

# 长江干线航道东段小时尺度降雨气候态时空特征研究

阮秀<sup>1\*</sup>, 李宁<sup>2</sup>, 卞瑶<sup>3</sup>, 李世禧<sup>1</sup>, 施翔<sup>1</sup>, 白磊<sup>1#</sup>, 方思达<sup>4</sup>, 曲涛<sup>5</sup>

<sup>1</sup>海南大学生态与环境学院, 海南 海口

<sup>2</sup>长江引航中心镇江引航站, 江苏 镇江

<sup>3</sup>航天行云科技有限公司, 湖北 武汉

<sup>4</sup>湖北省气象局, 武汉区域气候中心, 湖北 武汉

<sup>5</sup>北京驰远科技公司, 北京

收稿日期: 2023年2月14日; 录用日期: 2023年3月13日; 发布日期: 2023年3月20日

## 摘要

降水对长江航道上的船舶航行安全及航运的运营成本都有着至关重要的影响。由于复杂的地形地貌, 已有研究不能满足长江内河航运在空间上精细化的需求。本研究采用CMORPH和GSMaP两套遥感降水数据在小时尺度上对长江下游航道东段小时尺度降雨气候态特征进行研究分析。研究表明: 在月尺度上, 九月是月降水增加最剧烈的月份, 在冷季(12月至次年1月), GSMaP和CMORPH\_ADJ呈现微弱的减弱趋势; 在多年日平均小时数据中, 除梅雨显著特征外, 8月上旬和下旬、9月中旬和9月底、10月上旬和下旬、11月上旬和下旬均出现全航段降水现象; 对于降水强度的小时统计, 在月尺度不同强度降水时间统计上, GSMaP数据小雨时间降水小时数增加的区域主要集中在江阴至扬中航段。CMORPH\_ADJ中, 小时数增长趋势发生主要在九月, 增幅在0.6 h/yr, 其余时段处于减少趋势。GSMaP能够反映在此时间内增加的趋势, CMORPH\_ADJ反映出微弱的减少趋势。GSMaP还反映9月中雨小时数呈增加趋势(1 h/yr)。中雨以上的小时数, 主要在五月中旬至八月底, 这年有微弱的增加趋势导致夏季航运成本增加显著。综上, 本文细致的研究了长江下游航道降水小时气候特征, 有助于提高长江黄金水道航运安全性和降低运输成本。

## 关键词

CMORPH, GSMaP, KD-Tree, 航标, 大数据

# Spatiotemporal Characteristics of Hourly Rainfall in the Eastern Section of the Yangtze River Main Waterway

Xiu Ruan<sup>1\*</sup>, Ning Li<sup>2</sup>, Yao Bian<sup>3</sup>, Shixi Li<sup>1</sup>, Xiang Shi<sup>1</sup>, Lei Bai<sup>1#</sup>, Sida Fang<sup>4</sup>, Tao Qu<sup>5</sup>

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 阮秀, 李宁, 卞瑶, 李世禧, 施翔, 白磊, 方思达, 曲涛. 长江干线航道东段小时尺度降雨气候态时空特征研究[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(2): 339-346. DOI: 10.12677/ccrl.2023.122035

<sup>1</sup>School of Ecology and Environment, Hainan University, Haikou Hainan

<sup>2</sup>Zhenjiang Pilot Station, Changjiang Pilot Centre, Zhenjiang Jiangsu

<sup>3</sup>Leobit Technology Company, Wuhan Hubei

<sup>4</sup>Wuhan Regional Climate Center, Hubei Meteorological Service, Wuhan Hubei

