

應用 TCCIP 資料分析蘭陽河流域長期降雨量的變遷趨勢

許民錠、廖學誠*

摘要 降雨為河川逕流的主要來源，與當地水資源分布息息相關，一旦發生劇烈變化，將會影響水資源使用，甚至引發洪災或旱災。為了探討氣候變遷特性，趨勢分析是常被採用的方法之一。本研究以蘭陽河流域為例，應用 TCCIP 長期降雨量網格資料(1960-2020 年)，經由 Mann-Kendall 檢定及 Theil-Sen 斜率法，探討其降雨量變化趨勢。研究結果顯示，蘭陽河流域降雨量最高月份為 9 月，最高季節為秋季，降雨量深受颱風高強度降雨及東北季風所影響，尤其是蘭陽平原西北側雪山山脈及東南側中央山脈的山麓交接地帶，由於受到山地丘陵地形阻擋，降雨量特別高。另外，經由趨勢分析後得知，蘭陽河流域 4 月及 12 月的降雨量有明顯的增加趨勢，且達顯著水準，春季降雨量也有明顯的增加趨勢，亦達到顯著水準，至於年平均降雨量雖有增加之趨勢，但並未達顯著水準。

關鍵字：蘭陽河流域、氣候變遷、降雨量、趨勢分析

Applying TCCIP Data to Analyze Long-term Precipitation Trends in the Lanyang River Basin

Man-Ting Hui and Shyue-Cheng Liaw*

ABSTRACT Rainfall is the primary source of river runoff and is closely related to the distribution of local water resources. Once significant changes occur, it will affect water resource utilization and may even lead to flood or drought disasters. In order to investigate the characteristics of climate change, trend analysis is commonly used. Taking the Lanyang River Basin as an example, this study applied TCCIP long-term precipitation grid data (1960-2020) and conducted Mann-Kendall test and Theil-Sen slope method to explore the change trend of precipitation. The results showed that the highest monthly rainfall in the Lanyang River Basin is in September, and the highest season is autumn. Rainfall is greatly influenced by high-intensity rainfall from typhoons and the northeasterly monsoon, especially in the foothills of the Snow Mountain Range on the northwest side and the Central Mountain Range on the southeast side of the Lanyang Plain. Due to the obstruction of mountainous and hilly terrain, rainfall is particularly high in these areas. In addition, trend analysis revealed a significant increasing trend in rainfall in April and December in the Lanyang River Basin, reaching a significant level. There is also a significant increasing trend in spring rainfall, reaching a significant level. As for the annual average rainfall, although there is an increasing trend, it has not reached a significant level.

Keywords: Lanyang River Basin, climate change, precipitation, trend analysis

一、前言

降雨為河川逕流的主要來源，與當地水資源分布息息相關，一旦發生劇烈變化，將會影響水資源使用，甚至引發洪災或旱災。根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第六次評估報告指出，亞洲東部部分地區的極端降雨事件及強降雨的頻率與強度將會增加，特別是強烈熱帶氣旋的強

度與數量，乾旱亦將更頻繁發生(IPCC, 2021)。Kakkar *et al.* (2022)觀測到印度錫金地區整體年降雨量有減少的趨勢，雖然東部及北部降雨略有降低，但南部及西部則因西南季風所帶來的高降雨量，反而有顯著增加的趨勢。另外，Wu *et al.* (2022)分析中國太湖流域的降雨趨勢，發現年降雨量呈顯著增加趨勢，當中以強降雨最為顯著，而春季和秋季雨量減少，夏季和冬季雨量則為增加。林佩瑩(2022)分析台灣近 60 年的降雨趨勢變化並推估未來情況，發現

¹ 國立臺灣師範大學地理學系。Department of Geography, National Taiwan Normal University.

* 通訊作者。Corresponding author, E-mail: liaw@ntnu.edu.tw

在冬季東北角之極端降雨強度及頻率增加，春季北部地區降雨強度及總降雨量增加，梅雨季降雨日數減少，颱風季之南部及花蓮北部地區的降雨強度與大雨日數則有顯著的增加；未來推估方面，春季東北部及颱風季全台降雨天數會有顯著的減少，梅雨季及颱風季西部地區之極端降雨強度跟頻率則為增加。另外，林和駿、洪致文(2013)分析台灣百年來之降雨變化，整理出全台的降雨時空分布特性，發現全台梅雨季降雨量普遍增加，秋季降雨量呈上升的趨勢，而春季降雨則是下降的趨勢。未來台灣的乾濕季水資源分布將更不平均，乾旱的頻率及程度也越趨嚴重，尤其是春季，對未來水資源利用是重大考驗(Huang *et al.*, 2012 ; Jhong *et al.*, 2019)。

為了探討氣候變遷特性，趨勢分析是常被採用的方法之一，主要做法為選定研究區域內具一定觀測年限及資料較為完整之氣象站，其氣象資料經校正或補遺後，以少數具代表性的氣象站之趨勢結果代表整個研究區域，或對氣象資料進行內插，以推估整個研究區域之變化趨勢(葉振峰等，2015a ; Güçlü, 2018a; 2018b)。趨勢分析法方面，已有大量學者使用不同的分析方式，如線性回歸法(Das *et al.*, 2021)、小波分析(Wu *et al.*, 2022)、移動樣本熵法(Huang *et al.*, 2023)等，分析氣候資料如降雨量、氣溫、地下水位、流量等，其中以 Mann-Kendall 檢定最為普遍應用，並因其計算簡便、不受極端值影響而備受世界氣象組織(World Meteorological Organization, WMO)推薦。此外，Theil-Sen 斜率檢定同樣用於偵測氣象資料之趨勢變化，亦可利用資料序列改變量公式，計算氣象資料數值的增減幅度(葉振峰等，2015b ; Diop *et al.*, 2016)。

為因應全球氣候變遷威脅，以及區域極端天候所帶來的社經衝擊，國家科學及技術委員會積極推動臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫(Taiwan Climate Change projection and adaptation Information Platform, TCCIP)，蒐集整合散佈各單位測站資料，建立本地氣候變遷資料，建置長期且高時空解析度的歷史觀測網格資料，除了可強化診斷天候事件時空演化的能力，並且能充分滿足區域氣候模式，還可提供不同領域相關研究之需(楊承道等，2023)。TCCIP 整合各政府部門之氣象資料，產製出可供使用之降雨量及氣溫網格化觀測資料，已有不少學者應用該資料進行研究並取得豐碩成果(林和駿、洪致文，2013；涂建翊、紀佳臻，2017；陳玄芬、涂建翊，2017；邱繼成等，2021；楊承道等，2023)。

