

# 近60年西南地区夏季降水量 气候变化特征

杨慧鑫<sup>1</sup>, 毛文书<sup>1</sup>, 董自正<sup>1</sup>, 邓涛<sup>2</sup>, 李利君<sup>1</sup>

<sup>1</sup>成都信息工程大学, 四川 成都

<sup>2</sup>冕宁县气象局, 四川 冕宁

收稿日期: 2022年8月9日; 录用日期: 2022年9月7日; 发布日期: 2022年9月14日

## 摘要

利用西南地区76个站点1961~2017年共57年逐日降水量资料, 运用EOF分解、谐波分析、EEMD分解等方法, 详细分析西南地区夏季降水量的时空变化特征, 结果表明: 1) 西南地区夏季降水量空间分布不均, 普遍在500 mm以上, 四川盆地和云贵高原南部地区存在降水极值区。EOF分析表明西南地区夏季降水第一模态存在北-东南型及西南-东南型反向空间分布、第二模态存在非对称三极型空间分布、第三模态存在东北-西南型空间分布。2) 西南地区夏季降水量时间演变不均, 1972年存在降水极低值, 为415.87 mm, 1998年存在降水极高值, 为661.15 mm, 存在明显的年际-年代际变化。EEMD分解表明: 在年际尺度上, 西南地区降水具有准3a (IMF1)和准5a (IMF2)的显著性周期; 在年代际尺度上, 具有准12a (IMF3)和准28a (IMF4)的显著性周期, 其中年代际振荡12a (IMF3)在西南地区降水长期变化中占据主导地位, 且通过显著性检验。

## 关键词

西南地区, 夏季降水, EOF分解, 谐波分析, EEMD分解

# Characteristics of Summer Precipitation and Climate Change in Southwest China in Recent 60 Years

Huixin Yang<sup>1</sup>, Wenshu Mao<sup>1</sup>, Zizheng Dong<sup>1</sup>, Tao Deng<sup>2</sup>, Lijun Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>Mianning Meteorological Bureau, Mianning Sichuan

Received: Aug. 9<sup>th</sup>, 2022; accepted: Sep. 7<sup>th</sup>, 2022; published: Sep. 14<sup>th</sup>, 2022

文章引用: 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): 779-789. DOI: 10.12677/ojns.2022.105090

## Abstract

Using the daily precipitation data of 76 stations in Southwest China from 1961 to 2017 for 57 years, and using EOF analysis method, harmonic analysis, EEMD decomposition and other methods, the temporal and spatial variation characteristics of summer precipitation in Southwest China were analyzed in detail. The results show that: 1) the summer precipitation in Southwest China is unevenly distributed, generally above 500 mm, and there are extreme precipitation areas in the Sichuan Basin and southern Yunnan and Guizhou. EOF analysis shows that the first mode of summer precipitation in Southwest China has a north-southeast type and southwest-southeast type inverse spatial distribution, the second mode has an asymmetric three-pole spatial distribution, and the third mode has a northeast-southwest type spatial distribution. 2) The temporal evolution of summer precipitation in Southwest China is uneven. In 1972, there was an extremely low precipitation value of 415.87 mm, and in 1998, there was an extremely high precipitation value of 661.15 mm, with obvious interannual-interdecadal variation. The EEMD decomposition shows that: on the interannual scale, the precipitation in Southwest China has significant periods of quasi-3a (IMF1) and quasi-5a (IMF2); among them, the decadal oscillation 12a (IMF3) is dominant in the long-term variation of precipitation in southwest China, and it passes the significance test.

## Keywords

Southwest China, Summer Precipitation, EOF Decomposition, Harmonic Analysis, EEMD Decomposition

Copyright © 2022 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

西南地区是我国的地理分区之一，从行政区划来看，包括四川省、贵州省、云南省、西藏自治区、重庆直辖市五个省(区、市)。在中国气象部门发布的全国一级气象地理区划中，“西南地区”是11个一级区域之一，包括重庆、四川、云南、贵州，包括高原、山地、盆地、丘陵几大地貌单元，地形复杂多样。本文中所研究的“西南地区”是由全国一级气象地理区划所划分定义的。

近年来，我国极端天气气候事件频发，对人民生命财产安全造成重大威胁。其中降水异常属于最常见的极端天气之一，如极旱、极涝以及由降水引起的泥石流等次生灾害，而西南地区由于地形复杂多样，加之西部青藏高原高大地形的影响，影响降水的因素就更加复杂多样。总体来说，我国降水主要集中在夏季，所以本文主要对西南地区的夏季降水变化进行研究。正是因为西南地区夏季降水的特殊性，多年来很多学者亦对其从各个方面进行了许多有意义的研究，在撰写本文过程中，笔者查阅了许多以往文献，并将个别与本文研究对象有相通之处的列举如下，以便后续研究。樊俊[1]利用西南地区台站逐月降水量资料及全球海表温度资料等进行研究，得出西南地区夏季降水的变化与低层冷高压、200 hPa 西风急流、500 hPa 西太平洋副热带高压、东北低涡、850 hPa 风场等多种因素有关，且与太平洋海温有联系。徐海宁[2]等采用经验正交函数分析法、Lanczos 滤波等方法得出西南地区降水在低中高层水汽不同的输送来源以及高压中心和短波槽的存在对西南地区降水的影响。李永华[3]等采用 EOF、Mann-Kendal、MESA、

