

1951—2021 年贵州气温和降雨变化特征*

熊美¹, 周秋文², 孙荣国¹

1. 贵州师范大学化学与材料科学学院, 贵州 贵阳 550000
2. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550000

摘要: 为探讨贵州省气温和降雨量在不同时间尺度下的变化特征、突变情况、相互关系与未来发展趋势, 利用线性趋势、累积距平、Mann-Kendal(M-K)检验、R/S(重标极差分析法)分析等方法, 分析了 1951—2021 年贵州气象站的逐日气温和降雨量数据。结果表明, 贵州省年平均气温、年最高和最低气温的上升速率分别为 0.08、0.11 和 0.25 °C/10a, 年最低气温对全球气候变暖的响应最敏感, 秋、冬两季对年平均气温的上升贡献最大, 这主要受西伯利亚高压和东亚冬季风影响所致。贵州省气温变化趋势与全国大体一致, 从 1990s 开始显著增温; 2009 年为年平均气温显著突变年, 呈显著上升趋势。贵州省年降雨量以 23.46 mm/10a 的速率显著下降; 冬季降雨量呈上升趋势, 春、夏、秋季均为下降趋势; 平均夏季降雨量占年降雨量的 51%; 年降雨量从 20 世纪 80 年代开始显著下降; 1986、1990 和 1992 年分别为年、春季、秋季降雨量的显著突变年, 均呈显著下降趋势。年降雨量与气温呈负相关关系; 气温和降雨量的 Hurst 指数表明, 贵州未来的气温仍维持升温趋势, 降雨量仍维持下降趋势, 贵州省的气候持续为暖干趋势。

关键词: 降雨; 气温; 趋势分析; 贵州省

中图分类号: P467 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0137(2023)06-0022-09

Characteristics of the temperature and rainfall variations in Guizhou during 1951-2021

XIONG Mei¹, ZHOU Qiuwen², SUN Rongguo¹

1. School of Chemistry and Materials Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550000, China
2. School of Geography and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550000, China

Abstract: To explore the characteristics of temperature and rainfall in Guizhou Province, the daily temperature and rainfall data of Guizhou weather stations from 1951-2021 were analyzed at different time scales by using methods such as linear trend, cumulative anomaly, Mann-Kendal (M-K) test, and R/S (re-scale range analysis). The results show that the increasing rate of the annual mean, annual maximum, and minimum temperature were 0.08 °C/10a, 0.11 °C/10a, and 0.25 °C/10a, respectively, and the annual minimum temperature was the most sensitive to global warming. The autumn and winter seasons contributed the most to the annual mean temperature increase, mainly influenced by Siberian high pressure and East Asian winter winds. The temperature evolution of Guizhou was generally consistent with that of China and has increased significantly since the 1990s. The annual mean temperature in 2009 showed a significant increase. The

* 收稿日期: 2023-02-09 录用日期: 2023-04-27 网络首发日期: 2023-07-31
基金项目: 贵州省自然科学基金(黔科合基础[2020]1Z038)
作者简介: 熊美(1997年生), 女; 研究方向: 环境污染化学; E-mail: gzsfdx@gznu.edu.cn
通信作者: 孙荣国(1984年生), 男; 研究方向: 环境污染化学; E-mail: srg@gznu.edu.cn

annual rainfall decreased significantly at a rate of 23.46 mm/10a. The rainfall in spring, summer, and autumn showed a downward trend, while in winter it showed an upward trend. The rainfall in summer accounted for 51% of the annual rainfall. The annual rainfall has declined obviously since the 1980s. 1986, 1990, and 1992 showed sharp decrease in annual, spring, and autumn precipitation, respectively. The annual rainfall is negatively correlated with temperature. The Hurst index of temperature and rainfall indicated that the temperature in Guizhou continued to rise and the rainfall continued to decline, and the climate in Guizhou may continue to be warm and dry. This study provided a reference for predicting the future temperature and rainfall in Guizhou Province.

Key words: rainfall; temperature; trend analysis; Guizhou Province

气候变化增加了极端天气事件的频率和强度,严重影响人类生产和生活,以及社会经济的可持续发展(Chaluvadi et al., 2021)。在全球变暖的背景下,区域气候变化因其复杂的不确定性和灾害的严重性而成为人类社会最关注的问题之一(Suman, 2021)。政府间气候变化专门委员会(IPCC, 2013)指出,全球变暖对区域降雨模式有重大影响。季节和年降雨量的变化被认为是气候变化的关键指标(Chou et al., 2013; Sorg et al., 2012)。IPCC第六次评估报告指出,全球地表温度将持续上升,气候系统正在经历快速和广泛的变化,其中一些变化是不可逆转的(IPCC, 2021)。降雨和温度是气候变化最重要的方面,与各种自然灾害密切相关(Jin et al., 2021)。

西南地区是我国气候变化的敏感区和脆弱区,贵州地处云贵高原,是长江、珠江上游重要的生态屏障,其温度和降雨的变化是我国西南地区气候变化最直观的体现,可对区域生态环境功能造成显著影响。我国土地面积辽阔,不同地域的气候因子在演变特征上都存在一定程度的差异(雷阳等, 2021),在不同时间维度上存在各自的特点。在全球气候变化背景下,贵州地区的气温和降雨对全球气候变暖的响应、四季气候的变化对年气候变化的贡献、气温和降雨量之间的关系以及未来发展趋势等相关问题尚不清楚,亟待明确。本研究通过分析1951—2021年贵州逐日气温和降雨量资料,深入讨论贵州省气温和降雨量的季节、年、年代变化特征、两者之间的关系及未来发展趋势。结果对理解贵州区域对全球气候变化的响应,以及妥善制定和实施应对措施、减少灾害风险、确保生态安全等有重要意义。

