

湄公河流域降水量时空分布特征分析

马国胤¹, 黎成超^{1*}, 黎文懋¹, 张 冀², 郑春怡¹

¹云南省气象服务中心, 云南 昆明

²老挝南欧江流域发电有限公司, 老挝 万象

收稿日期: 2025年6月2日; 录用日期: 2025年7月2日; 发布日期: 2025年7月9日

摘 要

利用2019~2023年老挝南欧江流域50个站的降水观测资料, 分析了流域降水量的时空变化特征。结果表明: (1) 南欧江流域年平均降水量为1252.7 mm, 呈现北多南少分布, 年降水量主要集中在夏季; 一级至七级流域年平均降水量为双峰型, 三级流域和七级流域为两个波峰, 其中七级流域降水量较其余流域大。(2) 雨季年平均暴雨日数东部流域多, 西部流域少, 二级流域河谷地区是暴雨日数最多的地区。(3) 流域出现暴雨时伴有短时强降水出现的站次占暴雨总站次的57.1%。流域8月伴有短时强降水的暴雨站次最多, 10月最少。(4) 一级流域北部, 二级、三级、四级流域南部, 五级、七级流域东部雨季各站暴雨日中出现短时强降水的占比均在80%以上。(5) 海拔500 < H ≤ 1000 m区间流域累计暴雨站次最多, 500 < H ≤ 1000 m海拔区域内的累计暴雨站次最少, 但伴有短时强降水的暴雨站次占总暴雨站次的比例最大。

关键词

老挝, 南欧江流域, 降水量, 时空分布, 暴雨, 短时强降水

Analysis of Spatiotemporal Distribution Characteristics of Precipitation in the Mekong River Basin

Guoyin Ma¹, Chengchao Li^{1*}, Wenmao Li¹, Ji Zhang², Chunyi Zheng¹

¹Yunnan Meteorological Service Center, Kunming Yunnan

²Lao Nam Ngam Hydropower Company Limited, Vientiane, Laos

Received: Jun. 2nd, 2025; accepted: Jul. 2nd, 2025; published: Jul. 9th, 2025

Abstract

Using the precipitation observation data from 50 stations in the Nam Ou River basin in Laos from

*通讯作者。

文章引用: 马国胤, 黎成超, 黎文懋, 张冀, 郑春怡. 湄公河流域降水量时空分布特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(4): 640-647. DOI: 10.12677/ccrl.2025.144063

2019 to 2023, the spatial and temporal variation characteristics of precipitation in the basin were analyzed. The results showed that: (1) The annual average precipitation in the Nam Ou River basin is 1252.7 mm, with a distribution of more precipitation in the north and less in the south, and the annual precipitation is mainly concentrated in summer; The annual average precipitation of the first to seventh-level basins is bimodal, with two peaks for the third-level and seventh-level basins, with the seventh-level basin having a higher precipitation than the other basins. (2) In the rainy season, the average number of rainstorm days is higher in the eastern basin and lower in the western basin. The valley area of the secondary basin has the highest number of rainstorm days. (3) The number of stations with short-term heavy precipitation during rainstorms in the basin accounted for 57.1% of the total number of rainstorms. The number of rainstorm stations with short-term heavy rainfall in the basin is the highest in August and the lowest in October. (4) In the northern part of the first-level basin, the southern part of the second-, third-, and fourth-level basins, and the eastern part of the fifth- and seventh-level basins, the proportion of short-term heavy precipitation in rainstorm days at each station during the rainy season is over 80%. (5) The number of accumulated rainstorm stations in the basin with an altitude of $500 < H \leq 1000$ m is the largest, while the number of accumulated rainstorm stations in the area with an altitude of $500 < H \leq 1000$ m is the smallest, but the proportion of rainstorm stations with short-term heavy precipitation to the total number of rainstorm stations is the largest.

