

台江县1959~2023年降水时间序列变化特征

熊永花^{1*}, 赖小红², 杨胜忠^{1#}

¹黔东南州气象局, 贵州 凯里

²榕江县气象局, 贵州 榕江

收稿日期: 2025年4月11日; 录用日期: 2025年5月13日; 发布日期: 2025年5月21日

摘要

本研究基于1959~2023年台江国家基本气象站的降水资料, 采用趋势分析和M-K突变检验法对台江县的降水时间序列资料进行了深入分析。结果显示, 台江县年降水量波动性大, 总体呈略增多趋势, 21世纪10年代降水量显著上升。从四季降水量来分析, 除秋季降水量呈减少趋势外, 春、夏和冬季均呈增多趋势, 降水主要集中在夏季, 在1969~1975年间发生了由少到多的突变。暴雨日数和最大日降水量也均呈增加趋势, 表明台江县降水强度上升, 极端性增强。这些变化与全球变暖密切相关, 对当地水资源管理、农业规划和灾害预警等带来了挑战。未来, 需加强气候监测和预警系统建设, 提升应对极端天气事件的能力。

关键词

台江, 降水, 趋势, M-K突变

Characteristics of Precipitation Time Series Changes in Taijiang County from 1959 to 2023

Yonghua Xiong^{1*}, Xiaohong Lai², Shengzhong Yang^{1#}

¹Qiandongnan Prefecture Meteorological Bureau, Kaili Guizhou

²Rongjiang County Meteorological Bureau, Rongjiang Guizhou

Received: Apr. 11th, 2025; accepted: May 13th, 2025; published: May 21st, 2025

Abstract

This study is based on precipitation data from the Taijiang National Basic Meteorological Station

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 熊永花, 赖小红, 杨胜忠. 台江县 1959~2023 年降水时间序列变化特征[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(3): 442-451. DOI: 10.12677/ccrl.2025.143044

from 1959 to 2023. Trend analysis and M-K mutation test were used to conduct in-depth analysis of precipitation time series data in Taijiang County. The results show that the annual precipitation in Taijiang County fluctuates greatly, showing a slight increasing trend overall, with a significant increase in precipitation in the 2010s. From the perspective of seasonal precipitation, except for a decreasing trend in autumn, there is an increasing trend in spring, summer, and winter. Precipitation is mainly concentrated in summer, with a sudden change from less to more occurring between 1969 and 1975. The number of rainstorm days and the maximum daily precipitation also showed an increasing trend, indicating that the precipitation intensity in Taijiang County increased, and the extremes increased. These changes are closely related to global warming and pose challenges to local water resource management, agricultural planning, and disaster warning. In the future, it is necessary to strengthen the construction of climate monitoring and early warning systems, and enhance the ability to respond to extreme weather events.

Keywords

Taijiang, Precipitation, Trend, M-K Mutation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球变暖的大背景下，区域强降水强度的变化与全球变暖幅度之间呈现出了近乎线性的关系。这意味着，如果全球变暖的幅度持续扩大，那么强降水的增强幅度也将相应增大[1]。同时，强降水事件的频次也将随着全球增暖幅度的增加而加速增长，尤其是对于那些极端强降水事件而言，其发生频率的增长百分比将更为显著。具体而言，在全球平均气温上升 1.5℃ 的情景下[2][3]，当前 20 年一遇的强降水事件的发生频率将增加约 10%，而 100 年一遇的强降水事件的发生频率则将增加 20%。若全球气温上升幅度达到 2.0℃，那么 20 年一遇的强降水事件的发生频率将激增 22%，而 100 年一遇的强降水事件的发生频率则将增加 45% 以上。

台江县位于中国贵州省东部，是黔东南苗族侗族自治州的一个县。其地理坐标位于东经 108°08'至 108°34'，北纬 26°25'至 26°56'之间，地处云贵高原东部的苗岭主峰雷公山北麓、清水江中游南岸。全县总面积约为 1110 km²，地形以山地为主，境内山脉纵横，平均海拔在 600~1200 m 之间，属于中亚热带温和湿润气候区。

降水时间序列变化特征分析在气候研究、水资源管理、农业规划以及灾害预警等多个领域具有极其重要的意义。随着全球气候变暖趋势的加剧，降水模式正在发生深刻变化，极端天气事件频发，对人类社会和自然生态系统构成了严峻挑战。国内众多学者对全国的降水都有所研究[4]-[7]，但台江县的研究相对较少。因此，深入分析台江降水时间序列的变化特征，不仅有助于理解降水现象的本质规律，还为应对气候变化带来的各种挑战提供科学依据。

