

計畫編號：SWCB-106-048

---

**應用 30 年遙測資料調整上游集水區  
氣候變遷調適策略**  
**Adjusting climate change adaptation  
strategies for upstream watershed using 30  
years remote sensed data**  
**( 成果報告書 )**

---

執行單位：國立中興大學環境保育暨防災科技研究中心

執行期間：106 年 2 月 20 日至 106 年 12 月 31 日

計畫主持人：蔡慧萍 專案助理研究員

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 106 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

# 應用 30 年遙測資料調整上游集水區

## 氣候變遷調適策略

### 摘要

本計畫應用 30 年遙測常態化差異植生指標(Normalized difference vegetation index, NDVI)、氣溫與雨量時間序列資料，歸納上游集水區之自然分群，進行分群氣候變遷影響評估，期協助水保局規劃氣候變遷調適策略。成果顯示上游集水區可分為 6 群。氣溫、雨量、坡度及坡向四項因子可解釋約 52%的 NDVI 變異量。重要影響因子包括坡度、溫度、平坦坡、東北向坡、雨量、東向坡、東南向坡、西向坡與西北向坡。本研究以 HadGEM2-AO 模式進行四種情境(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 及 RCP8.5)之分析與調適策略擬定。氣候變遷趨勢整體呈現冬春夏三季雨量減少，冬季減少最多(11-51%)；溫度四季升溫(0.4-2°C)。第一分群位於中央山脈東側，建議注意高海拔物種、人工林與整體森林的碳吸存能力和生態功能等影響。第二分群位於西半部地形較平坦且高溫處，降雨減少幅度較第一分群更大，建議進行農地熱點(Hotspot)/脆弱度探討、適時調整耕作與輪作制度，配合農業天然災害救助補助政策或農業保險進行整合與發展。第三分群為中央山脈綠帶保護區，建議注重串聯由南到北的綠帶保護區與東西向的綠地森

林綠帶網絡、加強林地管理、注意坡地沖刷和土石流威脅。第四分群位於西南部，建議注重山坡地農業使用適宜性與衝擊性評估、颱風與短時強降雨坡地災害。第五分群為大甲溪集水區，地勢平坦且平均溫度高，包含約 28%的灌溉農業用地和 22%的農牧用地。建議注重水資源調配與農用灌溉需求。第六分群之大規模崩塌災害潛勢面積為各分群中比例最高，需加強 E 與 SE 坡向之坡地防減災工作和強化大規模崩塌下危機應變能力。尤其可針對崩塌地潛勢地區進行植被組成及特點模式分析，以掌握其環境脆弱度與耐災程度。

**關鍵詞：**遙測、自然分群、氣候變遷、調適策略

# Adjusting climate change adaptation strategies for upstream watershed using 30 years remote sensed data

## Abstract

The present project uses remote sensed 30 years long-term vegetation index data, NDVI, temperature, and rainfall time series data to identify the natural cluster of the upstream watersheds in Taiwan. Additionally, important driving factors are investigated together with climate change scenarios. Based on the results, the optimal number of groups is 6. Temperature, rainfall, slope and slope four factors can explain about 52% of the NDVI variance. Nine important driving factors are identified, including average slope, temperature, flat slope, northeast-facing slope, rainfall, east-facing slope, southeast-facing slope, west-facing slope and northwest-facing slope. The HadGEM2-AO model was adopted based on its better fitness with the observed climate pattern in Taiwan. Each watershed cluster was analyzed separately based on their spatial and physical characteristics in four scenarios, namely RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, and RCP8.5. **The first cluster** mostly locates on the eastern side of the Central Mountain Range with the lowest temperature. The first cluster should pay attention to the effects of climate change on high-altitude species, vegetation composition of forest belt, competition threat of exotic species, health maintenance of plantation, and carbon sequestration of whole forest and ecological function. **For the second cluster**, 48% of land use is considered as agricultural land, attentions should be paid to its impact on the growth of agricultural crops due to temperature increase and rainfall

reduction. Investigation and analysis of the vulnerability of agricultural land can be carried out as well as Hotspot /vulnerability analysis. At the same time, farming rotation and drought-resistant crops promotion should be focused as well as water shortage issues and water resources allocation. Relevant agricultural natural disaster relief subsidy policy or agricultural insurance will need to be addressed. **The third cluster** locates on the western side of the Central Mountain Range, which is a green belt protection zone of the Central Mountain Range, and should be connected in series with green belt protection zones from south to north and east-west with green belt networks. Additionally, the third cluster has the largest area of large-scale collapse hazard potential area. Considering its high summer rainfall, the third cluster must pay special attention to slope erosion and landslides, strengthening forest management, disaster prevention and strengthening large-scale collapse crisis resilience. **The fourth cluster** locates in the southwestern part of Taiwan, containing a high proportion of agricultural land on hillsides. The adjustment strategies should pay attention to the suitability and impact assessment of agricultural land use on hillsides to avoid soil erosion and environmental pollution caused by improper use. In addition, for frequent extreme events, suitable strategies for slope protection and erosion caused by typhoons and short-term heavy rains should also be provided with proper soil and water conservation facilities and early warning system development. **The fifth cluster** is the Dajia River Catchment, which has a flat topography and high average temperature and contains about 50% of agricultural land. The adaptation strategy of the fifth cluster should be focus on the rainfall reduction affect the use of irrigated agriculture and whether increasing the temperature will increase water loss and thus the strain on irrigated agriculture and water resources deployment. **The sixth cluster** locates on the eastern part of Taiwan with the highest proportion of large-scale collapse hazard potential

area. Therefore, particularly attentions should be paid to the slope degradation prevention work and to strengthen the resilience of large-scale collapse of the crisis. In particular, we should analyze the composition and characteristics of the vegetation in potential areas where the collapse occurs, so as to get in sight of environmental vulnerability and disaster resistance, and provide reference for the disaster prevention works of SWCB.

**Keywords: Remote sensing, Natural cluster, Climate change, Adaptation strategy**

# 目次

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 摘要.....                   | I    |
| Abstract.....             | III  |
| 目次.....                   | VI   |
| 表次.....                   | VII  |
| 圖次.....                   | VIII |
| 第一章 緒論 .....              | 1-1  |
| 第一節 計畫目標 .....            | 1-2  |
| 第二節 計畫成果 .....            | 1-3  |
| 第二章 工作執行方法與步驟 .....       | 2-1  |
| 第一節 工作執行方法 .....          | 2-1  |
| 第二節 工作執行步驟 .....          | 2-6  |
| 第三章 工作進度與交付項目 .....       | 3-1  |
| 第一節 計畫甘特圖 .....           | 3-1  |
| 第二節 計畫交付項目 .....          | 3-2  |
| 第四章 結論及建議 .....           | 4-1  |
| 第一節 結論 .....              | 4-1  |
| 第二節 建議 .....              | 4-10 |
| 參考文獻.....                 | 參-1  |
| 附錄.....                   | 附錄-1 |
| 附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形 ..... | 附錄-1 |
| 附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形 ..... | 附錄-4 |
| 附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形 ..... | 附錄-7 |

## 表次

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| 表 1 計畫甘特圖 .....                                          | 3-1  |
| 表 2 本計畫選取之集水區 .....                                      | 3-4  |
| 表 3 本計畫選取之集水區(續).....                                    | 3-5  |
| 表 4 各月份 NDVI 之 RDA 第一軸、第一與第二軸以及全部，RDA<br>軸的累積解釋變異量 ..... | 3-12 |
| 表 5 各因子對 NDVI 變異性的解釋能力 .....                             | 3-12 |
| 表 6 分群之大規模崩塌災害潛勢面積及土石流潛勢溪流數量 .....                       | 3-37 |
| 表 7 各月份之 NDVI 和雨量之皮爾森相關性分析 .....                         | 3-44 |
| 表 8 各月份 NDVI 與坡度和坡向(9 種坡向)之 Pearson 相關性分析<br>成果.....     | 附錄-8 |
| 表 9 坡度與各月份的溫度及雨量 Pearson 相關性分析成果 ....                    | 附錄-8 |
| 表 10 各月份雨量與溫度 Pearson 相關性分析成果 .....                      | 附錄-8 |

## 圖次

|                                                                                                     |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 1 本計畫研究流程圖 .....                                                                                  | 2-6  |
| 圖 2 集水區空間分佈圖 .....                                                                                  | 3-3  |
| 圖 3 河川界點與河川界點範圍示意圖 .....                                                                            | 3-3  |
| 圖 4 本計畫選取之集水區空間分佈圖 .....                                                                            | 3-3  |
| 圖 5 集水區 NDVI 時間序列(黑線為平均值) .....                                                                     | 3-7  |
| 圖 6 集水區雨量時間序列(黑線為平均值).....                                                                          | 3-7  |
| 圖 7 集水區溫度時間序列(黑線為平均值).....                                                                          | 3-7  |
| 圖 8 HCA 階層式分群法群數凝聚係數及係數變化率 .....                                                                    | 3-8  |
| 圖 9 集水區分群成果空間分佈圖 .....                                                                              | 3-9  |
| 圖 10 各月份 NDVI 與集水區之 RDA 分析成果 .....                                                                  | 3-13 |
| 圖 11 各因子與集水區之 RDA 分析成果.....                                                                         | 3-14 |
| 圖 12 各月份 NDVI、各因子與集水區之 RDA 分析成果 .....                                                               | 3-15 |
| 圖 13 各月份 NDVI 和各因子 RDA 結合集水區分群成果 .....                                                              | 3-16 |
| 圖 14 各分群之四季於 2021-2040 年、2041-2060 年、2061-2080 年<br>及 2081-2100 年四種氣候變遷情境下之雨量變化率 .....              | 3-20 |
| 圖 15 各分群之四季於 2021-2040 年、2041-2060 年、2061-2080<br>年及 2081-2100 年四種氣候變遷情境下之溫度變化量 .....               | 3-21 |
| 圖 16 各分群之四季於 2021-2040 年、2041-2060 年、2061-2080 年<br>及 2081-2100 年在四種氣候變遷情境下之平均雨量變化率及溫度<br>變化量 ..... | 3-23 |
| 圖 17 (續) .....                                                                                      | 3-24 |
| 圖 18 雨量於 2021 至 2040 年氣候變遷模擬情境之季節變化 .....                                                           | 3-27 |
| 圖 19 雨量於 2041 至 2060 年氣候變遷模擬情境之季節變化 .....                                                           | 3-28 |
| 圖 20 雨量於 2061 至 2080 年氣候變遷模擬情境之季節變化 .....                                                           | 3-30 |

|                                                               |      |
|---------------------------------------------------------------|------|
| 圖 21 雨量於 2081 至 2100 年氣候變遷模擬情境之季節變化.....                      | 3-31 |
| 圖 22 溫度於 2021 至 2040 年氣候變遷模擬情境之季節變化.....                      | 3-33 |
| 圖 23 溫度於 2041 至 2060 年氣候變遷模擬情境之季節變化.....                      | 3-34 |
| 圖 24 溫度於 2061 至 2080 年氣候變遷模擬情境之季節變化.....                      | 3-35 |
| 圖 25 溫度於 2081 至 2100 年氣候變遷模擬情境之季節變化.....                      | 3-36 |
| 圖 26 分群之大規模崩塌災害潛勢地區及土石流潛勢溪流分佈圖 ..                             | 3-38 |
| 圖 27 分群之土地利用分類百分比 .....                                       | 3-43 |
| 圖 28 分群月平均之 NDVI 氣溫雨量 .....                                   | 3-44 |
| 圖 29 2001 年至 2012 年各集水區之(a)NDVI(b)雨量及(c)氣溫時間序列.....           | 附錄-6 |
| 圖 30 各月份 NDVI 與五項因子(溫度、雨量、坡度、平坦坡與東北向坡)之 Pearson 相關性分析成果 ..... | 附錄-8 |
| 圖 31 選取適合台灣的 GCM 步驟流程圖 .....                                  | 附錄-8 |
| 圖 32 適合台灣的 GCMs 排序 .....                                      | 附錄-8 |

## 第一章 緒論

在全球氣候變遷影響之下，台灣面臨許多極端氣候事件挑戰，除了明顯的氣溫暖化，強降雨事件的發生也日漸頻繁且集中，導致許多集水區發生崩塌、土石流等災害，嚴重影響國土人民安全。根據行政院「國家氣候變遷調適政策綱領」，水保局在治山防災方面身負重大責任，須蒐集監測與分析水土環境變遷資料，提出因應氣候變遷之調適減緩策略及方案，以為未來治山防災工作之執行參考。

目前台灣治理單元分為中央管河川、縣(市)管河川、區域排水、重要水庫(不含翡翠水庫)等上游集水區及特定水土保持區等，加上台灣地形特徵與氣候條件各地不同，氣候變遷所造成的影響也有區域性差異，在擬定因應氣候變遷之調適減緩策略及方案時必須因地適宜而不可以單一方案一體適用。

水保局六大分局總管全台灣 50 個主集水區，在集水區整體調查、規畫、保育與治理方面工作繁重，且上游集水區之人力可及性低、現地調查所需成本高，保育治理工作執行不易。水保局應用遙測技術進行集水區崩塌、山坡地開發及土石流防災監測方面已行之有年，採用之遙測資料多屬於短期資料，應用長期遙測資料進行氣候變遷調適策略之分析則尚無先例。

有鑒於此，本計畫擬綜合三十年長期遙測、氣溫與雨量時間序列資料，考量天然環境之特性，以空間為概念，歸納出台灣上游集水區之自然分群，水保局則可依此自然分群做為其保育治理單元，進行上游集水區分群水土保持策劃以及保育治理規畫。本計畫再經由顯著影響因子之篩選，進行上游集水區分群氣候變遷影響之程度評估，可協

助水保局調整上游集水區氣候變遷調適策略。茲將擬解決之問題列舉如後：

- 集水區整體調查：應用三十年長期遙測資料進行台灣上游集水區整體植被地表變化趨勢分析調查。
- 集水區保育治理單元：以空間為概念合併考量台灣天然環境特性，提出台灣上游集水區自然分群做為分群治理單元。
- 調整上游集水區氣候變遷調適策略：依據上游集水區自然分群，分析調控上游集水區自然分群之主要影響因子，並配合氣候變遷模擬情境，探討調整現有上游集水區氣候變遷調適策略。

## 第一節 計畫目標

本計畫為單一年度計畫，針對擬解決之問題規劃五個研究項目，說明如後：

- 蒐集全台灣常態化差異植生指標(Normalized difference vegetation index, NDVI)、氣溫、雨量時間序列資料：應用三十年長期之植生指標NDVI與網格化之氣溫、雨量資料，進行時間序列資料整理與空間解析度整合。
- 進行全台灣上游集水區分群與影響因子分析：以植生指標NDVI資料為主，進行全台灣上游集水區階層式分群法分析，提出上游集水區之自然分群並分析其坡度、坡向、氣溫、雨量四個環境因子之特性
- 篩選上游集水區之重要影響因子：應用冗餘分析法評估上游集水區影響因子，提出量化數據並篩選具有顯著影響力之因子

- 探討上游集水區分群在氣候變遷模擬情境下之變化：探討上游集水區自然分群在氣候變遷模擬情境之下可能變化情形。
- 調整上游集水區氣候變遷調適策略：根據分群氣候變遷模擬情境之變化情形，提出上游集水區氣候變遷調適策略及防災保育策略建議

## 第二節 計畫成果

本研究蒐集全台灣時間序列資料，包含 NDVI、氣溫及雨量資料，並綜合各項因子進行全台灣上游集水區自然分群。本研究將應用冗餘分析法評估上游集水區影響因子，提出量化數據並篩選具有顯著影響力之因子。再依自然分群結果探討在氣候變遷模擬情境下可能之變化情形，提出上游集水區氣候變遷調適策略建議，以利水保局進行上游集水區保育防災工作。本計畫產製之具體成果列舉如後：

- 建立全台灣31年長期植被變遷、氣溫、雨量時間序列資料
- 提出全台灣上游集水區自然分群
- 分析全台灣上游集水區自然分群環境因子特性
- 量化對上游集水區具有顯著影響力之因子
- 探討上游集水區自然分群在氣候變遷模擬情境可能之變化情形
- 提出調整上游集水區自然分群氣候變遷調適策略建議

## 第二章 工作執行方法與步驟

### 第一節 工作執行方法

本計畫旨於利用長期遙測植被與氣候因子環境資料，對於水保局管轄範圍內之上游集水區進行分析，期望了解其自然分群狀態，並提出其分群於未來氣候變遷之情境之調適策略建議。以下將說明本計畫之研究資料來源與研究方法。

#### 一、研究資料來源

##### (一) 常態化差異植生指標(Normalized difference vegetation index, NDVI)

本計畫採用遙測衛星影像所產製之常態化差異植生指數 NDVI 進行全台灣集水區分群分析。NDVI 可反映出植物在光譜上對於紅光及近紅外光的反應差異(Rouse et al. 1974, Huete et al. 2002, Warner and Campagna 2009)。健康的綠色植物會強烈的吸收紅光並強烈的反射近紅外光，因此 NDVI 可利用此反射強度差異，評估植物的健康狀況。歷年來全世界眾多學者也利用 NDVI 的特性，對於不同時間空間尺度的植被變化進行研究 (Anyamba and Eastman, 1996; Barbosa et al. 2006; Bégué et al. 2011)。NDVI 之計算公式如下(Rouse et al. 1974)：

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

其中 NIR(Near Infrared)為近紅外光波段；RED 為紅光波段。NDVI 所產生之值介於-1 至+1 之間，其公式之設計已可消除大致的輻射偏差量，當 NDVI 值越大表示此植被反射

之近紅外光越多，也就是植物越健康，小則反之。但因為 NDVI 在高植物量時有飽和的缺點，故欲分析植被生長過程，除了每時期的 NDVI 值都需經過準確校正，對於研究地區的植被也須注意其是否有高植物量的特點，以確保研究之正確性。

本計畫採用目前國際上時間跨度最長之植被遙測資料庫-GIMMS NDVI3g。此資料庫之 NDVI 來自於美國國家海洋和大氣管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 所發射的一系列氣象衛星中所搭載的進階級高解析度輻射儀 (Advanced Very High Resolution Radiometer, AVHRR)，並由全球模型製圖研究系統團隊 (Global Inventory Monitoring and Modeling System, GIMMS) 經過詳細的輻射校正製備而成。此資料庫之空間解析度為 1/12 經緯度 (約 8km)，時間跨度起始於 1981 年 7 月至 2012 年 12 月，每個月以最大值合成法 (maximum value compositing method) (Holben 1986, Pinzon and Tucker 2014) 產製兩組 NDVI 資料，分別是前 15 天的合成最大值與第 16 天到月底的合成最大值。由於考量資料之完整年度，本計畫採用 1982 年 1 月至 2012 年 12 月之 NDVI3g 完整年度資料，並選取每個月兩組 NDVI 資料中 NDVI 值較高的那一組作為當月 NDVI 的代表值。

## (二) 氣溫及雨量

本計畫採用 TCCIP 台灣氣候變遷推估與資訊平台所產製之五公里網格化氣溫及雨量觀測資料，此資料庫之觀測資

料來自全台灣 1152 個測站，包含中央氣象局局屬站、中央氣象局自動雨量站、民用航空局測站，資料解析度為五公里 (5km\*5km)，資料時間始於 1960 年，止於 2012 年，本計畫萃取與 GIMMS NDVI3g 資料庫年份相等之 1982-2012 年全台網格化月平均溫度及月平均降雨資料。

### (三) 坡度及坡向

本計畫採用行政院農委會委託林務局農林航空測量所所製作之臺灣地區數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)。此 DTM 採用解析航測法在航照立體相對上數化高程點，以每 40x40 公尺等間距的規則網格取樣，產生之 DTM 資料以五千分之一基本圖幅分檔。此 DTM 之平面坐標系統採用二度分帶橫麥卡脫投影。平面坐標單位為公尺，高程亦為公尺。本計畫應用地理資訊系統專業軟體，依據此 DTM 產製各集水區坡度及坡向資料。

### (四) 氣候變遷情境模擬

本計畫採用 TCCIP 台灣氣候變遷推估與資訊平台所產製之月溫度、雨量之氣候變遷情境推估資料。該資料經過解析度均一化、誤差修正及特徵值空間內插處理，依據 IPCC AR5 大氣海洋環流模式中 24 個 AOGCM 模式，配合歷史觀測月平均資料，產製 5 公里解析度之全台灣未來 2021~2100 年月平均溫度與雨量推估。目前此資料庫已廣為產官學界引用做為氣候變遷情境模擬之參考依據。

## 二、研究方法

### (一) 階層式分群法分析(Hierarchical cluster analysis, HCA)

階層式分群法分析(Hierarchical cluster analysis, HCA)之概念主要是以階層架構將資料層層反覆的分裂(Divisive)或聚合(Agglomerative)，最後再產生一樹狀結構(dendrogram)。本計畫採用的是聚合式的階層式分群法(Agglomerative hierarchical cluster analysis)(Gauch *et al.* 1981, Huang *et al.* 2014)，將每一筆資料先都視為一個群聚(cluster)，再找出所有群聚間距離最接近的兩個群聚進行合併，反覆重複此合併步驟直到群聚數目達到研究所期望的群聚數目。判斷群聚間距離有許多不同的演算法，例如單一連結聚合演算法(Single-linkage agglomerative algorithm)、完整連結聚合演算法(complete-linkage agglomerative algorithm)、平均連結聚合演算法(average-linkage agglomerative algorithm)又稱為中心法(Centroid method)以及華德法(Ward's method)。本計畫採用的是華德法，又稱為華德最小變異數法 (Ward's minimum variance method)，考慮有序的合併群集，而合併的順序視合併後群集組內總變異數之大小而定。凡使組內總變異數產生最小增量的事物即予優先合併，越早合併的事物表示其間相似性越高。華德最小變異數法以歐基理德距離的平方(squared Euclidean distance)作為相似性衡量的依據(Ward 1963, Punj and Stewart 1983, Fraley and Raftery 1998, Yim and Ramdeen 2015)，公式如下：

$$d_{A,B} = n_A \|\bar{x}_A - \bar{x}\|^2 + n_B \|\bar{x}_B - \bar{x}\|^2$$

其中  $d_{A,B}$  代表 A 群和 B 群之間的距離， $n_A$  和  $n_B$  分別是 A 群和 B 群的點數， $(\bar{x}_A)$  和  $(\bar{x}_B)$  分別是 A 群和 B 群的中心點， $\bar{x}$  代表兩群合併中心點。

## (二) 冗餘分析(Redundancy analysis, RDA)

冗餘分析(Redundancy analysis, RDA)是由 Rao 在 1964 年時所發展的研究方法，之後由 Van Den Wollenberg (1977) 繼續推動發展 (Legendre and Legendre 2012)。冗餘 (Redundancy) 是解釋變異量的意思 (Gittins 1985)。RDA 是多變量線性回歸 (multiple linear regression, MLR) 的延伸，允許存在多個解釋變量 (explanatory variable) (Legendre and Legendre 2012, Buttigieg and Ramette 2014)。另外 RDA 也被視為是主成分分析 (Principle component analysis, PCA) 的延伸，通過應變量 (response variable) 與解釋變量之間的相關性，分析引起應變量變異的原因。一般而言，RDA 的基礎就是典範多變量分析 (canonical multivariate analyses)，並且假設變量間都是線性關係 (Ter Braak 2002)，此假設的變量間線性關係可以特徵分析法的公式 (eigen analysis equation) 表示：

$$(S_{YX}S_{XX}^{-1}S'_{YX} - \lambda_k I)u_k = 0$$

其中  $S_{YX}$  是應變量和解釋變量的共變異矩陣， $S_{XX}^{-1}$  是標準化後解釋變量共變異矩陣的倒數， $I$  是一單位的矩陣， $\lambda_k$  是  $k$  軸的特徵值， $u_k$  是常態化的典範特徵向量 (Legendre and Legendre 2012)。

## 第二節 工作執行步驟

本計畫研究流程如圖 1 所示，預計於計畫執行單一年度期間按照五項規畫項目依序進行。首先蒐集 1982 年至 2012 年的植生指標 NDVI、氣溫、雨量之時間序列資料，接續應用進行全台灣上游集水區分群與影響因子分析，擬探討之影響因子包含坡度、坡向、氣溫及雨量。再篩選評估具有顯著影響之因子，進行探討上游集水區分群在氣候變遷模擬情境下之變化，最後提出調整上游集水區氣候變遷調適策略之建議。

