

金沙江流域中上游近10年降水时空分布特征分析

和丽云, 寸焕才*, 马妍, 靳宗许, 和三强, 董自香

云南省丽江市气象局, 云南 丽江

收稿日期: 2024年6月9日; 录用日期: 2024年7月12日; 发布日期: 2024年7月19日

摘要

对金沙江流域中上游地区进行近10年降水量EOF分析中, 年降水量前3个载荷量的累计方差贡献已经达到83.47%, 且第一模态的方差贡献率就已经达到68.86%; 干湿季降水量前3个载荷量的累计方差贡献已经达到95.77%, 且第一模态的方差贡献率就已经高达92.2%, 四季降水量前3个模态的方差贡献率其载荷量的累计方差贡献已经达到93.77%, 第一个模态的方差贡献率高达89.91%。所以近10年, 年、干湿季及四季降水的第一模态已经能较好的表征该变量场的空间分布及时间分布特征。年、干湿季、四季降水量第一模态空间分布场均为全区均为正值, 说明降水量变化一致性为金沙江流域中上游地区年、干湿季、四季降水量变化的主要特征, 其中迪庆州南部, 丽江市东部地区一带特征值最大, 在最具代表性的变化中这些地区降水量变化最敏感, 即降水量增加最多或减小最少。金沙江流域中上游地区年、干湿季、四季降水量四季降水量具有一致性, 即整个流域中上游段降水量变化是一致的。

关键词

金沙江流域, EOF分析, 模态, 降水量

Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Precipitation over the Past 10 Years in the Middle and Upper of Reaches of Jinsha River Basin

Liyun He, Huancai Cun*, Yan Ma, Zongxu Jin, Sanqiang He, Zixiang Dong

Lijiang Meteorological Bureau, Lijiang Yunnan

Received: Jun. 9th, 2024; accepted: Jul. 12th, 2024; published: Jul. 19th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 和丽云, 寸焕才, 马妍, 靳宗许, 和三强, 董自香. 金沙江流域中上游近 10 年降水时空分布特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(4): 939-950. DOI: 10.12677/ccrl.2024.134107

Abstract

In the EOF analysis of precipitation in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin over the past 10 years, the ratio of the front 3 eigenvectors with total square error is 83.47% and the variance contribution rate of the first mode has reached 68.86%. The cumulative variance contribution of the first three modes of precipitation in the dry and wet seasons has reached 95.77%, and the variance contribution rate of the first mode has been as high as 92.2%. The cumulative variance contribution of the first mode of precipitation of four seasons has reached 93.77%, and the variance contribution rate of the first mode is as high as 89.91%. Therefore, the first mode in the past 10 years, the dry and wet seasons, and the four seasons of precipitation can characterize the spatial and temporal distribution characteristics of the variable field well. The spatial distribution of the first mode of precipitation in the first mode of yearly, dry and wet seasons and four seasons is positive in the whole region, indicating that the consistency of precipitation change is the main characteristic of the change of precipitation in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin, among which the characteristic values of the southern part of Diqing and the eastern part of Lijiang are the largest, and the precipitation variation in these areas is the most sensitive among the most representative changes, that is, the precipitation increases the most or decreases the least. The precipitation in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin is consistent of yearly, dry and wet seasons and four seasons, that is, the precipitation changes in the middle and upper reaches of the basin are consistent.

Keywords

Jinsha River Basin, EOF Analysis, Mode, Precipitation

Copyright © 2024 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

金沙江作为长江的上游,发源于青藏高原的唐古拉雪山,其上游的地势较为平坦,地表覆盖以荒漠草甸为主,河谷宽浅,流速缓慢。而中游则进入印支褶皱带,河床比较大,水流湍急。金沙江流域蕴含着丰富的水力资源,具有巨大的水电开发潜力。其中,金沙江中上游地区的水能资源尤为丰富,被誉为“世界屋脊上的能源宝库”。这些水力资源不仅对于满足当地能源需求具有重要意义,而且是我国的水电基地和南水北调工程的重要水源地。金沙江流域的水电开发还具有显著的经济效益和社会效益,可以带动相关产业的发展和就业的增加,促进区域经济的繁荣和社会的进步。但流域内地形地势复杂多变,气候时空变化大,垂直差异十分显著,为水电站的选址和建设提供了有利的条件,同时也对水电站的运行和维护提出了一定的挑战。金沙江中上游地区的气候类型可能因具体地理位置和海拔高度的不同而有所差异。中上游大部属于高原气候,具有寒冷、干燥、日照充足等特点,由于地处高海拔地区,昼夜温差可能较大,其径流补给以降水和冰雪融水为主,降水量及融雪量是直接影响金沙江区域来水量的大小。这些气候特征对于水电站的建设和运行都有一定的影响。

目前,已经有很多学者、专家分别从不同角度对该金沙江流域的降水进行了分析和研究。但均是使用国家气象监测站数据进行分析,因金沙江流域地形复杂、地势差异大,建立合适的气象观测站难度大,

所以流域中上游建立的国家气象站点稀疏, 样本代表性较少, 本文为弥补样本个数的不足, 使用流域范围内近 10 建立的区域站点降水资料进行分析, 使用 EOF 方法, 利用克里金空间插值法研究流域年降水量、干季降水、湿季降水及四个季节的降水的降水量空间分布特征及时空分布特征, 为研究金沙江中上游的降水变化及水电站库塘调度水资源提供参考, 同时对流域水资源的合理开发利用、生态环境的保护和治理提供科学依据[1]-[6]。

