

大足石刻景区大气降水变化特征研究

骆开怡¹, 杨雯², 何宛玲¹, 韦宪容¹

¹重庆市大足区气象局, 中国气象局气候资源经济转化重点开放实验室, 重庆

²四川省资阳市气象局, 四川 资阳

收稿日期: 2023年12月13日; 录用日期: 2024年1月10日; 发布日期: 2024年1月18日

摘要

利用1958~2022年大足国家基本气象观测站的逐日降水监测数据对大足石刻区域大气降水的变化特征及长期变化趋势进行研究。结果显示: 大足石刻区域年降雨量总体呈增加趋势, 在1960~1979、1990~1999、2010~2019年表现出上升趋势, 在1980~1989、2000~2009年呈减少趋势。月变化呈明显的单峰型, 7月最高, 1月最低。降雨量主要集中在春夏季节, 春季及秋季降水量整体均呈增加趋势, 夏季及冬季降水量呈减少趋势。对大足石刻区域降雨日数小雨 > 中雨 > 大雨 > 暴雨, 但小雨、中雨和大雨日数均呈减少趋势, 暴雨日数呈增加趋势。降水发生率和贡献率均为小雨 > 中雨 > 大雨 > 暴雨。小雨的发生率呈下降趋势, 而中雨、大雨和暴雨均呈现上升的趋势; 小雨、中雨和大雨雨量贡献率均呈略微下降趋势, 暴雨则呈较为明显的上升趋势。

关键词

大足石刻, 降雨量, 变化特征

The Variation Characteristics of Atmospheric Precipitation in Dazu Stone Carvings Area

Kaiyi Luo¹, Wen Yang², Wanling He¹, Xianrong Wei¹

¹Key Laboratory of Economic Transformation of Climate Resources of China Meteorological Administration, Meteorological Bureau of Chongqing Dazu, Chongqing

²Meteorological Bureau of Ziyang City, Ziyang Sichuan

Received: Dec. 13th, 2023; accepted: Jan. 10th, 2024; published: Jan. 18th, 2024

Abstract

Based on the daily precipitation monitoring data of Dazu National Basic Meteorological Observa-

文章引用: 骆开怡, 杨雯, 何宛玲, 韦宪容. 大足石刻景区大气降水变化特征研究[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(1): 96-103. DOI: 10.12677/ccr.2024.131012

tion Station during 1958~2022, the variation characteristics and long-term trend of atmospheric precipitation in Dazu Stone Carving area were studied. The results showed that the annual precipitations showed an increasing trend in 1960~1979, 1990~1999 and 2010~2019, and a decreasing trend in 1980~1989 and 2000~2009. The monthly variation was unimodal, with the highest in July and the lowest in January. The precipitation is mainly concentrated in spring and summer, and the precipitation in spring and autumn shows an increasing trend, while the precipitation in summer and winter shows a decreasing trend. The number of rain days in Dazu Stone Carving area was light rain > moderate rain > heavy rain > rainstorm, but the number of light rain, moderate rain and heavy rain days showed a decreasing trend, and the number of rainstorm days showed an increasing trend. The incidence and contribution rate of precipitation were light rain > moderate rain > heavy rain > rainstorm. The incidence of light rain showed a decreasing trend, while moderate rain, heavy rain and rainstorm showed an increasing trend. The contribution rates of light rain, moderate rain and heavy rain all showed a slightly decreasing trend, while the contribution rates of rainstorm showed a relatively obvious increasing trend.

Keywords

Dazu Stone Carving, Precipitation, Change Characteristics

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

大足石刻是重庆市大足县境内 102 处摩崖造像的石窟艺术的总称, 是世界文化遗产世界八大石窟之一。大足区境内石刻造像星罗棋布, 公布为文物保护单位的摩崖造像多达 75 处, 雕像 5 万余身, 铭文 10 万余字, 其中宝顶山、北山、南山、石篆山、石门山摩崖造像为全国重点文物保护单位。

