

四川省年昼雨的空间变化特征

王远凯, 毛文书

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2025年6月21日; 录用日期: 2025年8月20日; 发布日期: 2025年8月28日

摘要

利用四川省126个气象站点1961~2021年共61年逐日降水观测数据, 采用经验正交函数分解(Empirical Orthogonal Function Decomposition, 以下简称EOF分解)、旋转经验正交函数分解(Rotated Empirical Orthogonal Functions Decomposition, 以下简称REOF分解)等多种现代气候诊断分析方法, 详细地研究了四川省年昼雨的时空分布特征。结果表明: 1) 四川省年昼雨呈现典型的经向分布, 自东向西依次递减, 高值中心位于万源, 昼雨达747.6 mm, 低值中心位于川西高原的巴塘, 昼雨仅为129.4 mm; 年昼雨日数除川西高原的山前平原较多外, 其余区域较为均匀, 在峨眉山最高可达166.951天, 在巴塘最低可达64.656天; 年昼雨强度高值中心位于川东北万源和川西南山地的宁南, 年昼雨强度分别为6.48 mm/h和7.271 mm/h, 低值中心位于川西高原的石渠, 年昼雨强度为1.91 mm/h; 年昼雨趋势表现为川西高原和川东北丘陵地区逐步增加, 高值中心位于大竹, 趋势系数为0.415, 而四川省中部和东南部逐渐减少, 低值中心位于普格, 趋势系数为-0.381, 均通过信度0.05的显著性检验。2) 四川省年昼雨的EOF前5个模态表明: 第1模态的年昼雨表现为“中间正, 两头负”, 高振幅中心位于德阳; 第2模态的年昼雨表现表现为自东南向西北逐渐由正转负型, 高振幅中心位于阆中; 第3模态的年昼雨表现表现为北正南负型, 高振幅中心位于都江堰; 第4模态的年昼雨呈现为典型的经向分布; 即自西向东逐渐由正转负, 高振幅中心位于川西高原的炉霍; 第5模态的年昼雨表现表现为正负值交错分布型, 振幅中心位于川西南山地的会理。根据REOF结果可以将四川省年昼雨变化分为川东南、川东北、成都平原、川西高原和川南山地5个区域。

关键词

四川省, 年昼雨, EOF分解, REOF分解

Spatial Variation Characteristics of Annual Daytime Rainfall in Sichuan Province

Yuankai Wang, Wenshu Mao

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Jun. 21st, 2025; accepted: Aug. 20th, 2025; published: Aug. 28th, 2025

Abstract

Based on the daily precipitation observation data from 126 meteorological stations in Sichuan Province from 1961 to 2021, a total of 61 years, this study utilized multiple modern climate diagnostic analysis methods, including Empirical Orthogonal Function Decomposition (EOF decomposition), Rotated Empirical Orthogonal Functions Decomposition (REOF decomposition), to comprehensively investigate the spatiotemporal distribution of the annual daytime precipitation in Sichuan Province. The results show that: 1) The annual daytime rainfall in Sichuan Province shows a typical meridional distribution, decreasing from east to west. The high-value center is located in Wanyuan, with a daytime rainfall of 747.6 mm, while the low-value center is in Batang on the western plateau of Sichuan, with a daytime rainfall of only 129.4 mm. The annual number of daytime rainfall days is relatively uniform in most areas except for the piedmont plain of the western plateau, where it is relatively high. The highest number of days is 166.951 in Emeishan, and the lowest is 64.656 in Batang. The high-value centers of annual daytime rainfall intensity are located in Wanyuan in northeastern Sichuan and Ningnan in the mountainous area of southwestern Sichuan, with intensities of 6.48 mm/h and 7.271 mm/h respectively. The low-value center is in Shiqu on the western plateau of Sichuan, with an intensity of 1.91 mm/h. The trend of annual daytime rainfall shows an increasing trend in the western plateau and the hilly areas of northeastern Sichuan, with the high-value center in Dazhu and a trend coefficient of 0.415. Meanwhile, it shows a decreasing trend in the central and southeastern parts of Sichuan, with the low-value center in Puge and a trend coefficient of -0.381. All these trends have passed the significance test at the 0.05 confidence level. 2) The first five EOF modes of annual daytime rainfall in Sichuan Province show that: the first mode of annual daytime rainfall is characterized by “positive in the middle and negative at both ends”, with the high amplitude center located in Deyang; the second mode of annual daytime rainfall shows a gradually changing pattern from positive in the southeast to negative in the northwest, with the high amplitude center located in Langzhong; the third mode of annual daytime rainfall shows a pattern of positive in the north and negative in the south, with the high amplitude center located in Dujiangyan; the fourth mode of annual daytime rainfall presents a typical meridional distribution, that is, gradually changing from positive in the west to negative in the east, with the high amplitude center located in Luhuo on the Sichuan Western Plateau; the fifth mode of annual daytime rainfall shows an alternating distribution of positive and negative values, with the amplitude center located in Huili in the mountainous area of southwestern Sichuan. According to the REOF results, the annual daytime rainfall variation in Sichuan Province can be divided into five regions: southeastern Sichuan, northeastern Sichuan, Chengdu Plain, Sichuan Western Plateau and mountainous area of southern Sichuan.

Keywords

Sichuan Province, Annual Daytime Rainfall, Empirical Orthogonal Function Decomposition, Rotated Empirical Orthogonal Function 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

四川省位于我国的西南腹地，地处青藏高原向东部平原过渡的阶梯地带，境内包含由横断山脉、邛崃山脉与四川盆地构成独特的三级阶梯地貌。复杂的地理环境造就了其多样化的气候特征，从川西高原的寒温带气候到盆地的亚热带季风气候，形成了“一山有四季，十里不同天”的罕见立体气候格局。全

