

國家氣候變遷科學報告2024： 現象、衝擊與調適

陸域生態

陳毓昀、林奐宇

計畫辦公室



行政法人國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center
for Disaster Reduction



臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台
Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

指導單位



國家科學及技術委員會
National Science and Technology Council

陸域動植物的多樣性

國家氣候變遷科學報告工作坊4



臺灣維管束植物的多樣性

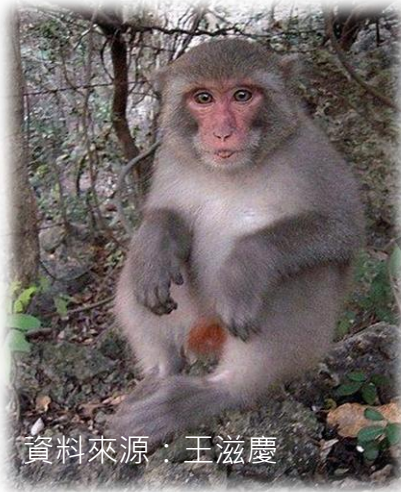
資料來源：
臺灣維管束植物紅皮書名錄
林業試驗所國家植物園方舟計畫



- ▶ 臺灣陸域範圍迄今共調查記錄5,188種野生維管束植物
- ▶ 其中約有22%為特有物種，列屬紅皮書受威脅物種則有989種

臺灣陸域動物的多樣性

- ▶ 陸域脊椎動物1,108種，包括兩棲類40種、陸域爬行類94種、鳥類627種、陸域哺乳類85種、淡水魚類262種。(鄭錫奇等人，2017；陳元龍等人，2017)
- ▶ 陸域無脊椎動物（如蝸牛、蚯蚓、蜘蛛、昆蟲等）多樣性高，然無確切物種數估算。



