

# 四川省秋季昼雨的区域变化特征

贡嘎旦桑<sup>1</sup>, 毛文书<sup>1</sup>, 彭育云<sup>2</sup>

<sup>1</sup>成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

<sup>2</sup>简阳市雷家学校, 四川 成都

收稿日期: 2025年6月25日; 录用日期: 2025年8月20日; 发布日期: 2025年8月28日

## 摘要

为了研究四川省昼雨秋季的区域分布特征, 利用四川省126个气象站1961~2021年共61年的逐日降水观测资料, 通过经验正交函数分解(Empirical Orthogonal Function Decomposition, 以下简称EOF分解)、旋转经验正交函数分解(Rotated Empirical Orthogonal Function Decomposition, 以下简称REOF分解)等多种现代气候诊断统计分析方法, 较为详细地分析了四川省61年来秋季昼雨的时空分布特征。研究表明: (1) 四川省秋季昼雨空间分布不均匀, 秋季昼雨空间分布均表现为东多西少、南多北少的型态, 其中大值中心位于东北部, 中心达到425 m。秋季昼雨日数最大值在雅安、天全、峨眉一带, 中心值达到50 d; 秋季昼雨强度大值分布位于川东部, 大致中心达到0.3 mm/h。(2) 秋季昼雨的REOF分解结果表明: 可分为川南、川东北、川西北、盆地中部和川西高原5个区域。(3) 时间变化上, 秋季昼雨趋势线在20世纪80年代从高于均值变成低于均值呈下降趋势, 表明昼雨线性减少; 秋季的昼雨日数趋势线在20世纪90年代从高于均值变成低于均值呈下降趋势, 表明昼雨日数线性减少; 秋季的昼雨强度趋势线在20世纪90年代从低于均值变成高于均值呈上升趋势, 表明昼雨强度线性增强。南山地5个区域。

## 关键词

四川省, 秋季, 昼雨, EOF分解, REOF分解

# Regional Variation Characteristics of Autumn Daytime Rain in Sichuan Province

Gonggadansang<sup>1</sup>, Wenshu Mao<sup>1</sup>, Yuyun Peng<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Leijia School of Jianyang City, Chengdu Sichuan

Received: Jun. 25<sup>th</sup>, 2025; accepted: Aug. 20<sup>th</sup>, 2025; published: Aug. 28<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

In order to study the regional distribution characteristics of daytime rainfall in autumn in Sichuan

文章引用: 贡嘎旦桑, 毛文书, 彭育云. 四川省秋季昼雨的区域变化特征[J]. 自然科学, 2025, 13(5): 935-946.

DOI: 10.12677/ojns.2025.135098

Province, data from 126 meteorological stations across Sichuan Province over a period of 61 years (1961-2021) were utilized. Using modern climate diagnostic statistical methods, including empirical orthogonal function decomposition (EOF decomposition), rotated empirical orthogonal function decomposition (REOF decomposition), and Mann-Kendall abrupt change test, a detailed analysis was conducted on the spatiotemporal distribution characteristics of autumn daytime rainfall in Sichuan Province over the past 61 years. The study found that: (1) The spatial distribution of autumn daytime rainfall in Sichuan Province is uneven, generally showing more rainfall in the east and west, and more in the south and north. The highest concentration of rainfall is in the northeastern part of the province, with a maximum of 425 mm. The highest number of autumn daytime rainfall days is observed in the Ya'an, Tianquan, and Emei areas, with a central value of 50 d. The highest intensity of autumn daytime rainfall is located in eastern Sichuan, with a central value of approximately 0.3 mm/h. (2) The REOF decomposition results indicate that the autumn daytime rainfall can be divided into five regions: southern Sichuan, northeastern Sichuan, northwestern Sichuan, central basin, and western plateau. (3) In terms of temporal changes, the trend line for daytime rainfall in autumn shifted from above to below the mean in the 1980s, indicating a linear decrease. The trend line for the number of days with daytime rainfall in autumn also shifted from above to below the mean in the 1990s, indicating a linear decrease. However, the trend line for the intensity of daytime rainfall in autumn changed from below to above the mean in the 1990s, indicating an increase.

## Keywords

Sichuan Province, Autumn Day, Daytime Rain, EOF Decomposition, REOF Decomposition

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. 绪论

在全球气候变暖的宏观背景下，气候变化已深刻渗透至人类生产生活的各个领域，对人类社会有潜在影响。四川地势西高东低，西部为川西高原与西南山地，东部以盆地、平原、丘陵及盆缘山地为主，东西部过渡地带地形陡峭，等高线密集[1]对深化极端降水事件认知、完善区域防灾减灾体系与气候预测模型具有重要意义[2]。许多研究从现阶段不同研究方法研究发现：四川省昼雨呈现出明显的区域差异。秋季降水量分布整体自东向西减少，其中攀西南部、松潘高原及沿盆地西部边缘地区为多个降水大值中心[1]。1981~2023年华西地区小时平均降水量总体为弱增加趋势；空间上逐小时平均降水量演变存在上午多下午少、雨区由西南向东北方向推移特征。但强度空间差异较大，南区夜间强于白天，北区白天强于夜间[3]。3) 数值模拟与机器学习：用随机森林特征重要性，研究表明，四川地区多年年平均强降水量空间分布为西少东多的分布规律；四川地区强降水次数空间分布呈西南-东北带状分布，自西南向东北呈“少-多-少”分布规律；四川地区强降水强度空间分布是有自西向东逐渐增大[4]。从四川昼雨影响因素的研究现状不同区域分别是：在四川西部川西高原：研究表明，与西南暖湿气流输送水汽密切相关，并强调复杂的地形对暖湿气流有抬升作用[5]-[7]。研究表明，西南涡也是导致川西高原强降水的重要天气系统[8][9]。在四川中部：研究发现，西南涡活动越活跃，则四川中部降水量越多，反之越少[10]。研究表明，大气环流的变化，如位势高度场的分布、中低层急流的强弱等，对四川盆地中部极端降水有重要影响；热力条件也是影响四川盆地中部极端降水的重要因素[11]。四川南部：研究表明，四川南部主要受印度季风以及东亚季风的影响[12]。四川东北部：研究表明，青藏高原东部地形等对川东北部降水有影响[13]。研究表明，秦巴山地的地形及动力、热力条件对川东北降水有影响[14]。5) 四川西南部：研究表明，

西南季风对其有一定影响[15]。

当前四川降水研究存在明显的侧重与不足，主要集中于夜雨特征分析，而对昼雨的研究则多局限于时间变化特征，缺乏对空间分布规律和影响因素的深入探讨。在空间覆盖上，多数研究仅针对局部区域，未能全面把握不同地形区的降水特征。