2. 资料和方法

2.1. 资料

研究选用 1959~2023 年台江国家基本气象站降水资料，包括年降水量、月降水量和暴雨日数和年最大日降水量，资料来源于黔东南州气象局。

2.2. 方法

M-K 突变检验法[8]-[10]，即 Mann-Kendall 检验法的简称，是一种广泛应用的非参数假设检验方法，主要用于评估时间序列数据中的趋势变化。特别是在气候时间序列分析领域，它被用来进行趋势分析和突变点检测。M-K 检验的核心在于计算正向序列 UF 与反向序列 UB 的统计量，并依据这两个序列的交点来识别可能存在的突变点。以下是 M-K 检验的计算公式和步骤详解。

对于时间序列 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ，统计量 S 定义为：

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

其中， $\text{sgn}(x_j - x_k)$ 是符号函数：

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_j > x_k \\ 0 & \text{if } x_j = x_k \\ -1 & \text{if } x_j < x_k \end{cases}$$

在无趋势的假设下， S 的方差 $\text{Var}(S)$ 为：

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18}$$

其中， t 是序列中相同值的组数。

标准化统计量 Z 为：

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

Z 服从标准正态分布，用于检验趋势的显著性。

UF 和 UB 统计量的计算，UF 统计量用于检测时间序列的正向趋势。对于每个时间点 k ($k = 2, 3, \dots, n$)，计算：

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}}$$

式中， S_k 是前 k 个数据的统计量 S 。

$$E(S_k) = \frac{k(k-1)}{4} \text{ 是 } S_k \text{ 的期望值。}$$

$$\text{Var}(S_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \text{ 是 } S_k \text{ 的方差。}$$

UB 统计量用于检测时间序列的反向趋势。对于每个时间点 k ($k = n-1, n-2, \dots, 1$)，计算：

$$UB_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}}$$

式中, S_k 是后 k 个数据的统计量 S 。

$$E(S_k)=\frac{(n-k)(n-k-1)}{4} \text{ 是 } S_k \text{ 的期望值。}$$

$$Var(S_k)=\frac{(n-k)(n-k-1)(2(n-k)+5)}{72} \text{ 是 } S_k \text{ 的方差。}$$

显著性检验, 如果 UF 或 UB 的绝对值超过显著性水平线(如 $Z=\pm1.96$), 则表明存在显著趋势; 通过比较 UF 和 UB 两条曲线, 找到它们的交点。该交点被视为潜在的突变点, 意味着在此点前后, 时间序列的趋势发生了显著变化。

3. 分析结果

3.1. 降水量年际变化

从 1959~2023 年的 64 年间, 台江县年降水量呈现出显著的波动性。平均年降水量为 1118.1 mm, 这反映了该地区较为丰富的降水资源。然而, 实际年降水量在不同年份之间存在较大差异, 最低年份出现在 2023 年, 仅为 785.3 mm; 最高年份为 1994 年, 达到了 1487.7 mm。这种波动不仅影响了当地的水资源管理, 也对农业生产带来了挑战。

台江县年降水量(图 1)年际变化明显, 其中台江县 1959~2023 年平均降水量为 1362.0 mm, 总体呈略增多趋势; 从年代际降水平均值来分析, 21 世纪 10 年代(2010~2019 年)年平均降水量高于其余年代平均。

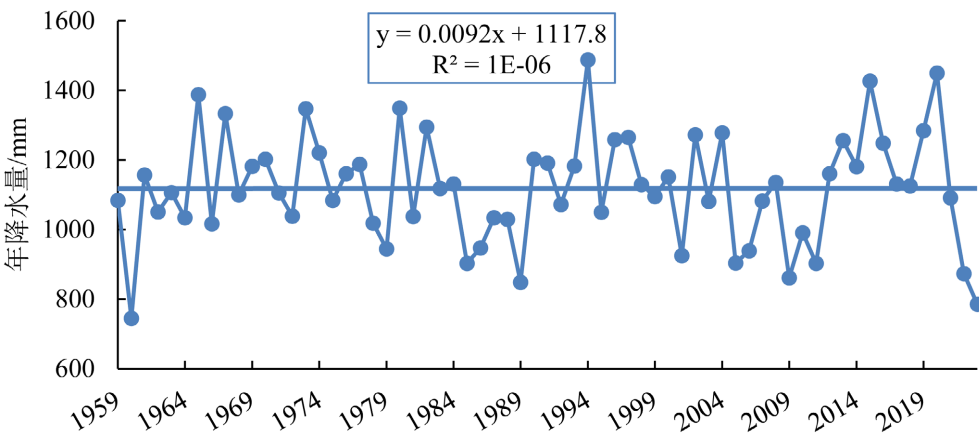


Figure 1. Trend of annual precipitation in Taijiang County from 1959 to 2023
图 1. 台江县 1959~2023 年年降水量趋势图