Morlet 小波等方法, 得出了西南地区东部夏季降水分布类型及变化特征。同时, 李永华[4]也分析了西南地区东部夏季典型旱涝年 OLR 的异常特征, 确定 2006, 1994 和 1997 年为 3 个典型干旱年, 1998, 1980 和 1993 年为 3 个典型的洪涝年。唐红玉[5]等利用 1960~2000 年西南地区 91 个气象站的小时降水量自动记录信息化资料, 计算出逐月逐日逐时的降水频率和降水比率, 结果表明西南地区四川、重庆、贵州以夜雨为主, 云南以白天降水为主, 并给出了西南地区逐时降水相对集中在夏季的主要原因是夏季多短时强对流天气。Jie Gao [6]等采用统计分析方法研究了四川省暴雨灾害的时空分布特征, 结果表明 2002~2015 年四川省暴雨灾害分布与暴雨中心地区具有良好对应关系, 暴雨灾害频率呈显著准 2~3 年振荡期, 在夏季(6 月, 7 月, 8 月)暴雨最为严重。陈偕怡[7]对西南地区 1971~2010 年降水量进行研究, 得出夏季年降水量整体呈下降趋势, 降水量空间分布从南到北呈下降趋势, 其中 1972、1974、1989 和 2008 年降水量出现突变, 并得出夏季降水分为两个周期: 2~3a 和 8~16a, 其中 2~3a 周期与 Jie Gao 研究的四川省暴雨灾害频率振荡期相吻合。孙小婷[8]等利用 1961~2015 年中国 567 站逐日降水资料, 定义了一个西南地区夏季长周期旱涝急转指数, 并分析了近 50 年西南地区夏季长周期旱涝急转的特征: 1961~1970 年夏季旱转涝多于涝转旱, 1971~1980 年夏季涝转旱年较多, 1981~2000 年旱转涝与涝转旱年相当, 21 世纪之后指数出现负值趋势, 涝转旱年偏多。袁文德[9]等基于西南地区 1962~2012 年逐日降水数据研究得出近 50 年西南地区极端降水事件总体呈上升趋势, 主要与海温异常变化和复杂的地理环境有较大关系, 马振峰[10]等通过研究 1961~2000 年西南地区气象资料年平均值, 得出西南地区气候要素在高海拔地区比低海拔地区突变时间早, 由于地形条件特殊造成区域气候差异明显, 且全球气温突变比西南地区的气温突变早。

目前, 对西南地区年降水变化趋势及分布的研究较多, 且对西南地区夏季降水的研究多以个别暴雨灾害成因与结果分析为主。本文对 1961~2017 年夏季降水量及其时空分布进行研究, 将西南地区夏季降水量年际变化趋势与站点海拔高度相结合, 得出夏季降水量时空分布规律, 从而对西南地区夏季旱涝灾害的研究提供相关理论支撑。

## 2. 研究资料和方法

### 2.1. 研究资料

本文降水量数据采用西南地区(川、滇、渝、黔) 76 个站点 1961~2017 年共 57 年夏季(6~8 月)逐日降水量基本气象观测数据。

### 2.2. 方法

#### 2.2.1. 正交经验函数分析方法

正交经验函数分析方法[11] (缩写为 EOF), 又称特征向量分析或主成分分析, 主要用于分析矩阵数据中的结构特征, 从而提取主要数据特征量。由 Lorenz 在 1950 年首次引入气象和气候研究。特征向量对应的是空间样本, 所以也称空间特征向量或者空间模态; 主成分对应的是时间变化, 也称时间系数。因此 EOF 分析也称时空分解。

#### 2.2.2. 谐波分析法

对于一个数据序列  $y_t$ , 从数学上可以表示为:

$$y_t = a_0 + \sum_{k=1}^{n/2} \left( a_n \cos \frac{2\pi kt}{n} + b_n \sin \frac{2\pi kt}{n} \right) \quad (1)$$

其中,  $a_n$ ,  $b_n$  由下面公式计算:

$$a_n = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \cos \frac{2\pi kt}{n} \tag{2}$$

$$b_n = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \sin \frac{2\pi kt}{n} \tag{3}$$

其中,  $k$  表示谐波的阶数。

### 2.2.3. EEMD 方法

EEMD 方法[12]是利用多次测量取平均值的原理, 通过在原数据中加入适当大小的白噪音来模拟多次观测的情景, 经多次计算后做集合平均, 从而避免了尺度混合问题, 使得最终分解的 IMF<sub>s</sub> 分量保持了物理上的唯一性。它是 EMD 方法的改进, 可用于诊断非线性、非平稳性信号变化的复杂性特征。

本文在对西南地区降水量的逐年变化序列进行 EEMD 分解时, 用于集合分解的扰动白噪声与原始信号的信噪比为 0.2, 集合样本数取 100。

## 3. 西南地区夏季降水量空间变化特征

### 3.1. 站点的选取

如图 1 所示, 可以看出西南地区地貌特征总体表现为西高东低的态势, 包括高原、山地、盆地、丘陵几大地貌单元, 地形复杂多样。其中四川西部地区以及云南北部地区站点海拔高度普遍在 2000 m 以上, 而四川东部地区、重庆市和贵州省中东部地区站点以及云南省南部个别站点(瑞丽、元江、景洪、勐腊)海拔高度均在 1000 m 以下。