資料來源：王滋慶



資料來源：Alder Chang



資料來源：陳建宏



資料來源：黃仕傑



資料來源：宋一鑫



資料來源：Colin Wen



資料來源：白欽源



資料來源：白欽源



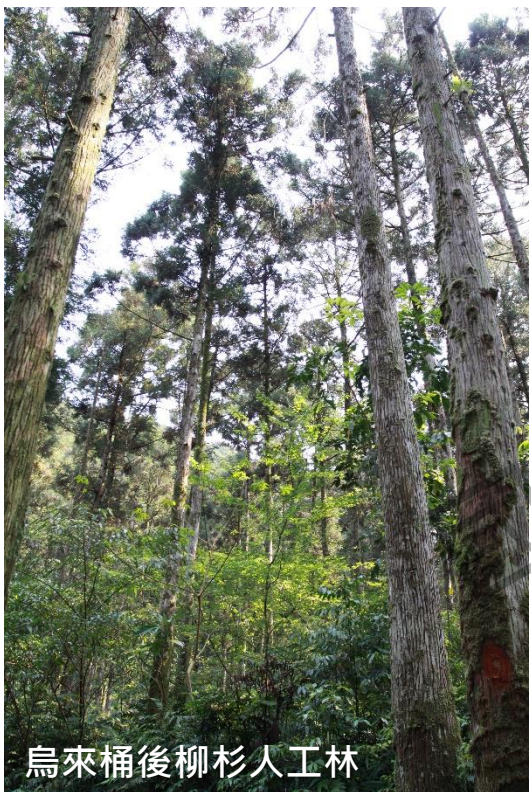
資料來源：方華德



資料來源：賴亦德

臺灣的森林

- ▶ 森林佔據全國60.71%面積，是陸域最主要的生態系，其中約79%為天然林（168.7萬公頃）、21%為人工林（51萬公頃）



烏來桶後柳杉人工林

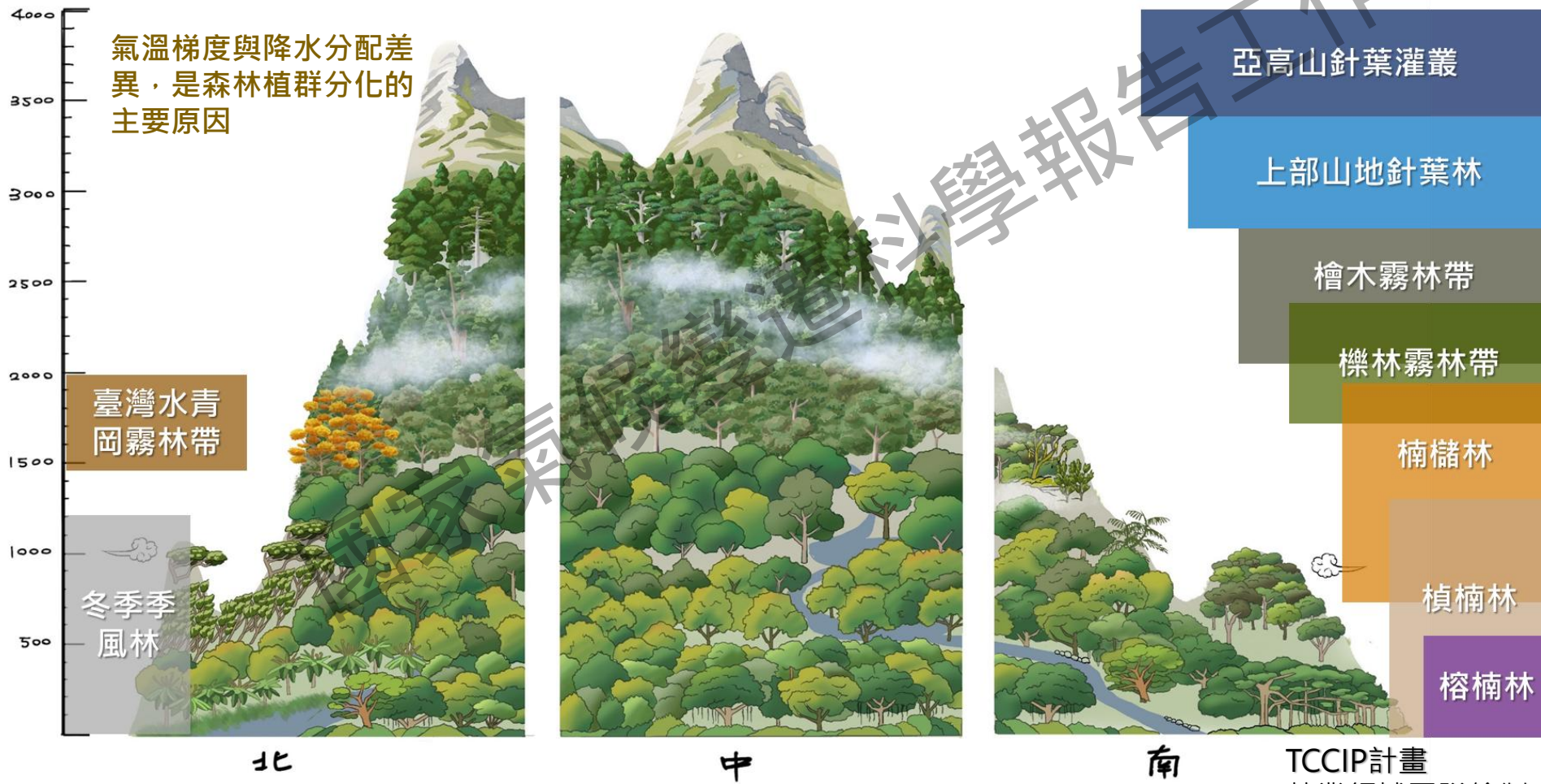


中橫支線鐵杉天然林

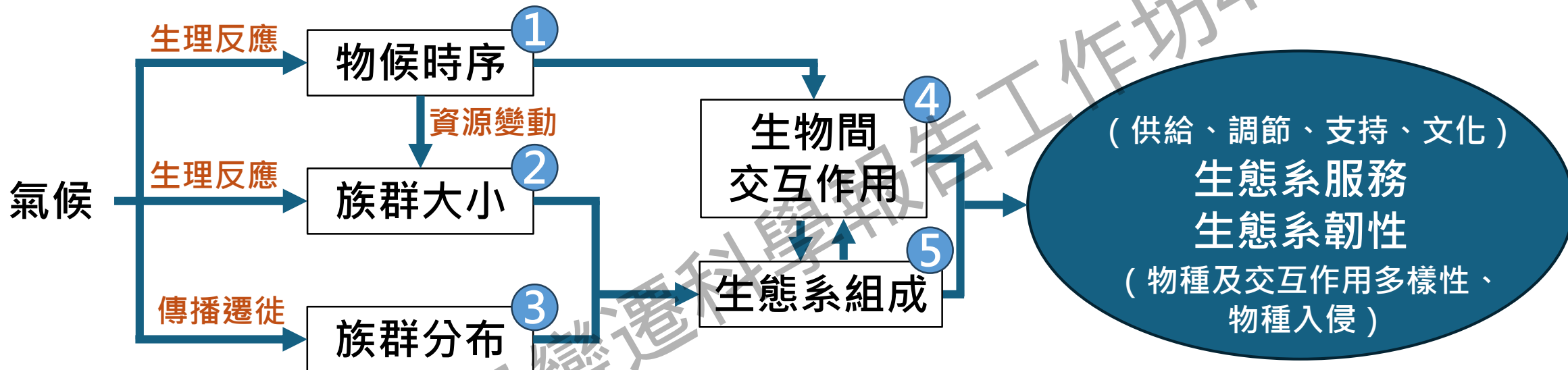


臺灣天然森林的多樣性

▶ 隨海拔梯度，臺灣森林有明顯的垂直分帶現象



氣候對生態系之影響



氣候變遷對陸域生態系的影響

- 動植物分布範圍的改變
- 植物動態與組成的改變
- 植物物候表現的改變



森林分布與氣候

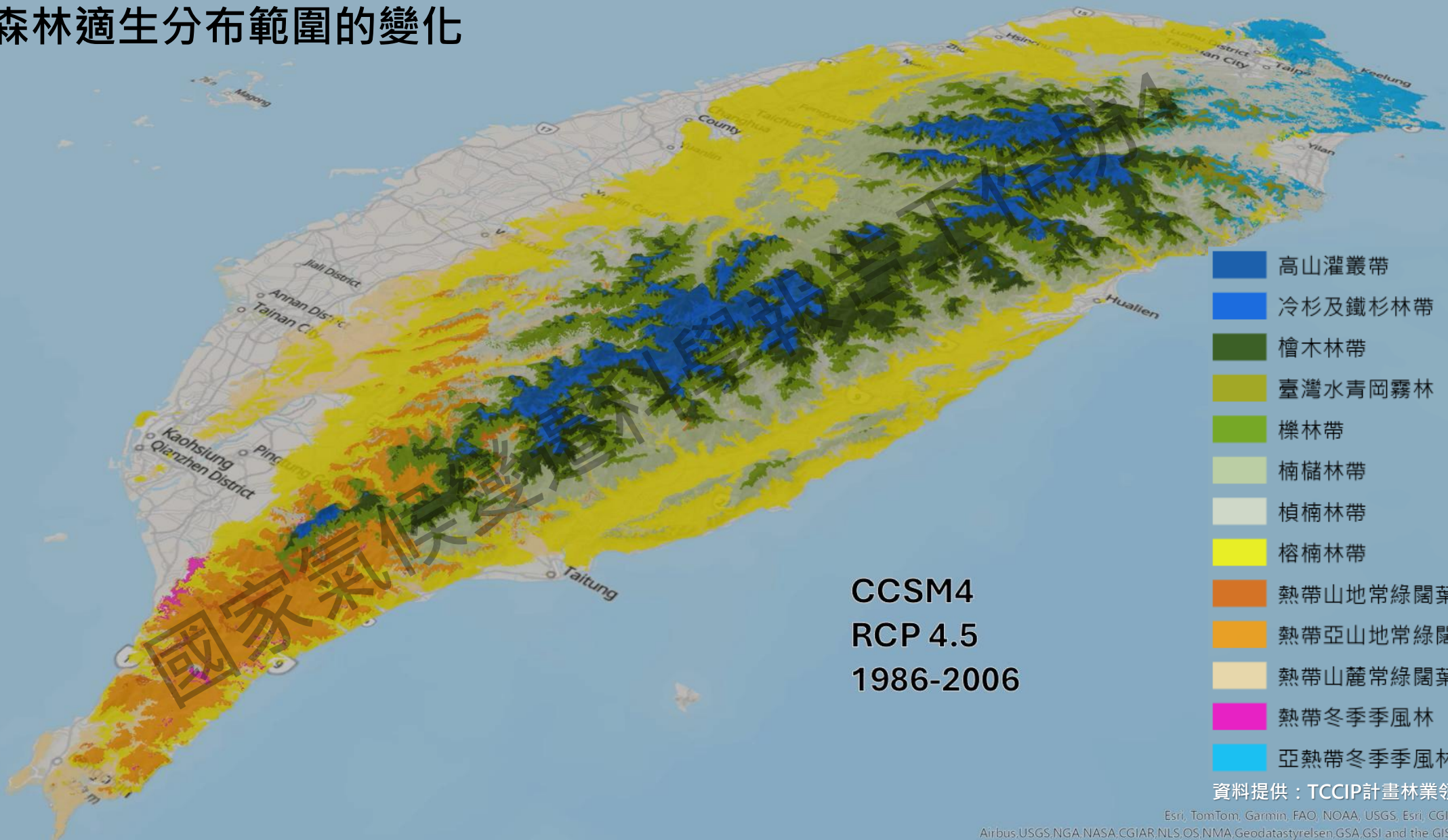
以模型探討現在與未來的變化

- ▶ 利用TCCIP 1986-2005 年平均氣候資料，配合國家植群調查計畫的大量野外資料，建立機器學習模型，預測各類型森林的適生分布 (謝長富等, 2020; TCCIP林業領域團隊)



國家氣候變遷科學報告工作坊4

各類型森林適生分布範圍的變化

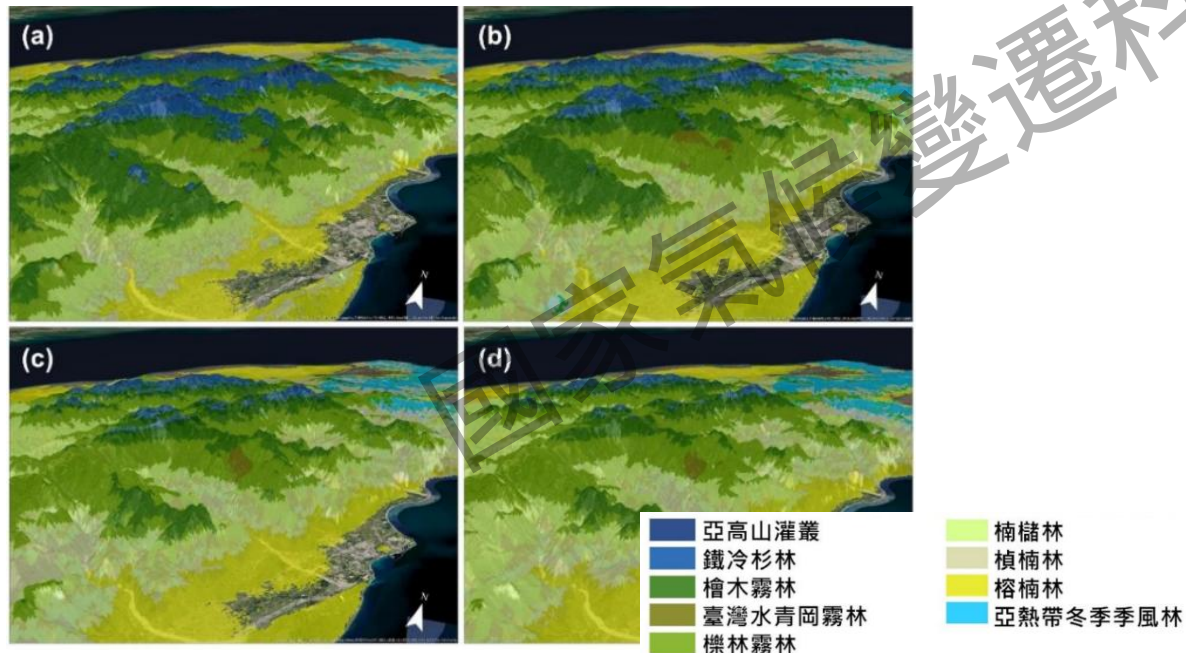


Esri, TomTom, Garmin, FAO, NOAA, USGS, Esri, CGIAR, USGS, Source: Airbus, USGS, NGA, NASA, CGIAR, NLS, OS, NMA, Geodatastyrelsen, GSA, GSI and the GIS User Community

