

彭舒筱,李丽芳,刘艳群等.北江流域中上游龙舟水期间降水分析(1966—2025)[J].人民珠江,DOI:10.3969/j.issn.1001-9235.XXXX.XX.001.

北江流域中上游龙舟水期间降水分析(1966—2025)

彭舒筱^{1,2},李丽芳^{1,2},刘艳群^{1,2*},黄观荣^{1,2},王敏^{1,2}

(1.广东省韶关市气象局,广东 韶关 512028;2.南岭生态气象与卫星遥感应用工程技术研究中心,广东 韶关 512028)

摘要:在全球气候变化背景下,探究北江流域中上游“龙舟水”(5月21日至6月20日)降水系统的时空演变特征,为区域防洪减灾提供科学依据。基于1966—2025年流域中上游13个国家气象站的逐日降水数据,采用线性趋势分析、Mann-Kendall检验、小波分析等方法,对龙舟水期间的降水变化特征进行分析。①空间分布上,北江流域中上游龙舟水期间降水呈现“高频一致、强度不均”的空间格局,其中佛冈站平均降水量最高(466 mm);②时间演变上,最大1日降水量趋势区域差异明显,而最大3日与5日降水量呈广泛且显著的增强趋势;③龙舟水降水量变化存在显著的年代际振荡,主要受11.0年周期调控,与太阳活动周期相近。北江流域中上游的防洪工作需要做好长历时、区域性的累积型暴雨的预警和防御。

关键词:龙舟水;极端降水;时空演变;小波分析;北江流域

中图分类号: 文献标识码: 文章编号:1001-9235(XXXX)XX-0001-10

中国民间有端午节赛龙舟的习俗。此期间南方暖湿空气活跃,北方冷空气南下,冷暖空气交汇,广东省往往会出现大而集中的降水。加上4月以后,雨水明显增多,江河水位已经较高,极易引发洪涝灾害。民间把农历五月初五端午节前后的较大降水过程称为“龙舟水”(5月21日至6月20日)^[1]。该时段降水强度大、持续时间长,且前期江河水位偏高,易导致流域性洪水、城市内涝及山体滑坡等次生灾害,是华南地区防灾减灾的关键期。北江流域作为珠江流域第二大水系,地形以北高南低为主,上游(韶关、清远)地势陡峻,中游河道顺直,出飞来峡后地势渐趋平坦,河床开阔,汇入珠江三角洲^[2],洪水多发生于5—7月^[3]。中、北部地区前汛期降水量约占全年降水量的40%~50%^[1]。龙舟水期间的降水特征直接影响北江干流洪峰形成,并对下游

粤港澳大湾区核心城市的防洪安全与社会经济稳定具有决定性影响^[4]。在全球气候变暖背景下,极端降水事件频发强发,系统揭示龙舟水期间降水演变规律对流域防灾减灾与可持续发展具有重要意义。

国内外学者在极端降水研究方面已取得丰硕成果^[5-6]。例如,安鑫等^[7]研究了滹沱河流域极端降水的时空特征及遥相关驱动力,揭示了北大西洋年代际振荡(AMO)的关键影响;王进等^[8]利用澳门百年长序列资料,刻画了龙舟水降雨量的多尺度周期和突变特征。针对北江流域,已有研究在洪水风险区划(陈丕翔等^[2])、枯季径流极值分析(曾志平等^[9])及特大洪水调查(王京晶等^[4])等方面奠定了重要基础。然而,现有研究大多围绕流域年尺度或全汛期展开(刘占明等^[10]),侧重于分析水文要素

基金项目:广东省气象局科技项目(GRMC2023M45);广东省基础与应用基础研究基金气象联合基金(2024A1515510034)

收稿日期:2025-12-31 修回日期:2026-03-20

作者简介:彭舒筱(2000—),女,主要从事农业气象服务、气候变化等工作。

通信作者:刘艳群(1974—),女,硕士,高级工程师,主要从事气候变化、卫星遥感应用和气象服务技术研究等工作。

联系作者:致信 rmzj@pearlwater.gov.cn,由期刊转接。

(如土壤含水量)对流域的影响(张康涛等^[11]),针对北江中上游“龙舟水”这一特定高风险时段^[12],开展不同历时(1、3、5日)极端降水指标时空演变特征的研究仍相对缺乏。

从流域防洪工程角度,一次连续降雨(3~5 d)所形成的洪水过程一般历时约7~20 d^[13],因此统计分析龙舟水期间不同历时(1、3、5日)的最大累计降水量对防洪规划、工程设计与实时调度具有重要支撑作用。本研究以北江流域中上游为研究区域,基于1966—2025年共60年的逐日降水数据,聚焦龙舟水时段,选取总降水量、降水强度以及Rx1day、Rx3day、Rx5day等关键指标,综合运用趋势检验、突变检测、小波分析等方法,旨在:①揭示龙舟水极端强度与持续性的时间演变趋势与突变特征;②刻画极端降水风险的空间分布格局及变化“热点”。研究结果将为北江流域中上游应对龙舟水极端灾害风险提供更精细化的决策依据。