降水距平百分率是衡量某一年降水偏离长期平均水平的重要指标。正值表示该年降水量高于平均水平, 而负值则表示低于平均水平。1965 年降水量达到 1388 mm, 距平百分率为+24.1%, 这是过去 64 年间降水最为丰富的一年之一; 1994 年降水量为 1487.7 mm, 距平百分率为+33.1%, 成为有记录以来降水量最高的年份; 1996 年和 1997 年分别为 1258.7 mm 和 1265.3 mm, 距平百分率分别为+12.6%和+13.2%, 表明这两年降水也非常充沛。低降水距平年份为 1960 年, 降水量仅为 745.4 mm, 距平百分率为-33.3%, 是记录中降水量最少的一年。

通过 M-K 检验, 从图 2 中可以看出, 台江县年降水量在 1959~2023 年存在三个偏多时期, 为 70 年代, 90 年代和 2010 年以后, 但都没有发生突变。

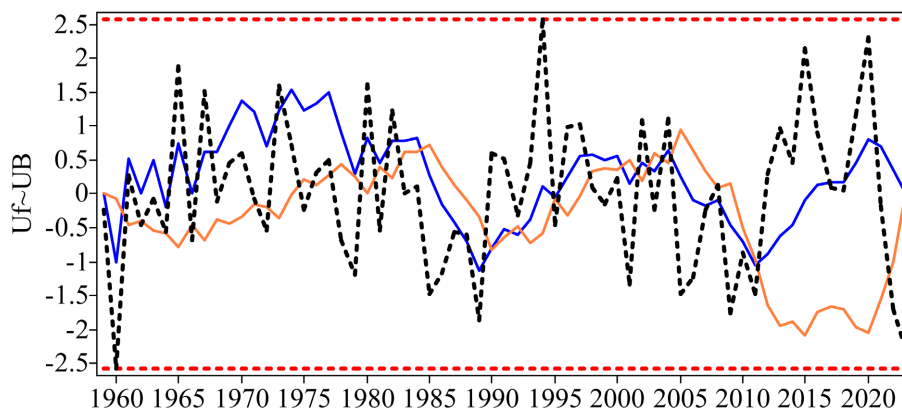


Figure 2. M-K test of annual precipitation in Taijiang County from 1959 to 2023

图 2. 台江县 1959~2023 年年降水量 M-K 检验

3.2. 季降水量年际变化

从 1959~2023 年的 64 年间来分析台江县的年降水量显示出明显的波动性和季节性差异。总体来看, 夏季是降水最多的季节, 平均降水量约为 470 mm; 其次是春季和秋季, 分别约为 340 mm 和 230 mm; 冬季降水量最少, 平均值仅为 90 mm 左右。这种分布符合亚热带季风气候的特点, 即雨热同期, 夏季高温多雨, 冬季低温少雨。

春季(3~5 月), 见图 3, 降水量的变化范围较大, 最低为 1986 年的 213.3 mm, 最高为 2013 年的 576.5 mm。大多数年份的春季降水量集中在 300~400 mm 之间, 占全年总降水量的 20%左右。春季降水量的增加通常标志着雨季的开始, 有利于农作物的播种和生长。夏季(6~8 月), 见图 4, 是台江县降水最丰富的季节, 降水量普遍在 400 mm 以上, 部分年份甚至超过 700 mm。例如, 1965 年的夏季降水量高达 595.6 mm, 而 1996 年更是达到了 762.5 mm 的历史峰值。夏季降水主要由东南季风带来, 充沛的雨水对缓解干旱、补充水资源具有重要意义。秋季(9~11 月), 见图 5, 降水量相对较少, 但仍有显著的年际变化。最低记录出现在 2022 年, 仅有 19.9 mm, 而最高值则发生在 1961 年, 达到 414.5 mm。秋季降水的减少意味着旱季的到来, 对于农业而言, 适时的灌溉变得尤为重要。冬季(12~2 月), 见图 6, 降水量最少, 平均值不足 100 mm, 且各年间的差异较小。值得注意的是, 近年来冬季降水量有所上升, 如 2021 年达到了 224.9 mm, 远高于历史平均水平。这可能与全球气候变化有关, 需进一步研究确认。

