

近60年贵州省夏季降水量时空变化特征

王 然, 毛文书, 宋荣津, 何冷萱

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: 1208473663@qq.com

收稿日期: 2021年4月7日; 录用日期: 2021年5月10日; 发布日期: 2021年5月18日

摘 要

利用1961~2017年近60a贵州省夏季(6~8月)逐日降水量气象基本观测资料,运用克里金插值方法、EOF分解、线性倾向估计、小波分析和M-K检验等多种现代气候统计诊断分析方法,对贵州省近60a夏季降水量时空变化特征进行了较为详细的研究。结果表明:(1)近60a来,贵州省夏季降水量呈西南-东北走向的空间分布类型,其中贵州省的西南部为夏季降水量大值区域,东北部为夏季降水量小值区域。(2)EOF分解第1模态表明:贵州省夏季降水量具有全省一致性的空间分布特征;第2模态表明:贵州省夏季降水量呈南、北反位相变化的空间分布特征。(3)小波分析表明:贵州省夏季降水变化具有28a的第1主周期变化特征。(4)线性倾向估计和M-K检验表明:1989年后,贵州省夏季降水量减少的趋势减缓,降水量逐渐开始变为增多的趋势;2002年后,夏季降水量增多的趋势减缓,逐渐开始变为减少的趋势。

关键词

贵州省, 降水量分布, EOF分解, 小波分析, M-K检验

Characteristics of Temporal and Spatial Variation of Summer Precipitation in Guizhou Province for Recent 60 Years

Ran Wang, Wenshu Mao, Rongjin Song, Lingxuan He

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: 1208473663@qq.com

Received: Apr. 7th, 2021; accepted: May 10th, 2021; published: May 18th, 2021

Abstract

This paper discusses nearly 60a spatio-temporal variation characteristics of summer rainfall in

Guizhou in details with local daily precipitation on basic meteorological data from 1961 to 2017 summer (June~August) through Kriging interpolation method, empirical orthogonal function, linear tendency estimation, wavelet analysis, Mann-Kendall test and other modern climatic statistical diagnostic analysis methods. It's concluded that: (1) In the past 60 years, the southwest of Guizhou Province is the region with large summer precipitation value, while the northeast is the opposite. The spatial distribution pattern of precipitation is southwest to northeast. (2) The first EOF mode shows that the summer precipitation in Guizhou Province has the provincial consistency, and the second mode shows the north-south anti-phase change. (3) The wavelet analysis demonstrates the summer precipitation change in Guizhou has the first main periodic change in 28 years. (4) The linear trend estimation and Mann-Kendall test indicate that the decreasing trend of summer precipitation has slowed down after 1989, and gradually began to increase. After 2002, the increasing trend of summer precipitation has slowed down and gradually began to turn into decreasing.

Keywords

Guizhou Province, Precipitation Distribution, EOF Analysis, Wavelet Analysis, Mann-Kendall Test

Copyright © 2021 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

贵州的降水受地形、副热带高压、海拔高度等因素影响, 年际振荡大, 区域分布不均匀。近年来, 国内的一些专家、学者对贵州降水的时空分布做了大量研究, 并取得大量研究成果。胡建龙[1]等人基于贵州省 1650 个区域自动站和 84 个国家站 2009~2018 年夏季(6~8 月)逐日降水资料指出贵州省降水受地形影响明显, 降水量和暴雨日数高值区多出现在山脉迎风坡及平原和山脉的过渡地区。徐建新[2]等人通过研究贵州省 50a 降水时空分布规律得出, 近 50a 降水量呈下降趋势, 季节变化明显且分布不均。张宇发[3]指出九十年代以来, 贵州降水量有增加趋势。孔德璇[4]等人对近 40a 贵州主汛期降水特征的分析得出主汛期降水呈现明显的年代际变化特征, 其多年平均总降水量呈现南多北少的趋势, 总降水量大值区主要集中在贵州的西南部地区。

此外, 还有很多专家、学者针对贵州降水的变化特征进行了大量研究[5]-[12], 但研究贵州特定季节降水时空分布的资料较少, 贵州气候温暖湿润, 属亚热带季风气候, 受季风影响, 降水多集中于夏季, 罗宁[13]等据 1957~2004 年的降雨量统计分析得出贵州各地降水量年内分配不均, 夏半年(4~9 月)多雨, 约占全年雨量的 3/4。且贵州地处西南山区, 地形复杂, 故夏季极端降水导致山体崩塌、旱涝等地质灾害现象的可能性很大。伍红雨[14]等人指出全省一致性是贵州夏季降水的最主要特征, 同时还存在区域差异。严小冬[15]指出夏季降水空间分布的年际变化比其它季节大; 春、夏季和冬季降水空间分布的年际变化具有一定的显著周期存在, 分别约为 22a、2.6a 和 11a。张宇发[3]指出四季的变化趋势不完全一致, 但也有共同的特点。贵州降水分布不均匀, 易引发局地山洪灾害, 给人民的生命财产和工农业生产、交通运输等造成巨大损失, 故研究贵州地区多年夏季降水对探究其多年降水规律、防灾减灾工作的意义重大。本文基于前人的研究, 对贵州 1961~2017 年夏季降水的空间、时间分布规律进行探讨, 旨在分析得出夏季降水的主要分布形势、演变趋势以及变化周期。