1 研究区概况及数据

1.1 研究区概况

北江是珠江流域第二大水系,发源于江西省信丰县,干流全长468 km,流经韶关、英德、清远主城区以及广州、佛山、肇庆等粤港澳大湾区城市^[4]。本研究聚焦北江流域的中上游地区,地理范围约为东经112°~114.5°,北纬23.5°~25.5°,涵盖韶关市大部和清远市中北部。流域地势北高南低,以山地、丘陵为主,属亚热带季风气候,雨量丰沛,多年平均降水量为1 514.2~2 173.5 mm。在龙舟水期间,该区域的多年平均降水量为235.1~457.1 mm,此时段暖湿气流与南下冷空气在此交汇,加之地形抬升,易形成持续性暴雨,是流域洪涝灾害的主要致灾期。1961—2022年华南区域“龙舟水”强度年景指数以1.2/10a的速率显著上升^[14]。

1.2 数据来源

研究采用北江流域中上游及周边共13个国家气象站1966年1月1日至2025年12月31日的逐日降水量数据。数据来源于广东省气候中心和广东省韶关市气象局,经过严格的质量控制。龙舟水时

段界定为每年5月21日至6月20日,共31天。

2 研究方法

2.1 极端降水指标定义

世界气象组织气候委员会■世界气候研究计划及海洋气象学联合技术委员会联合成立的气候变化检测和指标专家组(ETCCDI)确定了27个具有代表性和全球适用性的极端气候指标^[15-16]。本文基于流域内及周边13个气象站点1966—2025年日降水数据,结合世界气象组织通用指标和北江流域中上游“龙舟水”的气候特征,选取并构建了5项极端降水指标,具体定义如下。

a)龙舟水总降水量:龙舟水期间所有日降水量的总和,mm。

b)龙舟水平均降水强度:龙舟水总降水量与龙舟水期间湿日(日降水量 ≥ 1 mm)天数的比值,mm/d。

c)最大1日降水量(Rx1day):龙舟水期间单日最大降水量,mm。

d)连续3日最大降水量(Rx3day):龙舟水期间连续3日滑动窗口内的最大降水量总和,mm。

e)连续5日最大降水量(Rx5day):龙舟水期间连续5日滑动窗口内的最大降水量总和,mm。

2.2 时空演变特征分析

在线性趋势拟合方面,为定量分析龙舟水长期变化特征,本研究采用最小二乘法^[17]对各站点1966—2025年间龙舟水降水序列(共60 a)的进行线性趋势拟合。以年份为自变量,分别以龙舟水总降水量(Total)及极端降水指数(Rx1day、Rx3day、Rx5day)为因变量,计算其线性变化趋势,单位为mm/10a,正值表示上升,负值表示下降。

为检验趋势的统计显著性^[18-19],对上述降水序列的每个回归斜率显著性进行t检验,以判断趋势是否显著区别于零假设(即“无变化趋势”)。若检验通过($p < 0.05$),会在热力图中以星号(*)进行标注,以直观展示各站点龙舟水总降水量与极端降水指标的趋势空间分布及显著性特征。

对于龙舟水时期降水序列的趋势检验,本研究

选用 Mann-Kendall 非参数方法^[20-21]。该方法回避了数据分布假设的限制,在气象水文趋势诊断中应用广泛。其核心思路是通过计算标准化统计量 Z 值, $Z > 0$ 表示上升, $Z < 0$ 表示下降;趋势显著性由 $|Z|$ 是否超过临界值 1.64(90%置信度)或 1.96(95%置信度)判定。当 $|Z|$ 超过相应阈值时,表明趋势通过相应置信水平的显著性检验。

2.3 周期性检验方法

本研究采用连续小波变换(CWT)对龙舟水降水序列的周期特征进行分析。该方法充分利用其时频局部化优势,适用于非平稳水文序列的周期识别。基本原理是选取小波母函数(如 Morlet 小波)将一维时间序列映射至二维时频空间,借助小波系数等值线图和小波方差曲线,实现对序列周期特征的提取与解析^[22-23]。小波分析能够识别不同时间尺度的周期组成,并追踪某一尺度上周期强度的动态变化。小波方差则定量刻画各尺度周期波动的强弱,

其峰值对应的尺度即为序列的主周期。

3 研究结果

3.1 时间演变特征

3.1.1 总降水量分布特征

图 1 展示了北江流域中上游地区 13 个国家站在龙舟水期间 60 年的平均总降水量的情况。可以分析出,总降水量分布不均匀。佛冈的平均总降水量居全区首位,达 466.0 mm,明显高于其他地区。英德、阳山与翁源的降水量也均超过 300 mm,四地共同构成一个高降水的集中区。该集中区整体靠近流域的关键水文分界点,即干流在流出飞来峡后进入下游河段之处^[3]。这一降水集中区的形成,很可能与南来暖湿气流受南岭等山脉地形抬升作用密切相关,是区域气候与地形相互作用的典型表现。流域内其余大部分站点的龙舟水总降水量则维持在 200 mm 以上,龙舟水期间整个区域总体比较湿润。