省年均水资源总量达 2616 亿立方米, 居全国第二位。然而丰沛的水资源却并未带来均衡的水安全, 特殊的地理格局使得“水在山上流, 人在谷中愁”的矛盾在日常生产生活中日益凸显。对于四川省年昼雨方面的研究, 许多前辈已经做出了重要的贡献。在模式模拟方面, 基于第六次国际耦合模式比较计划(CMIP6)中情景齐全的 GCM 预估 3 个未来假定气候情景模式(SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5)分析了四川省降水的气候变化, 三种模式情景下四川省的降水整体上均呈现增多的趋势, 在 SPP1-2.6 和 SPP2-4.5 中增长幅度为自西北向东南逐渐减少的分布形式; 在 SPP5-8.5 中反而呈现为东北向西南递减的状态[1]。也有基于 SWCWARMS 模式、GRAPES 模式和 ECMWF 模式评估, 对 2017~2019 年 5 月~10 月四川地区汛期的预报能力。SWCWARMS 模式对于小到大暴雨降水的范围是大于实况的; GRAPES 模式的暴雨降水范围也大于实况, 但是对于大型暴雨会存在漏报的状况; ECMWF 模式对于小雨和中雨的降水范围是大于实况的, 但是对于暴雨来讲是多漏报的; 综合评价表明 ECMWF 模式对于小雨到大雨的预报能力比 SWCWARMS 模式和 GRAPES 模式要更好[2]。在极端降水方面, 有学者采用 M-K 检验和气象倾向率等方法, 得出四川省平均暴雨日数、年平均区域性暴雨、平均极端降水日数和极端降水平均强度呈略微减少的趋势[3]。也有研究分析了四川省近 50 年来大气降水的变化特征及其影响。发现四川省年均暴雨日数从西到东呈现增加, 减少增加的总体变化趋势。四川盆地的西部和中部地区年降水明显减少, 会导致其水资源紧张。而川西高原北部的年降水量减少会在一定程度上导致其生态环境的恶化, 而在盆地东北部暴雨日数和强度的增加会导致其部分地区洪涝和泥石流的灾害频发[4]。同时有学者表明四川省月降水量在 1、3、6 月会显著增加, 而在 7、9、10 月会显著减少; 干旱趋势主要表现在川中和川东地区, 其他地区降水量出现了增加的趋势[5]。极端降水与旱涝发生频率的关系密切, 52 年来, 四川省气温以每 10 年 0.17℃ 的速率增加, 而降水量则以每 10 年 9.03 mm 的速率减少, 气候出现暖干的变化趋势。四川省内部各个区域内旱涝灾害对气候变化存在不同的响应, 川西地区涝灾频率增加, 东南和川东地区则偏旱[6]。同样有学者得出四川省极端降水的频率正在逐渐减少并且随着时间的发展减少的趋势正在逐渐地增大, 但与此相反的是极端降水的强度正在逐渐的加强。而在极端降水事件发生的区域分布上, 呈现西北向东南逐渐增加的趋势, 在川西高原地区虽然极端降水的发生频率较低, 但是频率和强度存在上升的趋势。在极端降水的周期性变化上存在着多时间尺度的周期[7]。在研究降水与地质灾害方面, 四川省暴雨存在着大巴山暴雨区、青衣江暴雨区和龙门山暴雨区。四川省泥石流事件的发生大多与前 3 日的降水量相关, 且大多由中小雨所激发。同时由于各地区的泥石流发生类型不同, 各地应针对泥石流的类型而建立起不同的预警机制[8]。也有研究表明, 泥石流主要是由日内降水所导致的, 同时前期降水比前期 10 天降水与泥石流的符合率更强[9]。对滑坡来说, 四川省发生滑坡的区域与泥石流的区域正好相反, 位于川东地区, 且近年来在川东地区滑坡的频次明显增加。川东地区的滑坡与前 15 日有效雨量和年昼雨强度相关性较大, 属于长时间降水诱发型。并且前 15 日降水量与年降水量, 雨季降水量等线性相关[10]。在水资源利用方面, 四川省地形以丘陵山区(56.7%)和高原(35%)为主。人均水资源有 3100 立方米, 但空间分布极不均衡: 占全省 77.2%人口、71.2%耕地的四川盆地仅拥有 25%水资源。年均降水 1003 mm, 其中 60%~70%集中于 6~9 月, 且多以洪水流失, 留存难度较大。盆地受季风气候与海陆过渡带影响, 1951~1997 年干旱频发, 春旱、夏旱、伏旱频率达 58%、76%、67%, 连旱年占比超 30%, 属全国五大旱灾高发区[11]。

四川省地貌东西差异显著: 东部四川盆地属亚热带湿润季风气候, 四季分明、夏季多雨; 成都平原沃野千里; 西部川西高原平均海拔 3000 m 以上, 属高原山地气候, 昼夜温差大、降水集中。地理多样性对其生态保护、灾害防治及水资源管理提出复杂挑战。有学者研究表明四川省降水日内分布主要存在三种分布特征, 第一类降水分布主要发生在川西高原和盆周山地, 常见在夜晚; 第二类降水分布主要发生在川南和攀西地区, 常见在凌晨时分; 第三类降水分布主要发生在川北地区, 常见在白天。同时四川省短时降水时间发生较为频繁, 其中降水时间低于 3 小时的主要发生在下午和凌晨[12]。在洪涝灾害方面,

降水频次高且受降水影响大的地区主要为四川省中部和中南部; 盆地及川北地区降水频次低且受降水影响比较小。孕灾环境敏感性风险区主要集中在成都平原和川东部地区。承灾体易损性风险区主要集中在川东北地区。综合各个指标表明川中和川东地区为高风险区, 川南、成都平原和甘孜地区为低风险区[13]。

2. 资料和方法

2.1. 资料概括

本文基于 1961~2021 年共 61 年的四川省 126 个气象站的逐日降水观测资料进行分析, 其中北京时间 08:00~20:00 降水量为昼雨, 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。这些数据来自于四川省内 126 个观测站点(其站点分布如图 1 所示), 均通过中国气象局严格质控, 所研究的经纬度范围为 $97^{\circ}21'E\sim108^{\circ}12'E$, $26^{\circ}03'N\sim34^{\circ}19'N$, 站点的海拔高度范围为 280~4201 m。所使用的为站点数据, 采用反距离权重法(IDW)将站点数据转换为格点数据, 覆盖整个四川省的范围来进行研究。

