

## 蘭陽河流域長期氣溫變遷趨勢—以 TCCIP 資料分析

許民錠、廖學誠\*

**摘要** 在氣候變遷的衝擊下，全球水文循環及時空分布特性正在改變中。全球暖化改變極端天氣事件的頻率與強度，造成嚴重的洪災或旱災，對人民生命財產衝擊甚大。本研究以蘭陽河流域為例，應用 TCCIP 長期氣溫網格資料(1960-2020 年)，經由 Mann-Kendall 檢定及 Theil-Sen 斜率法，探討其氣溫變化趨勢。研究結果顯示，蘭陽河流域氣溫最高月份為 7 月，平均值達 24.5 °C，最高季節為夏季，平均值達 24.3 °C，年平均氣溫則為 18.5 °C，平均氣溫的空間分布與海拔高度息息相關，平均氣溫隨著海拔升高而降低，沿著蘭陽溪河谷往上，由東北向西南方向氣溫漸漸降低。另外，經由趨勢分析後得知，蘭陽河流域 6 月的氣溫有明顯的增加趨勢，且達顯著水準，至於年平均氣溫雖有增加之趨勢，但並未達顯著水準。本研究結果有助於了解蘭陽河流域的氣溫變化，並期能提供未來氣候變遷分析之參考。

**關鍵字：**全球水文循環、網格資料、氣溫、趨勢分析

## Analyzing Long-term Air Temperature Trends in the Lanyang River Basin Using TCCIP Data

Man-Ting Hui and Shyue-Cheng Liaw\*

**ABSTRACT** Under the impact of climate change, the global hydrological cycle and the spatial-temporal distribution characteristics are undergoing changes. Global warming is altering the frequency and intensity of extreme weather events, leading to severe floods or droughts that greatly impact people's lives and properties. Taking the Lany-Yang River Basin as an example, this study applied TCCIP long-term air temperature grid data (1960-2020) and conducted Mann-Kendall test and Theil-Sen slope method to explore the trend of air temperature change. The results showed that the highest monthly air temperature in the Lany-Yang River Basin is in July, with an average of 24.5 °C, and the highest season is summer, with an average of 24.3 °C. The annual average air temperature is 18.5 °C. The spatial distribution of average air temperature is closely related to the altitude, with the average air temperature decreasing as the altitude increases. Along the Lany-Yang River Valley, the air temperature gradually decreases from northeast to southwest. In addition, trend analysis revealed a significant increasing trend in air temperature in June in the Lany-Yang River Basin, reaching a significant level. Although there is an increasing trend in the annual average air temperature, it has not reached a significant level. The results of this study help to understand the air temperature changes in the Lanyang River Basin and are expected to provide a reference for future climate change analysis.

**Keywords:** global hydrological cycle, grid data, air temperature, trend analysis

### 一、前言

在氣候變遷的衝擊下，全球水文循環及時空分布特性正在改變中。另一方面，全球暖化亦改變極端天氣事件的頻率與強度，氣候變化在水資源、農業生產和生態系統等方面對人類產生重大影響(Kakkar *et al.*, 2022; Menna and Waktola, 2022)。許多研究指出，近年來，台灣的氣候狀況因氣候變遷而有所改變，並影響水文特性，極端降

雨帶來洪災水患，造成人民的生命財產及基礎建設損毀，平原地區有較高風險發生淹水，而山區則容易導致崩塌及土石流。如果災害發生在水庫集水區內，更會造成土砂沖蝕並淤積，減少水庫容量。除了水災外，乾旱亦是另一重要挑戰，降雨量減少將導致缺水嚴重，進而影響到水資源分配。

水資源議題在近年來變得備受國際關注，水危機自

<sup>1</sup> 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

2012 年起已連續多年被列為全球五大主要風險之一，可能造成健康衛生及社會問題，如爭奪水源而引發的戰爭、生態破壞、疾病與糧食危機等(World Economic Forum, 2021)。台灣降雨雖然充沛，但因各種因素影響，導致可用水量不多，使台灣以大型儲水設施來調節水資源。當中極端降雨事件所帶來之洪災、旱災等自然災害亦有所加劇，影響水資源調配。在 2020 年，台灣地區枯、豐水期雨量差異更加懸殊，比過去更為嚴重，由於枯水期間無法充分供應水需求，更造成部分地區限水措施(經濟部水利署，2022)。林琴(2015)根據 1961-2011 年之日降雨量資料分析台灣地區的乾旱狀況，結果顯示隨著溫度上升，連續乾日日數亦會增加，而極端小雨之降雨量便會減少，在北部及東部乾季時發生之乾旱強度有增加的趨勢，而在西南部亦會越加乾旱。