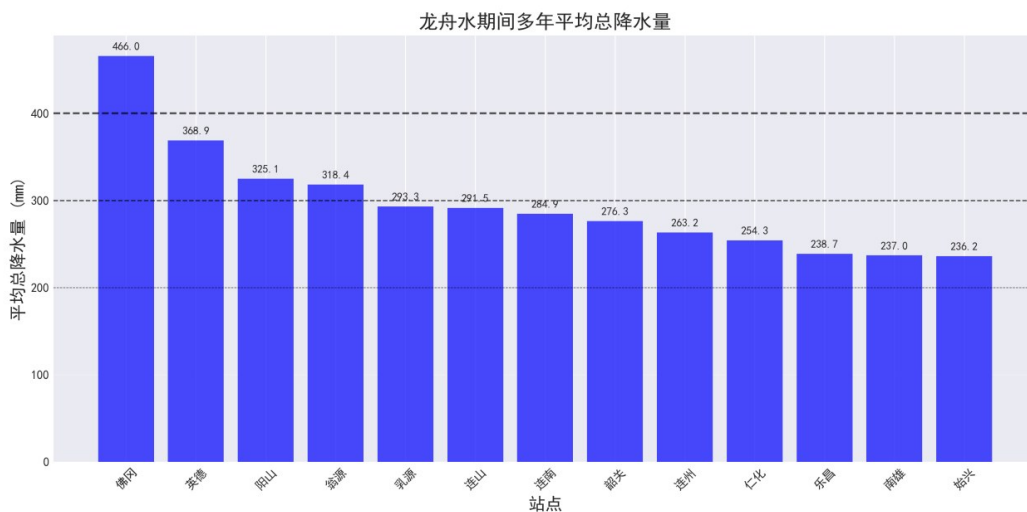


图 1 北江流域中上游龙舟水期间多年平均总降水量地区分布

Fig. 1 Spatial distribution of multi-year average total precipitation during the Dragon-Boat Water Period in the middle and upper reaches of the Beijiang River Basin

3.1.2 降水强度与极端降水分析

图 2 展示了该流域时段降水日数、降水强度变化情况。图 2 结果显示:①降水日数分布相对均匀。各站龙舟水期间平均降水日数大多集中在 14~18 d, 差异不大。佛冈降水日数最多(18 d), 南雄最少

(13.9 d), 说明降水日数在空间上差异不大, 区域整体降水发生频率较为一致。这与韶关前汛期(4—6 月)持续性降水和短时降水各占一定的比例, 持续性降水略多^[24]; 1962—2023 年清远市年平均极端降水量、日数、强度总体均呈上升趋势, 其中极端降水

事件多集中在4—9月,尤其在5—6月份最为明显,极端降水量、日数、强度月分布大致一致,季节差异较为明显^[25]的结论相符。②降水强度差异显著,佛冈的降水强度最高(25.9 mm/d),平均每个降水日的雨量接近26mm,属于高强度等级,易引发强对流或短时强降水。英德(22.3 mm/d)、翁源(19.8 mm/d)、阳山(19.6 mm/d)的降水强度也比较高,属于降

水强度较强的区域。乐昌(15.4 mm/d)和始兴(15.9 mm/d)的降水强度最低,雨势相对缓和。南雄虽降水日数为全流域最少(13.9 mm),但其降水强度(17.1 mm/d)处于中等水平,呈现“雨日少、强度不低”的特征,说明该地降水过程更为集中,需重点关注该地区的短时强降水风险。

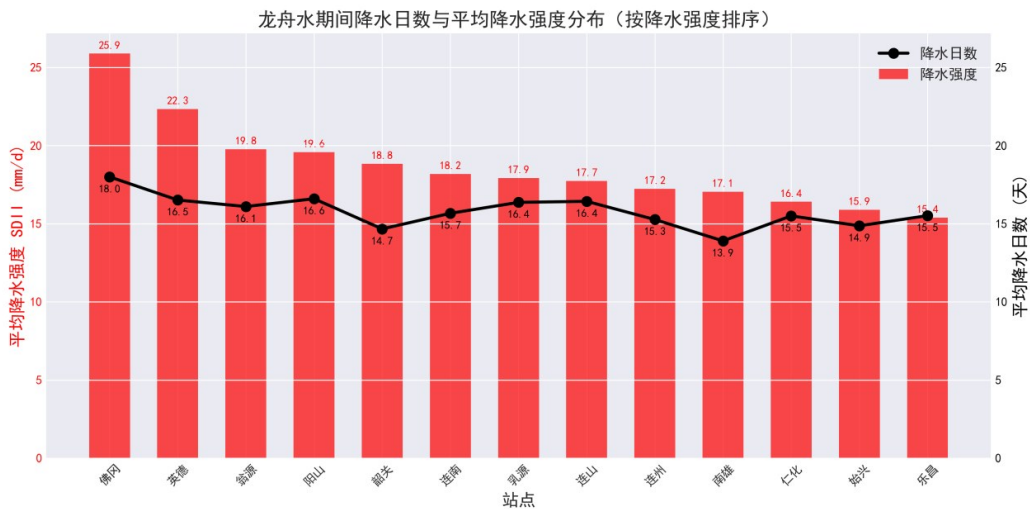


图2 北江流域中上游龙舟水期间降水日数、降水强度变化情况

Fig. 2 Variations in precipitation days and precipitation intensity during the Dragon-Boat Water Period in the middle and upper reaches of the Beijiang River Basin