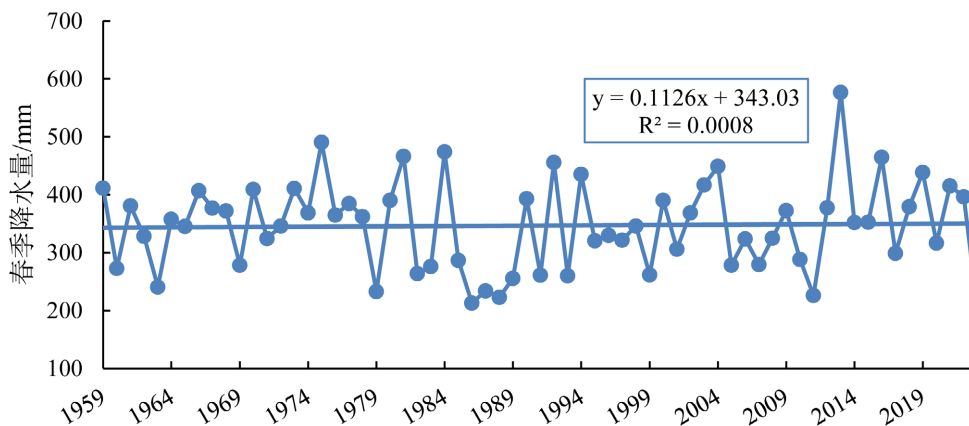


Figure 3. Trend of spring precipitation in Taijiang County from 1959 to 2023

图 3. 台江县 1959~2023 年春季降水量趋势图

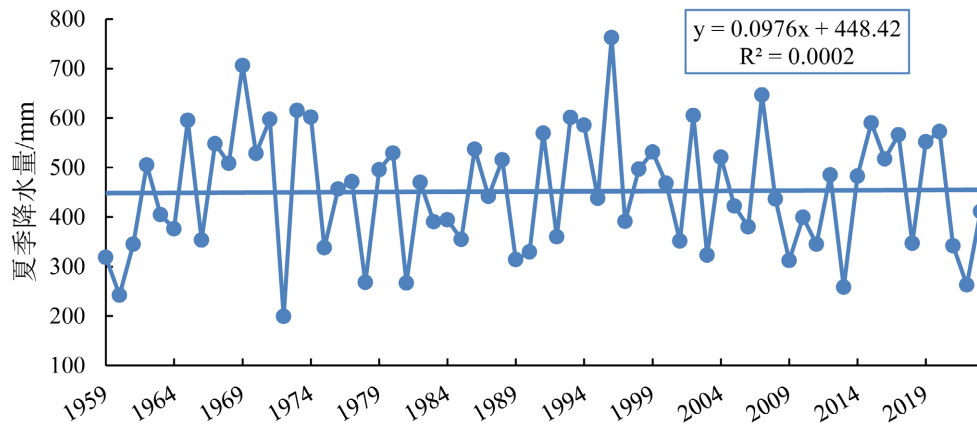


Figure 4. Trend of summer precipitation in Taijiang County from 1959 to 2023
图 4. 台江县 1959~2023 年夏季降水量趋势图