適生分布範圍的改變：森林生態系層級

氣候變遷情境下適生面積分布

- ▶ 以AR5 RCP 4.5 及 RCP 8.5 模擬，臺灣高山植被迄 2100 年適生海拔**可能上升** 173m 及 268m，不同類型森林**適生面積可能發生程度不等的縮減** (謝長富等, 2020; TCCIP林業領域團隊)

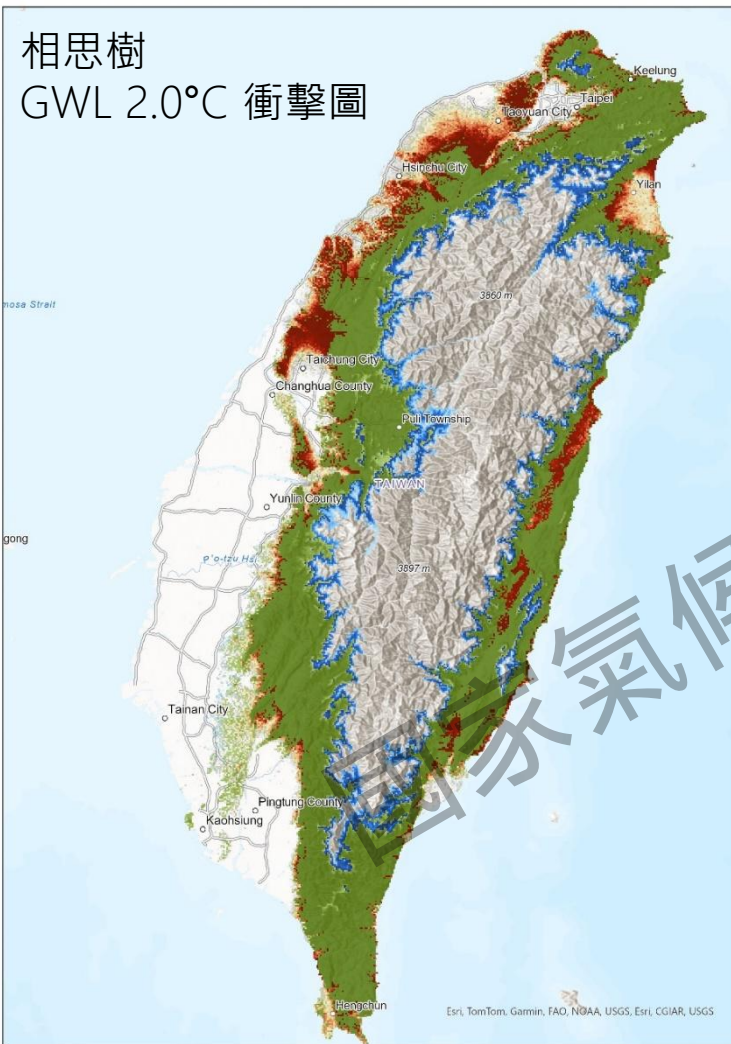


面臨氣候變遷的動植物反應

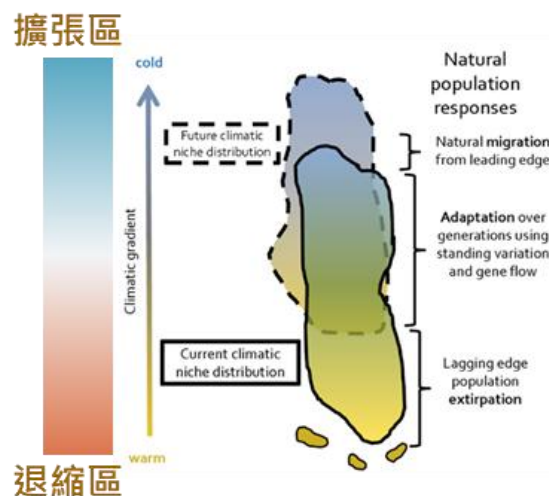
- ▶ 2010至2019年的土溫及降水監測資料顯示，所有山頂溫度皆顯著增加，冬季平均升溫幅度 $0.2^{\circ}\text{C year}^{-1}$ 至 $0.3^{\circ}\text{C year}^{-1}$ ，冬季年低溫日數則減少約50%。在6處高山山頂植物組成調查中，海拔較低的3處觀察到較多的嗜熱性 (thermophilic) 物種出現；山區總雨量雖無明顯變化，但嗜濕性 (moist-philic) 物種數量卻有下降情形，可能與各季間降雨分配差異增大有關 (Kuo et al., 2021)
- ▶ 根據國家植群調查資料進行之模擬，亞高山灌叢植被帶、鐵冷杉林帶、檜木霧林帶、臺灣水青岡霧林帶等，適生棲地均有面積縮減趨勢 (Lin et al., 2014; Lin, 2020; 謝長富等, 2020; Chiu et al., 2022; Xu et al., 2023)
- ▶ 合歡山鐵冷杉林動態樣區15年監測顯示，臺灣冷杉與鐵杉個體均下降，但冷杉總生物量增加且族群穩定，海拔較低的鐵杉族群有衰退情形 (趙偉村, 2024)

適生分布範圍的改變：物種層級

資料提供：TCCIP計畫林業領域團隊



單位：公頃	適生面積	擴張區	核心區	退縮區
基期	1,468,350			
GWL 2.0°C	1,412,950	16.45 %	63.96 %	19.60 %
GWL 3.0°C	1,403,125	22.91%	49.82%	27.28%
GWL 4.0°C	1,516,000	28.61%	45.56%	25.83%