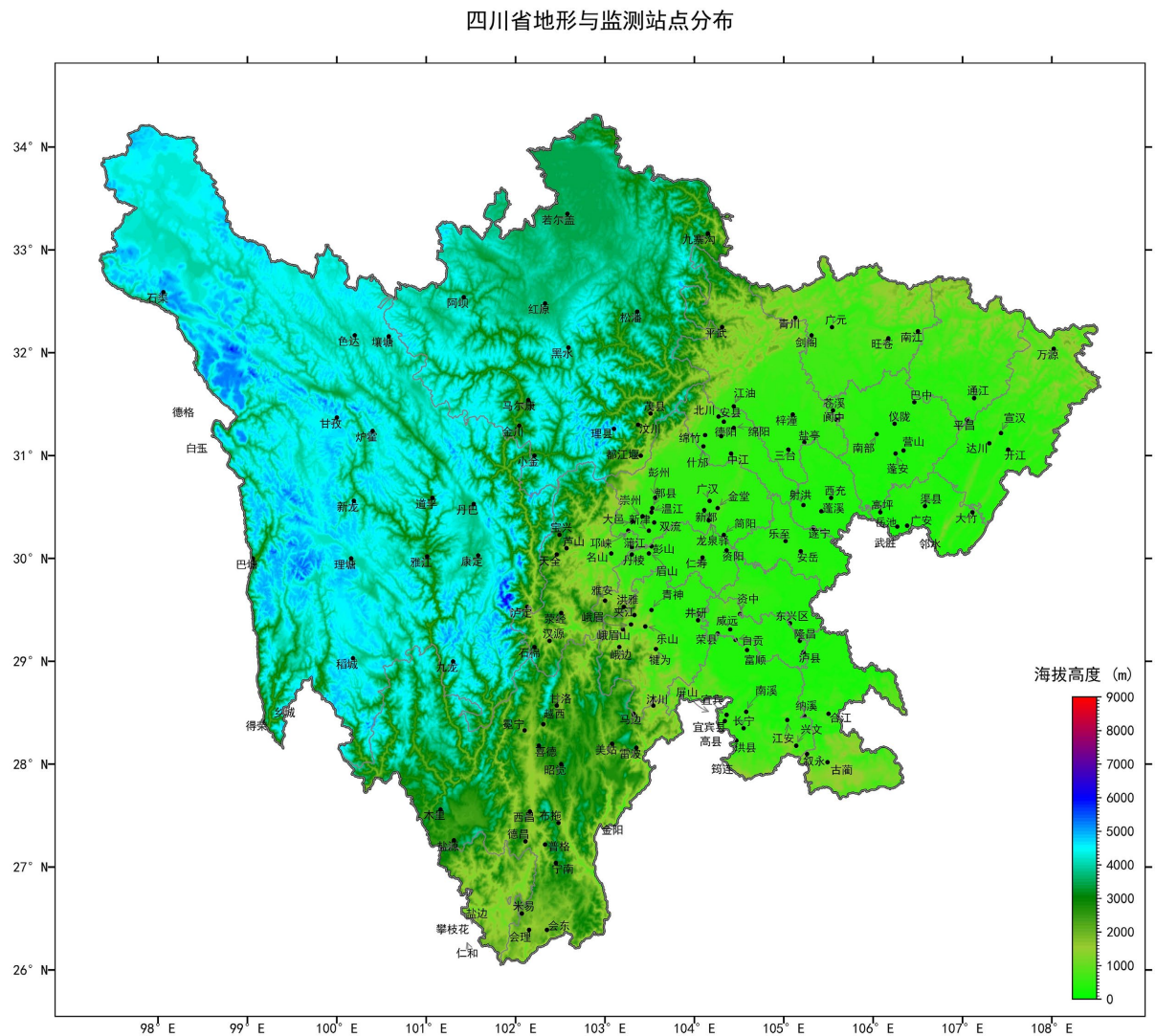


Figure 1. Station and altitude distribution in Sichuan Province (unit: m) (This figure is drawn by Python)
图 1. 四川省站点及海拔分布(单位: m) (本图由 Python 绘制)

2.2. 研究方法

2.2.1. EOF 分解

EOF 分解方法就是将 m 个空间点和 n 个时间点的气象资料时空矩阵, 分解为空间阵和时间阵, 设有 m 个站点、 n 次观测资料, 每个数据的表示为所在的行表示第 i 个站点观测期内所有的数值, 所在的列表示为第 j 时观测区域内所有站点的数值, 写成矩阵形式:

$$X = (x_{ij}) = (x_1, x_2, \dots, x_j) = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

通过 EOF 分解得到:

$$X = VT \quad (2)$$

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_j) = \begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & v_{m1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{1m} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T = V^T X = \begin{pmatrix} t_1 \\ \vdots \\ t_m \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & \cdots & t_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{m1} & \cdots & t_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

V 为空间阵, 它的每一列为一个第 j 个空间模态; T 为时间阵, 它的每一行为第 i 个空间模态的时间序列定[14] [15]。

2.2.2. REOF 分解

因为 EOF 在使用气象资料时会受到异常资料、气候振荡的影响从而导致空间模态的误差较大, 所以采用 REOF (旋转经验正交函数)对 EOF 的结果进行优化, 使各模态在空间上的方差最大化, 从而增强局部化特征的可解释性[14]。

3. 四川省年昼雨的空间分布特征

3.1. 年昼雨特征量的空间分布

根据四川省 126 个气象站 1961~2021 年的日降水量实测资料, 四川省多年昼雨平均降水量如图 2(a)所示。该地区多年平均昼雨的降水量空间分布不均匀, 基本呈纬向分布, 自东向西逐渐减少。其年昼雨高值区集中在川东部的万源、巴中地区, 年平均降水量在 748.28 mm。年昼雨低值区位于川西高原和川西北高山, 多年昼雨的低值中心在汶川站, 为 128.83 mm。最高值与最低值相差 619.45 mm。四川省年昼雨日数空间分布图 2(b)显示, 全省年昼雨日数除高低值中心外, 大致分布较为均匀。川西高原(巴塘、乡城、稻城)年昼雨日数较少, 其中巴塘为全省最低值中心, 年昼雨日数仅为 65 天; 中部部分城市(雅安、峨眉山、天全)昼雨日数超 150 天, 峨眉山为高值中心, 昼雨日数高达 167 天。四川省年昼雨强度空间分布图 2(c)显示, 全省年昼雨强度呈现东强西弱、梯度显著的特征。川西高原(马尔康、石渠、汶川)受地形阻挡及海拔限制, 年昼雨强度普遍较低, 其中石渠、汶川为全省最低值中心; 东部万源、通江、南江等地因地形抬升与西南季风辐合, 年昼雨强度显著增强, 万源站或为最高值中心。整体上, 川西高原地形作用与东北部山地迎风坡效应共同导致东西部年昼雨强度差异悬殊。四川省年昼雨趋势系数分布图 2(d)显示, 全省的年昼雨趋势呈现出西北-东南逐步递减的趋势, 川西高原大部均位于趋势系数的正值, 说明其年昼雨具有逐渐上升的趋势, 在川南地区和川西南山地, 大部位于趋势系数的负值, 说明其年昼雨有逐步减