2. 资料来源和研究方法

2.1. 资料来源

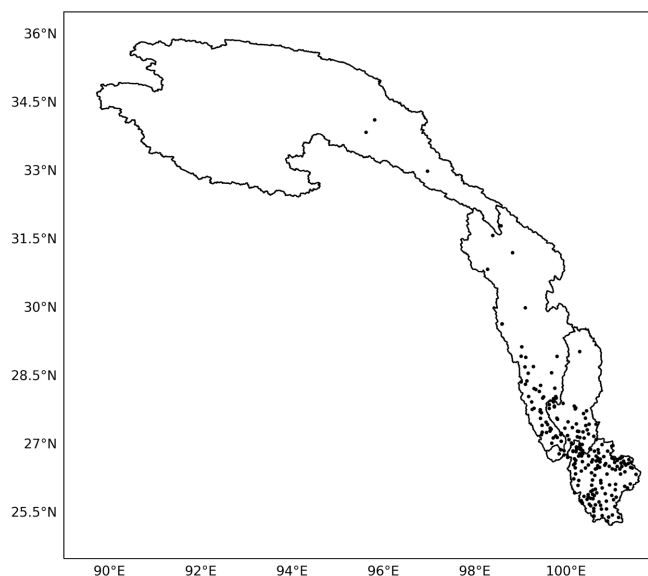


Figure 1. Distribution of 221 meteorological stations in the middle and upper reaches of the Jinsha River basin
图 1. 金沙江流域中上游 221 个气象站点分布

本文使用金沙江流域中上游范围内 221 个国家气象站及区域气象站 2015~2023 年逐月降水资料数据进行分析。流域 221 个气象站点分布见图 1。

2.2. 研究方法

2.2.1. 自然经验正交函数(EOF)

本文使用自然正交函数, 此方法是一种用于分析多变量数据集中主要模式和结构的方法, 在地球科学领域更为常用, 如气候数据、海洋数据等。

EOF 的基本思想是将原始数据集分解为一系列正交(即不相关)的模式, 这些模式按照它们解释的方差量进行排序。每个 EOF 都是一个空间模式, 而与其相关联的主成分则描述了该模式随时间的变化。它具有图形本身由场决定、收敛快、能更好反映场的基本结构等特征。其原理如下:

$K_{ij} = \sum_k^p v_{ik} t_{kj} = v_{i1} t_{1j} + v_{i2} t_{2j} + \dots + v_{ip} t_{pj}$ 式中 F_{ij} 表示第 i 个站点的第 j 个测值($i = 1, 2, \dots, p$; $j = 1, 2, \dots, n$, 即 221 个站点的 10 年 108 月实测旬降水量) v_{ik} 是典型场, 即空间函数; t_{kj} 是典型场的权重系数, 即时间函数。

2.2.2. 克里金空间插值法

克里金(Kriging)空间插值法是一种基于统计学的插值方法, 它根据已知数据点的空间自相关性来估

计未知点的值。克里金插值法的核心思想是利用已知数据点的空间分布和属性值，通过计算权重系数来确定未知点的估计值。

通过对待预测点影响范围内 n 个有效邻近样点 $Z(x_i)$ 线性组合，可以得到其空间插值变量的估计值 $Z(x)$ ，即： $Z_x = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$ 。 λ_i 是邻近样点 $Z(x_i)$ 对估计值 $Z(x)$ 的影响程度，称为权重系数，其大小取决于待预测点与邻近样点的空间分布结构和位置关系。权重系数由克里金方程组求得

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i C(x_i, x_j) - \mu = C(x_i, x_0) \end{cases}$$

式中， μ 为拉格朗日乘子； $C(x_i, x_j)$ 为邻近样点之间的协方差； $C(x_i, x_0)$ 为邻近样点与待预测点之间的协方差[7]-[11]。

3. 降水量空间分布特征

3.1. 年降水量分布特征

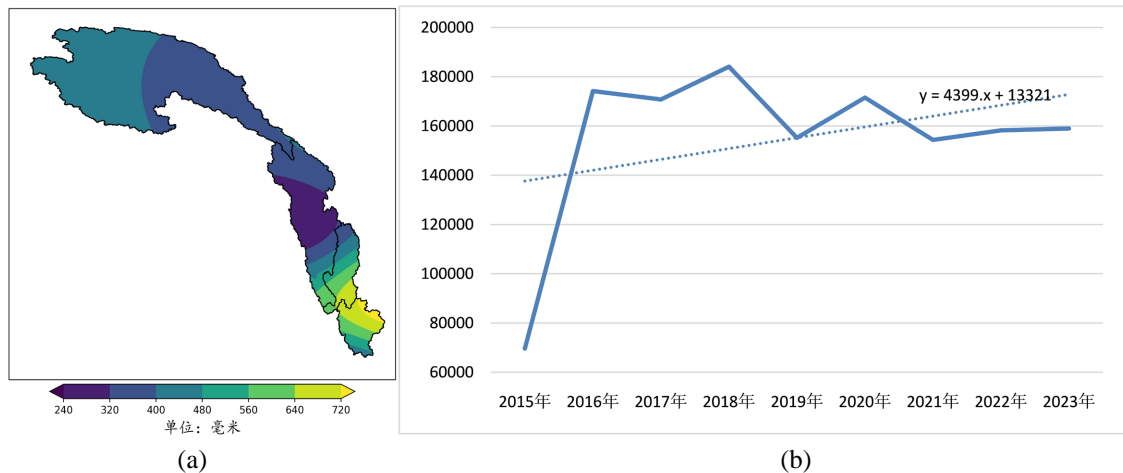


Figure 2. Spatial distribution characteristics of annual precipitation (a) and Change characteristics of annual cumulative precipitation (b) in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin

图 2. 金沙江流域(a) 中上游年降水量空间分布特征及(b) 年累积降水变化特征

由金沙江流域中上游年降水量空间分布特征(图 2)可以看出：流域年降水量空间分布存在明显的区域差异性,近 10a 的年降水量在 146.9~1465.3 mm 之间;其中最大降水出现在丽江市华坪县的丁王站位 1465.3 mm，最小值出现在昌都市芒康县芒康站为 96.3 mm，其中流域年降水量主要来源于丽江石鼓以下的中游段，越往北降水分布越少，其中在昌都市、甘孜州附近出现一个小值区，年降水量空间分布主要为由上游向下游逐渐增加。金沙江中上游流域内 221 个气象站点年累积降水来看，近 10a 年降水量呈上升趋势，15 年降水为最少年份，2018 年是近 10a 中降水最多年份，2018 年后又呈一个略下降趋势。

3.2. 干湿季降水量分布特征

由流域汛期降水量空间分布特征(图 3)可以看出：金沙江流域中上游近 10a 的湿季所在总降水量为全年总降水量的 92%，也就是说金沙江流域中上游段的降水集中在湿季，其降水量与年降水量的空间分布特征相一致，主要呈现由上游向中游逐渐增加的特征，降水量在 85.2~1404.1 mm 之间；而干季总降水量