在现在全球变暖背景下, 极端天气频发, 由于石窟寺在赋存环境、主体构成、建造材料等方面的特殊性, 对气候变化的敏感性会大于其他门类的文化遗产。气候变化不仅会加剧文物损害或损毁的风险, 还会加速文物信息的衰减, 这对石窟寺保护提出新的任务和挑战。随着近年文物保护从抢救性向预防性过渡, 对文物赋存环境中气象因子的关注日益增加[1] [2]。国内外诸多学者对石窟寺的赋存环境中的气象因子开展了诸多卓有成效的研究。例如王亚军等对敦煌莫高窟 87 窟[3]、侯文芳等对莫高窟 217 窟[4]、阎洪彬对云冈石窟[5]、董广强对麦积山石窟[6]的温湿度变化规律做了相关研究; 王颖红等对云冈石窟[7]、杨小菊等[8]、王万福等[9]对敦煌莫高窟的大气污染物做了相关监测分析研究。

大足石刻直接与大气环境紧密依存, 历经千百年的冷暖交替, 风吹日晒, 雨雾侵蚀, 造成了石窟造像岩体风化、失稳、崩塌等病害, 尤其是酸雨、酸雾的影响, 使大足石刻的自然破坏有加强的趋势。为了科学有效地保护大足石刻这一珍贵文化遗产, 对其进行石刻区的大气环境特征研究是十分必要的。大足石刻研究院开展了一系列科学保护工作, 指出在大足石刻气象特征的诸因素中, 水是引起大足石刻风化等损害的最主要因素[10]-[17]。前人在对敦煌莫高窟进行保护研究时也表明水是诱发文物病害发生和发展的主要因素之一[18] [19]。

因此, 本文从大气降水的角度出发, 研究大足石刻区域大气降水的变化特征以及长期变化趋势, 探寻石质文物病害与大气降水的关系, 为大足石刻预防性保护提供理论支撑和科学依据。

2. 数据与资料

由于大足区境内石刻造像空间分布不均,因此选用大足国家基本观测站 1958~2022 年的逐日降水监测数据为基本资料,分析大足石刻区域近 65 年降水量的年际变化、季节变化、月变化以及降水结构的变化特征及长期变化趋势。

3. 结果分析

3.1. 降雨量时间变化特征

3.1.1. 年降雨量变化特征

统计分析结果显示,大足石刻区域年平均降雨量为 1007.3 mm,其中年降雨量最多的年份为 1998 年 1601.3 mm,较历年平均降雨量显著偏高近 6 成;年降雨量最少的年份为 2006 年 639.7 mm,较历年平均降雨量偏低近 4 成。图 1 描绘了大足石刻区域近 65 年来年降雨量随时间的变化趋势。从年降雨量线性变化趋势线来看,该区域降雨量总体呈上升趋势,约为 $4.87 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。对该区域降雨量进行 5 年滑动平均,结果显示该区域年降雨量呈明显的不规则波动状态。从降雨量的年际变化(表 1)来看,该区域降雨量在二十世纪 60~70、90 年代、二十一世纪初 20 年表现出上升趋势,在二十世纪 80 年代以及二十一世纪初 10 年呈下降趋势。

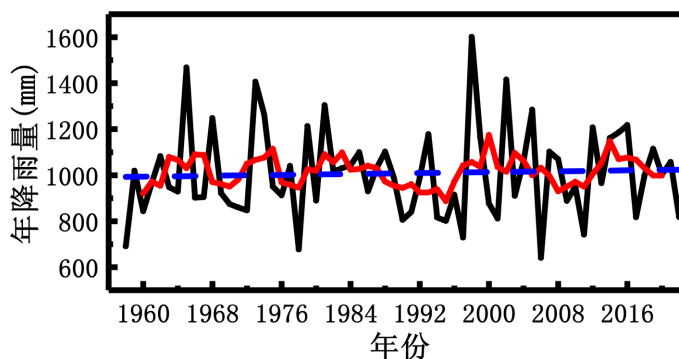


Figure 1. Annual precipitation variation
图 1. 年降雨量变化

Table 1. Interannual variation of precipitation
表 1. 降雨量年际变化

年际	二十世纪 60 年代	二十世纪 70 年代	二十世纪 80 年代	二十世纪 90 年代	二十一世纪初 10 年	二十一世纪初 20 年
变化趋势	上升	上升	下降	上升	下降	上升
趋势系数(mm/年)	13.09	5.68	-4.13	39.2	-1.47	12.76