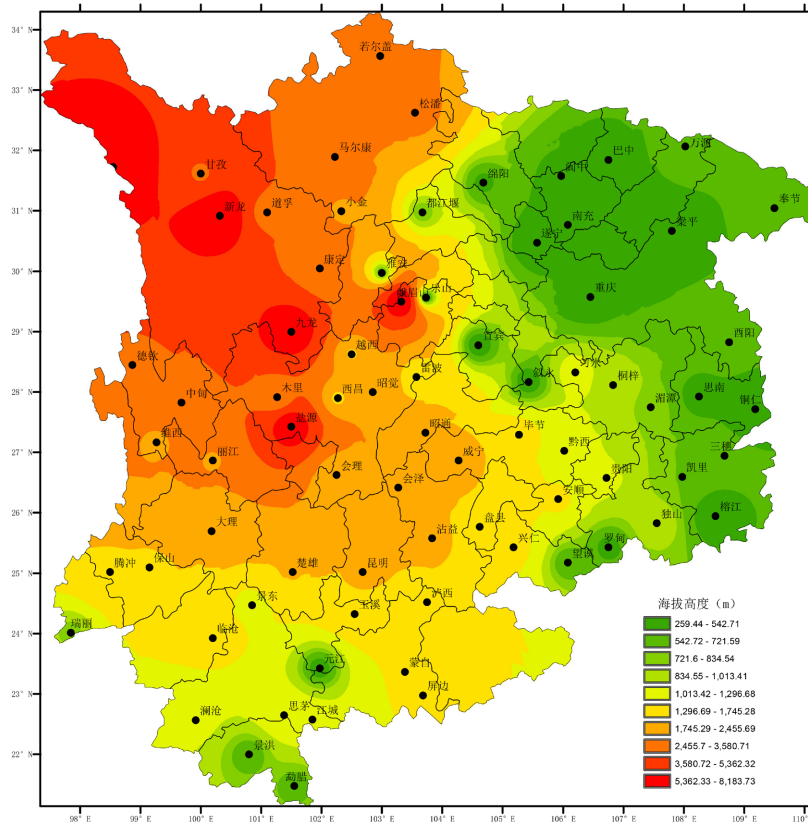


Figure 1. 76 sites and altitudes in Southwest China  
图 1. 西南地区 76 站点及海拔高度



### 3.2. 西南地区夏季降水量空间变化

通过对西南地区 1961~2017 年均夏季降水量进行分析, 制成图 2 的空间分布图, 从图中可以清楚看到: 西南地区夏季降水较多, 大部地区降水量在 500 mm 以上, 其中四川中部地区(以雅安, 峨眉山站点为降水中心)、云贵南部地区雨量尤为充沛, 云南南部江城站点年均降水量达到 1000 mm 以上。通过对图 1 和图 2 的对比分析, 我们可以看出, 西南地区西北部海拔偏高的区域夏季降水相对少, 而四川盆地、云南南部海拔低的区域夏季降水相对较多, 西南地区东部海拔偏低, 降水量适中, 西南中部地区海拔相对较高, 降水较为充沛。事实证明, 西南地区复杂的地形使降水分布也呈区域性不均匀。