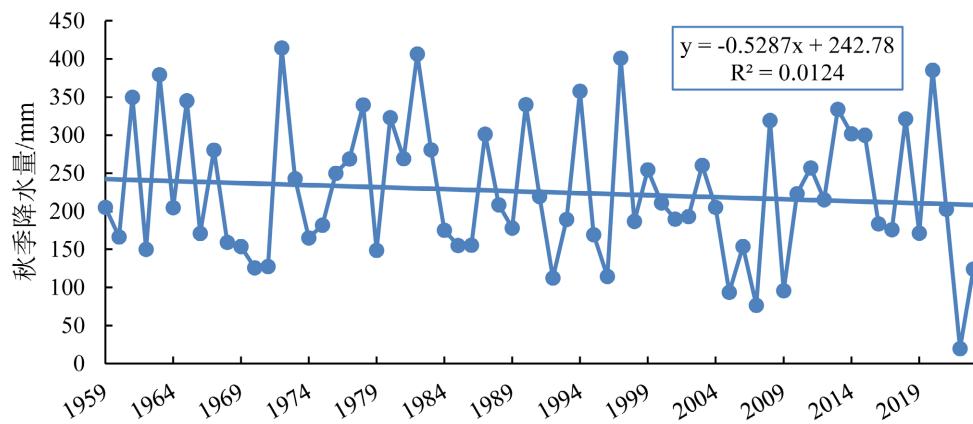


Figure 5. Trend of autumn precipitation in Taijiang County from 1959 to 2023
图 5. 台江县 1959~2023 年秋季降水量趋势图

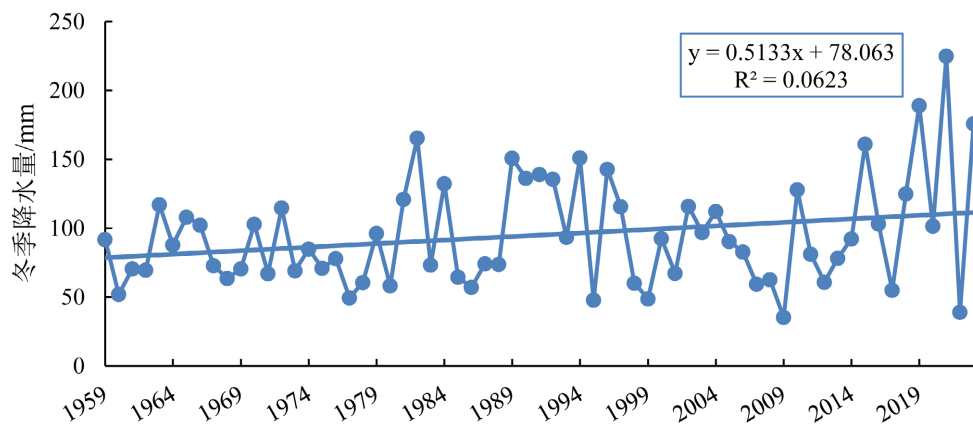


Figure 6. Trend of winter precipitation in Taijiang County from 1959 to 2023
图 6. 台江县 1959~2023 年冬季降水量趋势图

通过 M-K 检验,从图 7~10 中可以看出,台江县春季、秋季和冬季降水量在 1959~2023 年均没有发生突变,在夏季 1969~1975 年发生由少到多的突变,并通过信度为 0.01,置信区间为 $[\pm 2.56]$ 的检验,突变点位于 1960 年。