少的趋势, 而成都平原和川东北位于趋势系数的过度地带, 无明显趋势变化。

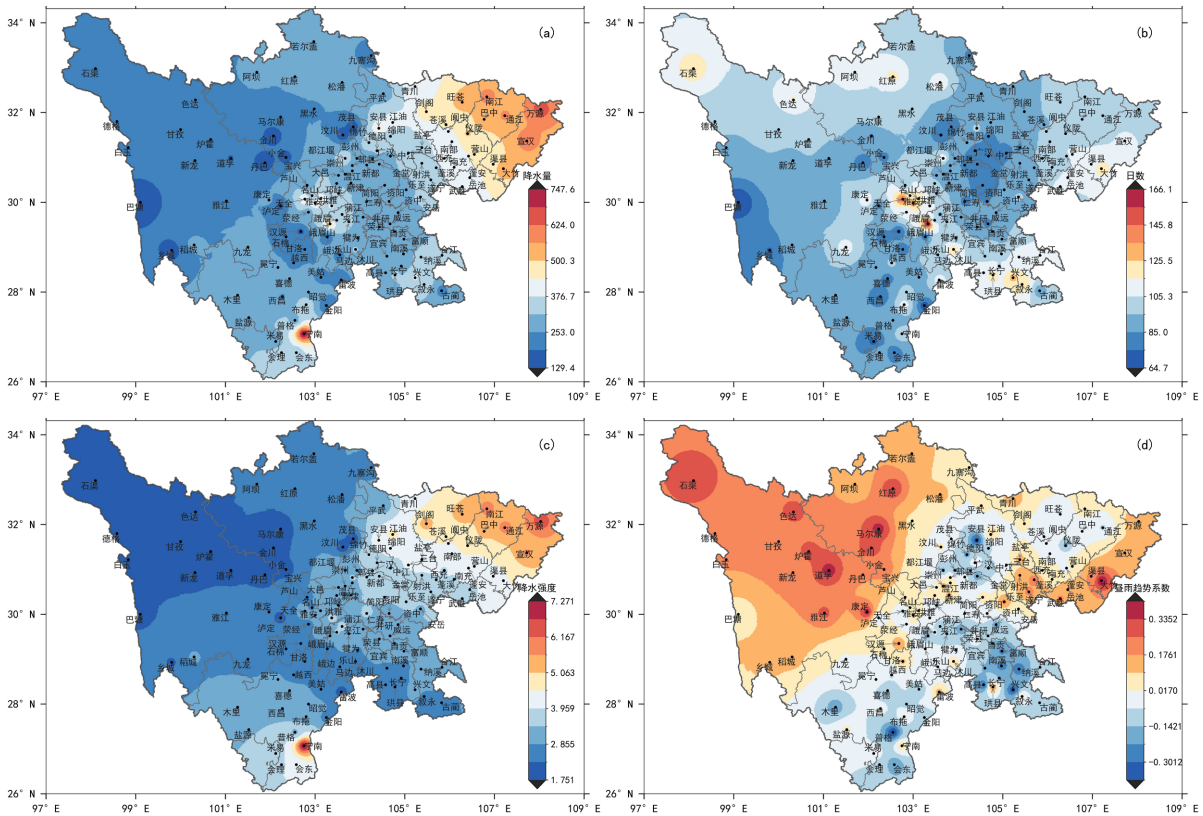


Figure 2. Spatial distribution of annual daytime rainfall characteristics in Sichuan Province (a) Annual daytime rainfall; (b) Number of rainy days per year; (c) Annual daytime rainfall intensity; (d) Annual Daytime Rain Trend Coefficient (This figure is drawn by Python)

图 2. 四川省年昼雨特征量的空间分布(a) 年昼雨; (b) 年昼雨日数; (c) 年昼雨强度; (d) 年昼雨趋势系数(本图由 Python 绘制)

3.2. 年昼雨的 EOF 分解

四川省内部的地形分布差异极大, 从东到西依次存在着川东丘陵, 成都平原, 川西南山地和川西高原, 这些地形对年昼雨具有很大的影响, 为了研究四川省年昼雨的区域分布, 本文采用 EOF 分析法对四川省内 126 个观测站点的年昼雨进行分析, 选取了 5 个方差贡献度较高, 累积方差贡献度超过 50% 的模式(具体占比如下表 1 所示)。

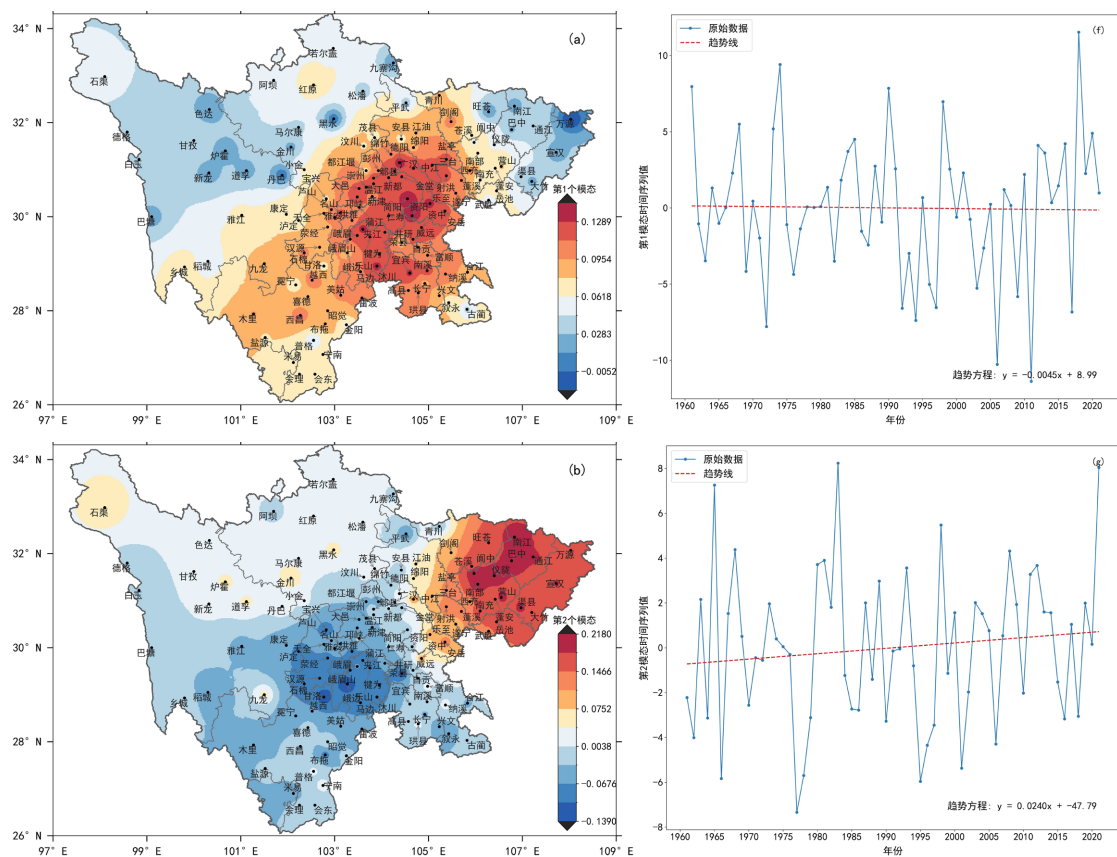
Table 1. The contribution and cumulative contribution of the first five modes before EOF to the total variance