1 研究区域与数据统计分析方法

1.1 研究区概况

贵州省位于中国西南部的云贵高原,位于 $103^{\circ}36' \sim 109^{\circ}35' E$, $24^{\circ}37' \sim 29^{\circ}13' N$,平均海拔约1 100 m,地貌的显著特征是山地和丘陵居多、地貌条件复杂、生态环境极为脆弱(余祝媛等, 2019)。贵州省气候属于亚热带湿润季风气候区,年平均气温约 $15^{\circ}C$,最冷月份(1月)平均气温 $3 \sim 6^{\circ}C$,最热月份(7月)平均气温 $22 \sim 25^{\circ}C$,气候温暖湿润、垂直变化特征显著,且受西南季风和东亚季风的双重影响(赵志龙等, 2018),对全球气候变化的响应十分敏感。年平均降雨量1 100~1 300 mm,受季风影响降水多集中于夏季,年内分布不均。同时受大气环流及地形等影响,气候不稳定,导致贵州气候呈多样性,灾害性天气种类较多(胡泽银等, 2020)。气温与降雨是该区域生态环境状况的主要影响因素,亦是导致该地区土壤侵蚀和石漠化以及尾矿中重金属浸出的主要动力因素(彭菊等, 2019)。

1.2 数据来源

本研究气候数据资料包括贵州气象站1951—2021年的逐日平均气温、最高和最低气温,以及降雨量数据,由中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)提供,该数据资料完整。本研究以季、年、年代(每10 a)时间序列进行分析,3~5月为春季,6~8月为夏季,9~11月为秋季,12~翌年2月为冬季(Wu et al., 2022)。

1.3 数据分析方法

采用线性趋势、累积距平、滑动平均、Mann-Kendal(M-K)检验法分析份气温和降雨量的变化趋势和突变情况,运用R/S(重标极差分析法)分析气温和降雨量的未来发展趋势,利用回归分析法分

析气温与降雨量之间的关系,并进行显著性检验(雷阳等, 2021; 郝明等, 2022; 罗梅等, 2020; 王文艳等, 2012; 史雯雨等, 2021; 段娜等, 2018; 王国强等, 2021; Han et al., 2021; 熊光红, 2015)。

M-K方法是一种非参数统计检验方法,既可以检验时间序列的变化趋势,也可以进行突变点检验。在以往气候变化研究中得到了广泛的应用(Moradi, 2020),具有样本不需要特定分布、异常值干扰小、适用性广、量化程度高和计算方便的优点(Yürekli, 2015)。原假设 H_0 是原序列 (x_1, x_2, \dots, x_n) 无变化趋势,假设 H_1 是原序列存在变化趋势,构造一个秩序列

$$S_k = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i),$$

其中 $\text{sgn}(x)$ 为符号函数。

定义统计量

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{var}(S_k)}}, \quad k = 1, 2, \dots, n,$$

$$\text{var}(S_k) = \frac{1}{72} [n(n-1)(2n+5)],$$

$$E(S_k) = \frac{k(k-1)}{4}.$$

UF_k 为标准正态分布,其中 $UF_1=0$; UF_k 是按时间序列 X 的顺序 (x_1, x_2, \dots, x_n) 计算出的统计量序列,给定显著性水平 α ,若 $|UF_k| > U_\alpha$,则表明序列存在明显的趋势变化。按时间序列 X 的逆序,重复上述步骤,可得到 UB_k ,其中, $UB_n=0$ 。 UF_k 点绘成 UF 曲线, UB_k 点绘成 UB 曲线。突变点的详细判别标准参考Wu et al.(2021)。

R/S 分析法的赫斯特指数(Hurst)是定量描述时间序列数据长期依赖性的有效方法(王俊骄等, 2019)。当 $H=0.5$ 时,时间序列是随机的,未来变化趋势与过去趋势无关;若 $0 \leq H < 0.5$,表示该序列具有反持续性;即未来变化趋势与历史趋势相反, H 越接近0说明相反持续越强;当 $0.5 < H \leq 1$ 时,说明时间序列具有持续性,未来趋势与过去趋势一致,值越大,连续性越强。因此, R/S 算法可以定性分析某一时间序列未来的趋势变化特征是否与之前保持一致,即序列是否具有持续性特征。

2 结果与分析

2.1 气温变化特征

1951—2021年贵州的年平均气温为 14.53°C ,最高年平均气温为 15.46°C (1998年),最低年平均

气温为 13.64°C (1976年)(图1(a))。根据Mann-Kendall单调趋势检验(Gou et al., 2020),1951—2021年平均气温呈显著升温趋势($P < 0.05$, $Z_c = 3.25 > 1.96$)。过去71年平均气温的上升速率为 $0.08^\circ\text{C}/10\text{a}$,低于全国平均升温速率($0.26^\circ\text{C}/10\text{a}$) (朱金宜, 2022)和全球平均升温速率($0.202^\circ\text{C}/10\text{a}$) (Ren et al., 2017)。年最高气温的平均值为 31.90°C ,最大值为 35.07°C (2020年);年最低气温的平均值为 -3.46°C ,最小值为 -7.27°C (1977年)。年最高和最低气温均呈整体波动上升趋势,升温速率分别为 0.11 和 $0.25^\circ\text{C}/10\text{a}$,其中年最低气温亦呈显著上升趋势($P < 0.05$, $Z_c = 3.54 > 1.96$),升温速率高于全球年最低气温的平均升温速率($0.238^\circ\text{C}/10\text{a}$) (Ren et al., 2017);年最高气温上