3.1.2. 降雨量月变化特征

如图 2 所示,近 65 年大足石刻区域月降水量的季节变化为显著的单峰型。降水量从 1 月逐渐增加,在 7 月达到最大(173.5 mm);7 月后,降水量逐渐降低,最小值出现在 1 月,降水量为 16.5 mm。

3.1.3. 降雨量季节变化特征

图 3 描绘了大足石刻区域降雨量的季节分布情况,结果显示,该区域降雨量主要集中在春夏两季,

全年近 8 成的降雨量都来自于春夏季节，其中春季降雨量 346.5 mm，占比 34.4%，夏季降雨量 457.5 mm，占比 45.4%；秋冬季降雨量分别为 117.5 mm (11.7%)、85.8 mm (8.5%)。

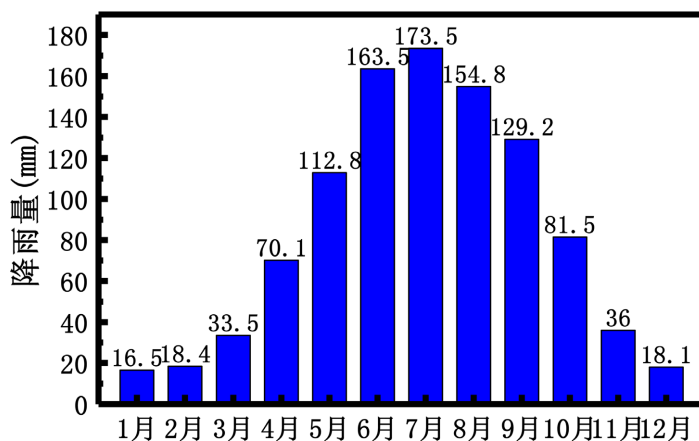


Figure 2. Monthly variation of precipitation
图 2. 降雨量月变化

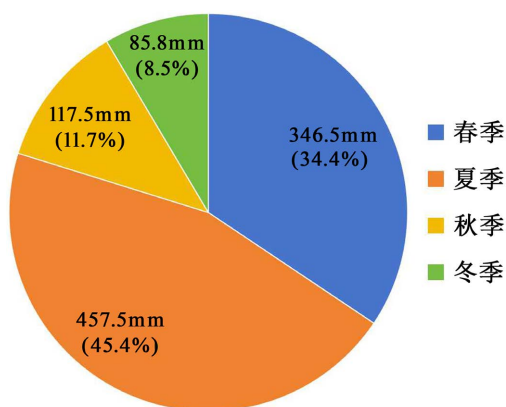
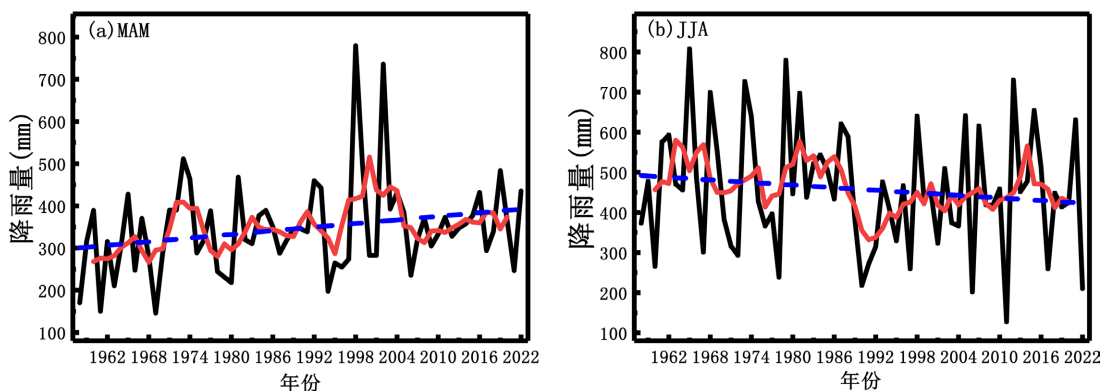