表 1. EOF 前 5 个模式对总方差的贡献和累积贡献

模式	特征值	累积特征值	方差贡献	累计方差贡献
1	171725.5	171725.5	0.2964	0.20964
2	119121.8	290847.4	0.14542	0.35506
3	71226.59	362074	0.08695	0.44201
4	42234.41	404308.4	0.05156	0.49356
5	29557.95	433866.3	0.03608	0.52965

四川省年昼雨 EOF 第 1 模式空间分布如图 3(a)、时间序列如图 3(f)所示, 全省年昼雨的主模式主要

表现为中间正, 两侧负。成都平原, 川东南丘陵以及川西南山地表现为正值, 川东南丘陵和川西高原表现为负值。极大值主要分布在成都平原以及川东南丘陵的交界处。从时间序列上看, 整体上处于围绕零值波动的状态, 通过趋势方程进一步验证其呈现逐渐减少趋势, 但减少的幅度偏小。四川省年昼雨 EOF 第 2 模态空间分布图 3(b)、时间序列如图 3(g)所示, 川东北丘陵地带为正值, 而川西南山地和川东南丘陵的交界处为负值。其中巴中, 阆中地区为高值中心, 而眉山, 乐山, 雅安为低值中心。在时间序列上, 1997 年, 1995 年和 2002 年时间系数为负值, 表明在该年年昼雨减少。在 1965, 1983 和 2021 年时间系数为正值, 表明该年年昼雨在逐渐增加, 同时通过趋势方程得出第 2 模态所代表的年昼雨存在较小增加的趋势。四川省年昼雨 EOF 第 3 模态空间分布图 3(c)显示, 全省年昼雨第 3 模态呈现北正南负分布特征。高值区集中于雅安、都江堰等成都平原和川北地区; 低值区主要分布于川西南凉山州及川南的宜宾、泸州。在时间序列上如图 3(h), 从 1984 年至 2021 年内大部分处于负值得出该阶段大多数年份年昼雨呈现减少的趋势。但随后 2011 年至 2021 年内时间系数正值较大, 表明该阶段内年昼雨呈现增加趋势。同时进一步通过趋势方程可得出该模态代表的年昼雨存在较小的增长趋势。四川省年昼雨 EOF 第 4 模态空间分布表现出从西北向东南逐渐减少的趋势, 正值区存在于川西高原, 而负值区出现在川东南, 川东北的丘陵地区见图 3(c)。而该模态的时间系数见图 3(i)年昼雨随时间发展逐渐上升, 通过趋势方程我们可以得到它具有较为明显的增加趋势。四川省年昼雨 EOF 第 5 模态空间分布图 3(d)显示, 正负值交错分布, 正值主要位于甘孜, 阿坝, 雅安, 眉山一带, 将负值中心德阳包裹在其中。而在正值外的川西南地区同样存在一个负值, 总体上呈现“负-正-负”的分布特征。其时间序列变化在 1960 至 1992 年呈现逐渐上升趋势后, 在 1990 年至 2010 年之间, 猛然下降, 然后又在 2010 至 2021 年间所代表的时间序列上又猛然增加, 通过拟合趋势方程可知, 其所代表的年昼雨存在增长趋势, 见图 3(j)。