近年來，宜蘭地區天然災害時有所聞，根據農業部農村發展及水土保持署(2023)統計資料得知，宜蘭縣土石流潛勢溪流共計 150 條，其中蘭陽溪上游大同鄉境內即有 43 條，潛勢災害甚高。壽克堅等(2014)指出蘭陽溪上游若發生大規模之暴雨事件，可能誘發大規模土石流、山崩及土砂運移現象，造成下游二次災害。宋健豪等(2014)指出，蘭陽溪上游集水區部分地區因降雨量增加，導致坡地災害風險升高，進而衝擊到當地的高冷蔬菜產業、紅檜及扁柏生存以及觀光產業，而部分地區亦因枯水期降雨減少而導致乾季缺乏水資源。葉振峰等(2015a)提到蘭陽河流域自 2002 年後頻繁發生極端潮濕事件，且有較高機率發生極端乾旱及潮濕事件。

綜上所述，面對日益增加的風險，有需要掌握流域內之氣候變化特性，以提供資訊予相關單位進行決策。因此，本研究以蘭陽河流域為例，應用 TCCIP 長期降雨量資料(1960-2020 年)，經由 Mann-Kendall 檢定及 Theil-Sen 斜率法，探討其降雨量變化趨勢與特性，期能為災害防治及流域經營管理提供參考。

二、材料與方法

(一)研究區域

蘭陽溪發源於宜蘭縣大同鄉境內的中央山脈南湖大山北麓，貫穿大同鄉全境後，從牛鬥附近進入蘭陽平原，主流全長約 73 km，面積約 978 km²(圖 1)。蘭陽溪原名宜蘭濁水溪，以含砂豐富、水質混濁而得名，為台灣東北部宜蘭縣境內最大的河川。蘭陽溪流域之地勢為東北低、西南高，中上游河谷大致沿著梨山斷層發展，當中大多為沖積扇階地。蘭陽溪流域之年平均雨量約 2,837 mm，年平均氣溫約為 22.5 °C，年平均濕度約為 80.5%，降雨主要集中在於秋季，乾季不明顯(經濟部水利署，2023)。

(二)降雨資料

本研究針對蘭陽河流域之降雨量進行分析，資料來源為臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)之網格化觀測降雨量資料，觀測年限為 61 年，自 1960 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日，解析度為 1 km × 1 km。為方便進行趨勢分析，根據前人研究將資料分為一至十二月、年度以及依照自然降雨季節劃分之春季(2、3、4 月)、梅雨季(5、6 月)、夏季(7、8 月)、秋季(9、10 月)、冬季(11、12、1 月)(林和駿、洪致文，2013)。

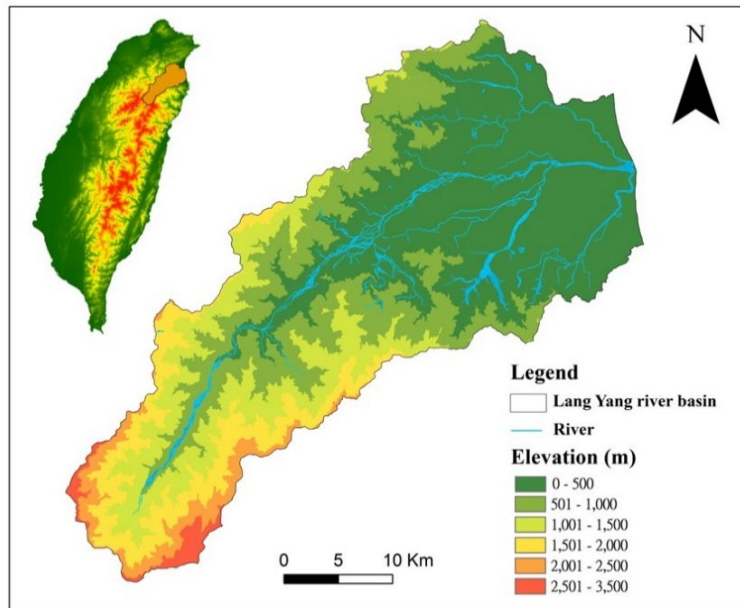


圖 1、蘭陽河流域範圍

Fig. 1 Lang-Yang River Basin

(三)研究方法

1. Mann-Kendall 檢定

Mann-Kendall 檢定為無母數統計分析，適用於多種不同時間序列資料，可以檢定時間序列是否有顯著趨勢，已有大量研究使用 Mann-Kendall 檢定探討降雨量及流量的變化趨勢(Ahmad *et al.*, 2015)。其公式如下(Mann,1945; Kendall, 1975)：

假定一組時間序列資料為 $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ ，則令下列公式(1)：

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (1)$$

式(1)中：S 為檢驗之統計變量，n 為樣本數。當 $\text{sgn}(X_j - X_i)$ 數值大於 0 時，S 值為 1，相反，當數值小於 0 時，S 值為 -1，當數值為 0 時，則 S 值亦為 0。計算方式如下列公式(2)所示：

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Mann-Kendall 趨勢檢定係數 τ 值計算方法如(3)所示：

$$\tau = \frac{S}{N} = \frac{S}{n(n-1)/2} \quad (3)$$

n 為樣本數， τ 為檢定係數，S 為檢驗之統計變量。

式(3)中當 τ 為正值時，表示時間序列資料有漸增的趨勢，反之，當 τ 為負值時，則表示時間序列資料有漸減的趨勢。當 $n \geq 10$ ，統計量 S 則近似於標準常態分布，可以透過式(4)計算出之標準常態統計量 Z 值來判斷時序資料是否有顯著性的增加或遞減之趨勢。

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中，Z 為標準常態統計量，S 為檢驗之統計變量，Var(S) 為變異數。其中變異數計算方法為下式(5)：

$$\text{Var}(S) = \left(\frac{1}{18}\right)[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m T_i(T_i-1)(2T_i+5)] \quad (5)$$

式(5)中，m 為樣本序列中數值相等的組數，而 T_i 表示數值相等的第 i 組內所含的數值數目，n 為樣本數。本研究採用顯著水準 $\alpha = 0.05$ 作為 Mann-Kendall 趨勢分析判斷標準，當 $|Z| \geq 1.96$ 時達到顯著水準。

2. Theil-Sen 斜率法

該方法為 Sen 於 1968 年提出計算時間序列真實趨勢斜率的方法，當一時間序列表現出具有線性趨勢的特性下，其真實斜率可利用簡易之計算方程式求出(Theil, 1950; Sen, 1968)。Theil-Sen 法不易受極端值所影響，