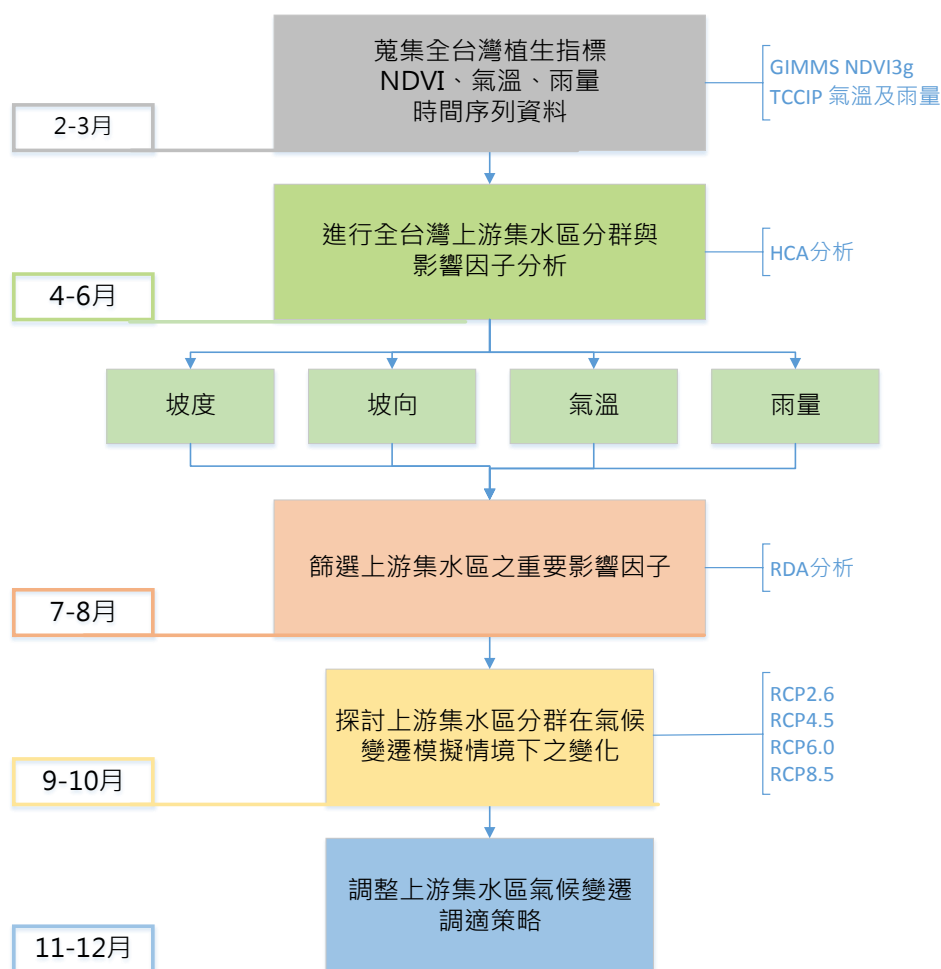


圖 1 本計畫研究流程圖

## 第三章 工作進度與交付項目

### 第一節 計畫甘特圖

本計畫為單一年度計畫，依照五個研究項目進行各季執行進度規劃(表 1)。目前已全數完成，包括蒐集全台灣植生指標 NDVI、氣溫、雨量時間序列資料，進行全台灣集水區分群與影響因子分析，以及篩選集水區之重要影響因子，進行探討上游集水區分群在氣候變遷模擬情境下之變化，最後提出調整上游集水區氣候變遷調適策略之建議，目前計畫執行累積進度已達成 100%，符合各季執行進度規劃。

表 1 計畫甘特圖

| 項目\月份   |                            | 1-3 月 |  |  | 4-6 月 |  |  | 7-9 月 |  |  | 10-12 月 |  |  |
|---------|----------------------------|-------|--|--|-------|--|--|-------|--|--|---------|--|--|
| 一       | 蒐集全台灣植生指標 NDVI、氣溫、雨量時間序列資料 |       |  |  |       |  |  |       |  |  |         |  |  |
| 二       | 進行全台灣集水區分群與影響因子分析          |       |  |  |       |  |  |       |  |  |         |  |  |
| 三       | 篩選集水區之重要影響因子               |       |  |  |       |  |  |       |  |  |         |  |  |
| 四       | 探討集水區分群在氣候變遷模擬情境下之變化       |       |  |  |       |  |  |       |  |  |         |  |  |
| 五       | 調整上游集水區自然分群氣候變遷調適策略        |       |  |  |       |  |  |       |  |  |         |  |  |
| 累積進度百分比 |                            | 17    |  |  | 39    |  |  | 75    |  |  | 100     |  |  |

## 第二節 計畫交付項目

本計畫交付項目已完成蒐集全台灣植生指標 NDVI、氣溫、雨量時間序列資料，進行全台灣集水區分群與影響因子分析，篩選集水區之重要影響因子，進行探討上游集水區分群在氣候變遷模擬情境下之變化，與提出調整上游集水區氣候變遷調適策略之建議，以下為計畫交付項目成果說明。

首先，由於台灣上游集水區之定義尚不明確，同時考量本研究之植被遙測資料空間解析度為 8x8 公里，因此本研究參考經濟部水利署公告之次集水區(以下簡稱"集水區")(圖 2)與河川界點(圖 3)，根據河川界點分佈範圍由台灣地理中心向外評估，將最外圍之河川界點連線估劃出一概念性之河川界點範圍(圖 3)，再以集水區之中心點位於此概念性之河川界點範圍內作為篩選條件，篩選出上游集水區，目前已選取 70 個集水區進行後續分析(圖 4、表 2 與表 3 所示)。



圖 2 集水區空間分佈圖

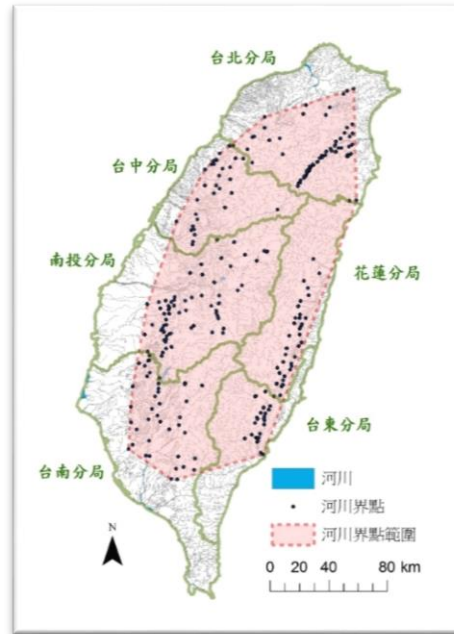


圖 3 河川界點與河川界點範圍示意圖

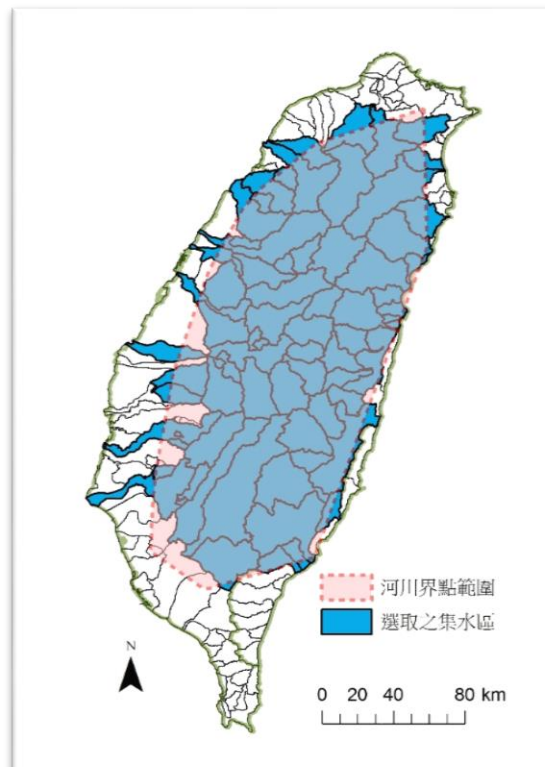


圖 4 本計畫選取之集水區空間分佈圖

表 2 本計畫選取之集水區

| #  | 集水區編號 | 縣市  | 流域名稱   | 集水區名稱 | 集水區面積(km <sup>2</sup> ) |
|----|-------|-----|--------|-------|-------------------------|
| 1  | 1002  | 台中縣 | 大甲溪流域  | 谷關調整池 | 196.12                  |
| 2  | 1204  | 南投縣 | 濁水溪流域  | 水里溪   | 58.03                   |
| 3  | 1504  | 嘉義縣 | 八掌溪流域  | 鹿寮水庫  | 8.48                    |
| 4  | 1704  | 台南縣 | 曾文溪流域  | 鏡面水庫  | 16.24                   |
| 5  | 2505  | 花蓮縣 | 秀姑巒溪流域 | 秀姑巒溪  | 200.54                  |
| 6  | 2607  | 花蓮縣 | 花蓮溪流域  | 吉安溪   | 35.02                   |
| 7  | 0101  | 宜蘭縣 | 蘭陽河流域  | 蘭陽溪   | 932.65                  |
| 8  | 0102  | 宜蘭縣 | 蘭陽河流域  | 宜蘭河   | 187.72                  |
| 9  | 0401  | 新竹縣 | 淡水河流域  | 石門水庫  | 835.90                  |
| 10 | 0402  | 台北縣 | 淡水河流域  | 翡翠水庫  | 328.80                  |
| 11 | 0403  | 嘉義市 | 淡水河流域  | 大漢溪   | 451.85                  |
| 12 | 0404  | 台北縣 | 淡水河流域  | 新店溪   | 541.30                  |
| 13 | 0501  | 新竹縣 | 鳳山溪流域  | 鳳山溪   | 277.73                  |
| 14 | 0601  | 新竹縣 | 頭前溪流域  | 頭前溪   | 626.72                  |
| 15 | 0701  | 苗栗縣 | 中港溪流域  | 中港溪   | 375.61                  |
| 16 | 0702  | 新竹縣 | 中港溪流域  | 大埔水庫  | 121.51                  |
| 17 | 0801  | 苗栗縣 | 後龍溪流域  | 後龍溪   | 526.84                  |
| 18 | 0802  | 苗栗縣 | 後龍溪流域  | 明德水庫  | 88.74                   |
| 19 | 0901  | 苗栗縣 | 大安溪流域  | 大安溪   | 765.56                  |
| 20 | 0902  | 苗栗縣 | 大安溪流域  | 鯉魚潭水庫 | 81.97                   |
| 21 | 1001  | 台中縣 | 大甲溪流域  | 德基水庫  | 574.86                  |
| 22 | 1003  | 台中縣 | 大甲溪流域  | 天輪調整池 | 93.30                   |
| 23 | 1004  | 台中縣 | 大甲溪流域  | 石岡壩水庫 | 344.74                  |
| 24 | 1005  | 台中縣 | 大甲溪流域  | 大甲溪   | 163.71                  |
| 25 | 1101  | 台中縣 | 烏溪流域   | 北港溪   | 565.48                  |
| 26 | 1102  | 南投縣 | 烏溪流域   | 南港溪   | 473.49                  |
| 27 | 1104  | 台中縣 | 烏溪流域   | 大里溪   | 433.64                  |
| 28 | 1105  | 彰化縣 | 烏溪流域   | 貓羅溪   | 407.12                  |
| 29 | 1106  | 彰化縣 | 烏溪流域   | 烏溪    | 229.14                  |
| 30 | 1201  | 南投縣 | 濁水溪流域  | 霧社水庫  | 245.89                  |
| 31 | 1202  | 南投縣 | 濁水溪流域  | 武界調整池 | 368.04                  |
| 32 | 1203  | 南投縣 | 濁水溪流域  | 日月潭水庫 | 33.75                   |
| 33 | 1205  | 雲林縣 | 濁水溪流域  | 濁水溪   | 771.10                  |
| 34 | 1206  | 南投縣 | 濁水溪流域  | 丹大溪   | 294.12                  |
| 35 | 1207  | 南投縣 | 濁水溪流域  | 郡大溪   | 455.64                  |

表 3 本計畫選取之集水區(續)

| #  | 集水區編號 | 縣市  | 流域名稱     | 集水區名稱 | 集水區面積(km <sup>2</sup> ) |
|----|-------|-----|----------|-------|-------------------------|
| 36 | 1208  | 南投縣 | 濁水溪流域    | 陳有蘭溪  | 490.91                  |
| 37 | 1209  | 嘉義縣 | 濁水溪流域    | 清水溪   | 462.69                  |
| 38 | 1210  | 南投縣 | 濁水溪流域    | 卡社溪   | 183.99                  |
| 39 | 1211  | 南投縣 | 濁水溪流域    | 東埔蚋溪  | 109.24                  |
| 40 | 1301  | 雲林縣 | 北港溪流域    | 虎尾溪   | 332.03                  |
| 41 | 1302  | 雲林縣 | 北港溪流域    | 三疊溪   | 209.73                  |
| 42 | 1501  | 嘉義縣 | 八掌溪流域    | 八掌溪   | 460.98                  |
| 43 | 1601  | 嘉義縣 | 急水溪流域    | 白河水庫  | 38.69                   |
| 44 | 1701  | 高雄縣 | 曾文溪流域    | 曾文水庫  | 519.83                  |
| 45 | 1702  | 台南縣 | 曾文溪流域    | 烏山頭水庫 | 70.29                   |
| 46 | 1703  | 台南縣 | 曾文溪流域    | 南化水庫  | 138.94                  |
| 47 | 1705  | 台南縣 | 曾文溪流域    | 曾文溪   | 624.05                  |
| 48 | 2101  | 高雄縣 | 高屏溪流域    | 旗山溪   | 819.68                  |
| 49 | 2102  | 高雄縣 | 高屏溪流域    | 荖濃溪   | 1537.71                 |
| 50 | 2103  | 屏東縣 | 高屏溪流域    | 隘寮溪   | 678.61                  |
| 51 | 2401  | 台東縣 | 卑南溪流域    | 卑南溪   | 1017.08                 |
| 52 | 2402  | 台東縣 | 卑南溪流域    | 新武呂溪  | 733.84                  |
| 53 | 2501  | 花蓮縣 | 秀姑巒溪流域   | 秀姑巒溪  | 765.36                  |
| 54 | 2502  | 花蓮縣 | 秀姑巒溪流域   | 秀姑巒溪  | 190.30                  |
| 55 | 2503  | 花蓮縣 | 秀姑巒溪流域   | 秀姑巒溪  | 494.19                  |
| 56 | 2504  | 花蓮縣 | 秀姑巒溪流域   | 秀姑巒溪  | 313.83                  |
| 57 | 2601  | 花蓮縣 | 花蓮溪流域    | 花蓮溪沿海 | 503.83                  |
| 58 | 2602  | 花蓮縣 | 花蓮溪流域    | 馬鞍溪   | 173.83                  |
| 59 | 2603  | 花蓮縣 | 花蓮溪流域    | 萬里溪   | 267.11                  |
| 60 | 2604  | 花蓮縣 | 花蓮溪流域    | 壽豐溪   | 236.08                  |
| 61 | 2605  | 花蓮縣 | 花蓮溪流域    | 木瓜溪   | 486.47                  |
| 62 | 2606  | 花蓮縣 | 花蓮溪流域    | 美崙溪   | 101.20                  |
| 63 | 2701  | 花蓮縣 | 和平溪流域    | 和平溪   | 629.64                  |
| 64 | 2703  | 宜蘭縣 | 和平溪流域    | 南澳溪   | 361.65                  |
| 65 | 4301  | 台東縣 | 台東沿海河系   | 太平溪   | 120.61                  |
| 66 | 4302  | 台東縣 | 台東沿海河系   | 利嘉溪   | 194.73                  |
| 67 | 4403  | 台東縣 | 海岸山脈東側河系 | 馬武溪   | 163.43                  |
| 68 | 4601  | 花蓮縣 | 太魯閣沿海河系  | 卡那岸沿海 | 98.88                   |
| 69 | 4602  | 花蓮縣 | 太魯閣沿海河系  | 立霧溪   | 693.63                  |
| 70 | 4603  | 花蓮縣 | 太魯閣沿海河系  | 三棧溪   | 149.79                  |

## 一、蒐集全台灣植生指標 NDVI、氣溫、雨量時間序列資料

本計畫採用美國 NOAA 植被遙測資料庫-GIMMS NDVI3g 之 NDVI 資料以及 TCCIP 台灣氣候變遷推估與資訊平台所產製之五公里網格化氣溫及雨量觀測資料，此三項資料皆為月平均值。本計畫以選取之 70 個集水區作為研究單元，進行 1982 年至 2012 年 NDVI、雨量以及溫度月平均時間序列資料萃取，如圖 5、圖 6 與圖 7 所示。

在 NDVI 時間序列方面(圖 5)，此三十年之平均值為 0.37 至 0.91 之間；雨量之平均值為 0.37 至 33.49mm 之間(圖 6)；溫度之平均值為攝氏 10.27 至 24.36 度之間(圖 7)。在 NDVI 時間序列中(圖 5)，1993 年至 1995 年的 NDVI 明顯較低，此現象可能與台灣在 1993 至 1995 年發生過長達九個月的乾旱現象有關(許, 2011; Tsai and Yang 2016)。在雨量的時間序列中(圖 6)，較高峰之雨量皆與歷年來之颱風降雨有關；另外除了 1993 年至 1995 年之外，2002 年至 2004 年台灣發生過另一次嚴重的乾旱(許, 2011)，在此集水區的時間序列中，同樣發現相對應之較低的雨量紀錄。另外在 2004 年之後的雨量高峰間距呈現略為密集的趨勢，值得繼續探討其與氣候變遷之關聯性。在溫度時間序列方面(圖 7)，溫度的變化呈現夏熱冬冷的季節性規律。

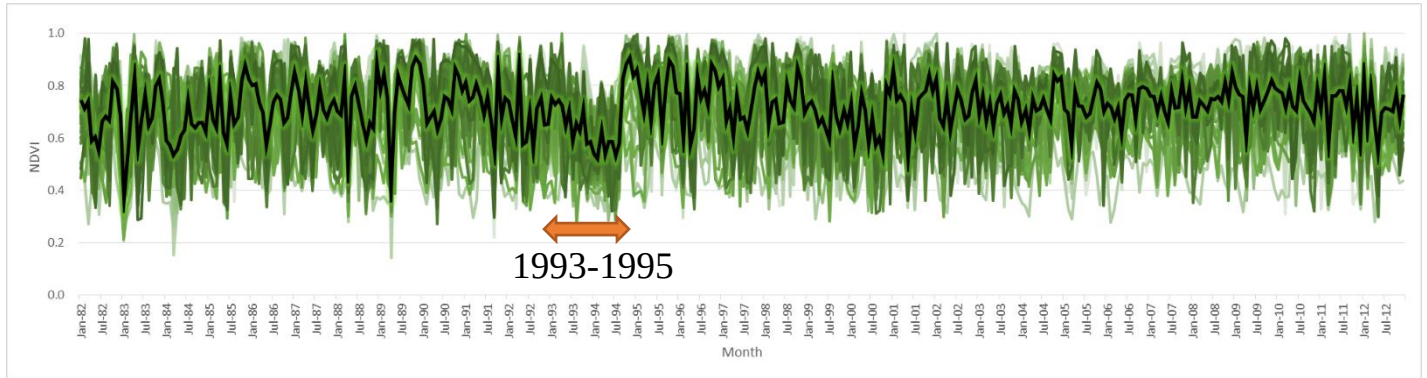


圖 5 集水區 NDVI 時間序列(黑線為平均值)

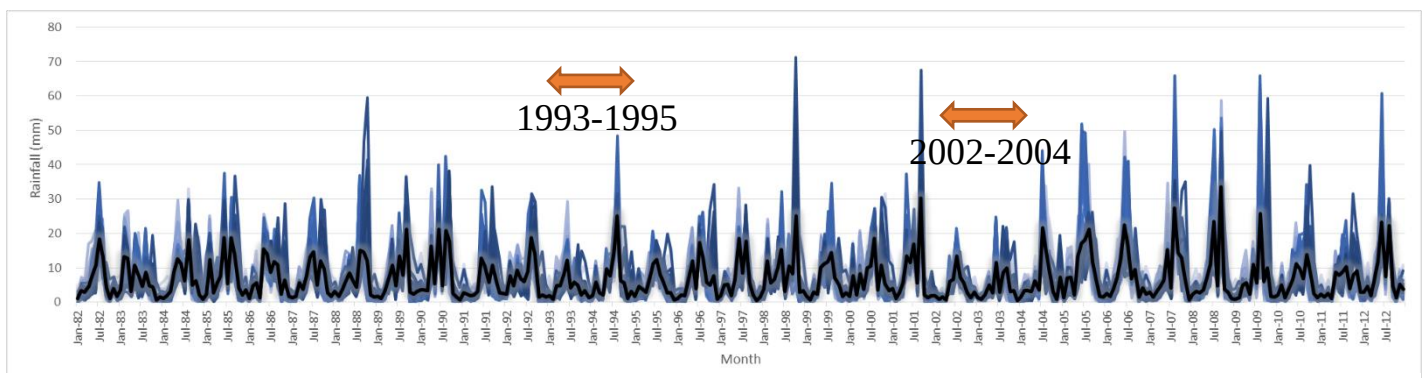


圖 6 集水區雨量時間序列(黑線為平均值)

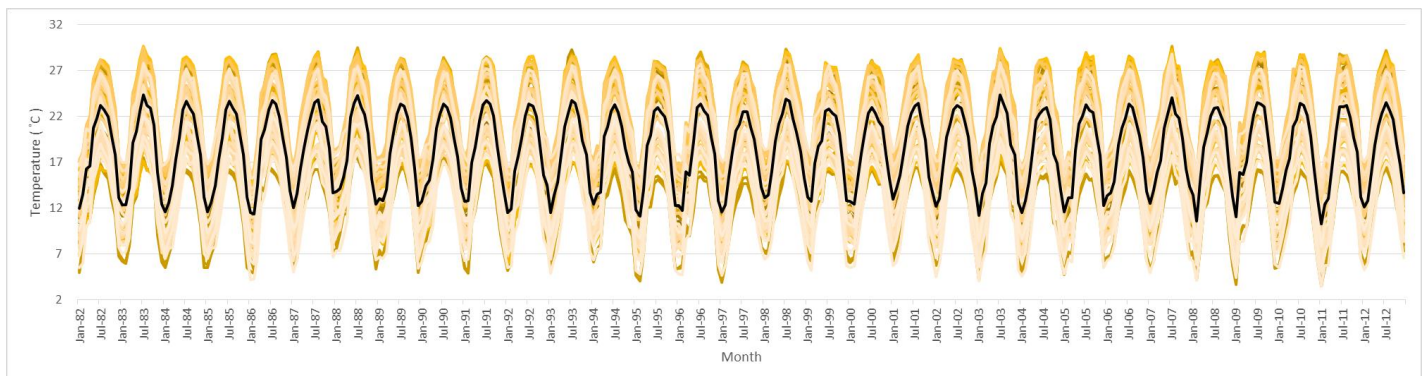


圖 7 集水區溫度時間序列(黑線為平均值)

### 一、進行全台灣集水區分群與影響因子分析

本計畫採用聚合式之 HCA 階層式分群法，以華德最小變異數法作為判斷群聚間距離的演算法。初步成果顯示在第 68 到第 69 階段

時，係數變化率最大(99.7%)，依據 HCA 階層式分群法之聚合定義，最佳之分群階段為第 68 階段，推論出最佳分群數目為 2(圖 8)。但考量臺灣植被與地理環境之空間特性，本研究逐步檢視分群階段所對應之分群數目，建議在第 64 階段所對應之分群數目為 6 時，植被的分群空間形態最能反應出臺灣植被的空間分佈特性。

分群成果空間分佈如圖 9 所示，第一分群共有 22 個集水區，第二分群共有 15 個集水區。第三分群共有 19 個集水區，第四分群共有 8 個集水區，第五分群有 1 個集水區，第六分群有 5 個集水區。第一分群集水區多集中於中央山脈東側，第二分群集水區多分佈於西部平原，第三分群集水區多集中於中央山脈地勢較高處，第四分群集水區多位於西南部，第五分群集水區為大甲溪，第六分群集水區則多聚集於東部。接續本計畫將持續進行此六分群重要影響因子之分析。