2. 资料和方法

贵州省地处中国西南地区，东靠湖南，南邻广西，西毗云南，北连四川和重庆，总面积约 17.62 万 km^2 ，占全国总面积的 1.8%。贵州省的地貌可概括分为高原、山地、丘陵和盆地四种基本类型，其中约 92.5% 的面积为山地和丘陵，平均海拔约 1100 m。

2.1. 数据来源与处理

本文选取贵州省具有完整长年代资料且分布均匀的 18 个降水量代表站(威宁、盘县、桐梓、习水、毕节、湄潭、思南、铜仁、黔西、安顺、贵阳、凯里、三穗、兴仁、望谟、罗甸、独山、榕江)进行分析，由克里金插值得地形主体呈现西高东低的形势，如图 1 所示。对贵州省夏季降水量的分析采用这 18 个代表站 1961~2017 年共 57 年的夏季降水数据的均值，经过对数据的插值、投影等处理，提取贵州省夏季降水量的空间分布信息。

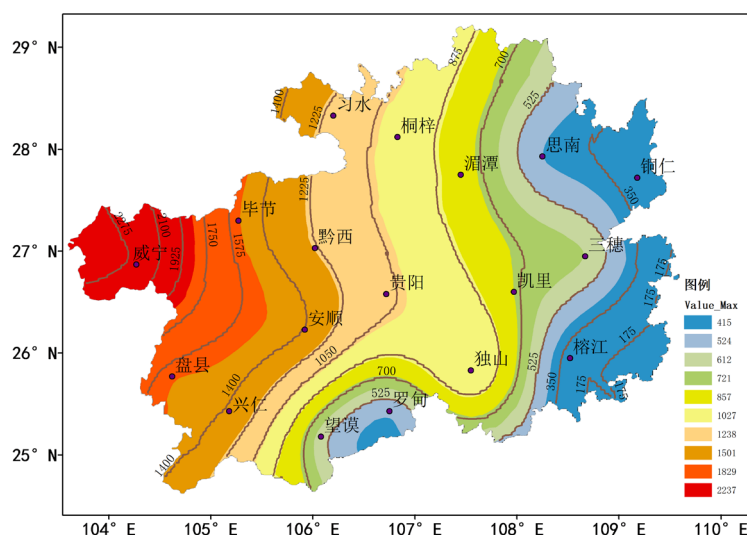


Figure 1. Contour map of 18 meteorological stations in Guizhou province
图 1. 贵州省 18 个气象站点名称及海拔高度等值线图

2.2. 研究方法

2.2.1. EOF 分析

对 1961~2017 年近 60a 贵州省夏季降水量进行距平处理，利用 EOF 分析方法[16]，提取数据的空间分布特征，并利用 North [17]等的研究准则进行显著性检验，最后进行主要模态的空间分布和时间系数分析，得出贵州省夏季降水量的主要空间分布形态。

2.2.2. 小波分析

为分析贵州省夏季降水量时间序列的多时间尺度特征，采用 Morlet 连续复小波变换[18]。传统的信号分析建立在傅里叶变换的基础上，但傅里叶变换的方法只适用于信号时间或者频率单方面的分析，小波变换则属于时频分析的一种，它是傅里叶分析的发展与延拓，近年来在非平稳信号分析中得到了成功应用[19]。

2.2.3. Mann-Kendall 检验

Mann-Kendall 方法是一种非参数统计检验方法，其优点是不要求原序列遵从特殊的分布，少量的异

常值不会有影响，它有计算过程简单，检测范围宽，干扰度小，定量程度高的优点。由数据统计量的图像可分析得到数据序列的趋势变化，可明确突变开始的时间；当 UF 和 UB 统计量超过显著性临界直线时，趋势显著； UF 和 UB 曲线的交点如果在临界线之间，则交点对应的时刻为突变发生的时间[20]。

3. 贵州省夏季降水量空间分布特征

3.1. 近 60a 夏季平均降水量的空间分布

利用贵州省 18 个气象基本观测站点近 60a 的夏季(6~8 月)平均降水量(图 2)，由图 2 可知：贵州省夏季降水量空间分布呈西南 - 东北走向型，其中夏季平均降水量大值中心位于贵州省西南部的盘县，多年平均夏季降水量达 761.8 mm，夏季平均降水量小值中心位于贵州省东部的三穗县，多年平均的夏季降水量仅有 429.8 mm，大值中心与小值中心相差达 332 mm。造成贵州省夏季西南部降水量丰沛，而东北部降水量相对偏少的原因，与贵州省地形的强迫抬升作用有密切关系。

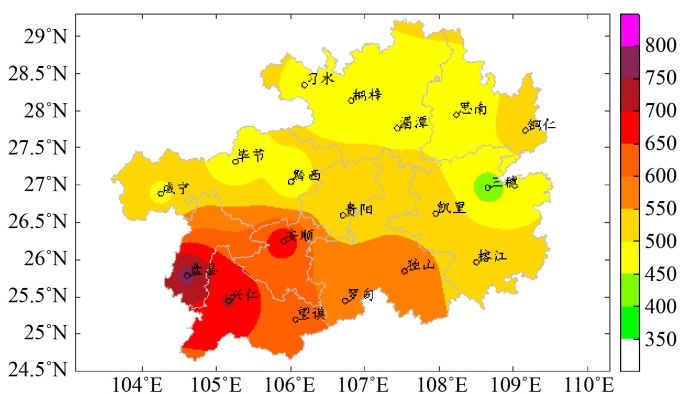


Figure 2. Spatial distribution of summer average precipitation in Guizhou province in recent 60 years