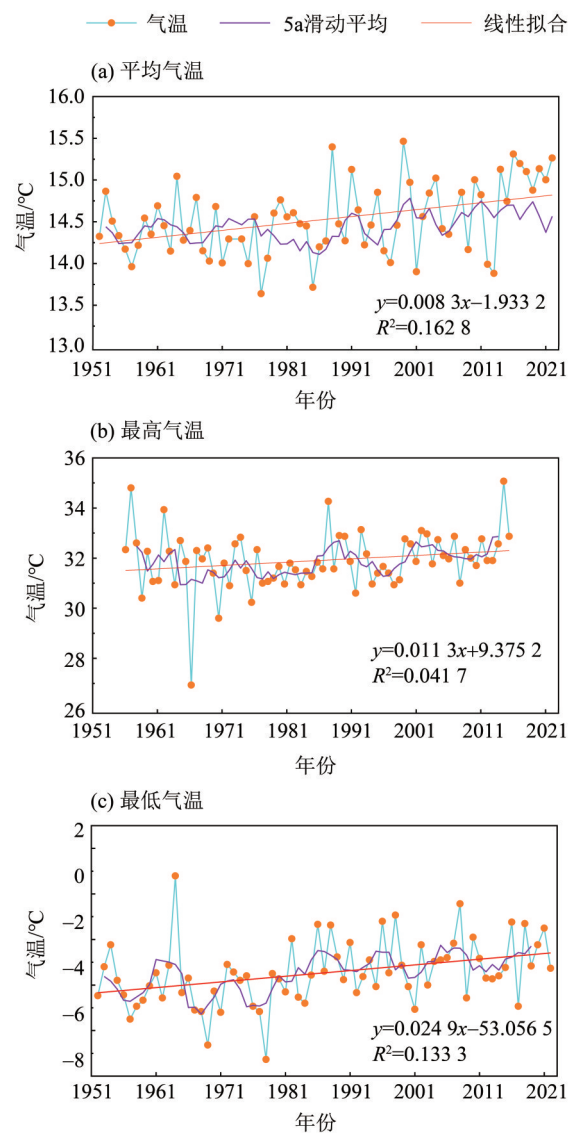


图1 年气温变化特征

Fig. 1 The characteristics of annual temperature

升趋势不显著($P>0.05$, $Z_c=1.93 < 1.96$), 升温速率低于全球年最高气温的平均升温速率($0.186\text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$)(Ren et al., 2017)。综上, 1951—2021年贵州平均气温、年最高和最低气温的变化趋势与全国的一致, 整体呈显著增温趋势; 年最低气温的升温速率最快, 对全球气候变暖的响应最敏感。

近71 a各季节平均气温整体上都呈显著上升趋势($P<0.05$, $Z_c > 1.96$), 春、夏、秋、冬季的升温速率分别为 0.072 、 0.066 、 0.105 和 $0.125\text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$ (图2), 与年平均气温变化趋势一致(整体波动上升)。其中, 秋、冬两季的升温速率相对较快, 对年平均气温的升温贡献最高; 而全球春、冬两季的升温最明显(朱大运等, 2018)。西伯利亚高压和东亚冬季风是西南地区气温变化的主要影响因素, 在北半球环状模/北极涛动(NAM/AO)影响下, 西伯利亚高压和东亚冬季风的强度发生变化(齐冬梅等, 2012; 梁苏洁等, 2014), 造成西南地区冬季气温的变化; 当NAM/AO正异常(正相位, 持续增强)时, 西伯利亚高压和东亚冬季风减弱, 冬季升

温偏快。

气温的年代变化趋势可直观体现气候在不同时间阶段的变化状况。在全球气候变化大背景下, 我国气温的年代变化趋势与全球的大体一致, 1950s—1980s气温距平值为负值, 气温偏冷, 1980s中期出现变暖, 1990s气温距平值转为正值, 呈显著升温趋势(唐红玉等, 2005; 任国玉等, 2005; Xu et al., 2018)。贵州近71 a平均气温的年代变化整体呈上升趋势(图3(a)), 1950s—1970s距平值逐渐减小, 1970s达到最小值, 累计距平曲线呈下降趋势, 气温偏冷; 从1980s开始距平值持续增大, 1990s距平值转为正值, 2010s气温距平达到最大, 累计距平曲线呈上升趋势, 气温偏暖。年最高气温的距平值均为正值, 虽然1980s—2010s距平值呈下降趋势, 但均比1960s—1970s的距平值大, 累计曲线呈持续上升趋势, 表明年最高气温呈现持续上升趋势(图3(b))。年最低气温的距平值均为负值, 1950s—1970s逐渐下降; 1980s开始距平值逐渐增大, 累计曲线呈现持续下降趋势,

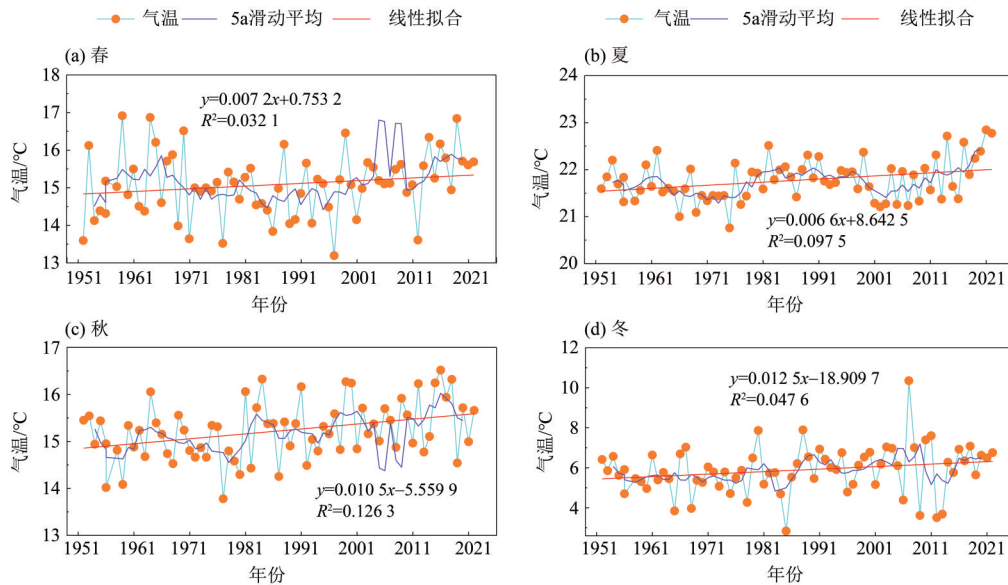


图2 平均气温的季节变化特征

Fig. 2 The characteristics of seasonal in mean temperature: (a) spring, (b) summer, (c) autumn, (d) winter