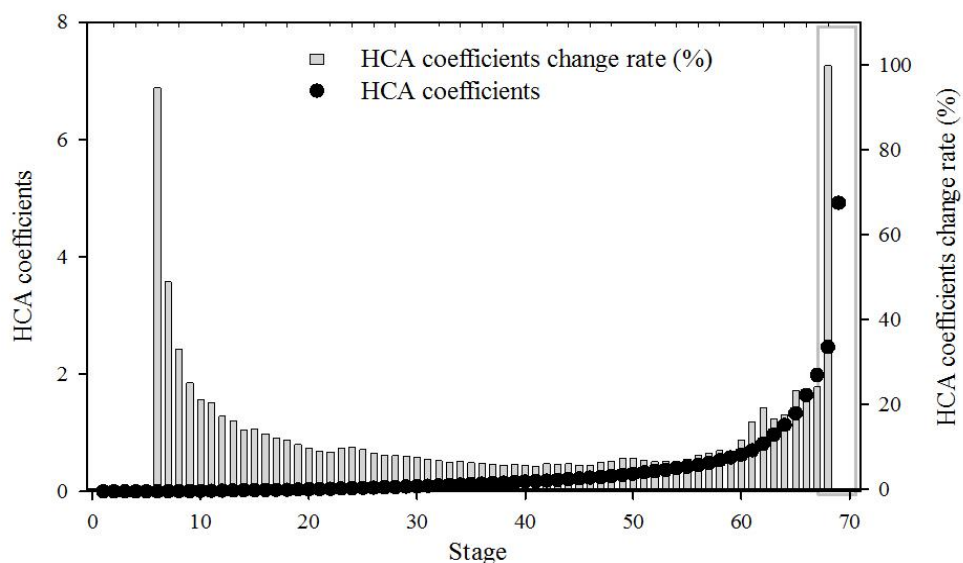


圖 8 HCA 階層式分群法群數凝聚係數及係數變化率

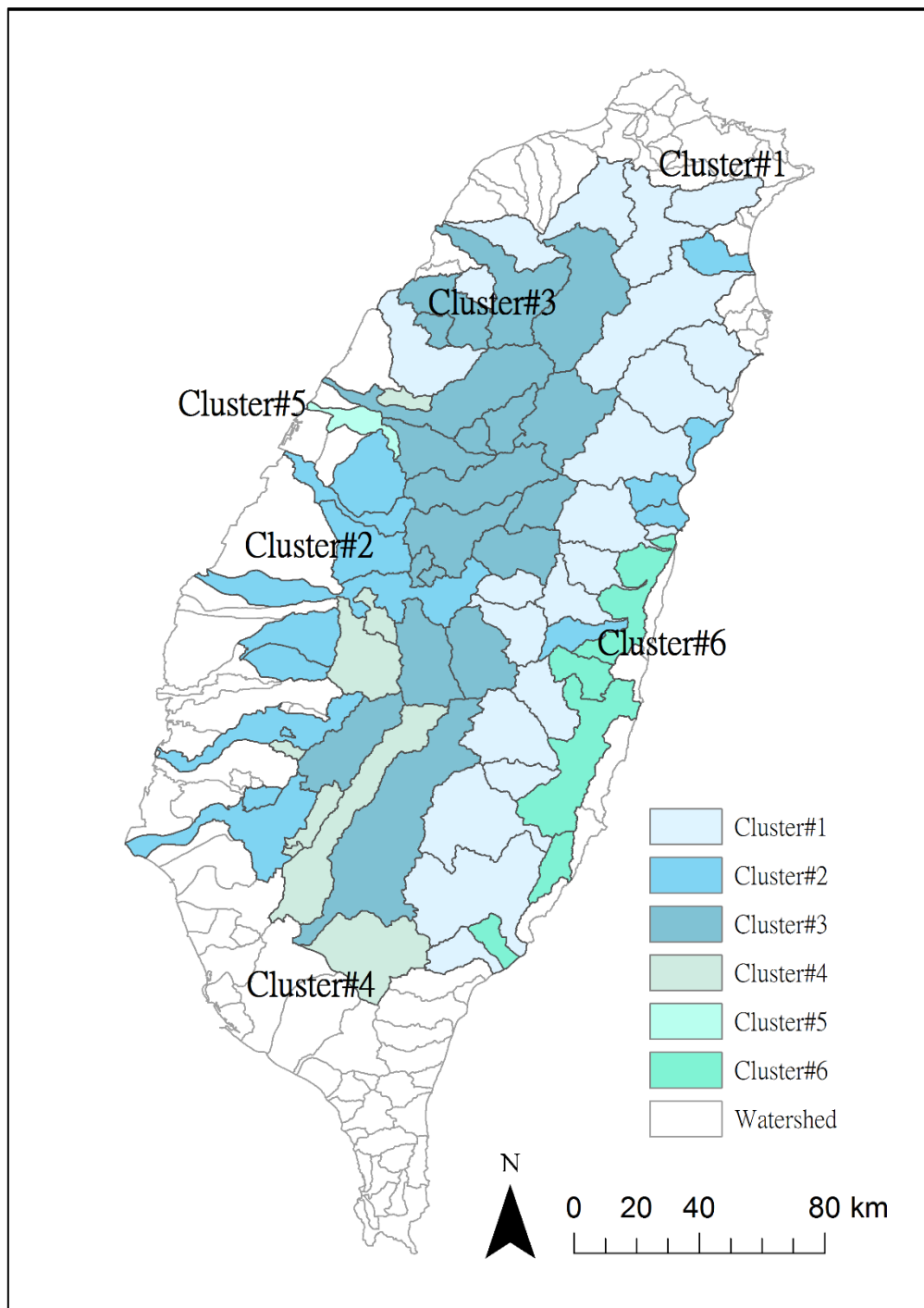


圖 9 集水區分群成果空間分佈圖

## 二、篩選集水區之重要影響因子

本計畫採用 RDA 冗餘分析進行 NDVI 與氣溫、雨量、坡度以及坡向四項因子之分析。其中坡向部分包含平坦坡(Flat)、北向坡(N)、東北向坡(NE)、東向坡(E)、東南向坡(SE)、南向坡(S)、西南向坡(SW)、西向坡(W)以及西北向坡(NW)九種坡向，因此共有 12 個分析因子。

初步成果顯示，氣溫、雨量、坡度以及坡向四項因子可解釋約 52% 的 NDVI 變異量，如表 4 所示。在月份方面，一至三月、七至八月以及十一至十二月皆有超過 50% 的累積解釋變異量。表 5 為各因子對於 NDVI 變異性的解釋能力與統計顯著程度。整體而言，依據統計顯著程度，對於集水區之重要影響因子共有 9 個，分別是坡度(Slope)、溫度(Temp)、平坦坡(Flat)、東北向坡(NE)、雨量(Rain)、東向坡(E)、東南向坡(SE)、西向坡(W)以及西北向坡(NW)。

坡度因子(Slope)具有最高的解釋能力(35.2%,  $p < 0.001$ )(表 5)，溫度(Temp)、平坦坡(Flat)、東北向坡(NE)以及雨量(Rain)分別具有 27.8%、17.2%、11.2%以及 10.6%的解釋能力( $p < 0.001$ )。東向坡(E)、東南向坡(SE)與西向坡(W)對於 NDVI 的解釋能力約有 5% ( $p < 0.05$ )。西北向坡(NW)有 3.6%的解釋能力( $p < 0.10$ )。由此結果表示台灣上游集水區的 NDVI 與自然環境因子顯著相關。

圖 10 至圖 13 為 RDA 分析成果圖，本計畫以 NDVI 為反映變

量(response variables, RVs)；氣溫、雨量、坡度以及坡向因子為解釋變量(explanatory variables, EVs)；各集水區為案例(Samples)。以下為 RDA 圖像說明簡介。RVs 和 EVs 皆以箭頭表示；各集水區為案例(Samples)以圓圈表示。圖中箭頭指向表示圖中變量值的增加方向，其長度與此變量變化率成正比。通過將各集水區案例(圓圈)垂直於 RV 或 EV 箭頭投影，可獲得案例的 RV 或 EV 值之近似排序。若各集水區案例(圓圈)垂直於 RV 或 EV 箭頭投影越接近坐標系原點(圖中虛線交叉處)，即表示此案例的 RV 或 EV 值相近於該 RV 或 EV 的平均值。各集水區案例點(圓圈)垂直於 RV 或 EV 箭頭，若與箭頭同方向則表示該案例的值高於平均值，若與箭頭反方向則表示該案例的值低於平均值。箭頭的相對方向近似於變量之間的線性相關係數。若 EV 箭頭指向與 RV 箭頭指向相似，則 RV 值與 EV 值正相關。任何兩個箭頭之間的角度餘弦表示它們彼此的關係。若箭頭直角相交，則這兩個變量具有低（接近零）的相關性。

表 4 各月份 NDVI 之 RDA 第一軸、第一與第二軸以及全部，

## RDA 軸的累積解釋變異量

| NDVI    | Axis 1 | Axis 1 and 2 | Total |
|---------|--------|--------------|-------|
| JAN     | 46.72  | 58.22        | 58.52 |
| FEB     | 57.39  | 63.80        | 64.51 |
| MAR     | 60.83  | 63.97        | 66.20 |
| APR     | 42.00  | 43.74        | 47.60 |
| MAY     | 5.10   | 5.96         | 35.22 |
| JUN     | 19.31  | 26.68        | 33.46 |
| JUL     | 48.56  | 61.10        | 63.76 |
| AUG     | 41.80  | 58.96        | 60.19 |
| SEP     | 27.30  | 38.39        | 45.12 |
| OCT     | 39.20  | 41.31        | 46.42 |
| NOV     | 49.65  | 50.72        | 52.08 |
| DEC     | 51.05  | 55.93        | 56.70 |
| Average | 40.74  | 47.40        | 52.48 |

表 5 各因子對 NDVI 變異性的解釋能力

| Name of variable | Explains % |
|------------------|------------|
| Slope            | 35.2****   |
| Temp             | 27.8****   |
| Flat             | 17.2****   |
| NE               | 11.2****   |
| Rain             | 10.6****   |
| E                | 5.9**      |
| SE               | 5.7**      |
| W                | 5.2**      |
| NW               | 3.6*       |
| SW               | 2.7        |
| N                | 2.5        |
| S                | 0.3        |

\*\*\*\* $p < 0.001$ ; \*\*\* $p < 0.01$ ; \*\* $p < 0.05$ ; \* $p < 0.10$

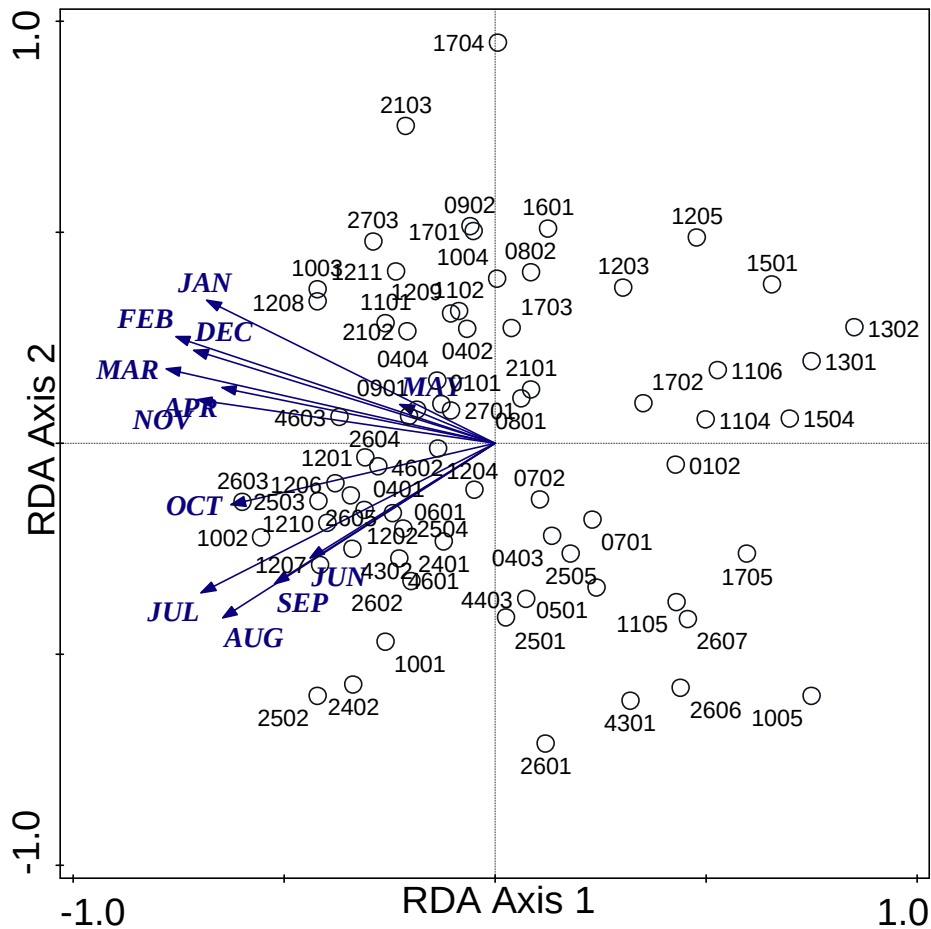


圖 10 各月份 NDVI 與集水區之 RDA 分析成果

圖 10 為各月份 NDVI 與集水區之 RDA 分析成果，由各月份 NDVI 箭頭的長度可得知此月份的 NDVI 變異性能夠被解釋變量(各因子)解釋的多寡。由圖 10 所示，一至三月、七至八月以及十一至十二月的箭頭長度相對較長，表示解釋變量能夠有效地解釋這些月份的 NDVI 變異性，此結果也與表 4 成果相符(上述月份皆有超過 50%的累積解釋變異量)。另外月份箭頭的夾角即表示其相關程度，角度夾角越小表示其相關程度越高。由圖 10 顯示，發現六到九月的箭頭較為

聚集，十一至五月的箭頭較為聚集，此聚集現象是否與氣候變遷所帶來的影響相關，是個值得繼續探討的議題。

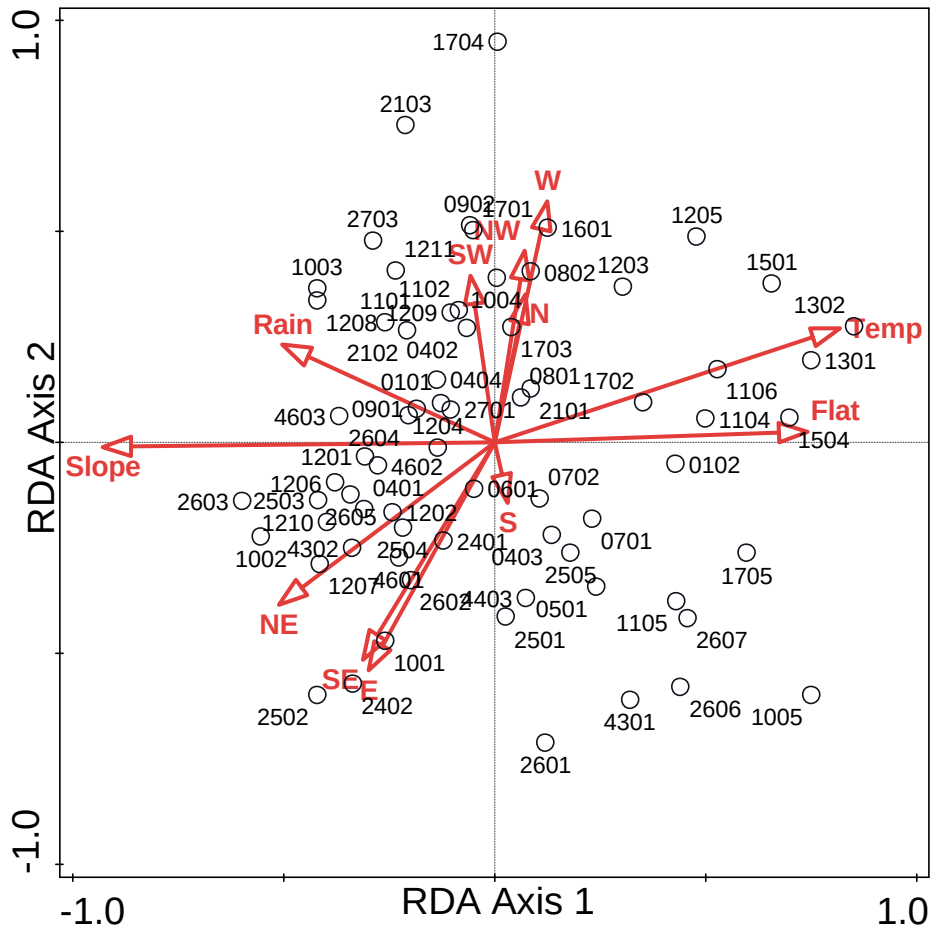


圖 11 各因子與集水區之 RDA 分析成果

圖 11 呈現出各因子的解釋能力以及各因子與集水區的關聯性。

箭頭長度即為各因子的解釋能力，綜合表 5 成果，坡度因子(Slope)具有最高的解釋能力，溫度(Temp)與平坦坡(Flat)次之。雨量(Rain)、東北向坡(NE)、東向坡(E)、東南向坡(SE)、西向坡(W)及西北向坡(NW)對於 NDVI 的解釋能力各有不同。

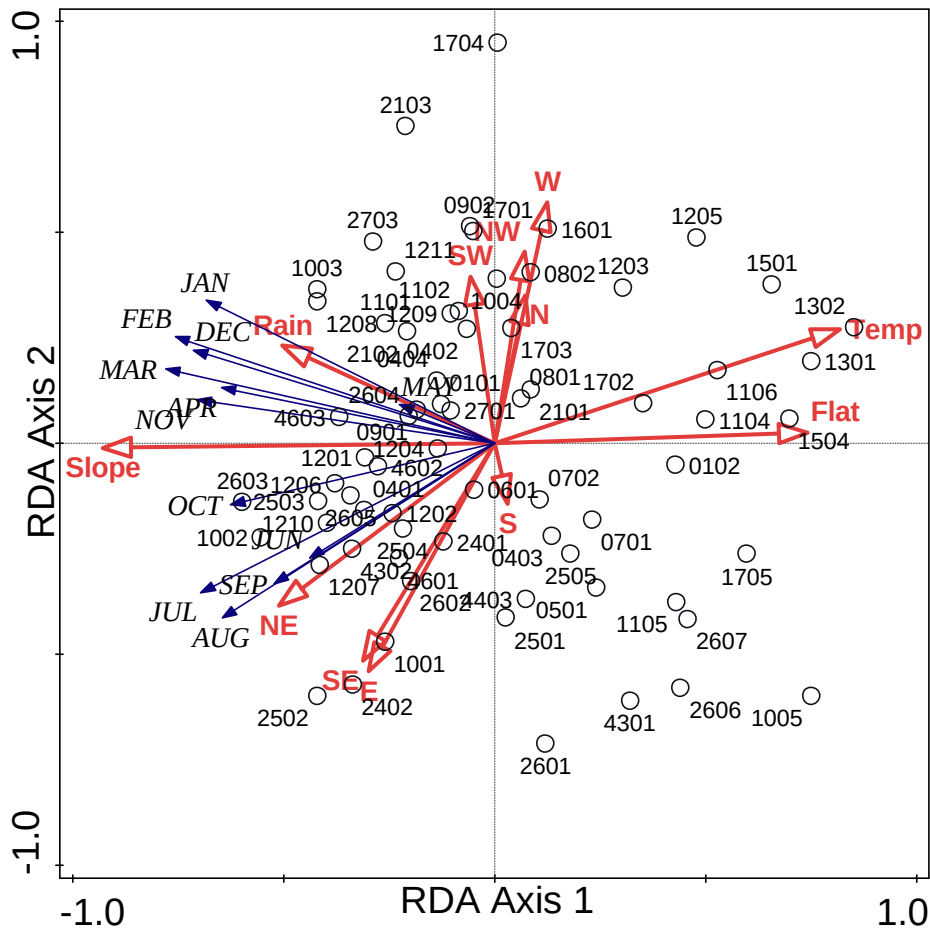


圖 12 各月份 NDVI、各因子與集水區之 RDA 分析成果

圖 12 呈現反應變量 NDVI 與解釋變量各因子的相互關係。根據上述 RDA 圖像說明，箭頭指向與夾角可表示彼此的相關性。由圖 12 顯示，坡度(Slope)、雨量(Rain)、東北向坡(NE)、東向坡(E)和東南向坡(SE)與 NDVI 的箭頭指向相似，因此可得知這些因子與 NDVI 具有正相關關係。由角度而言，十一月到三月的 NDVI 與雨量夾角接近且箭頭指向接近，表示十一月到三月的 NDVI 受到雨量的正向影響。

溫度(Temp)與平坦坡(Flat)與 NDVI 的箭頭指向相反，因此可得

知這些因子與 NDVI 具有負相關關係。此現象可推測與人類活動有關，平坦坡地區通常也是低地，人類活動相對頻繁，因此 NDVI 有極大的可能性因為人類對於土地的擾動而降低(例如土地利用由森林改變為都市用地等)。

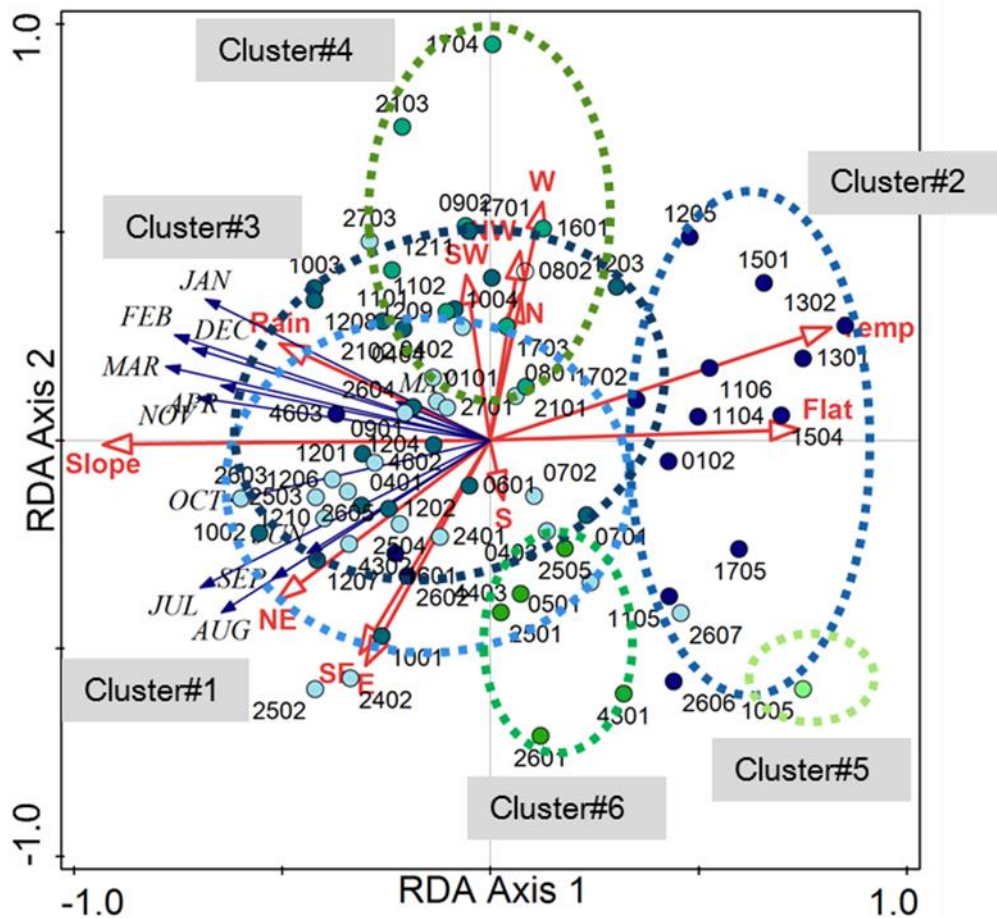


圖 13 各月份 NDVI 和各因子 RDA 結合集水區分群成果

圖 13 呈現集水區 HCA 階層式分群法分群成果與 RDA 分析成果之結合。由圖中分群成果之空間分佈可歸納出分群之特徵，第一分群(淺藍色圓圈)多位於圖中中央與中央偏左部分，顯示此群之 NDVI 較高、雨量(Rain)較多且平均坡度(Slope)較高。第二分群(深藍色圓圈)

多位於圖中右側，顯示此群之 NDVI 較低、雨量較少、平均坡度較低、溫度(Temp)較高且坡向為平坦坡(Flat)居多。第三分群(靛色圓圈)分布於圖中偏左，與第一分群之位置相似，顯示此兩群之特徵相似，唯此分群的西向和北向坡較多。第四分群(墨綠色圓圈)位於圖中上方，西向和北向坡為主要坡向，平均坡度中等。第五分群(淺綠色圓圈)位於圖中右側下方，顯示其高溫及平坦的特性。第六分群(綠色圓圈)位於圖中中央下方偏右處，顯示其溫度和坡度皆與此 70 個集水區的平均相近的特性。

### 三、探討集水區分群在氣候變遷模擬情境下之變化

本計劃以 IPCC 跨政府氣候變遷專門委員會第五次氣候評估報告 AR5 的四種情境進行評估各分群之氣候變遷，四種情境包括 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 及 RCP8.5，以輻射強迫力(radiative forcing)在 2100 年與 1750 年之間的差異量當作指標。RCP2.6 的情境代表每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 2.6 瓦，而 RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5 則代表每平方公尺的輻射強迫力分別增加了 4.5、6.0 與 8.5 瓦。在這四種情境中，RCP2.6 代表暖化減緩情境(輻射強迫力在 2100 年呈減少趨勢)；RCP4.5 與 RCP6.0 屬於穩定情境(輻射強迫力的變化在 2100 年呈較為穩定狀態)；RCP8.5 則是溫室氣體高度排放的情境(輻射強迫力在 2100 年呈持續增加趨勢)。