除了降雨，溫度亦是影響水文變化的主要氣象參數之一，而溫度及降雨的變化亦會對環境、社會及經濟造成重大影響(Agbo and Ekpo, 2020; Shah and Kiran, 2021)。此外，針對降雨量及氣溫進行分析有助於理解過去、現在甚至未來的氣候變化，了解流域內氣候變化對未來氣候變遷調適與減緩極為重要(Shigute *et al.*, 2023)。Umar *et al.* (2019)指出，非洲尼日利亞哈德加河流域的降雨量及溫度在年尺度上呈上升趨勢，尤其是南部地勢較高的地區。Sa'adi *et al.* (2023)分析馬來西亞砂拉越濕地降雨量與氣溫變化趨勢，發現日間與夜間溫度為顯著增加的趨勢，東北季風及西南季風期間之降雨強度亦較高。Karmeshu (2012)分析美國東部降雨及氣溫變化趨勢，發現賓夕法尼亞州、紐約州、康乃狄克州、馬薩諸塞州和羅德島州的降水量呈顯著增加趨勢。Hadi and Tombul (2018)應用 Mann-Kendall 檢定、Innovative Trend Analysis 及 Theil-Sen 斜率檢定等方法，分析土耳其之降雨及氣溫變化趨勢。Mehmood *et al.* (2022)分析喀喇崑崙中部地區近三十八年之極端溫度時空變化及與特定大氣環流指數的關聯性，發現暖指數(包括最低溫、最高溫、暖夜數、暖日數和暖期持續時間指數)呈上升趨勢，冷指數(寒冷夜晚數、寒冷日數和寒冷期持續時間指標)則為下降趨勢，以季節來說春季和秋季更容易出現極端溫度，且趨勢較為顯著，顯示當地極端溫度事件增加。Yacoub and Tayfur (2019)分析茅利塔尼亞地區之降雨及氣溫變化趨勢，發現幾乎所有站點之最高、最低和平均溫度皆為顯著的上升趨勢，降雨的變化量為 2.93 至 3.35 mm/y，溫度則為 0.2 至 0.4 度每年，其趨勢變化點為 1995 年。

趨勢分析已普遍應用於氣候變遷之探討，尤其是降雨量與氣溫方面，常用的分析法包括 Mann-Kendall 檢定分析及 Theil-Sen 斜率檢定。例如，Bera *et al.* (2022)應用 Theil-Sen 斜率檢定與 Mann-Kendall 檢定分析印度四大城市的地表溫度變化趨勢，發現四大城市之夜間地表溫度在年、季節尺度上有增加的趨勢，加爾各答與清奈的日間地表溫度為增加的趨勢，孟買與德里則為下降的趨勢。Menna and Waktola (2022)利用 Theil-Sen 斜率檢定與 Mann-Kendall 檢定分析非洲衣索比亞北部特克澤河流域上游極端溫度趨勢，指出未來極端溫度在大多數站點皆為顯著增加的趨勢，將上升 0.6 至 2.2 °C，未來會越加溫暖，日溫差亦會更高。Shawky *et al.* (2023)以 Theil-Sen 斜率檢定與 Mann-Kendall 檢定分析南亞地表溫度變化趨勢，發現夜間地表溫度在中部與西北部地區於 7 月及 9 月呈增加的趨勢，日間地表溫度則在中部及西部地區呈減少趨勢。Shigute *et al.* (2023)應用 Theil-Sen 斜率檢定與 Mann-Kendall 檢定分析衣索比亞幾內爾河流域上游之降雨及溫度變化趨勢，結果顯示幾乎所有站點在年及季節尺度的最高和最低氣溫均呈上升趨勢，但降雨方面雖大多數站點呈下降趨勢，但未達統計上顯著性。Gebremichael *et al.* (2022)使用 Theil-Sen 斜率檢定與 Mann-Kendall 檢定分析衣索比亞阿瓦什盆地上游地區近三十四年的降雨量與極端溫度變化，發現整體降雨量有減少的趨勢，但東部地區之降雨量及極端事件卻有增加的趨勢。最高溫及最低溫則為上升的趨勢，顯示研究區有變暖的趨勢。

本研究以蘭陽溪流域為例，應用 TCCIP 長期氣溫資料(1960-2020 年)，經由 Mann-Kendall 檢定及 Theil-Sen 斜率法，探討流域內氣溫變化狀況及趨勢特性，期能提供未來氣候變遷分析之參考。

## 二、材料與方法

### (一)研究區域

蘭陽溪發源於宜蘭縣南湖大山北麓，海拔 3,536 m，河流長度 73 km，流域面積 978 km<sup>2</sup>。主要支流包括宜蘭河、大礁溪、小礁溪、五十溪、大湖溪、羅東溪及安農溪、清水溪、冬山河等(圖 1)，流經區域包括 大同鄉、三星鄉、員山鄉、冬山鄉、羅東鎮、宜蘭市、壯圍鄉及五結鄉等，是宜蘭縣最主要河川(經濟部水利署，2023)。

### (二)氣溫資料

本研究資料來源為臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)之網格化平均氣溫日資料，觀測年限從



### 三、結果與討論

#### (一)氣溫時空變化

##### 1. 時間分布

本研究以 TCCIP 之 61 年(1960 至 2020 年)網格化觀測氣溫資料進行分析，各月份平均氣溫空間分布如圖 2 所示，不同季節平均氣溫空間分布則如圖 3 所示。由圖 2

得知，在不同月份氣溫方面，蘭陽溪流域平均氣溫最高月份為 7 月，平均值達 24.5 °C，其次依序為 8 月(24.1 °C)、6 月(23.1 °C)及 9 月(22.5 °C)，每年 6 月至 9 月為高溫時期，至於年平均氣溫則為 18.5 °C。另外，由圖 3 得知，在不同季節氣溫方面，蘭陽溪流域氣溫最高季節為夏季，平均值達 24.3 °C，其次依序為梅雨季(22.0 °C)及秋季(21.0 °C)，均高出年平均氣溫甚多。