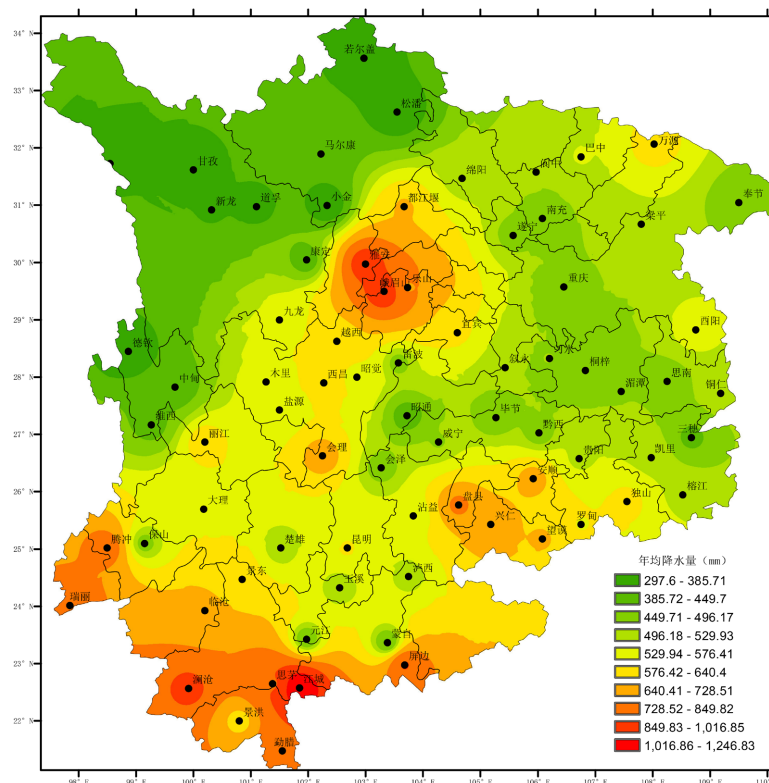
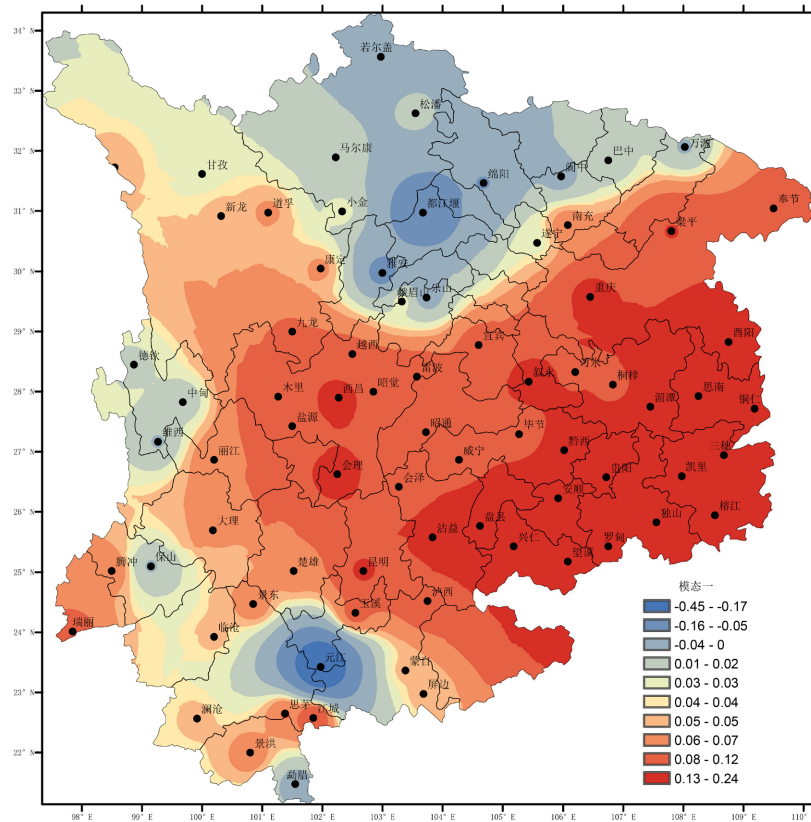


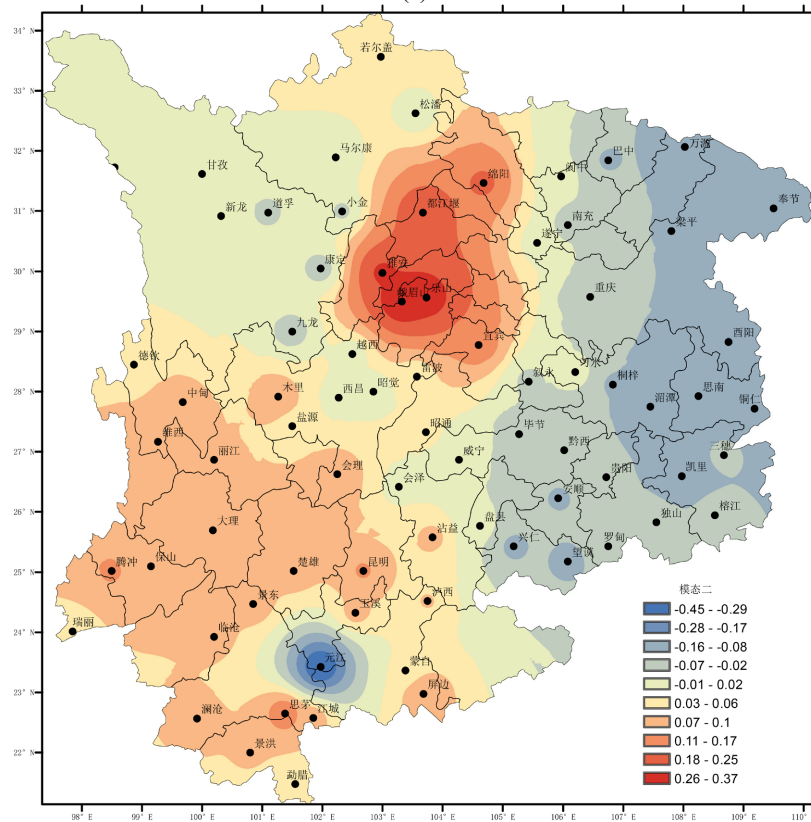
Figure 2. Spatial distribution of summer precipitation in Southwest China  
图 2. 西南地区夏季降水量空间分布