本計劃根據 Lin and Tung (2017)之建議，選用適用於台灣的 HadGEM2-AO 模式(Hadley Global Environment Model 2, National Institute of Meteorological Research, Seoul, South Korea)進行各分群雨量改變率(%)及溫度改變量(°C)的評估；評估時期分為 2021 至 2040 年、2041 至 2060 年、2061 至 2080 年及 2081 至 2100 年；評估季節分為冬(12 月至 2 月)、春(3 月至 5 月)、夏(6 月至 8 月)及秋(9 月至 11 月)。以下將針對各分群時間與空間上的氣候變遷進行探討。

#### (一) 各分群時間上的氣候變遷

圖 14 與圖 15 為各分群之冬春夏秋四季於 2021-2040 年、2041-2060 年、2061-2080 年及 2081-2100 年在四種氣候變遷情境下之平均雨量變化率及溫度變化量直方圖。在雨量變化率方面（圖 14），在 2021-2040 年期距時，冬春夏三季雨量幾乎都被預測減少（雨量變化率為負值），冬季雨量的減少幅度最大，但在 RCP6.0 情境中冬季被預測增加（雨量變化率為正值），秋季雨量則在各情境中各有增減預測。在 2041-2060 年期距時，冬春夏三季雨量也幾乎都被預測減少，唯冬季雨量在 RCP6.0 情境和夏季雨量在 RCP2.6 情境下被預測增加，秋季雨量在各情境中較一致的被預測增加。於 2061-2080 年期距時，春夏三季雨量也都被預測減少，冬季雨量的減少更為明顯，在第二與第四分群中皆有超過 50%的減少率，秋季雨量則在各情境中各有增

減預測。於 2081-2100 年期距時，冬春兩季呈現一致性的雨量減少，夏季雨量則在各情境中各有增減預測，秋季雨量在各分群中皆一致被預測增加。

在溫度變化量方面（圖 15），各分群冬春夏秋四季於 2021-2040 年、2041-2060 年、2061-2080 年及 2081-2100 年在四種氣候變遷情境下都呈現一致性的增加（溫度增加量為正值），增加的幅度大致隨時間呈正比，最高預測增溫 3.5 度。在 2021-2040 年期距時，以 RCP4.5 在春季預測的增溫最高（1 到 1.5 度），RCP6.0 與 RCP8.5 所預測的增溫幅度皆較低。在 2041-2060 年期距時，以 RCP6.0 所預測的增溫幅度較低，其餘情境所預測的增溫幅度常高於 1 度；以季節而言，冬春兩季比夏秋兩季增溫的幅度高，夏季的 RCP2.6 情境增溫的幅度最少（約 0.5 度）。於 2061-2080 年期距時，夏季的 RCP2.6 情境增溫的幅度最少（約 0.5 度），僅於第三分群例外；RCP8.5 情境常出現高於 2 度的預測。於 2081-2100 年期距時，RCP2.6 情境增溫幅度最少，特別在夏季（小於 1 度）。RCP8.5 情境常出現高於 3 度的預測。

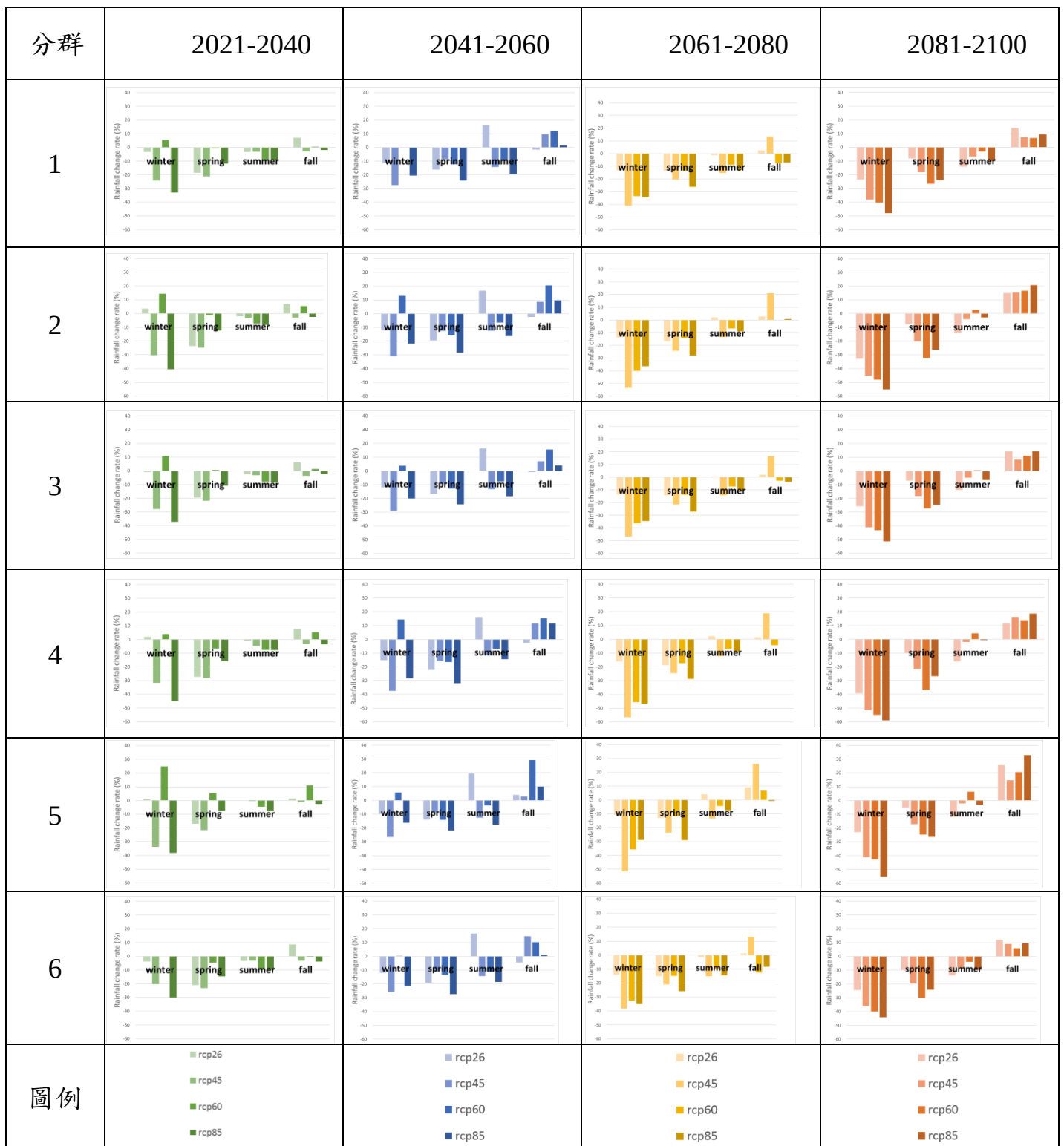


圖 14 各分群之四季於 2021-2040 年、2041-2060 年、2061-2080 年及 2081-2100 年四種氣候變遷情境下之雨量變化率



圖 15 各分群之四季於 2021-2040 年、2041-2060 年、2061-2080 年及 2081-2100 年四種氣候變遷情境下之溫度變化量

為更清楚各分群季節性的氣候變遷，本研究將四種情境(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 及 RCP8.5) 冬春夏秋的雨量變化率和溫度變化量預測值進行平均(圖 16)。由圖 16 可見，在雨量變化率方面，秋季(9 月至 11 月)的雨量變化率為正值，顯示雨量增多，約為 10%左右，第四及第五分群則在 2081-2100 年期距時有高於 10%的預測。冬春夏三季的雨量變化率皆為負值，表示雨量減少。其中春季(3 月至 5 月)的雨量變化率較夏季(6 月至 8 月)為大；另外冬季之雨量變化率在 2061-2080 及 2081-2100 年時出現十分明顯的下降。

在氣溫變化量部分，整體呈現逐漸增溫趨勢，增溫幅度為 0.5°C 至 2°C 左右。春季及冬季的增溫量較夏季及秋季多。除第三分群於 2061-2080 年時之增溫到達最高峰，2081 至 2100 年時趨勢持平減緩之外，其他分群的增溫幅度由 2021 開始逐漸升高至 2100 年。

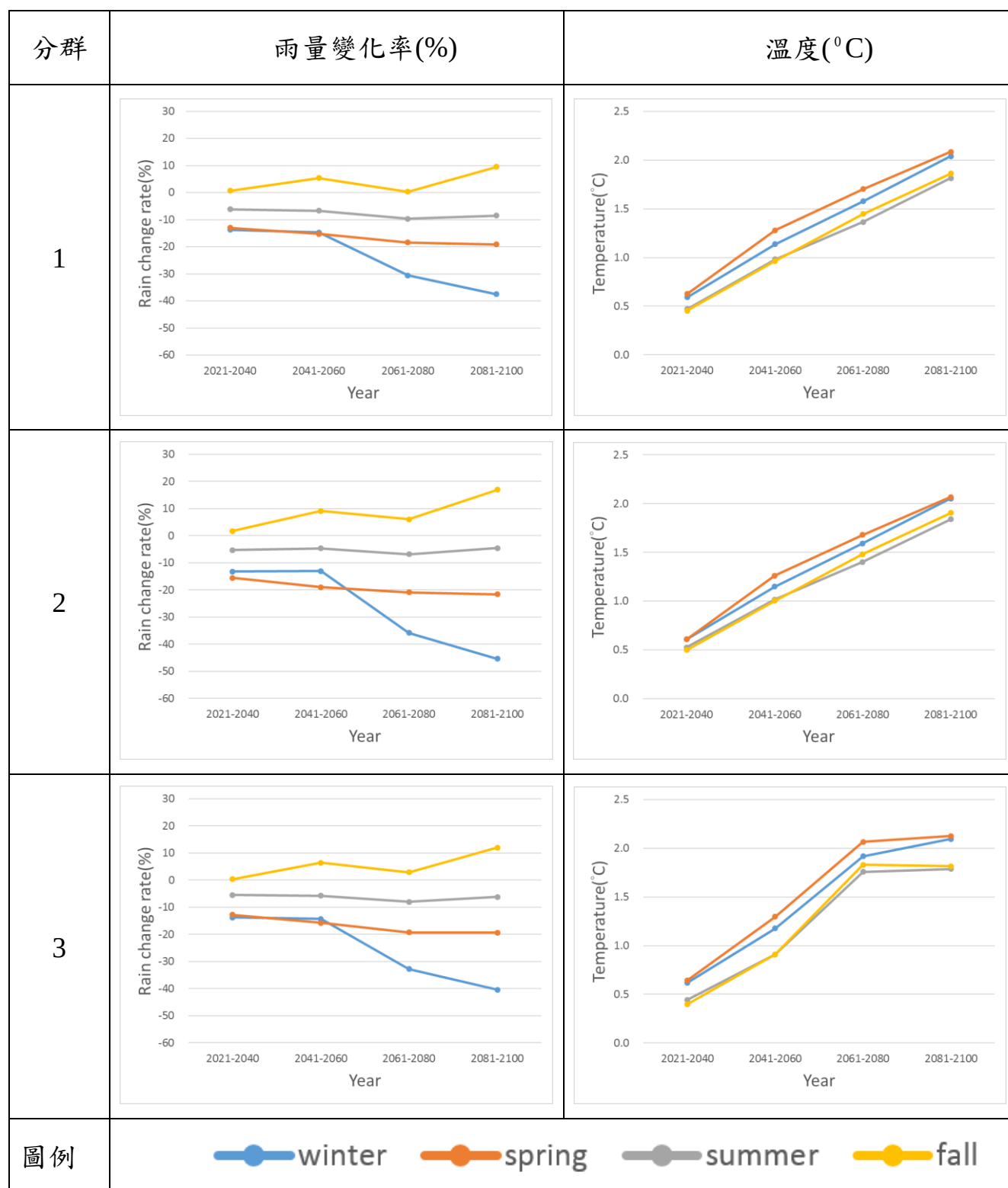


圖 16 各分群之四季於 2021-2040 年、2041-2060 年、2061-2080 年及 2081-2100 年在四種氣候變遷情境下之平均雨量變化率及溫度變化量

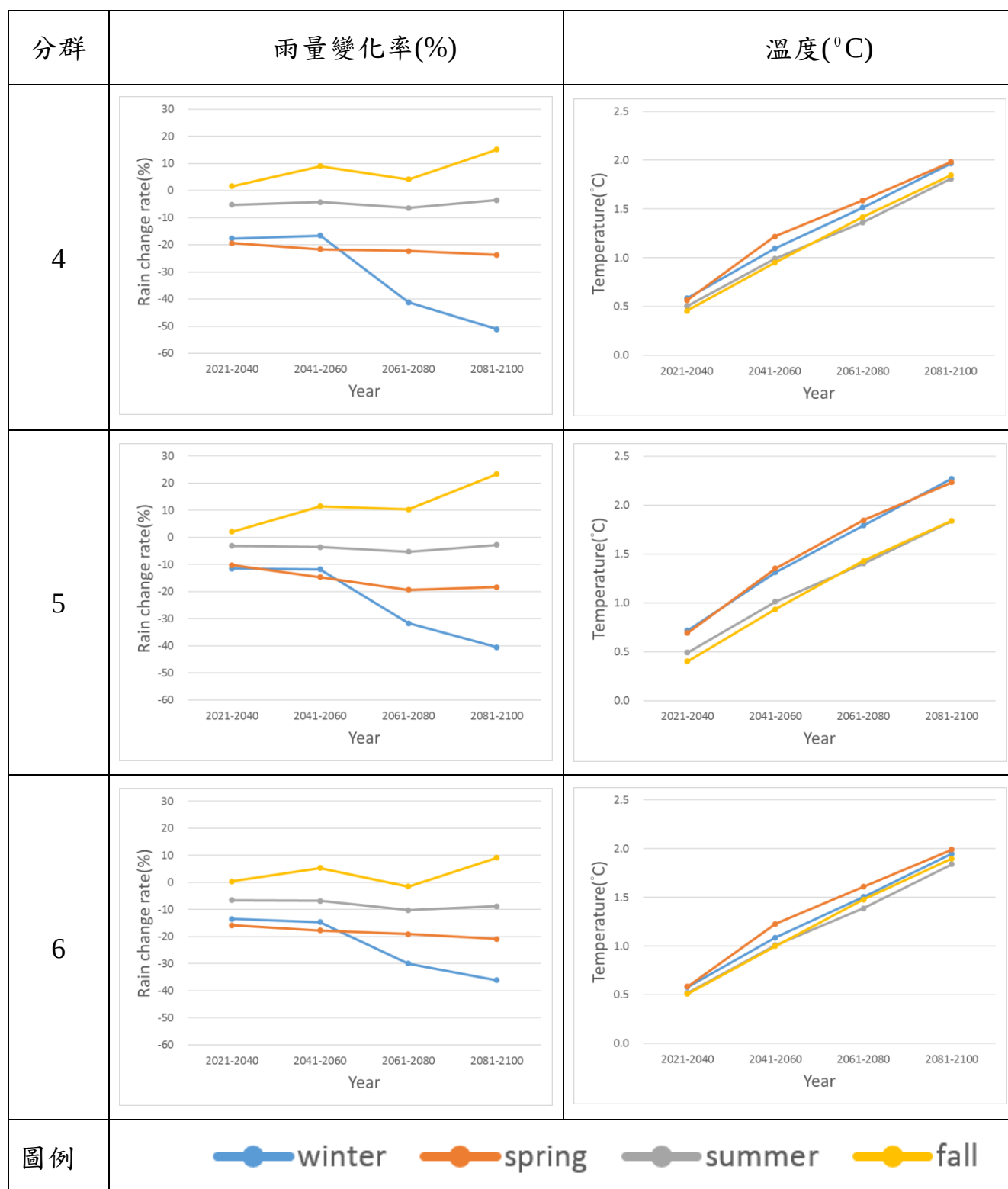


圖 17 (續)

## （二）各分群空間上的氣候變遷

圖 18 為 2021-2040 年期距時，四種氣候變遷情境下冬春夏秋四季的雨量變化率空間分佈。在 RCP2.6 情境下，冬季的雨量於第二、第四和第六分群中增加，在第一分群中減少。春季雨量普遍減少，尤其在第二與第四分群減少最明顯，表示第二與第四分群的雨量在冬春兩季時變化很劇烈。夏季時第一分群的雨量減少，其餘分群增加但幅度不大。秋季雨量減少幅度也不大，主要發生於第二與第五分群範圍。

在 RCP4.5 情境下，四季的雨量皆呈現減少，其中以冬春兩季減少的幅度最大（達減少 36%），主要發生在第二分群及第三及第四分群的南部地區；夏季雨量減少發生於第二分群的東部及第四分群；秋季雨量減少幅度較大的地區為第三分群的北部。

在 RCP6.0 情境下，冬春兩季的雨量變化率空間分佈較為相近，皆為中北部增加（第一與第三分群），東部及南部地區減少（第二、第四及第六分群），另外其中冬季的增加幅度較大，春季較小。夏季全台雨量減少，由以東北部（第一分群）和西南部（第二與第四分群）較為明顯。秋季時，第一和第二分群的東部雨量減少，第二分群的西部雨量增加。

在 RCP8.5 情境下，冬春夏三季的雨量皆有減少，冬季減少的幅度最大，以第二、第三與第四分群範圍為主；春季雨量減少的範圍以

第四和第六分群範圍與第二分群的東部為主。夏季雨量減少的範圍集中於中偏東地區，以第一和第六分群範圍為主。秋季雨量除在第一分群的北部與第三分群的南部增加之外，其餘地區略為減少。

圖 19 為 2041-2060 年期距時，四種氣候變遷情境下冬春夏秋四季的雨量變化率空間分佈。在 RCP2.6 情境下，冬春兩季的雨量變化率空間分佈相似，皆為中南部減少幅度較大（第二、第三及第四分群），春季的變化幅度也較冬季大。夏季整體呈現雨量增加，秋季時雨量增加的空間縮小至中偏北部（第一與第三分群的北部），另秋季雨量在東部有減少現象（第一分群東部與第六分群）。

在 RCP4.5 情境下，冬春兩季的雨量變化率空間分佈相似，皆為中南部減少幅度較大（第二、第三及第四分群），但冬季的變化幅度較春季大。夏季則空間分佈幾乎完全相反，變成北部地區減少幅度較大（第一分群與第二分群的東部）。秋季西北部地區小幅減少（第三分群的北部及第五分群），東南部增加。

在 RCP6.0 情境下，四季呈現明顯差異。冬季東北部減少但西南部增加；春季雨量整體減少，以西南部為最。夏季以東半部減少較明顯，秋季雨量整體增加。在 RCP8.5 情境下，冬春兩季的雨量變化率空間分佈相似，皆為中南部減少幅度較大，但春季的變化幅度較冬季大。夏季則變成東北部減少。秋季雨量於東部呈現小幅減少。

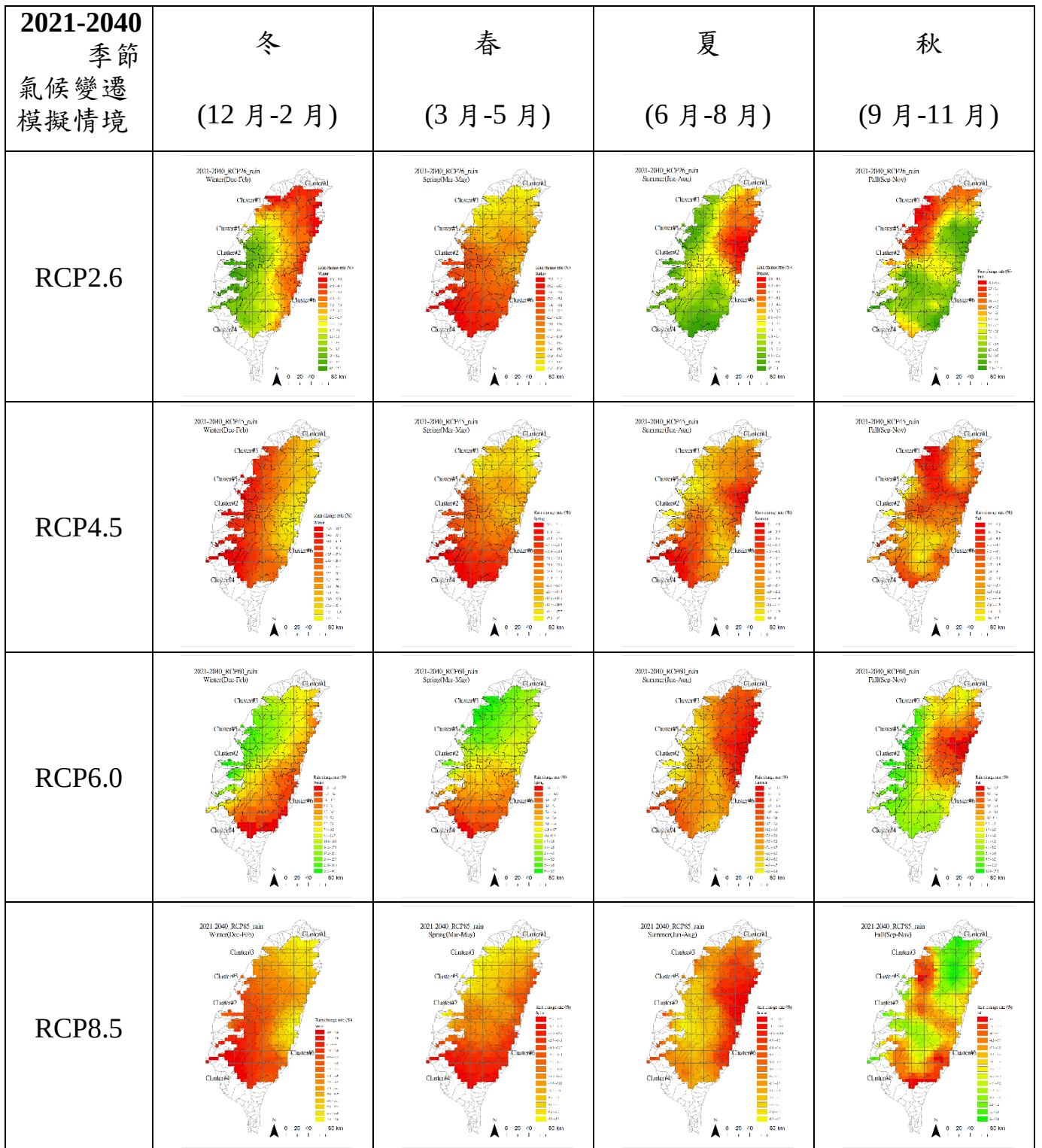


圖 18 雨量於 2021 至 2040 年氣候變遷模擬情境之季節變化

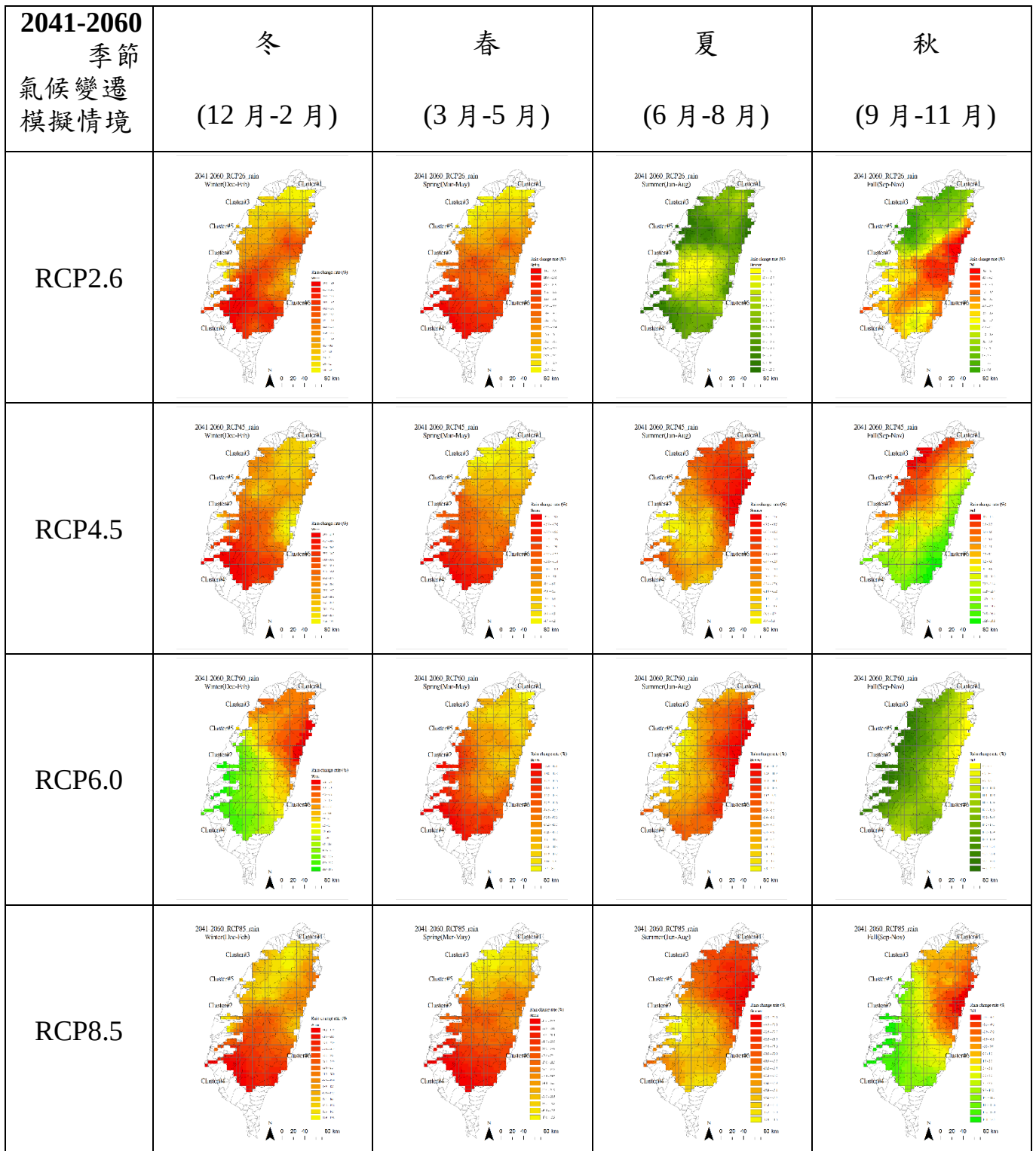


圖 19 雨量於 2041 至 2060 年氣候變遷模擬情境之季節變化

圖 20 與圖 21 分別為 2061-2080 年和 2081-2100 年期距時，四種氣候變遷情境下冬春夏秋四季的雨量變化率空間分佈。由圖 20 顯示，在 RCP2.6 情境下，冬春兩季的雨量變化率空間分佈相似，皆為中南部減少幅度較大，春季的變化幅度較冬季大。夏季則變成東北部減少。秋季雨量於第一分群的東部中段呈現小幅減少。