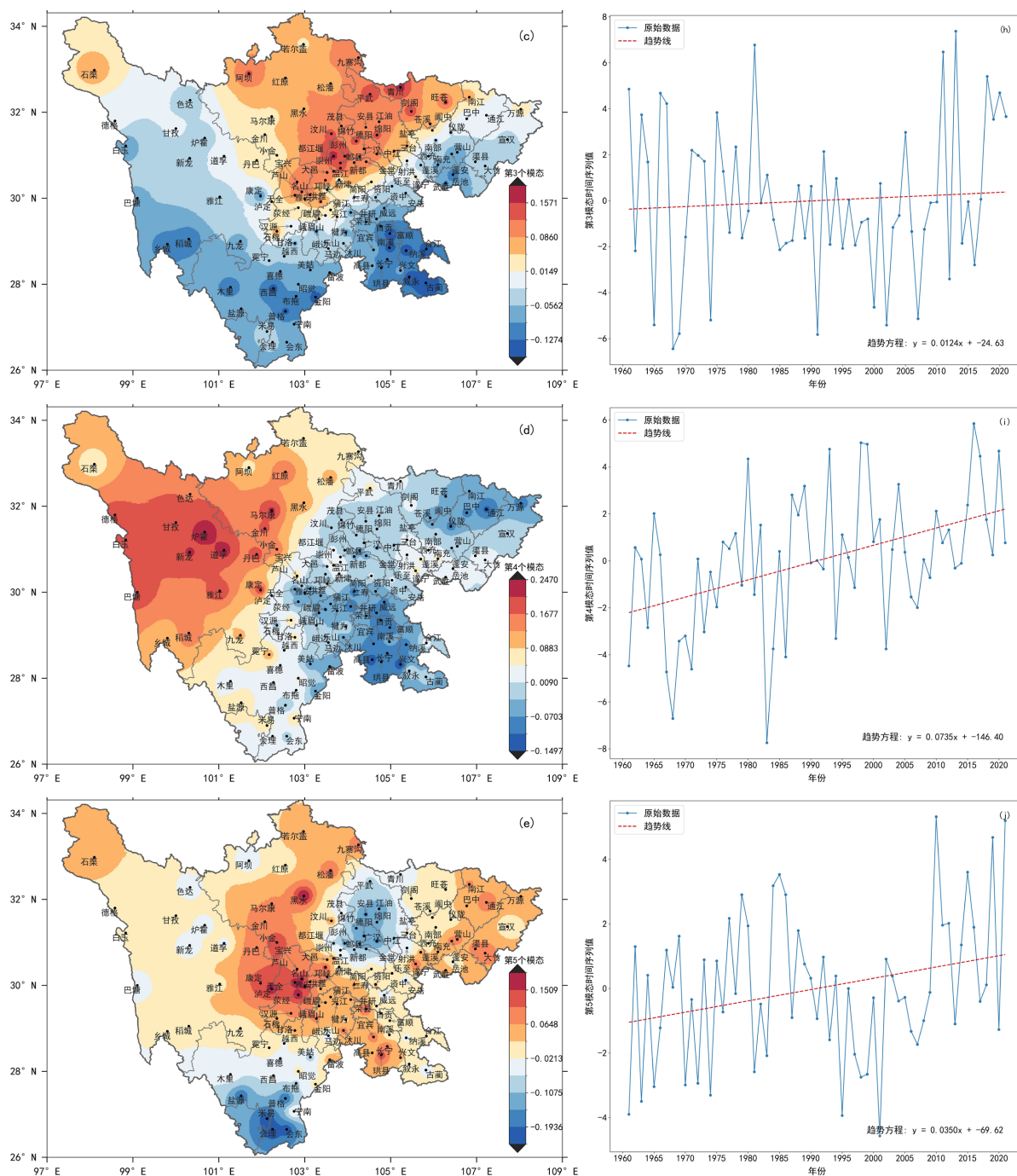


Figure 3. The first five modes and corresponding time coefficients (a) (f) of the EOF decomposition of annual daytime rain in Sichuan Province, the first mode; (b) (g) The second mode; (c) (h) The third mode; (d) (i) The fourth mode; (e) (j) The 5th mode and its corresponding time coefficient (This figure is drawn by Python)

图 3. 四川省年昼雨 EOF 分解的前 5 个模式及相应的时间系数(a)(f)第 1 个模式; (b)(g)第 2 个模式; (c)(h)第 3 个模式; (d)(i)第 4 个模式; (e)(j)第 5 个模式及相应的时间系数(本图由 Python 绘制)

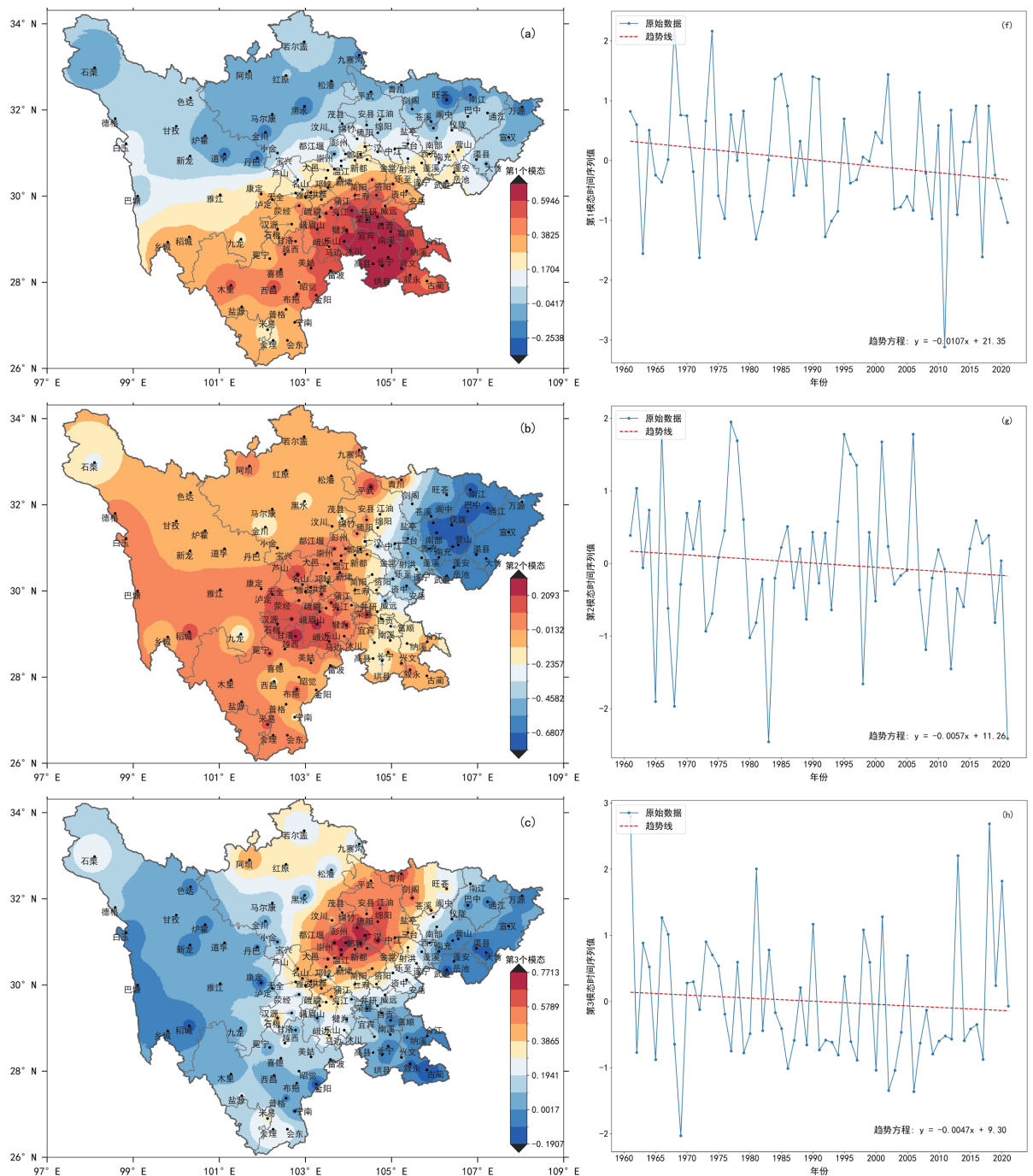
3.3. 年昼雨的 REOF 分解

在 EOF 分解的基础上, 我们得到了四川省年昼雨的五种基本模式, 但由于四川省内部地形地貌种类繁多, 且地形对年昼雨的影响较大, 因此我们在 EOF 的基础上进行 REOF 展开, 获得更为精细的年昼雨