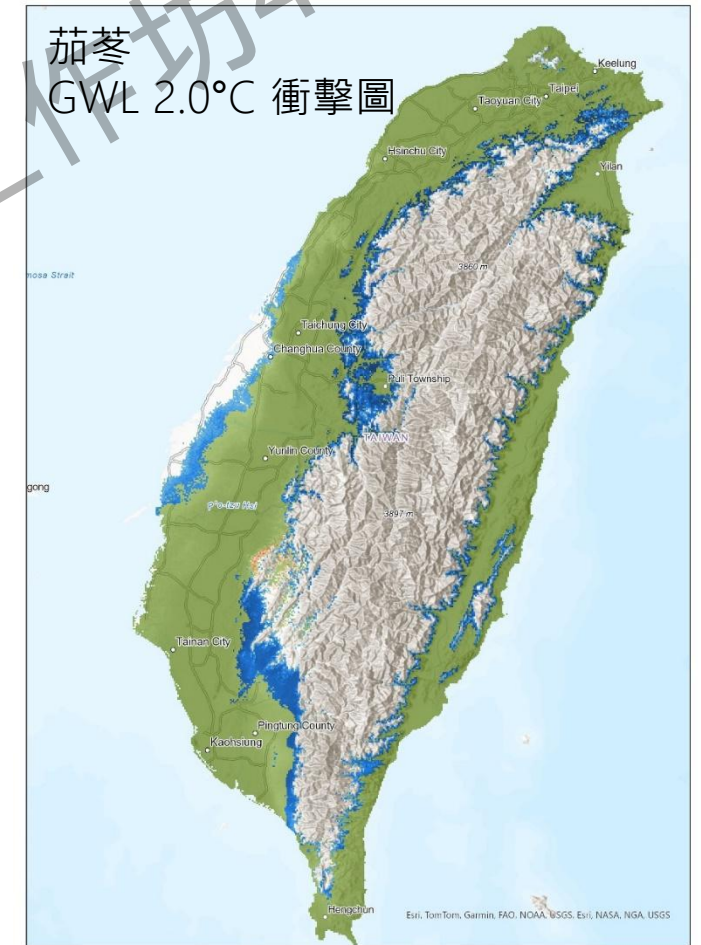
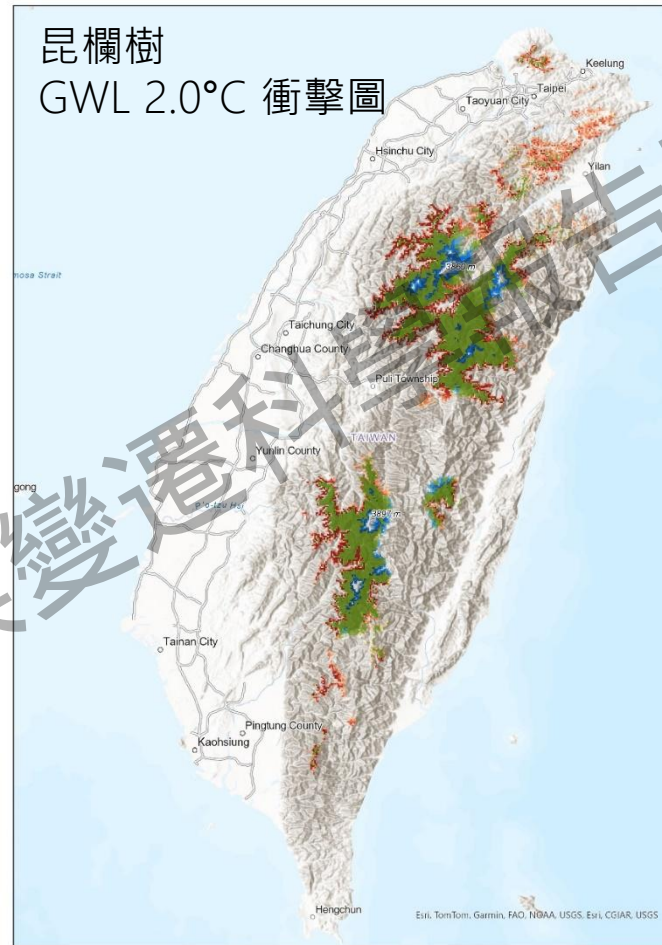
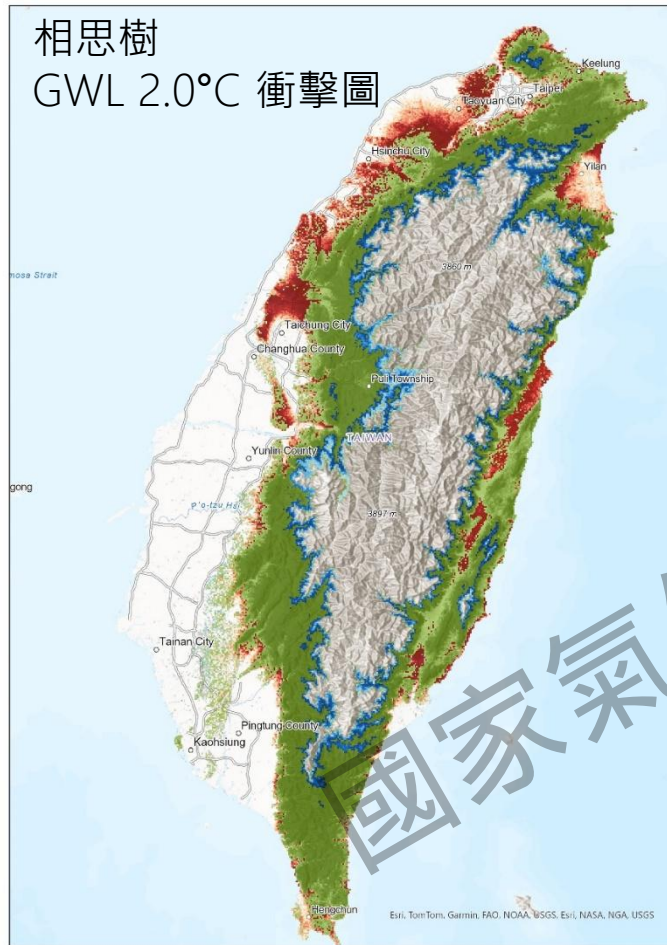


- GWL 2.0°C暖化情境對相思樹的衝擊以平地淺山、以及桃園、新竹、苗栗至台中近海丘陵為主
- 南部以山麓地帶衝擊較明顯，但不若北部地區強烈
- 整體而言，GWL 2.0 °C情境下適存棲地將退縮19.60%，但亦有16.45%擴張，平均海拔提升180.89公尺

Aitken et al. 2015

適生分布範圍的改變：物種層級

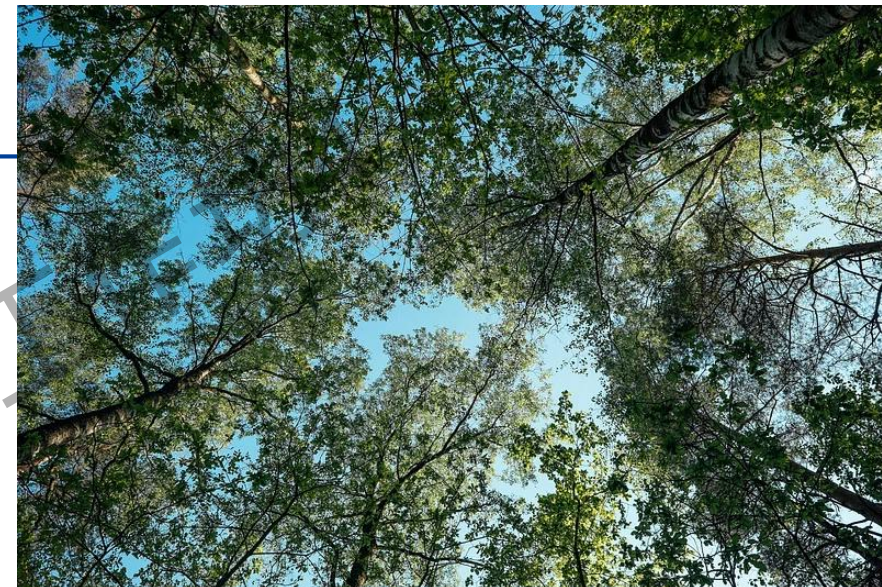
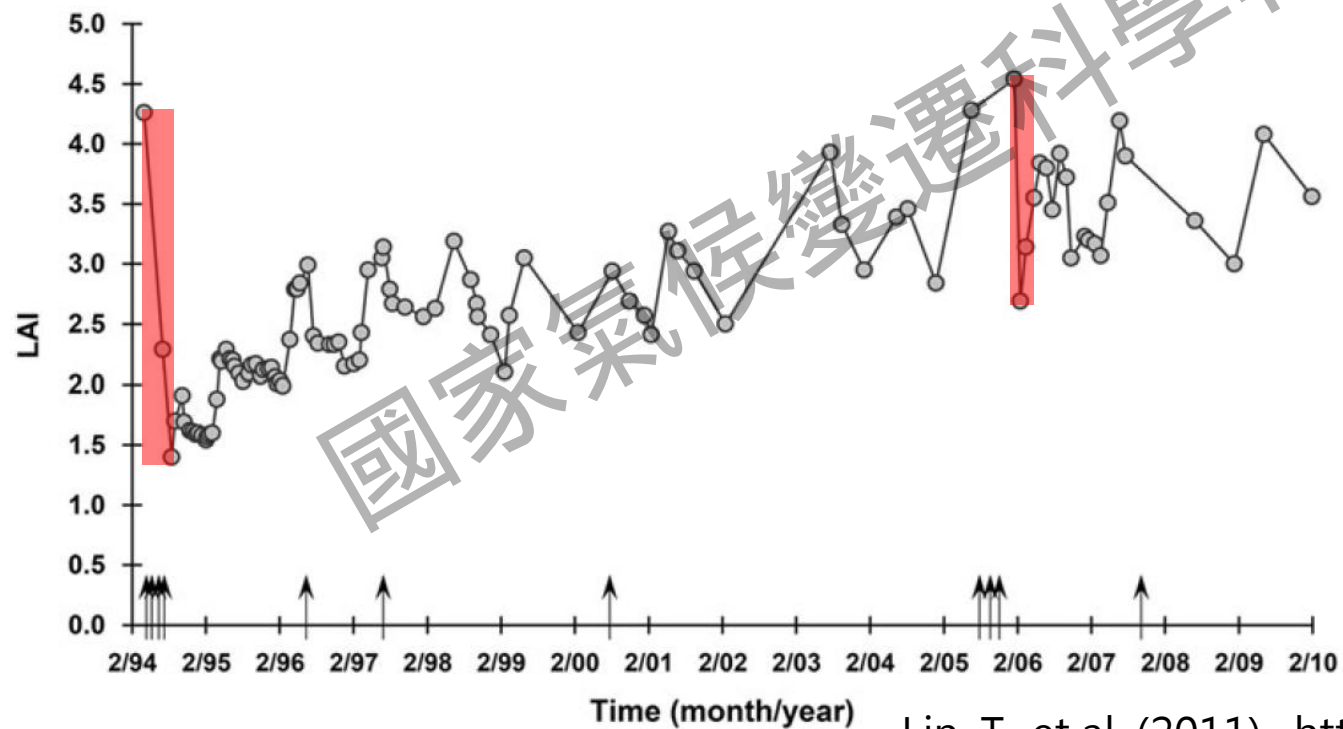
資料提供：TCCIP計畫林業領域團隊