3.1.3 龙舟水总变化趋势分析

图3展示了1966—2025年龙舟水期间总降水量及3个极端降水指标(Rx1day、Rx3day、Rx5day)的变化趋势(单位: mm/10a),并通过星号(*)标注了通过0.05显著性检验的结果。结果显示,整个流域的龙舟水总降水量都呈现出一致的增加趋势。所有站点的趋势值都是正数。从空间分布看,增加趋势的强弱有明显的地区差别。全流域龙舟水总降水量均呈增加趋势,但增幅空间分异明显:韶关站趋势最强(29.34 mm/10a),且通过显著性检验,成为趋势增强中心;翁源站(19.19 mm/10a)亦增加显著。乐昌、连州、连南等地趋势值在15~19 mm/10a,增幅较为明显。相比之下,始兴、南雄、连山等站增幅较弱(3.88~6.81 mm/10a)。这种“西北强、东南弱”的空间格局可能反映气候变化背景下水汽输送路径

或局地对流活动的区域差异。

过去60年,北江流域龙舟水期间的极端降水事件风险特征正在发生变化。单小时或单日尺度的短时强降水,其发生频率未必在整个流域普遍增加^[26],这一发现与前述分析相吻合。从降水结构看,粤北的降水量呈增多趋势^[27],也与本文分析一致。相比之下,连续性的暴雨过程则呈现出明显增强的趋势。这种变化对防洪体系提出了新的挑战:由于持续性降水易导致土壤饱和、江河基位升高,在这种背景下,一旦遭遇中等强度的降雨,也可能引发流域性洪水及山体滑坡等次生灾害,其影响范围往往比短时极端暴雨更为广泛。

3.1.4 年代际变化分析

图4北江流域中上游1966—2025年龙舟水降水量距平序列CWT功率谱图(图4a)和方差图(图



图3 龙舟水总变化趋势热力图 (*表示通过0.05的显著性检验)

Fig. 3 Heatmap of total precipitation trends during the Dragon-Boat Water Period in the middle and upper reaches of the Beiji River Basin ($p < 0.05$)

4b)。为探究龙舟水降水序列的周期特征,引入连续小波变换(CWT)方法,选用Morlet作为小波母函数展开分析,得到以下结论:该流域的龙舟水时期存在多尺度的周期性振荡,最显著的周期为11.0 a,分别在1995年前后、2006年前后、2017年前后是高

值区,预计下一个高值区为2028年前后,此周期与太阳黑子活动周期相近;第二显著的周期为5.5 a,在1994年附近表现明显,并分别在2000年附近、2005年附近、2011年附近、2016年附近、2022年附近为高值区,预计下一个高值区为2027年附近。

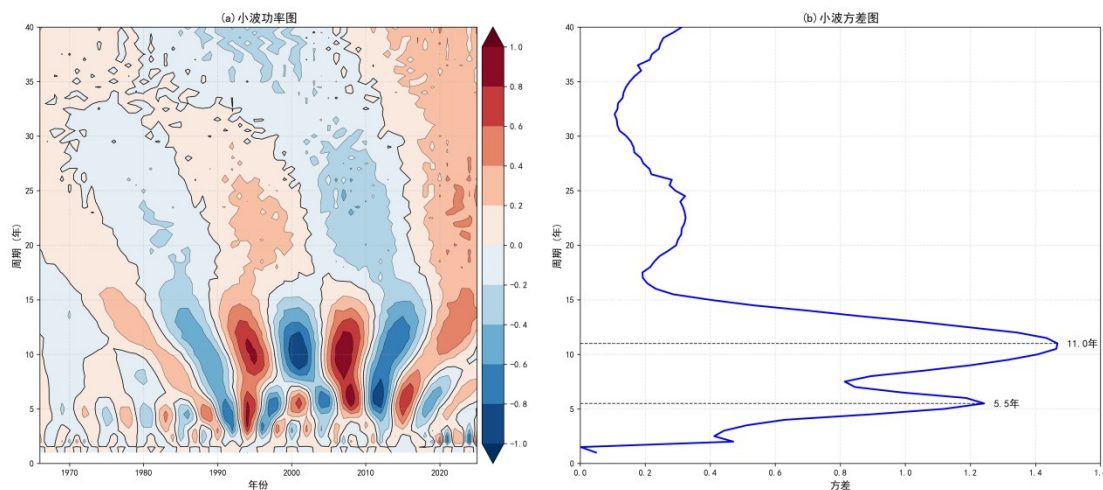


图4 北江流域中上游龙舟水雨量小波分析

Fig. 4 Wavelet analysis of rainfall during the Dragon-Boat Water Period in the middle and upper reaches of the Beiji River Basin

