

# 蓮華池森林集水區氣候及水文動態：現況及未來氣候變遷分析

張仲德<sup>1,2,3,\*</sup>、江智民<sup>1,2,3</sup>、卓逸民<sup>2,3</sup>、林宜靜<sup>2,3</sup>、原友蘭<sup>4</sup>

1. 東海大學生物多樣性國際研究生博士學位學程; 2. 東海大學生態與環境研究中心; 3. 東海大學生命科學系; 4. 東海大學景觀學系

\*E-mail: chungtechang@thu.edu.tw

## 前言

本研究計畫「氣候變遷下坡地生態與農業系統之調適與永續--建立南投魚池鄉蓮華池週邊社區為高韌性之社會-生態-生產地景」為國科會補助之多年期專題研究計畫。其中子計畫一、二研究目的中包括對蓮華池森林集水區進行過去、現在及未來氣候和水文趨勢的分析，以提供其他子計畫中生物、生態及經濟產業活動調查參考。

台灣淺山坡地為居民產業活動與自然保育衝突的熱區，在此衝突下不但生態系結構與功能造成衝擊，同時危及生物多樣性的維持，更進一步劣化居民賴以維生的生態系服務。其中水資源的獲得可能是受氣候變遷影響最直接的生態系服務，因此對於降雨及森林地區水溪流量的評估是本計畫中基本且重要的工作項目。

## 材料與方法

1. 研究區域：蓮華池研究中心猴龍溪及火培溪 (圖1)
2. 現地資料：長期氣象(1961-2020)及集水區逕流量記錄(1975-2020)，用以計算標準降雨指數(SPI, standardized precipitation index)及水文逕流量的乾旱分析(SDI; streamflow drought index)，評估區域內乾旱狀況及兩者間關聯。分析時間尺度為SPI1-SPI12、SDI1-SDI12
3. 透過TCCIP取得研究區相對應之溫度與雨量網格歷史及變遷資料，則利用不同模式得到的月份雨量平均值進行不同時間尺度的氣象(SPI)和水文乾旱(SDI)分析
4. 本研究採用Haith與Shoemaker發展之GWLF (Generalized Watershed Loading Function) 模式估算火培溪及猴龍溪流流域逕流量；配合蒐集之網格數值地形模型(DEM)資料，共繪製出10個子集水區分別評估其未來溪流水量趨勢(圖1)
5. 並進一步分析目前(2001-2020)集水區內植被綠度季節變化(MODIS EVI)與雨量(P)、水文逕流(Q)之關係(P-Q deficit)，了解植被生長與氣候、水文之交互作用