图 2. 贵州省近 60a 夏季平均降水量空间分布

3.2. 夏季降水量 EOF 分解的空间模态

为客观描述贵州省夏季降水量的空间分布特点，将近 60a 贵州省 18 个气象观测站点的夏季降水量数据处理成距平数据后，进行 EOF 分解，得出前 2 个模态(图 3)，经 North 显著性检验后的累积方差贡献率达到了 58.61%，这 2 个模态的特征向量可以很好地解释近 60a 贵州省夏季降水量的两种空间分布类型。

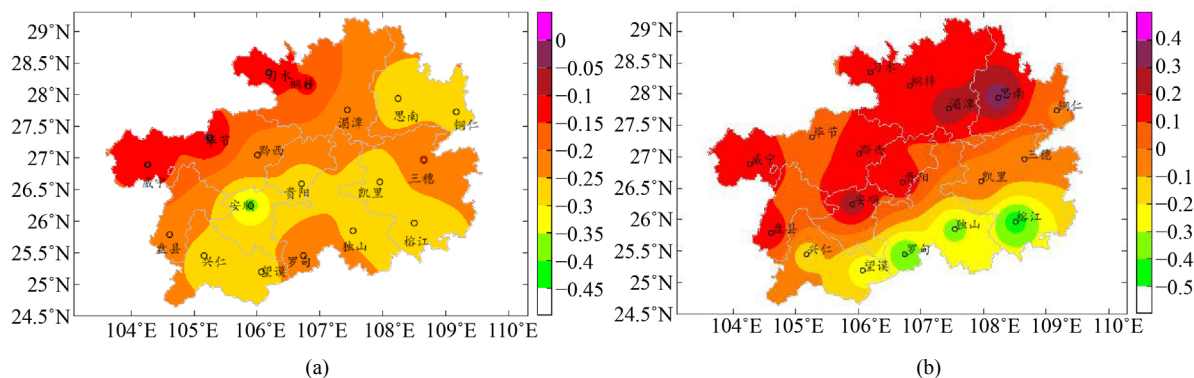


Figure 3. Spatial distribution of the first two modes of EOF decomposition for summer precipitation anomaly in Guizhou Province. (a): mode 1; (b): mode 2

图 3. 贵州省夏季降水量距平 EOF 分解的前 2 个模态的空间分布。(a) 第 1 模态；(b) 第 2 模态

由贵州省夏季降水量 EOF 分解第 1 模态(图 3(a))可知: EOF 分解第 1 模态方差贡献率达 47.257%, 反映了贵州省夏季降水量空间变化的主要分布型。第 1 模态表明: 贵州全省区域都呈现正值分布, 反映了整个空间区域变化的一致性, 即贵州夏季全省降水量一致的同位相变化, 这与大尺度的气候系统有关 [21], 其中东南部分比西北部分的夏季降水变化率大, 安顺地区夏季降水量变化率最大, 威宁、毕节、习水夏季降水变化率相对较小。降水变化率大的地区常是旱涝灾害发生频率较高的地区, 需多注意夏季的暴雨、洪涝或干旱灾害。

由贵州省夏季降水量 EOF 分解第 2 模态(图 3(b))可知: EOF 分解第 2 模态方差贡献率为 11.356%, 也是反应贵州省夏季降水量空间变化的另一重要分布型, 第 2 模态表明: 贵州省夏季降水量大体呈现南、北反位相分布型, 具体表现为以盘县南部和思南南部为界, 往北为正值分布, 正值中心出现在安顺、湄潭、思南地区, 往南为负值分布, 负值中心出现在罗甸、独山、榕江地区。

3.3. 夏季降水量 EOF 分解的时间系数

使用 EOF 方法, 不仅能用其模态向量场描述要素场的主要分布型, 而且可用其时间系数特征值分析场的年际变化[22]。由第 1 模态的时间系数(图 4(a))可知: 贵州夏季全区降水量呈波动状态, 年际变化差异显著, 其中 1972 年、1981 年和 2013 年贵州全省夏季降水量显著偏少; 而 1968 年、1979 年和 1991 年贵州全省夏季降水量显著偏多。

由第 2 模态的时间系数(图 4(b))可知: 贵州夏季南、北降水量反位相年际变化差异显著, 其中 1986 年、1991 年和 1998 年以盘县南部和思南南部为界, 呈北部降水量显著偏多而南部降水量显著偏少的反位相变化; 而 1966 年、1968 年和 2006 年以盘县南部和思南南部为界, 呈南部降水量显著偏多而北部降水量显著偏少的反位相变化。

从较长时间尺度来看: 20 世纪 70 年代, 贵州省夏季降水量表现为北部降水量偏少, 南部降水量偏多, 即南涝北旱; 20 世纪 80 年代, 贵州省夏季降水量则表现为北部降水量偏多, 南部降水量偏少, 即北涝南旱; 其余年代南北地区旱涝差异不明显。