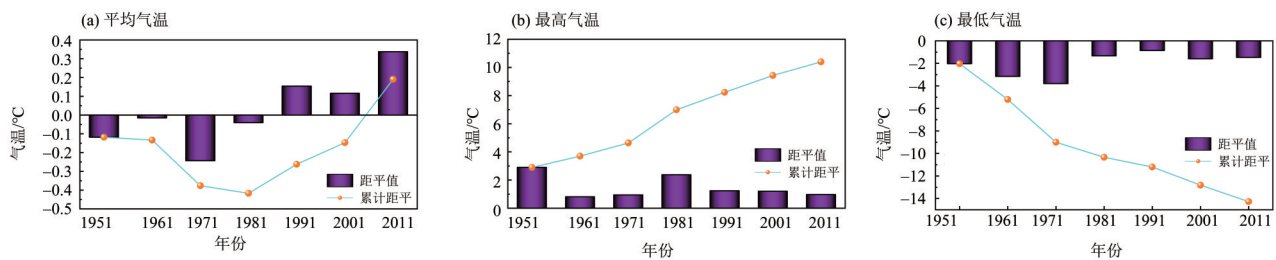


图3 气温的年代变化特征

Fig. 3 The characteristics of the decadal in temperature

说明年最低气温开始呈现上升趋势(图 3(c))。可见, 贵州气温的年代变化趋势和全球、全国的大体一致, 1950s—1980s 年气温处于偏冷期, 从 1990s 开始显著增温, 进入偏暖期。

当气候从一种稳定状态过渡到另一种稳定状态时, 就会发生突变, 这是气候系统中普遍存在的一种非线性的特殊表现(Han et al., 2021), 故研究气温突变对理解气候的稳定性极为重要。UF 和 UB 曲线在置信度区间(显著性水平 $\alpha=0.05$)的交点为突变点。分析发现, 1951—2021 年贵州省平均气温经历了“上升-下降-上升-下降-上升”的变化过程, 从 1990 年开始呈升温趋势(图 4)。UF 和 UB 曲线相交于置信曲线内(2009 年), 并在 2016 年超过 0.05 的显著水平临界线。可见, 贵州年平均气温自 2009 年起发生明显突变, 呈显著增温趋势。

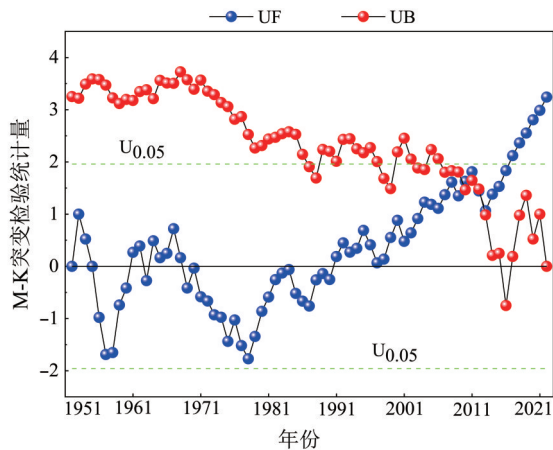


图 4 年平均温度 Mann-Kendall 突变检验

Fig. 4 Mann-Kendall test of annual mean temperature

2.2 降雨变化特征

近 71 a 贵州多年平均降雨量约为 1 210 mm(图 5), 整体呈下降趋势, 平均下降速率为 23.46 mm/10a($P<0.05$, $Z=|-2.6|>1.96$)与全国整体的降雨量变化趋势相反(朱金宜, 2022; 胡盈盈等, 2021)。年降雨量呈现“峰-谷-峰”的较大波动趋势, 最高年降雨量为 1 969.77 mm(1954 年), 最低年降雨量为 572.15 mm(1994 年), 最大值与最小值之间的比值为 3.4, 说明贵州降雨变化剧烈。近 71 a, 春、夏、秋和冬季的平均降雨量分别为 276.34、617.52、252.99 和 63.11 mm(图 5)。前三季的平均降雨量呈下降趋势, 下降速率分别为 8.11、7.86 和 8.53 mm/10a($P<0.05$, $Z=|-2.09|>1.96$); 而冬季的平均降雨量则轻微上升趋势, 上升速率为 1.03 mm/10a($P>0.05$, $Z=0.73<1.96$)。可见, 在降雨量整体下降的情况下, 贵州干旱风险增加。夏季是降雨最为集中的季节, 占全年降雨量总量的 51%。

从年代际的角度分析可知, 1950s—1970s 的降雨量均大于多年平均降雨量, 其中 1970s 的降雨量达到最高(1 289.41 mm), 1980s—2010s 的降雨量均小于多年平均降雨量, 2010s 的降雨量达到最低(1 108.24 mm)(图 6)。结合累计距平曲线可知, 1950s—1970s 年代降雨量距平值为正值, 累计距平值呈上升趋势, 说明在此期间降雨量偏多, 1980s—2010s 年代降雨量距平值为负值, 累计距平值呈下降趋势, 说明在此期间降雨量偏少。可见, 降雨量偏少时间跨度较长, 贵州降雨量整体呈下