Keywords

Laos, The Nam Ou River Basin, Precipitation, Spatiotemporal Distribution, Rainstorm, Short Term Heavy Precipitation

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. 引言

老挝南欧江为湄公河左岸老挝境内最大一级支流，发源于中国云南江城县与老挝丰沙里省接壤的边境山脉一带，纵贯整个老挝北部，河流流向自北向南。全河流域面积 25,634 km²，河长 475 km，从源头至北乌的落差达 1000 m，山地气候明显，暴雨时空分布不均，河道水位暴涨暴落极为常见[1]-[3]。老挝南欧江流域梯级水电开发，是老挝北部电力能源基地的“骨干”电源和中老电能合作领域的重要窗口，电站总装机容量为 1272 MW，截至 2023 年 6 月，南欧江水电站电力供应占老挝当前全国用电量 30%以上[2]-[6]。

降水是河流径流的重要来源，对流域内降水特征的分析不仅可以帮助预测径流和发电潜力，还能支持防洪调度和水库管理。许多学者对国内不同流域的降水时空分布特征进行了研究。苏恒等基于西江流域 1970~2017 年逐日降水数据，采用滑动平均、Mann-Kendall 趋势检验、小波变换等方法分析了流域降水时空演变特性[7]。徐舒扬等利用金沙江流域 2011~2022 年观测数据集，对极端小时降水时空变化特征进行分析，结果与近 10 年实际数据相比对，表明降水特征对蓄水调度和风险管控有一定的应用价值[8]。谢雅洁和刘敏基于 2001~2020 年的 GPM-IMERG 卫星数据，对太湖流域降雨进行年、月、日尺度的时空分布分析，并采用随机移置暴雨法对太湖流域内防洪形势严峻的杭嘉湖区进行暴雨频率分析，研究成果可对太湖流域防洪减灾提供参考[9]。邵晓梅等采用 1960~2000 年黄河流域资料和 Kriging 插值方法，对黄河流域降水时空结构及其变化特征进行了分析，研究结果对了解黄河流域水资源演变具有十分重要的意义[10]。盛茂刚等以大沽河流域内及周边 1952~2011 共 60 年的逐日降水资料，分析了大沽河流域降水量的时间和空间分布特征[11]。

目前, 因湄公河流域实况资料缺乏, 因此针对湄公河流域降水特征的分析研究较少。本文基于 2019~2023 年老挝南欧江流域 50 个雨量站逐日、逐小时的降水观测资料, 采用统计和空间插值方法开展流域降水量时空分布特征, 对于境外水电站的科学运营具有重要意义。

2. 资料和方法

根据南欧江流域水系分布及电站梯级建设情况(“一库七级”方案, 从下游至上游依序为一级至七级), 将流域的 DEM 数据在 ARCGIS10.8 的水文分析中分为七个子流域, 即研究区域包含流域区和一至七级流域分区。降水量资料为 2019~2023 年南欧江流域 50 个站的降水量观测资料, 并对数据进行了质量控制。

南欧江流域暴雨和短时强降水的定义和量级采用中国标准[12](表 1)。

Table 1. The definition of rainstorm standards and short-term heavy precipitation in the Nam Ou River basin

表 1. 南欧江流域暴雨标准和短时强降水名词定义

名称	定义
暴雨	24 h 降水量 ≥ 50.0 mm
短时强降水	1 h 降水量 ≥ 20.0 mm
某站的暴雨日数	该站日降水量达到暴雨标准的降雨日数
暴雨站次	流域内达到暴雨标准的站次
伴有短时强降水的暴雨站次	该站达到暴雨标准时, 同时出现短时强降水的暴雨站次

3. 结果分析

3.1. 南欧江降雨量特征分析

3.1.1. 年降雨量空间分布

2019~2023 年南欧江流域年平均降水量北多南少(图 1), 且四级至七级流域年降水量显著多于其余流域, 三级及以上流域的年均降水量在 1200 mm 以上, 占全流域年平均降水量的 76.2%, 七级流域年降水量在 1500 mm 以上, 占全流域年平均降水量的 26.9%; 东部流域总体比西部流域年平均降水量更多。