## 2. 资料和方法

### 2.1. 资料概括

本文所使用的降水资料为 1961 年~2021 年四川省 126 个基本气象站共 61 年逐日降水量观测资料，其站点分布如图 1 所示，其中昼雨为北京时间 08:00~20:00 时段内的站点气象观测降水量，北京时间 08:00~20:00 降水量大于等于 0.1 mm 降水日数为昼雨日数，同时段内昼雨与昼雨日数的比值为昼雨强度 (9~11 月为秋季)。

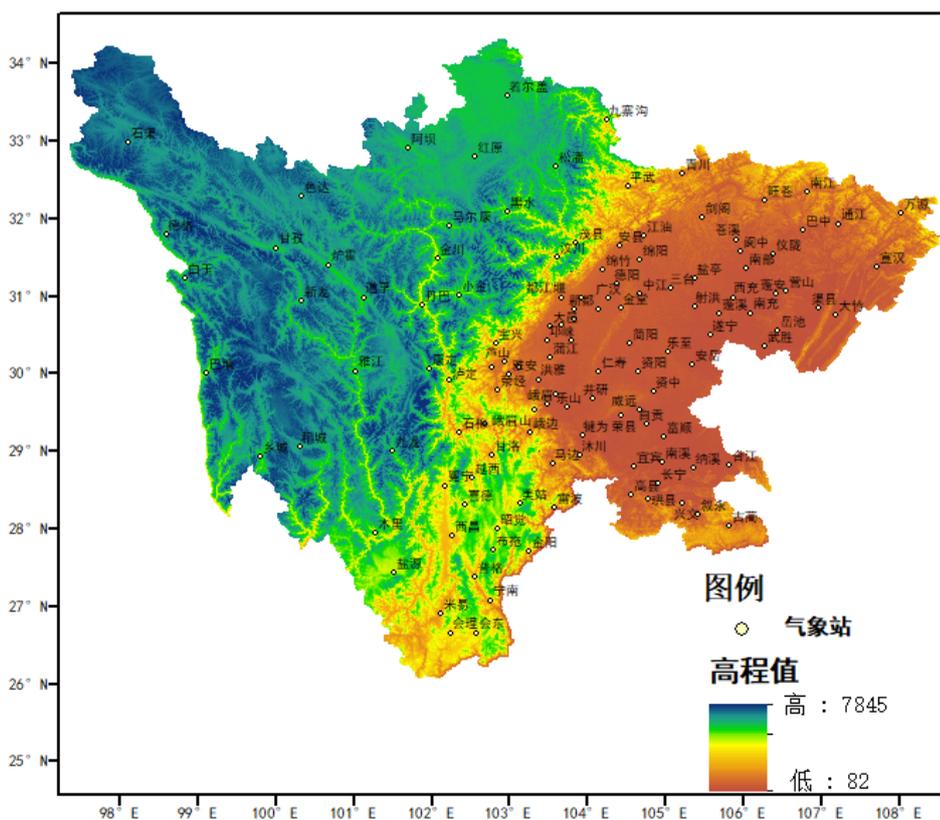


Figure 1. Distribution of sites with daytime rainfall data in Sichuan Province

图 1. 四川省昼雨降水资料的站点分布图

### 2.2. 研究方法

#### 2.2.1. EOF 分解

本文采用了经验正交函数(EOF)分析方法，该方法的核心在于通过提炼数据中的主要特征量，将原本繁杂的信息集中于少数几个关键的空间分布和时间序列上，从而精准地反映降水的时空变化特性。在此过程中，特征向量对应于空间样本，而主成分则对应时间系数[16]。这个分析方法在气候和气象学领域已被广泛采用，有很大的实用价值。EOF 分析方法的详细计算过程为：选定需要分析的数据，处理成距平

形式, 得到矩阵  $X_{m \times n}$ ,  $m$  为站点的数量,  $n$  为年数。计算协方差矩阵  $C_{m \times n}$  :

$$C_{m \times n} = \frac{1}{n} (X_{m \times n} \times X_{n \times m}^T) \quad (1)$$

矩阵  $C_{m \times n}$  的特征值  $\lambda$  和特征向量  $V$  满足:

$$C_{m \times n} V_{m \times m} = V_{m \times m} \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

时间系数矩阵  $T_{n \times m}$  :

$$T_{n \times m} = X_{n \times m}^T V_{m \times m} \quad (3)$$

### 2.2.2. REOF 分解

旋转经验正交函数(REOF)分解在传统 EOF 基础上, 通过正交旋转(如极大方差法)简化空间模态结构 [17]。对于标准化数据矩阵  $X_{m \times n}$  ( $m$  个站点,  $n$  次观测), 其分解形式为:

$$X = AF + U \quad (4)$$

通过 [18] 的极大方差法(Varimax)对  $A$  实施正交旋转, 求解旋转矩阵  $T$  使目标函数

$$\phi = \sum_{j=1}^p \left[ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (a_{ij}^*)^4 - \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (a_{ij}^*)^2 \right)^2 \right] \quad (5)$$

最大化, 最终获得旋转后的载荷矩阵

$$A^* = AT \quad (T^T T = I) \quad (6)$$

使高载荷值集中于少数空间点位(阈值设定为  $|a_{ij}^*| > 0.5$ ) 基于旋转后的 REOF 分量 ( $A^*$  的列向量 REOF1-REOF5), 采用 K-means 算法 [19] 划分气候区域。具体步骤包括: (1) 标准化各 REOF 分量至零均值单位方差; (2) 设定聚类数  $k = 5$ , 初始化质心为高载荷站点(载荷绝对值前 5% 的点位); (3) 以欧式距离为度量, 迭代优化至质心变化小于  $10^{-4}$ ; (4) 通过轮廓系数(silhouette score  $> 0.6$ ) 验证聚类有效性。最终将四川省 21 个地级市归属至最近站点的所属气候分区, 完成空间区划。

## 3. 秋季昼雨空间分布特征

### 3.1. 秋季昼雨特征量的空间分布

图 2(a) 是反映了四川昼雨空间分布, 可以看出以下结论, 四川省昼雨在秋季的空间分布是不均的, 昼雨在川东南部的宁南站附近和川东北部昼雨较大, 中心达到 220 mm。向川西高原甘孜南部较少。总的来说, 四川昼雨变化整体东多西少、南多北少与张博等 [20] 与刘福平等 [21] 研究结论一致。除此之外, 曾波等 [1] 研究表明这种差异主要是由于地形、环流共同作用引起的。图 2(b) 是四川省秋季昼雨日数空间分布, 得出以下结论。秋季的昼雨日数不相同且不均匀。昼雨日数高值区位于川东北部、川南部、川西北部和雅安一带, 昼雨日数低值区位于甘孜南部, 中心值达到 50 d。总的来说, 川西高原南部和川西南山地高昼雨日数较少, 川西高原北部昼雨日数分布较高; 川东北部和川西南山地部昼雨日数分布较高; 盆地中部平原昼雨分布较少。雅安一带, 李跃清等 [22] 研究指出昼雨日数四季都大是由于暖湿气流的向西推进遇到“喇叭口”地形后气流被迫抬升, 加上高原涡、局地环流等影响。图 2(c) 是秋季的昼雨强度的空间分布, 得出以下结论。昼雨强度的空间分布不均匀。秋季的昼雨强度的高值在四川的东北部和西南山地