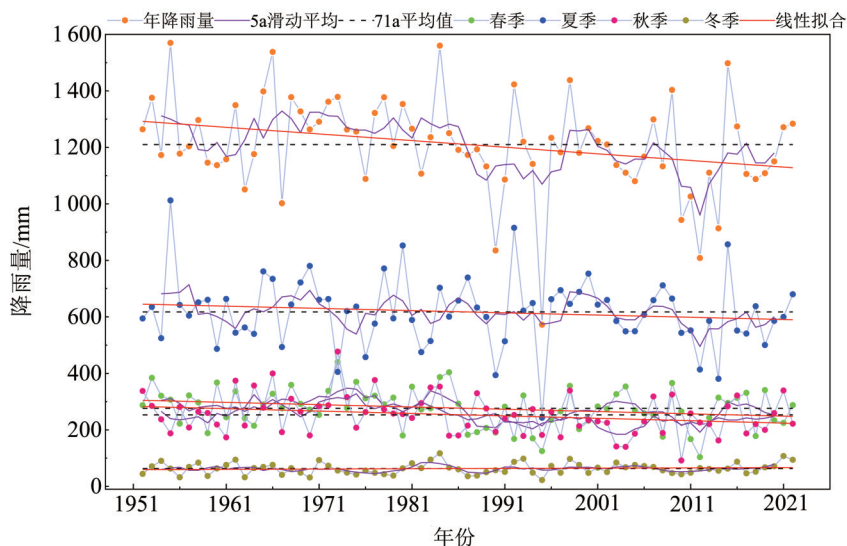


图 5 降雨量变化特征

Fig. 5 The characteristics of annual and seasonal rainfall

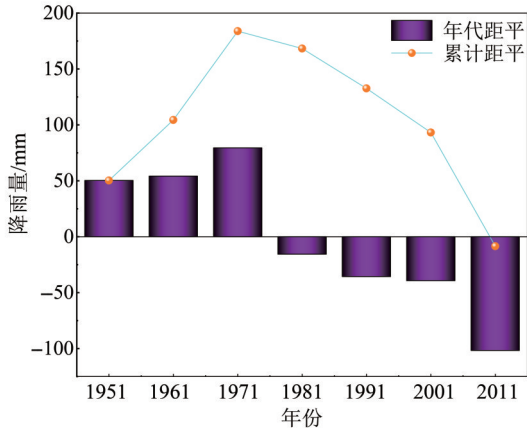


图 6 年平均降雨量年代变化特征

Fig. 6 The characteristics of average annual the decadal in rainfall

降趋势, 气候偏干。

年和季节降雨量的 UF 和 UB 曲线均有交点; 除冬季外, 年和其余季节降雨量整体呈下降趋势 (图 7)。年降雨量 UF 曲线呈上升-下降-上升-下降的变化过程, 在置信区间内相交于 1986 年, 即刻起, UF 曲线急速下降, 在 2004 年超过 0.05 的显著水平临界线 (图 7(a)), 表明年降雨量自 1986 年起发生明显突变, 呈显著下降趋势。春季的 UF 曲线变化过程与年尺度相似, 夏季的 UF 曲线在零线附近上下波动变化, 秋季呈下降-上升-下降的变化规律, 冬季呈上升-下降-上升的波动变化 (图 7(b~e))。春季的 UF 曲线在 1996 年通过显著性检验水平线, 仅 1990 年为显著突变点, 表明自 1990 年起突变显著, 呈显著下降趋势; 秋季的 UF 曲线在 2003—2021 年通过了 0.05 的显著性检验, 仅 1992 年为显著突变点, 表明自 1992 年起突变显著, 呈显著下降趋势。可见, 春、秋季节和年降雨量的显著突变点分别在 1990、1992 和 1986 年, 降雨量自 20 世纪 90 年代起, 呈显著下降趋势。

2.3 降雨与气温的关系及发展趋势

降雨量与气温的回归分析得知, 两者的散点分布范围广, 规律性不强 (图 8~9)。年平均气温、年最高和最低气温与年降雨量间呈负相关关系, 相关系数分别为 -0.206、-0.147 和 -0.163, 仅年平均气温达到 0.05 的显著性水平; 二次函数拟合亦呈负相关关系, 相关系数分别为 -0.215、-0.147、-0.208, 仅年最高气温未达到 0.05 的显著性水平。可知, 研究区域内的气温与降雨量之间的相关性较差。由于降雨量大小受温度、东亚夏季风、西