Figure 3. Seasonal distribution of precipitation
图 3. 降雨量季节分布

图 4 描绘了不同季节降雨量随时间的变化，结果显示，春季及秋季降水量整体均呈增加趋势，增加速率分别为 14.33 和 $2.36 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ，以春季降水量增幅较显著；而夏季与冬季降水量总体呈减少趋势，减少速率分别为 -10.74 和 $-0.08 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ，其中夏季降水量减幅更为明显。



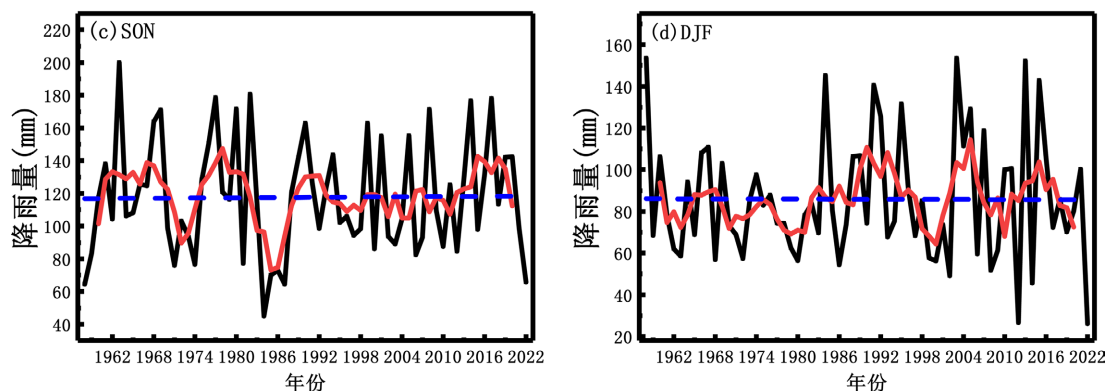


Figure 4. Seasonal precipitation changes
图 4. 四季降雨量变化

3.2. 降水结构变化特征

降水变化特征主要体现在降水总量和降水结构变化两个方面[20] [21]。但是,即使降水总量保持稳定,如果降水结构发生显著改变,仍然会影响大足石刻文物的保存,因为强降水的增加会加速石刻和崖体的劣化,甚至引发区域洪水。降水结构变化主要用各等级降水的日数,发生率和贡献率来表征。

近 65 年来,大足石刻区域有效降雨日数小雨 > 中雨 > 大雨 > 暴雨(图 5)。经计算小雨出现频率为 83.21%,中雨出现频率为 11.16%,大雨出现频率为 3.97%,暴雨出现频率为 1.66%。可见,大足石刻区域降雨的主要类型为小雨,其次是中雨,大雨和暴雨出现的概率极低。

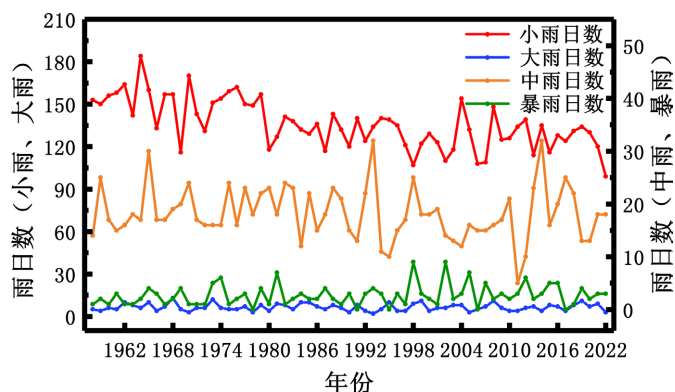


Figure 5. Precipitation days at different levels
图 5. 不同等级降雨日数

从不同等级降水日数的时间变化来看(图 6),发现小雨、中雨和大雨日数均呈减少趋势,趋势系数分别为-0.5867、-0.0344 和-0.0026,而暴雨日数却呈增加趋势,趋势系数为 0.0215。从年降水量随时间变化可知,大足石刻区域年降水量总体呈增加趋势,且暴雨日数逐渐增加,即降水向极端化发展的可能性逐渐增加,很容易导致干旱或极端强降水事件的发生。