部,大致中心分别达到 0.3 mm/h; 低值区位于雅安和乐山一带与董欣等[5]研究结论对西南地区不同海拔昼雨降水的空间分布特征,海拔高的地区昼雨强度低,海拔低的地区昼雨强度高的结论相符合。图 2(d)可以看出,昼雨趋势系数的空间分布不均匀。分布从川东部负增长趋势逐渐向川西高原北部变为正增长趋势。

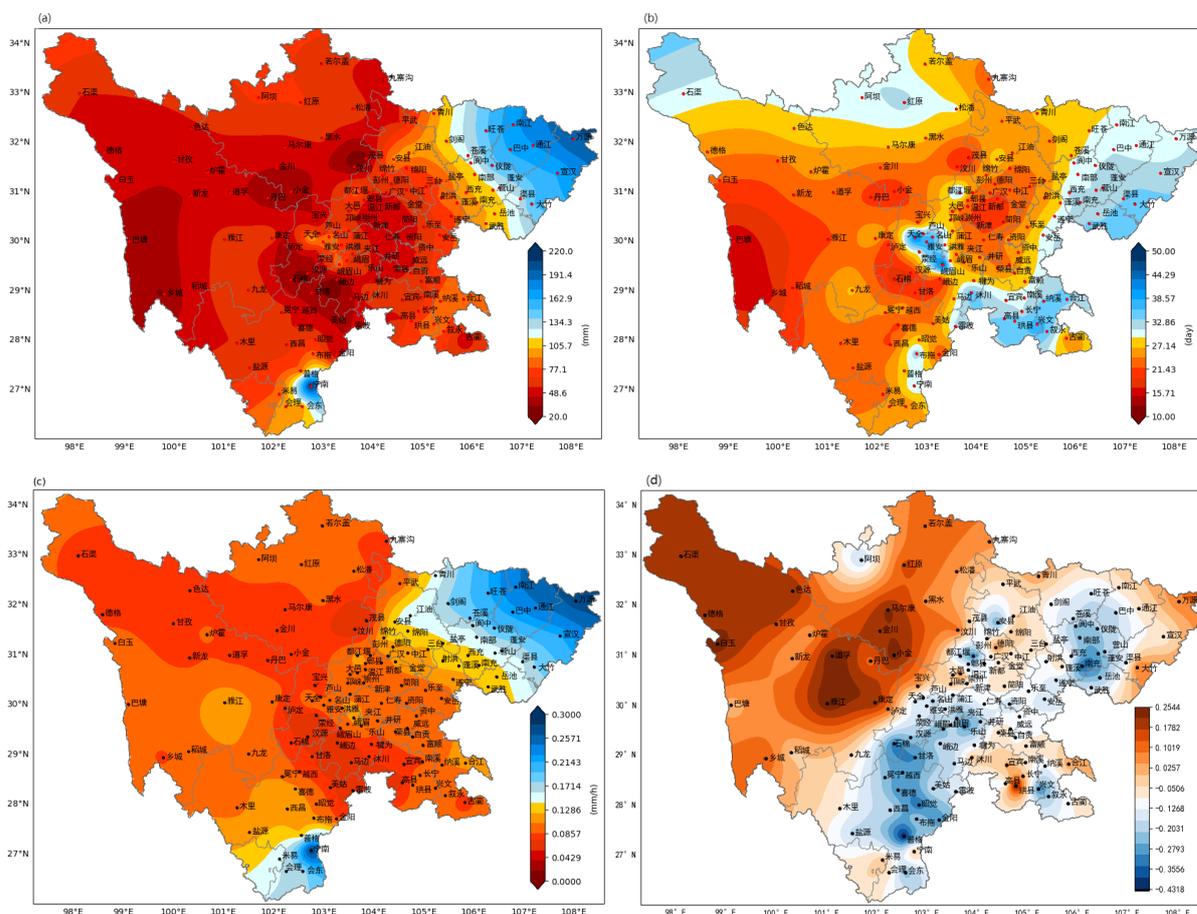


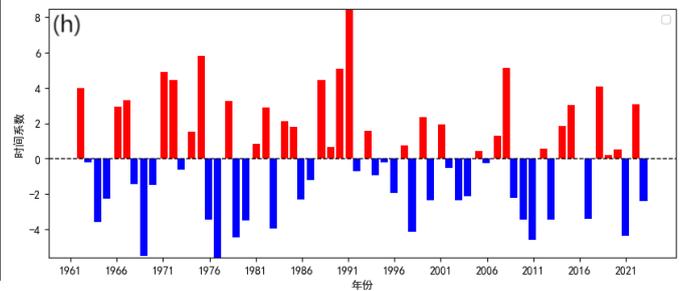
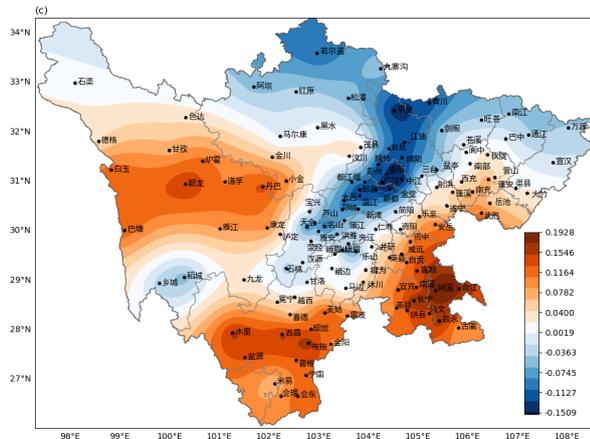
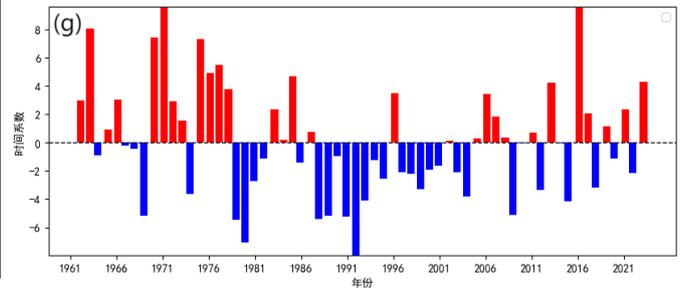
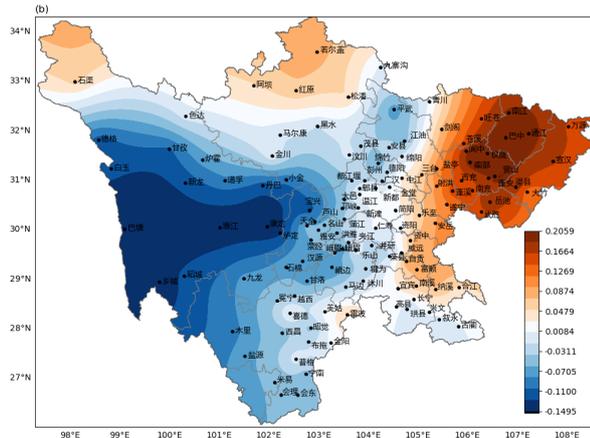
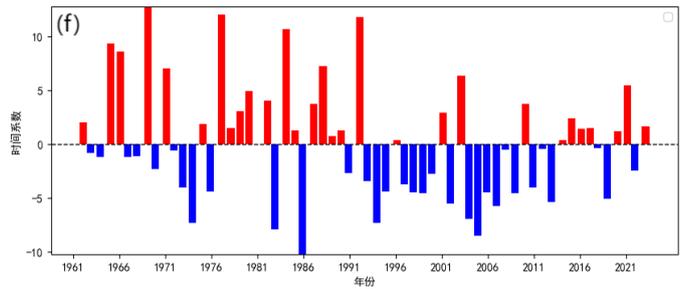