因其取時間序列任兩點斜率中之中位數做為真實斜率。由於時間序列中若存在極端值，一般線性迴歸方法受此極端值所影響而產生高估或低估的斜率，計算時間序列之真實斜率公式如下：

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{X_j - X_i}{j - i} \right) \cdot i = 1, 2, \dots, n ;$$

$$j = 1, 2, \dots, i + 1 \tag{6}$$

式(6)中 β 為時間序列中兩資料點間之斜率； X_j 和 X_i 為時間序列中 j 與 i 時間點($j > i$)所對應之資料值。計算完趨勢斜率後，再以原本資料序列為基礎，求出趨勢斜率所代表之方程式如下式(7)所示：

$$Y_t = \beta \times t + X_t \tag{7}$$

Y_t 為趨勢斜率方程式求出之資料值， t 為時間， X_t 為方程式之截距。

三、結果與討論

(一)降雨量時空變化

1. 時間分布

本研究以 TCCIP 之 61 年(1960 至 2020 年)網格化觀測降雨量資料進行分析，各月份平均降雨量時間分布如圖 2 所示，不同季節平均降雨量時間分布則如圖 3 所示。由圖 2 得知，在不同月份降雨量方面，蘭陽溪流域降雨量最高月份為 9 月，平均值達 477.5 mm，其次依序為 10 月(446.5 mm)、8 月(287.1 mm)及 11 月(257.7 mm)，年平均降雨量為 2,685.5 mm。另外，由圖 3 得知，在不同季節降雨量方面，蘭陽溪流域降雨量最高季節為秋季(9、10 月)，平均值達 924.0 mm，其次依序為冬季(530.4 mm)

及夏季(480.8 mm)。由於蘭陽溪開口朝向東北方、面臨太平洋，颱風季節時常會帶來高強度降雨，尤其是 9 月秋颱，容易造成當地洪患水災，此外，冬季時又常遭受東北季風影響，陰雨綿綿，以致於冬天季節時降雨量亦頗高。顯然地，在時間分布上，蘭陽溪流域降雨量主要集中於颱風季節秋季的 9 月及 10 月，占全年平均降雨量的 34.4%，超過三分之一以上，另外，緊接而來的東北季風亦造成冬季降雨量甚高，僅次於秋季。

2. 空間分布

各月份降雨量空間分布如圖 4 所示，不同季節及年平均降雨量空間分布則如圖 5 所示。由圖 4 及圖 5 中可看出，蘭陽溪流域降雨量的空間分布與地形呈高度相關，流域內東北部主要為蘭陽溪沖積扇平原，地形開闊平坦，沒有高山阻擋水氣，因此，無論是在不同月份、季節或年平均降雨量，沖積扇平原區降雨量均較低，顏色以淺藍居多，部分區域為淡黃色，表示降雨量相對較少。隨著海拔逐漸升高，進入蘭陽平原西北側雪山山脈及東南側中央山脈的山麓交接地帶，由於受到山地丘陵地形阻擋，降雨量急遽增高，顏色由淡黃轉為深紅，尤其是在蘭陽平原東南側中央山脈山區，降雨量更是位居全區之冠。由於蘭陽溪流域地形為西南高東北低，全區以東北向坡為主，而接鄰之中央山脈山坡，形成東北季風與颱風迎風面，為台灣降雨量最大地區之一，依據年平均等雨量線圖，該區域年降雨 3,000 mm 至 4,000 mm，大同鄉的土場及冬山鄉的新寮為降雨中心，年降雨及特定延時降雨均曾創下全台之冠記錄(經濟部水利署，2020)。沿著蘭陽溪河谷往上，海拔漸升，進入高山區，經過土場附近的家源橋後，降雨量則漸減，顏色轉為淡黃及淺藍。