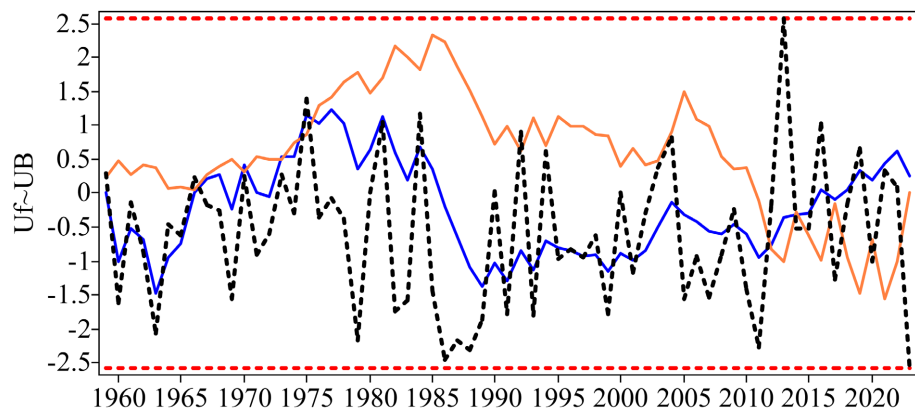


Figure 7. M-K test of spring precipitation in Taijiang County from 1959 to 2023

图 7. 台江县 1959~2023 年春季降水量 M-K 检验

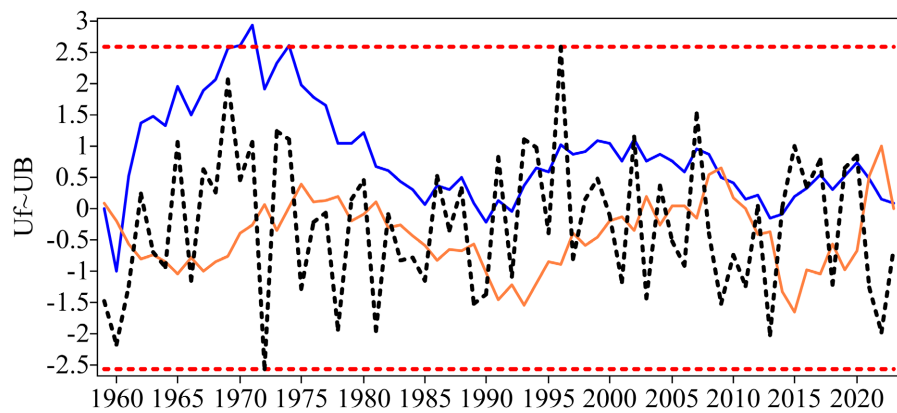


Figure 8. M-K test of summer precipitation in Taijiang County from 1959 to 2023

图 8. 台江县 1959~2023 年夏季降水量 M-K 检验

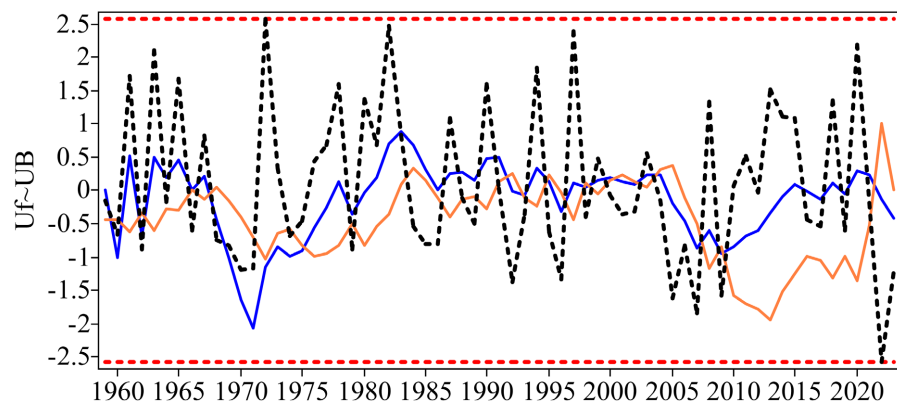


Figure 9. M-K test of autumn precipitation in Taijiang County from 1959 to 2023

图 9. 台江县 1959~2023 年秋季降水量 M-K 检验

3.3. 暴雨日数变化

从台江县历年暴雨日数变化分布(图 11)来看,台江县暴雨日数年际差异较大,但整体呈略增加趋势。台江县 1959~2023 年平均暴雨日数为 3.5 天,其中 1965、1977 年暴雨日数最多,为 8 天;1960、1989、2001 年无暴雨过程发生。