### 3.3. 西南地区夏季降水量的空间分型

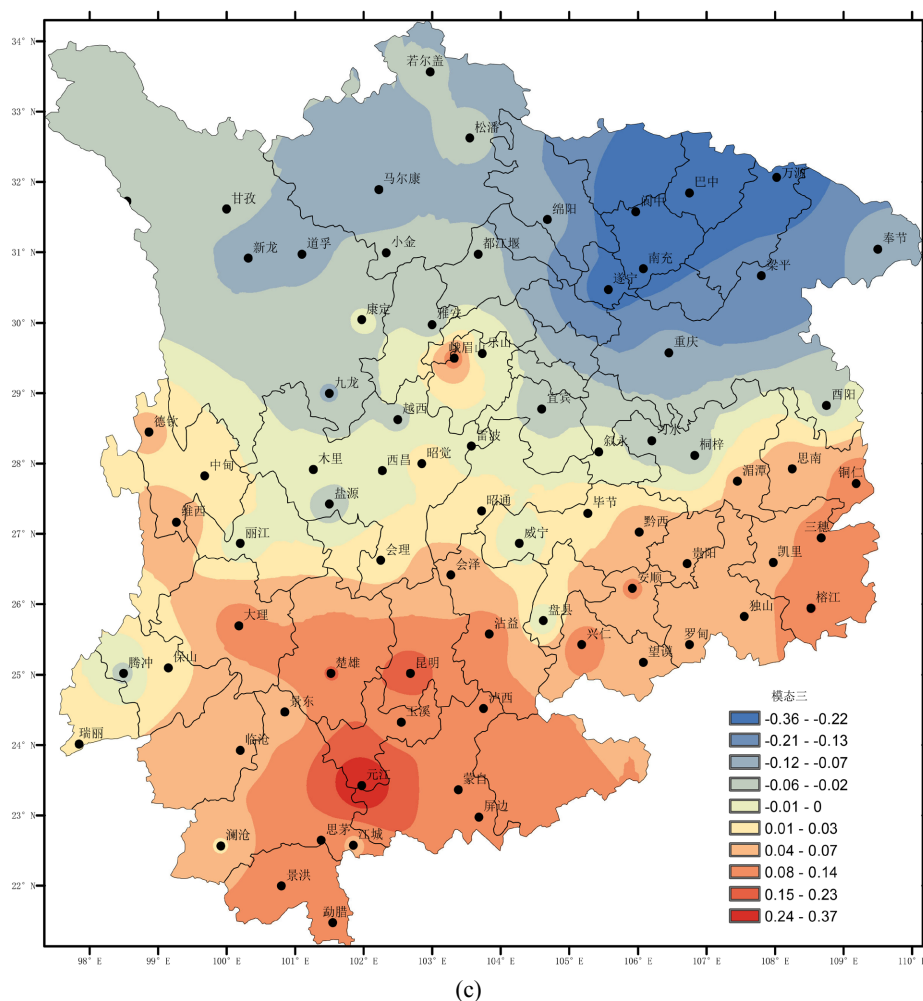
采用 EOF 分析法, 选取 EOF 分解前三个模态方差贡献率最大的模态代表西南地区夏季降水的主要时空变化特征(图 3)。由图 3(a)可以看出等值线负值区主要位于四川北部及云南维西 - 保山 - 元江站点带状区域以及勐腊站点区域, 而四川西部、南部以及重庆、贵州全部均位于等值线正值区, 表明夏季当贵州、重庆以及四川南部、云南北部降水多(少)时, 四川北部和云南西 - 南部降水少(多)。由图 3(b)可以看出, 等值线负值区主要位于重庆市、贵州省和四川西北 - 西南部, 以及位于云南省南部的元江站点附近, 等值线正值区主要位于四川中 - 东部以及云南除元江外大部分区域, 表明夏季当重庆、贵州和四川西北 - 西南部以及元江站点附近降水多(少)时, 四川中 - 东部以及云南大部地区降水少(多)。由图 3(c)可以看出, 等值线负值区主要位于四川北部及重庆市, 负值中心位于四川东北部, 等值线正值区主要位于云南大部及贵州东 - 南部, 正值中心位于元江站点附近, 在云南 - 贵州北部及四川南部有较为明显的正负分界线, 表明夏季当西南地区北部降水多(少)时, 南部降水少(多)。



(a)



(b)



