善海域保護區之評估、輔導與管理機制，作為強化海洋生態系韌性及海域保育治理之依據。後續將依調查監測資料、復育成效及氣候風險評估結果，持續檢討海域保育布局與管理作法，提升海洋生態系韌性及保護區治理效能。	海洋委員會海洋保育署	324,400 千元	116-119	新興

調適目標	調適策略	調適措施	行動計畫名稱	對應作業準則之步驟	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄 (年)	計畫 類型
1.強化氣候風險導向之生態空間治理	1.1 推動陸域及海域調適網絡整合	1.1.3 建置保育共生地體系	建置保育共生地體系	■辦理氣候變遷風評估(可複選) ■界定範疇 ■檢視資源及氣候衝擊現況 ■評估未來氣候變遷風險 ■研擬、推動調適方案及策略(可複選) □調適選項及綜整決策 □推動或執行 ■檢討或修正	本計畫因應氣候變遷對保護區外重要棲地及生態系連結之影響，建置保育共生地（OECM）體系，推動保育共生地認證及多元治理，強化保護區外重要棲地串聯，完善陸域及海域保育網絡。後續將依認證推動情形、棲地保育成效及氣候風險評估結果，持續檢討保育共生地布局與治理作法，提升生態系因應氣候變遷之韌性。	農業部林業及自然保育署、海洋委員會海洋保育署	視年度預算編列情形	116-119	新興

調適目標	調適策略	調適措施	行動計畫名稱	對應作業準則之步驟	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄 (年)	計畫 類型
2. 增強氣候變遷下生態系衝擊因應能力	2.1 推動棲地韌性復育	2.1.1 建立受氣候衝擊棲地之生態韌性修復機制	建立受氣候衝擊棲地之生態韌性修復機制	■辦理氣候變遷風評估(可複選) ■界定範疇 ■檢視資源及氣候衝擊現況 ■評估未來氣候變遷風險 ■研擬、推動調適方案及策略(可複選) □調適選項及綜整決策 ■推動或執行 ■檢討或修正	本計畫因應溫度變化、極端降雨及颱風等氣候事件對坡地環境、森林棲地及下游地區之衝擊，辦理國有林治山防災及崩塌地復育工作，推動崩塌地處理、防砂工程與裸露崩塌地改善，穩定坡地環境、降低沖刷及二次災害風險，維護下游公共設施與民眾生命財產安全；並於國土綠網關注區域保育軸帶內之棲地斷裂點與生態劣化處，依自然地景特性及關注物種需求，推動原生植群復育與棲地改善，強化國土綠網保育軸帶生態連結，促進生態系復育與韌性。後續將依環境監測、生態調查及執行成	農業部林業及自然保育署、農業部農村發展及水土保持署	590,000 千元	116-119	新興

調適目標	調適策略	調適措施	行動計畫 名稱	對應作業準則之 步驟	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄 (年)	計畫 類型
					效，持續檢討治山防災 與生態修復作法，並滾 動調整優先推動區位， 以強化整體環境因應氣 候變遷之能力。				

調適目標	調適策略	調適措施	行動計畫名稱	對應作業準則之步驟	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄 (年)	計畫 類型
2. 增強氣候變遷下生態系衝擊因應能力	2.2 強化生態系氣候風險管理	2.2.1 強化氣候變遷下森林火災監測管理機制	強化氣候變遷下森林火災監測管理機制	■辦理氣候變遷風評估(可複選) ■界定範疇 ■檢視資源及氣候衝擊現況 ■評估未來氣候變遷風險 ■研擬、推動調適方案及策略(可複選) □調適選項及綜整決策 □推動或執行 ■檢討或修正	本計畫因應高溫、乾旱及降雨型態改變等氣候因素可能提高森林火災發生風險，透過林地燃料管理、林火風險評估及精準式防火宣導，強化整體防災策略，降低森林火災發生機會。另持續更新防救災裝備，導入科技與人工智慧技術，提升災時應變指揮能力與救災量能，確保救災人員安全並減少森林資源損失。後續將依林火監測資料、風險評估結果及災害應變經驗，持續檢討預防管理與救災作法，精進森林火災風險治理能力。	農業部林業及自然保育署	約 63,000 千元/年	116-117	新興