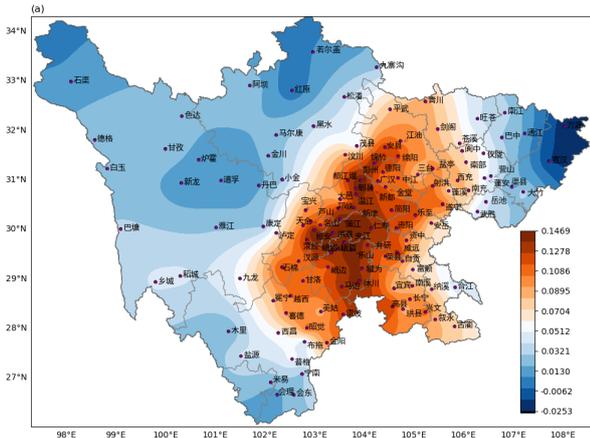
Figure 2. Spatial variation of autumn daytime rainfall characteristics in Sichuan province; ((a) Daytime rainfall; (b) Number of daytime rainfall days; (c) Intensity of daytime rainfall; (d) Trend coefficient of daytime rainfall)

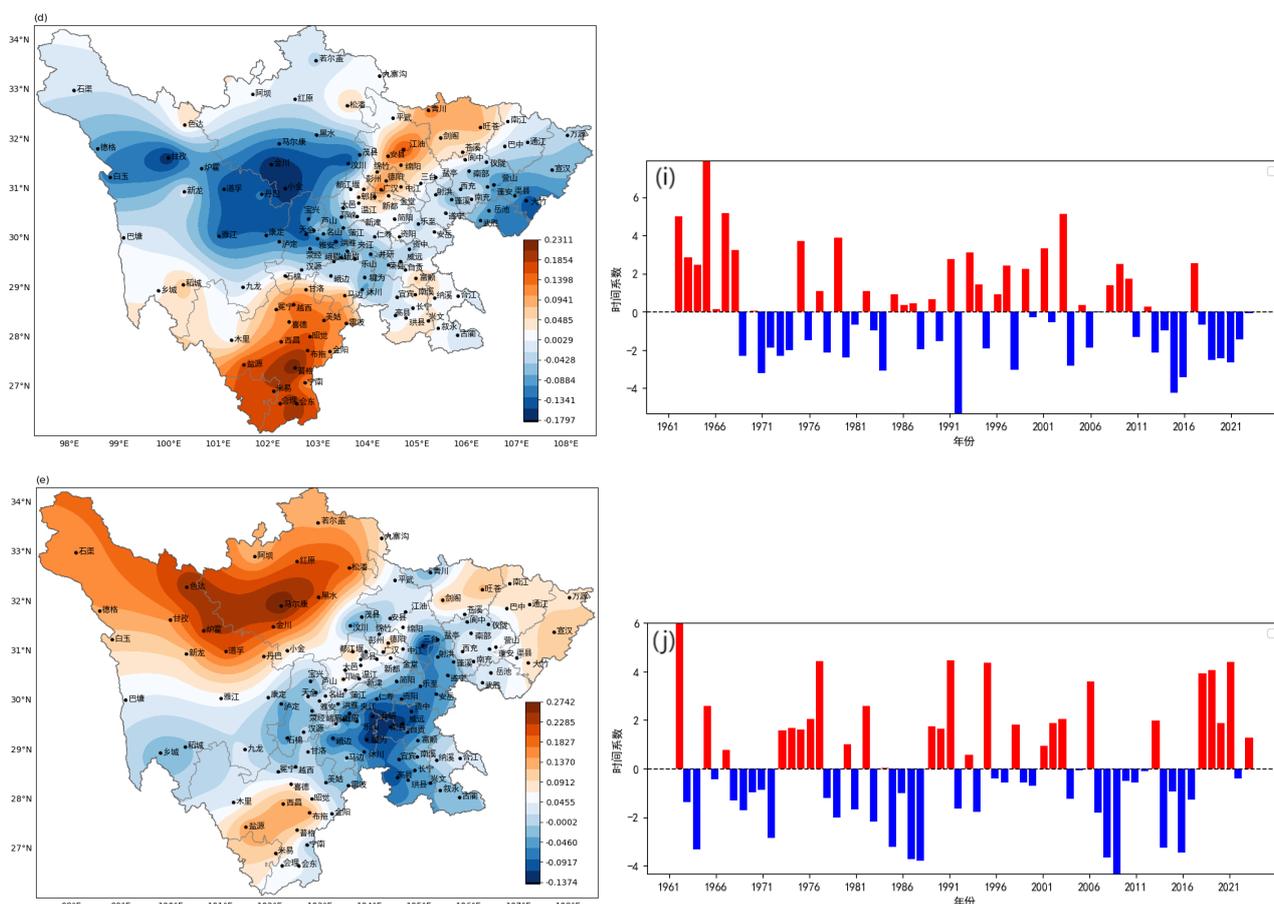
图 2. 四川省秋季昼雨特征量的空间变化图(a) 昼雨; (b) 昼雨日数; (c) 昼雨强度; (d) 昼雨趋势系数)