3.2 空间分布特征

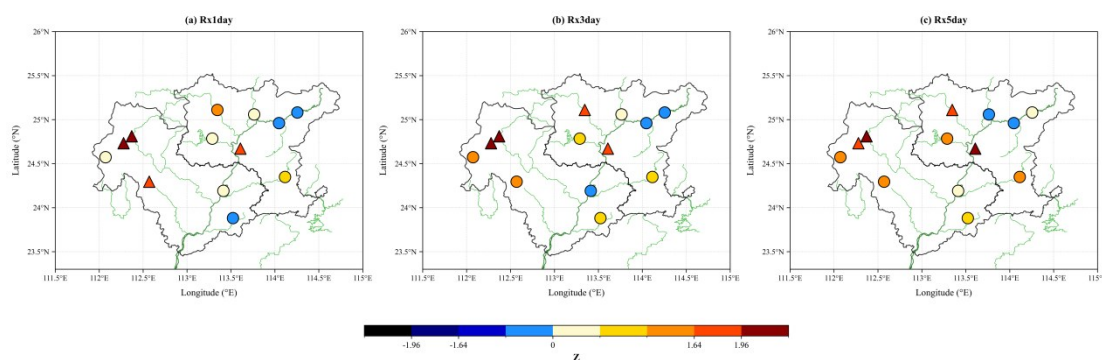
图5展示了北江流域中上游龙舟水期间降水指标的空间趋势特征,通过计算标准化Z值,对比分析了Rx1day(图5a)、Rx3day(图5b)、Rx5day(图5c)3个极端降水指标的趋势空间分布。整体上,3个指标的Z值均呈现“西北高、东南低”的格局,说明极端降水变化受地形与局地气候显著影响。西北部与北部站点(如连南、连州、阳山、韶关、乐昌)各指标Z值普遍较高(多大于1.64,部分超过1.96),尤其是Rx3day与Rx5day,表明这些区域极端降水增强趋势明显、信号清晰,是区域性累积型暴雨预警和防御的重点区域。依据不同站点各指标Z值的纵向(随累积天数)变化,划分了流域内极端降水风险的类型。

a)持续性增强型。以韶关、乐昌、翁源等站为代表,其Z值从Rx1day到Rx5day保持高位稳定或逐步升高。这意味着这些地区不仅单日暴雨趋势可能在增强,其更突出的特征是3~5 d的长历时暴雨过程在显著变得更强、更频繁。它们是流域性洪水风险加剧的核心区,防洪工程调度和流域风险管理的压力最大。

b)短历时突出型。以连南站为典型,其Rx1day的Z值极高,但Rx3day和Rx5day的Z值相对降低。这表明该地区极端降水变化的主要特征是单日极端性更为突出,可能更易产生破纪录的短时强降水,导致山洪、泥石流等骤发灾害的风险极高,对监测预警的及时性和精准性要求极高。

c)潜在累积型。如佛冈站,其Rx1day的Z值为负值,但Rx3day和Rx5day的Z值转为正值。这说明尽管单日极端趋势不明显,但多日累积降水的极端性仍有增强潜势,在遭遇连续降雨天气过程时,仍需警惕其累积效应带来的风险。

从各站Z值变化来看,多数站点(如韶关、乐昌、翁源)随累积天数增加(Rx1day到Rx5day)Z值保持稳定或上升,这反映了持续性降水趋势较为明显。但连南等站点Rx1day的Z值极高,后续累积天数的Z值反而下降了,这说明该地区更易出现单日极端降水,多日累积增强的趋势相对缓和。这种差异揭示了研究区内不同站点在降水持续性方面存在区别,这可能与局地环流、地形及不同的下垫面性质有关。



注:图中 Δ 表示显著上升, \circ 表示无显著变化。

图5 北江流域中上游龙舟水期间极端降水指标空间趋势特征

Fig. 5 Spatial trends of extreme precipitation indices during the Dragon-Boat Water Period in the middle and upper reaches of the Beijiang River Basin

4 结论与讨论

4.1 主要结论

本研究系统分析了北江流域中上游1966—2025年龙舟水期间的降水特征,揭示了其在时空分

布、变化趋势及周期性方面的变化规律,主要结论如下。

a)降水格局呈现“高频一致、强度不均”的特征,并在地形影响下形成明显的高值区。龙舟水期间,

流域内降水发生频率的空间分布较为均匀,说明整个区域处于一致的雨季气候背景下。但降水强度和总量差异显著,在南岭地形抬升作用下,佛冈、英德、阳山、翁源一带形成了一个强降水中心,该区域总降水量大、降水强度高,体现了地形在该强降水中心形成中的作用。

b)龙舟水降水呈普遍增强趋势,极端性降水指标增幅更为显著,空间上呈现“西北强、东南弱”的差异。过去60 a,流域龙舟水总降水量及极端降水指标(Rx1day、Rx3day、Rx5day)均呈一致增加趋势,其中极端降水指标的增强更为显著,表明降水过程可能向更不稳定方向发展。空间上,西北部(如韶关、连州)是增强最明显的区域,而东南部(如始兴、南雄)增幅相对较弱,说明气候变化的水文响应存在地域差异。

c)龙舟水降水量存在显著的年代际振荡,主要受11.0 a和5.5 a周期调控。时间序列分析表明,龙舟水降水量叠加了明显的年代际波动。其中最显著的周期(约11.0 a)与太阳活动周期相近,这为理解其长期变化规律及开展年代际气候预测提供了参考。