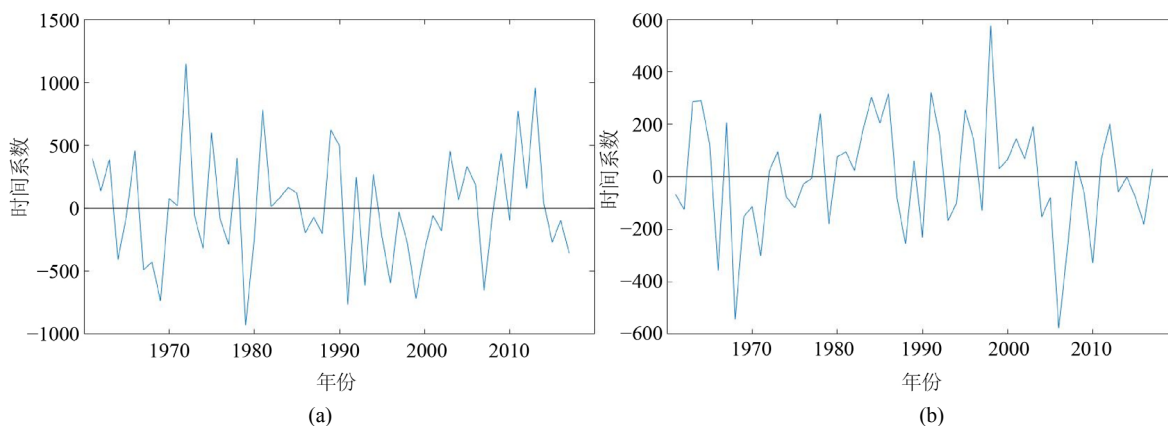


Figure 4. Time coefficients of the first two modes of EOF decomposition for precipitation in summer in Guizhou Province. (a): mode 1; (b) : mode 2

图 4. 贵州省夏季降水量距平 EOF 分解前 2 个模态的时间系数。(a) 第 1 模态; (b) 第 2 模态

4. 贵州省夏季降水量时间演变特征

4.1. 夏季降水量年代际演变特征

为进一步揭示贵州省夏季降水量的时间变化特征, 分别绘出了贵州省夏季平均降水量年代际变化图

(图 5)。

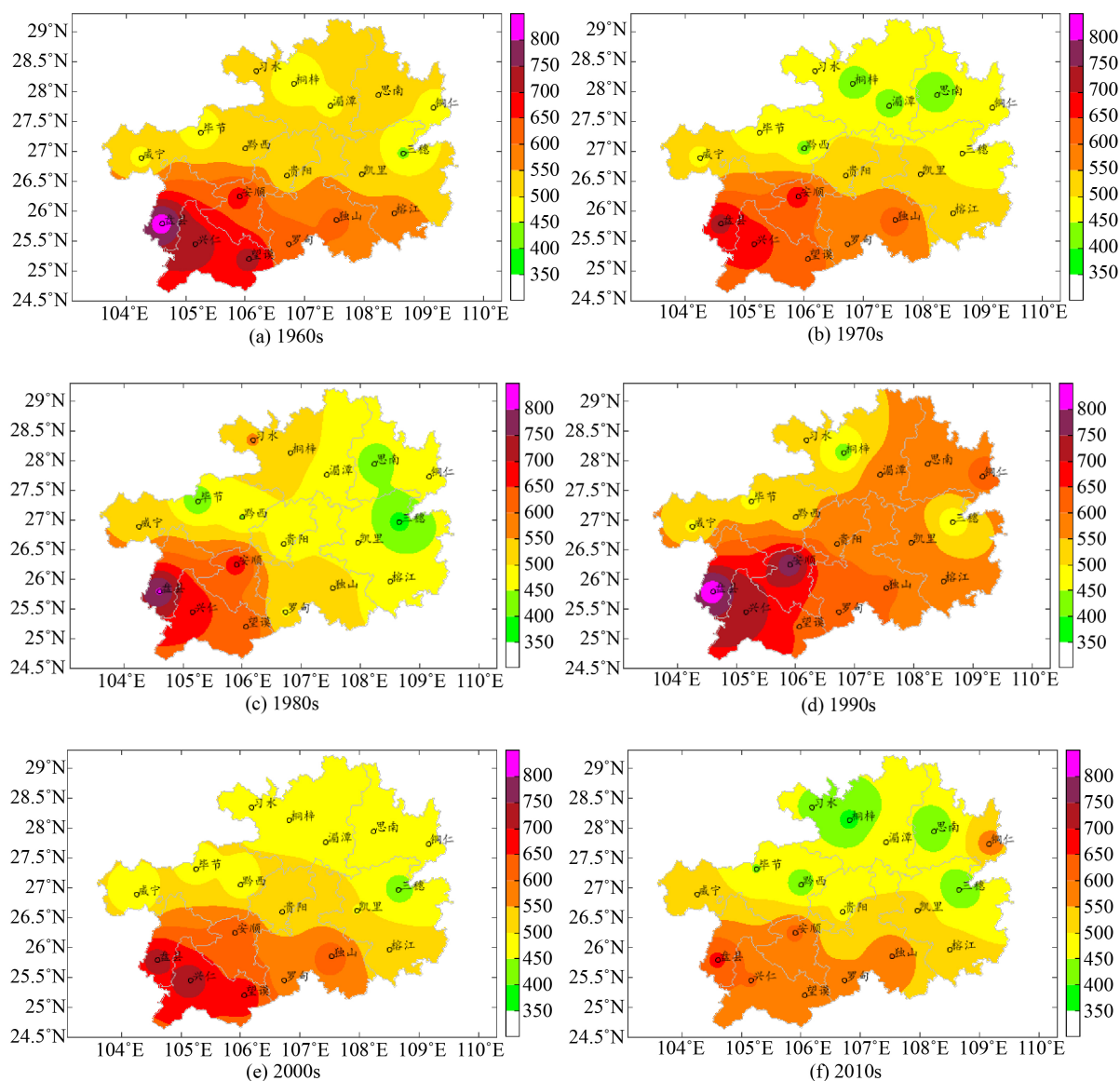


Figure 5. Interdecadal variation of spatial distribution of summer precipitation in Guizhou province