3.1.2. 年降雨量变化特征

2019~2023 年南欧江流域年平均降水量为 1252.7 mm, 年平均降水量在 1033.6 mm (2019a)~1451.1 mm (2022a)之间; 2019 年至 2022 年降水量呈逐年增加趋势, 2022 降水量为最大, 2023 年降水量又有所减少(图 2(a))。分流域来看, 2019~2023 年各流域年平均降水量在 1102.4 mm (一级)~1379.9 mm (七级)之间, 一级至七级流域年平均降水量为双峰型, 三级流域和七级流域为两个波峰, 其中七级流域降水量较其余流域大(图 2(b))。

3.1.3. 降水量月际变化特征

综合表 2 以及图 3 得知, 2019~2023 年南欧江流域月平均降水量为单峰值型, 峰值区主要集中在夏季; 月降水量最大值集中在夏季的三级、七级流域; 月降水量最小值主要集中在冬季的一级、二级流域; 南欧江流域平均月降水量峰值为 8 月, 8 月各流域平均月降水量由大到小排名为: 七级、三级、五级、二级、六级、一级、四级。2019~2023 年雨季降水量占全年降水量的 71.1%, 可见降水主要集中在雨季, 下一节将对雨季降水量作进一步分析。

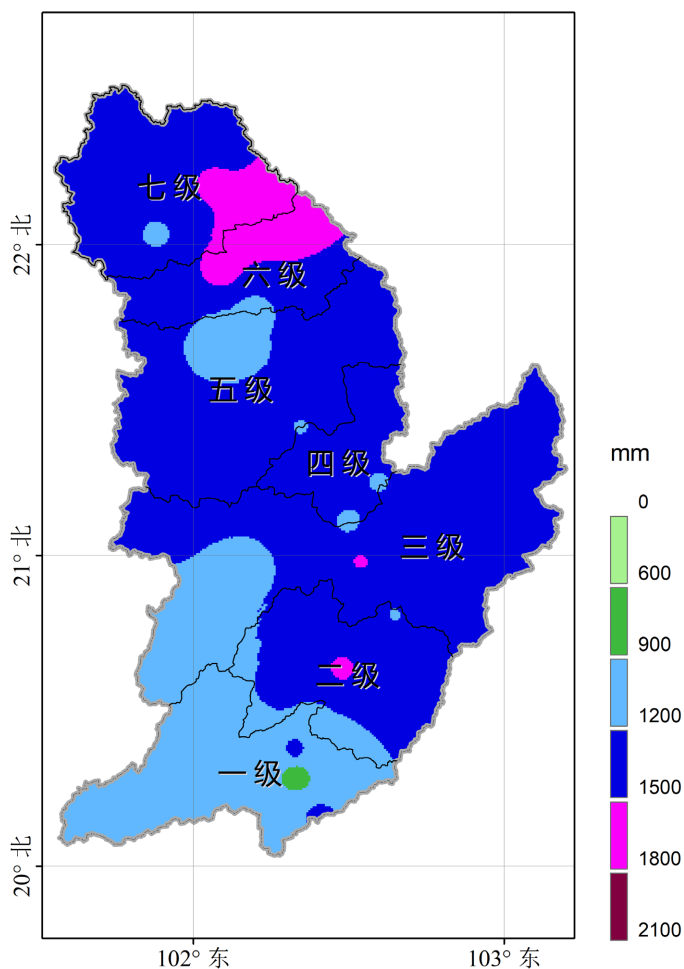


Figure 1. Distribution map of annual average precipitation in the Nam Ou River basin (unit: mm). Note: This map is based on the standard map with the approval number GS(2023)2762 downloaded from the Ministry of Natural Resources Standard Base Map Service website, and the base map has not been modified

图 1. 南欧江流域年平均降水量分布图(单位: mm)。注: 该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2023)2762 号的标准地图制作, 底图无修改