在 RCP4.5 情境下，同樣呈現冬春兩季的雨量變化率空間分佈相似，但冬季的變化幅度較春季大。夏季的雨量減少發生於東北部。秋季雨量則呈現由東往西南的整體增加。在 RCP6.0 情境下，冬春兩季的雨量變化率空間分佈相似，中南部減少幅度較大，春季的變化幅度較冬季大。夏季雨量則在東偏北部減少。秋季西半部雨量增加，但東半部雨量減少。在 RCP8.5 情境下，冬春夏季雨量皆為減少，尤其以冬季的減少最為明顯，夏季雨量由東北向西南方向逐漸減少，秋季雨量則在西南部增加，北部及東部雨量減少。

圖 21 為 2081-2100 年期距時的變化情形，在 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 情境中，冬春兩季的雨量變化率空間分佈皆相似，以中南部減少幅度較大。夏秋兩季雨量變化率在 RCP4.5、RCP6.0 和 RCP8.5 情境中情況相似，皆為西南部增加，東部與東北部雨量減少。但在 RCP2.6 情境中，秋季雨量呈現整體增加。

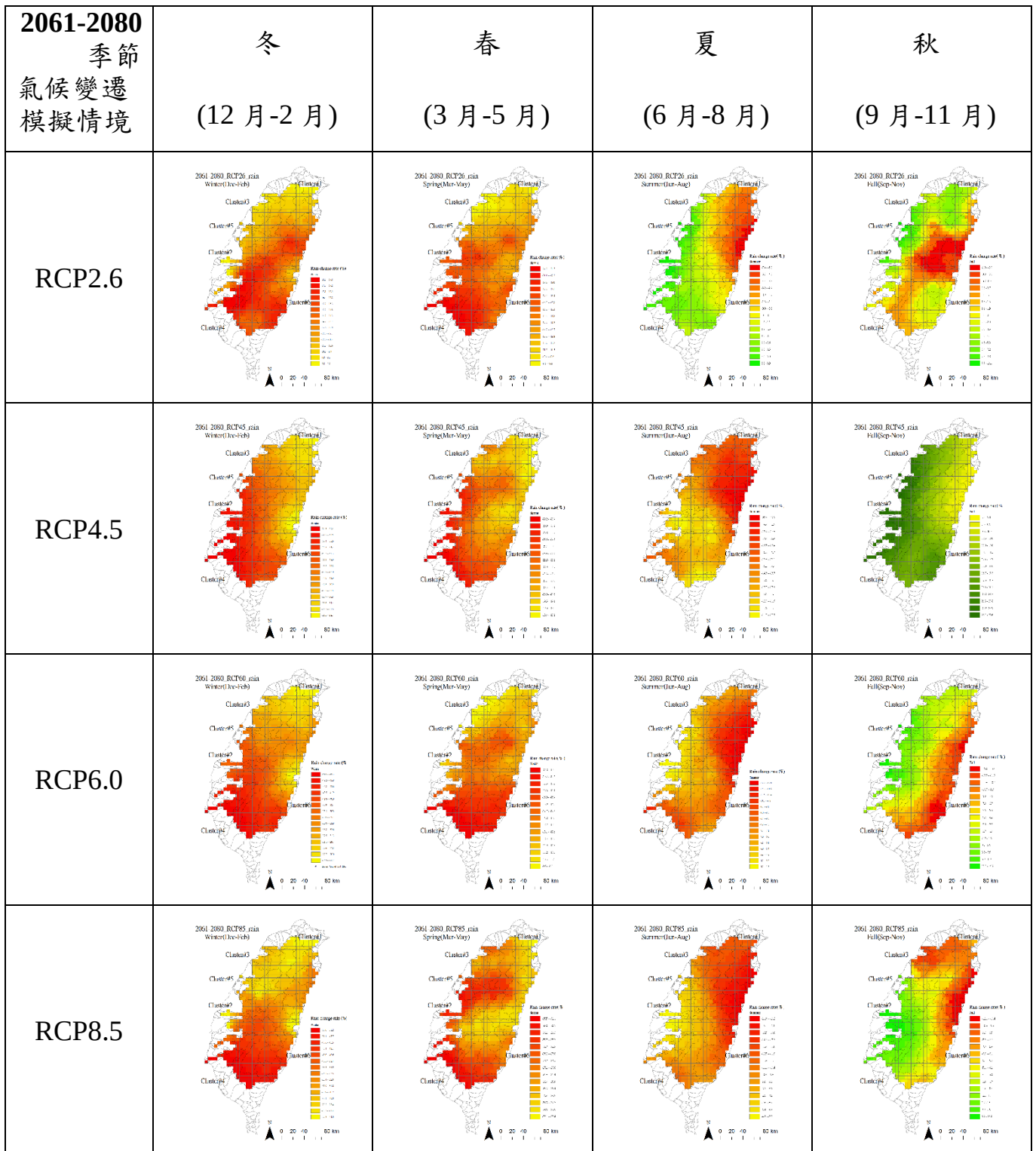


圖 20 雨量於 2061 至 2080 年氣候變遷模擬情境之季節變化

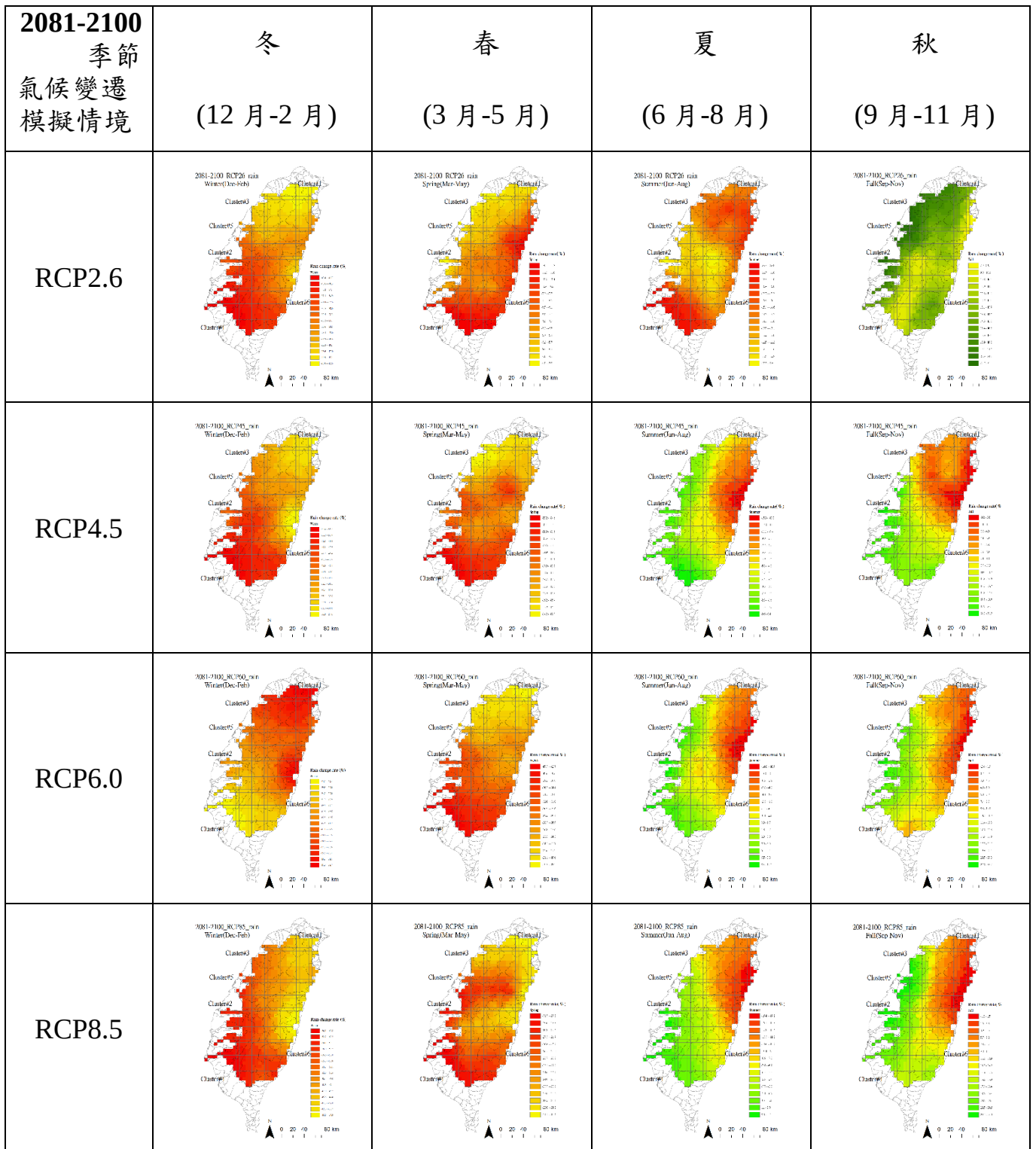


圖 21 雨量於 2081 至 2100 年氣候變遷模擬情境之季節變化

圖 22、圖 23、圖 24、與圖 25 分別為 2021-2040 年、2041-2060 年、2061-2080 年和 2081-2100 年期距時，四種氣候變遷情境下冬春夏秋四季的溫度變化量空間分佈。由於在四種期距內，四種氣候變遷情境所預測的溫度改變量在空間分佈上極為相似，因此將僅以季節性的差異進行討論。

冬季(12 月-2 月)時，增溫幅度由西北至東南遞減，在第一分群的西北、第三分群的西北與第五分群範圍內的增溫較為明顯。春季(3 月-5 月)時，增溫幅度較冬季明顯，空間分佈由西北至東南遞減，但北部的增溫範圍擴大了許多。夏季(6 月-8 月)的增溫在中部地區較少，推測與中央山脈的植被覆蓋有關。秋季(9 月-11 月)的增溫同樣在中部地區較少，但增溫的幅度較夏季為高。

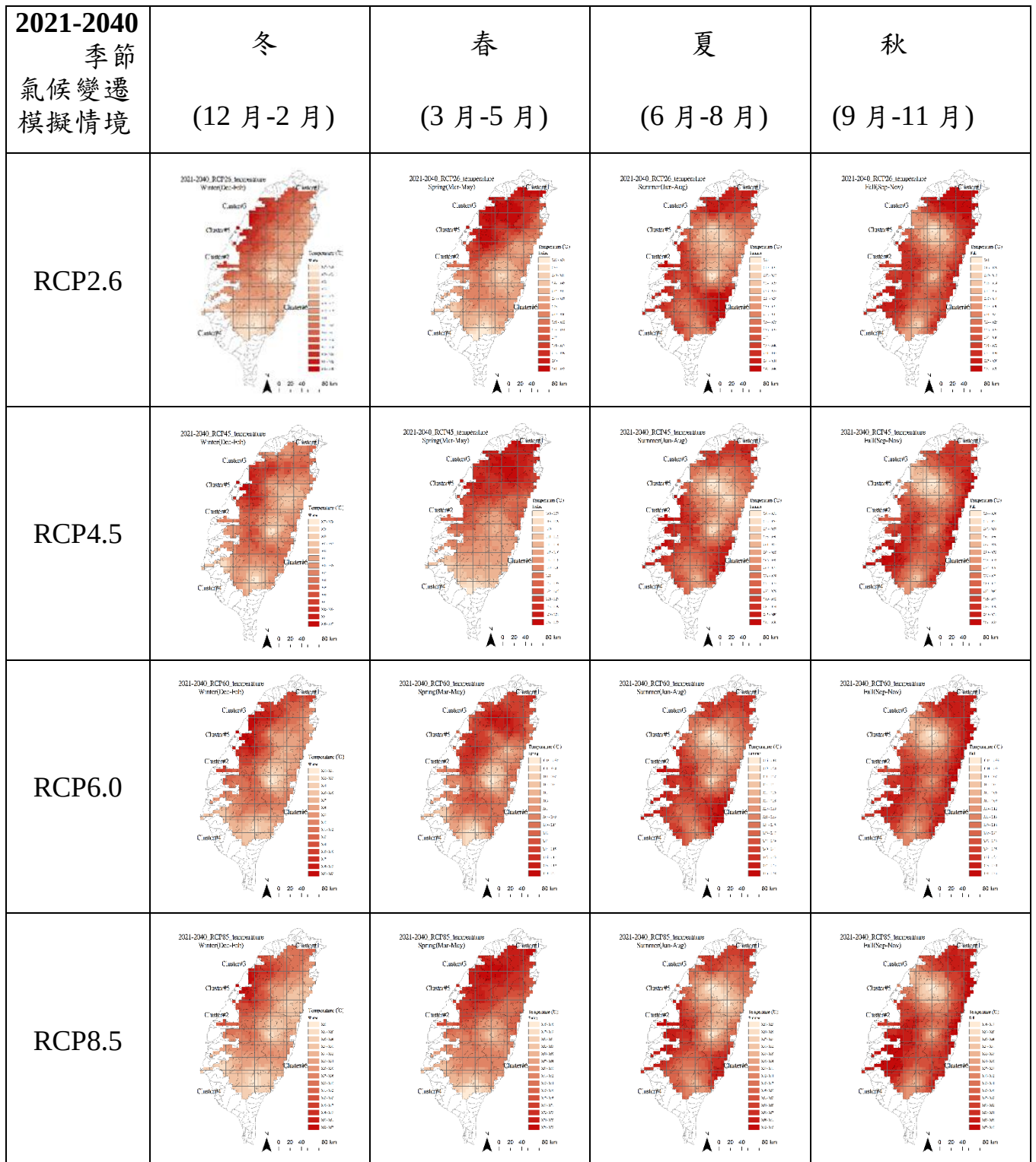


圖 22 溫度於 2021 至 2040 年氣候變遷模擬情境之季節變化

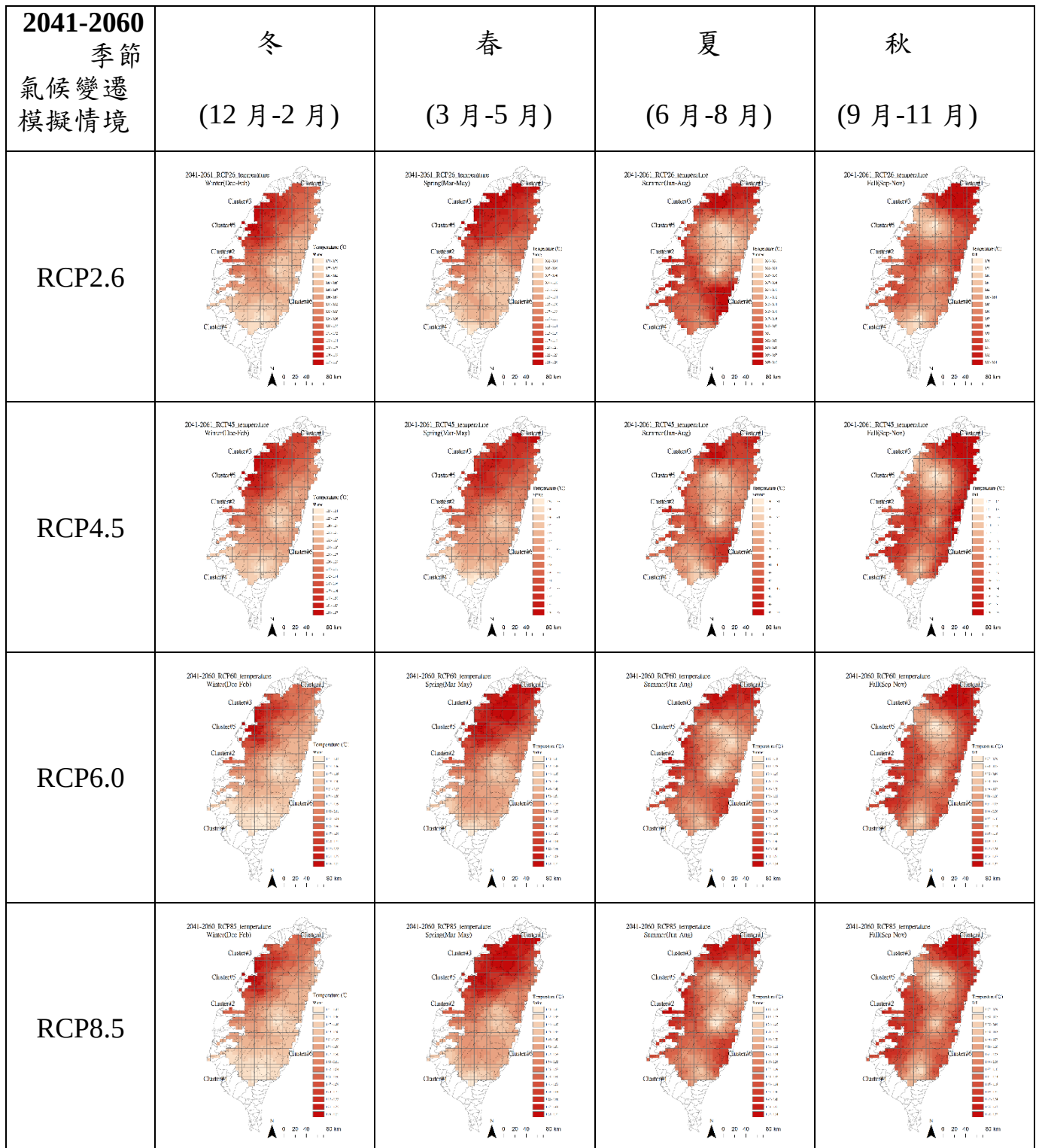


圖 23 溫度於 2041 至 2060 年氣候變遷模擬情境之季節變化

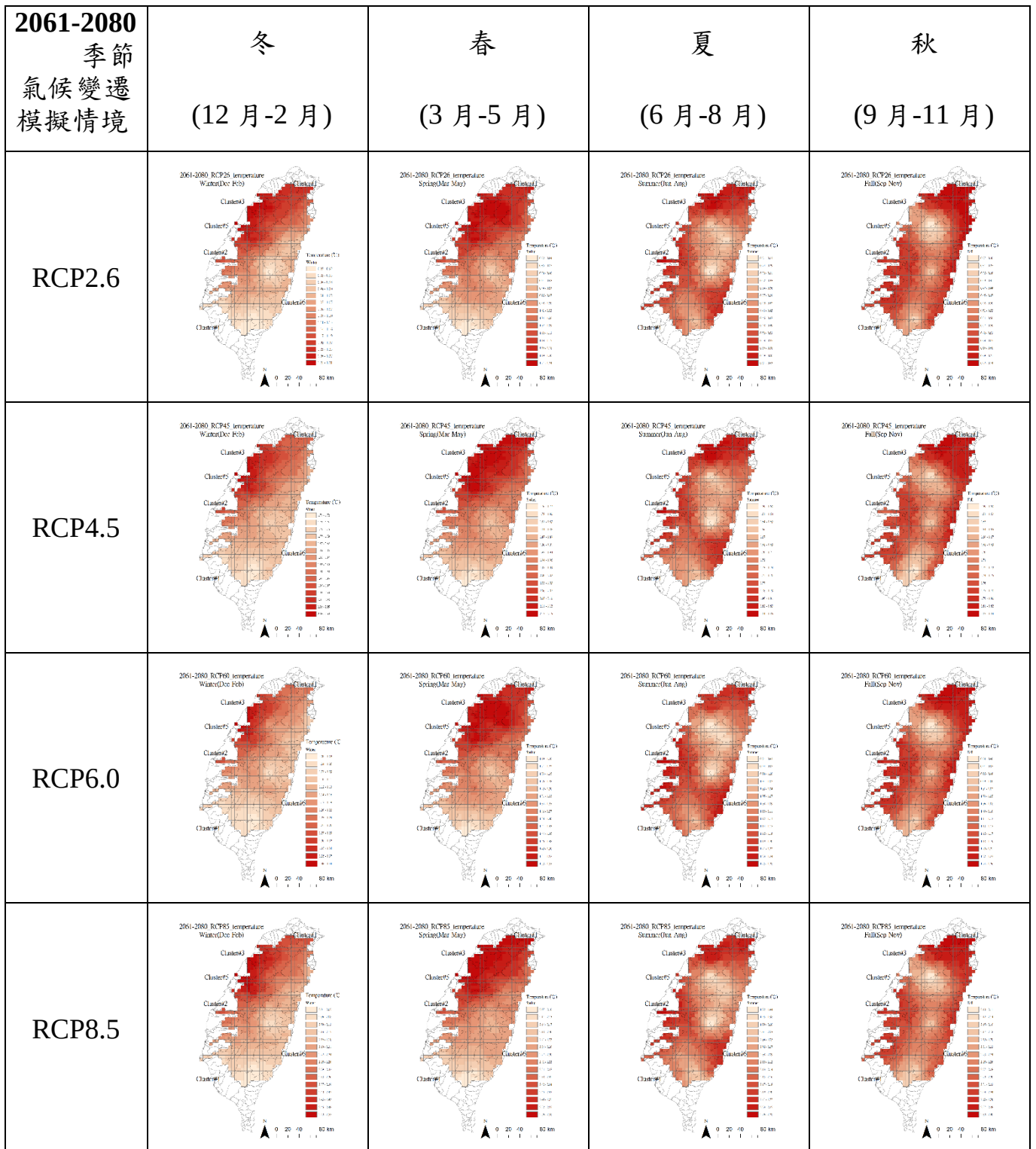


圖 24 溫度於 2061 至 2080 年氣候變遷模擬情境之季節變化

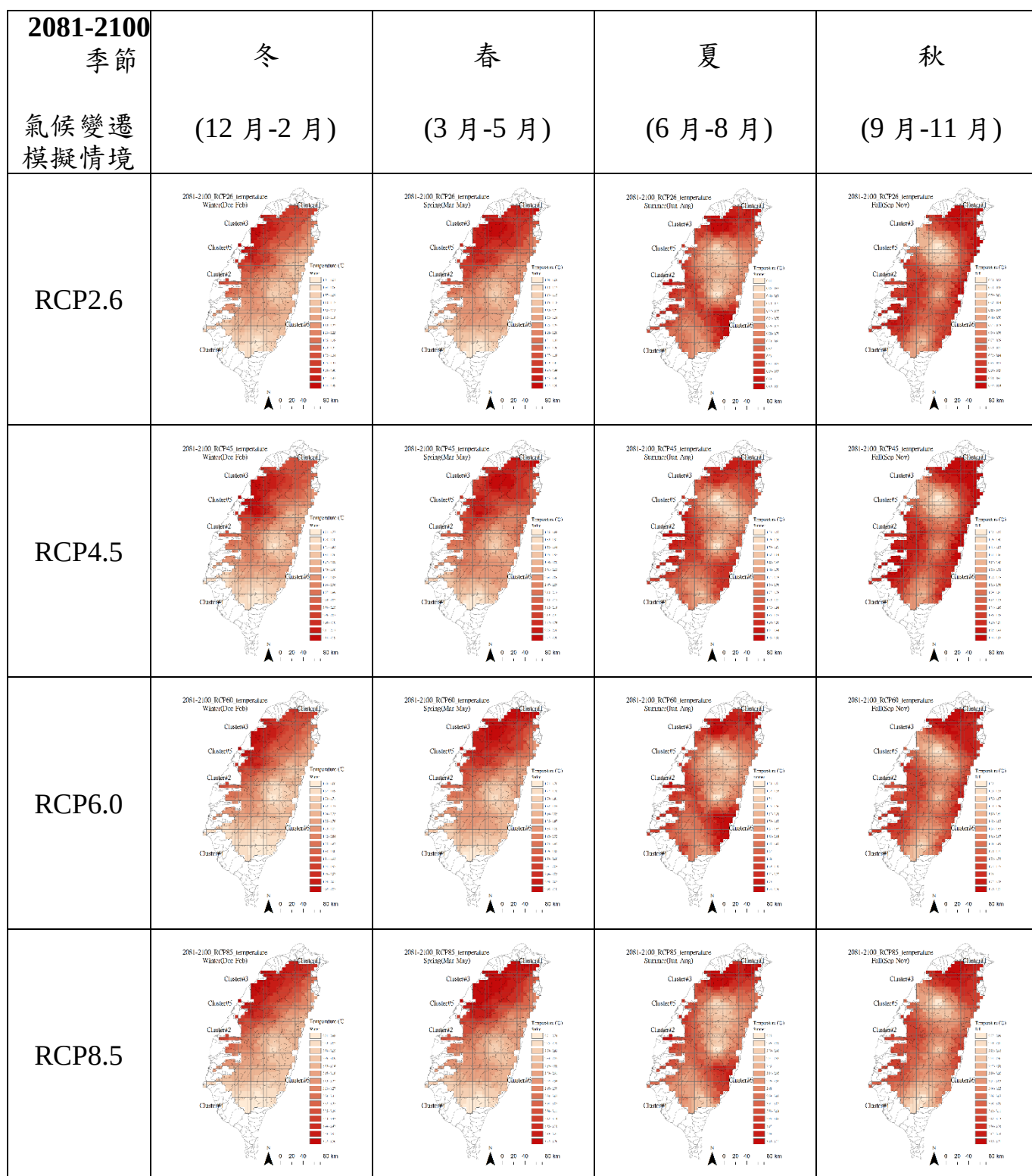


圖 25 溫度於 2081 至 2100 年氣候變遷模擬情境之季節變化

## 五、集水區分群與大規模崩塌災害潛勢和土石流潛勢溪流

表 6 與圖 26 為各分群與大規模崩塌災害潛勢地區和土石流潛勢溪流之空間套疊分析。初步成果發現，第一分群的大規模崩塌災害潛勢多分佈於北部地區，面積約 2490 公頃，323 條土石流潛勢溪流也多分佈於北部；第二分群之大規模崩塌災害潛勢地區僅 72 公頃，土石流潛勢溪流分佈於東部和較靠近中央山脈處；第三分群之大規模崩塌災害潛勢面積最大，約 13000 公頃，517 條土石流潛勢溪流也為各分群中最多，多分佈於中央山脈西側；第四分群之大規模崩塌災害潛勢地區約 1900 公頃，土石流潛勢溪流有 150 條；第五分群並無大規模崩塌災害發生之潛勢，土石流潛勢溪流有 6 條；第六分群之大規模崩塌災害潛勢地區約 2900 公頃，土石流潛勢溪流有 142 條。將大規模崩塌潛勢面積與各分群總面積進行分析，第三分群與第六分群的比例較高，分別為 1.66%與 1.84%。