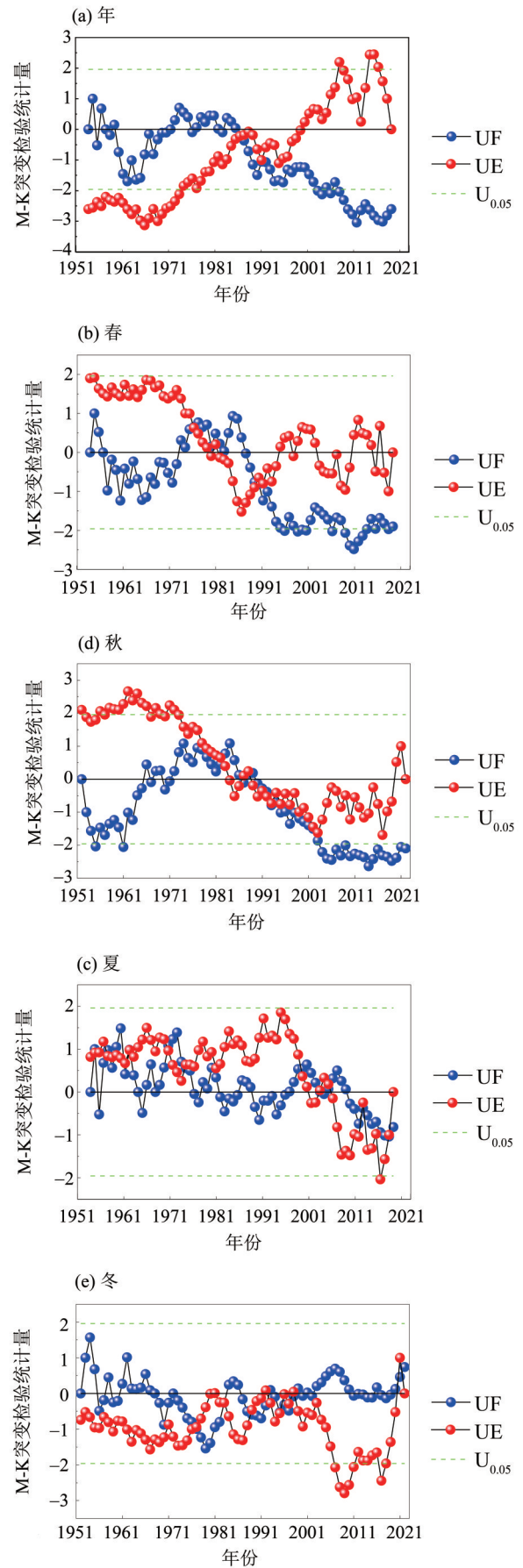


图 7 降雨量的 Mann-Kendall 突变检验

Fig. 7 Mann-Kendall test of annual and seasonal rainfall

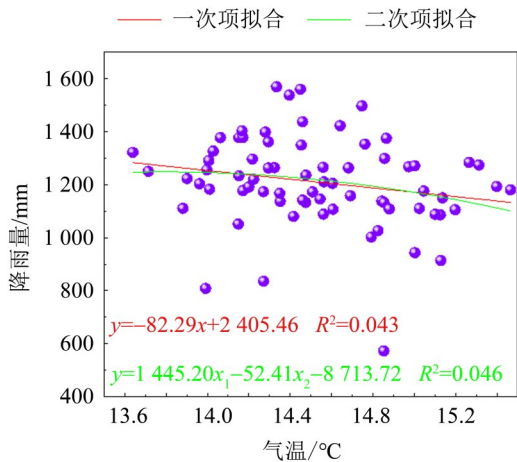


图 8 年平均气温与降雨量的回归拟合

Fig. 8 Regression fits of the average annual temperature with rainfall

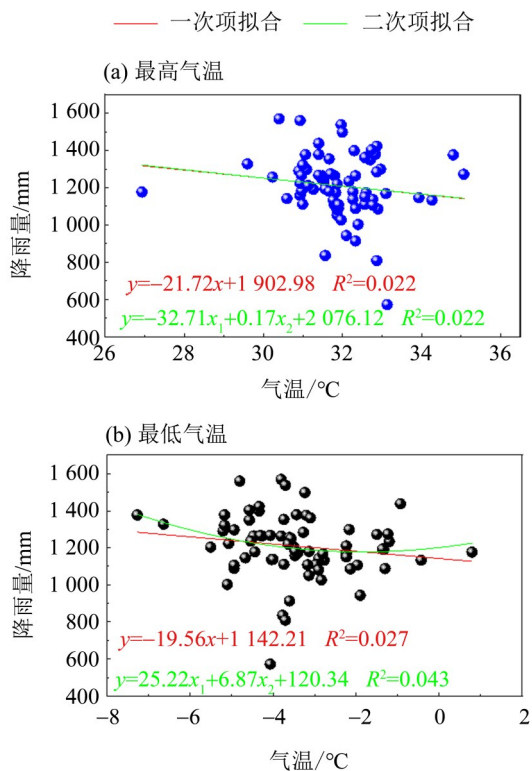


图 9 气温与降雨量的回归拟合

Fig. 9 Regression fitting of temperature with rainfall

西太平洋副热带高压和大西洋年代际振荡(AMO)等诸多因素的影响(任国玉等, 2006; 杜佳玉等, 2022; 刘斌等, 2022), 故气温与降水量之间的相关性通常不高。

通常, 应用赫斯特指数(Hurst)预测气温和降

雨的未来变化趋势。分析年平均气温、年最高和最低气温的 $\ln(R/S)$ 与 $\ln t$ 间关系发现, 两者间呈现出较高的相关性, Hurst 指数均大于 0.5(图 10(a~c)), 这表明贵州地区未来的气温仍维持升温趋势。

年和四季降雨量的 $\ln(R/S)$ 与 $\ln t$ 间关系亦呈现出较高的相关性, 除夏季外, Hurst 指数均 >0.5 (图 10(d~h)), 表明贵州未来春、秋季节和年的降雨量仍维持下降趋势, 冬季的降雨量仍维持增加趋势, 夏季的降雨量未来可能逐渐演变为增加趋势。亦有研究发现, 贵州夏季的降雨量主要受西太平洋副热带高压的影响, 其逐渐偏强偏西偏南变化有利于夏季降雨量的增加(齐冬梅等, 2012)。综合气温与降雨量的未来变化趋势, 贵州的气候可能继续为暖干趋势。

3 结论

本文分析了 1951—2021 年(近 71 a)贵州逐日气温和降雨量数据, 揭示了气温、降雨变化特征及两者间的关系与未来发展趋势, 得到如下主要结论:

1) 年平均气温、年最高和最低气温分别以 0.08、0.11 和 0.25 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率上升, 年最低气温对气候变暖的响应最敏感。春、夏、秋、冬季节平均气温的上升速率分别为 0.072、0.066、0.105 和 0.125 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 秋冬两季对年平均气温上升贡献最大。1950s—1980s 年气温处于偏冷期, 从 1990s 开始显著增温, 进入偏暖期; 年平均气温自 2009 年期起发生显著增温突变。