仅在全年总降水的 8%，降水量在 9.2~201.4 mm 之间，主要呈现为上游到中游均为较少，比较均匀分布的特征。

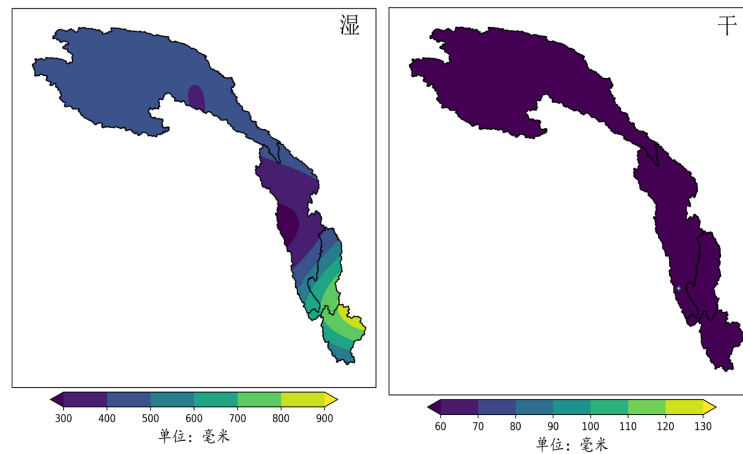


Figure 3. Spatial distribution characteristics of precipitation in wet and dry seasons in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin

图 3. 金沙江流域中上游干湿季降水量空间分布特征

3.3. 四季降水量分布特征

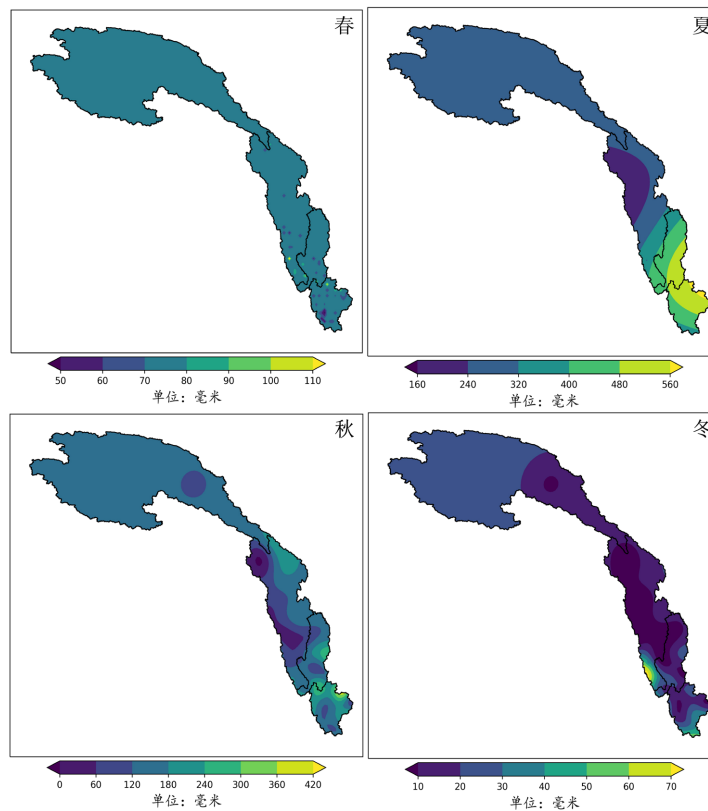


Figure 4. Spatial distribution characteristics of precipitation in spring, summer, autumn and winter in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin

图 4. 金沙江流域中上游春、夏、秋、冬四季降水量空间分布特征

金沙江流域中上游四季降水分布图(图 4)来看, 多年平均春季降水量为 18.3~184.7 mm, 夏季降水量为 118.3~907.9 mm, 秋季降水量为 4.3~468.2 mm, 冬季降水量为 0.0~76.6 mm, 四季降水空间分布特征有着明显的差异, 夏季降水分布特征与年降水分布特征一致, 主要呈现由上游向中游逐渐增加的特征, 且降水量基本集中在夏秋两季。春季整个金沙江流域中上游降水分布特征全区较为一致, 只在中游区域局部站点出现超过 100.0 mm 的降水。秋雨对于金沙江流域中上游区域还是较为明显, 中游东部地区雨量明显大于西部区域, 降水大值区均在中游东部地区, 其中最大降水出现在丽江市华坪县东部为 468.2 mm。冬季全流域降水稀少, 整个中上游区域均处于干季几乎无降水出现, 在迪庆州西南部及丽江南部有微量降水, 其中迪庆州西南部因 2 月受桃花汛影响, 有一个降水大值中心, 最大降水也出现在迪庆州维西的塔城站 76.63 mm。

4. 金沙江流域中上游降水量的 EOF 分析

4.1. 金沙江流域中上游年降水量的 EOF 分析

为进一步分析金沙江流域中上游地区年降水量的空间特征, 采用 EOF 方法, 选取方差贡献率较大前 3 个模态降水量进行分析。表 1 为年降水量前 3 个模态的方差贡献率可看出, 年降水量前 3 个载荷量的累计方差贡献已经达到 83.47%, 且第一模态的方差贡献率就已经达到 68.86%, 其分布特征已经能较好的表征该变量场的空间分布及时间分布特征, 故选取总降水量的前 3 个模态作为主要的空间、时间特征向量场进行具体的分析和阐述(图 5、图 6)。

Table 1. Annual precipitation variance contribution rate in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin

表 1. 金沙江流域中上游地区年降水量方差贡献率

序号	1	2	3	累积方差贡献率/%
年降水量方差贡献率%	68.86	7.84	6.77	83.47

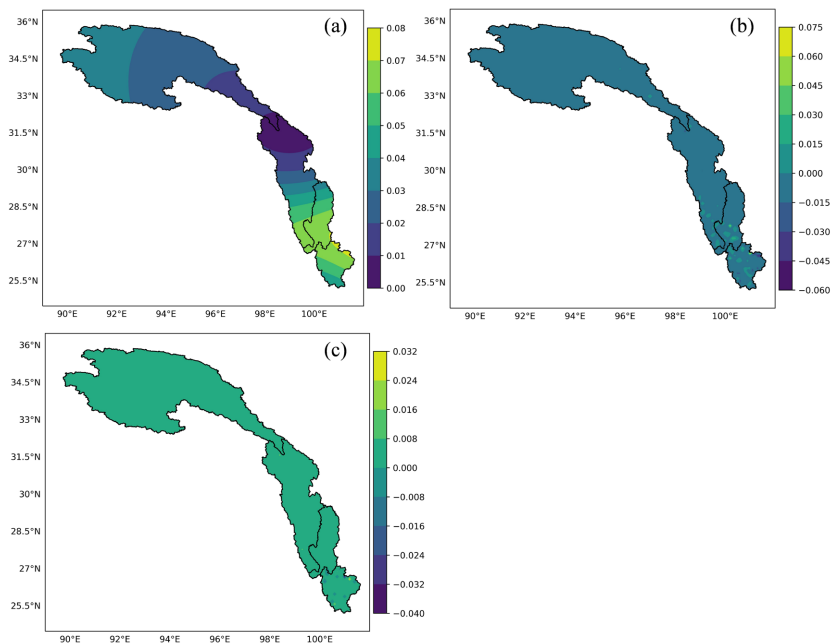


Figure 5. Spatial distribution of the first, second and third eigenvectors of EOF decomposition of annual precipitation in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin

图 5. 金沙江流域中上游地区年降水量 EOF 分解的第一、二、三特征向量的空间分布图

由图 5 年降水量第一特征向量空间分布场(a)可以看出全区均为正值,说明降水量变化一致性为金沙江流域中上游地区年降水量变化的主要特征,其中迪庆州南部,丽江市东部地区一带特征值最大,说明在最具代表性的变化中这些地区降水量变化最敏感,即降水量增加最多或减小最少。上游地区的特征值均较小,其中特征最小值出现在甘孜州的北部。特征值大小的总体趋势呈由南向北递减,由中游向上游逐渐递减的分布特征。结合时间序列来看图 6(a),金沙江流域中上游地区的年平均降水量的近 10 年变化表现为振荡的趋势,除 2016 年为负值外,2017~2023 年均处于正值之间波动,近 10 年年平均降水量时间系数基本处于正值,在负值时偏少,2020、2022、2023 年其时间系数数值很小,说明这三年降水量变化不大,2017、2018、2019、2021 年正值较大,最大值出现在 2019 年,由于空间场上均为正值,这一年降水量增加得最多,而 2016 年为负的最大值,在这一年降水量减少得最多。由图 5(b)年降水量第二特征向量方差贡献率为 7.84%,空间分布场可以看出除中游局部区域为正值,其他地区都为负值,特征值的大体趋势为全区一致型,无明显的负值大值中心,特征值数值较小,正值区零散的分布在香格里拉南部及丽江东北部。从时间序列图 6(b)来看,降水量变化表现为振荡的趋势,近 10 年时间系数在正负值之间波动,2016~2018 年在负值间波动,其中 2017 年为负值最大值,这一年 2019~2023 年在正值间波动,其中 2019 年为最大正值。平均降水量在负值时偏多,在正值时偏少,时间系数有不同程度的正负值,2016~2018 年降水大部增加得较多,其中 2017 年增加最多,而 2019 年金沙江流域中上游地区降水减少最明显的年份。

由图 5(c)降水量第三特征向量的方差贡献率为 6.77%,空间分布场可以看出金沙江流域中上游地区均为正值,仅有中游南部极少数区域为负值,为全区一致型正值分布,且没有明显的正值区域,全区较为均匀,考虑此分布特征与大的气候背景影响下,西南季风等天气影响而形成。结合时间序列图 6(c)来看,2016~2019 年、2022~2023 年时间系数为正值,其中 2019 年特征值较大,由于空间场均为正值,说明整个流域中上游段近 10 年来几乎表现为降水量全区一致地增多,且 2019 年增多最为明显。仅有中游南部极个别区域南部地区为不同程度的减少,但范围极小。2020~2023 年份有较大负值,其中 2020 年整个流域中上游段降水为一致均为减少最为明显的年份。

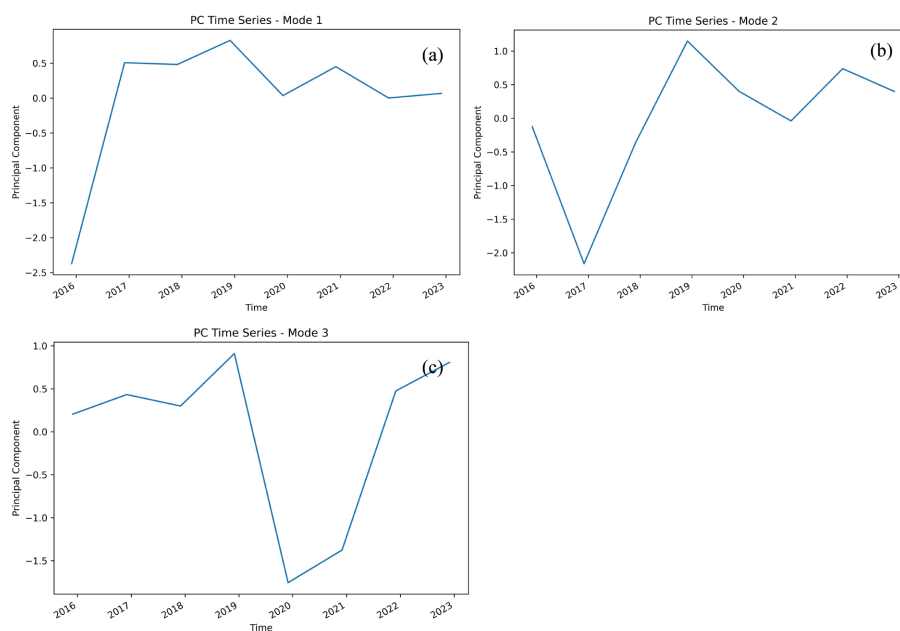


Figure 6. Time coefficients corresponding to the spatial distribution of the first, second and third eigenvectors of EOF decomposition of annual precipitation in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin

图 6. 金沙江流域中上游地区年降水量 EOF 分解的第一、二、三特征向量的空间分布对应的时间系数图

4.2. 金沙江流域中上游干湿季降水量的 EOF 分析

为进一步分析金沙江流域中上游地区干湿季降水量的空间特征,采用 EOF 方法,选取方差贡献率较大前 3 个模态降水量进行分析。表 2 为年降水量前 3 个模态的方差贡献率可看出,干湿季降水量前 3 个载荷量的累计方差贡献已经达到 95.77%,且第一模态的方差贡献率就已经高达 92.2%,第一模态已经能较好的表征该变量场的空间分布及时间分布特征,故选取总降水量的前 3 个模态作为主要的空间、时间特征向量场进行具体的分析和阐述(图 7、图 8)。

Table 2. Variance contribution rate of dry and wet season precipitation in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin

表 2. 金沙江流域中上游地区干湿季降水量方差贡献率

序号	1	2	3	累积方差贡献率/%
干湿季降水量方差贡献率%	92.2	2.24	1.33	95.77

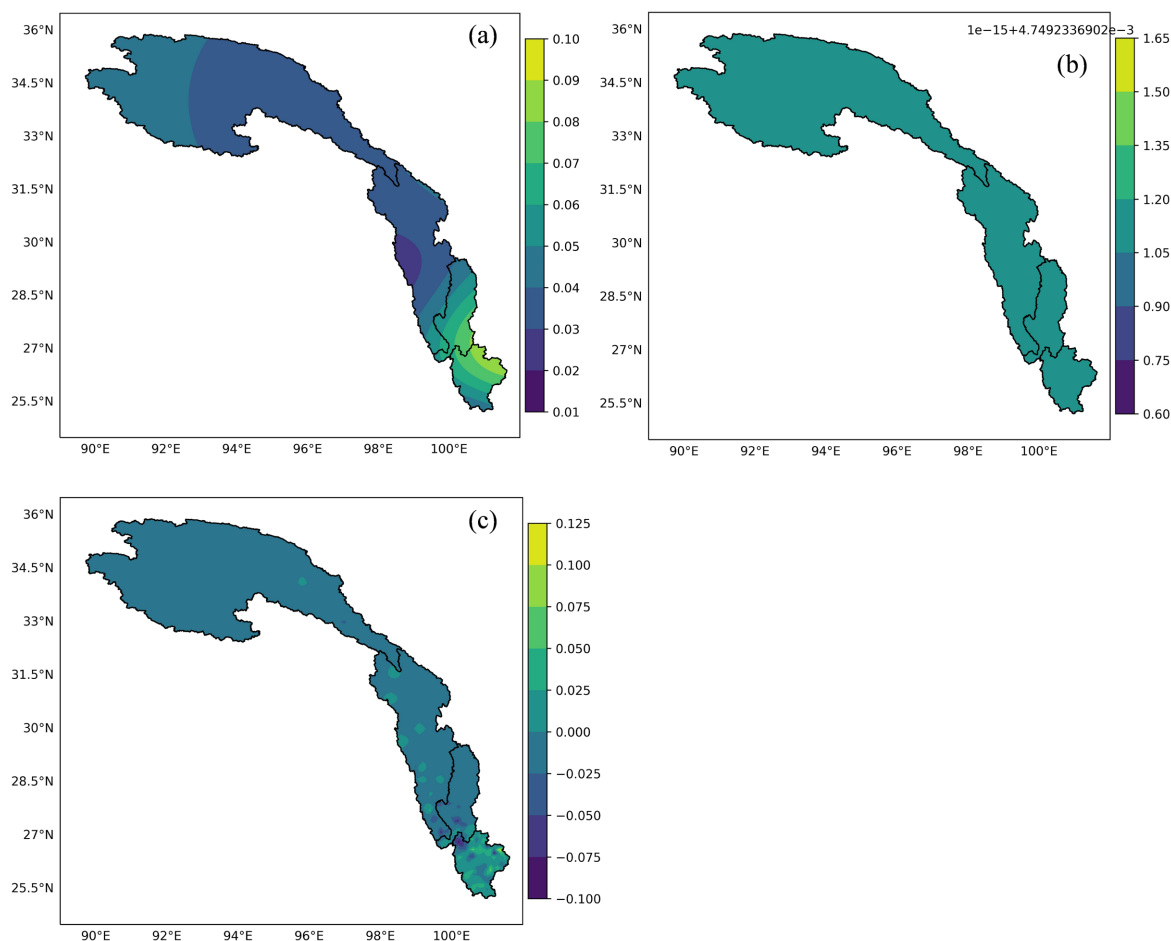


Figure 7. Spatial distribution of the first, second and third eigenvectors of precipitation EOF decomposition in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin

图 7. 金沙江流域中上游地区干湿季降水量 EOF 分解的第一、二、三特征向量的空间分布图

由图 7 干湿季降水量第一特征向量方差贡献率高达 92.2%,空间分布场(a)可以看出全区均为正值,且降水量随着流域走向从上游逐渐向中游增加,特征值大值中心处在中游的东部地区及迪庆东部、丽江

东部；上游特征值均较小，其中昌都西部为最小中心。第一模态特征值的分布特征与年降水分布特征较为一致，及说明干湿季降水分布特征主要影响还是由降水系统影响为主要原因。结合时间序列来看图 8(a)，金沙江流域中上游地区的干湿平均降水量的近 10 年变化表现为振荡的变化趋势，且除了 2015 年干湿季时间特征值均为负值外，其他年份均是正负震荡，干季处于负值，湿季处于正值，所以除 2015 年外，干季整个金沙江中上游区域均减少，湿季整个区域增加，其中丽江东部、迪庆东部增加的最多，其中 2019 年湿季正值最大，整理流域中上游区域降水量增加得最多，其中最大值区位于中游东部。由图 7(b) 年降水量第二特征向量方差贡献率仅为 2.24%，空间分布场可以看出全区域均为均匀的正值且数值较大，达到 1.05 以上，无大值中心，特征值为全区一致型。从时间序列图 8(b) 来看，干湿季时间系数表现为振荡的趋势，其中 2017 年以前是在负值区进行振荡变化，2017 年干季开始到 2023 年是在正值区进行振荡变化，其中 2019 年湿季正值最大，表现为全区域降水量增加最明显，而 2016 年湿季负值最大，全区域降水减少最为明显。