从图 7 可知,降水发生率小雨 > 中雨 > 大雨 > 暴雨,分别为 83.21%、11.16%、3.97%、1.66%。降水贡献率小雨 > 中雨 > 大雨 > 暴雨,分别为 30.27%、28.12%、22.4%、19.21%。可见,大足石刻区域,降水类型以小雨为主,小雨对降雨量的贡献率也最大,其次是中雨;由于大雨和暴雨的发生率极低,因此,对降雨量的贡献也相对最小。但是大雨和暴雨的发生率仅占 5.63%,却贡献了 41.61%的降雨量,表明大足石刻区域强降水事件的发生频率虽然不高,但降雨的极端性较强,对石质文物的危害性极大。

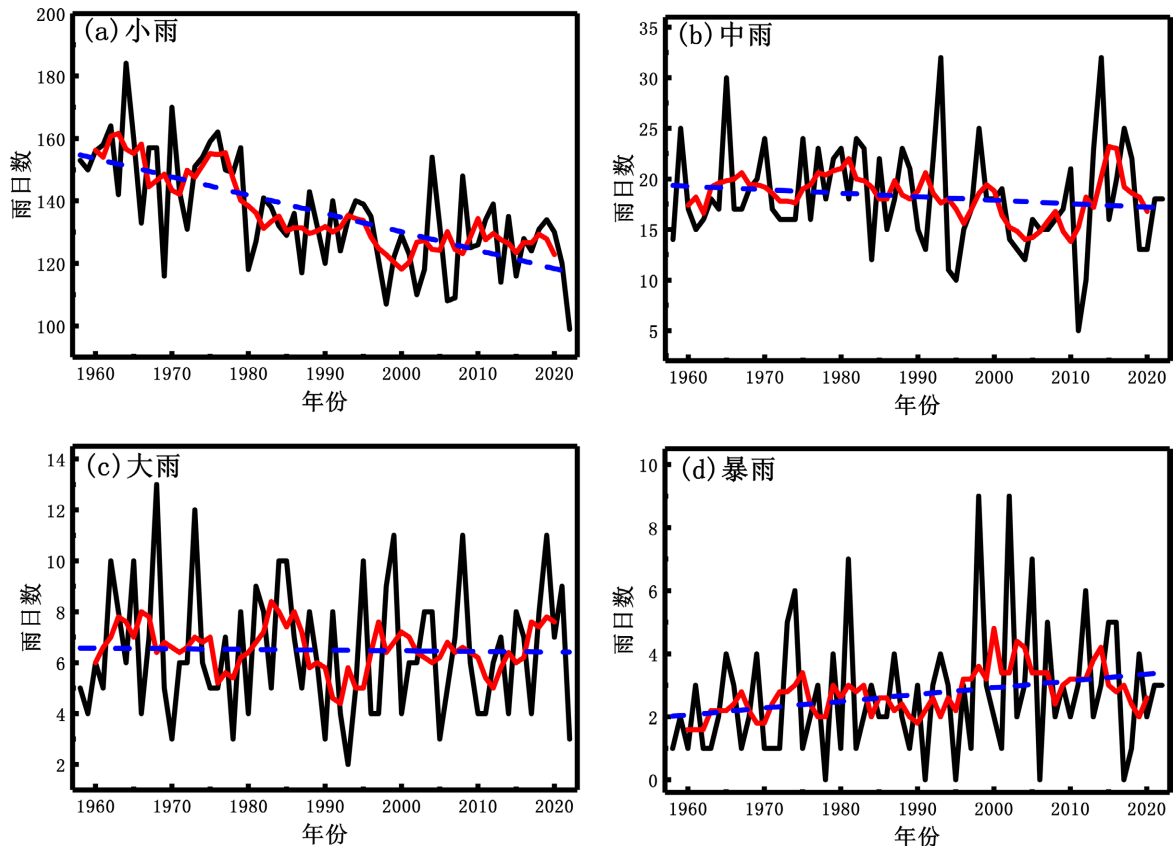


Figure 6. The time-varying of precipitation days at different levels
图 6. 不同等级降雨日数随时间变化