調適目標	調適策略	調適措施	行動計畫名稱	對應作業準則之步驟	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄 (年)	計畫 類型
2. 增強氣候變遷下生態系衝擊因應能力	2.2 強化生態系氣候風險管理	2.2.2 強化氣候變遷下外來入侵種監測與防治	強化氣候變遷下外來入侵種監測與防治	■辦理氣候變遷風評估(可複選) ■界定範疇 ■檢視資源及氣候衝擊現況 ■評估未來氣候變遷風險 ■研擬、推動調適方案及策略(可複選) □調適選項及綜整決策 ■推動或執行 ■檢討或修正	本計畫因應氣候變遷帶來的溫度變化、極端降雨及颱風等氣候事件可能加劇外來入侵植物擴散及生態棲地劣化之風險，辦理重要生態熱區銀合歡及刺軸含羞木移除作業，持續推動恆春半島銀合歡移除後造林後撫育工作，並辦理全國外來植物中長期變化趨勢與因應策略評估，強化外來入侵植物管理與棲地復育成效。後續將依分佈監測、棲地變化及風險評估結果，持續精進防治措施，並依物種特性及入侵風險，滾動調整優先防治對象、重點區域與資源配置。	農業部林業及自然保育署/農業部林業試驗所、畜產試驗所、墾丁國家公園管理處、各縣市政府	150,000 千元/年	116-117	新興

調適目標	調適策略	調適措施	行動計畫名稱	對應作業準則之步驟	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄 (年)	計畫 類型
3.充實生物多樣性調適研究量能	3.1 完備生物多樣性監測、風險評估與調適決策基礎	3.1.1 建置生物多樣性時空變遷與氣候風險資料基盤	建置生物多樣性時空變遷與氣候風險資料基盤	■辦理氣候變遷風評估(可複選) ■界定範疇 ■檢視資源及氣候衝擊現況 ■評估未來氣候變遷風險 ■研擬、推動調適方案及策略(可複選) ■調適選項及綜整決策 ☐ 推動或執行 ☐ 檢討或修正	本計畫因應溫度變化、降雨型態改變及極端氣候事件對生物多樣性分布與生態系變遷之影響，建置生物多樣性時空變遷與氣候風險資料基盤，持續辦理生物多樣性監測調查、林型及土地覆蓋圖資更新，整合跨機關生物多樣性資訊，強化空間資訊分析與共享應用，支援保育決策及氣候變遷調適。後續將依長期監測及氣候風險分析結果，持續完善物種分布、棲地敏感度及氣候暴露資訊，辨識高風險物種與生態熱區，並強化跨機關資料整合及空間資訊應用，支援保育規劃與調適決策。	農業部林業及自然保育署、農業部生物多樣性研究所、農業部資源永續利用司、海洋委員會海洋保育署	視年度預算編列情形	116-119	新興

調適目標	調適策略	調適措施	行動計畫名稱	對應作業準則之步驟	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄 (年)	計畫 類型
3.充實生物多樣性調適研究量能	3.1 完備生物多樣性監測、風險評估與調適決策基礎	3.1.2 強化種原保存調適潛能	強化種原保存調適潛能	■辦理氣候變遷風評估(可複選) ■界定範疇 □檢視資源及氣候衝擊現況 □評估未來氣候變遷風險 ■研擬、推動調適方案及策略(可複選) □調適選項及綜整決策 ■推動或執行 ■檢討或修正	本計畫因應溫度變化、極端降雨等氣候變遷可能加劇受威脅植物族群衰退與滅絕風險，辦理受威脅植物種原採集、保存及繁殖工作，並推動環境教育與保種場域維護，提升種原保存與繁殖量能，增進民眾對植物多樣性保育及氣候變遷風險之認識。後續將視物種受脅情形、保種成果及氣候風險變化，滾動調整種原保存與繁殖工作重點，持續健全保種資源基礎，並支援物種保育策略研擬及棲地復育工作。	農業部林業試驗所	20,640千元	116 年	延續

註：本表各調適行動計畫對應之作業準則「評估未來氣候變遷風險」及「檢討或修正」步驟，將依據「建置生物多樣性時空變遷與氣候風險資料基盤」行動計畫之最新科研評估成果，適時滾動精進。