<sup>5</sup>Chiyuan Science Technology, Beijing

Received: Feb. 14<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 13<sup>th</sup>, 2023; published: Mar. 20<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Precipitation is a crucial factor affecting shipping safety and transportation costs on the Yangtze River waterway. However, due to the complex terrain of the region, previous research has not been able to provide spatial refinement to meet the demands of inland water transportation. To address this gap, we utilized two remote sensing precipitation datasets, CMORPH and GSMaP, to investigate the hourly climate characteristics of precipitation in the downstream section of the Yangtze River waterway. Our study reveals that September is the month with the strongest increase in monthly precipitation, and there is a slight weakening trend in the cold season (December to January of the following year) based on both GSMaP and CMORPH\_ADJ datasets. Furthermore, in addition to the significant characteristics of the Meiyu season, there were precipitation events in the entire section in August early and late, September mid and late, October early and late, and November early and late, as shown in multi-year hourly average scale data. Regarding precipitation intensity, our analysis indicates that the GSMaP data showed an increase in the number of hours of light rain, mainly concentrated in the Jiangyin to Yangzhong navigation section. In CMORPH\_ADJ, an increasing trend in the number of hours occurred mainly in September, with an increase of 0.6 h/yr, while in other periods, it showed a decreasing trend. The GSMaP data also reflect an increasing trend (1 h/yr) in the number of hours of moderate rain in September. Moreover, the number of hours of rain above moderate rain mainly occurs from mid-May to late August, with a slight increasing trend in recent years, significantly increasing the cost of summer shipping. In summary, our study provides detailed insights into the hourly climate characteristics of precipitation in the downstream section of the Yangtze River waterway. Our findings can be useful for improving the safety of shipping and reducing transportation costs on this important waterway.

## Keywords

CMORPH, GSMaP, KD-Tree, Navigational Beacons, Big Data

Copyright © 2023 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

长江干线航道, 是我国唯一贯穿自西向东的水运主通道。目前, 长江水系完成的水运货运量占沿江全社会运量的 20% 以上[1]。降水作为影响通航环境自然条件的主要要素之一, 其能够对能见度产生影响[2][3]。目前, 降水对交通的影响主要集中在公路道路交通上[4]。在众多影响交通的气象因素中, 强降水占 44.83% [5]。张新军等[6]发现高速公路沿线平均日雨量达到中到大雨时, 交通事故显著增加。且在已有针对内河航运研究中, 张峻等[7]发现降水还能通过影响能见度和空气湿度, 从而影响船舶可航时间、

码头作业时间、货物管理、设备管理。由此可发现降水对公路交通及船舶航行的安全和运营成本都有着至关重要的影响。通过研究降水的变化有助于减少其对人类的影响，对人民生活与社会发展有着重要意义。

在 1970~2014 年长江中下游地区年降水量呈上升趋势[8]，同时极端降水显著增加趋势[9] [10] [11]。上述这些研究均以长江流域为地理研究对象，研究范围较大，在数据方面大部分研究仅使用 200 余站的雨量站。然而长江航道干线途径复杂的地形地貌，已有研究不能满足长江内河航运在空间上精细化的需求。目前，针对长江流域降水研究主要聚焦在极端降水及归因方向研究[12] [13] [14] [15]，对于日尺度和小时尺度降水气候态规律的研究相对较少，而这些是内河航运在时间尺度上精细化的需求。为了解决长江流域站点时空代表性问题，一些研究尝试使用模式数据作为站点数据的补充[16]。然而后续的研究发现遥感降水数据精度优于模式数据[17]。在中国范围的研究中，发现遥感降水在暖季精度优于冷季，湿润地区优于干旱地区[18]。在长江流域，日本的 GSMaP 降水产品能够反映气候态特征[19]；美国的 CMORPH 降水产品优于 TRMM 3B42RT 和 TRMM 3B42 V7 两套降水产品[20] [21]。在国内的降水产品中，国家气象信息中心研发的多套多源降水数据在长江流域上也有较优的表现[22]。然而在时间序列上，CMORPH 和 GSMaP 小时尺度的降水产品时间序列在 20 年以上，相对于其他降水产品更适合在气候态研究中使用。

针对现有上述研究不足，本研究采用 CMORPH 和 GSMaP 两套遥感降水数据，在小时尺度上对长江下游航道东段小时尺度降雨气候态特征进行研究分析，为水上交通安全和内河航运相关产业提供数据和理论支持。

## 2. 数据与方法

### 2.1. 数据

在本研究使用两套卫星数据(表 1)，做交叉对比分析。CMORPH 数据使用了中国大量的区域自动站，其余 2 个产品 CMORPH-CRT (CMORPH\_ADJ)和 GSMaP 数据也经过了站点订正。同时这些数据也在中国地区经过了大量的评估分析，可以用于本项目研究。以下这些数据使用双线性方法，插值到浮标点上进行分析。

**Table 1.** Data is used in this study

**表 1.** 本研究使用的数据

编号	名称	单位	分辨率	时间覆盖
1	CMORPH_V1.0-CRT	美国 NOAA CPC	0.07°/0.5h	1998~2019
2	GSMaP_V6+V7	日本 JMA JAXA	0.1°/1h	2000~2020