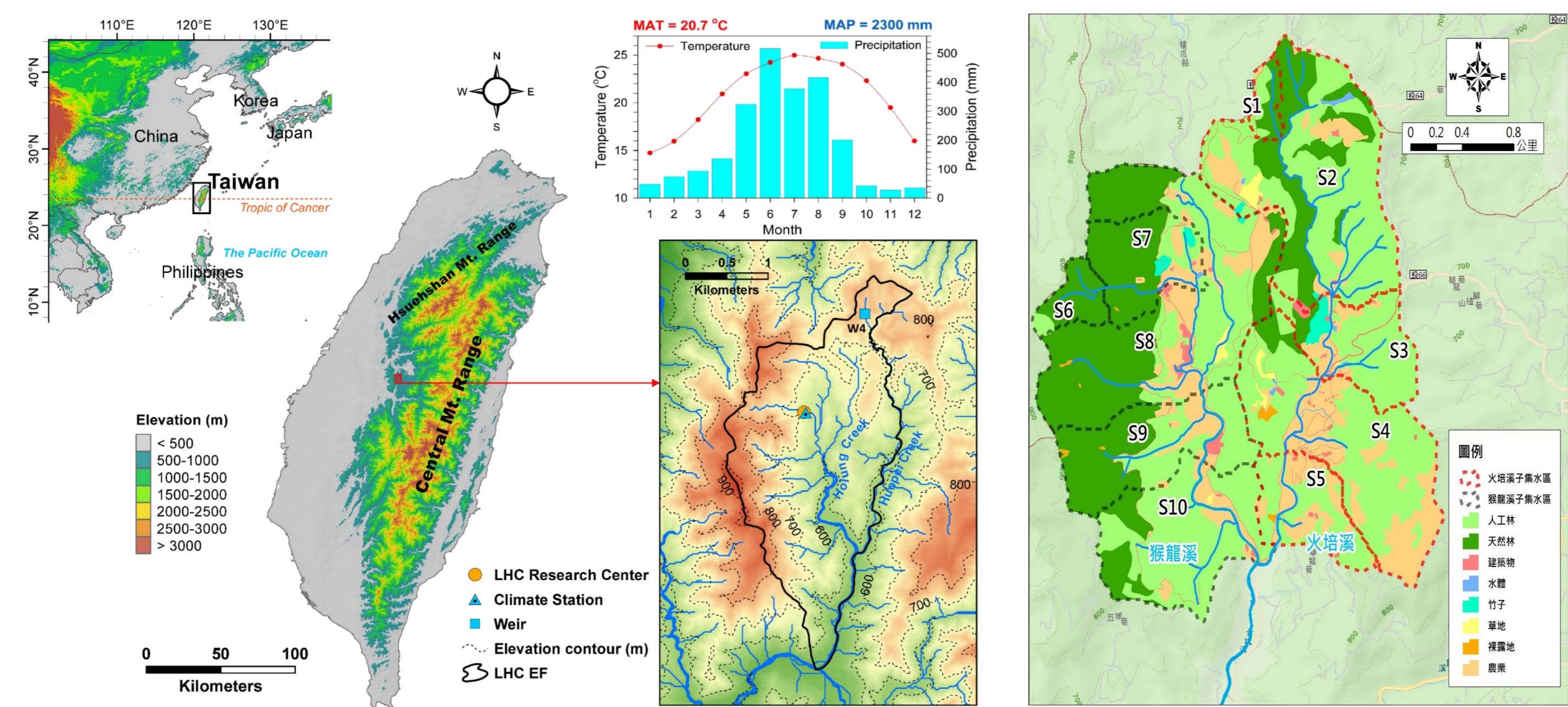


圖1 蓮華池研究中心位置、猴龍溪和火培溪10個子集水區

## 結果討論

### 1. 氣候與水文過去及現況

- 1) 溫度：過去60年的年平均溫度沒有呈現顯著的趨勢變化
- 2) 雨量：1961-1990相對多雨及相對少雨的年份變化是交互出現，1991-2020相對多雨及相對少雨的頻率及強度(與長期平均差異)皆增加；SPI3及SPI6同樣顯示1991年後正負值出現頻率及強度增加(圖2右)
- 3) 溪流量：SDI3及SDI6顯示2002-2004年有較長的水文乾旱延時之外，其他時間出現水文嚴重乾旱(<1.5)或極端乾旱(<-2.0)的頻率不如SPI來得明顯(圖2中)
- 4) 以不同時間尺度SPI及SDI除了SPI12及SDI12有最佳的關係之外( $R^2=0.80$ ；圖2右)，其餘時間尺度的SPI與SDI的關係皆小於年尺度( $R^2 < 0.80$ )。表示森林集水區水文乾旱現象在降雨量持續時間夠長時(6-12個月)，對水文乾旱才會產生明顯的效應