分区, 其方差贡献和方差贡献率如下表 2 所示。

Table 2. REOF decomposes the contribution and cumulative contribution of the first five modalities to the total variance
表 2. REOF 分解前 5 个模态对总方差的贡献和累积贡献

模态	1	2	3	4	5
方差贡献	0.1543	0.1224	0.1376	0.0918	0.0628
累计方差贡献					0.56897



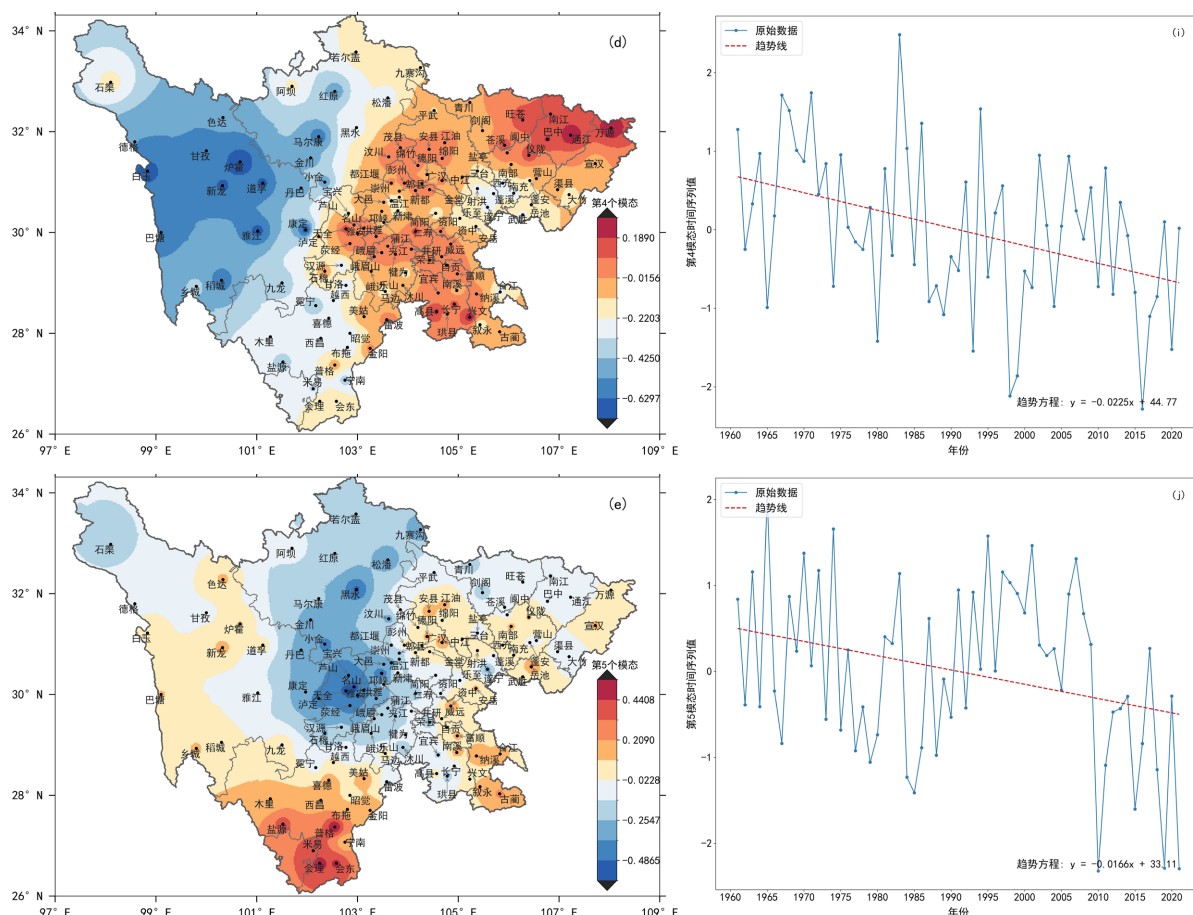


Figure 4. The first five modes and corresponding time coefficients (a) (f) of the annual diurnal rain REOF decomposition in Sichuan Province, China; (b) (g) The second mode; (c) (h) The third mode; (d) (i) The fourth mode; (e) (j) The 5th mode and its corresponding time coefficient (This figure is drawn by Python)

图 4. 四川省年昼雨 REOF 分解的前 5 个模式及相应的时间系数(a) (f)第 1 个模式; (b) (g)第 2 个模式; (c) (h)第 3 个模式; (d) (i)第 4 个模式; (e) (j)第 5 个模式及相应的时间系数(本图由 Python 绘制)

REOF 的第 1 个模式呈现着“南强北弱”的分布趋势。其值自南向北逐渐递减, 极值中心为正值且位于自贡, 宜宾一带, 见图 4(a)。其时间序列呈现着波动下降的趋势, 尤其是在 2011 年时间序列负值达到了极大值, 该年昼雨大幅度减少, 通过趋势方程可以得知其存在着一个较弱的下降趋势, 见图 4(f)。第 2 模式如图 4(b)呈现典型的经向分布特征, 自西向东逐渐递减, 其极值中心为负值且位于川东北丘陵地带。第 2 模式的时间序列展现出极为剧烈的波动状态, 在 1962 年, 1966 年, 1977 年, 1995 至 1997 年和 2006 年时间系数正值较大, 代表地区年昼雨相对增多。而同样的在 1965 年, 1980 至 1984 年代和 2008 年至 2010 年代时间系数负值较大, 年昼雨相对减少。第 3 模式如图 4(c)的正值位于成都平原及川北地区, 而负值区则呈半圆状分布于川西高原、川西南山地、川东南和川东北丘陵将正值区域包围。时间序列呈现较为稳定的趋势如图 4(h)。第 4 模式与第 2 模式一样呈现明显的径向分布见图 4(d), 但正负值形态关系呈现了明显的变化, 转变为东强西弱, 其极值中心位于川西地区。在趋势方程的拟合下, 其时间序列呈现出明显的下降趋势, 见图 4(i)。第 5 模式的正负值呈现交错分布的状态, 如图 4(e)所示, 这一特征在川东南和川东北的丘陵地带极为明显, 而在川中和川西区域存在“南正北负”的分布特征, 极值中心位于川西南山地。在时间序列方面, 通过拟合方程可以得出明显的下降趋势, 如图 4(j)所示。