### 3.2. 秋季昼雨 EOF 分解

第 1 模态图中空间分布如图 3(a)可知,在盆地中部和西北部为正距平,其余区域为负距平。整个秋季的昼雨的空间分布东南 - 西北反向模态。图 3(f)时间系数正值较大的是 1969 年、1977 年、1983 年、1991 年,秋季在这些年昼雨明显增加。时间系数负值较大的是 1983 年、1986 年,秋季在这些年降水明显减少。第 2 模态图中空间分布如图 3(b)在四川东部、阿坝的北部、甘孜西北部为正距平,其余区域为负距平。正的最大值中心在川东北部、负高值中心在川西高原。图 3(g)时间系数正值较大的是 1975 年、2017 年,秋季在这些年昼雨明显增加。时间系数负值较大的是 1980 年、1992 年,秋季在这些年昼雨明显减少。第 3 模态图中空间分布如图 3(c)可知,在攀西高原、川南部、川西高原中部为正的距平,其余为负的距平。正的最大值中心在川东南部、负高值中心在川西北部。图 3(h)时间系数正值较大的是 1967 年、1991 年,秋季在这些年昼雨明显增加。时间系数负值较大的是 1969 年、1977 年,秋季在这些年昼雨明

显减少。第 4 模态图中空间分布如图 3(d)可知, 在攀西高原、川西北部为正距平, 其余区域为负距平。正的最大值中心在攀西高原、负高值中心在阿坝南部。图 3(i)时间系数正值较大的是 1965 年、2003 年, 秋季在这些年昼雨明显增加。时间系数负值较大的是 1991 年、2015 年, 秋季在这些年昼雨明显减少。第 5 模态图中空间分布如图 3(e)可知, 在川西高原北部、川东北部、攀西高原为正距平, 其余为负的距平。正的最大值中心在川西高原北部、负高值中心在乐山、荣县一带。图 3(j)时间系数正值较大的是 1962 年、1977 年、1990 年、1995 年, 秋季在这些年昼雨明显增加。时间系数负值较大的是 1964 年、1988 年、2009 年, 秋季在这些年昼雨明显减少。



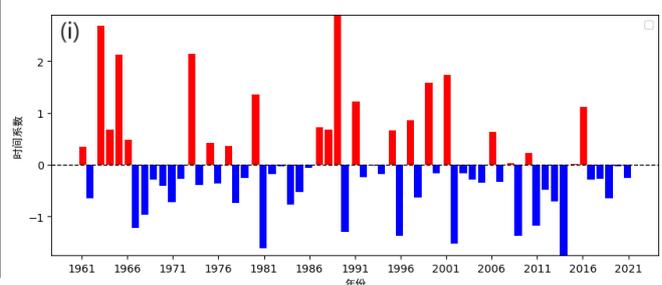
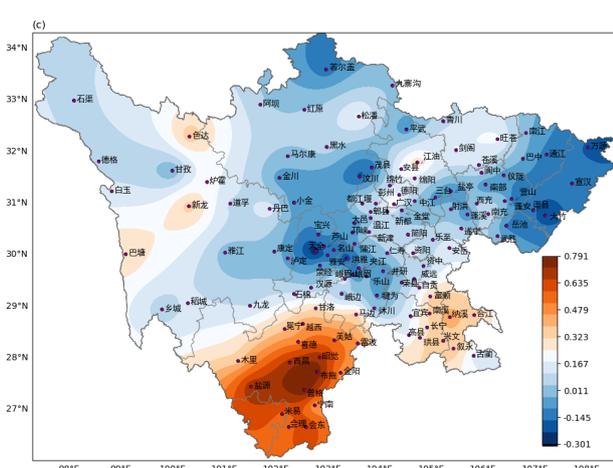
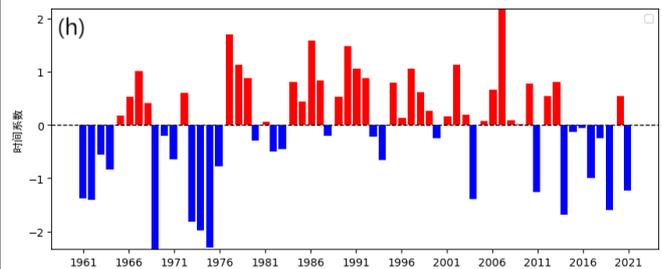
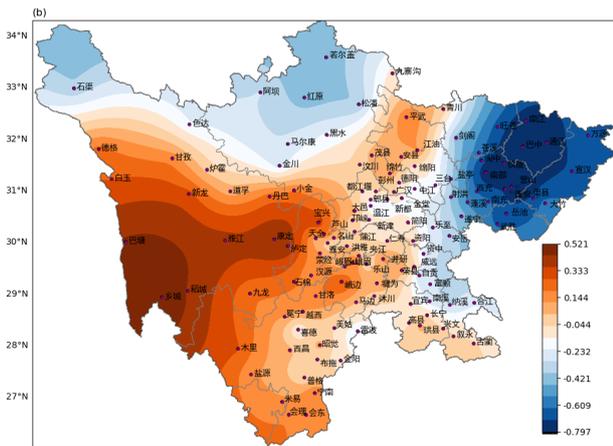
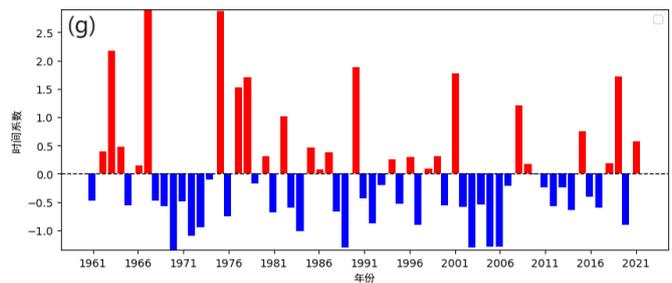
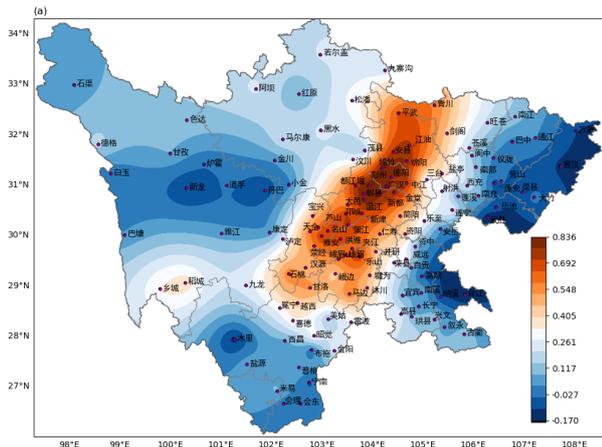