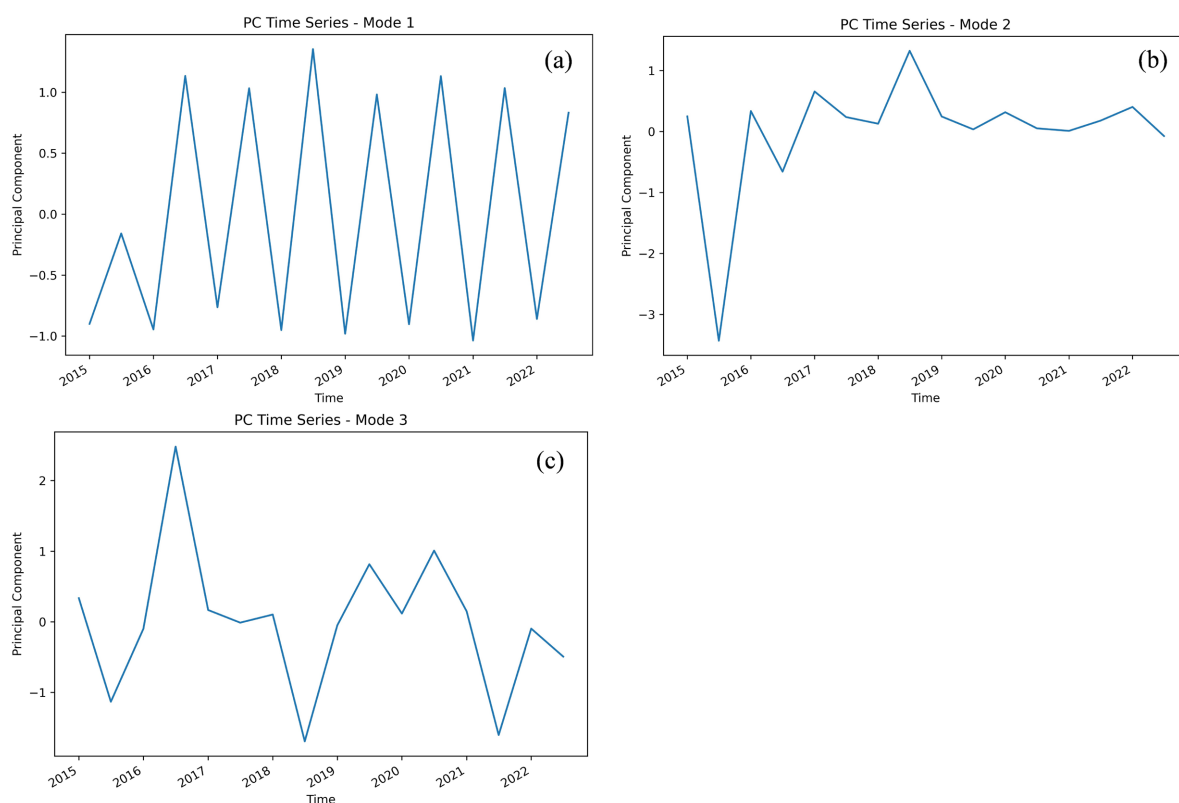


Figure 8. Time coefficients corresponding to the spatial distribution of the first, second and third eigenvectors of precipitation EOF decomposition in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin

图 8. 金沙江流域中上游地区干湿季降水量 EOF 分解的第一、二、三特征向量的空间分布对应的时间系数图

由图 7(c) 降水量第三特征向量的方差贡献率仅为 1.33%，空间分布场可以看出金沙江流域上游地区均为负值，其中丽江坝区附近为一个负值中心，中游地区为正值，华坪东部为正值中心，整个流域空间分布场呈现南北反向型，上游和中游空间分布特征相反，考虑与海拔高差、纬度变化等原因而造成。结合时间序列图 8(c) 来看，时间系数表现为振荡的趋势，其中 2017 年湿季为最大正值，华坪东部降水量增加最为明显；而 2019 年湿季出现最大负值，上游区域降水量减少最为明显，其中减少最明显的大值中心在丽江坝区。

4.3. 金沙江流域中上游四季降水量的 EOF 分析

从表 3 金沙江流域中上游地区四季降水量的空间特征,可看出第一个模态的方差贡献率高达 89.91%,第二方差贡献迅速减少,后面的模态的方差贡献率仅占 10.09%,贡献率较小,选取四季降水量前 3 个模态的方差贡献率其载荷量的累计方差贡献已经达到 93.77%,其特征向量场已经基本反映出了金沙江流域中上游地区四季降水量大范围空间的分布特征(图 9、图 10)。

Table 3. Variation contribution rates of spring, summer, autumn and winter precipitation in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin

表 3. 金沙江流域中上游地区春、夏、秋、冬四季降水量方差贡献率

序号	1	2	3	累积方差贡献率/%
四季降水量方差贡献率%	89.91	2.16	1.70	93.77

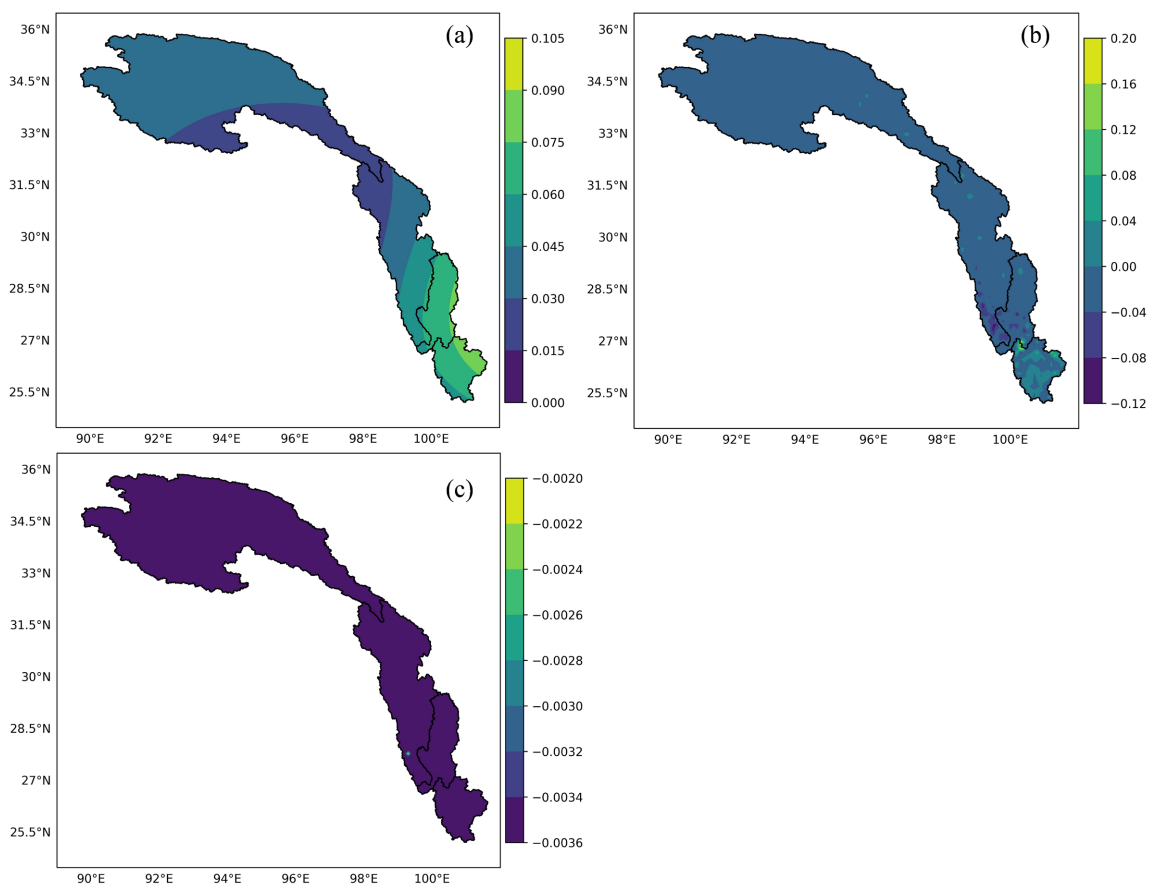


Figure 9. Seasons precipitation EOF decomposition of the first, second and third characteristic vector space distribution
图 9. 四季降水量 EOF 分解的第一、二、三特征向量的空间分布图

从图 9(a)可以看出,第一特征向量场空间分布均为正值,方差贡献比例为 89.91%,说明金沙江流域中上游地区四季降水量具有一致性,即整个流域中上游段降水量变化是一致的。其中中游东部有大值中心。从图 9(b)可以看出,第二特征向量场与第一特征向量场有着明显的差异,中游石鼓段以上及上游均为负值,中游石鼓以下为正值,其中在维西出现一个负值中心,在丽江坝区出现一个正值中心。说明中游石鼓段以上及上游与中游石鼓以下段降水量呈现反相关。

以上分析说明,金沙江流域中上游地区四季降水量中游石鼓段以上及上游大于或小于中游石鼓以下段的降水量,呈南多北少或南少北多的特点,即南北差异是金沙江流域中上游地区四季降水量的第二空间异常类型。第三特征向量场方差贡献率仅占 1.70% (图 9(c))显示,金沙江流域中上游地区空间分布均为负值,第三特征向量场与第一特征向量场有着明显的差异,正好相反。

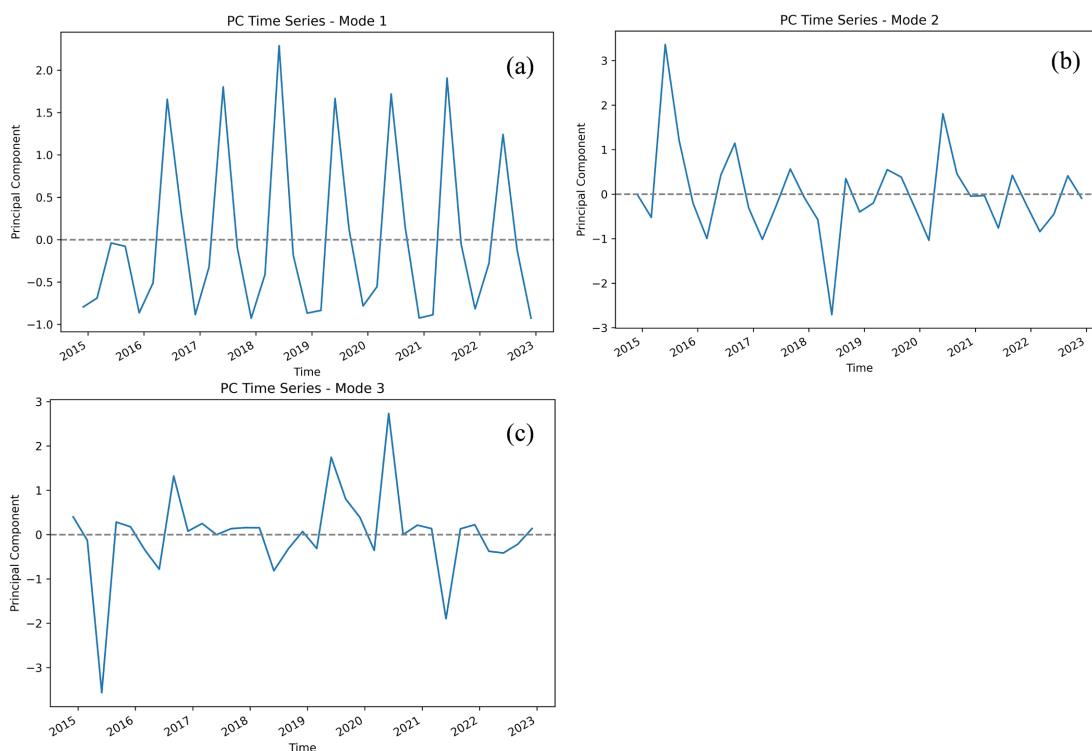


Figure 10. Time coefficients corresponding to the spatial distribution of the first, second and third eigenvectors of EOF decomposition of precipitation in the middle and upper reaches of the Jinsha River Basin