图 5. 贵州省夏季降水量空间分布的年代际变化

由图 5 可知：在 1960s~2010s 贵州省夏季降水量空间分布呈一致变化，都是西南地区偏多，东北地区偏少，即夏季降水量由西南向东北逐渐减少。1970s 贵州夏季降水整体相对于 1960s 有一定的减少，1980s 夏季降水量变化不大，1990s 夏季降水整体异常增多，2000s 和 2010s 夏季降水整体又开始显著减少。

由贵州省夏季降水年代际时间变化(图 6)可知：贵州省夏季降水量年代际变化差异表现为近 60 年来，1990s 贵州省降水量明显多于其他年代，达 590 mm 左右，为最高峰值，1960s 贵州省降水量仅次于 1990s，超过 560 mm，为次峰值。2010s 最少，不足 520 mm。

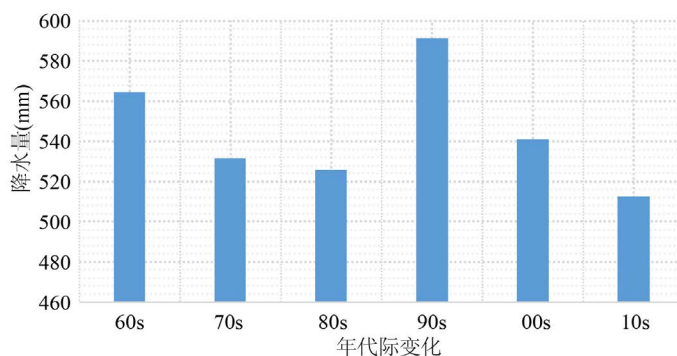


Figure 6. Interdecadal variation of mean summer precipitation in Guizhou province

图 6. 贵州省夏季平均降水量的年代际变化

4.2. 夏季降水量年际演变特征

采用线性倾向估计法对贵州省近 60a 的夏季降水量进行趋势分析(图 7), 多年夏季降水量平均值为 545.28 mm, 近 60a 来贵州省夏季最大降水量为 744.72 mm (1979 年), 最小降水量为 287.82 mm (1972 年), 夏季降水量整体呈下降趋势, 气候倾向率为 $-0.913 \text{ mm}/10\text{a}$ 。

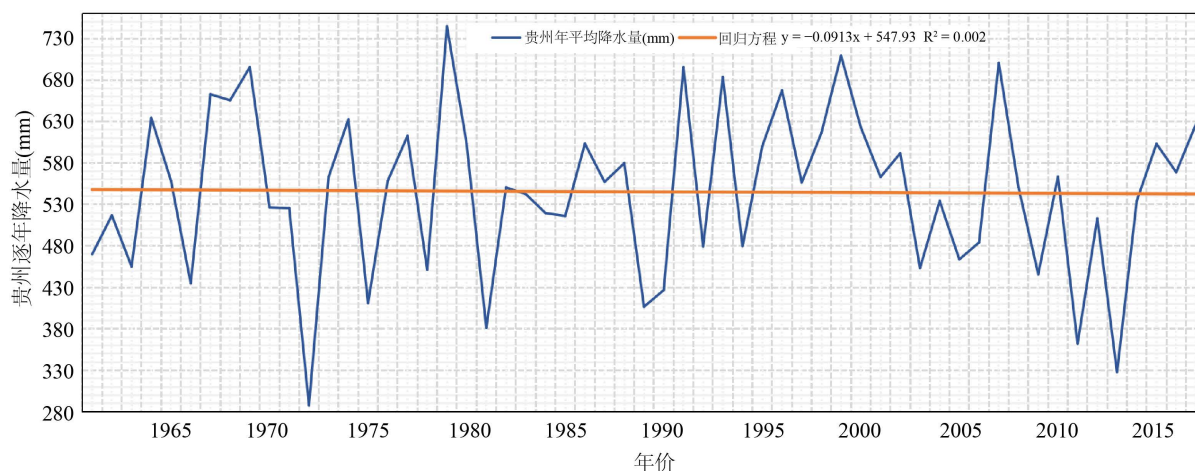


Figure 7. Variation trend of summer precipitation in Guizhou Province

图 7. 贵州省夏季降水量变化趋势

5. 贵州省夏季降水量周期分析及突变分析

5.1. 夏季降水量周期变化

图 8 是贵州省近 60a 夏季降水量距平的时间变化序列图。由图 8 可知: 20 世纪 90 年代初至 2003 年, 贵州省夏季降水异常偏多, 其中有 8a 超过标准差的显著正距平。2003~2017 年期间, 降水的负异常明显, 几乎都是负距平, 其中有 3a 超过标准差的显著负距平, 降水异常偏少。

在时间尺度一定的情况下, 降水量在该尺度下的变化特征通过小波系数实部随时间的变化来反映, 正值对应降水量偏多的情况, 负值对应降水量偏少的情况。小波系数实部等值线图能反映降水序列不同时间尺度的周期变化及其在时域中的分布, 图 9(a)是其小波变换, 由图 9(a)可知在降水演变过程中主要存在着 20~32a、10~17a 的周期变化规律。由小波系数模等值线图(图 9(b))可知时间尺度 20~32a 在能量上

占了主要部分，是影响未来贵州省夏季降水量的主要时间尺度，在该尺度上约存在丰水与枯水期交替的准三次震荡；在 10~17a 的时间尺度上，约存在丰水与枯水期交替的准七次震荡。