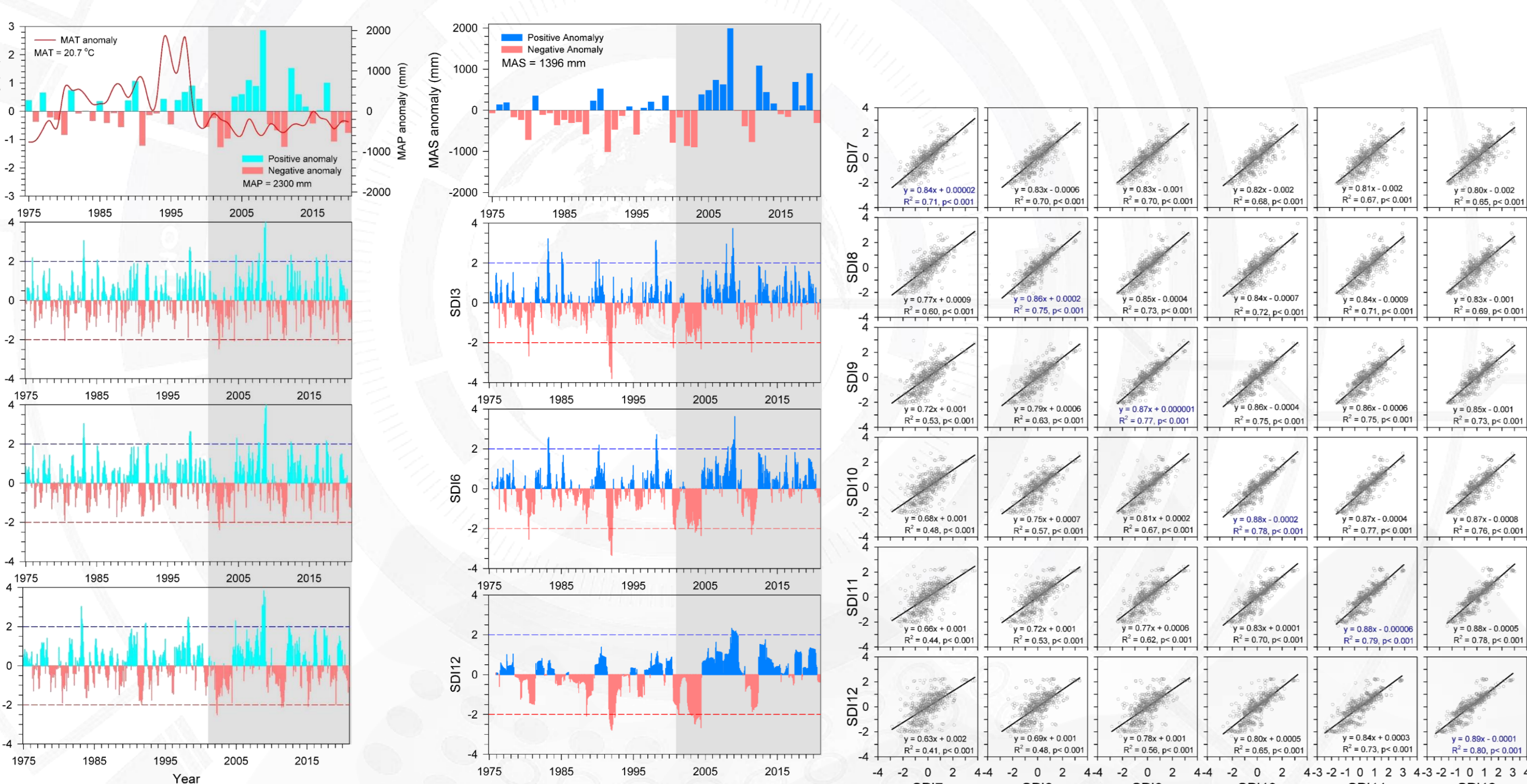


圖2 左圖：年溫度、年雨量變異及SPI3, SPI6及SPI12；中圖：年逕流量、SDI3, SDI6及SDI12；右圖：SPI7-12與SDI7-12之關係

### 2. 氣候與水文未來變遷分析

- 1) 溫度：1960-2020年的歷史觀測及網格資料具有良好的相關性( $R^2=0.54$ )，TCCIP網格數值(20-21度)大致比現地(19-20度)觀測高1度；在RCP2.6情境下，2100年溫度將比目前高1度；在RCP8.5情境下，2100年年均溫將上升至近3度(圖3左)
- 2) 雨量：1960-2020年的歷史觀測及網格資料具有良好的關係( $R^2=0.74$ )，TCCIP雨量網格資料數值(平均1740 mm)有低估現地(平均2630 mm)觀測結果；不論在何種氣候變遷情境下，未來年雨量的推估大致皆維持在1830-1930 mm之間(圖3左)
- 3) 2025年至2100年在不同氣候變遷情境下夏季升溫趨勢最大，冬季升溫趨勢最小(圖3中)；季節的雨量趨勢(mm/day)在1960-2020年間TCCIP與現地觀測歷史資料，呈現年間振盪幅度大，但未來不同情境都很穩定，主要是雨量變遷資料未考慮極端降雨類型(圖3右)
- 4) 不同時間尺度SPI及SDI分析顯示RCP2.6情境下未來最長的乾旱發生延續時間(5-6年)要高於目前觀測結果(2-3年)；RCP8.5的情境下，2025-2100年間可能乾旱發生延續時間最長可能增加至10年，比目前觀測結果(2-3年)及RCP2.6更加嚴重(圖4中、右)