附件二 生態領域氣候變遷調適行動計畫參考文獻

一、官方報告、國際評估與政策依據

- Convention on Biological Diversity. (2022). Kunming-Montreal global biodiversity framework. Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K. A., Butchart, S. H. M., Chan, K. M. A., Garibaldi, L. A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S. M., Midgley, G. F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., ... Zayas, C. N. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366(6471), eaax3100.
<https://doi.org/10.1126/science.aax3100>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, & H. T. Ngo, Eds.). IPBES secretariat.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- Pörtner, H.-O., Scholes, R. J., Agard, J., Archer, E., Arneth, A., Bai, X., Barnes, D., Burrows, M., Chan, L., Cheung, W. L., Diamond, S., Donatti, C., Duarte, C., Eisenhauer, N., Foden, W., Gasalla, M. A., Handa, C., Hickler, T., Hoegh-Guldberg, O., ... Ngo, H. T. (2021). Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change. IPBES and IPCC. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4782538>
- 行政院災害防救辦公室. (2024). 災防週報. 行政院全球資訊網。
<https://cdprc.ey.gov.tw/File/C99BD3038D17A0E3>
- 海洋委員會海洋保育署. (2026). 臺灣海洋保護區. 海洋委員會海洋保育署全球資訊網。
<https://mpa.oca.gov.tw/>
- 國家科學及技術委員會、環境部. (2024). 《國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適》。
- 國家科學及技術委員會、環境部. 國家災害防救科技中心. 臺灣氣候變遷推估資訊與調

適知識平台：統計降尺度資料。

https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/tr_02.aspx?category_id=C6&faq_id=18

國家災害防救科技中心。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台：動力降尺度資料。

https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/tr_02.aspx?category_id=C7&faq_id=20230601091734

農業部生物多樣性研究所、林業及自然保育署。(2024)《紅皮書名錄》生物多樣性研究所網站。https://www.tbri.gov.tw/list.php?theme=web_structure&subtheme=94

農業部林業及自然保育署。(2024) 近五年臺灣國有林森林火災件數及被害面面積統計。

林業及自然保育署全球資訊網。<https://share.google/VEvErTu2hCr5iKDIH>

農業部林業及自然保育署。(2026) 自然保護區域總表。林業及自然保育署全球資訊網
<https://www.forest.gov.tw/total>

農業部林業及自然保育署。(2026)《國土生態保育綠色網絡建置計畫》林業及自然保育署全球資訊網。<https://www.forest.gov.tw/0002812>

林大利、呂翊維、潘森識(編)。(2020)《臺灣國家鳥類報告》行政院農業委員會特有生物研究保育中心、社團法人中華民國野鳥學會。

二、期刊論文、研究報告與本土案例文獻

Battle, L., Chang, H.-Y., Tzeng, C.-S., & Lin, H.-J. (2016). The impact of dam removal and climate change on the abundance of the Formosan landlocked salmon. *Ecological Modelling*, 339, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.08.005>

Battle, L., Chang, H.-Y., Tzeng, C.-S., & Lin, H.-J. (2020). Modeling the impact of dam removal on the Formosan landlocked salmon in the context of climate change. *Aquatic Sciences*, 82, Article 3. <https://doi.org/10.1007/s00027-019-0674-8>

Bellard, C., Jeschke, J. M., Leroy, B., & Mace, G. M. (2018). Insights from modeling studies on how climate change affects invasive alien species geography. *Ecology and Evolution*, 8(11), 5688–5700. <https://doi.org/10.1002/ece3.4098>

Buenafe, K. C. V., Dunn, D. C., Everett, J. D., Brito-Morales, I., Schoeman, D. S., Hanson, J. O., Dabalà, A., Neubert, S., Cannicci, S., Kaschner, K., & Richardson, A. J. (2023). A metric-based framework for climate-smart conservation planning. *Ecological Applications*, 33, e2852. <https://doi.org/10.1002/eap.2852>

Buenafe, K. C. V., Dunn, D. C., Metaxas, A., Schoeman, D. S., Everett, J. D., Pidd, A., Hanson, J. O., Bentley, L. K., Kim, S. W., Neubert, S., Scales, K. L., Dabalà, A., Brito-Morales, I., & Richardson, A. J. (2025). Current approaches and future opportunities for climate-smart protected areas. *Nature Reviews Biodiversity*.
<https://doi.org/10.1038/s44358-025-00041-0>