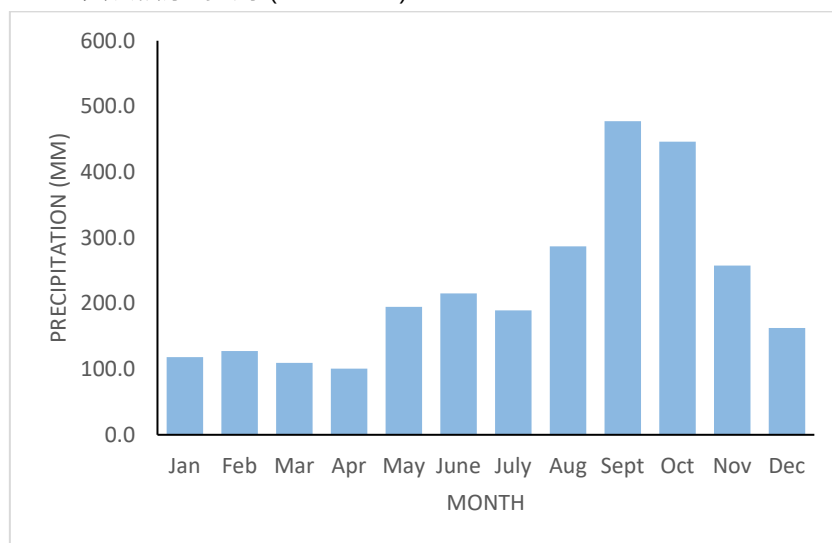


圖 2、各月份降雨量時間分布圖

Fig. 2 Temporal Distribution of Monthly Precipitation

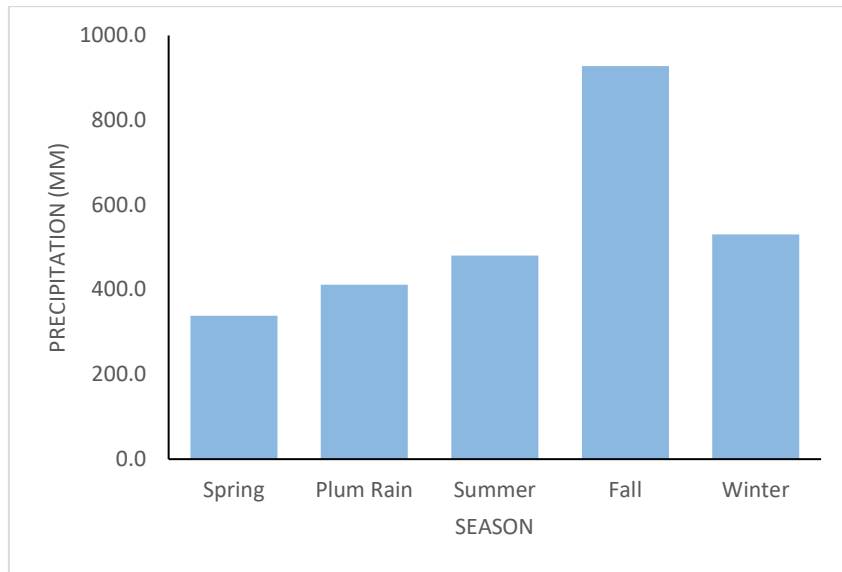


圖 3、不同季節降雨量時間分布圖

Fig. 3 Temporal Distribution of Precipitation for Different Seasons

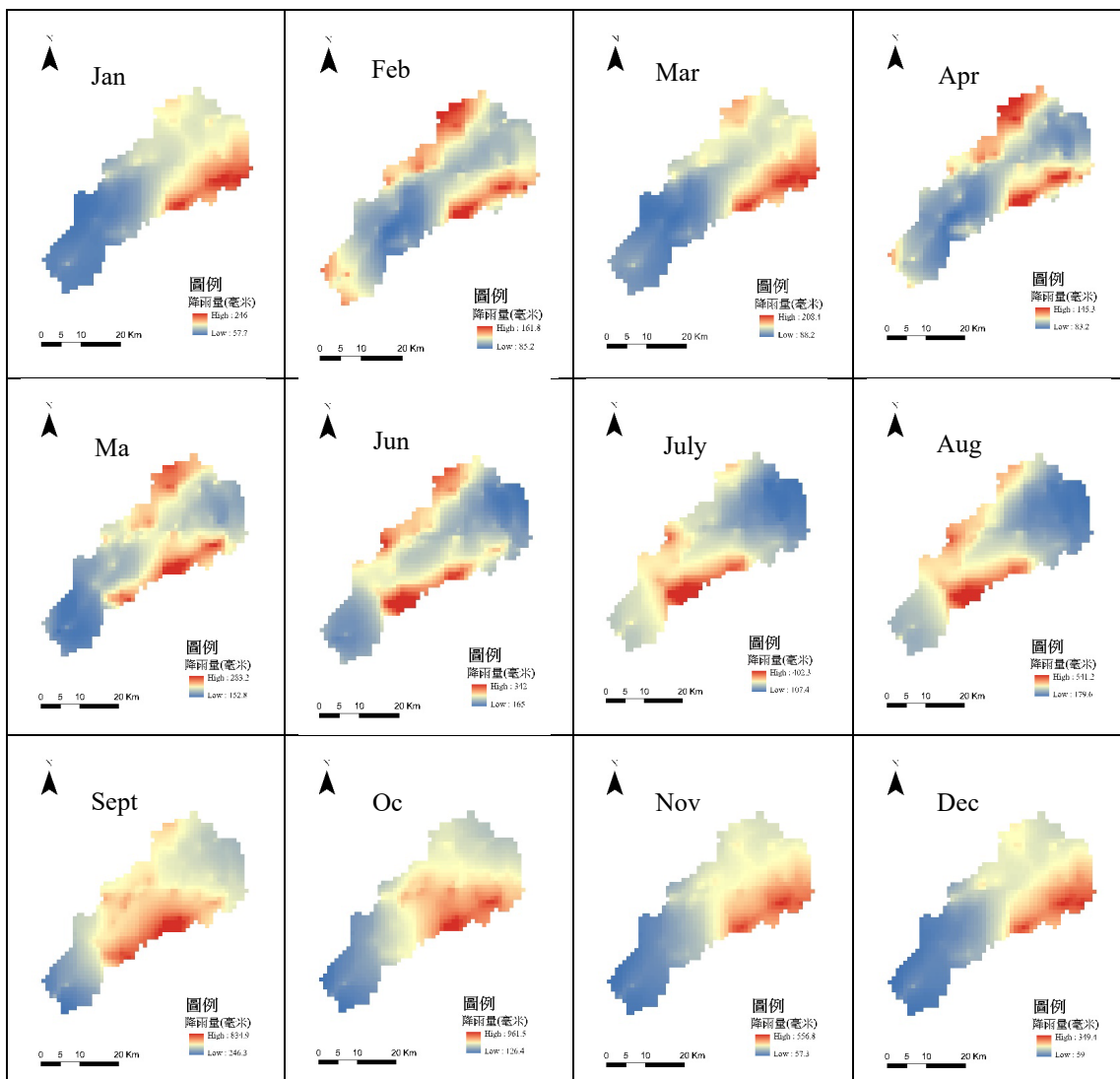


圖 4、各月份降雨量空間分布圖

Fig. 4 Spatial Distribution of Monthly Precipitation

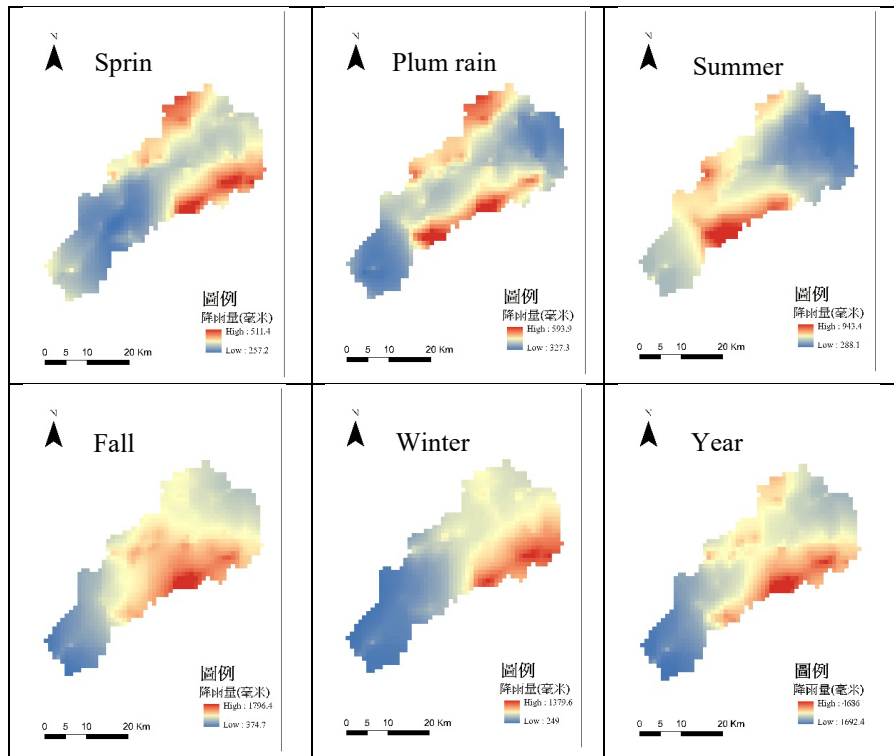


圖 5、不同季節及年平均降雨量空間分布圖

Fig. 5 Spatial Distribution of Precipitation for Different Seasons and Annual Average