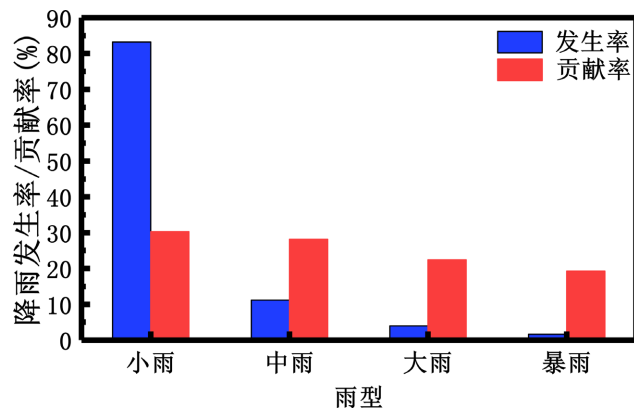


Figure 7. The incidence and contribution rates of precipitation at different levels
图 7. 不同等级降雨的发生率和贡献率

从不同等级降水发生率变化(图 8)发现, 小雨的发生率呈下降趋势, 趋势系数为 -0.051 , 而中雨、大雨和暴雨均呈现上升的趋势, 趋势系数分别为 0.0193 、 0.0127 、 0.0188 。根据不等级降水对年度降水量的贡献率(图 9)可知, 小雨、中雨和大雨雨量贡献率均呈略微下降趋势, 趋势系数分别为 -0.0313 、 -0.0868 和 -0.0157 。暴雨则呈较为明显的上升趋势, 趋势系数为 0.1332 。研究表明, 强降雨是对坡面风化造成侵蚀的主要原因。暴雨的发生率和贡献率都呈上升趋势, 表明近年来强降雨的极端性逐渐增加, 对大足石刻区域文物保护提出了新的任务和挑战。