▶ 各物種的適生範圍變化幅度不同，主要變化區域亦不同。

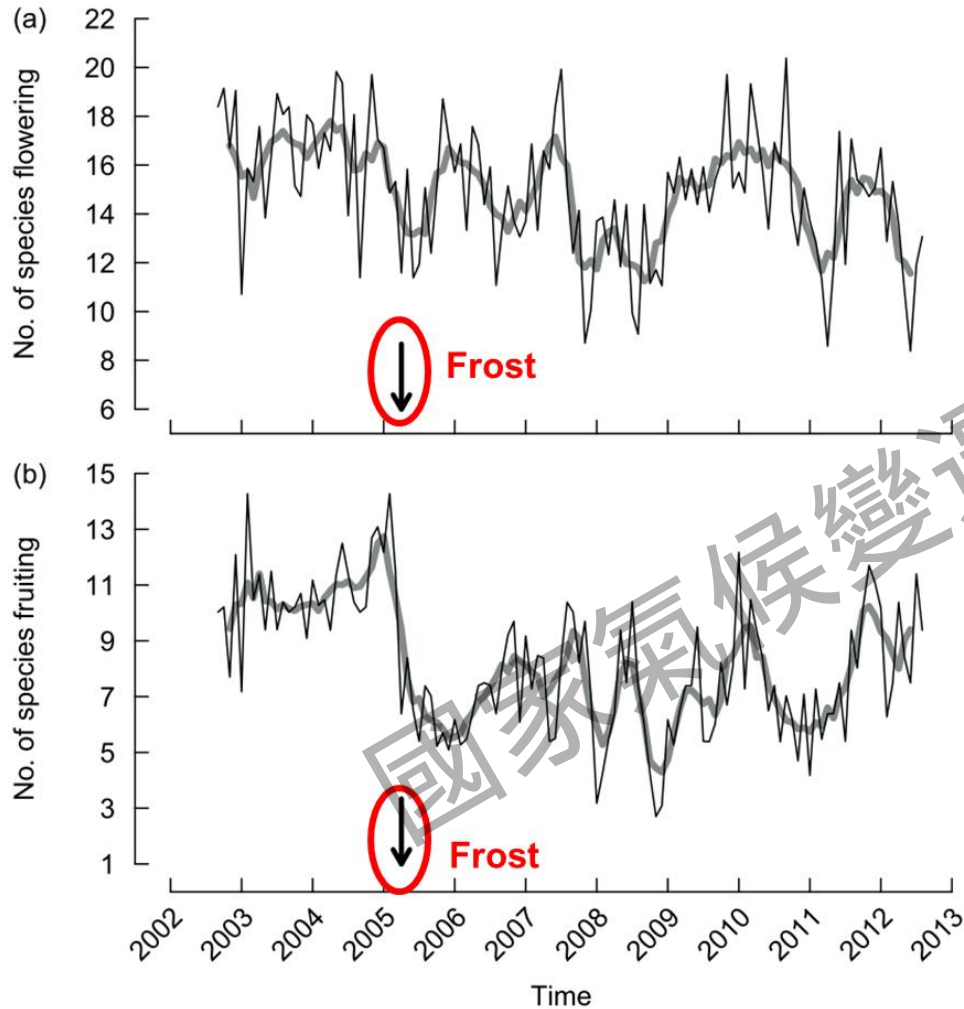
颱風與森林樹冠的動態

- ▶ 福山試驗林自1994至2010年的樹冠葉面積指數變化，箭頭標示代表該時期侵襲福山地區的強烈颱風（風速 $>51\text{m s}^{-1}$ ）
- ▶ 頻繁颱風造成森林樹冠的明顯落葉，衝擊嚴重時，甚至需要多年才能恢復至一般狀態 (Lin et al. 2011)
- ▶ 森林底層光環境與幼苗、小樹及森林動態息息相關