(Spring: Feb, Mar, Apr; Plum rain: May, June; Summer: July, Aug.; Fall: Sept, Oct; Winter: Nov, Dec, Jan)

(二)降雨量趨勢分析

研究區降雨量之 M-K 趨勢檢定及 Theil-Sen 斜率檢定分析結果如表 1 所示。首先，在月降雨量變化部份，由表 1 中得知，透過 M-K 趨勢檢定 τ 值可以發現，6 月及 9 月的降雨量 τ 值均為負值，顯示出降雨量有減少之趨勢，但 P 值尚未到達顯著水準，至於其他月份的 τ 值均為正值，呈現降雨量有增加之趨勢，其中 4 月降雨量的 P 值為 0.008，12 月的 P 值為 0.006，均達顯著水準 ($P < 0.05$)，顯示出蘭陽溪流域 4 月及 12 月的降雨量有明顯的增加趨勢。另外，Theil-Sen 斜率檢定結果與 M-K 趨勢檢定相似，不同月份的 Theil-Sen 斜率檢定圖如圖 6(1-6 月)及圖 7(7-12 月)所示。研究期間 6 月及 9 月之 Theil-Sen 斜率為負值，故降雨量呈現減少的變化趨勢，至於其他月份的斜率均呈現正值，代表降雨量呈現增加的變化趨勢，其中又以 4 月及 12 月之降雨量變化斜率最為顯著。

透過 M-K 趨勢分析以及 Theil-Sen 斜率檢定可以發現，研究區 4 月及 12 月降雨量較其他月份降雨量具有明顯的增加趨勢，透過圖 6 中 4 月降雨量的序列分析後發現，研究期間 4 月降雨量於 2010 年後有逐漸增加之趨勢，其中以 2013 年(204.3 mm)、2017 年(156.8 mm)

及 2019 年(163.3 mm)最為明顯，高出 4 月平均值(100.6 mm)甚多。此外，經由圖 7 中 12 月降雨量的序列分析後亦發現，研究期間 12 月降雨量於 2010 年後也有顯著逐漸增加之趨勢，尤其是 2017 年(365.2 mm)、2018 年(278.2 mm)、2019 年(200.3 mm)及 2020 年(511.1 mm)最為明顯，高出平均值(162.4 mm)甚多，2020 年 12 月降雨量甚至超過 500 mm，達歷年來之最高，實屬罕見。很明顯地，研究區內 4 月及 12 月份高強度降雨量主要分布於 2010 年以後，而較為低降雨量的年份多為 1980 年以前，此現象與 M-K 趨勢檢定以及 Theil-Sen 斜率檢定之結果相符。

其次，在季節性降雨量變化部份，透過表 1 中季節降雨量 M-K 趨勢檢定之 τ 值正負值可以發現，除秋季降雨量之 τ 值為負值，呈現降雨量減少之趨勢外，其餘季節之 τ 值均呈現正值，顯示出降雨量有增加之趨勢，其中又以春季之 τ 值最為顯著，降雨量的 P 值為 0.038，達到顯著水準 ($P < 0.05$)，表示出研究區春季的降雨量有明顯的增加趨勢。另外，季節性降雨量之 Theil-Sen 斜率檢定結果與 M-K 趨勢檢定相同，不同季節的 Theil-Sen 斜率檢定圖如圖 8 所示。研究期間秋季降雨量的 Theil-Sen 斜率呈現負值，降雨量有減少之趨勢外，其餘季節之 Theil-

Sen 斜率均呈現正值，其中又以春季的斜率變化最為顯著。相較於逐月降雨量分析，春季降雨量代表 2、3、4 月間之降雨量，透過圖 8 之降雨量序列分析得知，雖然春季降雨量以 1984 年為最高，達到 909.7 mm，但是在 2010 年後，研究區的春季降雨量則明顯地增加許多，比 1980 年以前較高，此現象與 M-K 趨勢檢定以及 Theil-Sen 斜率檢定之結果雷同。林佩瑩(2022)應用極端降雨相關指標，分析台灣近 60 年的極端降雨特性及降雨趨勢變化，發現在冬季時，東北角之日平均降雨強度及極端降雨強度均顯著增強，在春季時，北部地區降雨強度及總降雨量也增加。本研究也發現類似現象，顯示出蘭陽河流域 4 月、12 月及春季的降雨量有明顯的增加趨勢，尤其是在

2010 年後，此趨勢更為明顯，極可能受到氣候變遷所影響。

另外，在年平均降雨量變化部份，表 1 中 M-K 趨勢檢定結果 τ 值為正值，但 P 值為 0.102，並未達顯著水準，顯示出雖然研究區年平均降雨量呈現增加趨勢，但在統計上並未顯著。此外，年平均降雨量之 Theil-Sen 斜率檢定結果與 M-K 趨勢檢定結果相符，Theil-Sen 斜率為正值，呈現年平均降雨量具有增加趨勢。透過圖 8 之年平均降雨量序列分析得知，研究期間年平均降雨量以 1974 年(4,679.4 mm)為最高，其次為 1998 年(4,557.2 mm)，研究期間後半段之年降雨量略高於前半段，此現象與本研究所使用的兩項趨勢檢定結果相同。

表 1、蘭陽河流域降雨量趨勢分析

Table 1 Trend Analysis of Precipitation in the Lang-Yang River Basin

| 時間 | τ | P | 斜率(β) |
|---------------|--------|---------|---------------|
| 1 月 | 0.063 | 0.474 | 0.063 |
| 2 月 | 0.118 | 0.181 | 0.118 |
| 3 月 | 0.094 | 0.287 | 0.094 |
| 4 月 | 0.235 | 0.008** | 0.235 |
| 5 月 | 0.123 | 0.161 | 0.123 |
| 6 月 | -0.045 | 0.614 | -0.045 |
| 7 月 | 0.078 | 0.380 | 0.078 |
| 8 月 | 0.028 | 0.751 | 0.028 |
| 9 月 | -0.060 | 0.498 | -0.060 |
| 10 月 | 0.078 | 0.380 | 0.078 |
| 11 月 | 0.098 | 0.265 | 0.098 |
| 12 月 | 0.242 | 0.006** | 0.242 |
| 春季(2、3、4 月) | 0.184 | 0.038** | 0.184 |
| 梅雨季(5、6 月) | 0.055 | 0.536 | 0.055 |
| 夏季(7、8 月) | 0.094 | 0.293 | 0.094 |
| 秋季(9、10 月) | -0.019 | 0.833 | -0.019 |
| 冬季(11、12、1 月) | 0.127 | 0.155 | 0.127 |
| 年度 | 0.144 | 0.102 | 0.144 |