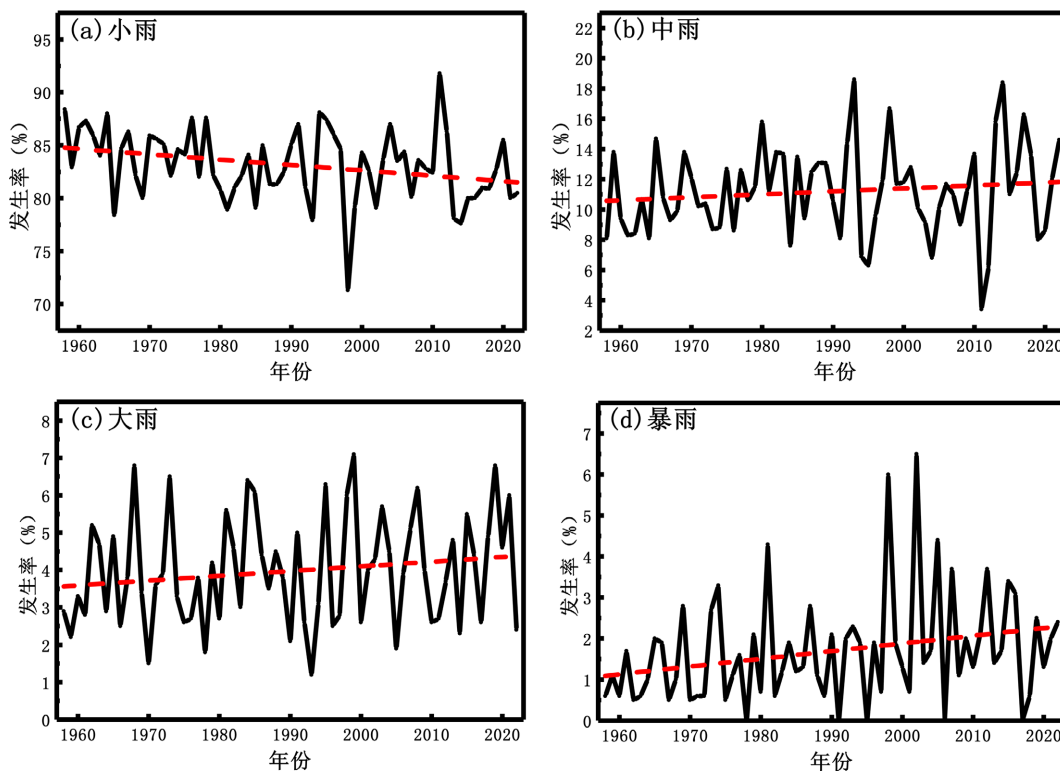


Figure 8. The incidence of precipitation at different levels varies over time

图 8. 不同等级降雨发生率随时间变化

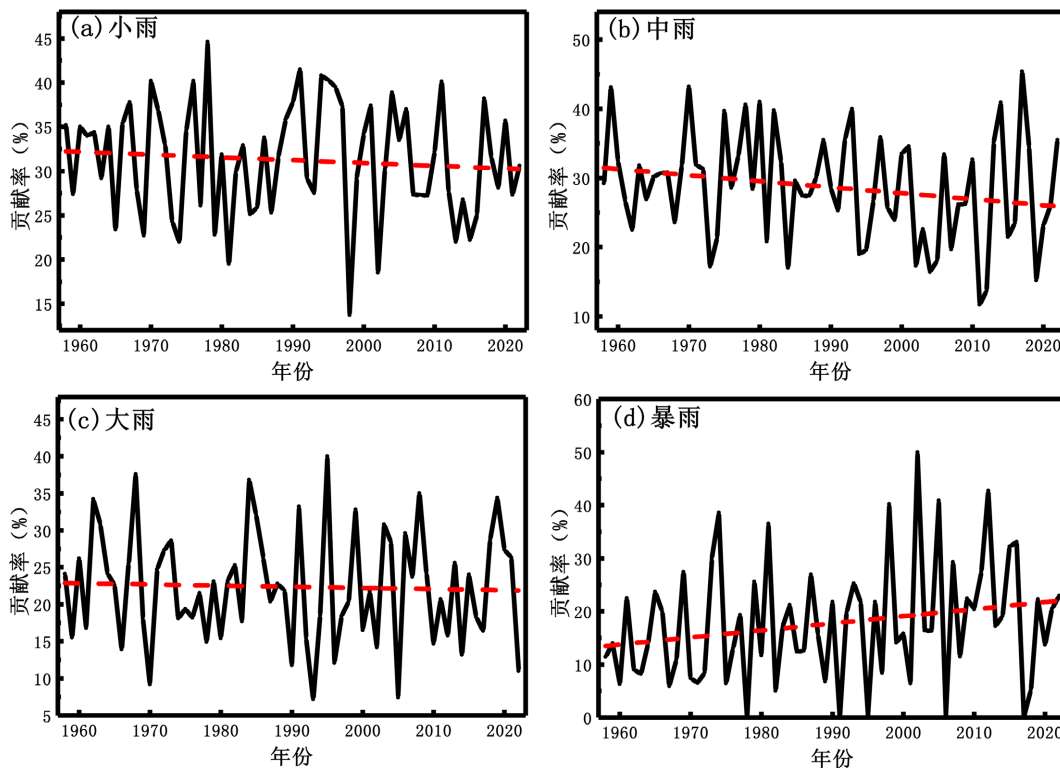


Figure 9. Contribution rates of precipitation at different levels varies over time

图 9. 不同等级降雨贡献率随时间变化

4. 小结

本文利用 1958~2022 年大足国家基本气象观测站的逐日降水监测数据分析大足石刻区域大气降水的变化特征及长期变化趋势, 得出以下结论:

1) 大足石刻区域年降雨量总体呈上升趋势, 但不同时间段变化趋势不同, 在二十世纪 60~70、90 年代、二十一世纪初 20 年表现出上升趋势, 在二十世纪 80 年代以及二十一世纪初 10 年呈下降趋势。月变化呈明显的单峰型, 7 月最高, 1 月最低。降雨量季节分布不均, 全年近 8 成的降雨量都来自于春夏季节; 春季及秋季降水量整体均呈增加趋势, 夏季及冬季降水量呈减少趋势。