Lin, T., et al. (2011). <https://doi.org/10.1007/s10021-010-9399-1>

極端低溫對低海拔植物生殖衝擊與恢復期



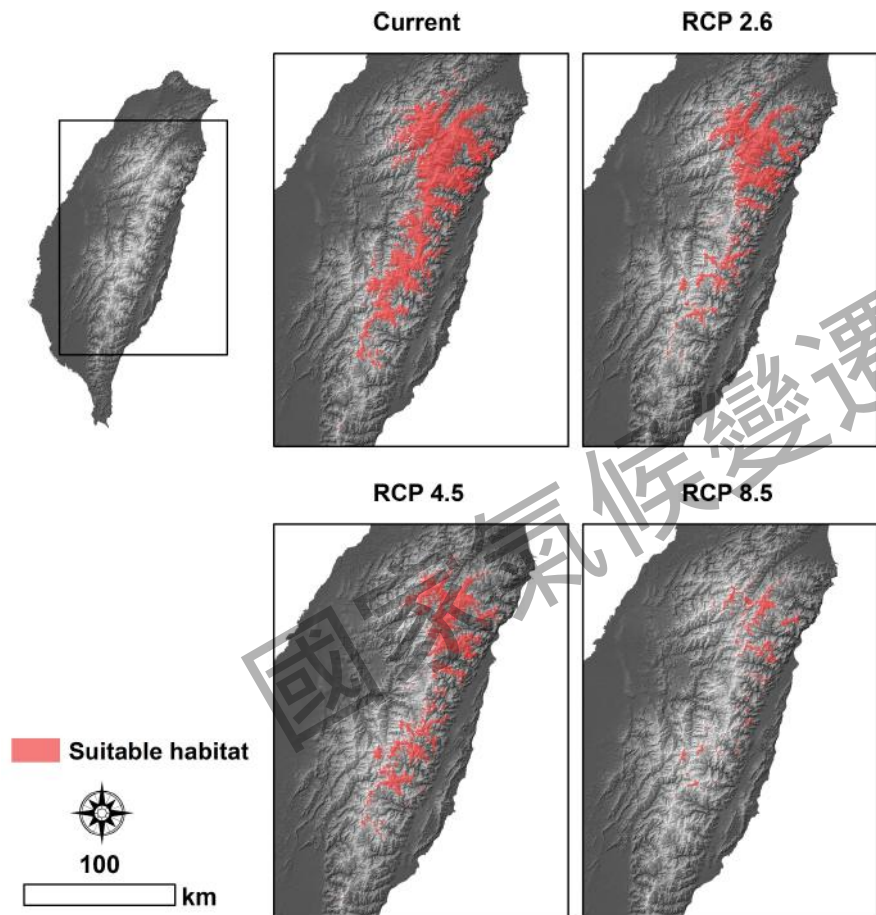
- ▶ 在強烈寒流侵襲下，福山地區偶有低於 0°C 之低溫或霜害，一般多發生在 12 月或 1 月，植物通常仍處於休眠期，對幼芽影響不大
- ▶ 但在 2005 年 3 月，福山出現 30 年來唯一一次 3 月溫度低於 0°C 之紀錄。此時正值森林植物開花、展葉，霜害造成大多數植物的新葉或花芽凍傷，對於開花、結果產生嚴重的影響
(Chang-Yang et al, 2016)



資料提供：
國立中山大學張楊家豪

氣候變遷對信義熊蜂族群的影響

氣候變遷對各海拔區域的可能衝擊

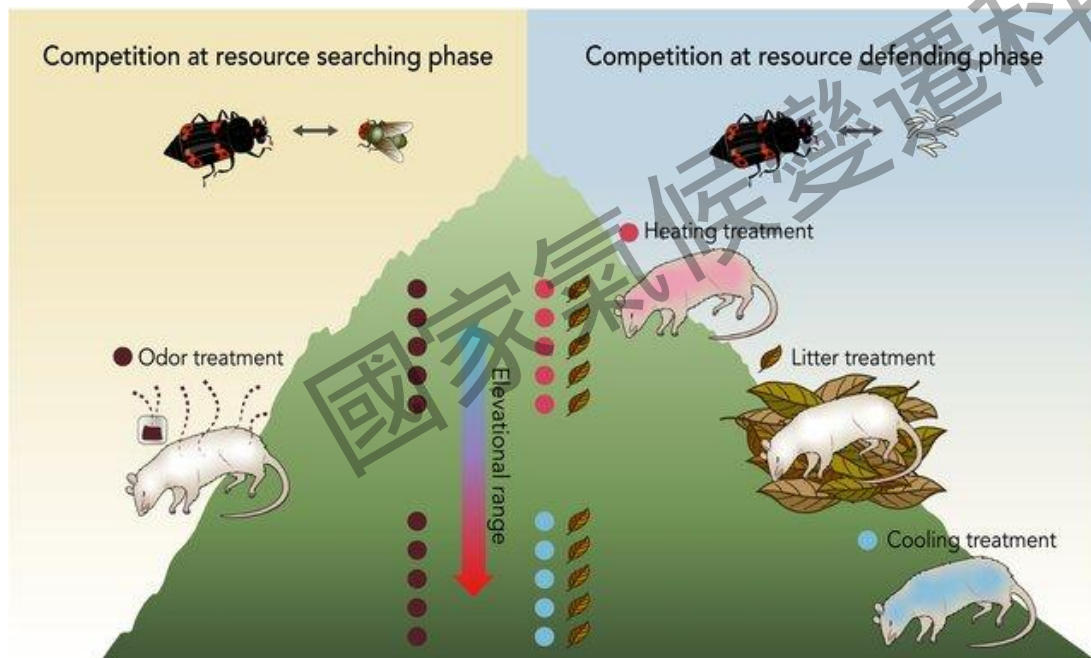


氣候變遷的動植物反應

- ▶ 高海拔特有種信義熊蜂最佳棲地需具「最乾季平均氣溫」低於 10°C 、四季溫度變動小、季雨量介於 180mm 至 250mm 間等條件。在RCP2.6至RCP8.5情境下，適存棲地將縮減41%至87%不等，且南部山區將無適棲之處 (Lu et al. 2023)
- ▶ 信義熊蜂喜好針葉林及草原植被，不喜闊葉林、混濘林、農田及開發區。棲地破碎化將進一步限縮族群大小與降低族群基因多樣性
- ▶ 設立保護區恐不足以解決此問題，唯有減緩暖化方能保護此物種

氣候變遷對埋葬蟲-麗蠅交互關係的影響

氣候變遷對各海拔區域的可能衝擊



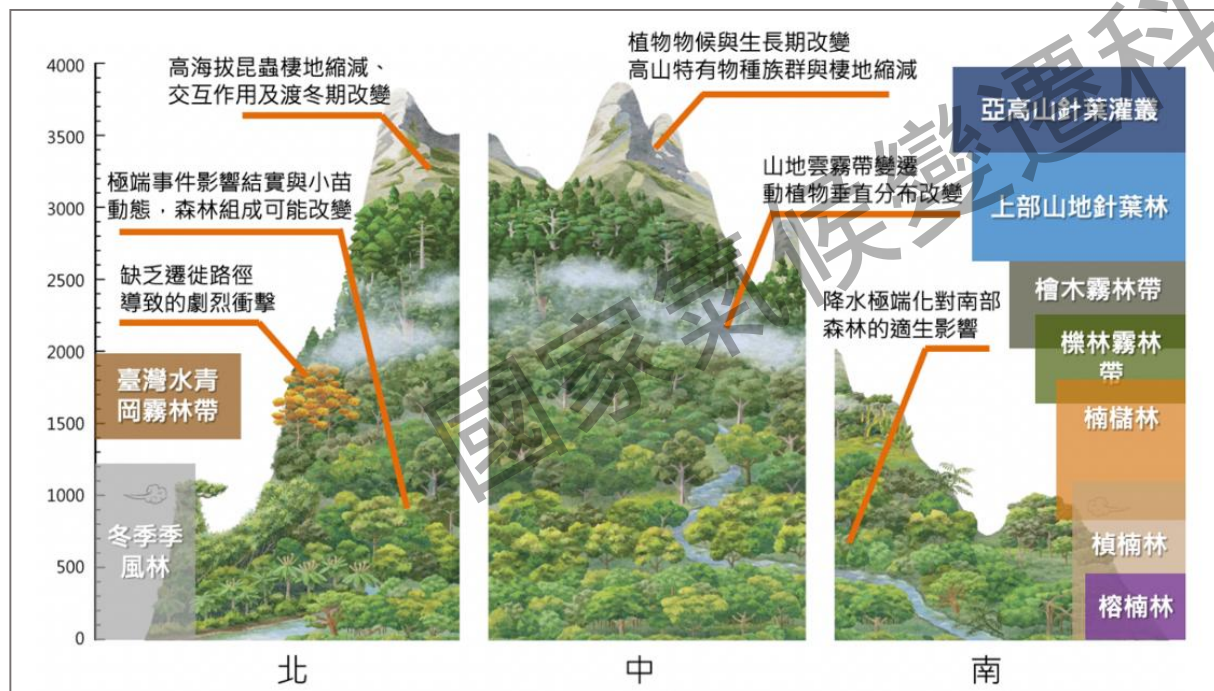
氣候變遷的動植物反應

- ▶ 埋葬蟲與麗蠅這兩種腐食者 (以死亡動物屍體為食) 的幼蟲，因此形成食物資源競爭關係
- ▶ 在合歡山進行的野外調查與實驗發現，在高海拔低溫環境中，埋葬蟲搜尋食物所需時間變長，但也有較長的時間可以埋藏食物，低溫也降低麗蠅產卵的機率，因此降低兩種幼蟲的直接競爭。在低海拔的高溫環境下，埋葬蟲與麗蠅搜尋食物的時間均縮短，產卵數亦增加，然而，高溫 and 麗蠅幼蟲活動使食物加速腐敗，降低了可食性，並因此干擾埋葬蟲的繁殖成功率
- ▶ 在不同氣溫條件下，兩者的競爭模式由取食型變成干擾型。氣候變遷使低溫環境範圍變狹窄，可能使競爭模式單一化，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 (Chan et al. 2019)