** : $P < 0.05$

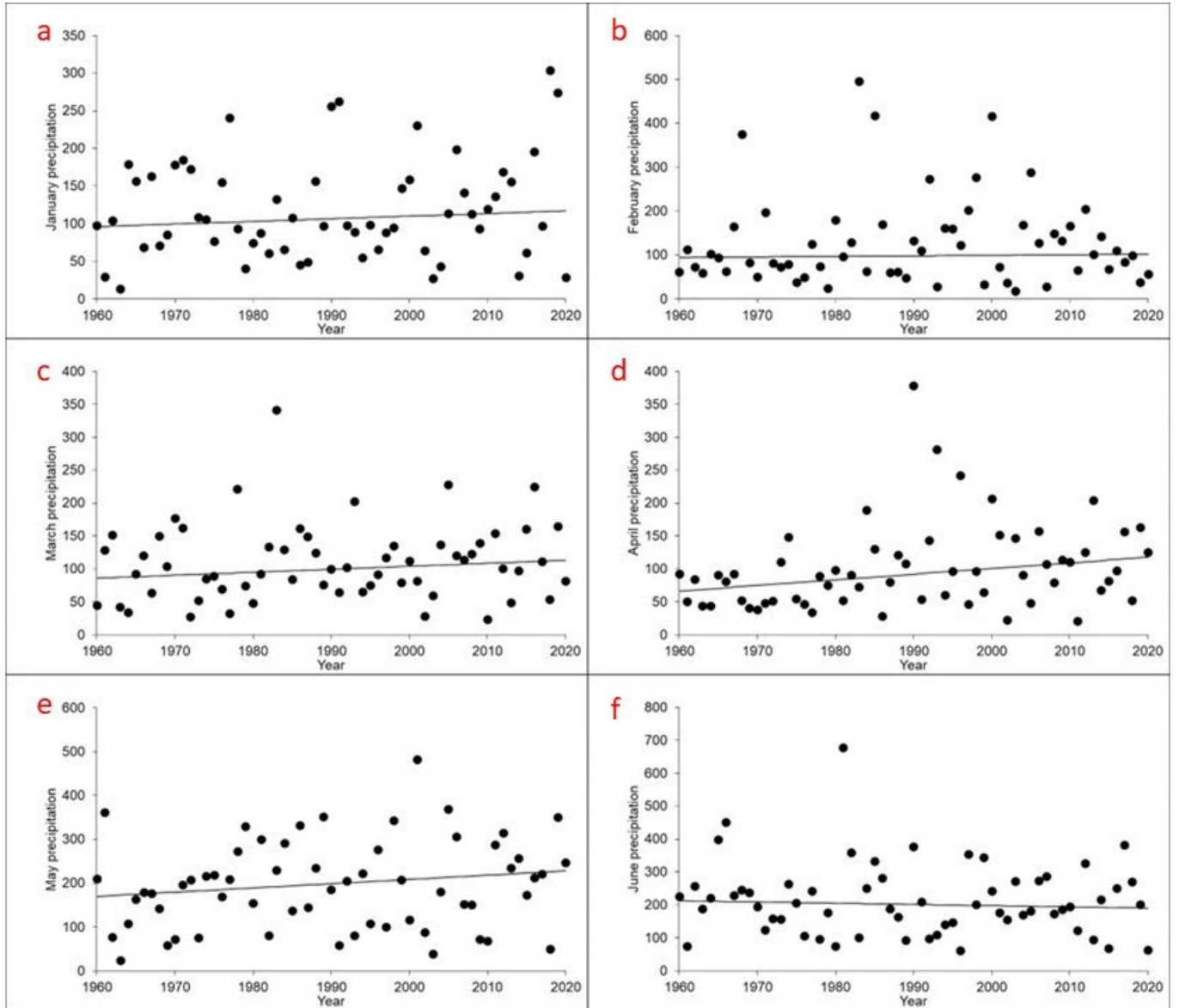


圖 6、蘭陽溪流域 1-6 月降雨量趨勢圖(a : 1 月 ; b : 2 月 ; c : 3 月 ; d : 4 月 ; e : 5 月 ; f : 6 月)

Fig. 6 Precipitation Trend for the Lang-Yang River Basin from January to June(a: January; b: February; c: March; d: April; e: May; f: June)