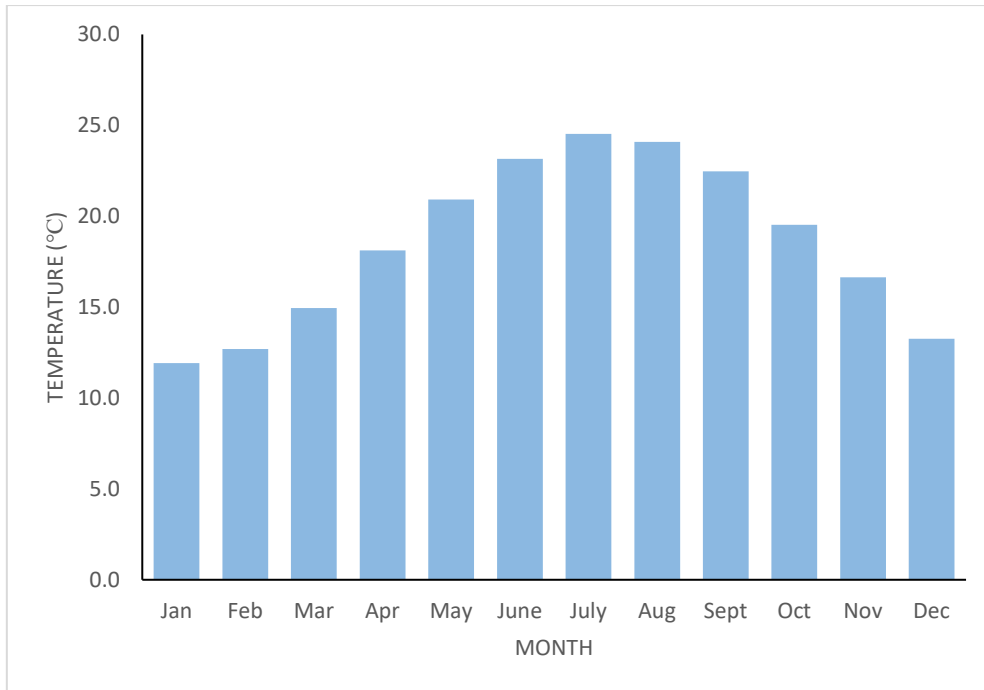


圖 2、各月份氣溫時間分布圖

Fig. 2 Temporal Distribution of Monthly Air Temperature

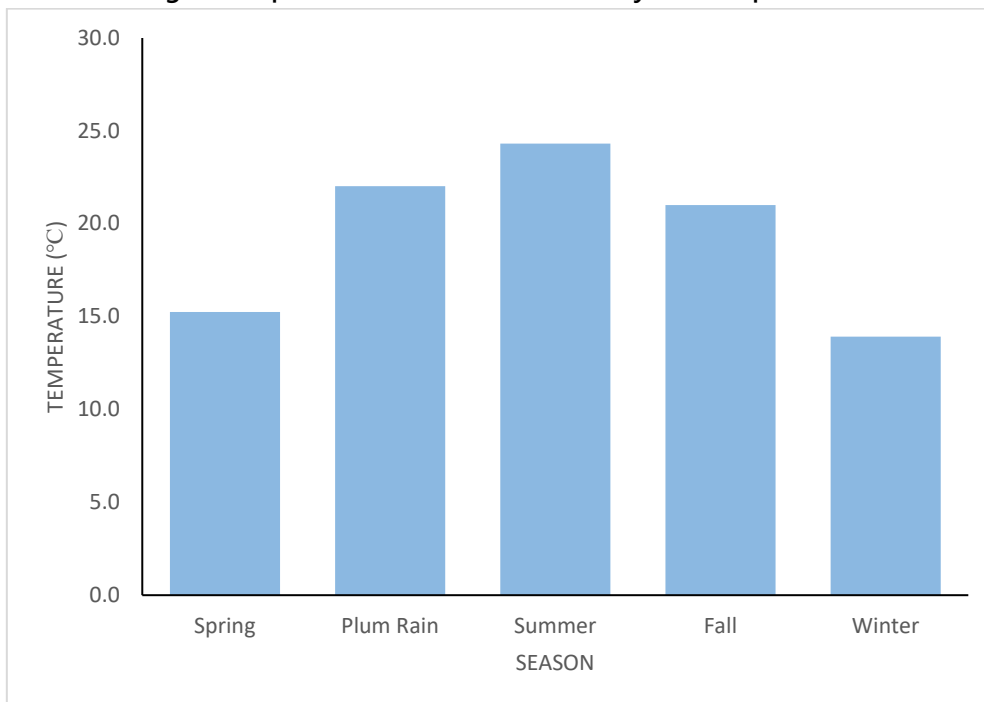


圖 3、不同季節氣溫時間分布圖

Fig. 3 Temporal Distribution of Air Temperature for Different Seasons

## 2. 空間分布

各月份氣溫空間分布如圖 4 所示，不同季節及年平均氣溫空間分布則如圖 5 所示。由圖 4 及圖 5 中可看出，蘭陽溪流流域平均氣溫的空間分布與海拔高度息息相關，平均氣溫隨著海拔升高而降低，流域內東北部主要為蘭陽平原區，地勢平坦、海拔較低、人口密集，因此，無論是在不同月份、季節或年平均氣溫，蘭陽平原區均較高，顏色深紅。隨著海拔逐漸升高，進入蘭陽平原與山區交接

的山麓地帶，其坡度漸升，主要為鄉村農業區，氣溫則逐漸降低，顏色由深紅轉為橙紅、淡黃及淺綠，沿著蘭陽溪河谷往上，由東北向西南方向氣溫漸漸降低。蘭陽溪流流域兩側主要為西北側的雪山山脈及東南側的中央山脈，海拔最高的丘陵高山區氣溫則明顯降低，顏色轉為靛青及深藍，其中南湖北山(3,536 m)、巴都服山(3,345 m)、拔都諾府山(3,165 m)、喀拉業山(3,133 m)等海拔均超過 3,000 m 以上，低溫主要分布於高山區。