氣候變遷對森林生態系的影響

氣候變遷對各海拔區域的可能衝擊

- ▶ 森林隨著海拔的氣候與環境差異，有著不同的外觀形相與組成。針對不同海拔帶環境，彙整過去5年發現的氣候變遷衝擊與影響。例如高山以棲地縮減、生長季改變為主



面臨氣候變遷的動植物反應

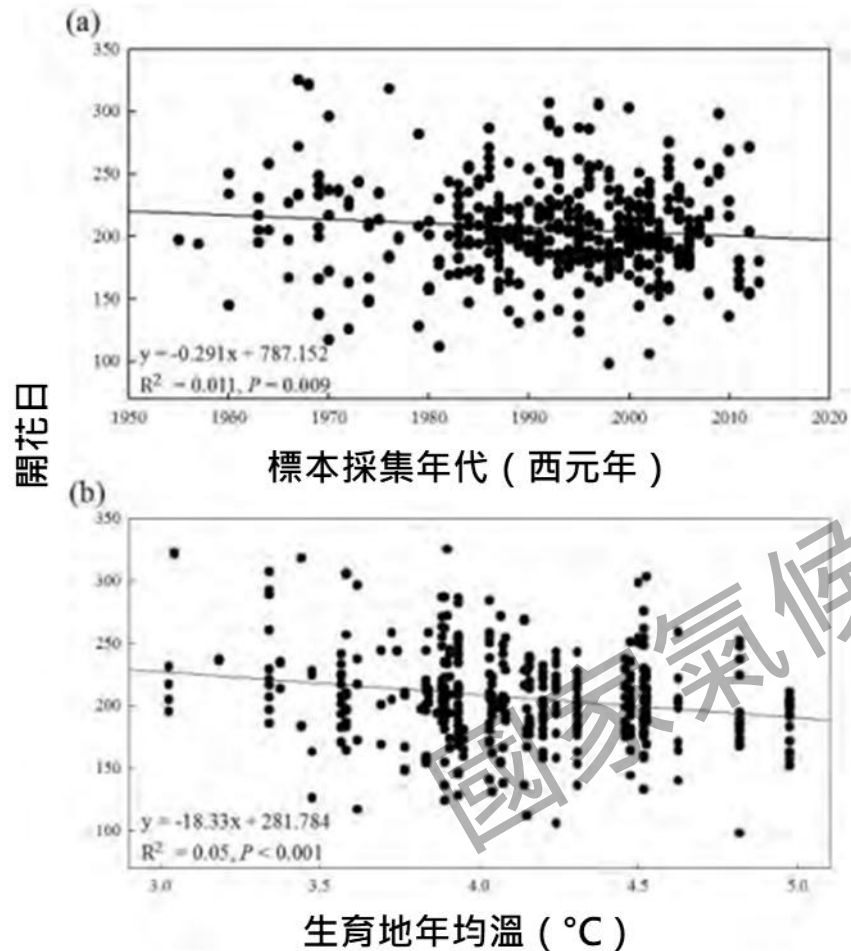
- ▶ 森林小苗存活率與雨量有顯著的正相關，乾旱時期小苗易受周圍樹苗密度負面影響。然而過高雨量亦使小苗受病害侵擾，提高死亡率。顯示極端氣候易使森林樹苗動態發生劇烈變化 (Martini et al., 2022)
- ▶ 臺灣水青岡受缺水影響而開芽狀況不佳，年間的開芽時間紊亂缺乏一致性，導致專食嫩葉的鱗翅目昆蟲數量有逐年減少趨勢，顯示臺灣水青岡上的鱗翅目昆蟲多樣性可能受極端氣候影響 (徐堉峰, 2021)
- ▶ 鳥類在不同季節可能因食物資源而向上或向下遷徙，以減低能量損耗、獲得食物或避免幼雛被捕食。未來氣候變遷影響植物生長、開花、結果、及天敵分布，可能會改變遷移鳥類與不遷移鳥類的共域時間，改變這些鳥類之間的交互關係 (Tsai et al. 2021)