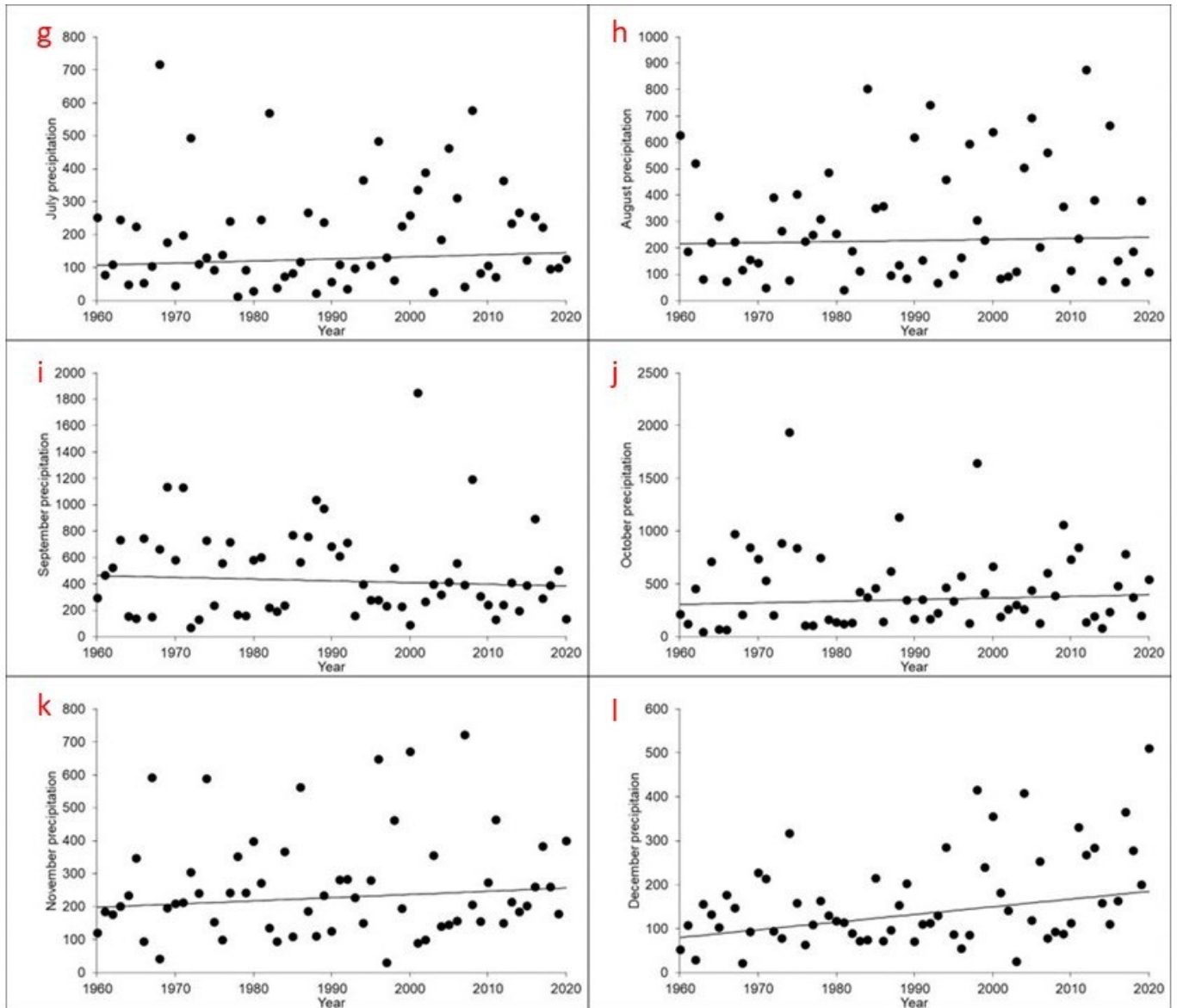


圖 7、蘭陽溪流域 7-12 月降雨量趨勢圖(g : 7 月 ; h : 8 月 ; i : 9 月 ; j : 10 月 ; k : 11 月 ; l : 12 月)

Fig. 7 Precipitation Trend for the Lang-Yang River Basin from July to December(g: July; h: August; i: September; j: October; k: November; l: December)

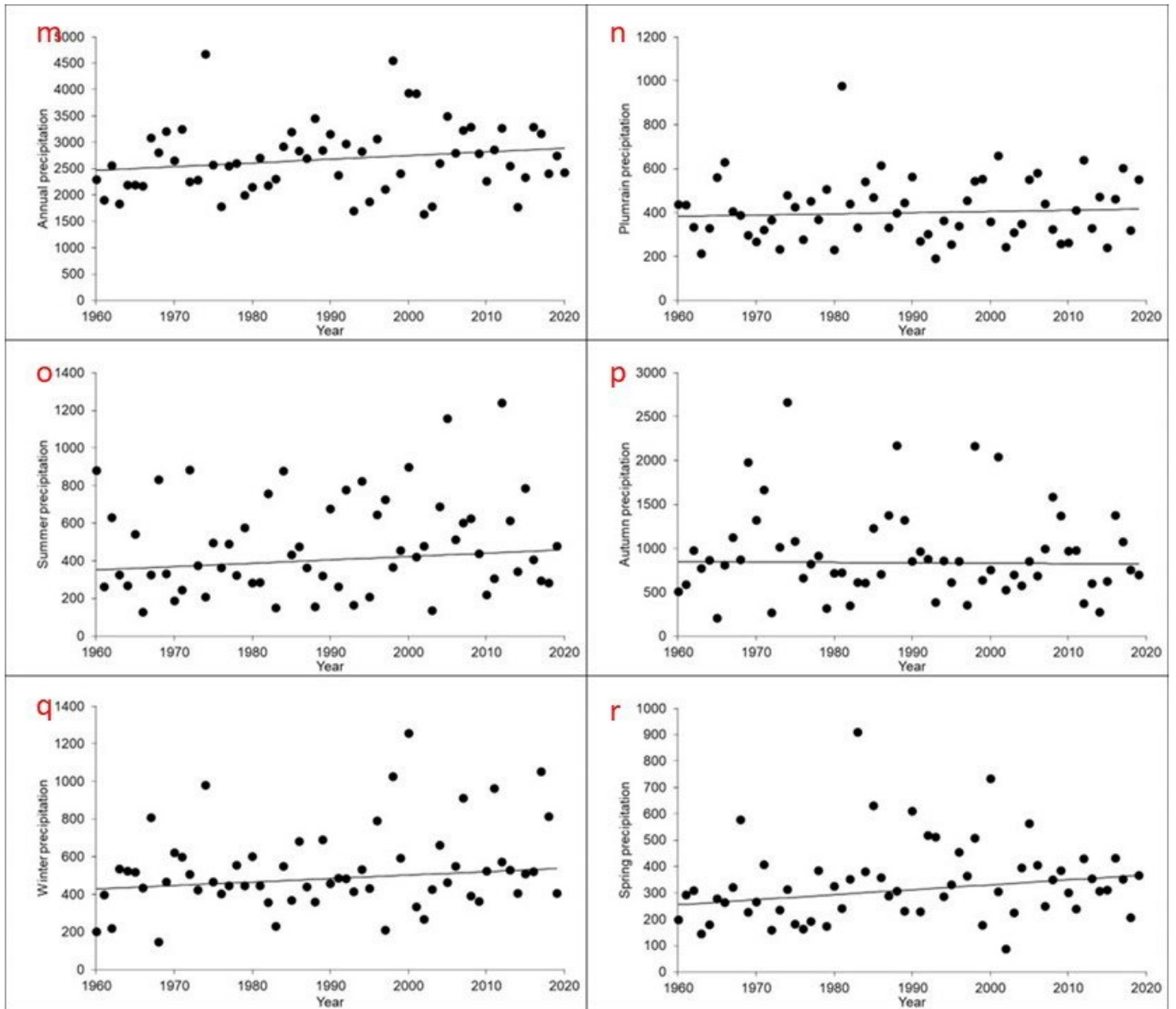


圖 8、蘭陽河流域不同季節及年平均降雨量趨勢圖(m：年平均；n：梅雨季；o：夏季；p：秋季；q：冬季；r：春季)

Fig. 8 Precipitation Trend for Different Seasons and Annual Average in the Lang-Yang River Basin (m: Annual Average; n: Plum Rain Season; o: Summer; p: Fall; q: Winter; r: Spring)