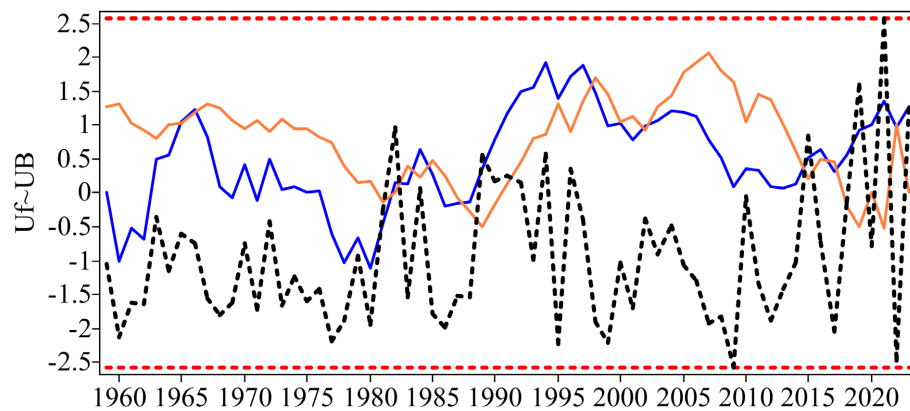


Figure 10. M-K test of winter precipitation in Taijiang County from 1959 to 2023

图 10. 台江县 1959~2023 年冬季降水量 M-K 检验

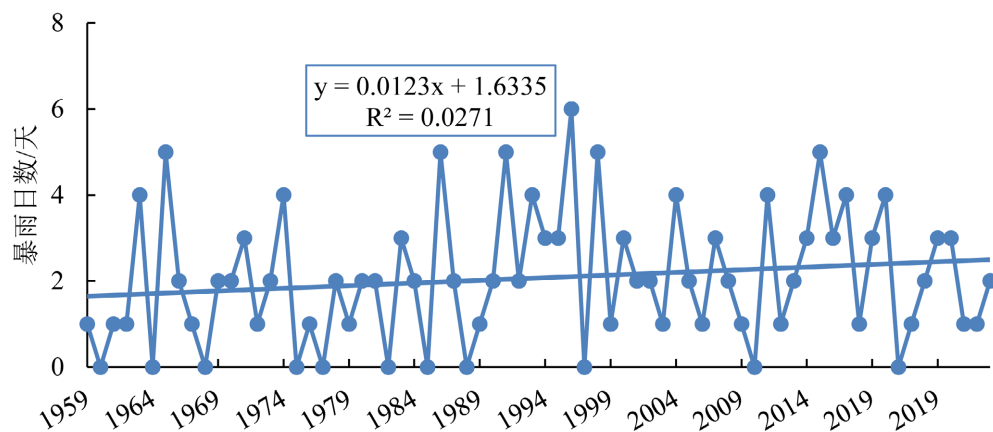


Figure 11. Variation trend of rainstorm days in Taijiang County from 1959 to 2023

图 11. 台江县 1959~2023 年暴雨日数变化趋势

从月暴雨日数分布曲线图(图 12)来看,台江县暴雨主要分布在 4~10 月,其中 5~7 月较为集中。根据 1959~2023 年暴雨日数统计资料分析来看,6~7 月暴雨日数最多,3 月和 11 月出现较少,而 1~2 月及 12 月未出现暴雨天气过程。

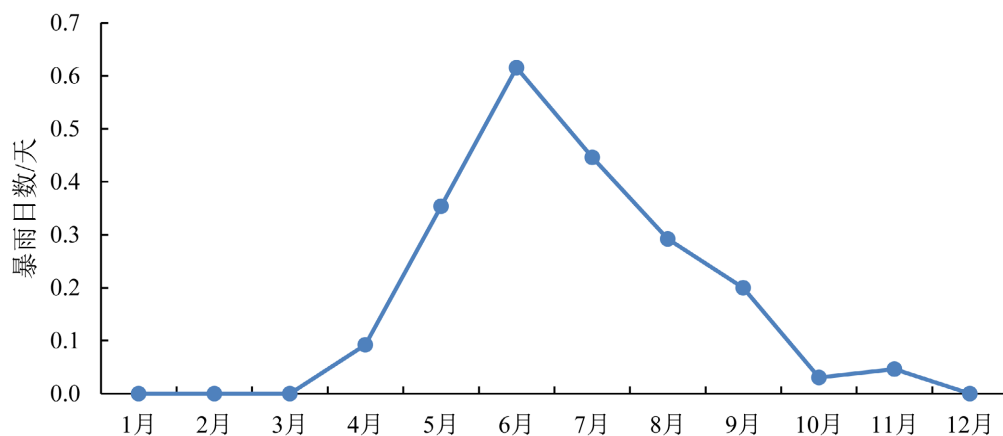


Figure 12. Monthly average variation of rainstorm days in Taijiang County

图 12. 台江县暴雨日数月平均变化

3.4. 最大日降水量年际变化

从台江县逐年最大日降水量变化(图 13)来看,台江县总体呈增加趋势,其中台江县最大日降水量超过 180 mm 的年份有 3 年,分别为 1977、2003、2018 年。2018 年 6 月 22 日,台江县日降水量为 281.7 mm,是历年最大日降水量。