Chan, S.-F., Rubenstein, D. R., Chen, I.-C., Fan, Y.-M., Tsai, H.-Y., Zheng, Y.-W., & Shen, S.-F. (2023). Higher temperature variability in deforested mountain regions impacts the

- competitive advantage of nocturnal species. *Proceedings of the Royal Society B*, 290, Article 20230529. <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.0529>
- Chen, C.-T., Tung, Y.-S., Wang, C.-Y., & Lin, S.-L. (2026). Assessing Taiwan's future climate: High resolution projections and regional impacts from statistical downscaling of CMIP6 data. *International Journal of Climatology*, e70431. <https://doi.org/10.1002/joc.70431>
- Chen, K.-Y., & Lin, H.-J. (2022). High-resolution mapping of seagrass biomass dynamics suggests differential response of seagrasses to fluctuating environments. *Diversity*, 14(11), Article 999. <https://doi.org/10.3390/d14110999>
- Chen, W.-J., Chang, A.-Y., Lin, C.-C., Lin, R.-S., Lin, D.-L., & Lee, P.-F. (2024b). Losing tidal flats at the midpoint of the East Asian-Australasian Flyway over the past 100 years. *Wetlands*, 44, Article 59. <https://doi.org/10.1007/s13157-024-01814-7>
- Chen, W.-J., Chang, A.-Y., Lin, R.-S., & Lee, P.-F. (2024a). Mapping winter waterbird biodiversity hotspots for conservation prioritization: Bridging gaps using citizen science data. *Taiwania*, 69(2), 266–274. <https://doi.org/10.6165/tai.2024.69.266>
- Chen, Y.-Y., et al. (2024). When forests hold their breath: will increasing drought further disrupt carbon sequestration?. *Environmental Research Letters*. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad27ba>
- Chiu, C.-A., Matsui, T., Tanaka, N., & Lin, C.-T. (2021). Exploring the potential distribution of relic *Trochodendron aralioides*: An approach using open-access resources and free software. *Forests*, 12(12), Article 1749. <https://doi.org/10.3390/f12121749>
- Chiu, C.-A., Tzeng, H.-Y., Lin, C.-T., Chang, K.-C., & Liao, M.-C. (2022). Spatial distribution and climate warming impact on *Abies kawakamii* forest on a subtropical island. *Plants*, 11(10), Article 1346. <https://doi.org/10.3390/plants11101346>
- Chiu, M.-C., Pan, C.-W., & Lin, H.-J. (2017). A framework for assessing risk to coastal ecosystems in Taiwan due to climate change. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 28(1), 57–66. [https://doi.org/10.3319/TAO.2016.06.30.01\(CCA\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2016.06.30.01(CCA))
- Chiu, S.-H., Huang, Y.-H., & Lin, H.-J. (2013). Carbon budget of leaves of the tropical intertidal seagrass *Thalassia hemprichii*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 125, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.03.026>
- Comte, L., Bertrand, R., Diamond, S., Lancaster, L. T., Pinsky, M. L., Scheffers, B. R., Baecher, J. A., Bandara, R. M. W. J., Chen, I.-C., Lawlor, J. A., Moore, N. A., Oliveira, B. F., Muriene, J., Rolland, J., Rubenstein, M. A., Sunday, J., Thompson, L. M., Villalobos, F., Weiskopf, S. R., & Lenoir, J. (2024). Bringing traits back into the equation: A roadmap to understand species redistribution. *Global Change Biology*, 30, e17271. <https://doi.org/10.1111/gcb.17271>