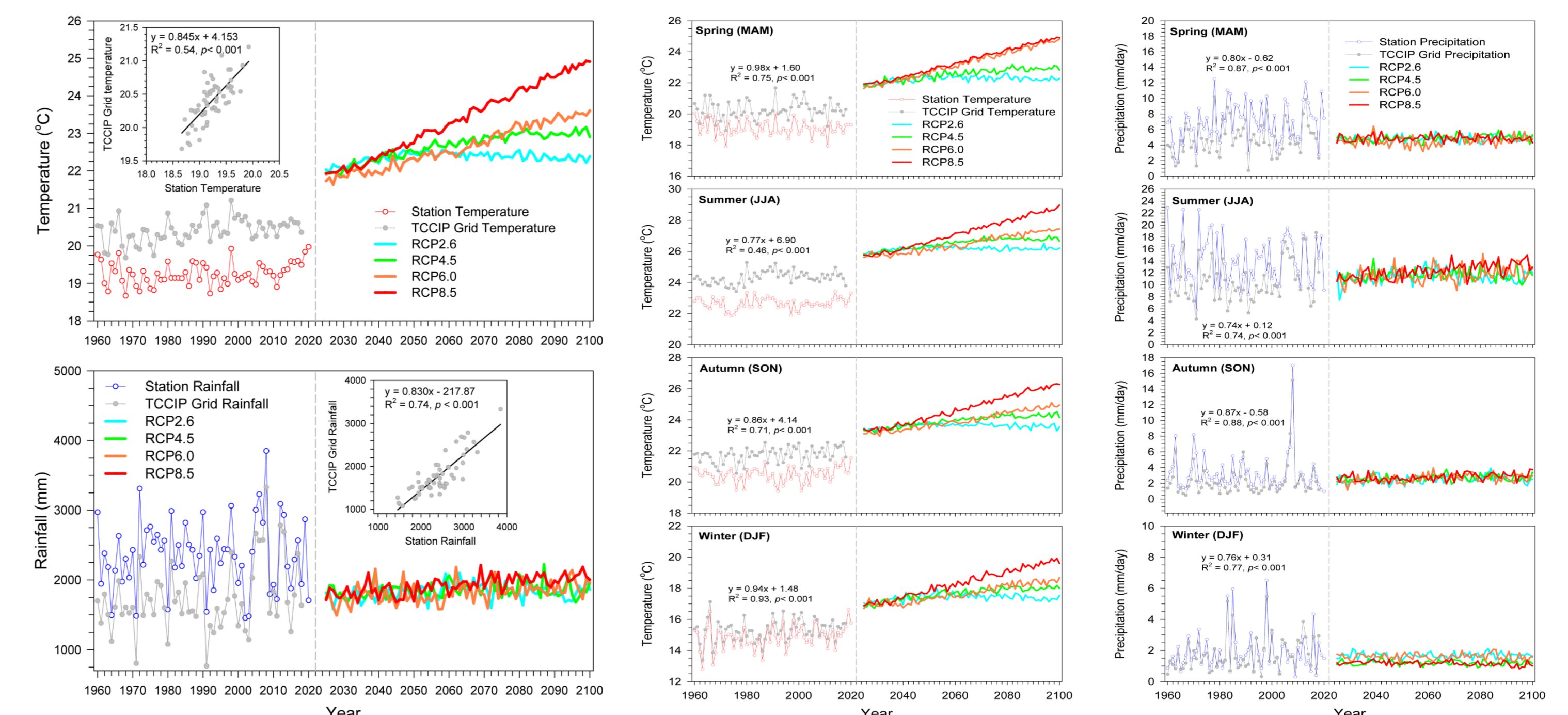


圖3 現地氣象觀測比對TCCIP年平均溫度及年雨量網格資料(1960-2020)，以及不同氣候變遷情境下年平均溫度及年雨量趨勢(左)、季節溫度(中)及季節雨量(右)