4.2 对策建议

a)实施分区防御策略。佛冈、英德、阳山、翁源等强降水中心区,应加密监测预警设施,强化局地暴雨的防范;韶关、乐昌等持续性增强区域,重点做好流域性大洪水的应对准备;连南等短时强降雨突出区域,需加强山洪灾害的预警与避险转移演练。

b)优化防洪调度与应急准备。针对连续3日及5日暴雨明显增多的趋势,上下游水库应根据天气预报提前预泄,预留充足防洪库容,防范累积型洪涝风险。同时加强流域干支流的协同调度,提升对长历时、区域性暴雨的应对能力。

4.3 研究展望

本研究主要基于国家气象站数据,对复杂地形下降水的空间刻画存在局限。未来可利用高分辨率格点降水数据或雷达资料进行更精细的分析。本研究目前主要侧重于降水变化的统计特征与现象描述,对龙舟水变化趋势背后的物理机制(如大

尺度环流演变、水汽输送条件、对流活动等)及动力归因等尚缺乏系统研究。

参考文献:

- [1] 广东省气象局,广东省天气预报技术手册(2009年修订版)[Z]. 2009.
Guangdong Meteorological Service. Technical Manual for Weather Forecasting in Guangdong Province (2009 Revision) [Z]. 2009. (in Chinese)
- [2] 陈丕翔,苗青,杨骐,等. 北江流域洪水风险区划及防治区划编制与思考[J]. 广东水利水电,2025(3):23-27.
Chen Peixiang, Miao Qing, Yang Qi, et al. Compilation and Reflection on Flood Risk and Prevention Zoning in the Beijiang River Basin [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2025(3):23-27. (in Chinese)
- [3] 王凤恩,王保华,李争和,等. 提升北江洪水防御能力的有关思考[J]. 人民珠江,2024,45(S1):1-5,11.
Wang Feng'en, Wang Baohua, Li Zhenghe, et al. Thoughts on Improving Flood Defense Ability of Beijiang River Basin [J]. Pearl River, 2024,45(S1):1-5,11. (in Chinese)
- [4] 王京晶,聂红海,蔡斯龙. “22·6”北江流域特大洪水分析[J]. 水文,2025,45(1):106-112.
Wang Jingjing, Nie Honghai, Cai Silong L. Investigation and Analysis of “22·6” Beijiang River Basin Extreme Flood [J]. Journal of China Hydrology, 2025,45(1):106-112. (in Chinese)
- [5] Yuan Zhe, Yang Zhiyong, Yan Denghua, et al. Historical changes and future projection of extreme precipitation in China. [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2017, 127(1):393-407.
- [6] Gu Xuezhi, Ye Lei, Xin Qian, et al. Extreme Precipitation in China: A Review on Statistical Methods and Applications [J]. Advances in Water Resources, 2022, 163:104144.
- [7] 安鑫,李紫妍,周帅,等. 滹沱河流域极端降水的时空演变特征及驱动力分析[J/OL]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 1-10 [2025-12-31]. <https://link.cnki.net/urlid/41.1432.TV.20251024.0922.002>.
An Xin, Li Ziyang, Zhou Suai, et al. Jiyang Analysis of Spatiotemporal Evolution Characteristics and Driving Forces of Extreme Precipitation in the Hutuo River Basin [J/OL]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition) [7], 1-10 [2025-12-31]. <https://link.cnki.net/urlid/41.1432.TV.20251024.0922.002>. (in Chinese)
- [8] 王进,关海照,林奕珊,等. 澳门过去120年龙舟水降雨量演变规律[J]. 人民珠江,2026,47(1):33-41.