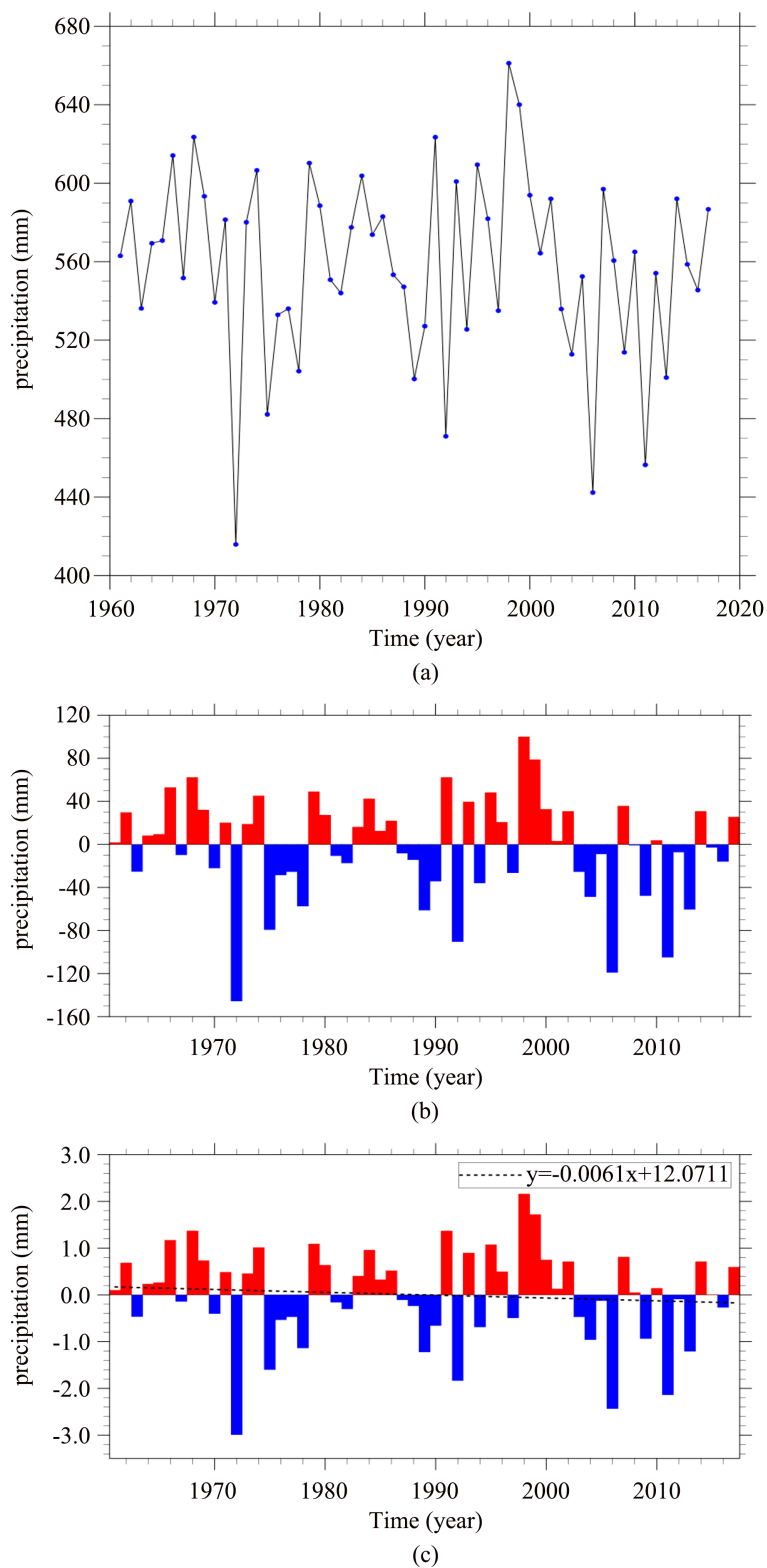
**Figure 3.** EOF decomposition diagram of summer precipitation in Southwest China ((a) first mode; (b) second mode; (c) third mode)

**图 3.** 西南地区夏季降水量 EOF 分解图((a) 第一模态; (b) 第二模态; (c) 第三模态)

## 4. 西南地区夏季降水量的时间演变特征

### 4.1. 西南地区夏季降水量时间变化

将西南地区 1961~2017 夏季降水量绘成时间演变图(图 4(a)), 我们发现, 在 1972, 1975, 1992, 2006, 2012 年份西南地区夏季降水总体偏低, 低于 500 mm, 其中 1972 年异常偏低, 低于 420 mm, 为 1961~2017 夏季年均降水极小值; 在 1966, 1968, 1974, 1979, 1984, 1991, 1993, 1995, 1998, 1999 年份西南地区夏季降水总体偏高, 高于 600 mm, 其中 1998 年和 1999 年异常偏高, 高于 640 mm, 在 1998 年取得一个高于 660 mm 的降水极大值。以 1971~2000 年 30 年的西南地区夏季降水量为均值, 作距平变化图(图 4(b)), 可以清楚看出降水偏高年份和降水偏低年份。在研究的 57 年中, 较均值而言, 降水偏高年份有 29 年, 降水偏低年份有 27 年, 而 2008 年降水量与均值基本持平。将图 3 与图 4 对比观察, 可以看出图 3 中降水异常偏低的年份距平负值更大, 降水异常偏高的年份距平正值也更大。为便于分析, 将西南地区夏季降水量绘制为标准距平变化图, 并作降水变化趋势线(图 4(c)), 从图中可以看出, 趋势线单调递减, 表明自 1961 年到 2017 年以来, 西南地区夏季降水量呈总体减少的趋势。