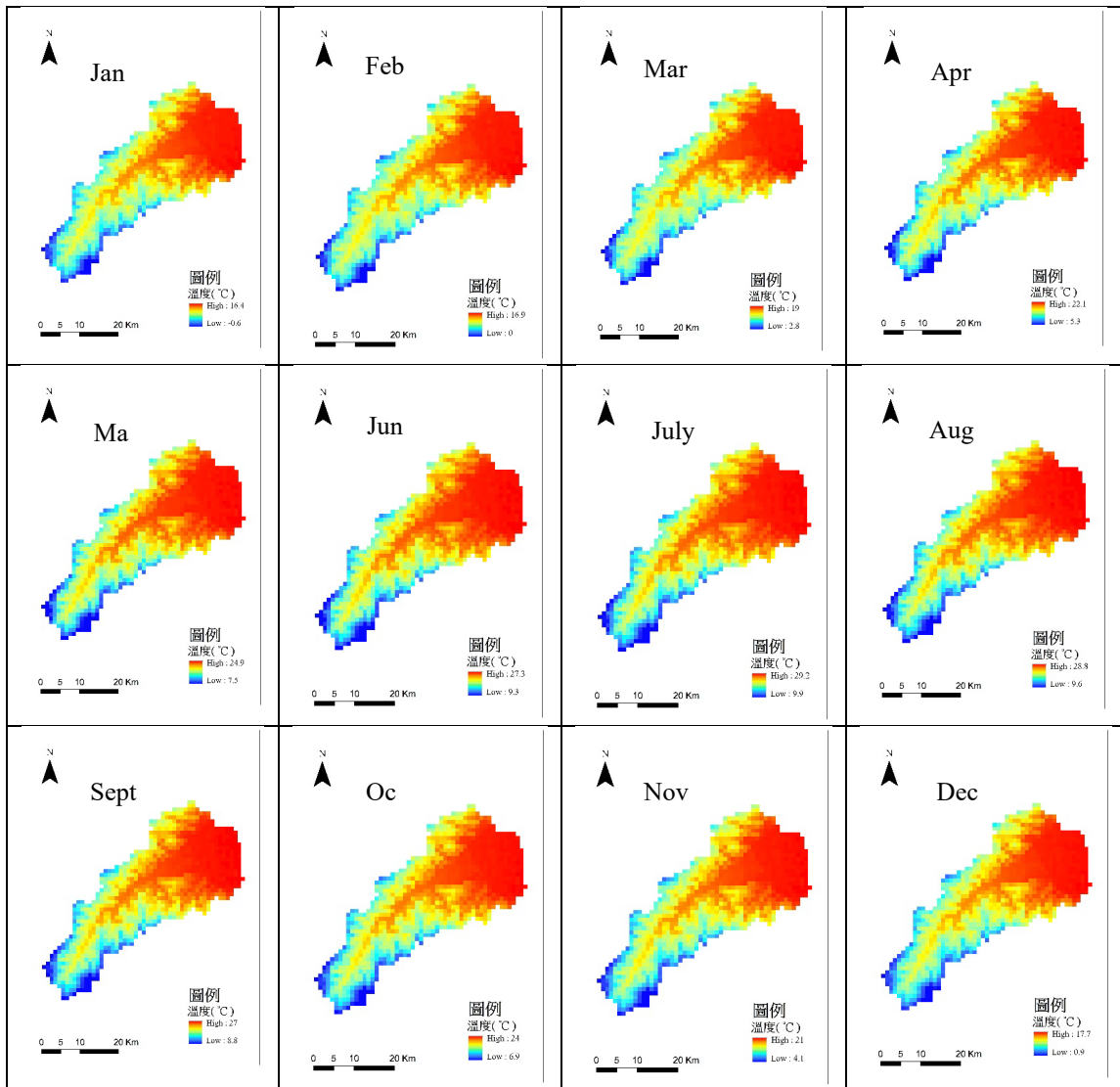


圖 4、各月份氣溫空間分布圖

Fig. 4 Spatial Distribution of Monthly Air Temperature

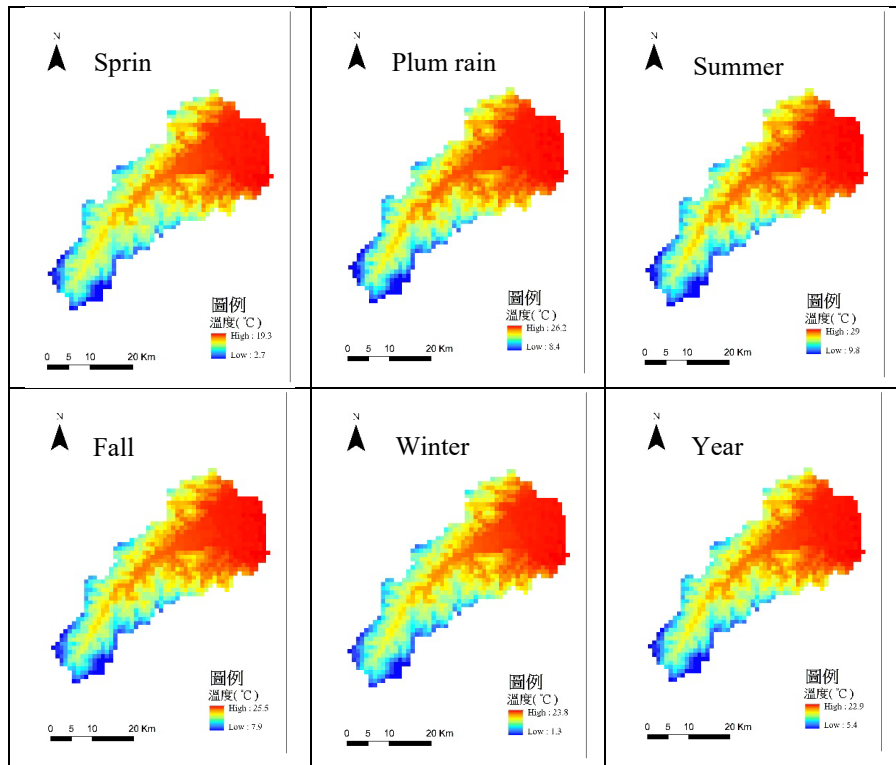


圖 5、不同季節及年平均氣溫空間分布圖

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

### (二)氣溫趨勢分析

研究區氣溫之 M-K 趨勢檢定及 Theil-Sen 斜率檢定分析結果如表 1 所示。首先，在月氣溫變化部份，由表 1 中得知，透過 M-K 趨勢檢定  $\tau$  值可以發現，4 月、9 月及 10 月的氣溫  $\tau$  值均為負值，顯示出氣溫有減少之趨勢，但  $P$  值尚未到達顯著水準，至於其他月份的  $\tau$  值均為正值，呈現氣溫有增加之趨勢，其中 6 月氣溫的  $P$  值為 0.066，達顯著水準( $P < 0.1$ )，顯示出蘭陽溪流域 6 月的氣溫有明顯的增加趨勢。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 斜率檢定圖則如圖 6(1-6 月)及圖 7(7-12 月)所示。研究期間 4 月、9 月及 10 月之 Theil-Sen 斜率為負值，故氣溫呈現減少的變化趨勢，至於其他月份的斜率均呈現正值，代表氣溫呈現增加的變化趨勢，其中又以 6 月之氣溫變化斜率最為顯著。

透過 M-K 趨勢分析以及 Theil-Sen 斜率檢定可以發現，研究區 6 月氣溫較其他月份氣溫具有明顯的增加趨勢，透過圖 6 中 6 月氣溫的序列分析後發現，研究期間 6 月氣溫於 2010 年後有逐漸增加之趨勢，其中以 2015 及 2020 年最為明顯，分別為 24.4°C 及 24.5°C，超出平均值(18.5°C)甚多。很明顯地，研究區內 6 月份高氣溫主要分布於 2010 年以後，而較為低氣溫的年份多為 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，顯示出蘭陽溪流域氣溫晚近時受氣候變遷影響日益明顯。