表 6 分群之大規模崩塌災害潛勢面積及土石流潛勢溪流數量

| 分群    | 崩塌災害潛勢面積(公頃) | 占分群總面積(%) | 土石流潛勢溪流(條) |
|-------|--------------|-----------|------------|
| 1     | 2490.43      | 0.29      | 323        |
| 2     | 72.18        | 0.02      | 195        |
| 3     | 13075.93     | 1.66      | 517        |
| 4     | 1920.20      | 0.89      | 150        |
| 5     | 0.00         | 0.00      | 6          |
| 6     | 2948.90      | 1.84      | 142        |
| Total | 20507.64     |           | 1333       |

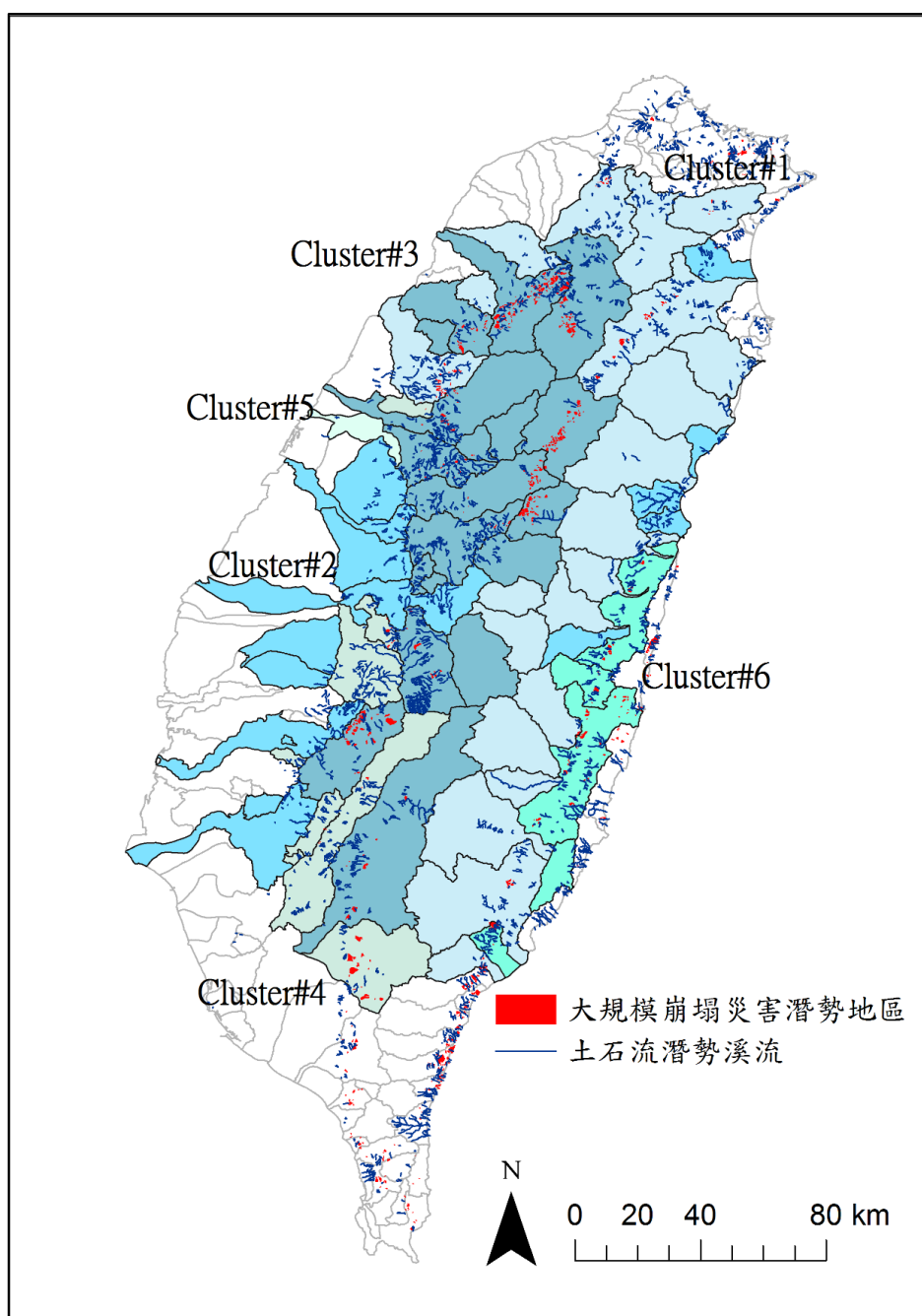


圖 26 分群之大規模崩塌災害潛勢地區及土石流潛勢溪流分佈

圖

## 五、提出調整上游集水區氣候變遷調適策略之建議

目前水保局所關切的氣候變遷多以溫度上升與降雨形態改變為重點，調適策略包括強化大規模崩塌下危機應變能力、建立坡地智慧防災體系、擴大集水區綜合治理調適、精進坡地水土資源保育、強化山坡地管理及促進土地合理利用、統合坡地防減災決策資訊及推廣交流。

本研究建議可依據所提出之六大分群進行調適策略的擬訂。整體而言，冬(12-2 月)和春(3-5 月)兩季的 NDVI 和雨量的關係為顯著正相關，也就是此兩季的降雨非常有助植被生長。9-10 月的降雨為不顯著的正相關，表示秋季的降雨有助植被生長。溫度方面，除了 5 月之外，溫度皆和 NDVI 顯著負相關，顯示溫度上升和 NDVI 成反比，溫度越高 NDVI 越低。

第一分群多位於中央山脈東側，NE、SE、E 向坡的比例高(三種坡度加總比例>40%)且平均坡度高(26.7°)，平均溫度最低(16.8°C)。此群在四種情境中皆預測冬季的降雨會減少 14-37%且溫度會增加 0.5-2°C；春季的降雨減少 13-19%，溫度增加 0.6-2°C。夏季降雨減少 6-10%，溫度增加 0.5-1.8°C。秋季降雨被預測增加 0.3-9%，溫度增加 0.5-2°C。

由於此群包含中央山脈東側，特別須注意降雨減少和溫度增加對於高海拔物種的生存環境改變、森林植群帶分布是否會因環境條件改

變影響其植被組成、外來種的競爭威脅、人工林的健康維護、整體森林的碳吸存能力和生態功能等影響。

第二分群位於西半部地形較平坦且高溫處，降雨減少幅度較第一分群更大，冬季約減少 13-45%，春季約減少 15-22%，夏季約減少 5-7%。秋季降雨預測增加 0.4-12%。溫度方面皆為增加，冬季增加 0.6-2°C，春季增加 0.6-2°C，夏季增加 0.5-1.8°C，秋季增加 0.5-1.9°C。

考量其土地利用中有約 20%為農業用地、灌溉農地約 15%、旱地農業用地約 13% (圖 27)，應特別注意其溫度上升和降雨減少對於農業作物生長的影響，可進行農地脆弱度調查與分析，進行熱點(Hotspot)/脆弱度探討，分級進行輔導。同時可適時調整耕作與輪作制度推廣耐旱作物、水資源調配、發展設施農業或鼓勵種植多樣性作物，並且在農業天然災害救助補助政策或農業保險方面進行全面化的整合與滾動式調整。

第三分群位於中央山脈西側，平均坡度最高(27.9°)，W、SW 及 NW 坡向比例較高。根據模式預測，此群冬季降雨減少 13-45%，春季降雨減少 12-19%，夏季降雨減少約 5-7%，秋季降雨增加 0.4-12%。溫度方面，冬季與春季增溫 0.6-2°C，夏季增溫 0.4-1.8°C 秋季增溫 0.4-1.8°C。

此群的混合林比例與第一分群相似(76%)，常綠闊葉林比例較第

一分群高(5%)，農業用地約 5%，由於此群包含中央山脈西側，為中央山脈綠帶保護區之重點，串聯由南到北的綠帶保護區與東西向的綠地森林綠帶網絡在氣候變遷調適策略中也須重視。另外高海拔物種是否能適應雨量減少與氣溫上升的改變、生物多樣性是否會因環境條件改變而變動、人工林與天然林林業的健康維護和經營規劃等影響皆須考量。

同時此分群大規模崩塌災害潛勢面積為各分群中最大(表 6)，再加上其夏季降雨量為各分群中最高(圖 28)，根據皮爾森相關性分析(表 7)，八月份降雨對於 NDVI 具有顯著的負面影響，必須特別注意其坡地受降雨沖刷和土石流發生的機率，加強防減災預防工作和強化大規模崩塌下危機應變能力，並且同時加強林地管理，避免不當開發造成林地破壞與損失。

第四分群位於西南部，N、W、NW 坡的比例較高，平均坡度  $21^{\circ}$ ，其有 71% 的混合林與約 16% 的農業用地(圖 27)。在雨量變化率方面，冬季受預測減少的比率最高，約減少 17-51%。春季減少 19-23%，夏季減少 4-6%，秋季增加 2-15%。溫度方面。冬季與春季增溫  $0.6-1.9^{\circ}\text{C}$ ，夏季增溫  $0.5-1.8^{\circ}\text{C}$ ，秋季增溫  $0.5-1.8^{\circ}\text{C}$ 。

對於此分群，由於其包含山坡地又有農業用地，調適策略建議應注重其山坡地土地農業使用適宜性與衝擊性評估，避免因為不當使用

造成水土流失與環境汙染。另外針對日漸頻繁的極端事件，颱風與短時強降雨可能帶來的坡地災害與沖刷也須備有適當水土保持設施與預警模式開發等調適策略。

第五分群為大甲溪集水區，其地勢平坦(平均坡度 4.5°)且平均溫度高，包含約 28%的灌溉農業用地和 22%的農牧用地。降雨方面，冬季減少 11-40%，春季減少 10-19%，夏季減少 2-5%，秋季增加 2-23%。溫度方面，冬季增溫 0.7-2.3℃，春季增溫 0.7-2.2℃，夏季增溫 0.5-1.8℃，秋季增溫 0.4-1.8℃。

此分群僅有一集水區，調適策略建議評估其雨量變化是否會影響其灌溉農業之使用，同時增溫現象是否會增加水分散失進而影響灌溉農業土壤與植物生長也值得關注。同時在水資源調配之應變方案也建議為調適策略重點。

第六分群位於臺灣東部，E 與 SE 向坡較多，其中混合林佔 53%，常綠闊葉林佔 14%。降雨方面，冬季減少 13-36%，春季減少 16-21%，夏季減少 6-10%，秋季增加 0.3-9%。溫度方面，冬季增溫 0.6-1.9℃，春季增溫 0.6-1.9℃，夏季增溫 0.5-1.8℃，秋季增溫 0.5-1.5℃。

此分群之大規模崩塌災害潛勢面積為各分群中比例最高(表 6)，需特別加強其 E 與 SE 坡向之坡地防減災工作和強化大規模崩塌下危機應變能力。尤其可針對崩塌地潛勢地區進行其植被組成及特點模式



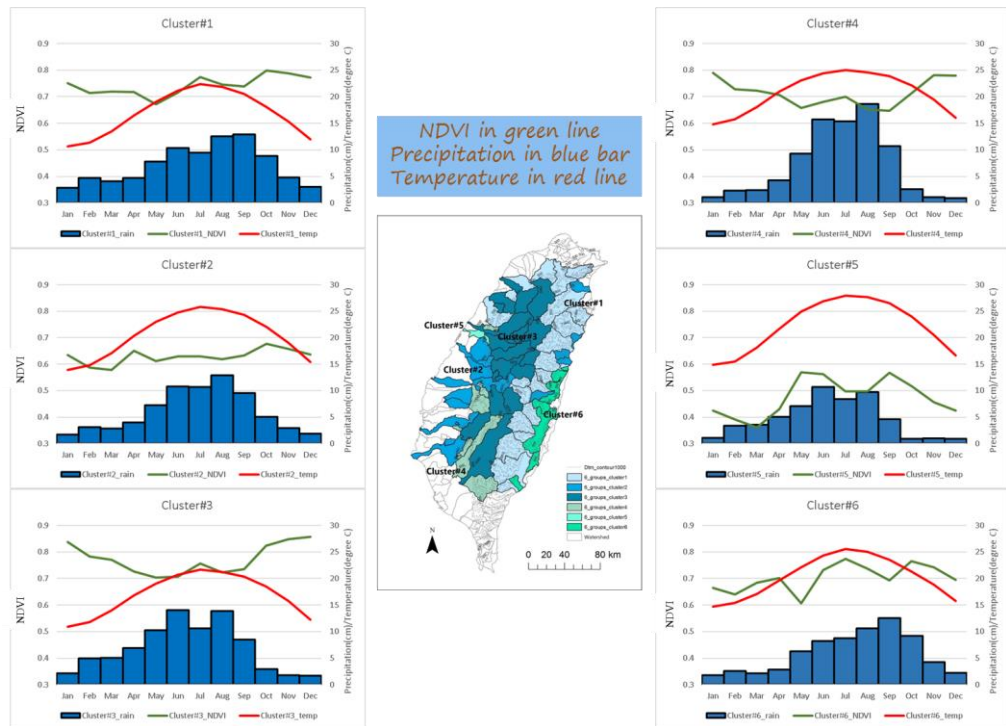


圖 28 分群月平均之 NDVI 氣溫雨量

表 7 各月份之 NDVI 和雨量之皮爾森相關性分析(r 為皮爾森  
相關係數)

| Correlations between NDVI and precipitation                 |      |        |       |       |       |       |       |        |      |      |       |      |
|-------------------------------------------------------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|------|-------|------|
|                                                             | Jan  | Feb    | Mar   | Apr   | May   | Jun   | Jul   | Aug    | Sep  | Oct  | Nov   | Dec  |
| r                                                           | .126 | .315** | .301* | .282* | .305* | -.036 | -.188 | -.292* | .108 | .135 | -.023 | .034 |
| **, Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) |      |        |       |       |       |       |       |        |      |      |       |      |
| *, Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)  |      |        |       |       |       |       |       |        |      |      |       |      |

## 第四章 結論及建議

### 第一節 結論

本計畫「應用 30 年遙測資料調整上游集水區氣候變遷調適策略」進行分析全台灣上游集水區之自然分群與相關影響因子，包含氣溫、雨量、坡度與坡向。再依自然分群結果探討在氣候變遷模擬情境下可能之變化情形，提出上游集水區氣候變遷調適策略建議，以利水保局進行上游集水區保育防災工作。重點計畫成果如後簡述：

#### 一、蒐集全台灣植生指標NDVI、氣溫、雨量時間序列資料

本計畫採用美國 NOAA 植被遙測資料庫-GIMMS NDVI3g 之 NDVI 資料以及 TCCIP 台灣氣候變遷推估與資訊平台所產製之五公里網格化氣溫及雨量觀測資料，此三項資料皆為月平均值。本計畫以選取之 70 個集水區作為研究單元，進行 1982 年至 2012 年 NDVI、雨量以及溫度月平均時間序列資料萃取。在 NDVI 時間序列方面，此三十年之平均值為 0.37 至 0.91 之間；雨量之平均值為 0.37 至 33.49mm 之間；溫度之平均值為攝氏 10.27 至 24.36 度之間。

#### 二、進行全台灣集水區分群與影響因子分析

本計畫採用聚合式之 HCA 階層式分群法，以華德最小變異數法作為判斷群聚間距離的演算法。初步成果顯示最佳分群數目為 6。分群成果中第一分群共有 22 個集水區，第二分群共有 15 個集水區。第

三分群共有 19 個集水區，第四分群共有 8 個集水區，第五分群有 1 個集水區，第六群有 5 個集水區。第一分群集水區多集中於中央山脈東側，第二分群集水區多分佈於西部平原，第三分群集水區多集中於中央山脈地勢較高處，第四分群集水區多位於西南部，第五分群集水區為大甲溪，第六分群集水區則多聚集於東部。

### 三、篩選集水區之重要影響因子

初步成果顯示，氣溫、雨量、坡度以及坡向四項因子可解釋約 52% 的 NDVI 變異量。其中一至三月、七至八月以及十一至十二月的 NDVI 皆有超過 50% 的累積解釋變異量。依據統計顯著程度，對於集水區之重要影響因子共有 9 個，分別是坡度(Slope)、溫度(Temp)、平坦坡(Flat)、東北向坡(NE)、雨量(Rain)、東向坡(E)、東南向坡(SE)、西向坡(W)以及西北向坡(NW)。坡度因子(Slope)具有最高的解釋能力(35.2%,  $p < 0.001$ )，溫度(Temp)、平坦坡(Flat)、東北向坡(NE)以及雨量(Rain)分別具有 27.8%、17.2%、11.2 % 以及 10.6% 的解釋能力( $p < 0.001$ )。東向坡(E)、東南向坡(SE)與西向坡(W)對於 NDVI 的解釋能力約有 5% ( $p < 0.05$ )。西北向坡(NW)有 3.6% 的解釋能力( $p < 0.10$ )。由此結果表示台灣上游集水區的 NDVI 與自然環境因子顯著相關。

### 四、探討集水區分群在氣候變遷模擬情境下之變化

本計劃以 IPCC 跨政府氣候變遷專門委員會第五次氣候評估報

告 AR5 的四種情境進行評估各分群之氣候變遷，四種情境包括 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 及 RCP8.5。並根據 Lin and Tung (2016)之建議，選用適用於台灣的 HadGEM2-AO 模式(Hadley Global Environment Model 2, National Institute of Meteorological Research, Seoul, South Korea)進行各分群雨量改變率(%)及溫度改變量(°C)的評估；評估時期分為 2021 至 2040 年、2041 至 2060 年、2061 至 2080 年及 2081 至 2100 年；評估季節分為冬(12 月至 2 月)、春(3 月至 5 月)、夏(6 月至 8 月)及秋(9 月至 11 月)。

各分群時間與空間上的氣候變遷在不同情境下各有其特徵。在 2021-2040 年期距時，在 RCP2.6 情境下，冬季的雨量於第二、第四和第六分群中增加，在第一分群中減少。春季雨量普遍減少，尤其在第二與第四分群減少最明顯，表示第二與第四分群的雨量在冬春兩季時變化很劇烈。夏季時第一分群的雨量減少，其餘分群增加但幅度不大。秋季雨量減少幅度也不大，主要發生於第二與第五分群範圍。在 RCP4.5 情境下，四季的雨量皆呈現減少，其中以冬春兩季減少的幅度最大（達減少 36%），主要發生在第二分群及第三及第四分群的南部地區；夏季雨量減少發生於第二分群的東部及第四分群；秋季雨量減少幅度較大的地區為第三分群的北部。在 RCP6.0 情境下，冬春兩季的雨量變化率空間分佈較為相近，皆為中北部增加（第一與第三分

群)，東部及南部地區減少（第二、第四及第六分群），另外其中冬季的增加幅度較大，春季較小。夏季全台雨量減少，由以東北部（第一分群）和西南部（第二與第四分群）較為明顯。秋季時，第一和第二分群的東部雨量減少，第二分群的西部雨量增加。在 RCP8.5 情境下，冬春夏三季的雨量皆有減少，冬季減少的幅度最大，以第二、第三與第四分群範圍為主；春季雨量減少的範圍以第四和第六分群範圍與第二分群的東部為主。夏季雨量減少的範圍集中於中偏東地區，以第一和第六分群範圍為主。秋季雨量除在第一分群的北部與第三分群的南部增加之外，其餘地區略為減少。

在 2041-2060 年期距時，在 RCP2.6 情境下，冬春兩季的雨量變化率空間分佈相似，皆為中南部減少幅度較大（第二、第三及第四分群），春季的變化幅度也較冬季大。夏季整體呈現雨量增加，秋季時雨量增加的空間縮小至中偏北部（第一與第三分群的北部），另秋季雨量在東部有減少現象（第一分群東部與第六分群）。在 RCP4.5 情境下，冬春兩季的雨量變化率空間分佈相似，皆為中南部減少幅度較大（第二、第三及第四分群），但冬季的變化幅度較春季大。夏季則空間分佈幾乎完全相反，變成北部地區減少幅度較大（第一分群與第二分群的東部）。秋季西北部地區小幅減少（第三分群的北部及第五分群），東南部增加。在 RCP6.0 情境下，四季呈現明顯差異。冬季

東北部減少但西南部增加；春季雨量整體減少，以西南部為最。夏季以東半部減少較明顯，秋季雨量整體增加。在 RCP8.5 情境下，冬春兩季的雨量變化率空間分佈相似，皆為中南部減少幅度較大，但春季的變化幅度較冬季大。夏季則變成東北部減少。秋季雨量於東部呈現小幅減少。

2061-2080 年和 2081-2100 年期距時，在 RCP2.6 情境下，冬春兩季的雨量變化率空間分佈相似，皆為中南部減少幅度較大，春季的變化幅度較冬季大。夏季則變成東北部減少。秋季雨量於第一分群的東部中段呈現小幅減少。在 RCP4.5 情境下，同樣呈現冬春兩季的雨量變化率空間分佈相似，但冬季的變化幅度較春季大。夏季的雨量減少發生於東北部。秋季雨量則呈現由東往西南的整體增加。在 RCP6.0 情境下，冬春兩季的雨量變化率空間分佈相似，中南部減少幅度較大，春季的變化幅度較冬季大。夏季雨量則在東偏北部減少。秋季西半部雨量增加，但東半部雨量減少。在 RCP8.5 情境下，冬春夏季雨量皆為減少，尤其以冬季的減少最為明顯，夏季雨量由東北向西南方向逐漸減少，秋季雨量則在西南部增加，北部及東部雨量減少。