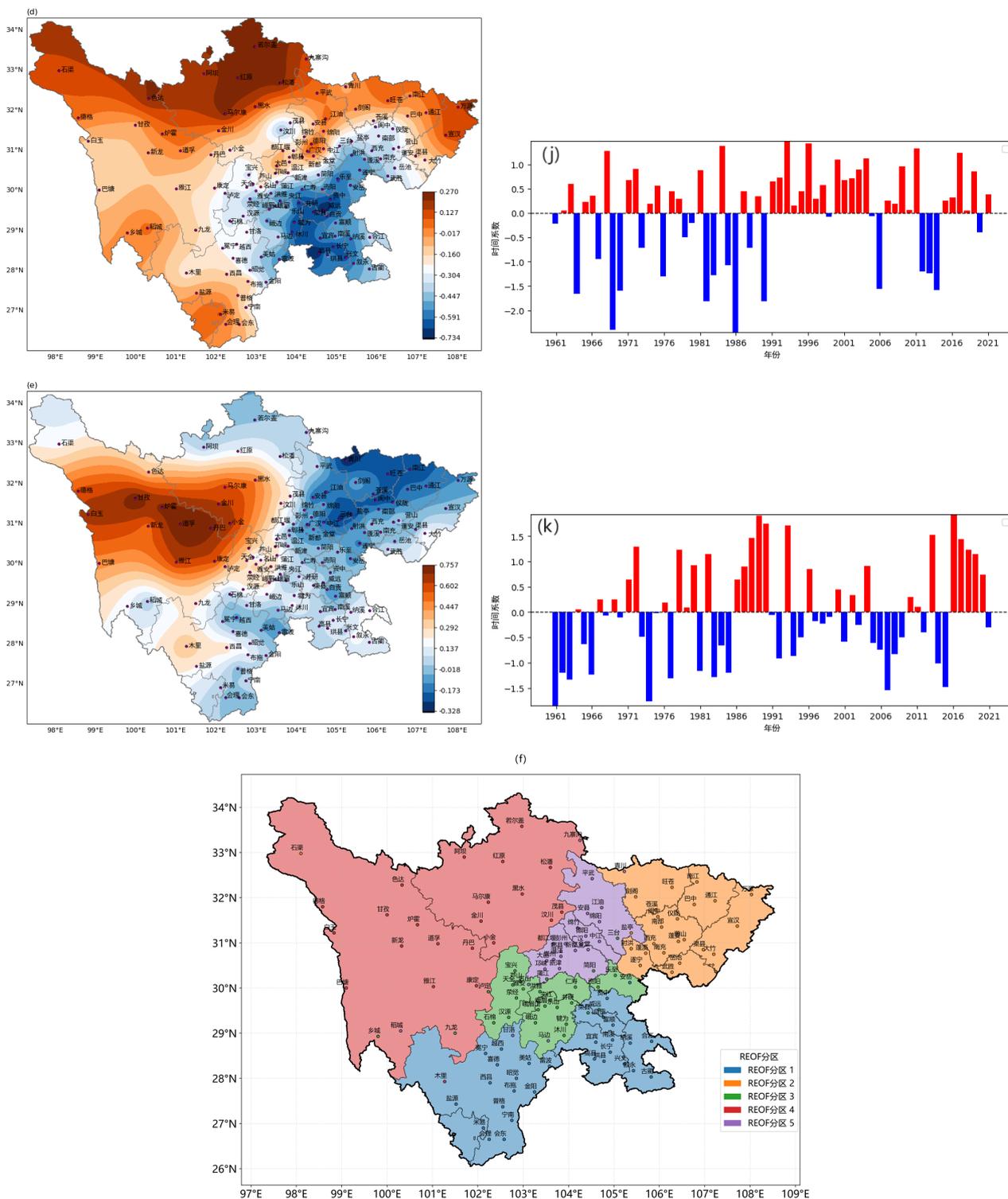
**Figure 3.** Spatial distribution of the first five spatial modes of EOF decomposition of autumn daytime rainfall in Sichuan ((a) (f) Mode 1 and time coefficient; (b) (g) Mode 2 and time coefficient; (c) (h) Mode 3 and time coefficient; (d) (i) Mode 4 and time coefficient; (e) (j) Mode 5 and time coefficient)  
**图 3.** 四川秋季昼雨 EOF 分解的前 5 个空间模态的空间分布图((a) (f) 第 1 模态及时间系数; (b) (g) 第 2 模态及时间系数; (c) (h) 第 3 模态及时间系数; (d) (i) 第 4 模态及时间系数; (e) (j) 第 5 模态及时间系数图)

### 3.3. 秋季昼雨 REOF 分解

在 REOF 分解为空间分布和时间系数。空间分布是在 EOF 分解的基础上对前 5 个特征向量进行旋转，使不重要区域的降水量变化信息减小，得到 5 个特征向量场。按照图 4(a)，图 4(b)的高载荷区(特征向量绝对值 > 0.5)，并结合海拔的因素，将四川地区划分为 5 个区域(如图 4(f)所示)。将 REOF 分解的空间分布进行分析分成五个区域再进行分析：1 分区对应第 3 个模态为川南部，正的最高值在川西南山地。2 分区对应的第 2 模态为四川东北部，正的最高值位于川西高原，负最大值位于川东北。3 分区对应第 4 个模态为盆地中部，正的最大值位于阿坝地区，负的最大值位于川南。4 分区对应第 5 个模态为川西高原，正的最大值位于川西高原，负的最大值位于川东北。5 分区对应第 1 个模态为川西北部，正的最大值位于纯西北部。对 REOF 分解的时间系数进行分析，由第 1 个数间系数图 4(g)可知，时间系数序列图为正的有 25a、为负有 35a。1967 年、1975 年昼雨的正值比较大，增值比较明显；1970 年、1989 年、2003 年、2005 年、2006 年昼雨的负值比较大，昼雨减少比较明显。由第 2 个数间系数图 4(h)可知，时间系数序列图为正的有 34a、为负有 27a。其中 2007 年昼雨的正值比较大，增值比较明显；1969 年、1975 年昼雨的负值比较大，昼雨减少比较明显。由第 3 个数间系数图 4(i)可知，时间系数序列图为正的有 20a、为负有 36a。其中 1963 年、1990 年昼雨的正值比较大，增值比

较明显；1981年、2014年昼雨的负值比较大，昼雨减少比较明显，从2016年开始一直为负值，表明秋季昼雨在不断减少。由第4个数间系数图4(j)可知，时间系数序列图为正的有39a、为负有22a。其中1993年、1996年昼雨的正值比较大，增值比较明显；1969年、1986年昼雨的负值比较大，昼雨减少比较明显。由第5个数间系数图4(k)可知，时间系数序列图为正的有28a、为负有32a。其中1989年、2016年昼雨的正值比较大，增值比较明显；1961年、1974年昼雨的负值比较大，昼雨减少比较明显。