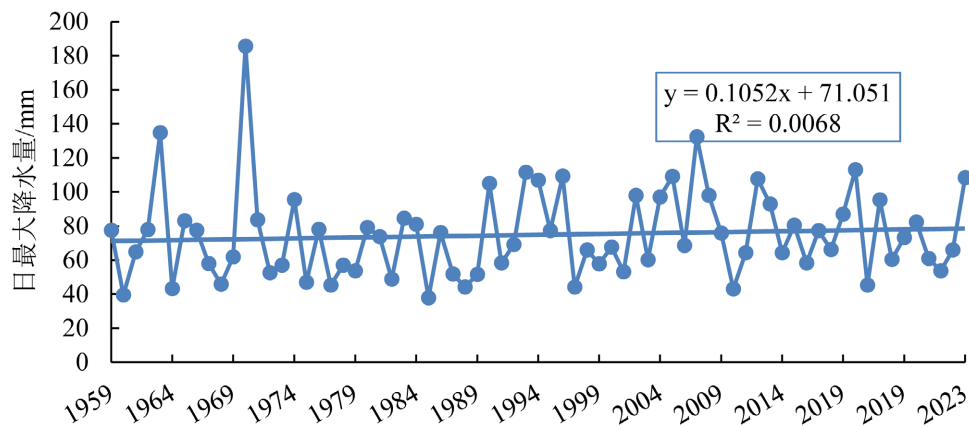


Figure 13. Trend of maximum daily precipitation in Taijiang County from 1959 to 2023
图 13. 台江县 1959~2023 年最大日降水量变化趋势

总体来看,台江县全年及春、夏、冬三季降水量、年暴雨日数、年最大日降水量呈增加趋势,秋季降水量呈减少趋势,表明台江县降水强度呈上升趋势,极端性加强。

4. 小结

研究利用 1959~2023 年台江国家基本气象站的降水资料,采用趋势分析和 M-K 突变检验法分析了台江县的降水时间序列,结果表明:

(1) 台江县年降水量呈波动性变化,但总体略呈增多趋势,尤其是 21 世纪 10 年代的年平均降水量显著高于其他年代。春、夏、冬三季降水量呈增加趋势,秋季呈减少趋势。夏季是降水量最多的季节,符合亚热带季风气候特点。年、春季、秋季和冬季降水量在 1959~2023 年间没有发生突变,而夏季在 1969~1975 年发生由少到多的突变。

(2) 台江县暴雨日数年际差异较大,但整体呈略增加趋势,主要集中在 5~7 月。最大日降水量也呈增加趋势,其中 2018 年 6 月 22 日达到了历年最大值 281.7 mm。这些变化表明,台江县降水强度呈上升趋势,极端性加强。

(3) 台江县的降水时间序列变化特征受全球气候变暖影响显著,呈现出降水量增多、暴雨日数增加和降水强度增强的趋势。这些变化对当地水资源管理、农业规划和灾害预警等领域提出了严峻挑战。因此,深入研究降水时间序列的变化特征,对于理解降水现象的本质规律、制定适应气候变化的策略具有重要意义。未来,应进一步加强气候监测和预警系统建设,提高应对极端天气事件的能力。

基金项目

贵州省气象局省市联合科研基金项目(项目编号:黔气科合 SS[2023]33 号)。

参考文献

[1] 马丽娟, 效存德, 康世昌. 全球主要山地气候变化特征和异同——IPCC AR6 WGI 报告和 SROCC 综合解读[J].

- 气候变化研究进展, 2022, 18(5): 605-621.
- [2] 徐影, 韩振宇, 吴婕, 等. 低排放情景下全球极端气候事件变化在温升过冲前后达到 1.5℃ 的差异[J]. 气候变化研究进展, 2024, 20(4): 389-402.
- [3] 江志红, 刘征宇, 乐旭, 等. 全球增暖 1.5℃ 下东亚气候系统的响应及其情景预估[J]. 中国基础科学, 2017, 19(5): 29-34.
- [4] 唐斌. 西南地区降水和气温的时空分布特征[J]. 高原山地气象研究, 2023, 43(z1): 93-96.
- [5] 赵煜飞, 张强, 鞠晓慧, 等. 中国近 30 年短时极端降水特征分析[J]. 大气科学, 2024, 48(3): 1144-1156.
- [6] 杨慧鑫, 毛文书, 董自正, 邓涛, 李利君. 近 60 年西南地区夏季降水量气候变化特征[J]. 自然科学, 2022, 10(5): 779-781.
- [7] 潘影, 邓世有, 王珏. 黔东南州近 40a 夏季降水时空分布及异常年环流特征分析[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(4): 50-55.
- [8] 黄跃群, 董增川, 彭宇晴, 等. 1979-2018 年资水流域降水演变趋势分析[J]. 水利规划与设计, 2025(2): 39-46.
- [9] 孙奇石, 顾朝军. 1960-2016 年三峡库区降水时空变化特征研究[J]. 中国防汛抗旱, 2024, 34(12): 101-107.
- [10] 李昕阳, 杜军凯, 胡新功, 等. 基于多种趋势分析方法的降水演变趋势分析[J]. 水电能源科学, 2023, 41(10): 14-18.