其次，在季節性氣溫變化部份，透過表 1 中季節氣溫 M-K 趨勢檢定之  $\tau$  值正負值可以發現，除秋季氣溫之  $\tau$  值為負值，呈現氣溫減少之趨勢外，其餘季節之  $\tau$  值均呈現正值，顯示出氣溫有增加之趨勢，但尚未達到顯著水準。另外，季節性氣溫之 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。研究期間秋季氣溫的 Theil-Sen 斜率呈現負值，氣溫有減少之趨勢外，其餘季節之 Theil-Sen 斜率均呈現正值。

另外，在年平均氣溫變化部份，表 1 中 M-K 趨勢檢定結果  $\tau$  值為正值，但  $P$  值為 0.245，並未達顯著水準，顯示出雖然研究區年平均氣溫呈現增加趨勢，但在統計上並未顯著。此外，年平均氣溫之 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，呈現年平均氣溫具有增加趨勢。透過圖 8 之年平均氣溫序列分析得知，研究期間年平均氣溫以 1998 年為最高，達 19.7°C 以上，研究期間後半段之年平均氣溫略高於前半段，此現象與本研究所使用的兩項趨勢檢定結果相同。

表 1、蘭陽河流域氣溫趨勢分析

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

時間	$\tau$	$P$	斜率( $\beta$ )
1月	0.138	0.118	0.014
2月	0.118	0.181	0.015
3月	0.081	0.360	0.008
4月	-0.033	0.714	-0.005
5月	0.017	0.847	0.002
6月	0.162	0.066*	0.011
7月	0.060	0.498	0.002
8月	0.066	0.459	0.002
9月	-0.123	0.161	-0.008
10月	-0.060	0.502	-0.004
11月	0.096	0.276	0.009
12月	0.019	0.837	0.002
春季(2、3、4月)	0.040	0.660	0.004
梅雨季(5、6月)	0.044	0.623	0.003
夏季(7、8月)	0.049	0.588	0.002
秋季(9、10月)	-0.061	0.495	-0.004
冬季(11、12、1月)	0.141	0.112	0.011
年度	0.103	0.245	0.004