- Flint, I., Wu, C.-H., Valavi, R., Chen, W.-J., & Lin, T.-E. (2024). Maximising the informativeness of new records in spatial sampling design. *Methods in Ecology and Evolution*, 15(1), 178–190. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14260>
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C. D., Sale, P. F., Edwards, A. J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R. H., Dubi, A., & Hatziolos, M. E. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), 1737–1742. <https://doi.org/10.1126/science.1152509>
- Huang, Y.-H., Lee, C.-L., Chung, C.-Y., Hsiao, S.-C., & Lin, H.-J. (2015). Carbon budgets of multispecies seagrass beds at Dongsha Island in the South China Sea. *Marine Environmental Research*, 106, 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.03.004>
- Kuo, C.-C., Liu, Y.-C., Su, Y., Liu, H.-Y., & Lin, C.-T. (2022). Responses of alpine summit vegetation under climate change in the transition zone between subtropical and tropical humid environment. *Scientific Reports*, 12, Article 13352. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17682-2>
- Kuo, C.-C., Liu, Y.-L., & Lin, C.-T. (2026b). Fine-scale post-fire forest recovery patterns and compound drivers in Taiwan's high-mountain national parks. *Forest Ecology and Management*, 609, Article 123618. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2026.123618>
- Kuo, C.-C., Su, Y., Liu, H.-Y., & Lin, C.-T. (2026a). Alpine vegetation under stress: Drought impacts on subtropical humid high-mountain plant communities in East Asia. *Journal of Vegetation Science*, 37, e70097. <https://doi.org/10.1111/jvs.70097>
- Lee, C.-L., Lin, W.-J., Liu, P.-J., Shao, K.-T., & Lin, H.-J. (2021). Highly productive tropical seagrass beds support diverse consumers and a large organic carbon pool in the sediments. *Diversity*, 13(11), Article 544. <https://doi.org/10.3390/d13110544>
- Lee, C.-L., Liu, P.-J., Liu, S.-L., & Lin, H.-J. (2026). Effects of the allelopathic macroalga *Galaxaura divaricata* on the foraging behaviors of reef fishes across herbivorous and nonherbivorous feeding guilds. *Ecology and Evolution*, 16, e73106. <https://doi.org/10.1002/ece3.73106>
- Li, S.-B., Chen, P.-H., Huang, J.-S., Hsueh, M.-L., Hsieh, L.-Y., Lee, C.-L., & Lin, H.-J. (2018). Factors regulating carbon sinks in mangrove ecosystems. *Global Change Biology*, 24(9), 4195–4210. <https://doi.org/10.1111/gcb.14322>
- Liao, C.-C., Lin, H.-Y., & Fan, S.-W. (2023). A statistical method to generate high-resolution climate datasets for modeling plant distribution range and range shifts under climate change in mountainous areas. *Taiwania*, 68(1), 8–22. <https://doi.org/10.6165/tai.2023.68.8>
- Liao, C.-C., Lin, H.-Y., Fan, S.-W., & Chen, Y.-H. (2025). Virtual species as baseline for

- predicting trends of real species distributions in mountainous regions. *Taiwania*, 70(4), 658–676. <https://doi.org/10.6165/tai.2025.70.658>
- Lin, C.-T., & Chiu, C.-A. (2019). The relic *Trochodendron aralioides* Siebold & Zucc. (Trochodendraceae) in Taiwan: Ensemble distribution modeling and climate change impacts. *Forests*, 10(1), Article 7. <https://doi.org/10.3390/f10010007>
- Lin, C.-T., & Chiu, C.-A. (2020). Comparison of predictor selection procedures in species distribution modeling: A case study of *Fagus hayatae*. *CERNE*, 26(2), 172–182. <https://doi.org/10.1590/01047760202026022657>
- Lin, C.-W., Kao, Y.-C., Lin, W.-J., Ho, C.-W., & Lin, H.-J. (2021). Effects of pneumatophore density on methane emissions in mangroves. *Forests*, 12(3), Article 314. <https://doi.org/10.3390/f12030314>
- Lin, D.-L., Ko, J. C.-J., Amano, T., Hsu, C.-T., Fuller, R. A., Maron, M., Fan, M.-W., Pursner, S., Wu, T.-Y., Wu, S.-H., Chen, W.-J., Bayraktarov, E., Mundkur, T., Lin, R.-S., Ding, T.-S., Lee, Y.-J., & Lee, P.-F. (2023b). Taiwan's Breeding Bird Survey reveals very few declining species. *Ecological Indicators*, 146, Article 109839. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109839>
- Lin, D.-L., Tsai, C.-Y., Pursner, S., Chao, J., Lyu, A., Amano, T., Maron, M., Lin, R.-S., Lin, K.-H., Chiang, K.-K., Lin, Y.-L., Lu, L.-C., Chang, A.-Y., Chen, W.-J., & Fuller, R. A. (2023a). Remote and local threats are associated with population change in Taiwanese migratory waterbirds. *Global Ecology and Conservation*, 42, e02402. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02402>
- Lin, H.-J., Lee, C.-L., Peng, S.-E., Hung, M.-C., Liu, P.-J., & Mayfield, A. B. (2018). The effects of El Niño-Southern Oscillation events on intertidal seagrass beds over a long-term timescale. *Global Change Biology*, 24(10), 4566–4580. <https://doi.org/10.1111/gcb.14404>
- Lin, H.-Y., Hu, J.-M., Chen, T.-Y., Hsieh, C.-F., Wang, G., & Wang, T. (2018). A dynamic downscaling approach to generate scale-free regional climate data in Taiwan. *Taiwania*, 63(3), 251–266. <https://doi.org/10.6165/tai.2018.63.251>
- Lin, W.-C., Lin, Y.-P., Lien, W.-Y., Wang, Y.-C., Lin, C.-T., Chiou, C.-R., Anthony, J., & Crossman, N. D. (2014). Expansion of protected areas under climate change: An example of mountainous tree species in Taiwan. *Forests*, 5(11), 2882–2904. <https://doi.org/10.3390/f5112882>
- Lin, W.-J., Lin, C.-W., Wu, H.-H., Kao, Y.-C., & Lin, H.-J. (2023). Mangrove carbon budgets suggest the estimation of net production and carbon burial by quantifying litterfall. *Catena*, 232, Article 107421. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107421>
- Liu, P.-J., Lin, S.-M., Fan, T.-Y., Meng, P.-J., Shao, K.-T., & Lin, H.-J. (2009). Rates of