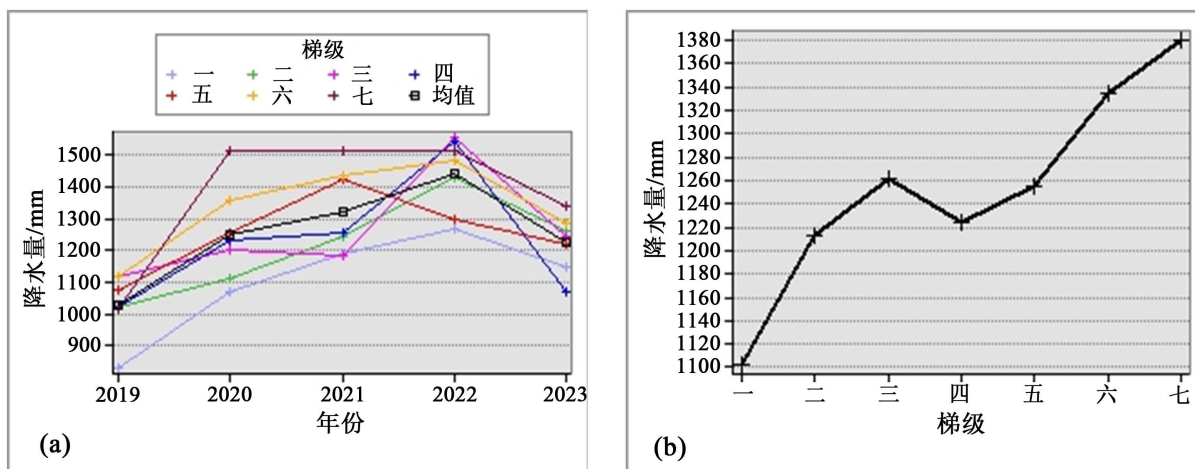


Figure 2. Trend chart of annual average precipitation in the Nam Ou River basin from 2019 to 2023: (a) by year; (b) by cascade

图 2. 2019~2023 年南欧江流域年平均降水量趋势图: (a) 按年份; (b) 按梯级

Table 2. Maximum and minimum monthly precipitation values in the Nam Ou River basin, as well as the months in which they occur

表 2. 南欧江流域月降水量最大值、最小值以及所在月份

年	最大值			最小值		
	所在流域(级)	月份(月)	降水量(mm)	所在流域(级)	月份(月)	降水量(mm)
2019	三	7	2666.0	一、四	11	4.0
2020	七	8	4559.5	一、二	1、12	0
2021	七	7	3812.0	三	12	6.0
2022	三	8	2883.0	二	12	40.5
2023	七	8	3736.0	二	1	0

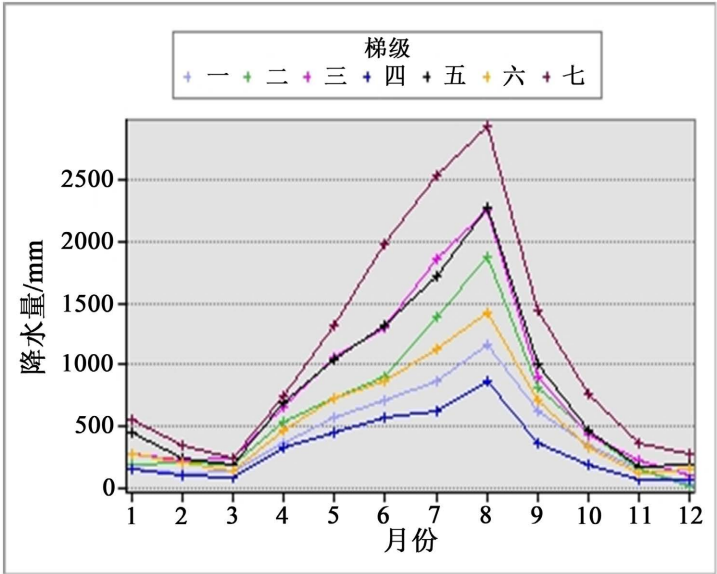


Figure 3. Changes in monthly average precipitation in the Nam Ou River basin from 2019 to 2023
图 3. 2019~2023 年南欧江流域月平均降水量变化