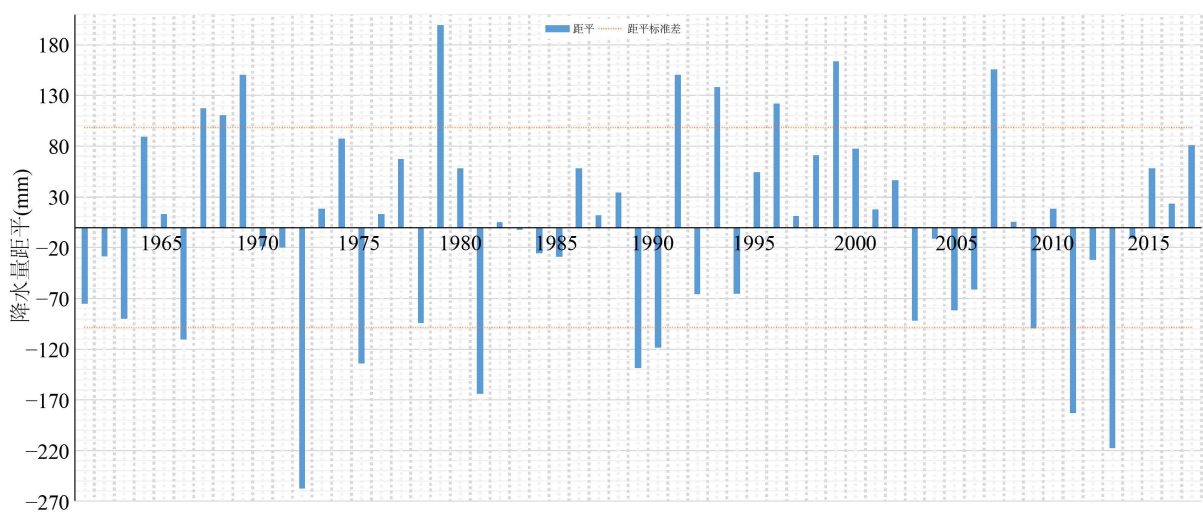


Figure 8. Summer rainfall anomaly map of Guizhou province
图 8. 贵州省夏季降水量距平图

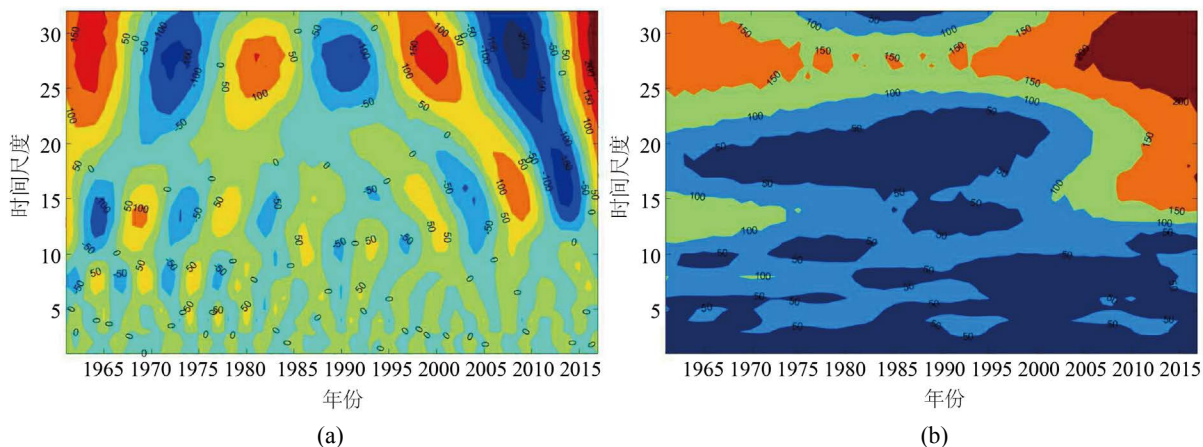


Figure 9. Wavelet analysis of summer precipitation in Guizhou province in recent 60 years
图 9. 贵州省近 60a 夏季降水量小波分析图

小波方差图(图 10)能反映降水量时间序列的波动能量随尺度的分布情况。由图 10 可知存在 2 个较为明显的峰值，最大峰值对应着 28a 的时间尺度，说明 28a 左右的周期震荡最强，为贵州省夏季降水量变化的第一主周期；15a 时间尺度对应着第二峰值，为第二主周期。上述 2 个周期的波动在控制贵州省夏季降水量整个时域内的变化特征中起决定性作用。

根据小波方差图峰值对应的时间尺度，绘制出了贵州省夏季降水量演变的第一和第二主周期趋势图(图 11)。从主周期趋势图中可以分析出在不同的时间尺度，降水量变化的平均周期及丰 - 枯变化特征。由图 11(a)可知在 28a 特征时间尺度上，夏季降水变化的平均周期为 20a 左右，大约经历了 3 个丰 - 枯转换期；由图 11(b)可知在 15a 特征时间尺度上，降水的平均变化周期为 9.5a 左右，大约经历了 6 个丰 - 枯转换期。