\* :  $P < 0.1$

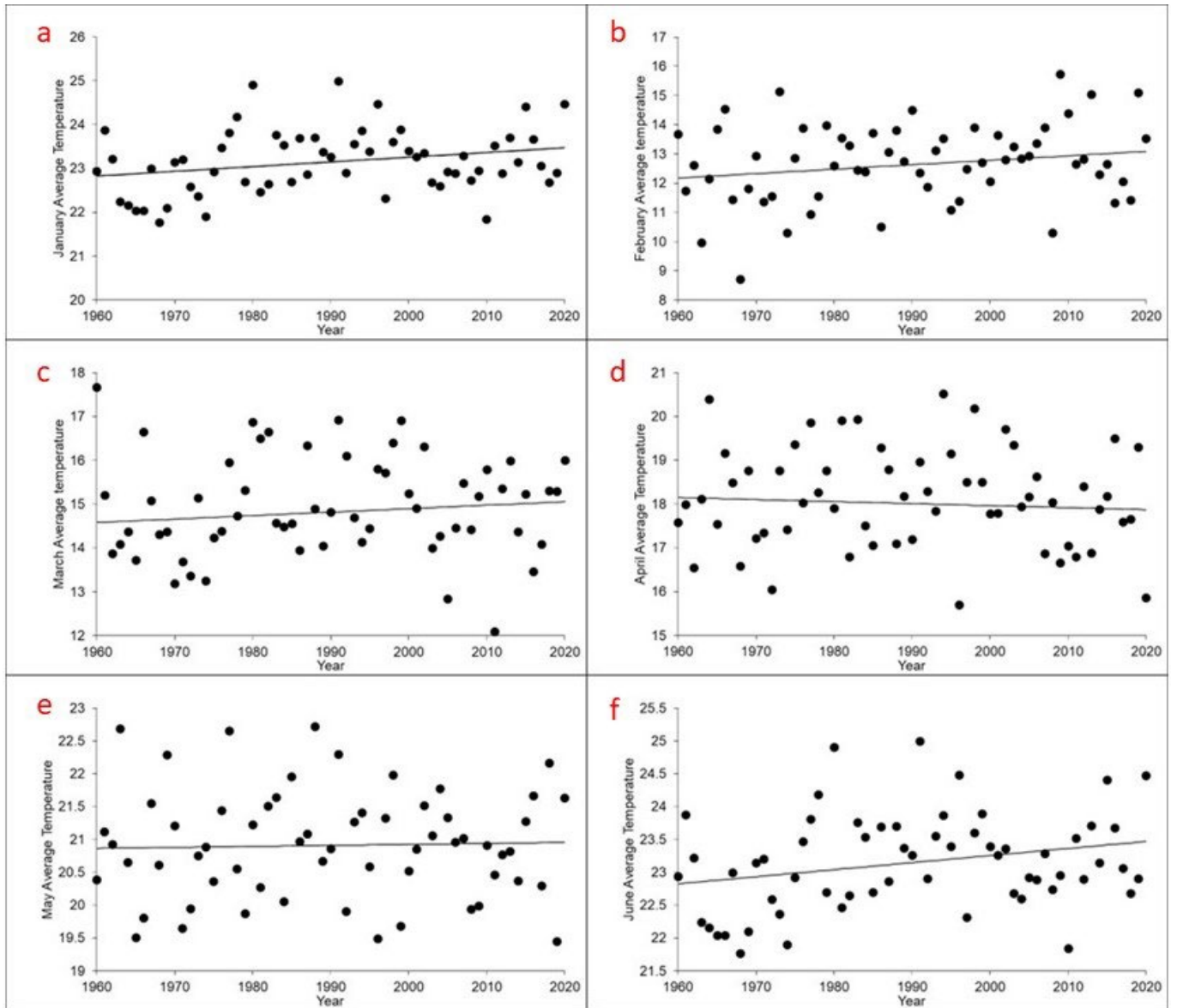


圖 6、蘭陽溪流域 1-6 月氣溫趨勢圖(a : 1 月 ; b : 2 月 ; c : 3 月 ; d : 4 月 ; e : 5 月 ; f : 6 月)