四、結論

本研究以蘭陽溪流域為例，應用 TCCIP 長期降雨量網格資料(1960-2020 年)，經由 Mann-Kendall 檢定及 Theil-Sen 斜率法，探討其降雨量變化趨勢。研究結果顯示，在時間分布方面，蘭陽溪流域降雨量最高月份為 9 月，平均值達 477.5 mm，降雨量最高季節為秋季(9、10 月)，平均值達 924.0 mm，年平均降雨量為 2,685.5 mm，降雨量深受颱風高強度降雨及東北季風所影響。另外，在空間分布方面，蘭陽溪流域降雨量多寡與地形呈高度相關，沖積扇平原地形平坦，降雨量較低，蘭陽平原西北側雪山山脈及東南側中央山脈的山麓交接地帶，由於受到山地丘陵地形阻擋，降雨量急遽增高。除此之外，降雨量經由趨勢分析後得知，透過 M-K 趨勢檢定 τ 值可以發現，4 月及 12 月的降雨量 τ 值均正值，其 P 值分別為 0.008 及 0.006，均達顯著水準($P < 0.05$)，顯示出蘭陽溪流域 4 月及 12 月的降雨量有明顯的增加趨勢。另外，Theil-Sen 斜率檢定結果與 M-K 趨勢檢定相似。此外，春季降雨量之 τ 值為正值，其 P 值為 0.038，達到顯著水準($P < 0.05$)，表示出研究區春季的降雨量有明顯的增加趨勢。另外，季節性降雨量之 Theil-Sen 斜率檢定結果與 M-K 趨勢檢定相同。另外，在年平均降雨量變化部份，M-K 趨勢檢定結果 τ 值為正值，但並未達顯著水準。

五、謝辭

感謝國科會國家災害防救科技中心「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」(TCCIP)提供降雨量及氣溫資料庫；感謝國科會提供研究經費(MOST 111-2321-B-004-001)，本文才能順利完成。感謝二位匿名審查委員建議，讓本文更臻完善，謹在此致上最高謝意。

六、參考文獻

- [1] 宋健豪、廖俊璋、廖學誠(2014)，蘭陽溪上游集水區降雨量之趨勢分析。中華林學季刊，47(4):341-358。
- [2] 邱繼成、林冠州、李宗祐、王文誠(2021)，應用網格化雨量資料建立臺灣各流域年尺度之雨量 - 流量關係。地理研究，74：37-60。
- [3] 林和駿、洪致文(2013)，以台灣分區雨量指數分析百年來降雨變化。102 年天氣分析與預報研討會。台北，中央氣象局。
- [4] 林佩瑩(2022)，極端降雨相關指標在臺灣長期變化的分析：觀測、模擬及未來推估。國立臺灣師範大學地球科學系碩士論文。
- [5] 陳玄芬、涂建翊(2017)，以 TCCIP 資料分析臺灣降雨的氣候特徵與長期變化。中國地理學會會刊，59：1-20。
- [6] 涂建翊、紀佳臻(2017)，臺灣夏季大雨發生頻率變化與颱風關係研究。地理學報，85：27-46。
- [7] 經濟部水利署(2020)，流域綜合治理計畫—縣管區排壯東一大排系統規劃。經濟部水利署第一河川局。
- [8] 經濟部水利署(2023)，宜蘭勁水—蘭陽溪。<https://www.wra01.gov.tw>。
- [9] 葉振峰、葉信富、李振誥 (2015a)，以 Mann-Kendall 及 Theil-Sen 檢定法評估臺灣地區長期河川流量長期時空趨勢變化。2015 年中華水土保持學會年會及學術研討會論文集，1-14。
- [10] 葉振峰、葉信富、李哲璋、李振誥 (2015b)，以河川乾旱指標評估台灣北部區域乾旱特性。農業工程學報，61(4)：79-92。
- [11] 楊承道、張容慈、翁叔平 (2023) 臺灣地區日溫度網格化資料庫之建置和長期變化趨勢分析。地理研究，78：75-110。
- [12] 農村發展及水土保持署(2023)，土石流及大規模崩塌災害資訊網。https://246.ardswc.gov.tw/Info/Potential_Statistics
- [13] 壽克堅、費立沅、陳勉銘、梁均合、黃怡婷、林佳霏 (2014)，蘭陽溪上游之地形地質對河床土砂之影響。中華水土保持學報，45(4)：225-233。
- [14] Ahmad, I., Tang, D.H., Wang, T.F., Wang, W. and Wegan, B. (2015). Precipitation Trends over Time Using Mann-Kendall and Spearman's rho Tests in Swat River Basin, Pakistan. *Advances in Meteorology*, 2: 1-15.
- [15] Das, S., Sangode, S.J., and Kandekar, A.M. (2021). Recent decline in streamflow and sediment discharge in the Godavari basin, India (1965-2015). *Catena*, 206: 1-20.
- [16] Diop, L., Bodian, A. and Diallo, D. (2016). Spatiotemporal trend analysis of the mean annual rainfall in Senegal. *European Scientific Journal*, 12(12): 231-245.
- [17] Güçlü, Y.S. (2018a). Multiple τ -innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. *Journal of Hydrology*, 566: 685-704.

- [18] Güçlü, Y.S. (2018b). Improved visualization for trend analysis by comparing with classical Mann-Kendall test and ITA. *Journal of Hydrology*, 584: 1-9.
- [19] Huang, C.W., Chiang, Y., Wu, Y.R., Lee L.J. and Lim, H.S. (2012). The impact of climate change on rainfall frequency in Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic sciences*, 12(5): 554-564.
- [20] Huang, F., Qian, B., and Ochoa, C.G. (2023). Long-term river water temperature reconstruction and investigation: A case study of the Dongting Lake Basin, China. *Journal of Hydrology*, 616: 1-12.
- [21] IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>
- [22] Jhong, B.C., Huang J., and Tung, C.P. (2019). Spatial assessment of climate risk for investigating climate adaptation strategies by evaluating spatial-temporal variability of extreme precipitation. *Water Resources Management*, 33(10): 3377-3400.
- [23] Kakkar, A., Rai, P.K., Mishra, V.N. and Singh, P. (2022). Decadal trend analysis of rainfall patterns of past 115 years & its impact on Sikkim, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26: 1-16.
- [24] Kendall, M.G. (1975). *Rank Correlation Methods*, 4th ed. Charles Griffin: London.
- [25] Mann, H.B. (1945). Non-parametric test against trend. *Econometrica*, 13: 245-259.
- [26] Sen P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324): 1379-1389.
- [27] Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, part iii. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen, Series A Mathematical Sciences*, 53: 1397-1412.
- [28] Wu, S.Q., Zhao, W.J., Yao, J.Q., Jin, J.N., Zhang, M. and Jiang, G.F. (2022). Temperature variations in the Tai Lake Basin from 1971 to 2018 based on innovative trend analysis. *Ecological Indicators*, 139: 1-18.

2023 年 11 月 14 日 收稿

2023 年 12 月 19 日 修正

2023 年 12 月 21 日 接受