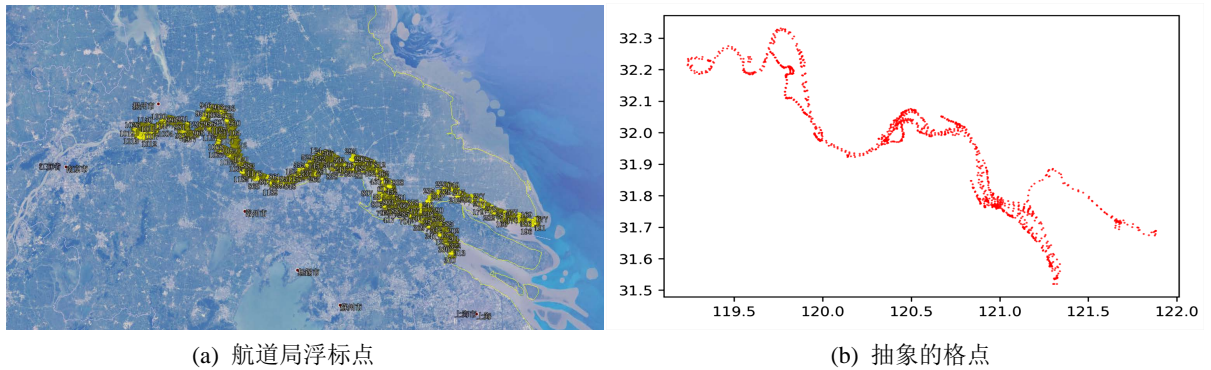
### 2.2. 研究区域

本研究区设置在长江三角洲东部地区镇江至上海宝山的主航段上。研究地理对象以航道上浮标所示位置进行分析并将上述点进行空间抽象(见图 1)。

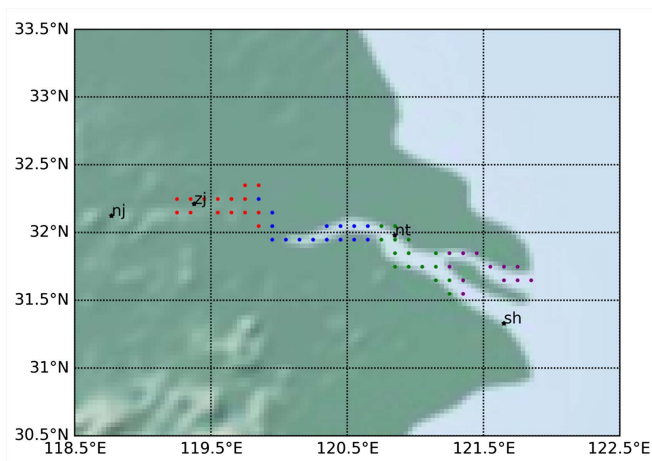
图 2 中，为以航道浮标为参照按照 0.1°的间隔采用最临近点方式提取遥感降水产品格点显示(共计 57 个点)。这些点，一方面过多，另一方面不能体现航道特征。

这样只提取主航道的浮标，这样可以以主航道的公里里程作为基准参考。然而在 1 km 范围内上下行浮标有 2~4 个，遥感降水产品分辨率的大小最高仅为 8 km，因此需要对浮标点进行抽稀处理，保证每个遥感产品格点下有一个浮标。于是得到下图，蓝色的星为本研究的分析点。