在 2081-2100 年期距時，在 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 情境中，冬春兩季的雨量變化率空間分佈皆相似，以中南部減少幅度較大。夏秋兩季雨量變化率在 RCP4.5、RCP6.0 和 RCP8.5 情境中情況相似，

皆為西南部增加，東部與東北部雨量減少。但在 RCP2.6 情境中，秋季雨量呈現整體增加。

溫度方面，四種期距之四種氣候變遷情境所預測的溫度改變量在空間分佈上極為相似。冬季(12 月-2 月)時，增溫幅度由西北至東南遞減，在第一分群的西北、第三分群的西北與第五分群範圍內的增溫較為明顯。春季(3 月-5 月)時，增溫幅度較冬季明顯，空間分佈由西北至東南遞減，但北部的增溫範圍擴大了許多。夏季(6 月-8 月)的增溫在中部地區較少，推測與中央山脈的植被覆蓋有關。秋季(9 月-11 月)的增溫同樣在中部地區較少，但增溫的幅度較夏季為高。

整體而言，除秋季的雨量呈現增加之外，冬春夏三季的雨量皆呈現減少。尤其是冬季雨量在 2061 年之後的減少最為明顯。溫度方面呈現整體增溫趨勢，冬季(12 月-2 月)時，增溫幅度由西北至東南遞減，在第一分群的西北、第三分群的西北與第五分群範圍內的增溫較為明顯。春季(3 月-5 月)時，增溫幅度較冬季明顯，空間分佈由西北至東南遞減，但北部的增溫範圍擴大了許多。夏季(6 月-8 月)的增溫在中部地區較少，推測與中央山脈的植被覆蓋有關。秋季(9 月-11 月)的增溫同樣在中部地區較少，但增溫的幅度較夏季為高。

## 五、集水區分群與大規模崩塌災害潛勢和土石流潛勢溪流

本計畫以各分群與大規模崩塌災害潛勢地區和土石流潛勢溪流

進行空間套疊分析。成果顯示第三分群的大規模崩塌災害潛勢面積最大，分群內的土石流潛勢溪流數量最多。第三分群與第六分群的比例較高，分別為 1.66%與 1.84%。

#### 六、提出調整上游集水區氣候變遷調適策略之建議

本研究建議可依據所提出之六大分群進行調適策略的擬訂。。整體而言，冬(12-2 月)和春(3-5 月)兩季的 NDVI 和雨量的關係為顯著正相關，也就是此兩季的降雨非常有助植被生長。9-10 月的降雨為不顯著的正相關，表示秋季的降雨有助植被生長。溫度方面，除了 5 月之外，溫度皆和 NDVI 顯著負相關，顯示溫度上升和 NDVI 成反比，溫度越高 NDVI 越低。

第一分群多位於中央山脈東側，NE、SE、E 向坡的比例高(三種坡度加總比例>40%)且平均坡度高(26.7°)，平均溫度最低(16.8°C)。此群在四種情境中皆預測冬季的降雨會減少 14-37%且溫度會增加 0.5-2°C；春季的降雨減少 13-19%，溫度增加 0.6-2°C。夏季降雨減少 6-10%，溫度增加 0.5-1.8°C。秋季降雨被預測增加 0.3-9%，溫度增加 0.5-2°C。由於此群包含中央山脈東側，特別須注意降雨減少和溫度增加對於高海拔物種的生存環境改變、森林植群帶分布是否會因環境條件改變影響其植被組成、外來種的競爭威脅、人工林的健康維護、整體森林的碳吸存能力和生態功能等影響。

第二分群位於西半部地形較平坦且高溫處，降雨減少幅度較第一分群更大，冬季約減少 13-45%，春季約減少 15-22%，夏季約減少 5-7%。秋季降雨預測增加 0.4-12%。溫度方面皆為增加，冬季增加 0.6-2°C，春季增加 0.6-2°C，夏季增加 0.5-1.8°C，秋季增加 0.5-1.9°C。考量其土地利用中有約 20%為農業用地、灌溉農地約 15%、旱地農業用地約 13% (圖 27)，應特別注意其溫度上升和降雨減少對於農業作物生長的影響，可進行農地脆弱度調查與分析，進行熱點(Hotspot)/脆弱度探討，分級進行輔導。同時可適時調整耕作與輪作制度推廣耐旱作物、水資源調配、發展設施農業或鼓勵種植多樣性作物，並且在農業天然災害救助補助政策或農業保險方面進行全面化的整合與滾動式調整。

第三分群位於中央山脈西側，平均坡度最高(27.9°)，W、SW 及 NW 坡向比例較高。根據模式預測，此群冬季降雨減少 13-45%，春季降雨減少 12-19%，夏季降雨減少約 5-7%，秋季降雨增加 0.4-12%。溫度方面，冬季與春季增溫 0.6-2°C，夏季增溫 0.4-1.8°C 秋季增溫 0.4-1.8°C。此群的混合林比例與第一分群相似(76%)，常綠闊葉林比例較第一分群高(5%)，農業用地約 5%，由於此群包含中央山脈西側，為中央山脈綠帶保護區之重點，串聯由南到北的綠帶保護區與東西向的綠地森林綠帶網絡在氣候變遷調適策略中也須重視。另外高海拔物種

是否能適應雨量減少與氣溫上升的改變、生物多樣性是否會因環境條件改變而變動、人工林與天然林林業的健康維護和經營規劃等影響皆須考量。同時此分群大規模崩塌災害潛勢面積為各分群中最大(表 6)，再加上其夏季降雨量為各分群中最高(圖 28)，根據皮爾森相關性分析(表 7)，八月份降雨對於 NDVI 具有顯著的負面影響，必須特別注意其坡地受降雨沖刷和土石流發生的機率，加強防減災預防工作和強化大規模崩塌下危機應變能力，並且同時加強林地管理，避免不當開發造成林地破壞與損失。

第四分群位於西南部，N、W、NW 坡的比例較高，平均坡度  $21^{\circ}$ ，其有 71% 的混合林與約 16% 的農業用地(圖 27)。在雨量變化率方面，冬季受預測減少的比率最高，約減少 17-51%。春季減少 19-23%，夏季減少 4-6%，秋季增加 2-15%。溫度方面。冬季與春季增溫  $0.6-1.9^{\circ}\text{C}$ ，夏季增溫  $0.5-1.8^{\circ}\text{C}$ ，秋季增溫  $0.5-1.8^{\circ}\text{C}$ 。對於此分群，由於其包含山坡地又有農業用地，調適策略建議應注重其山坡地土地農業使用適宜性與衝擊性評估，避免因為不當使用造成水土流失與環境汙染。另外針對日漸頻繁的極端事件，颱風與短時強降雨可能帶來的坡地災害與沖刷也須備有適當水土保持設施與預警模式開發等調適策略。

第五分群為大甲溪集水區，其地勢平坦(平均坡度  $4.5^{\circ}$ )且平均溫度高，包含約 28% 的灌溉農業用地和 22% 的農牧用地。降雨方面，冬

季減少 11-40%，春季減少 10-19%，夏季減少 2-5%，秋季增加 2-23%。溫度方面，冬季增溫 0.7-2.3℃，春季增溫 0.7-2.2℃，夏季增溫 0.5-1.8℃，秋季增溫 0.4-1.8℃。此分群僅有一集水區，調適策略建議評估其雨量變化是否會影響其灌溉農業之使用，同時增溫現象是否會增加水分散失進而影響灌溉農業土壤與植物生長也值得關注。同時在水資源調配之應變方案也建議為調適策略重點。

第六分群位於臺灣東部，E 與 SE 向坡較多，其中混合林佔 53%，常綠闊葉林佔 14%。降雨方面，冬季減少 13-36%，春季減少 16-21%，夏季減少 6-10%，秋季增加 0.3-9%。溫度方面，冬季增溫 0.6-1.9℃，春季增溫 0.6-1.9℃，夏季增溫 0.5-1.8℃，秋季增溫 0.5-1.5℃。

此分群之大規模崩塌災害潛勢面積為各分群中比例最高(表 6)，需特別加強其 E 與 SE 坡向之坡地防減災工作和強化大規模崩塌下危機應變能力。尤其可針對崩塌地潛勢地區進行其植被組成及特點模式之分析，以掌握其環境脆弱度與耐災程度，提供水保局防災工作參考。

## 第二節 建議

建議未來可依據本計畫成果建立一分群治理的規範準則，並且建立長期集水區監測之資料庫，可配合水保局歷年崩塌調查之 UAV 與現地調查成果，針對更細部的區域採用更高解析度之空間資訊，進行其環境特徵及氣候變遷下之因應對策研擬。

## 參考文獻

1. 許晃雄、陳正達、盧孟明、陳永明、周佳、吳宜昭，台灣氣候變遷科學報告，行政院國家科學委員會，2011。
2. Buttigieg, P.L.; Ramette, A. A guide to statistical analysis in microbial ecology: A community-focused, living review of multivariate data analyses. *FEMS Microbiol. Ecol.* 2014, 90, 543–550.
3. Fraley, C.; Raftery, A.E. How many clusters? Which clustering method? Answers via model-based cluster analysis. *Comput. J.* 1998, 41, 578–588.
4. Gauch, H.G., Jr.; Whittaker, R.H. Hierarchical classification of community data. *J. Ecol.* 1981, 537–557. Tsai, H.P.; Lin, Y.; Yang, M. Exploring Long Term Spatial Vegetation Trends in Taiwan from AVHRR NDVI3g Dataset using RDA and HCA Analyses. *Remote Sens.* 2016, 8, 290.
5. Gittins, R. *Canonical Analysis*; Springer: Heidelberg, Germany, 1985.
70. Legendre, P.; Legendre, L.F. *Numerical Ecology*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2012.
6. Huang, W.; Chen, W.; Chuang, Y.; Lin, Y.; Chen, H. Biological toxicity of groundwater in a seashore area: Causal analysis and its spatial pollutant pattern. *Chemosphere* 2014, 100, 8–15.
7. Legendre, P.; Legendre, L.F. *Numerical Ecology*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2012.
8. Lepš, J.; Šmilauer, P. *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2003.

9. Punj, G.; Stewart, D.W. Cluster analysis in marketing research: Review and suggestions for application. *J. Market. Res.* 1983, 134–148.
10. Rao, C.R. The use and interpretation of principal component analysis in applied research. *Sankhya Ser. A* 1964, 26, 329–358.
11. Ter Braak, C.J.; Smilauer, P. *CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5)*; Biometris: Wageningen, The Netherlands, 2002.
12. Van den Wollenberg, A.L. Redundancy analysis an alternative for canonical correlation analysis. *Psychometrika* 1977, 42, 207–219.
13. Ward, J.H., Jr. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.* 1963, 58, 236–244.
14. Yim, O.; Ramdeen, K.T. Hierarchical cluster analysis: Comparison of three linkage measures and application to psychological data. *Quant. Methods Psychol.* 2015, 11, 8–24.
15. Lin, C.; Tung, C. Procedure for Selecting GCM Datasets for Climate Risk Assessment. *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences* 2017, 28.

## 附錄

## 附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

| 項次        | 審查意見                                                                                                                                                                                                                               | 回覆辦理情形                                                                   |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 報告內容審查意見： |                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                          |
| 一         | <p>有關經費審查部分：</p> <p>1. 執行期限請修正為自106年2月20日至106年12月31日。(10.3個月) 2. P.2及P.3，標題項次編號，請依(一)、1、(1)、a.(a)為序調整。 3. 六(五)各項重要工作項目之數量建議修正為1。另請補填實施地點。 4. 主持人費請以計畫執行期限10.3個月內編列。 5. 「28-10國內旅費」(差旅費)請以1200元/日編列。 6. 本計畫請於補助經費540,000元內調整編列。</p> | 執行期限、標題項次編號、工作項目數量等經費審查部分已全數按照建議修正。                                      |
| 二         | <p>為配合本局業務需求，計畫內容建議調整部分：</p> <p>1. 本計畫採用美國國家海洋和大氣管理局氣象衛星，空間解析度為1/12經緯度(約8km)，一個像素為64平方公里，如運</p>                                                                                                                                    | 1. 由於美國國家海洋和大氣管理局氣象衛星之影像空間解析度較大(8平方公里)，因此本計畫將以次集水區為研究單元，進行時間序列資料萃取與後續分析。 |

| 項次 | 審查意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>用於台灣，因為要探討的是上游集水區，所以對應到如目前我們使用集水區(小型集水區約只有40平方公里如茂林子集水區，中大型集水區 100平方公里上下，如口社溪子集水區)，換算起來8公里解析度用於一個集水區，只有幾個像素(pixel)或可能不到一個，這樣的來源解析度後續分群分析得到的結果對應到治理單元，可能會粗略很多，運用於工程實務上的幫助不大。</p> <p>2. 本計畫使用坡度、坡向、雨量資訊為一般常見選用之重要影響因子，考量極端氣候，建議雨量部分除使用台灣氣候變遷平台(TCCIP)資料(5km*5km)，可考慮更詳細的雨量網格資料；另氣溫因子對於崩塌形成過程來說，影響度相對薄弱，於探討植生的部分會有影響，但台灣植被屬於</p> | <p>2. 本計畫擬先以中部地區為例，向TCCIP申請中部地區一公里網格化氣溫及雨量觀測資料，進行時間序列分析，未來也將持續收集更詳細的雨量網格資料。另本計畫擬評估地質因子對於上游集水區自然分群之影響程度並綜合林務局之衛星判釋全島崩塌地圖進行集水區NDVI、環境因子和崩塌面積之討論。</p> <p>3. 本計畫使用之統計分析分類分群方法所得之環境因子相關性將以其統計方法之顯著程度進行評估，因此可得知其方法之可信度。氣候變遷推估模擬採用TCCIP台灣氣候變遷推估與資訊平台所產製之月溫度、雨量資料，其推估模擬乃選用IPCC AR5 (the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change) 中的 41 個</p> |

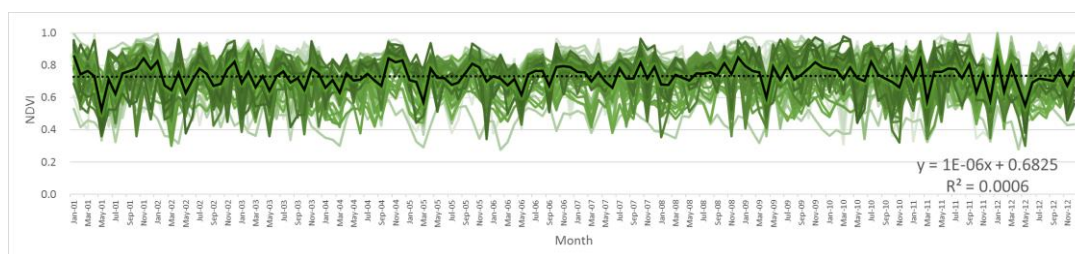
| 項次 | 審查意見                                                                                                                              | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>常綠，受季節植被的變化也比較小一點，因此有可能本計畫在篩選上游集水區之重要影響因子的步驟上，都會直接剔除氣溫因子，建議可再評估是否有其他因子替換或增加。 3. 本計畫使用之統計分析分類分群方法所得之環境因子相關性及推估模擬結果如何驗證其正確性。</p> | <p>AGCM模式的月平均降雨資料(單位: mm/day)與月平均地表溫度資料(單位: °C)，資料來源來自全世界22個研究中心，各情境的模式個數分別為：RCP2.6有26個、RCP4.5有38個、RCP6.0有21個、RCP8.5有41個。使用未來推估部分為2006~2100共95年。世紀末之溫度改變量與降雨變化率之基期為1986~2005共20年。基於以上資料說明，本計畫所採用之氣候變遷模擬資料具有大量取樣之分析可靠性之優點。本計畫將依照環境因子與NDVI之相關性，套疊氣候變遷模擬資料進行調適策略之評估與建議。</p> |

## 附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

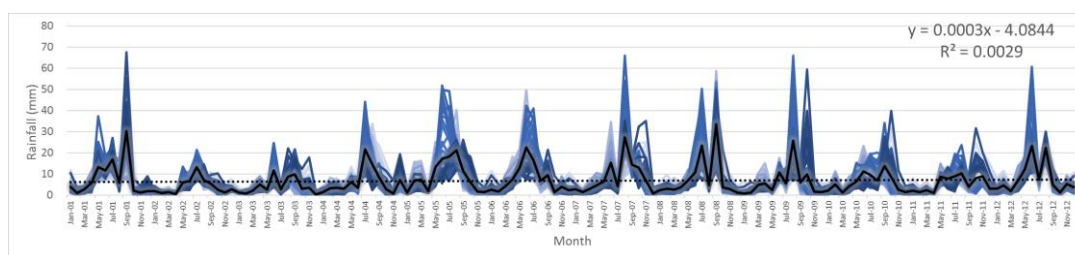
| 項次        | 審查意見                               | 回覆辦理情形                                                                                        |
|-----------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 報告內容審查意見： |                                    |                                                                                               |
| 1         | 溫度或雨量變化與 NDVI 之相關性或敏感度如何？          | 根據 RDA 分析結果顯示，溫度與雨量與 NDVI 相關性極為顯著( $p < 0.001$ )。溫度可解釋 NDVI 變異性的 27.8%，雨量可解釋 NDVI 變異性的 10.6%。 |
| 2         | 氣候變遷情境 RCP2.6 至 8.5 中多種 GCMs 如何選用？ | 在多達 41 種 GCM 中，本研究引用 Lin and Tung (2017)所建議適用於全台灣的 HadGEM2-AO 進行分析未來的氣候變遷影響。                  |
| 3         | 未來氣候變遷情境與 NDVI 如何連結？               | 由於溫度和雨量對於 NDVI 的相關性極顯著( $p < 0.001$ )，在未來的氣候變遷情境中便可依據變遷的比率推測 NDVI 的變化，進而提出各分群相對應的因應建議。        |
| 4         | 有關氣候變遷調適策略，建議加強在坡地災害變遷之論述。         | 遵照辦理。                                                                                         |
| 5         | 所蒐集 30 年資料之周期為合？每週或每月？             | 本研究所採用的 30 年 NDVI 及雨量和溫度的資料週期皆為月。                                                             |
| 6         | 每個集水區使用幾個 pix 值去分析？                | AVHRR NDVI 影像解析度為 8*8km，整體而言，分析的平均網格數(pixel number)為 11 個網格，網格數量與集水區面積成正比。                    |
| 7         | 請說明遙測影像可取得的量化資料為何？                 | 遙測影像之成像原理為利用傳感器(Sensor)接收目標物反射或輻射的電磁波，獲取目標物的量化電磁波資訊。傳感器的種類也很多，可分為自體發                          |

| 項次 | 審查意見                                                                                   | 回覆辦理情形                                                                                                                                                  |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                        | 射電磁波的主動式與僅接收目標物發出或反射的電磁波被動式兩大類。搭載傳感器的稱為遙測平台(platform)，可分為地面(車載、手持式)、空載(飛機、UAV)、衛星(satellite)等。傳感器接收到的電磁波資訊可經過分析應用於資源普查、植被分佈、海洋資源、農業、氣象、資源、環境、行星科學等等各領域。 |
| 8  | 4 個影像因子，除了氣溫、雨量外，坡向及坡度與氣候變遷之關聯？                                                        | 坡向與坡度為地形因子中影響植被生長的重要因素，由此分析可看出那一群的集水區的坡度與坡向對於 NDVI 有影響，進而討論其在氣候變遷下之關聯性。                                                                                 |
| 9  | 集水區分群的氣候為何？                                                                            | 本計畫將分析不同分群之氣候變遷趨勢。                                                                                                                                      |
| 10 | 不同分群與調適對策之關聯？                                                                          | 本計畫將根據不同分群之氣候變遷趨勢提出各分群之調適策略建議。                                                                                                                          |
| 11 | 台灣自 2001 年起，有了明顯的氣候變遷跡象，而目前採用 30 年資料是否會淡化近 10 年的氣候變化。                                  | 本研究將 2001-2012 年的資料單獨獨立出進行分析，其 NDVI、氣溫和雨量的趨勢並不明顯(圖 29)。                                                                                                 |
| 12 | 因 NDVI 資料採用為 NOAA 長期以 8*8km 大網格值，應解釋是否適用於台灣環境。如保安林區已禁止開發，而下游地區較易因人口及人為開發行為改變 NDVI 及地形。 | NDVI 所計算的電磁波光譜為可見光與近紅外光。反應出的地表狀態可同時檢視出其植被量的多寡與土地利用形態的改變，對於下游地區人口及人為開發行為所改變的地表狀態合理反映出較低的 NDVI 值。                                                         |
| 13 | 建議可考慮如何加入人為干擾因子，如都市計畫區開發或                                                              | 本計畫所考量之重點為植被的自然分群，透過 NDVI 的值                                                                                                                            |

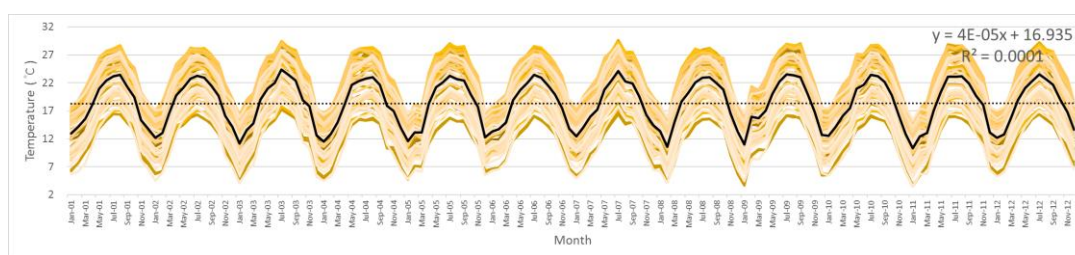
| 項次 | 審查意見               | 回覆辦理情形                                                 |
|----|--------------------|--------------------------------------------------------|
|    | 農業區改變。             | 域與時間序列，可反映出集水區的地表變化趨勢，若是都市計畫區開發或農業區改變，其NDVI 值也會隨之發生變化。 |
| 14 | 建議考慮計畫成果可如何提出調適策略。 | 本計畫將根據不同分群之氣候變遷趨勢提出各分群之調適策略建議。                         |



(a)



(b)



(c)