- overgrowth by macroalgae and attack by sea anemones are greater for live coral than dead coral under conditions of nutrient enrichment. *Limnology and Oceanography*, 54(4), 1167–1175. <https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.4.1167>
- Saintilan, N., et al. (2020). Thresholds of mangrove survival under rapid sea level rise. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.aba2656>
- Tsai, H.-Y., Rubenstein, D. R., Fan, Y.-M., Yuan, T.-N., Chen, B.-F., Tang, Y., Chen, I.-C., & Shen, S.-F. (2020). Locally-adapted reproductive photoperiodism determines population vulnerability to climate change in burying beetles. *Nature Communications*, 11, Article 1398. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15208-w>
- Yong, Z.-J., Lin, W.-J., Chiu, T.-C., Ko, C.-Y., Lu, P.-L., Jaroensutasinee, K., Jaroensutasinee, M., Lin, C.-W., & Lin, H.-J. (2025). Exploring spatial and temporal variations in stem-mediated greenhouse gas emissions from different species of mangroves. *Environmental Science & Technology*, 59, 26550–26567. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5c11290>
- Yong, Z.-J., Lin, W.-J., Lin, C.-W., & Lin, H.-J. (2024). Tidal influence on carbon dioxide and methane fluxes from tree stems and soils in mangrove forests. *Biogeosciences*, 21, 5247–5260. <https://doi.org/10.5194/bg-21-5247-2024>
- Yuan, J., Guo, J., Zhu, C., Hwang, C., Yu, D., Sun, M., & Mu, D. (2021). High-resolution sea level change around China seas revealed through multi-satellite altimeter data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 102, 102433. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102433>
- 許皓捷、鄒明軒、吳采諭. (2021). 國土生態綠網藍圖規劃——面對平地及淺山自然保育的挑戰. *台灣林業*, 47(2), 9–14.
- 許皓捷、吳采諭. (2017). 以物種分布模型推估多樣性熱點：評「生物多樣性熱點之推估：以台灣特有鳥種為例」. *台灣生物多樣性研究*, 19(4), 255–270.
- 陳宛均、羅佳智、蔡富安、張艾瑜. (2020). 運用開放資料建置臺灣陸域環境因子多時序資料集. *台灣生物多樣性研究*, 22(1), 13–44.
- 鍾智昕、莊智瑋、林奐宇、楊啟見、曾俊偉. (2022). 應用大數據與環境指標探討氣候變遷下臺灣西南部海岸林帶變遷. *農業工程學報*, 68(3), 62–75. [https://doi.org/10.29974/JTAE.202209_68\(3\).0006](https://doi.org/10.29974/JTAE.202209_68(3).0006)