3.2. 南欧江雨季强降水分析

南欧江流域地处中南半岛中北部，属于典型的热带季风气候。南欧江流域降水的主要水汽来源是西南方向的孟加拉湾和东南方向的南海北部湾暖湿气流[13]，降水主要出现在 5 月至 10 月之间，5 月至 10 月为雨季[4]。对南欧江流域雨季降水量进行研究分析，可以为汛期安全度汛提供重要参考。

3.2.1. 雨季暴雨和短时强降水的空间分布

从 2019~2023 年雨季南欧江流域各站年平均暴雨日数分布可以看出(图 4(a))，南欧江各流域平均暴雨日数的分布不均，二级流域南巴河站是年平均暴雨日数最多的站点，可达 5.4 d/a；六级流域小困弄站和七级流域小栗树站年平均暴雨日数次之，为 4.4 d/a。年平均暴雨日数在 4.0 d/a 以上的占比 11.8%，2.0~4.0 d/a 的占比为 66.4%，0~2.0 d/a 的占比 21.8%。从 2019~2023 年雨季南欧江流域各站暴雨日中短时强降水占比的空间分布可以看出(图 4(b))：四级流域南部至一级流域北部暴雨过程中出现短时强降水出现的比例较大；一级流域北部，二、三、四级流域南部，五、七级流域东部雨季各站暴雨日中出现短时强降水的占

比均在 80%以上, 其中有 4 个站点的比例为 100%; 雨季各站暴雨日中出现短时强降水的占比为 60%以上的站点占到了全站点的 70%, 暴雨日中出现短时强降水的占比为 20%~60%的站点占到了全站点的 30%。