圖 29 2001 年至 2012 年各集水區之(a)NDVI(b)雨量及(c)氣溫時間序列

## 附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

| 項次        | 審查意見                                                        | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 報告內容審查意見： |                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1         | 目前將研究區分成 70 個集水區，這與水保局劃分 741 個集水區差異很大，這是否會影響後續的應用。          | 依據集水區的大小，台灣的集水區可分為主集水區、次集水區與子集水區。本計畫所選取的集水區屬於次集水區，水保局劃分的 741 個集水區為子集水區。本計畫所採用的次集水區面積較大，每一個次集水區皆包括多個子集水區。因此本計畫所採用的次集水區涵括範圍與水保局之 741 個子集水區涵括範圍並無不同。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 2         | 氣溫與雨量屬氣候因子，而坡度及坡向屬潛在因子，而 NDVI 是結果因子，還是這三種因子具有一定因果關係，請補充說明之。 | <p>NDVI 與氣溫、雨量、坡度、坡向皆有不同程度的關聯性，本計畫另補充 NDVI 與各項因子之 Pearson 關聯性分析，說明如後。</p> <p>依據 RDA 分析，可以解釋 NDVI 變異性的因子總共有九項，其中五項具極高顯著性(<math>p&lt;0.001</math>)，分別是坡度、溫度、平坦坡、東北向坡及雨量；三項因子具高顯著性(<math>p&lt;0.01</math>)，分別是東向坡、東南向坡以及西向坡；西北向坡因子具 <math>p&lt;0.05</math> 的顯著性。</p> <p>圖 30 為各月份 NDVI 與具有極高顯著性(<math>p&lt;0.001</math>)的五項因子(坡度、溫度、平坦坡(Flat)、東北向坡(NE)及雨量)的 Pearson 相關性分析成果。坡度因子除了 5 月之外，和 NDVI 皆為高顯著性的正相關(0.01 level)，也就是坡度越高 NDVI 也越高。溫度和平坦坡兩項因子除了 5 月之外，和 NDVI 皆為高顯著性的負相關</p> |

| 項次 | 審查意見 | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |      | <p>(0.01 level)，也就是溫度越高、平坦坡比例越高則 NDVI 越低。</p> <p>東北向坡(NE)因子在 7-10 月 (0.01 level) 和 3、4、11 月(0.05 level)和 NDVI 存在正相關關係，顯示出在這些月份中，區域內的東北向坡比例越高其 NDVI 也越高。</p> <p>雨量因子在 3-5 月和 NDVI 具有顯著正相關(0.05 level)，但在 8 月份時雨量和 NDVI 是負相關的。換句話說，3-5 月時降雨對 NDVI 有正面幫助，但 8 月時降雨越多 NDVI 越低。</p> <p>表 10 為各月份 NDVI 兩坡度和坡向(9 種坡向)的 Pearson 相關性分析成果。顯著的正負相關以綠色和紅色標明。就坡度與坡向兩類因子相互關係而言(紅框)，坡度與平坦坡顯而易見為顯著負相關關係；坡度與 NE、E、和 SE 三種坡向具正相關關係。</p> <p>另外，探討因子與 NDVI 的相關性(綠框)(表 10)，發現各月份有不同差異，除了 NE 坡向(上述已討論過)，5 月份的 NDVI 和 N、SW、W、NW 坡向正相關，但與 E 和 SE 呈現負相關。7-8 月的 NDVI 和 E 與 SE 正相關，卻和 W、NW 坡向負相關。北向坡在 7 月時與 NDVI 具顯著負相關。由於坡向會影響太陽光輻射與地溫和土壤水分多寡變化，植被生長所反映出的 NDVI 常見不同。坡向所呈現的月份差異也可推測與臺灣地區 5-6 月的梅雨和 7-8</p> |

| 項次 | 審查意見 | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                            |
|----|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |      | <p>月的颱風季節相關。</p> <p>表 9 為探討坡度與各月份溫度雨量的相關性分析成果。坡度和溫度呈負相關，表示坡度越高溫度越低。坡度和雨量除 6-8 月之外都呈正相關，表示坡度越高，雨量越多，但夏季(6-8 月)除外。</p> <p>表 8 為各月份雨量和溫度的相關性分析成果。溫度和雨量僅於 6-8 月呈現正相關，其餘月份大致呈現負相關。</p> |
|    |      | <p>圖 30 各月份 NDVI 與五項因子(溫度、雨量、坡度、平坦坡與東北向坡)之 Pearson 相關性分析成果</p>                                                                                                                    |

| 項次 | 審查意見 | 回覆辦理情形 |
|----|------|--------|
|----|------|--------|

表 10 各月份 NDVI 與坡度和坡向(9 種坡向)之

Pearson 相關性分析成果

|                                                            | Slope   | Flat    | N       | NE      | E       | SE      | S       | SW     | W       | NW      | Jan    | Feb    | Mar    | Apr    | May    | Jun    | Jul    | Aug    | Sep    | Oct    | Nov    | Dec |
|------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| Slope                                                      | 1       |         |         |         |         |         |         |        |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Flat                                                       | -.592** | 1       |         |         |         |         |         |        |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| N                                                          | -.191   | .091    | 1       |         |         |         |         |        |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| NE                                                         | .398**  | -.392** | -.128   | 1       |         |         |         |        |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| E                                                          | .271    | -.273   | -.671** | .700**  | 1       |         |         |        |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| SE                                                         | .277    | -.254   | -.790** | .403**  | .888**  | 1       |         |        |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| S                                                          | .086    | .112    | -.518** | -.362** | .007    | .318**  | 1       |        |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| SW                                                         | .078    | -.091   | .229    | .569**  | -.743** | -.608** | .343**  | 1      |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| W                                                          | -.229   | .015    | .485**  | -.635** | -.844** | -.802** | -.223   | .689** | 1       |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| NW                                                         | -.212   | -.013   | .782**  | -.453** | -.810** | -.840** | -.486** | .438** | .849**  | 1       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Jan                                                        | .638**  | -.428** | .059    | .136    | -.078   | -.046   | -.028   | .250*  | .133    | .096    | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Feb                                                        | .728**  | -.474** | -.013   | .216    | .011    | .032    | -.017   | .206   | .058    | .020    | .977** | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Mar                                                        | .765**  | -.485** | -.076   | .281    | .111    | .130    | -.015   | .112   | -.046   | -.057   | .926** | .960** | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Apr                                                        | .641    | -.358** | -.102   | .237    | .115    | .154    | .096    | .069   | -.101   | -.132   | .778** | .815** | .851** | 1      |        |        |        |        |        |        |        |     |
| May                                                        | .172    | -.162   | .363**  | -.203   | -.484** | -.419** | -.023   | .471** | .410**  | .435**  | .545** | .526** | .484** | .527** | 1      |        |        |        |        |        |        |     |
| Jun                                                        | .359**  | -.394** | -.178   | .167    | .164    | .215    | .012    | -.005  | -.066   | -.060   | .404** | .472** | .549** | .605** | .568** | 1      |        |        |        |        |        |     |
| Jul                                                        | .675**  | -.517** | -.270** | .472**  | .415**  | .401**  | .000    | -.151  | -.353** | -.275** | .520** | .615** | .691** | .664** | .383** | .844** | 1      |        |        |        |        |     |
| Aug                                                        | .620**  | -.453** | -.209   | .501**  | .413**  | .385**  | -.020   | -.187  | -.404** | -.289** | .430** | .528** | .615** | .612** | .409** | .796** | .961** | 1      |        |        |        |     |
| Sep                                                        | .488**  | -.324** | .019    | .321**  | .111    | .108    | .041    | .053   | -.210   | -.107   | .451** | .521** | .553** | .589** | .672** | .706** | .809** | .883** | 1      |        |        |     |
| Oct                                                        | .554**  | -.427** | -.031   | .345**  | .193    | .218    | .024    | -.054  | -.215   | -.143   | .674** | .712** | .725** | .689** | .586** | .544** | .678** | .719** | .785** | 1      |        |     |
| Nov                                                        | .640**  | -.506** | .035    | .239**  | .050    | .086    | -.042   | .116   | -.016   | .027    | .908** | .918** | .890** | .769** | .605** | .517** | .656** | .608** | .632** | .863** | 1      |     |
| Dec                                                        | .668**  | -.476** | .071    | .167    | -.041   | .003    | -.023   | .206   | .076    | .083    | .964** | .959** | .921** | .774** | .616** | .472** | .591** | .530** | .571** | .806** | .970** | 1   |
| ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) |         |         |         |         |         |         |         |        |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)  |         |         |         |         |         |         |         |        |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Significant positive correlation                           |         |         |         |         |         |         |         |        |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Significant negative correlation                           |         |         |         |         |         |         |         |        |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |

表 9 坡度與各月份的溫度及雨量 Pearson 相關性

分析成果

| Slope cor. Temp and Rai | Jan     | Feb     | Mar     | Apr     | May     | Jun     | Jul     | Aug     | Sep     | Oct     | Nov     | Dec     |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Temp                    | -.886** | -.881** | -.883** | -.904** | -.918** | -.924** | -.919** | -.923** | -.924** | -.915** | -.909** | -.897** |
| Rain                    | .347**  | .344**  | .317**  | .321**  | .459**  | .147    | .015    | .093    | .359**  | .322**  | .249**  | .277**  |

表 8 各月份雨量與溫度 Pearson 相關性分析成果

|                                                            | R_Jan   | R_Feb   | R_Mar   | R_Apr   | R_May   | R_Jun | R_Jul | R_Aug | R_Sep   | R_Oct   | R_Nov   | R_Dec   |
|------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|
| T_Jan                                                      | -.470** | -.502** | -.457** | -.367** | -.300*  | .093  | .253* | .180  | -.316** | -.378** | -.335** | -.380** |
| T_Feb                                                      | -.484** | -.510** | -.461** | -.361** | -.281*  | .121  | .278* | .207  | -.323** | -.395** | -.352** | -.394** |
| T_Mar                                                      | -.508** | -.518** | -.463** | -.348** | -.273*  | .145  | .301* | .225  | -.351** | -.425** | -.380** | -.420** |
| T_Apr                                                      | -.460** | -.456** | -.404** | -.314** | -.298*  | .110  | .239* | .187  | -.358** | -.417** | -.353** | -.382** |
| T_May                                                      | -.396** | -.395** | -.355** | -.305*  | -.344** | .039  | .157  | .119  | -.334** | -.369** | -.295*  | -.320** |
| T_Jun                                                      | -.315** | -.326** | -.303*  | -.294*  | -.380** | -.039 | .062  | .038  | -.293*  | -.302*  | -.218   | -.240*  |
| T_Jul                                                      | -.239*  | -.265*  | -.257*  | -.278*  | -.396** | -.091 | -.007 | -.020 | -.251*  | -.240*  | -.147   | -.165   |
| T_Aug                                                      | -.245*  | -.262*  | -.250*  | -.269*  | -.389** | -.086 | -.006 | -.019 | -.264*  | -.254*  | -.161   | -.176   |
| T_Sep                                                      | -.308** | -.296*  | -.263*  | -.244*  | -.340** | -.010 | .060  | .038  | -.324** | -.329** | -.237*  | -.249*  |
| T_Oct                                                      | -.410** | -.374** | -.316** | -.241*  | -.285*  | .081  | .160  | .116  | -.393** | -.422** | -.343** | -.358** |
| T_Nov                                                      | -.436** | -.415** | -.355** | -.270*  | -.278*  | .099  | .199  | .144  | -.385** | -.429** | -.359** | -.379** |
| T_Dec                                                      | -.438** | -.448** | -.400** | -.315** | -.284*  | .091  | .220  | .157  | -.337** | -.387** | -.332** | -.364** |
| ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) |         |         |         |         |         |       |       |       |         |         |         |         |
| * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)  |         |         |         |         |         |       |       |       |         |         |         |         |
| Significant positive correlation                           |         |         |         |         |         |       |       |       |         |         |         |         |
| Significant negative correlation                           |         |         |         |         |         |       |       |       |         |         |         |         |

| 項次 | 審查意見               | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3  | 本研究是否可以就各分群提出調適對策。 | <p>本研究分析 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 及 RCP8.5 四種情境下的平均變化，以 6 個分群進行調適策略擬定。</p> <p>整體而言，冬(12-2 月)和春(3-5 月)兩季的 NDVI 和雨量的關係為顯著正相關，也就是此兩季的降雨非常有助植被生長。9-10 月的降雨為不顯著的正相關，表示秋季的降雨有助植被生長。溫度方面，除了 5 月之外，溫度皆和 NDVI 顯著負相關，顯示溫度上升和 NDVI 成反比，溫度越高 NDVI 越低。</p> <p><b>第一分群</b>多位於中央山脈東側，NE、SE、E 向坡的比例高(三種坡度加總比例&gt;40%)且平均坡度高(26.7°)，平均溫度最低(16.8℃)。此群在四種情境中皆預測冬季的降雨會減少 14-37%且溫度會增加 0.5-2℃；春季的降雨減少 13-19%，溫度增加 0.6-2℃。夏季降雨減少 6-10%，溫度增加 0.5-1.8℃。秋季降雨被預測增加 0.3-9%，溫度增加 0.5-2℃。</p> <p>由於此群包含中央山脈東側，特別須注意降雨減少和溫度增加對於高海拔物種的生存環境改變、森林植群帶分布是否會因環境條件改變影響其植被組成、外來種的競爭威脅、人工林的健康維護、整體森林的碳吸存能力和生態功能等影響。</p> <p><b>第二分群</b>位於西半部地形較平坦且高溫處，降雨減少幅度較第一分群更大，冬季約減少 13-</p> |

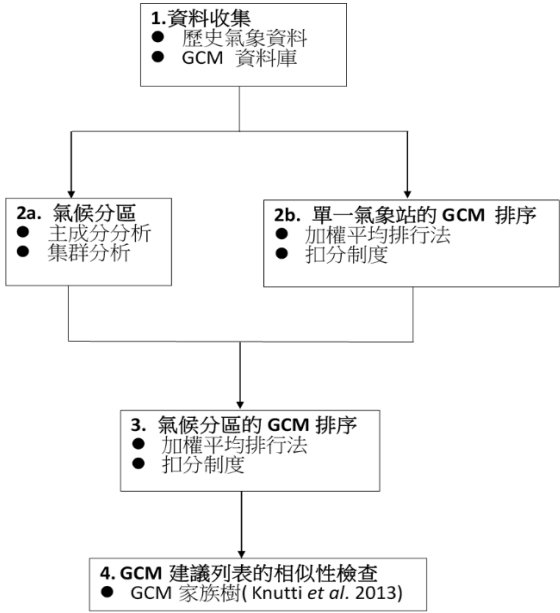
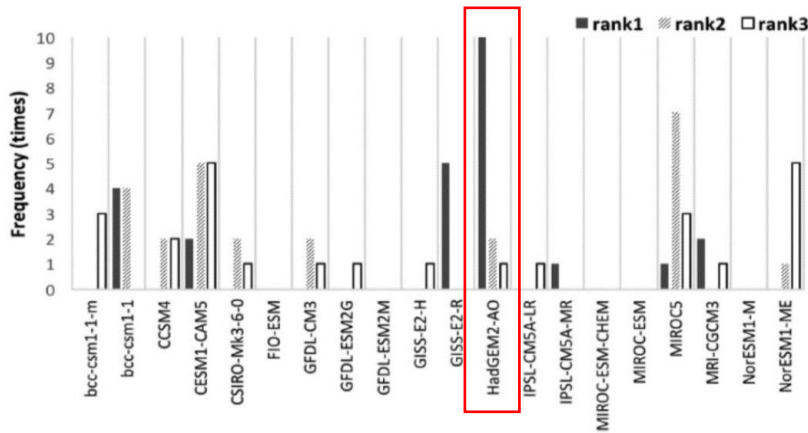
| 項次 | 審查意見 | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |      | <p>45%，春季約減少 15-22%，夏季約減少 5-7%。秋季降雨預測增加 0.4-12%。溫度方面皆為增加，冬季增加 0.6-2℃，春季增加 0.6-2℃，夏季增加 0.5-1.8℃，秋季增加 0.5-1.9℃。</p> <p>考量其土地利用中有約 20% 為農業用地、灌溉農地約 15%、旱地農業用地約 13%，應 特別注意其溫度上升和降雨減少對於農業作物生長的影響，可進行農地脆弱度調查與分析，進行熱點(Hotspot)/脆弱度探討，分級進行輔導。同時可適時調整耕作與輪作制度推廣耐旱作物、水資源調配、發展設施農業或鼓勵種植多樣性作物，並且在農業天然災害救助補助政策或農業保險方面進行全面化的整合與滾動式調整。</p> <p><b>第三分群</b>位於中央山脈西側，平均坡度最高(27.9°)，W、SW 及 NW 坡向比例較高。根據模式預測，此群冬季降雨減少 13-45%，春季降雨減少 12-19%，夏季降雨減少約 5-7%，秋季降雨增加 0.4-12%。溫度方面，冬季與春季增溫 0.6-2℃，夏季增溫 0.4-1.8℃ 秋季增溫 0.4-1.8℃。</p> <p>此群的混合林比例與第一分群相似(76%)，常綠闊葉林比例較第一分群高(5%)，農業用地約 5%，由於此群包含中央山脈西側，為中央山脈綠帶保護區之重點，串聯由南到北的綠帶保護區與東西向的綠地森林綠帶網絡在氣候變遷調適策略中也須重視。</p> |

| 項次 | 審查意見 | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |      | <p>另外高海拔物種是否能適應雨量減少與氣溫上升的改變、生物多樣性是否會因環境條件改變而變動、人工林與天然林林業的健康維護和經營規劃等影響皆須考量。</p> <p>同時此分群大規模崩塌災害潛勢面積為各分群中最大，再加上其夏季降雨量為各分群中最高，根據皮爾森相關性分析，八月份降雨對於 NDVI 具有顯著的負面影響，必須特別注意其坡地受降雨沖刷和土石流發生的機率，加強防減災預防工作和強化大規模崩塌下危機應變能力，並且同時加強林地管理，避免不當開發造成林地破壞與損失。</p> <p><b>第四分群</b>位於西南部，N、W、NW 坡的比例較高，平均坡度 21°，其有 71% 的混合林與約 16% 的農業用地。在雨量變化率方面，冬季受預測減少的比率最高，約減少 17-51%。春季減少 19-23%，夏季減少 4-6%，秋季增加 2-15%。溫度方面。冬季與春季增溫 0.6-1.9℃，夏季增溫 0.5-1.8℃，秋季增溫 0.5-1.8℃。</p> <p>對於此分群，由於其包含山坡地又有農業用地，調適策略建議應注重其山坡地土地農業使用適宜性與衝擊性評估，避免因為不當使用造成水土流失與環境汙染。另外針對日漸頻繁的極端事件，颱風與短時強降雨可能帶來的坡地災害與沖刷也須備有適當水土保持設施與預警模式開發等</p> |

| 項次 | 審查意見 | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |      | <p>調適策略。</p> <p><b>第五分群</b>為大甲溪集水區，其地勢平坦(平均坡度 4.5°)且平均溫度高，包含約 28%的灌溉農業用地和 22%的農牧用地。降雨方面，冬季減少 11-40%，春季減少 10-19%，夏季減少 2-5%，秋季增加 2-23%。溫度方面，冬季增溫 0.7-2.3℃，春季增溫 0.7-2.2℃，夏季增溫 0.5-1.8℃，秋季增溫 0.4-1.8℃。</p> <p>此分群僅有一集水區，調適策略建議評估其雨量變化是否會影響其灌溉農業之使用，同時增溫現象是否會增加水分散失進而影響灌溉農業土壤與植物生長也值得關注。同時在水資源調配之應變方案也建議為調適策略重點。</p> <p><b>第六分群</b>位於臺灣東部，E 與 SE 向坡較多，其中混合林佔 53%，常綠闊葉林佔 14%。降雨方面，冬季減少 13-36%，春季減少 16-21%，夏季減少 6-10%，秋季增加 0.3-9%。溫度方面，冬季增溫 0.6-1.9℃，春季增溫 0.6-1.9℃，夏季增溫 0.5-1.8℃，秋季增溫 0.5-1.5℃。</p> <p>此分群之大規模崩塌災害潛勢面積為各分群中比例最高，需特別加強其 E 與 SE 坡向之坡地防減災工作和強化大規模崩塌下危機應變能力。尤其可針對崩塌地潛勢地區進行其植被組成及特點模式之分析，以掌握其環境脆弱度與耐災程度，提供水保局防</p> |

| 項次 | 審查意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                                                 |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 災工作參考。                                                                                                                                                                                                 |
| 4  | 建議考量此法之適用範圍，因臺灣面積不大、地形起伏大、人口密集且土地利用型態差異大，以40m乘40m為坡度及8km乘8km為網格，且使用月均溫之條件下，進行分群之代表性是否足夠？                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 本計畫使用31年之月平均NDVI進行分群，雖網格面積較大(8km乘8km)，但以長期趨勢而言，可減低資料雜訊之影響而較為清楚的辨識出趨勢(Prasad <i>et al.</i> , 2007; Suzuki <i>et al.</i> 2006; Eklundh 1998; Li <i>et al.</i> 2002)。未來可依據此趨勢，找出特定關注地區後再使用更高空間解析度之資料進行分析。 |
|    | <b>References:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● V. K. Prasad, K. Badarinath, and A. Eaturu, “Spatial patterns of vegetation phenology metrics and related climatic controls of eight contrasting forest types in India analysis from remote sensing datasets,” <i>Theory Appl. Climatol.</i>, vol. 89, pp. 95–107, 2007.</li> <li>● R. Suzuki, J. Xu, and K. Motoya, “Global analyses of satellite-derived vegetation index related to climatological wetness and warmth,” <i>Int. J. Climatol.</i>, vol. 26, pp. 425–438, 2006.</li> <li>● L. Eklundh, “Estimating relations between AVHRR NDVI and rainfall in East Africa at 10-day and monthly time scales,” <i>Int. J. Remote Sens.</i>, vol. 19, pp. 563–570, 1998.</li> <li>● B. Li, S. Tao, and R. Dawson, “Relations between AVHRR NDVI and ecoclimatic parameters in China,” <i>Int. J. Remote Sens.</i>, vol. 23, pp. 989–999, 2002.</li> </ul> |                                                                                                                                                                                                        |
| 5  | 建議考量所有因子之細緻化，及再加入他項重要因子。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 未來可依據水保局建議，考量針對特定集水區進行更細緻化的因子收集與分析。                                                                                                                                                                    |
| 6  | 建議強調此分群方式對水土保持之業務上可協助之方式。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 本計畫對於水保局業務上之協助以建議依照本計畫所提出之六分群進行分群管理。同時建議依據分群特點進行調適策略擬定。                                                                                                                                                |
| 7  | 請增加解釋統計分群使用的方法。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 所使用的分群方法為聚集式階層分群法(Hierarchical Cluster Analysis, HCA)，依據NDVI的時間序列數值進行統計分群。詳細方法已於期末報告書中第二章第2-4頁詳述。                                                                                                      |
| 8  | 本計畫將分群數為6時較佳，請說明是以那些特徵                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 本計畫總共有九個變數具有統計顯著意義，包含坡度、溫度、平坦                                                                                                                                                                          |

| 項次 | 審查意見                                                                                                                                                                                                                              | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                                                |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | 變數所之結果。                                                                                                                                                                                                                           | 坡、東北向坡、雨量、東向坡、東南向坡、西向坡以及西北向坡。                                                                                                                                                                         |
| 9  | 建議在摘要中加入氣候變遷之趨勢及調適策略。                                                                                                                                                                                                             | 遵照辦理。                                                                                                                                                                                                 |
| 10 | 結論中之調適策略，建議分別述明所引用之 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 及 RCP8.5 情境下，臺灣之氣候變遷趨勢及其對應之調適策略。                                                                                                                                                         | 遵照辦理。本報告書中第三章第 3-20 與 21 頁的圖 14 與圖 15 分別說明此四種情境在四種期距內各分群的變遷趨勢。其對應之調適策略說明如第三章第 3-39 與 44 頁                                                                                                             |
| 11 | P1.1-3 第二節，計畫預期成果，建議斟酌”預期”二字。                                                                                                                                                                                                     | 謝謝委員糾正，已於期末報告書中修正。                                                                                                                                                                                    |
| 12 | NDVI 可能因季節導致春冬二季相關性高，然春冬二季降雨少，建議斟酌探討。                                                                                                                                                                                             | 謝謝委員指導，此也再度強調因為自然情況下春冬季原本降雨就少，未來若降雨再更少、溫度再更高，對於 NDVI 的影響也將更為劇烈。                                                                                                                                       |
| 13 | 計畫引用 HadGEM2-AO 模式，請說明該模式有何優於其他模式的條件。                                                                                                                                                                                             | 本計畫參考 Lin and Tung (2017) 年所發表之選取適合台灣的 GCM 研究成果，選取 HadGEM2-AO 模式。此 HadGEM2-AO 模式在選取流程中於台灣各氣象分區排名第一，顯示出此模式優於其他模式更能顯示台灣各氣象分區之氣候特徵，因此可更為貼切反映出未來氣候變遷之走向。以下簡述 Lin and Tung (2017) 年所發表之選取適合台灣的 GCM 研究流程重點。 |
|    | Lin and Tung (2017) 以四階段步驟進行選取適合台灣的 GCM。步驟一蒐集全台灣 25 個氣象站歷史月平均降雨紀錄 (1986-2005) 及 20 個 GCMs (具有完整四個情境預測)。步驟二利用主成分分析 (Principle Component Analysis) 與集群分析 (Cluster analysis) 劃分氣候分區。同時依據相關係數以及乾、濕季的正規化均方根誤差 (NRMSE) 評估此 20 個 GCMs 的適 |                                                                                                                                                                                                       |

| 項次 | 審查意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 回覆辦理情形 |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|    | <p>用性(applicability)。步驟三以加權平均排名(Weighted Average Ranking, WAR)、扣分制度(Demerit Point Systems, DPS)方法將每個氣象站與氣候分區的 GCMs 排序。步驟四產製每個氣候分區的 GCMs 適用性列表並與 Knutti <i>et al.</i> 2013 的 GCM family tree 結果相比對(圖 31)。經過審慎評估與計算排名，在 25 個氣象站中，HadGEM2-AO 排名第一的次數高達 10 次(圖 32)，因此本計畫採用 HadGEM2-AO 進行各分群集水區之氣候變遷情境分析。</p>  <p>1. 資料收集<br/>● 歷史氣象資料<br/>● GCM 資料庫</p> <p>2a. 氣候分區<br/>● 主成分分析<br/>● 集群分析</p> <p>2b. 單一氣象站的 GCM 排序<br/>● 加權平均排行法<br/>● 扣分制度</p> <p>3. 氣候分區的 GCM 排序<br/>● 加權平均排行法<br/>● 扣分制度</p> <p>4. GCM 建議列表的相似性檢查<br/>● GCM 家族樹( Knutti <i>et al.</i> 2013)</p> <p>圖 31 選取適合台灣的 GCM 步驟流程圖(改繪自 Lin and Tung (2017))</p>  <p>Frequency (times)</p> <p>rank1 rank2 rank3</p> <p>bcc-csm1-1-m bcc-csm1-1 CCSM4 CESM1-CAM5 CSIRO-Mk3-6-0 FIO-ESM GFDL-CM3 GFDL-ESM2G GFDL-ESM2M GISS-E2-H GISS-E2-R HadGEM2-AO IPSL-CM5A-LR IPSL-CM5A-MR MIROC-ESM-CHEM MIROC-ESM MIROC5 MRI-CGCM3 NorESM1-M NorESM1-ME</p> <p>圖 32 適合台灣的 GCMs 排序(紅框為 HadGEM2-AO)</p> |        |