氣候變遷調適與科研缺口

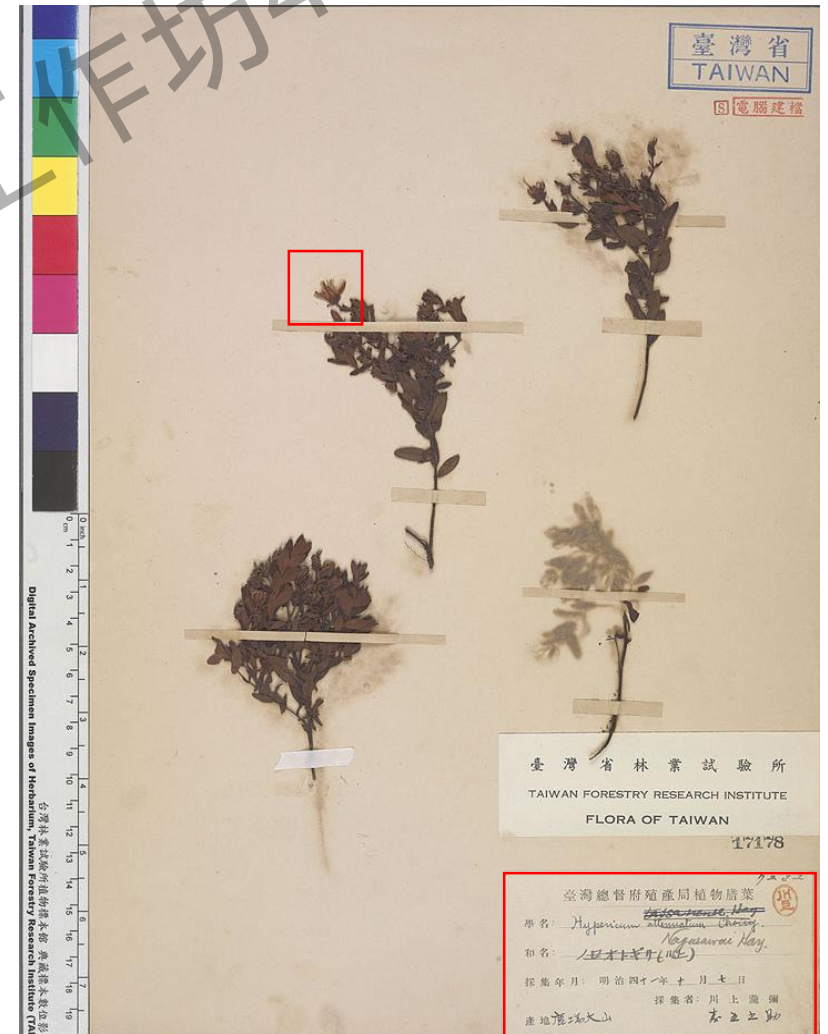
- 基礎研究與長期監測的不足
- 補強科研缺口
- 加強現行調適作為



長期監測的重要性：以暖化對植物開花的影響

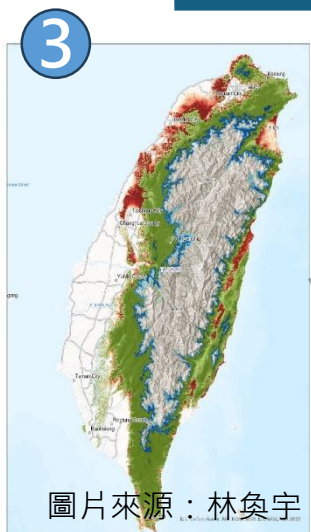
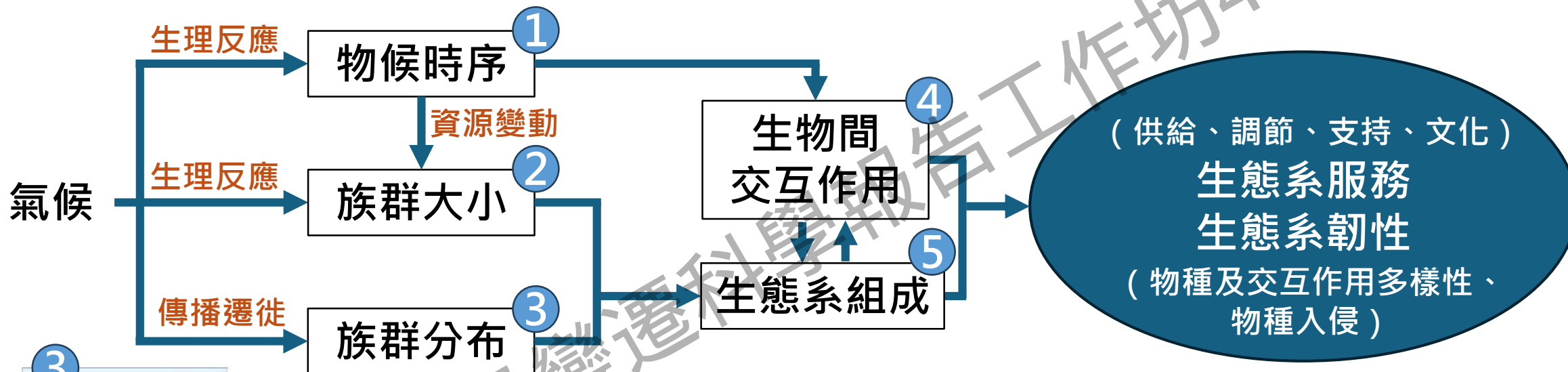


- ▶ 氣溫上升可能導致植物生長季節的延長，尤其是在高海拔山區，意味著植物將提早發芽、展葉、開花等生理現象
- ▶ 利用橫跨70年尺度的植物標本，已發現高山植物開花平均每10年有提早2.9天的趨勢
- ▶ 暖化雖然可能使得植物生長速率或生產量提高，但也可能帶來生物交互作用失序的風險
- ▶ 標本館資料雖含長期的資訊，然單一物種之資料不足，無法提供物種層級之資訊，是為一大缺口，亦不利於保育及調適策略之制訂



王玉婷等 (2015) 台灣生物多樣性研究 17 (1): 15-27

生態系研究缺口



永續性的森林經營與合理的土地利用

- ▶ 永續性的森林再造政策
- ▶ 森林生態系的回復 Ecosystem restoration
- ▶ 混農林業的全球趨勢（林下經濟、原住民特色作物、農地邊緣植林等）


以功能地景觀點，進行土地與自然資源的分區規劃與合理利用

- 原生生態系保育區
- 森林資源永續生產區
- 農業及居住地區



感謝聆聽

TCCIP 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台
Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

指導單位  **NSTC** 國家科學及技術委員會
National Science and Technology Council

計畫辦公室  **NCDR** 行政法人國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

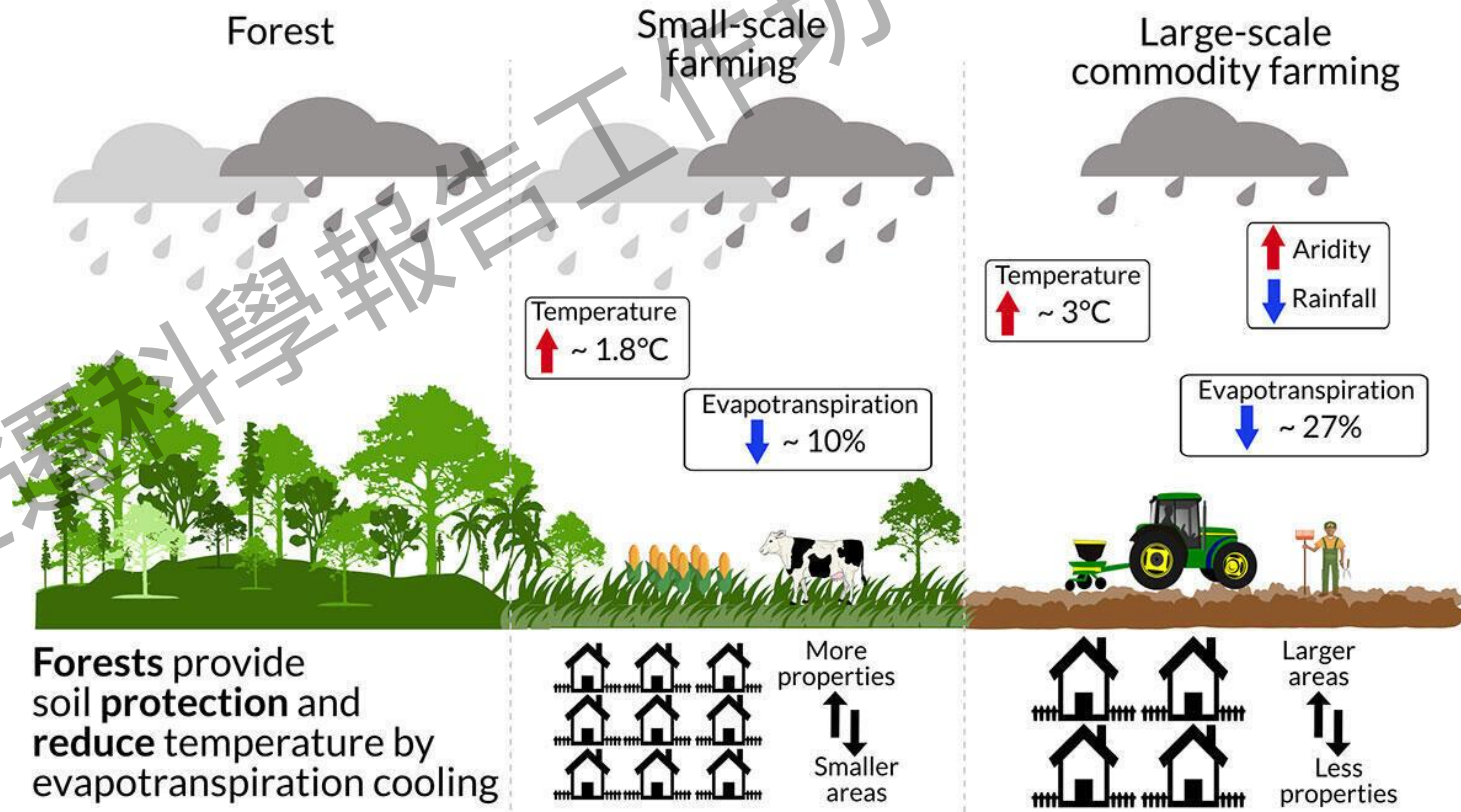
森林的生態服務功能

生態服務 (Ecosystem services)

- ▶ 碳庫 (carbon stock)
- ▶ 降低環境溫度、增加降雨量
- ▶ 緩解降雨後的地表逕流釋出時間與逕流量，減少沖蝕
- ▶ 維持生物多樣性，高物種歧異度有較高的氣候變遷韌性



<https://www.azocleantech.com/news.aspx?newsID=28347>



Natural vegetation

Intensive management
Reduced vegetation cover

<https://phys.org/news/2021-02-large-scale-commodity-farming-climate-amazon.html>