2) 降雨量以 23.46 $\text{mm}/10\text{a}$ 的速率呈显著下降趋势。冬季降雨量以 1.03 $\text{mm}/10\text{a}$ 的速率轻微上升, 春、夏、秋分别以 8.11、7.86 和 8.53 $\text{mm}/10\text{a}$ 的速率下降。夏季的降雨量占年总降雨量的 51%, 1950s—1970s 降雨量偏多, 1980s—2010s 降雨量偏少, 整体气候偏干。春、秋季节和年降雨量的显著突变点分别在 1990、1992、1986 年。

3) 气温与降雨量之间呈负相关关系。气温和降雨量的 Hurst 指数值均大于 0.5, 说明贵州气温和降雨未来的变化趋势与历史趋势一致, 即可能持续向暖干趋势发展, 气温上升, 降雨量下降。

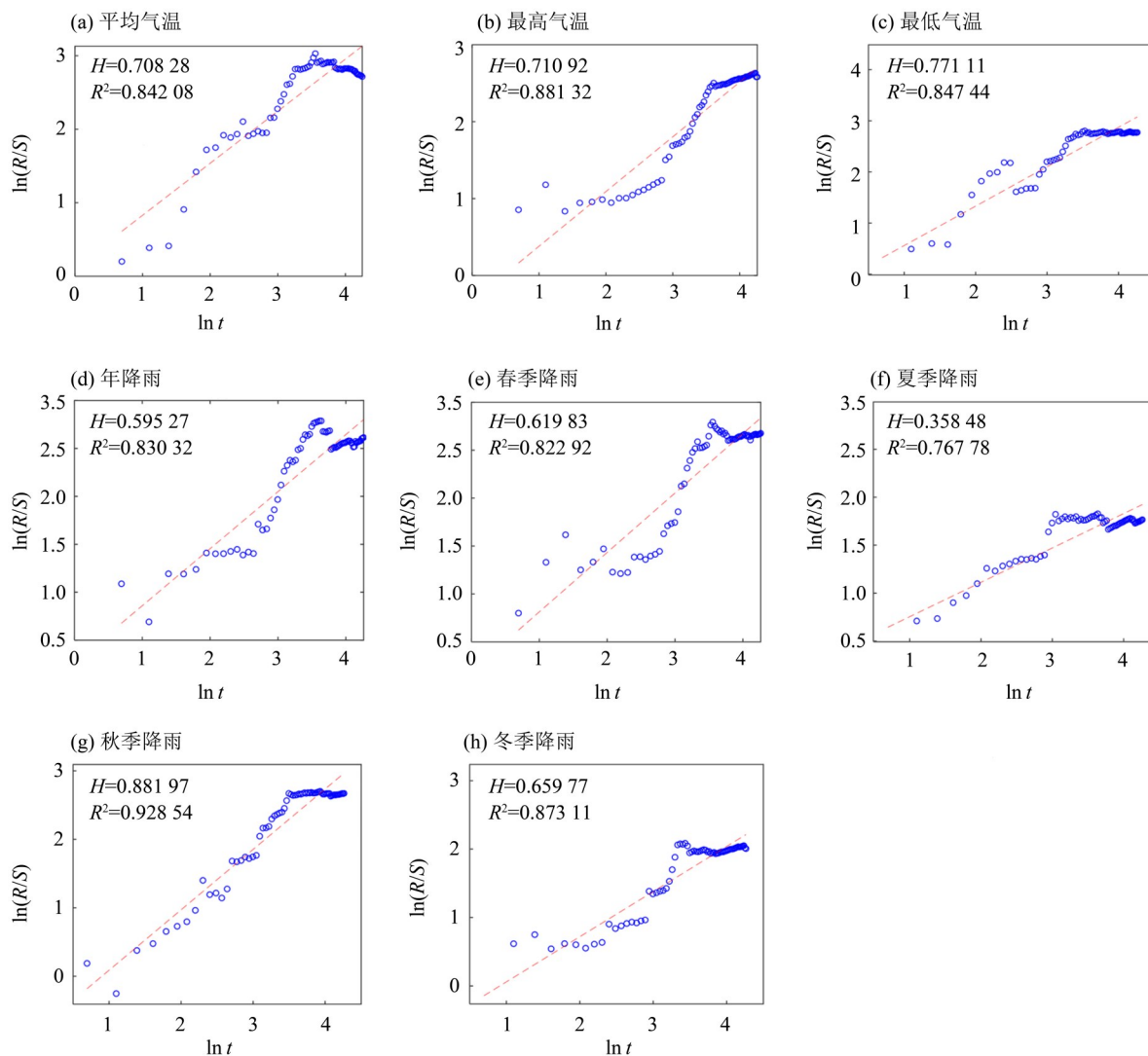


图10 年气温、年和各季降雨量的R/S分析

Fig. 10 R/S analysis of annual temperature, annual and seasonal rainfall

参考文献:

- 杜佳玉,陶丽,许承宇,2022. 中国降水的年代际变化及全球变暖、太平洋年代际振荡、大西洋年代际振荡对其的相对贡献[J]. 气象学报,80(5): 685-700.
- 段娜,杨贵羽,游进军,2018. 五指山市近60年降雨量时空演变规律分析[J]. 南水北调与水利科技,16(6): 60-67+79.
- 郝明,冯俊明,冯哲,等,2022. 1961—2020年内蒙古赤峰市地温和气温、降水变化特征及关系分析[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版),53(2): 194-202.
- 胡盈盈,肖杨,戴声佩,等,2021. 1961—2015年中国热区降水和气温时空变化特征[J]. 西南农业学报,34(8): 1788-1795.
- 胡泽银,王世杰,白晓永,等,2020. 近百年来贵州高原气温时空演变特征及趋势[J]. 中国岩溶,39(5): 724-736.
- 雷阳,王红宾,鲁同,等,2021. 所拉萨市近49年气温变化特征研究[J]. 地球与环境,49(5): 492-503.
- 梁苏洁,丁一汇,赵南,等,2014. 近50年中国大陆冬季气温和区域环流的年代际变化研究[J]. 大气科学,38(5): 974-992.
- 刘斌,盛恩国,郁科科,等,2022. 过去1500年中国西南地区季风降水变化及其驱动因素[J]. 中国科学: 地球科学,52(7): 1310-1327.
- 罗梅,杨守禄,唐红祥,等,2020. 1963—2018年贵州修文县气温和降水变化特征[J]. 水土保持研究,27(5): 177-181+187.
- 彭菊,周秋文,韦小茶,等,2019. 贵州省1960—2014年降水量时空变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报,30(5): 148-154.
- 齐冬梅,周长艳,李跃清,等,2012. 西南区域气候变化原因分析[J]. 高原山地气象研究,32(1): 35-42.

- 任国玉,郭军,2006. 中国水面蒸发量的变化[J]. 自然资源学报,21(1): 31-44.
- 任国玉,郭军,徐铭志,等,2005. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报,63(6): 942-956.
- 史雯雨,杨胜勇,李增永,等,2021. 近 57 年金沙江流域气温变化特征及未来趋势预估[J]. 水土保持研究,28(1): 211-217.
- 唐红玉,翟盘茂,王振宇,2005. 1951—2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化[J]. 气候与环境研究,10(4): 728-735.
- 王国强,姜基春,焦峰,2021. 延安市安塞区极端降水变化特征[J]. 应用生态学报,32(4): 1417-1423.
- 王俊骄,张雅旒,孙晓燕,2019. 综合 R/S 法和 Mann-Kendall 法分析杭州市 60 年小雨降水日趋势变化[J]. 科技通报,35(12): 41-45.
- 王文艳,张丽萍,吴东平,等,2012. 近 19 年干旱半干旱过渡区气温降雨变化特征分析[J]. 环境科学与技术,35(S1): 57-61.
- 熊光红,2015. 关中地区降雨、气温动态演变特征分析[J]. 安徽农业科学,43(11): 192-194,198.
- 余祝媛,贺中华,梁虹,等,2019. 贵州省近 55 年降水量时空变化分析[J]. 江苏农业科学,47(6): 208-215.
- 赵志龙,罗娅,余军林,等,2018. 贵州高原 1960—2016 年降水变化特征及重心转移分析[J]. 地球信息科学,20(10): 1432-1442.
- 朱大运,熊康宁,董晓超,2018. 贵州 1960—2016 年气温时空变化特征[J]. 水土保持研究,25(4): 167-173+180.
- 朱金宜,2022. 《中国气候变化蓝皮书(2022)》发布——中国平均年降水量呈增加趋势[N]. 人民日报(海外版),08-04(2).
- CHALUVADI R, VARIKODEN H, MUJUMDAR M, et al, 2021. Changes in large-scale circulation over the Indo-Pacific region and its association with 2018 Kerala extreme rainfall event[J]. Atmos Res,263: 105809.
- CHOU C, CHIANG J C H, LAN C W, et al, 2013. Increase in the range between wet and dry season precipitation[J]. Nat Geosci,6(4): 263-267.
- GOU J J, MIAO C Y, HAN J Y, 2020. Spatiotemporal changes in temperature and precipitation over the Songhua River Basin between 1961 and 2014[J]. Glob Ecol Conserv, 24: e01261.
- HAN Y Z, MA Y M, WANG Z Y, et al, 2021. Variation characteristics of temperature and precipitation on the northern slopes of the Himalaya region from 1979 to 2018[J]. Atmos Res,253: 105481.
- IPCC, 2013. Climate change 2013: The physical science basis [M]. UK: Cambridge University Press.
- IPCC, 2021. AR6 climate change 2021: The physical science basis intergovernmental panel [M]. UK: Cambridge University Press.
- JIN H Y, CHEN X H, WU P, et al, 2021. Evaluation of spatial-temporal distribution of precipitation in China's mainland by statistic and clustering methods[J]. Atmos Res, 262: 105772.
- MORADI M, 2020. Trend analysis and variations of sea surface temperature and chlorophyll-a in the Persian Gulf [J]. Mar Pollut Bull, 156: 111267.
- REN Y Y, REN G Y, SUN X B, et al, 2017. Observed changes in surface air temperature and precipitation in the Hindu Kush Himalayan region over the last 100-plus years[J]. Adv Clim Change Res, 8(3): 148-156.
- SORG A, BOLCH T, STOFFEL M, et al, 2012. Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia)[J]. Nat Clim Change, 2(10): 725-731.
- SUMAN A, 2021. Role of renewable energy technologies in climate change adaptation and mitigation: A brief review from Nepal[J]. Renew Sustain Energy Rev, 151: 111524.
- WU Q S, ZUO Q T, HAN C H, et al, 2022. Integrated assessment of variation characteristics and driving forces in precipitation and temperature under climate change: A case study of Upper Yellow River basin, China[J]. Atmos Res, 272: 106156.
- WU S Q, HU Z W, WANG Z H, et al, 2021. Spatiotemporal variations in extreme precipitation on the middle and lower reaches of the Yangtze River Basin (1970-2018) [J]. Quat Int, 592: 80-96.
- XU M, KANG S C, WU H, YUAN X, et al, 2018. Detection of spatio-temporal variability of air temperature and precipitation based on long-term meteorological station observations over Tianshan Mountains, Central Asia [J]. Atmos Res, 203: 141-163.
- YÜREKLI K, 2015. Impact of climate variability on precipitation in the Upper Euphrates-Tigris Rivers Basin of South-east Turkey[J]. Atmos Res, 154: 25-38.

(责任编辑 秦社彩)