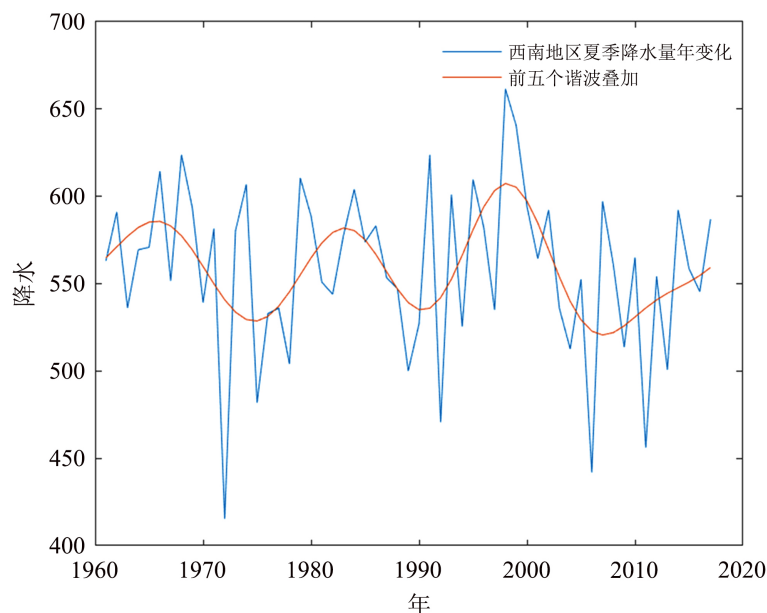


**Figure 4.** Time evolution characteristics of summer precipitation in Southwest China ((a) original value; (b) anomaly value; (c) standardized anomaly)

**图 4.** 西南地区夏季降水量时间演化特征((a) 原始值; (b) 距平值; (c) 标准化距平)

## 4.2. 西南地区夏季降水量年际 - 年代际变化特征

利用谐波分析法, 将西南地区夏季降水量分解为年际变化(图 5 蓝色折线)和年代际变化(图 5 红色曲线)两部分, 将前五个谐波进行叠加, 通过图 5 分析可知, 谐波拟合曲线与降水量年变化曲线基本吻合, 相应的降水波峰波谷也能基本对应。同时从图中也可以看出, 1961~2017 年我国西南地区降水有明显的年际变化的特点, 平均 18~20 年为一个显著性周期, 即平均每 18~20 年会经历一次丰枯转变过程。通过震荡周期可以预测: 西南地区年降水量未来将处于一个增多的阶段。



**Figure 5.** The interannual-decadal variation curve of summer precipitation in Southwest China (the blue broken line is the interannual component; the red curve is the interdecadal component)

**图 5.** 西南地区夏季降水量年际 - 年代际变化曲线(蓝色折线为年际分量; 红色曲线为年代际分量)

## 4.3. 西南地区夏季降水量周期变化特征

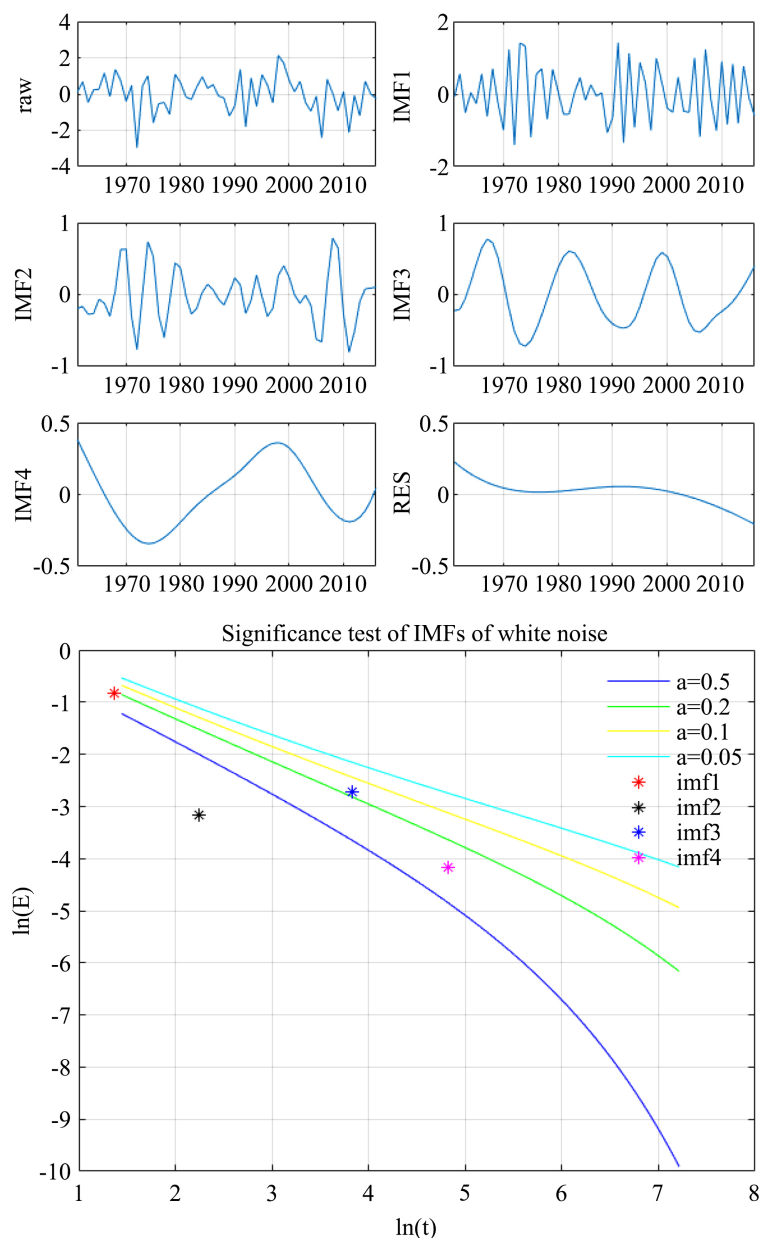
图 6 为对 1961~2017 年西南地区降水量标准化距平进行 EEMD 分解得到的 4 个 IMF 分量(IMF1-4)和趋势分量(RES)。趋势项表示原数据总体随时间变化的趋势, 可以看出, 1972 年以前西南地区年均降水量呈下降趋势, 1972~1998 年间西南地区年均降水量呈小幅增加, 1998~2017 年西南地区年均降水量总体又呈下降趋势, 趋势分量从 1961~2017 年的总体变化形式与西南地区夏季降水量的长期变化趋势(图 6)相吻合, 这说明 EEMD 方法具有完备性。