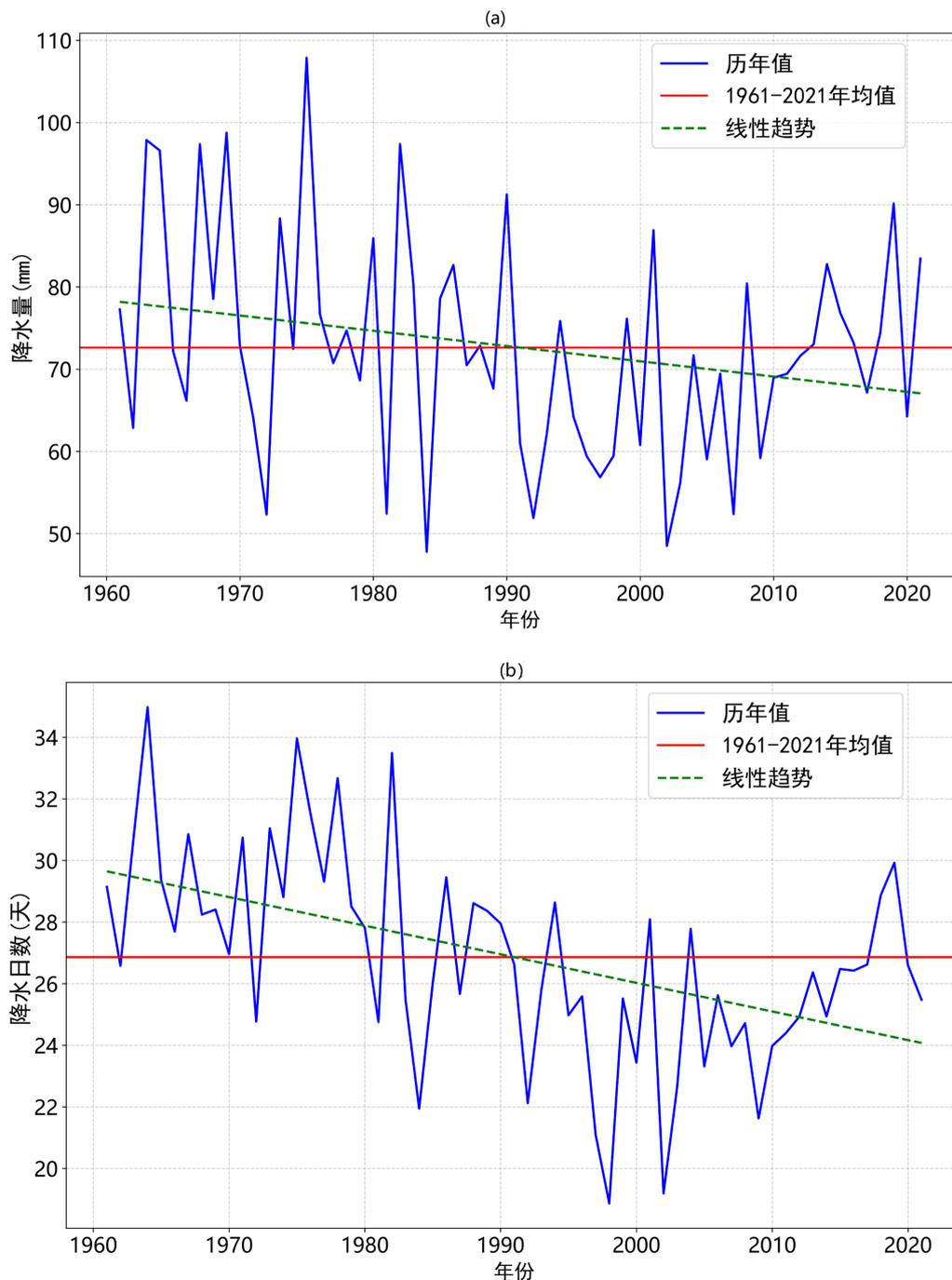


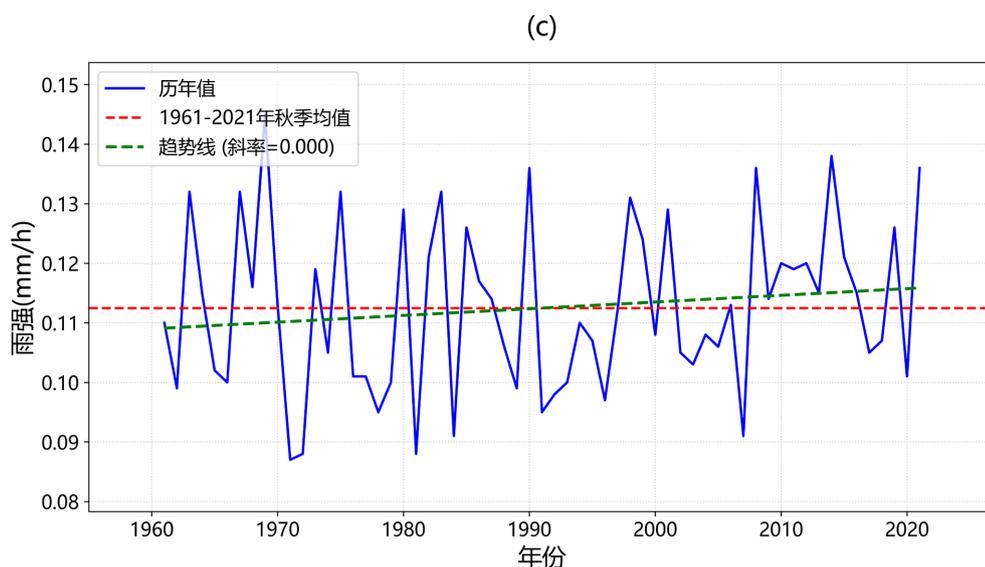
**Figure 4.** Spatial distribution of the first five spatial modes and corresponding time coefficients of REOF decomposition of autumn daytime rainfall in Sichuan ((a) (g) Mode 1 and time coefficient; (b) (h) Mode 2 and time coefficient; (c) and (i) for the third mode and time coefficient; (d) and (j) for the fourth mode and time coefficient; (e) and (k) Modal 5 and time coefficient diagrams; (f) Partition results)

**图 4.** 四川秋季昼间雨 REOF 分解的前五个空间模态的空间分布及相应的时间系数((a)(g) 第 1 模态及时间系数; (b)(h) 第 2 模态及时间系数; (c)(i) 第 3 模态及时间系数; (d)(j) 第 4 模态及时间系数; (e)(k) 第 5 模态及时间系数图; (f) 分区结果)