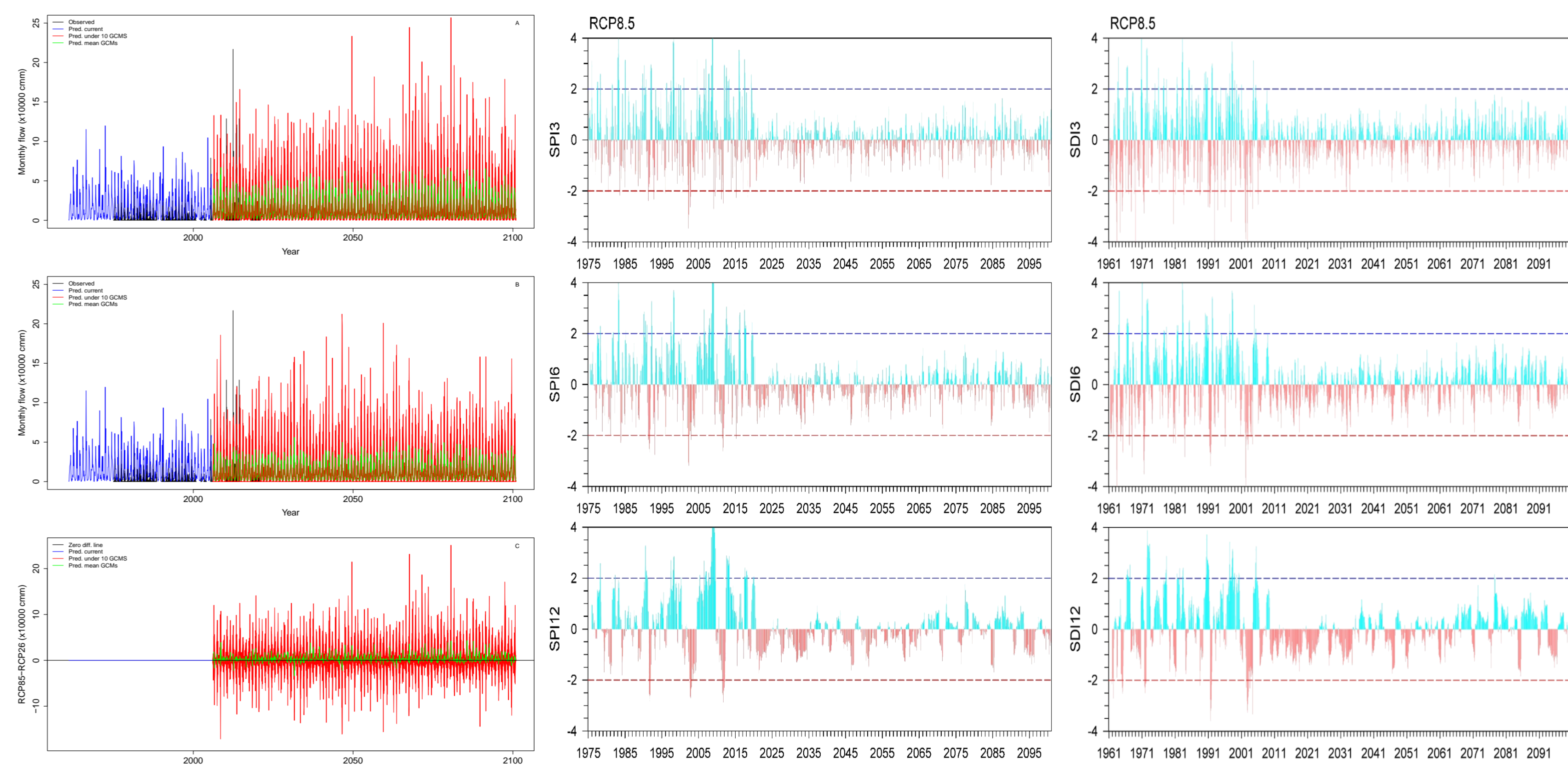


圖4 蓮華池4號水堰之歷史水量變化及GWLF模型依歷史氣象資料(2005年以前藍線)和未來至世紀末(2006-2100年，不同GCMs之平均值以綠線表示)(左圖)；RCP8.5氣候變遷情境下月雨量計算1975至2100年間SPI3、SPI6、SPI12(中圖)及SDI3、SDI6、SDI12(右圖)的分布動態