如图 6, 取显著性水平分别为  $\alpha = 0.5, 0.2, 0.1$  及  $0.05$ , 在置信度曲线以上的 IMF 表明其通过显著性检验, 可认为是在所选置信度水平范围内包含了具有实际物理意义的信息; 同理, 在置信度曲线以下的 IMF 则认为未通过显著性检验, 其所含信息多为白噪声成分。

在图 6 中, 越靠近左边的 IMF 分量, 表示频率越高, 周期越小。纵轴为 IMF 分量所具有的能量谱密度, 越靠近上方表示 IMF 分量具有的能量越高, 振幅越大[12]。可以看出, IMF3 落在 80%~90%置信区间之间, 其所包含的具有实际物理意义的信息较多; 其余 IMF 均落在 80%置信度曲线之下, 包含有意义的信息少。同时, 对不同尺度 IMF 分量所表征的不同时间尺度波动的平均周期进行计算, 得到结论: 在



年际尺度上, 西南地区降水具有准 3a (IMF1)和准 5a (IMF2)的显著性周期; 在年代际尺度上, 具有准 12a (IMF3)和准 28a (IMF4)的显著性周期。通过对图 6 中各分量方差贡献率进行比较, 可以看出年代际振荡 12a (IMF3)在西南地区降水长期变化中占据主导地位。



**Figure 6.** IMF components and significance test of EEMD decomposition of standardized anomalies in Southwest China from 1961 to 2017

**图 6.** 1961~2017 年西南地区标准化距平 EEMD 分解的 IMF 分量及显著性检验

## 5. 结论

利用西南地区 76 个站点 1961~2017 年夏季逐日降水量资料, 通过多种统计诊断方法, 分析了西南地区夏季降水多尺度变化特征, 结果表明:

1) 西南地区夏季降水普遍在 500 mm 以上, 四川盆地和云贵南部地区存在降水极值区。EOF 分解表明西南地区夏季降水第一模态存在北 - 东南型及西南 - 东南型反向空间分布、第二模态存在非对称三极型空间分布、第三模态存在东北 - 西南型空间分布。

2) 西南地区夏季降水量存在明显的年际变化, 1972 年存在降水极低值, 为 415.87 mm, 1998 年存在降水极高值, 为 661.15 mm, EEMD 分解所得结果表明, 在年际尺度上, 西南地区降水具有准 3a (IMF1) 和准 5a (IMF2) 的显著性周期; 在年代际尺度上, 具有准 12a (IMF3) 和准 28a (IMF4) 的显著性周期, 其中年代际振荡 12a (IMF3) 在西南地区降水长期变化中占据主导地位。

## 参考文献

- [1] 樊俊. 1969-2018 年西南地区夏季降水变化特征分析[J]. 自然科学, 2020, 8(4): 291-298.
- [2] 徐海宁, 肖天贵, 杨明鑫, 等. 西南地区夏季降水的变化特征分析[J]. 地球科学前沿, 2019, 9(10): 908-920.
- [3] 李永华, 徐海明, 白莹莹, 等. 我国西南地区东部夏季降水的时空特征[J]. 高原气象, 2010, 29(2): 523-530.
- [4] 李永华, 徐海明, 高阳华, 等. 西南地区东部夏季典型旱涝年的 OLR 特征[J]. 高原气象, 2009, 28(4): 861-869.
- [5] 唐红玉, 顾建峰, 俞胜宾, 等. 西南地区降水日变化特征分析[J]. 高原气象, 2011, 30(2): 376-384.
- [6] Gao, J., Pan, J., Wang, M. and Gu, S. (2017) The Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Rainstorm Disaster in Sichuan Province over the Past Decade. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5, 1-9.
- [7] 陈偌怡. 我国西南地区降水季节变化特征分析[J]. 自然科学, 2020, 8(5): 450-457.
- [8] 孙小婷, 李清泉, 王黎娟. 我国西南地区夏季长周期旱涝急转及其大气环流异常[J]. 大气科学, 2017, 41(6): 1332-1342.
- [9] 袁文德. 1962-2012 年西南地区气温和降水极端事件时空变化特征[D]: [硕士学位论文]. 雅安: 四川农业大学, 2015.
- [10] 马振锋, 彭骏, 高文良, 等. 近 40 年西南地区的气候变化事实[J]. 高原气象, 2006(4): 633-642.
- [11] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 第 4 版. 北京: 气象出版社, 2016.
- [12] 柏玲, 陈忠升, 赵本福. 集合经验模态分解在长江中下游梅雨变化多尺度分析中的应用[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(3): 482-488.