### 4. 秋季昼雨时间演变特征

图 5(a)是从 1961~2022 年的四川省的秋季昼雨的时间变化,分析可得。昼雨趋势线在 20 世纪 80 年代从高于均值变成低于均值呈下降趋势,表明降水量线性减少。与曾波等[1]人的研究结果一致。图 5(b)是秋季昼雨日数的时间变化,分析可得。昼雨降水日都的趋势线在 20 世纪 90 年代从高于均值变成低于均值呈下降趋势,表明降水日数线性减少。由图 5(c)是秋季昼雨强度的时间变化可以看出,昼降水强度趋势线在 20 世纪 90 年代从低于均值变成高于均值呈上升趋势,表明降水强度线性增强。





**Figure 5.** Time variation of autumn daytime rainfall characteristics in Sichuan from 1961 to 2021 ((a) Daytime rainfall; (b) Number of daytime rainfall days; (c) Intensity of daytime rainfall)

**图 5.** 四川 1961~2021 年秋季昼雨特征量的时间演变((a) 昼雨; (b) 昼雨日数; (c) 昼雨强度)

## 5. 结论

通过对四川地区 126 站 1961~2021 年的站点降水资料, 对比分析讨论昼雨的时空变化特征, 得出以下结论:

(1) 四川秋季的昼雨整体呈东多西少、南多北少。秋季昼雨高值都在东北部, 中心达到 220 mm。秋季昼雨日数在川西高原南部和川西南山地较少; 川西高原北部分布较高; 川东北部和川南部分布较高; 盆地中部昼雨分布较少。昼雨日数最大值秋季时在雅安、天全、峨眉一带, 中心值达到 50 天。秋季昼雨强度高值区分布在川东北部和川西南山地, 低值区分布在川西高原, 昼雨强度大值是 0.3 mm/h, 冬季时位于川西南山地, 中心达到 0.1 mm/h。

(2) 由 EOF 的结果分析, 在几个空间模态可以看出, 四川秋季昼雨的南北及东西分布有区域性差异, 秋季时, 1、2、3、5 模态变化明显。在 EOF 分析的基础上作 REOF 分解, 根据所得到的秋季 REOF 高载荷区、研究区地形及海拔等因素进行 5 个分区, 1 分区川南、2 分区川东北、3 分区盆地中部、4 分区川西高原、5 分区川西北, 时间系数图中 5 个模态变化都明显。

(3) 四川秋季昼雨趋势线在 20 世纪 80 年代从高于均值变成低于均值呈下降趋势, 表明昼雨线性减少; 秋季的昼雨日数趋势线在 20 世纪 90 年代从高于均值变成低于均值呈下降趋势, 表明昼雨日数线性减少; 昼雨强度趋势线在 20 世纪 90 年代从低于均值变成高于均值呈上升趋势, 表明昼雨强度线性增强。从 M-K 突变检验得出在 2003 年和 2011 年有显著突变。

## 注 释

本文图片由 python, spyder, arcgis 制图。

## 参考文献

- [1] 曾波, 王钦, 伍清. 近 56 年四川地区不同季节昼夜降水特征分析[J]. 高原山地气象研究, 2018, 38(3): 7-16.
- [2] 薛苏桓, 李晓婧. 近 40 年四川地区夏季降水时空分布特征分析[J]. 科技和产业, 2023, 23(22): 246-252.

- [3] 吴遥, 唐红玉, 魏麟骁, 等. 华西地区秋季小时降水变化特征分析[J]. 气候变化研究进展, 2024, 20(5): 558-570.
- [4] 常娜, 蔡宏珂. 四川地区强降水时空特征分析[J]. 地理科学研究, 2020, 9(3): 192-203.
- [5] 董欣, 倪相. 西南地区不同海拔极端降水时空变化特征[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(9): 110-121.
- [6] 郭璇, 田苗, 洪程之, 等. 川西高原地形特征对降水的影响[J]. 新疆农垦科技, 2017, 40(12): 40-42.
- [7] 徐瑗, 喻琴昆, 刘成刚, 等. 川西高原甘孜州汛期短时强降水的时空分布特征[J]. 高原山地气象研究, 2024, 44(2): 50-57.
- [8] 张宗群. 西南涡与川西高原强降水关系分析[J]. 四川气象, 2002(4): 14-16.
- [9] 李方正, 李国平. 一次西南涡影响下四川盆地夏季暴雨过程昼夜降水的对比分析[J]. 高原山地气象研究, 2024, 44(2): 1-8.
- [10] 赖欣, 王庆语, 皇甫静亮, 等. 西南涡的气候学研究进展[J]. 大气科学, 2023, 47(6): 1983-2000.
- [11] 杨雪, 孙俊, 张敏, 张明, 等. 1981-2018年四川盆地中部极端降水特征研究[J]. 青海气象, 2021(4): 18-2432
- [12] 连钰, 许彦艳, 李华宏, 等. 哀牢山两侧夏季降水差异的时空分布特征和季风的相关性研究[J]. 高原气象, 2024, 43(4): 1026-1038.
- [13] 艾真珍, 董寅硕, 徐昕, 等. 青藏高原东部地形对四川盆地东北部一次暴雨过程的影响[J]. 南京大学学报(自然科学), 2024, 60(2): 209-217.
- [14] 李理, 刘俊杰, 朱文博, 等. 秦巴山地气候变化特征与旱涝区域响应[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 318-326.
- [15] 李刚, 江晓华, 闻斌, 等. 四川南部秋季降水变化及相应大气环流异常特征[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2018, 32(3): 1673-1891.
- [16] 沈恒, 毛文书, 彭育华, 等. 西南雨季降水时空变化特征[J]. 自然科学, 2024, 12(5): 1104-1115.
- [17] Richman, M.B. (1986) Rotation of Principal Components. *Journal of Climatology*, 6, 293-335.  
<https://doi.org/10.1002/joc.3370060305>
- [18] Kaiser, H.F. (1958) The Varimax Criterion for Analytic Rotation in Factor Analysis. *Psychometrika*, 23, 187-200.  
<https://doi.org/10.1007/bf02289233>
- [19] Wilks, D.S. (2011) *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 3rd Edition, Academic Press.
- [20] 张博, 李国平. 全球气候变暖背景下四川地区夜雨的变化特征[J]. 中国科技论文, 2015, 10(9): 1111-1116.
- [21] 刘福平, 杨晨, 刘颖. 四川省近60年降水时空演变规律[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2023, 44(2): 16-23.
- [22] 李跃清, 张晓春. “雅安天漏”研究进展[J]. 暴雨灾害, 2011, 30(4): 289-295.