### 3. 氣候水文與集水區植被生長之交互作用

- 1) 月份EVI與當月月均溫具有最佳顯著線性迴歸關係( $R^2=0.50$ )；月份EVI則與當月及前兩個月平均雨量具有顯著非線性迴歸關係( $R^2=0.40$ )，表示冬春乾季時期的雨量累積對植被生長是相當關鍵的因素
- 2) 生長季開始(SOS)及生長季長度(LOS)與的AET、P-Q deficit皆具有顯著線性關係(圖5)
- 3) 結構方程模式(SEM; structure equation model)分析：春季雨量多寡對SOS及LOS有顯著影響，並關係到生長季和全年水收支變化，但夏季雨量則對植被生長沒有關鍵性的調控作用，僅直接影響生長季和全年水收支變化(圖6)；此關聯與未來氣候變遷的發展具有相當重要的生態意義

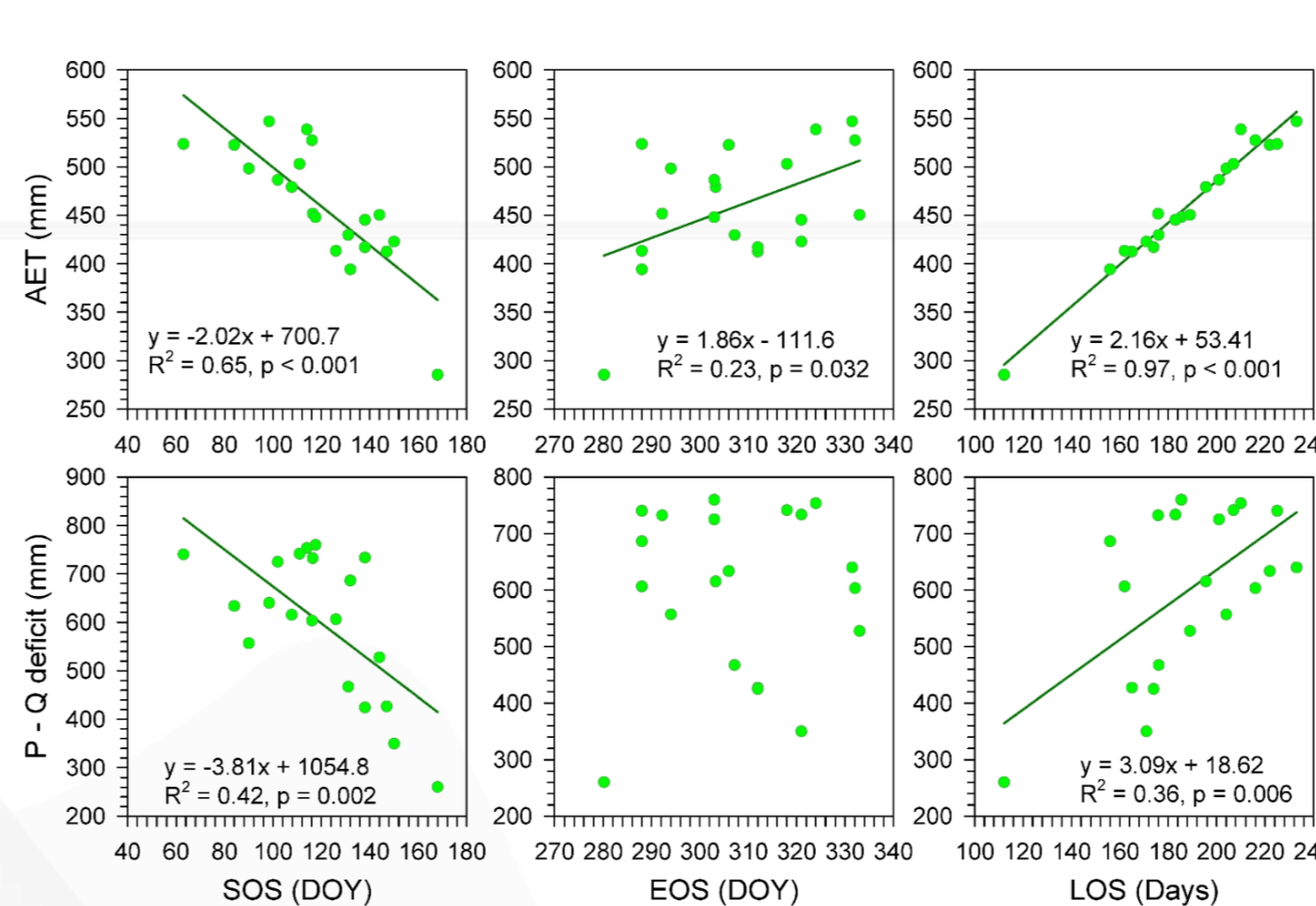


圖5 蓮華池4號集水區以月份EVI進行物候分析得到之SOS、EOS及LOS和AET與P-Q deficit之關係

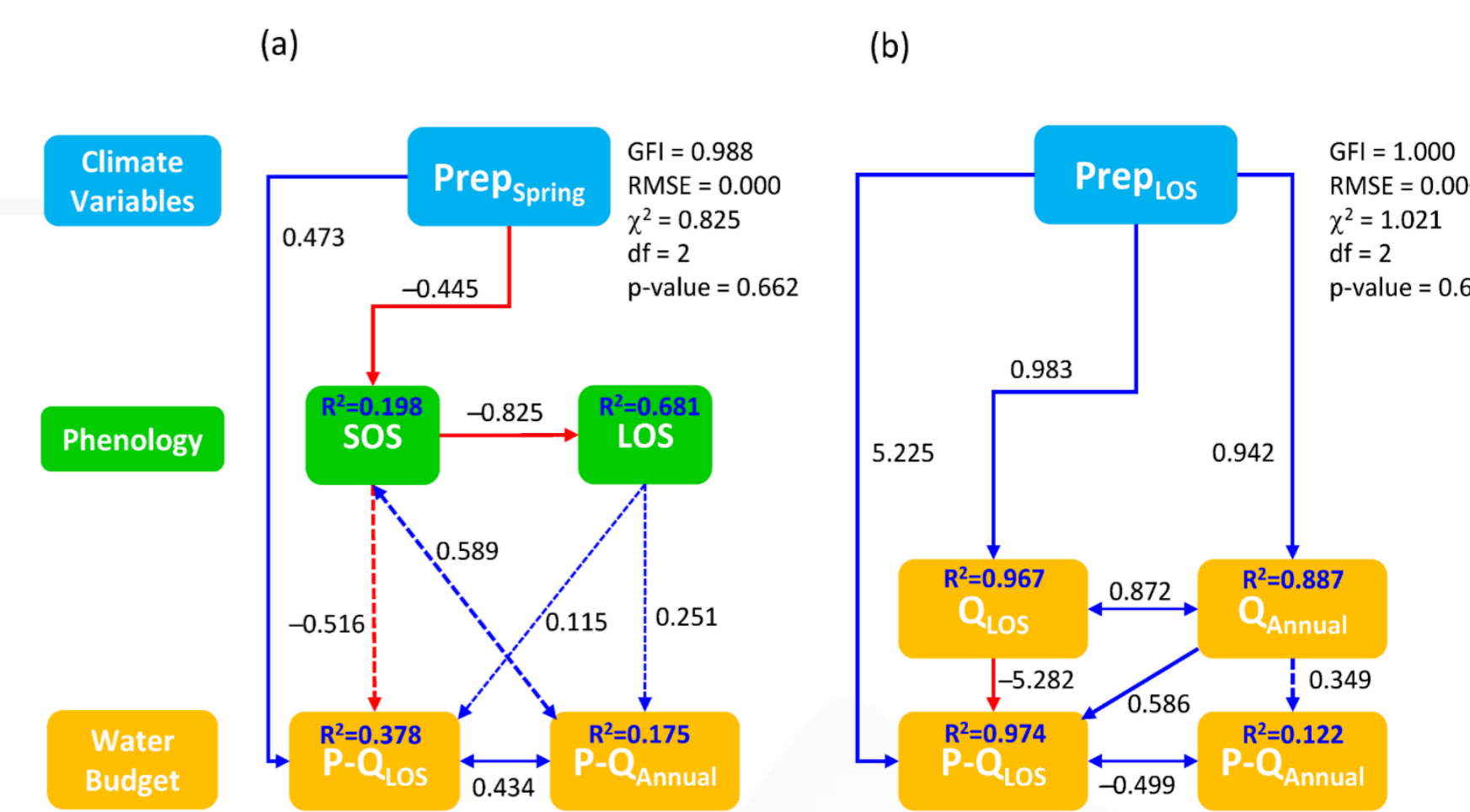


圖6 蓮華池4號集水區現地月均溫、季節雨量、年雨量與SOS、LOS和P-Q deficit之關係(左圖為春季、右圖為夏季)