综合来看, 四川省昼雨年昼雨可大致划分为川东南丘陵(区域一)、川东北丘陵(区域二)、成都平原(区

域三)、川西高原(区域四)和川西南山地(区域五), 共 5 个区域见图 5。

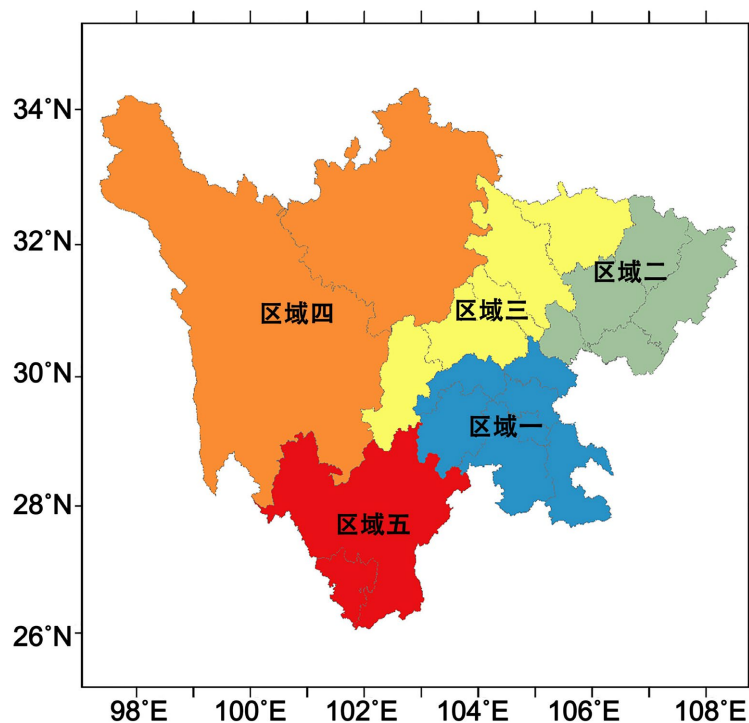


Figure 5. Schematic diagram of REOF zoning results for annual daytime rain in Sichuan Province (This figure is drawn by arcgis)

图 5. 四川省年昼雨的 REOF 分区结果示意图(本图由 arcgis 绘制)

4. 结论

(1) 四川省年昼雨呈现典型的经向分布, 自东向西依次递减, 而在年昼雨日数上, 四川省境内年昼雨日数分布较为均匀, 除如成都平原与川西高原之间的过渡地带, 受地形抬升的影响降水日数较多。从而导致四川省的年昼雨强度大体也呈经向分布, 从东向西依次递减。但同时川南地区由于受到西南季风和地形抬升的影响, 其年昼雨强度也较高。在四川省年昼雨趋势分布上, 表现为从西北向东南逐渐递减。川西高原地区未来年昼雨会逐渐增加, 而成都平原川东南丘陵和川南山地年昼雨会逐渐减少。

(2) 四川省年昼雨有 5 种模态。第 1 模态的年昼雨表现为“中间正, 两头负”的形势, 该模态保持着一个较为稳定的变化趋势。第 2 模态的年昼雨表现为自东南向西北逐渐由正转负型, 该模态处于一个逐渐增长的趋势。第 3 模态的年昼雨表现为北正南负型。该模态存在一个微弱的增长趋势。第 4 模态的年昼雨也呈现为典型的经向分布, 即自西向东逐渐由正转负, 存在川东北丘陵和川东南丘陵两个负值中心, 该模态存在一个较强的增长趋势。第 5 模态的年昼雨表现为正负交错分布型, 该模态存在一个较强的增长趋势。四川省年昼雨可分为 5 大区域, 分别是川东南丘陵、川东北丘陵、成都平原、川西高原和川西南山地, 5 个区域的年昼雨均存在逐渐减少的趋势, 其中川西高原和川东南丘陵的减少趋势最大。

参考文献

- [1] 陈侯霏, 韩玉国, 孙明东, 等. 于 CMIP6 气候模式对长江流域四川段的未来降水变化预估与分析[J]. 水土保持研究, 2024, 31(5): 288-294.
- [2] 屠妮妮, 何光碧, 衡志炜, 等. 三种数值模式对四川省汛期降水预报性能的检验[J]. 高原山地气象研究, 2020,

- 40(4): 1-9.
- [3] 张顺谦, 马振峰. 1961-2009 年四川强降水变化的时空特征[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(23): 14202-14207.
 - [4] 周长艳, 岑思弦, 李跃清, 等. 四川省近 50 年降水的变化特征及影响[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 619-630.
 - [5] Huang, J., Sun, S., Xue, Y., Li, J. and Zhang, J. (2014) Spatial and Temporal Variability of Precipitation and Dryness/Wetness during 1961-2008 in Sichuan Province, West China. *Water Resources Management*, **28**, 1655-1670. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0572-8>
 - [6] 杜明华, 延军平. 四川省气候变化特征与旱涝区域响应[J]. 资源科学, 2013, 35(12): 2491-2500.
 - [7] 甘露, 刘睿, 冀琴, 等. 四川省极端降水事件时空演变特征[J]. 山地学报, 2021, 39(1): 10-24.
 - [8] 钟燕川, 郭海燕, 徐金霞, 等. 四川省泥石流活动与降水因子特征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(6): 390-396.
 - [9] Yu, W., Xu, W. and Zhang, G. (2012) Using Logistic Regression and GIS to Analyze the Relationship between Precipitation and Debris Flow in Sichuan, China. *Procedia Environmental Sciences*, **12**, 598-603. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.323>
 - [10] 刘海知, 马振峰, 范广洲. 四川省典型区域滑坡泥石流与降水的关系[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 73-77.
 - [11] 隆文菲, 梁林, 胡尧. 四川省水资源现状和发展节水灌溉的措施[J]. 四川水利, 2001(6): 8-9.
 - [12] 唐澜瑜, 张文江, 覃光华, 等. 四川省降水事件的日内变化规律研究[J]. 水电能源科学, 2024, 42(12): 14-18.
 - [13] 潘昱杉, 李谢辉. 四川省暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 成都信息工程大学学报, 2022, 37(2): 186-193.
 - [14] 朱静思, 张治倩, 陈宏, 等. 基于 EOF 和 REOF 方法的海河流域近 61a 夏季降水时空演变规律分析[J]. 海河水利, 2017(6): 1-6+67.
 - [15] 周后福, 陈晓红. 基于 EOF 和 REOF 分析江淮梅雨量的时空分布[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2006(1): 79-82.