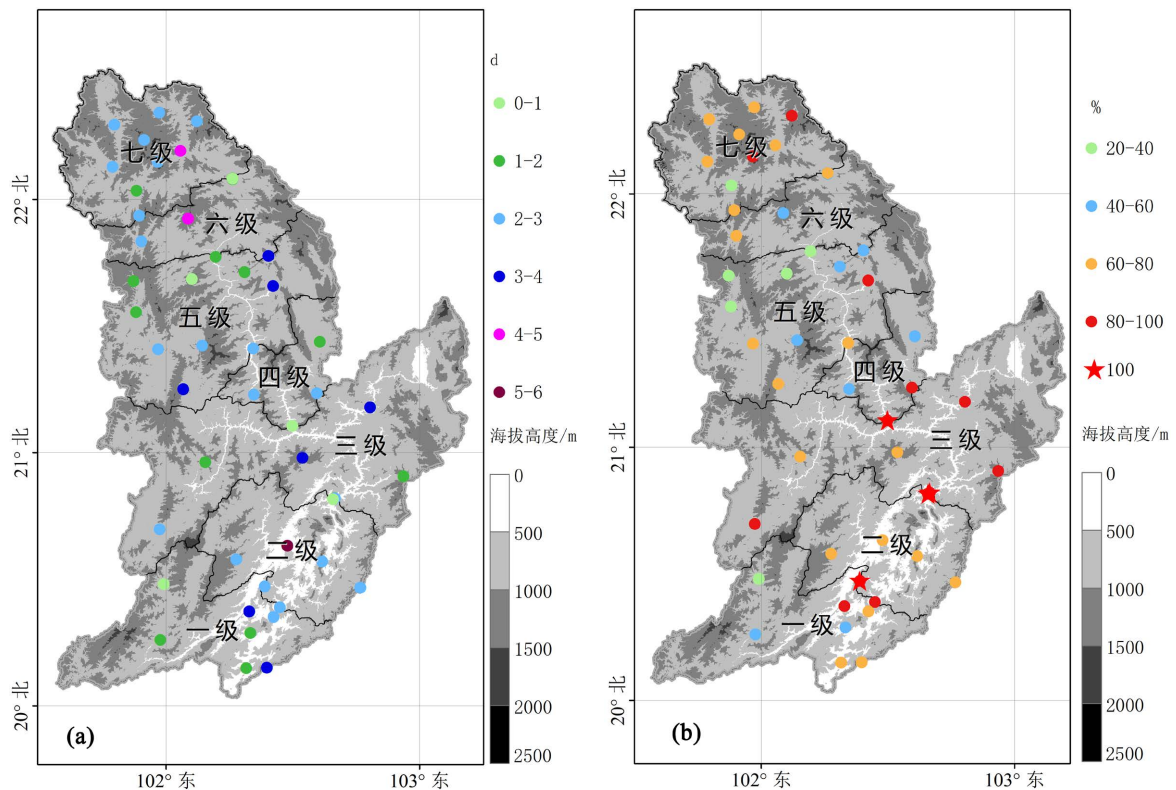


Figure 4. Distribution of annual average rainstorm days at each station in the Nam Ou River basin in the rainy season 2019-2023 (a) and the proportion of short term heavy rainfall in rainstorm days (b). Note: This map is based on the standard map with the approval number GS(2023)2762 downloaded from the Ministry of Natural Resources Standard Base Map Service website, and the base map has not been modified

图 4. 2019~2023 年雨季南欧江流域各站年平均暴雨日数分布(a)及暴雨日中短时强降水占比(b)。注: 该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2023)2762 号的标准地图制作, 底图无修改

表 3 给出南欧江流域不同海拔(H)区间的暴雨站数/站次和短时强降水分布, 可以看出: 28.0%的观测站点(14 个)分布在 $1000 < H \leq 1500$ m 的区域, 累计暴雨站次 185 次, 平均每站出现暴雨 13.2 次; 42.0%的观测站点(21 个)分布在 $500 < H \leq 1000$ m 的区域, 累计暴雨站次 238 次, 平均每站出现暴雨 11.3 次; 30.0%的观测站点(15 个)分布在 $H \leq 500$ m 的区域, 累计暴雨站次 181 次, 平均每站出现暴雨 12.1 次。三个海拔区间伴有短时强降水的暴雨站次占总暴雨站次的比例均在 60%以上, 说明南欧江流域站点出现暴雨时常伴有强对流系统造成的短时强降水, 其中南欧江流域海拔 $500 < H \leq 1000$ m 区间累计暴雨站次最多, $500 < H \leq 1000$ m 海拔区域内的累计暴雨站次最少, 但伴有短时强降水的暴雨站次占总暴雨站次的比例最大。

3.2.2. 雨季暴雨和短时强降水的时间变化

分析 2019~2023 年南欧江流域雨季暴雨站次的年际和月际分布(图略)可以得知: 雨季共出现 604 站次暴雨; 平均每年雨季 143.2 站次暴雨。南欧江流域暴雨站次出现最多的年份为 2021 年(175 站次), 最少为 2019 年(129 站次), 二者相差 46 站次。从南欧江流域暴雨站次的月变化可以看出(图略), 暴雨站次出现最多的月份为 8 月, 最少的月份为 10 月。

Table 3. Distribution of rainstorm stations, rainstorm stations and short-time heavy precipitation in different altitudes (H) in the rainy season of the Nam Ou River basin from 2019 to 2023

表 3. 2019~2023 年雨季南欧江暴雨站数、暴雨站次和短时强降水在不同海拔区间(H)的分布

H/m	站数/个	出现过暴雨的站数/个	累计暴雨站次/次	每站出现暴雨站次/次	伴有短时强降水的暴雨站次/次	伴有短时强降水的暴雨站次占总暴雨站次的比例/%
1000 < H ≤ 1500	14	14	185	13.2	117	63.2
500 < H ≤ 1000	21	21	238	11.3	151	63.4
H ≤ 500	15	15	181	12.1	143	79.0