图 10. 金沙江流域中上游地区四季降水量 EOF 分解的第一、二、三特征向量的空间分布对应的时间系数图

时间变化特征 EOF 分析(图 10)能够反映金沙江流域中上游地区四季降水量随时间的变化规律。可以看出第一模态时间系数波动变化最大,变幅介于 $-1.0\sim 2.2$ 之间;第三模态时间系数变化幅度最大,介于 $-3.5\sim 3.0$ 之间,第二模态时间系数变化幅度次之,介于 $-3.0\sim 3.0$ 之间。

分析图 10(a)可以看出:第一时间系数越大,金沙江流域中上游地区该年相应季节的降水量较近十年各季节平均值越大,第一时间系数越小,该年的相应季节的降水量较近十年各季节平均值越小,近 10 年每一年的夏季一模式时间系数均出现极大值,其中 2019 年夏季时间系数出现最大值,近 10 年每一年的冬季第一模式时间系数均出现极小值。由图 10(b)和图 10(c)可以看出第二、第三时间系数都有明显的逐年变化现象,第二时间系数正值越大,其所对应季节金沙江流域中上游地区降水量越接近于 EOF 分解的第二特征向量场分布,即中游多上游少的特点;第二时间系数负值越大,其所对应年份季节降水量越接近于第二特征向量场的反向分布,即南少北多的特点。第三时间系数的变化也有类似的变化,当第三时间系数正值越大,则金沙江流域中上游地区降水量越小,时间系数负值越大,则降水量越大。

5. 结论

- 1) 金沙江流域中上游年降水量空间分布主要是由上游向下游逐渐增加,近 10a 年降水量呈上升趋势。

2) 金沙江流域中上游近 10a 的湿季所在总降水量为全年总降水量的 92%，其降水量与年降水量的空间分布特征相一致，而干季总降水量仅在全年总降水的 8%，呈均匀分布的特征。

3) 金沙江流域中上游四季降水空间分布特征有着明显的差异，夏季降水分布特征与年降水分布特征一致，其中降水量基本集中在夏秋两季，春季呈全区较为一致。

4) 年降水量第一模态空间分布场可以看出全区均为正值，说明降水量变化一致性为金沙江流域中上游地区年降水量变化的主要特征，其中迪庆州南部，丽江市东部地区一带特征值最大，说明在最具代表性的变化中这些地区降水量变化最敏感，即降水量增加最多或减小最少。相应的时间系数表现金沙江流域中上游地区的年平均降水量的近 10 年变化表现为振荡的趋势，最大值出现在 2019 年，由于空间场上均为正值，这一年降水量增加得最多，而 2016 年为负的最大值，在这一年降水量减少得最多。

5) 干湿季降水量第一特征向量方差贡献率高达 92.2%，其空间分布场可以看出全区均为正值，且降水量随着流域走向从上游逐渐向中游增加，特征值大值中心处在中游的东部地区及迪庆东部、丽江东部；上游特征值均较小，其中昌都西部为最小中心。第一模态特征值的分布特征与年降水分布特征较为一致，及说明干湿季降水分布特征主要影响还是由降水系统影响为主要原因。

6) 第一特征向量场空间分布均为正值，且方差贡献比例为 89.91%，说明金沙江流域中上游地区四季降水量具有一致性，即整个流域中上游段降水量变化是一致的。其中中游东部有大值中心。第二特征向量场金沙江流域中上游地区四季降水量中游石鼓段以上及上游大于或小于中游石鼓以下段的降水量，呈南多北少或南少北多的特点，即南北差异是金沙江流域中上游地区四季降水量的第二空间异常类型。

7) 对金沙江流域中上游地区进行近 10 年降水量 EOF 分析中，年降水量前 3 个载荷量的累计方差贡献已经达到 83.47%，且第一模态的方差贡献率就已经达到 68.86%；干湿季降水量前 3 个载荷量的累计方差贡献已经达到 95.77%，且第一模态的方差贡献率就已经高达 92.2%，四季降水量前 3 个模态的方差贡献率其载荷量的累计方差贡献已经达到 93.77%，第一个模态的方差贡献率高达 89.91%。所以近 10 年年、干湿季及四季降水的第一模态已经能较好的表征该变量场的空间分布及时间分布特征。

基金项目

云南省气象局基层台站气象科技创新与能力提升计划项目(STIAP202250)。

参考文献

- [1] 雯雨, 张智涌, 李增永. 金沙江流域近 55a 降水时空分布特征及变化趋势[J]. 人民长江, 2016, 47(18): 39-43.
- [2] 桂炀, 陈杰, 陈启会, 等. 金沙江流域近 50 年气象水文干旱时空变化特征[J]. 人民长江, 2019, 50(11): 84-90.
- [3] 廖宇, 倪长健. 金沙江流域近 47 年降水特征分析[J]. 人民长江, 2011, 42(5): 55-58.
- [4] 刘晓婉, 许继军, 韩志明. 金沙江流域降水空间分布特征及变化趋势分析[J]. 人民长江, 2016, 47(15): 36-44.
- [5] 奚圆圆, 黄晓荣, 李晶晶. 金沙江流域降水量变化特征分析[J]. 人民长江, 2017, 48(23): 50-55.
- [6] 周厚芳. 近 10 年来金沙江石鼓上游 NDVI 时空变化研究[J]. 人民长江, 2012, 43(13): 56-60.
- [7] 薛雨婷, 李谢辉, 王磊, 等. 1976-2017 年西南地区夏季不同等级降水时空变化特征[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(2): 137-145.
- [8] 王雨潇, 孙莹莹, 张天宇, 等. 1998-2020 年三峡库区最大 1h 降水的时空变化特征[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2023, 55(1): 10-18.
- [9] 陈子凡, 王磊, 李谢辉, 等. 西南地区极端降水时空变化特征及其与强 ENSO 事件的关系[J]. 高原气象, 2022, 41(3): 604-616.
- [10] 赵慧霞, 卓莹莹, 刘厚凤. 1961-2019 年黄河流域降水量时空变化特征分析[J]. 人民黄河, 2022, 44(3): 26-31.
- [11] 李勇, 刘秀明, 王世杰. 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.