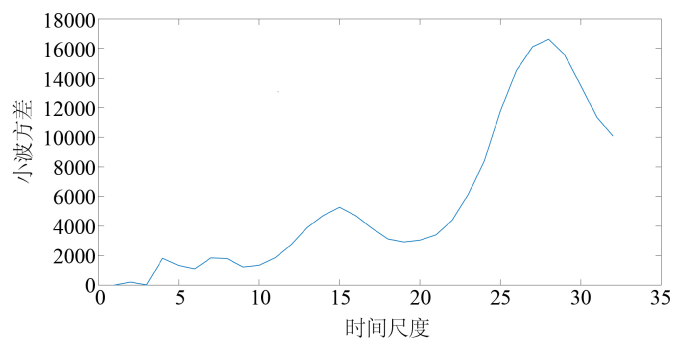


Figure 10. Wavelet variogram of summer rainfall in Guizhou province in recent 60 years

图 10. 贵州省近 60a 年夏季降水量小波方差图

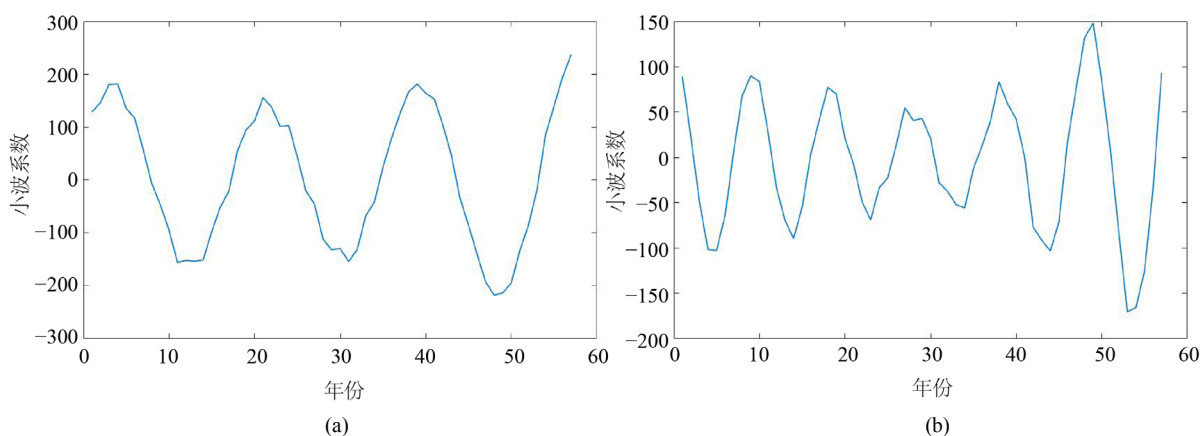


Figure 11. The first and second main cycle of summer precipitation evolution in Guizhou province

图 11. 贵州省夏季降水量演变的第 1 和第 2 主周期

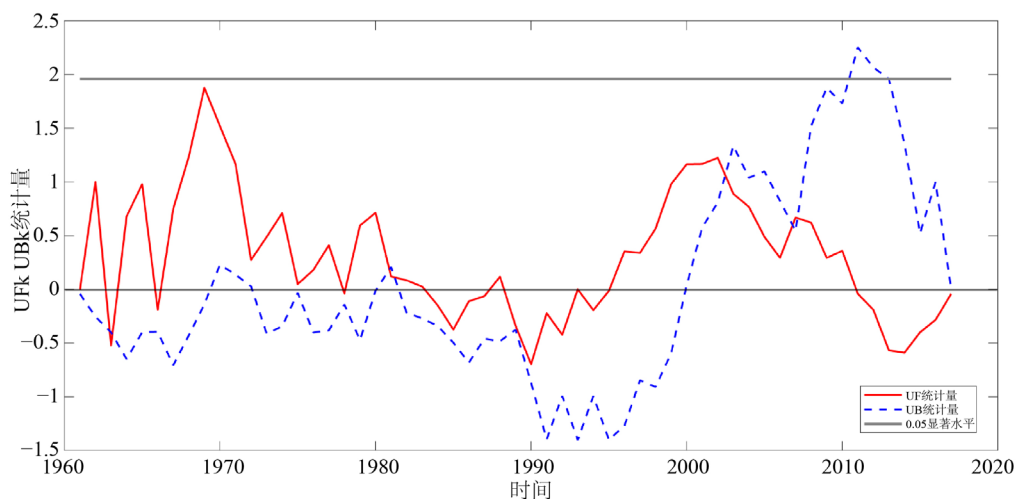


Figure 12. Nonparametric M-K statistical test of summer precipitation in Guizhou province

图 12. 贵州省夏季降水量的非参数 M-K 统计检验

5.2. 贵州夏季降水量突变检验

图 12 为贵州省近 60a 夏季平均降水量的非参数统计检验的统计量变化曲线图，UF 统计量为降水的

顺序统计曲线, UB 统计量为降水的逆序统计曲线, UF 、 UB 统计量在零线上下波动。在 1963 年、1966 年、1978 年、1984~1987 年、1989~1995 年、2011~2017 年中, UF 曲线在零线以下, 表明在此期间贵州省夏季降水量呈减少趋势; 其余时段内, 夏季降水量呈增加趋势。

UF 曲线在 1961~2017 年间未超过显著水平 0.05 的信度线, 说明夏季降水量序列在这些年间变化不显著。1963 年, 夏季降水量由减少的趋势突变为增加的趋势; 1981 年, 夏季降水量由增多的趋势突变为减少的趋势, 1989 年, 夏季降水量减少的趋势减缓, 并且逐渐开始变为增多的趋势; 2002 年, 夏季降水量增多的趋势减缓; 2008 年, 夏季降水量增多的趋势减缓, 并且逐渐开始变为减少的趋势。