2) 对大足石刻区域降水结构变化进行研究发现, 该区域有效降雨日数小雨 > 中雨 > 大雨 > 暴雨, 但小雨、中雨和大雨日数均呈减少趋势, 暴雨日数呈增加趋势。降水发生率和贡献率均为小雨 > 中雨 > 大雨 > 暴雨, 但是大雨和暴雨的发生率仅占 5.63%, 却为全年贡献了 41.61% 的降雨量。小雨的发生率呈下降趋势, 而中雨、大雨和暴雨均呈现上升的趋势; 小雨、中雨和大雨雨量贡献率均呈略微下降趋势, 暴雨则呈较为明显的上升趋势, 表明近年来强降雨的极端性逐渐增加, 对大足石刻区域文物保护提出了新的任务和挑战。

参考文献

- [1] 胡军舰, 贺东鹏, 武发思, 岳永强, 徐博凯. 麦积山石窟第 32 窟内外温湿度比较研究[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(6): 66-72.
- [2] 段育龙, 武发思, 汪万福, 贺东鹏, 马千, 董广强. 麦积山石窟赋存环境中空气细菌的时空分布特征[J]. 微生物学报, 2019, 59(1): 145-156.
- [3] 王亚军, 张艳杰, 郭青林, 杨善龙, 张国彬. 敦煌莫高窟第 87 窟温湿度特征[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2014(1): 1-6.
- [4] 侯文芳, 薛平, 张国彬, 张正模, 王旭东. 莫高窟第 217 窟微环境监测分析[J]. 敦煌研究, 2007(5): 93-97, 121-122.
- [5] 阎宏彬, 黄继忠, 赵新春, 郝临山, 李海. 温度、湿度的变化对云冈石窟保存的影响[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2007, 23(3): 25-29.
- [6] 董广强. 麦积山石窟气象初步观测[J]. 敦煌学辑刊, 2000(1): 78-83.
- [7] 王颖红. 大气污染物(SO₂、NO_x)影响云冈石窟风化的实验室模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学, 2016.
- [8] 杨小菊. 莫高窟 PM₁₀ 浓度与气象要素的关系[J]. 中国沙漠, 2021(6): 54-64.
- [9] 汪万福. 敦煌莫高窟区大气环境成分的监测分析[J]. 高原气象, 2006, 25(1): 164-168.
- [10] 周涛, 邓启兵. 2000 年宝顶石窟气象特征[J]. 文物保护与考古科学, 2002(1): 29-33.
- [11] 黄军朋. 大足石刻卧佛摩崖造像岩体表层风化特征及机理初探[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [12] 陈卉丽, 蒋思维, 席周宽. 大足石刻的气象环境特征[J]. 华夏考古, 2004(1): 55-59.
- [13] 汪东云, 张赞勋, 付林森, 姚金石. 宝顶山石窟卧佛渗水病害形成原因分析[J]. 水文地质工程地质, 1992(3): 25-28.
- [14] 胡振瀛, 范幸义, 朱作荣. 大足石刻保护岩体稳定性预测研究[J]. 地下空间, 1995, 15(4): 267-276.
- [15] 张赞勋, 付林森, 姚金石. 大足石刻砂岩的岩石学特征[J]. 重庆建筑大学学报, 1995, 17(2): 58-62.
- [16] 张兵峰, 蒋思维. 重庆大足石刻大佛湾渗水病害初探[J]. 中国文物科学研究, 2016(1): 68-71.
- [17] 方芳, 方云, 燕学锋. 重庆大足石刻千手观音造像区地下水渗流机制分析[J]. 文物保护与考古科学, 2009, 21(4): 1-44.
- [18] 王旭东, 郭青林, 李最雄, 小泉圭吾, 舛屋直. 敦煌莫高窟洞窟围岩渗透特性研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(10): 3139-3144.
- [19] 刘洪丽. 敦煌莫高窟文物病害与大气降水关系研究[D]: [博士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [20] 宋晓猛, 张建云, 刘九夫, 杨淼. 北京地区降水结构时空演变特征[J]. 水利学报, 2015(5): 525-535.
- [21] 朱永军, 湛忠宇, 刘美丽. 南京地区降水结构时空演变特征[J]. 水资源开发与管理, 2023, 9(6): 33-37, 44.