为了研究南欧江雨季暴雨日中短时强降水的分布特征,本文分别统计了 2019~2023 年伴有短时强降水的暴雨站次占比。由图 5(a)可知,南欧江流域平均每年有 82.2 站次暴雨中伴有短时强降水,每年暴雨中出现短时强降水的站次占暴雨总站次的比例为 57.1%。2021 年伴有短时强降水的暴雨站次最多(105 站次),2023 年伴有短时强降水的暴雨站次占总暴雨站次的比例最高(64.7%);2020 年伴有短时强降水的暴雨站次和其占比均为最少(64 站次、47.8%)。从逐月分布可以看出(图 5(b)),南欧江流域 8 月伴有短时强降水的暴雨站次最多(123 站次),10 月最少(24 站次);但 10 月伴有短时强降水的暴雨站次占总暴雨站次的比例最高(96.0%),5 月最少(59.1%)。

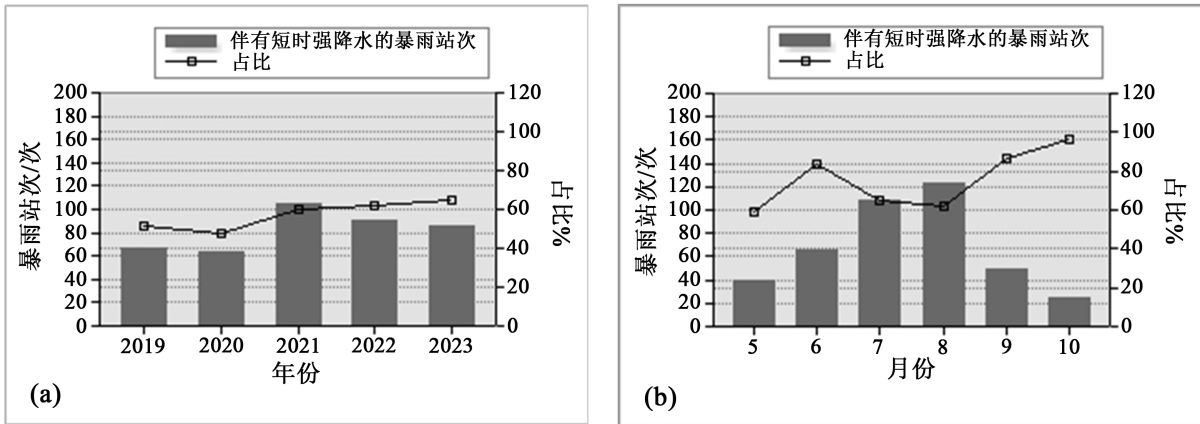


Figure 5. Annual variation (a) and monthly variation (b) of the proportion of rainstorm stations with short-term heavy rainfall in the rainy season of the Southern European River Basin from 2019 to 2023

图 5. 2019~2023 年南欧江流域雨季伴有短时强降水的暴雨站次其占比的年变化(a)及月变化(b)

4. 结论和讨论

通过分析南欧江流域 2019~2023 年降水量的时空分布特征,得到以下结论:

- (1) 2019~2023 年南欧江流域年平均降水量为 1252.7 mm, 年平均降水量在 1033.6 mm (2019a)~1451.1 mm (2022a)之间。从年际变化趋势来看,南欧江流域降雨量总体呈现降水量增加趋势。
- (2) 2019~2023 年南欧江一级流域到七级流域年降水量呈现北多南少趋势,总体上,一级流域到七级流域年平均降水量逐级递增。各梯级年平均降水量在 1102.4 mm (一级)~1379.9 mm (七级)之间,一级至七级流域年平均降水量为双峰型,三级流域和七级流域为两个波峰。
- (3) 南欧江流域暴雨日呈东部流域多,西部流域少的特征,二级流域河谷地区是暴雨日数最多的地区,年平均暴雨日数可达 5.4 d/a。雨季共出现 604 站次暴雨;平均每年雨季出现 143.2 站次暴雨。