- Wang Jin, Guan Haizhao, Lin Yishan, et al. Evolution Law of Rainfall during "Loong Boat Water" Period in Macao in Past 120 Years[J]. *Pearl River*, 2026, 47(1):33-41. (in Chinese)
- [9] 曾志平,郑炎辉,周月英,等. 1954—2020年北江流域枯季径流极值特征分析[J]. *人民珠江*, 2025, 46(2):29-36.
- Zeng Zhiping, Zheng Yanhui, Zhou Yueying, et al. Characteristics of Extreme Runoff in Beijiang River Basin during Dry Season from 1954 to 2020[J]. *Pearl River*, 2025, 46(2):29-36. (in Chinese)
- [10] 刘占明,徐丹,魏兴琥,等. 北江流域汛期降水结构变化特征[J]. *热带地理*, 2020, 40(1):145-153.
- Liu Zhanming, Xu Dan, Wei Xinghu, et al. Variation Characteristics of the Precipitation Structure during the Rainy Season in the Beijiang River Basin, China [J]. *Tropical Geography*, 2020, 40(1):145-153. (in Chinese)
- [11] 张康涛,雷卫东. 北江流域水文要素时空模拟及致灾成因分析[J]. *人民珠江*, 2024, 45(12):22-29.
- Zhang Kangtao, Lei Weidong. Spatio-Temporal Simulation of Hydrological Elements and Disaster Causes in Beijiang River Basin [J]. *Pearl River*, 2024, 45(12):22-29. (in Chinese)
- [12] 杜勇,钱燕. 2022年珠江汛期雨水情特征及洪涝风险管理机制探讨[J]. *人民珠江*, 2023, 44(S1):1-4.
- Du Yong, Qian Yan. Exploration of the characteristics of rainfall conditions and flood risk management mechanisms in the 2022 Pearl River flood season [J]. *Pearl River*, 2023, 44(S1):1-4. (in Chinese)
- [13] 李赫,陈立楷,陈咏怀,等. 将为北江流域防洪体系补上“关键拼图”[N]. *南方日报*, 2025-07-23 (A02). DOI: 10.28597/n.cnki.nnfrb.2025.008349.
- Li He, Chen Likai, Chen Yonghuai, et al. A "Key Piece" to Complement the Flood Control System of the Beijiang River Basin [N]. *Nanfang Daily*, 2025-07-23 (A02). DOI: 10.28597/n.cnki.nnfrb.2025.008349. (in Chinese)
- [14] 伍红雨,郭尧,吴遥. 近62 a华南“龙舟水”气候特征及变化[J]. *暴雨灾害*, 2024, 43(01):84-92.
- Wu Hongyu, Guo Yao, Wu Yao. Climate characteristics and variation of the dragon-boat precipitation in South China in the past 62 years [J]. *Torrential Rain and Disasters*, 2024, 43(1):84-92. (in Chinese)
- [15] Deng Pengxin, Zhang Mingyue, Hu Qingfang, et al. Pattern of spatio-temporal variability of extreme precipitation and flood-waterlogging process in Hanjiang River basin [J]. *Atmospheric Research*, 2022, 276:106258.
- [16] 李佳,黄领梅,申奥,等. 海河流域极端降水时空演变特征及未来趋势分析[J]. *人民珠江*, 2025, 46(9):84-94.
- Li Jia, Huang Lingmei, Shen Ao, et al. Characteristics of Spatial and Temporal Evolution of Extreme Precipitation in Haihe River Basin and Analysis of Future Trends [J]. *Pearl River*, 2025, 46(9):84-94. (in Chinese)
- [17] 全国气候与气候变化标准化技术委员会(SAC/TC 540). 极端降水监测指标:GB/T 33669-2017[S]. 中国标准出版社, 2017.
- National Technical Committee on Climate and Climate Change of Standardization Administration of China (SAC/TC 540). Extreme precipitation monitoring indicators: GB/T 33669-2017 [S]. Standards Press of China, 2017. (in Chinese)
- [18] 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京:气象出版社, 2007.
- Modern climate statistical diagnosis and prediction techniques [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007. (in Chinese)
- [19] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. *大气科学*, 1992(4):482-493.
- Fu Congbin, Wang Qiang. Definition and detection method of climatic abrupt change [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1992(4):482-493. (in Chinese)
- [20] Mann H B. Non-parametric Test of Randomness against Trend *Econometrica* [J]. *Journal of The Econometric Society*, 1945, 13(3):245-259.
- [21] Khaled H H. Trend Detection in Hydrologic Data: the Mann-Kendall Trend Test under the Scaling Hypothesis [J]. *Journal of Hydrology*, 2008, 349:350-363.
- [22] 王文圣,丁晶,向红莲. 水文时间序列多时间尺度分析的小波变换法[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2002(6):14-17.
- Wang Wensheng, Ding Jing, Xiang Honglian. Multiple Time Scales Analysis of Hydrological Time Series With Wavelet Transform [J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2002(6):14-17. (in Chinese)
- [23] 桑燕芳,王中根,刘昌明. 小波分析方法在水文学研究中的应用现状及展望[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(9):1413-1422.
- Sang Yanfang Wang Zhonggen, Liu Cangming. Applications of wavelet analysis to hydrology: Status and prospects [J]. *Progress in Geography*, 2013, 32(9):1413-1422. (in Chinese)
- [24] 高翠翠,陈浩伟,邓月珍. 韶关汛期不同持续时间的降水特征分析[J]. *广东气象*, 2024, 46(4):6-10.
- Gao Cuicui, Chen Haowei, Deng Yuezhen. Analysis of Precipitation Characteristics of Different Duration in the Rainy Season of Shaoguan [J]. *Guangdong Meteorology*, 2024, 46(4):6-10. (in Chinese)
- [25] 李婷婷,吴志纯,黄永基,等. 清远市近62年极端降水变化特征分析[J]. *广东气象*, 2025, 47(5):28-33.