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



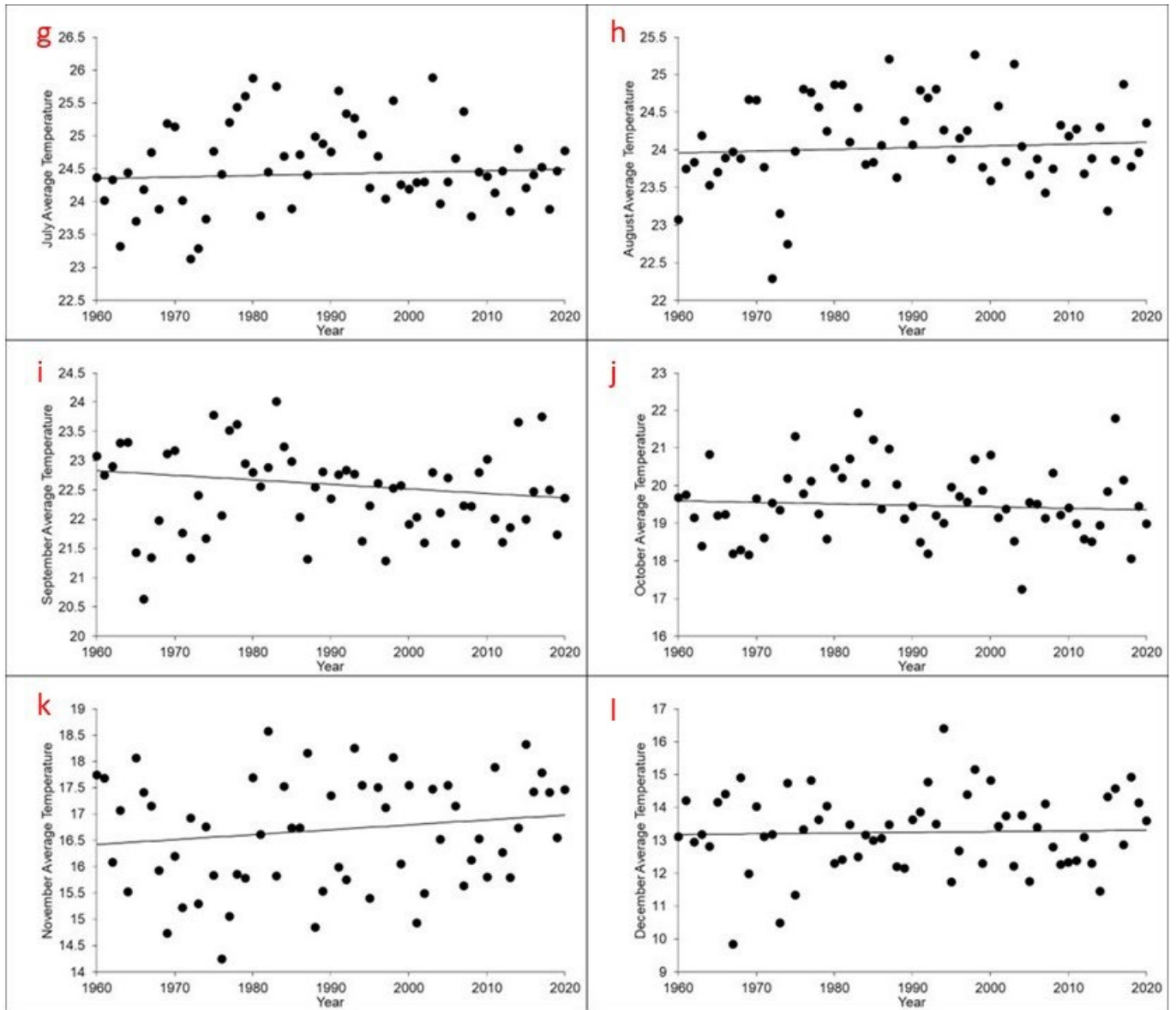


圖 7、蘭陽溪流域 7-12 月氣溫趨勢圖(g : 7 月 ; h : 8 月 ; i : 9 月 ; j : 10 月 ; k : 11 月 ; l : 12 月)

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

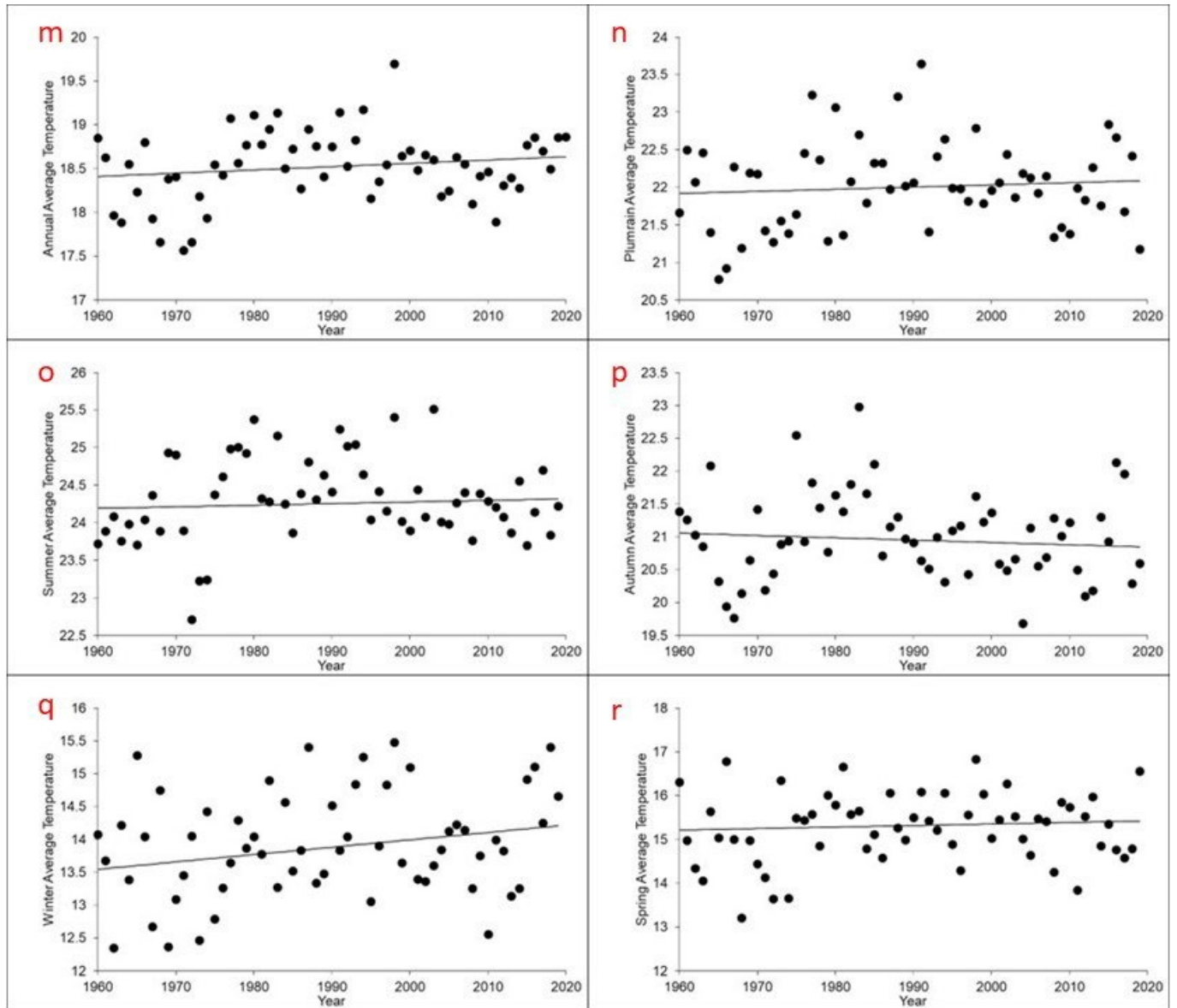


圖 8、蘭陽溪流域不同季節及年平均氣溫趨勢圖(m：年平均；n：梅雨季；o：夏季；p：秋季；q：冬季；r：春季)  
Fig. 8 Air Temperature Trend for Different Seasons and Annual Average in the Lang-Yang River Basin (m: Annual Average; n: Plum Rain Season; o: Summer; p: Autumn; q: Winter; r: Spring)

#### 四、結論

本研究以蘭陽溪流域為例，應用 TCCIP 長期氣溫網格資料(1960-2020 年)，經由 Mann-Kendall 檢定及 Theil-Sen 斜率法，探討其氣溫變化趨勢。研究結果顯示，在時間分布方面，蘭陽溪流域氣溫最高月份為 7 月，平