6. 结论

综合上述对贵州省近 60a 夏季降水量时空变化特征较为详细的讨论, 可以得到以下主要结论:

(1) 在 1960s 至 2010s 贵州省夏季平均降水的统计中, 夏季降水时空分布呈现很强的一致性, 夏季降水量由西南向东北逐渐减少。

(2) EOF 分解第 1 模态表明贵州夏季降水量全省整个区域变化的一致性; 第 2 模态表明贵州省夏季降水量呈现南、北反位相变化。EOF 分解第 1 模态相应的时间系数表明: 20 世纪 90 年代, 贵州夏季降水量表现为整体异常多雨, 其余年代贵州地区整体少雨与多雨交替变化。第 2 模态相应的时间系数表明: 20 世纪 70 年代, 以盘县南部和思南南部为界, 贵州省夏季降水量表现为南涝北旱; 20 世纪 80 年代, 则表现为北涝南旱。

(3) 贵州地区夏季降水量整体呈下降趋势, 气候倾向率为 $-0.913 \text{ mm}/10\text{a}$ 。贵州地区夏季降水演变过程中主要存在 20~32a、10~17a 的 2 种尺度的周期变化规律。28a 左右的周期震荡最强, 为贵州夏季降水变化的第 1 主周期。

本文从多方面简要分析了贵州近 57a 夏季降水的时空变化特征, 从区域分布、时间演变、突变检验中探究贵州夏季降水规律。但各方面的研究方法较为片面, 为深入分析贵州降水时空分布变化过程, 还应该运用多种办法分析检验, 并探究影响贵州降水时空分布的各种气候要素, 这将是我们的下一步研究的方向。

基金项目

四川省教育厅项目(13ZA0075)和成都信息工程大学创新训练项目(202110621032)共同资助。

参考文献

- [1] 胡建龙, 周文钰, 张东海, 等. 基于区域站的贵州省夏季降水分布特征简析[J]. 吉林农业, 2019(23): 107-108.
- [2] 徐建新, 陈学凯, 黄鑫, 等. 贵州省近 50 年降水量时空分布及变化特征[J]. 水电能源科学, 2015, 33(2): 10-14.
- [3] 张宇发. 贵州降水近五十年变化趋势及突变[J]. 中低纬山地气象, 1998, 22(5): 19-21.
- [4] 孔德璇, 杨春艳, 刘莉娟, 等. 近 40a 贵州主汛期降水时空变化及其异常年低频特征分析[J]. 中低纬山地气象, 2018, 42(5): 14-19.
- [5] 李勇, 刘秀明, 王世杰, 等. 1961~2017 年贵州降水时空变化特征[J]. 水土保持研究, 2019, 26(6): 145-150.
- [6] 耿新新, 张凤娥, 汪丽芳, 等. 贵州降水混沌特性的空间分布及影响因素[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(24): 39-45.
- [7] 张波, 谷晓平, 古书鸿. 贵州山区降水集中度和降水集中期的时空变化特征[J]. 水文, 2017, 37(6): 63-67.
- [8] 廖洪敏, 何为, 武金霖, 等. 贵州夏季降水特征及其与 Wang and Fan 指数的关系[J]. 中低纬山地气象, 2019, 43(2): 24-28.
- [9] 王芬, 张娇艳, 谷晓平, 等. 西太平洋副热带高压不同特征指数与贵州夏季降水的关系[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(4): 348-356.

-
- [10] 闫星光, 吴琳娜, 宋具兰, 等. 1951~2013 年贵州省降水时空分布研究[J]. 科技通报, 2019, 35(2): 20-25.
- [11] 周涛, 白慧, 李忠燕, 等. 贵州夏季水汽输送与旱涝的关系[J]. 科技资讯, 2017, 15(13): 78-83.
- [12] 唐浩鹏, 王芬. 基于 BP-CCA 的贵州夏季降水与太平洋海温耦合关系[J]. 中低纬山地气象, 2015, 39(1): 14-20.
- [13] 罗宁, 许炳南, 文继芬, 等. 贵州大气降水的时空分布规律研究[J]. 中低纬山地气象, 2006, 30(4): 3-7.
- [14] 伍红雨, 王谦. 贵州夏季降水异常的区域特征[J]. 干旱气象, 2008, 26(1): 41-46.
- [15] 严小冬, 金建德, 雷云. 近 50 年贵州降水时空分布分析[J]. 中低纬山地气象, 2004, 28(S1): 3-7.
- [16] 史源, 陶建峰, 龚政, 等. 基于 EOF 法的长江口高潮位时空变化特征研究——长时间序列的高潮位 EOF 分析[J]. 海洋通报, 2019, 38(3): 296-303.
- [17] North, G.R., Bell, T.L., Cahalan, R.F., *et al.* (1982) Sampling Errors in the Estimation of Empirical Orthogonal Functions. *Monthly Weather Review*, **110**, 699-706.
- [18] 欧素英, 陈子燊. 小波变换在相对海平面变化研究中的应用[J]. 地理科学, 2004, 24(3): 358-364.
- [19] 胡昌华. 基于 MATLAB 的系统分析与设计: 小波分析[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999: 1.
- [20] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第 2 版) [M]. 北京: 气象出版社, 2007: 72-73.
- [21] 包云, 李晓兵, 黄玲梅, 等. 1961~2007 年内蒙古降水时空分布[J]. 干旱区地理, 2011, 34(1): 52-61.
- [22] 南庆红, 杨舵, 杨青. 应用 EOF 方法分析新疆降水变化特征[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 78-83.