- Li Tingting, Wu Zhichun, Huang Yongji, et al. Analysis of Extreme Precipitation Variation Characteristics in Qingyuan City over the Past 62 Years[J]. *Guangdong Meteorology*, 2025, 47(5): 28–33. (in Chinese)
- [26] 熊英, 敖婷, 张东, 等. 粤北山区 2013—2022 年短时强降水的统计特征[J]. *广东气象*, 2024, 46(5): 1–5.
- Xiong Ying, Ao Ting, Zhang Dong, et al. Statistical Characteristics of Short-term Intense Rainfall from 2013 to 2022 in the Mountainous Areas of Northern Guangdong[J]. *Guangdong Meteorology*, 2024, 46(5): 1–5. (in Chinese)
- [27] 陆杰英, 孙丽颖, 王春林, 等. 1979—2020 年粤北和珠三角地区夏季降水结构对比分析[J]. *气象研究与应用*, 2022, 43(2): 23–28.
- Lu Jieying, Sun Liying, Wang Chunlin, et al. Comparative analysis of summer precipitation structure in northern Guangdong and the Pearl River Delta from 1979 to 2020 [J]. *Journal of Meteorological Research and Application*, 2022, 43(2): 23–28. (in Chinese)

Analysis of Precipitation During the Dragon-Boat Water Period in the Middle and Upper Reaches of the Beijiang River Basin (1966—2025)

PENG Shuxiao^{1,2}, LI Lifang^{1,2}, LIU Yanqun^{1,2*}, HUANG Guanrong^{1,2}, WANG Min^{1,2}

(1. Shaoguan Meteorological Bureau of Guangdong Province, Shaoguan 512028, China; 2. Nanling Ecological Meteorology and Satellite Remote Sensing Application Engineering Technology Research Center, Shaoguan 512028, China)

Abstract: Against the backdrop of global climate change, this study investigates the spatiotemporal evolution characteristics of precipitation systems during the "Dragon-Boat Water Period" (May 21 to June 20) in the middle and upper reaches of the Beijiang River Basin, aiming to provide a scientific basis for regional flood prevention and disaster reduction. Based on daily precipitation data from 13 national meteorological stations in the middle and upper reaches of the basin from 1966 to 2025, methods including linear trend analysis, Mann-Kendall test, and wavelet analysis were employed to examine the characteristics of precipitation changes during this period. The main conclusions are as follows: (1) The precipitation pattern exhibits a characteristic of "consistent frequency across regions, but uneven intensity," forming a distinct high-value center under the influence of topography. During the Dragon-Boat Water Period, the spatial distribution of precipitation frequency within the basin is relatively uniform, indicating that the entire region operates under a consistent rainy season climate background. However, significant differences exist in precipitation intensity and total amount. Under the orographic lifting effect of the Nanling Mountains, a heavy precipitation center has formed in the area encompassing Fogang, Yingde, Yangshan, and Wengyuan. This region experiences large total precipitation and high precipitation intensity, reflecting the role of topography in the formation of this heavy precipitation center. (2) Precipitation during the Dragon-Boat Water Period shows a widespread increasing trend, with extreme precipitation indices exhibiting more significant increases, displaying a spatial pattern of "strong in the northwest and weak in the southeast." Over the past 60 years, both total precipitation and extreme precipitation indices (Rx1day, Rx3day, Rx5day) during the Dragon-Boat Water Period in the basin have shown consistent increasing trends, with the enhancement of extreme precipitation indices being more pronounced, suggesting that precipitation processes may be evolving toward greater instability. Spatially, the northwestern part (e. g., Shaoguan, Lianzhou) has experienced the most significant enhancement, while the southeastern part (e. g., Shixing, Nanxiong) shows relatively weaker increases, indicating regional differences in the hydrological response to climate change. (3) Precipitation amount during the Dragon-Boat Water Period demonstrates significant interdecadal oscillations, primarily modulated by 11.0-year and 5.5-year cycles. Time series analysis reveals that precipitation during this period is superimposed with pronounced interdecadal fluctuations. Among these, the most significant cycle (approximately 11.0 years) closely aligns with the sunspot cycle, providing a reference for understanding its long-term variation patterns and for conducting interdecadal climate predictions. Recommendations and countermeasures: (1) Implement a Zonal Defense Strategy. In the heavy precipitation center areas such as Fogang, Yingde, Yangshan, and Wengyuan, monitoring and early warning facilities should be intensified, and local rainstorm prevention measures should be strengthened. In regions experiencing sustained enhancement such as

Shaoguan and Lechang, efforts should focus on preparedness for large-scale basin-wide floods. In areas with prominent short-duration heavy rainfall like Liannan, early warning for flash floods and evacuation drill exercises need to be reinforced. (2) Optimize Flood Control Operation and Emergency Preparedness. In response to the significant increasing trend of consecutive 3-day and 5-day rainstorms, upstream and downstream reservoirs should implement pre-releases based on weather forecasts to reserve sufficient flood control capacity and prevent cumulative flooding risks. Simultaneously, coordinated dispatching among mainstream and tributaries should be strengthened to enhance the capacity to respond to long-duration, regional rainstorms.

Keywords: Dragon-Boat Water Period; Extreme Precipitation; Spatiotemporal Evolution; Wavelet Analysis; Beijiang River Basin

(责任编辑:高天扬)