均值達 24.5 °C，其次為 8 月，氣溫達 24.1 °C，每年 6 月至 9 月為高溫時期，氣溫最高季節為夏季，平均值達 24.3 °C，年平均氣溫則為 18.5 °C。另外，在空間分布方面，蘭陽溪流域平均氣溫的空間分布與海拔高度息息相關，平均氣溫隨著海拔升高而降低，沿著蘭陽溪河谷往上，由東北向西南方向氣溫漸漸降低，低溫主要分布於高山區，

尤其是海拔高超過 3,000 m 以上高山。氣溫經由趨勢分析後得知，透過 M-K 趨勢檢定  $\tau$  值可以發現，其中 6 月氣溫的  $P$  值為 0.066，達顯著水準 ( $P < 0.1$ )，顯示出蘭陽溪流域 6 月的氣溫有明顯的增加趨勢。此外，Theil-Sen 斜率檢定結果與 M-K 趨勢檢定相似，以 6 月之氣溫變化斜率最為顯著。另外，在季節性氣溫變化部份，除秋季氣溫之  $\tau$  值為負值，呈現氣溫減少之趨勢外，其餘季節之  $\tau$  值均呈現正值，顯示出氣溫有增加之趨勢，但均未達到顯著水準。最後，在年平均氣溫變化部份，M-K 趨勢檢定結果  $\tau$  值為正值，顯示出雖然研究區年平均氣溫呈現增加趨勢，但在統計上並未顯著。

## 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、廖學誠 (2018) 應用趨勢分析探討氣候變遷下太麻里溪流的水文變化。地理研究，68：49-72。
- [2] 林琴 (2015) 臺灣地區乾旱問題之分析。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
- [3] 經濟部水利署 (2022) 水利統計簡訊，398。  
<https://www-ws.wra.gov.tw>。
- [4] 經濟部水利署 (2023) 蘭陽溪水系。  
<https://www.wra01.gov.tw/cp.aspx?n=9361>。
- [5] 國家災害防救科技中心 (2023) 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台 (TCCIP)。  
<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/index.aspx>。
- [6] Agbo, E.P. and Ekpo, C.M. (2021) Trend Analysis of the Variations of Ambient Temperature Using Mann-Kendall Test and Sen's Estimate in Calabar, Southern Nigeria. Journal of Physics: Conference Series, 1734: 1-7.
- [7] Bera, D., Chatterjee, N.D., Ghosh, S., Dinda, S., and Bera, S. (2022) Recent trends of land surface temperature in relation to the influencing factors using Google Earth Engine platform and time series products in megacities of India. Journal of Cleaner Production, 379: 1-18.
- [8] Gebremichael, H.B., Raba, G.A., Beketie, K.T., Feyisa, G.L., Siyoum, T. (2022) Changes in daily rainfall and temperature extremes of upper Awash Basin, Ethiopia. Scientific African, 16: 1-21.
- [9] Hadi, S.J. and Tombul, M. (2018) Long-term spatiotemporal trend analysis of precipitation and temperature over Turkey. Meteorological Applications, 25: 445-455.
- [10] 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.
- [11] Karmeshu, N. (2012) Trend detection in annual temperature & precipitation using the Mann Kendall Test – A case study to assess climate change on selected states in the Northeastern United States. Thesis, Department of Earth & Environmental Science, University of Pennsylvania, USA.
- [12] Mehmood, M., Hassan, M., Iqbal, W., and Amin, G. (2022) Spatiotemporal variation in temperature extremes and their association with large scale circulation patterns in the Central Karakorum during 1982–2019. Atmospheric Research, 267: 1-14.
- [13] Menna, B.Y., and Waktola, D.K. (2022) Extreme temperature trend and return period mapping in a changing climate in Upper Tekeze river basin, Northern Ethiopia. Physics and Chemistry of the Earth, 128: 1-12.
- [14] Sa' adi, Z., Yaseen, Z.M., Farooque, A.A., Mohamad, N.A., Muhammad, M.K.I., and Iqbal, Z. (2023) Long-term trend analysis of extreme climate in Sarawak tropical peatland under the influence of climate change. Weather and Climate Extremes, 40: 1-15.
- [15] Shah, S. A. and Kiran, M. (2021) Mann-Kendall Test: Trend Analysis of temperature, rainfall and discharge of Ghotki Feeder Canal in District

- Ghotki, Sindh, Pakistan. *Environment & Ecosystem Science*, 5(2): 137-142.
- [16] Shawky, M., Ahmed, M.R., Ghaderpour, E., Gupta, A., Achari, G., Dewan, A., and Hassan, Q.K. (2023). Remote sensing-derived land surface temperature trends over South Asia. *Ecological Informatics*, 74: 1-15.
- [17] Shigute, M., Alamirew, T., Abebe, A., Ndehedehe, C.E., and Kassahun, H.T. (2023) Analysis of rainfall and temperature variability for agricultural water management in the Upper Genale River Basin, Ethiopia. *Scientific African*, 20: 1-42.
- [18] Umar, D.A., Ramli, M.F., Aris, A.Z., Jamil, N.R., and Aderemi, A.A. (2019) Evidence of climate variability from rainfall and temperature fluctuations in semi-arid region of the tropics. *Atmospheric Research*, 224: 52-64.
- [19] World Economic Forum (2021) The Global Risks Report 2021 16th Edition Insight Report. WEF. Geneva Switzerland.
- [20] Yacoub, E. and Tayfur G. (2019) Trend analysis of temperature and precipitation in Trarza region of Mauritania. *Journal of Water and Climate Change*, 10(3): 484-493.

---

2023 年 11 月 15 日 收稿

2023 年 12 月 19 日 修正

2023 年 12 月 21 日 接受