(4) 南欧江流域出现暴雨时伴有短时强降水出现的站次占暴雨总站次的比例为 57.1%。从逐月分布可知, 南欧江流域 8 月伴有短时强降水的暴雨站次最多, 10 月最少。

(5) 一级流域北部, 二级、三级、四级流域南部, 五级、七级流域东部雨季各站暴雨日中出现短时强降水的占比均在 80%以上。三个海拔区间伴有短时强降水的暴雨站次占总暴雨站次的比例均在 60%以上, 其中南欧江流域海拔 $500 < H \leq 1000$ m 区间累计暴雨站次最多, $500 < H \leq 1000$ m 海拔区域内的累计暴雨站次最少, 但伴有短时强降水的暴雨站次占总暴雨站次的比例最大。

本文填补了老挝南欧江流域降水特征分析研究的空白, 研究成果可应用于湄公河流域水资源利用与气候变化、预报预测、流域水文、流域水资源管理以及防灾减灾。随着后续气象服务的持续和深入, 下一步将继续积累长时间序列的实况资料, 从空间、趋势、突变等方面开展对湄公河流域降水量变化趋势的进一步分析。

基金项目

中国气象局创新发展专项(CXFZ2025Q011); 云南省气象局青年科技创新团队《大湄公河流域水力资源评估及预测关键技术研究》(2022QN02); 云南省气象局科研项目(YZ202508)基于机器学习的湄公河流域模式降水订正; 云南省气象局科研项目(YZ202327)老挝南欧江流域强对流预报技术研究。

参考文献

- [1] 喻建清, 蔡斌, 汤献良, 等. 老挝南欧江流域梯级水电站开发综述[J]. 水力发电, 2016, 42(5): 29-32.
- [2] 国家开发银行云南省分行课题组, 洪正华, 钟书俊. 开发性金融在境外基础设施建设项目中的引领作用——基于老挝南欧江全流域梯级电站开发项目的案例研究[J]. 开发性金融研究, 2017, 11(1): 90-96.
- [3] 王翠柏, 杨开斌, 张世春, 等. 基于格点的面雨量算法在老挝南欧江流域的应用[J]. 科技创新与应用, 2019(33): 169-170.
- [4] 张毅. 数值预报在老挝南欧江水情系统中的应用[J]. 云南水力发电, 2022, 38(12): 288-290.
- [5] 王晓东. 老挝南欧江流域梯级水电站一体化管理[J]. 水电站机电技术, 2023, 46(4): 146-149.
- [6] 盛玉明. 海外 BOT 项目全生命周期管控模式——以老挝南欧江流域梯级水电开发项目为例[J]. 施工企业管理, 2017(9): 49-50.
- [7] 苏恒, 徐宗学, 李鹏, 等. 1970-2017 年西江流域降水特性分析[J]. 水力发电学报, 2021, 40(6): 51-61.
- [8] 徐舒扬, 王汉涛, 赵南山, 等. 金沙江下游某水电站坝区降水特征分析[J]. 灾害学, 2024, 39(4): 174-178.
- [9] 谢雅洁, 刘敏. 太湖流域降雨时空特征与暴雨频率分析[J]. 中国防汛抗旱, 2025, 35(1): 24-30.
- [10] 邵晓梅, 严昌荣, 魏红兵. 基于 Kriging 插值的黄河流域降水时空分布格局[J]. 中国农业气象, 2006(2): 65-69, 75.
- [11] 盛茂刚, 黄修东, 左林远, 等. 大沽河流域近 60 年降水量时空变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(2): 65-68.
- [12] 杨霞, 周鸿奎, 赵逸舟, 等. 新疆夏季暴雨精细化特征分析[J]. 气象, 2021, 47(12): 1501-1511.
- [13] 卜慧, 邵骏, 欧阳硕, 等. 改进 SCS 模型在老挝南乌河流域中的应用[J]. 人民长江, 2018, 49(22): 88-92, 99.