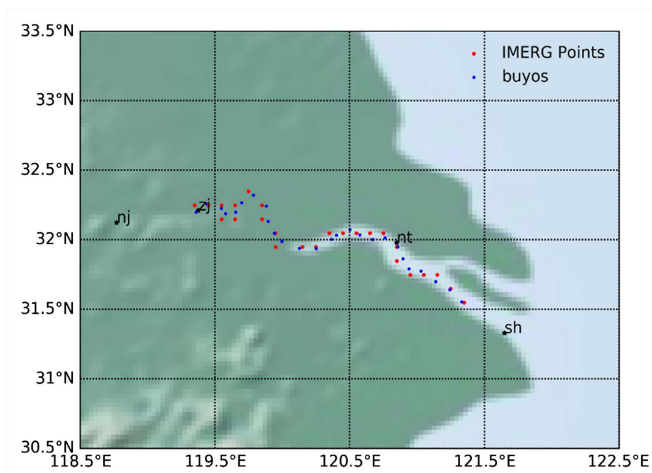
下图为遥感卫星产品格点(红色)和主航道浮标的空间示意图(图 3)。



**Figure 1.** Buoy points along waterway in this study  
**图 1.** 航道浮标点图



**Figure 2.** Distribution of GPMIMERG grid point displayed by 0.1°  
**图 2.** 0.1°显示的 GPMIMERG 格点



**Figure 3.** Comparison of remote sensing points and buoys along waterway  
**图 3.** 遥感格点和浮标对比图

下图(图 4)是经过抽稀后的 26 个点与所匹配的遥感卫星的格点空间距离的误差。26 个点平均距离差值为  $0.036^\circ$ ，其中有 11 个点大于平均值，有 4 个点距离差值超过  $0.05^\circ$ 。因为遥感产品的分辨率为  $0.1^\circ$ ，因此超过  $0.05^\circ$  一半格点，空间匹配上存在代表性误差。

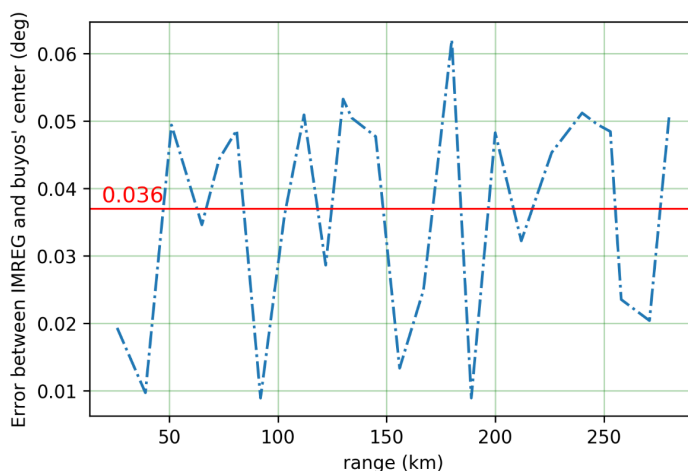


Figure 4. Spatial geometric distance difference  
图 4. 空间几何距离差

### 3. 结果

#### 3.1. 年降水量及趋势

在图 5 中，CMORPH\_ADJ 和 GSMaP 数据显示在 92 km (南通)以西的航道上，年降水量变动范围基本一致。对于年降水趋势，GSMaP 和 CMORPH\_ADJ 显示的趋势逐渐降低最低分别为  $1100 \text{ mm}/10\text{yr}$ 、 $2200 \text{ mm}/10\text{yr}$ ，但两套数据每年增长趋势均超过  $200 \text{ mm}/10\text{yr}$ 。GSMaP 显示江阴至常州航道的降水趋势约为  $260 \text{ mm}/10\text{yr}$  远高于其他航道。

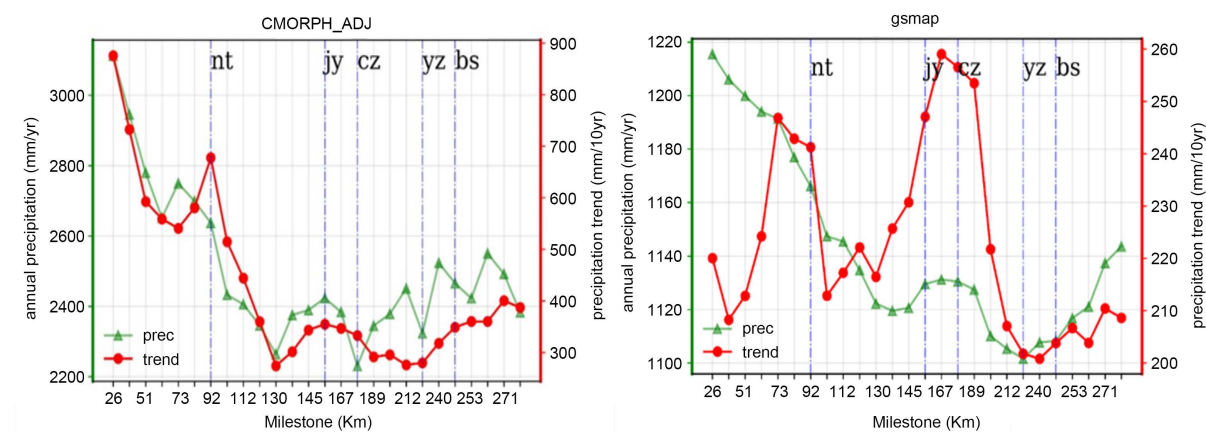
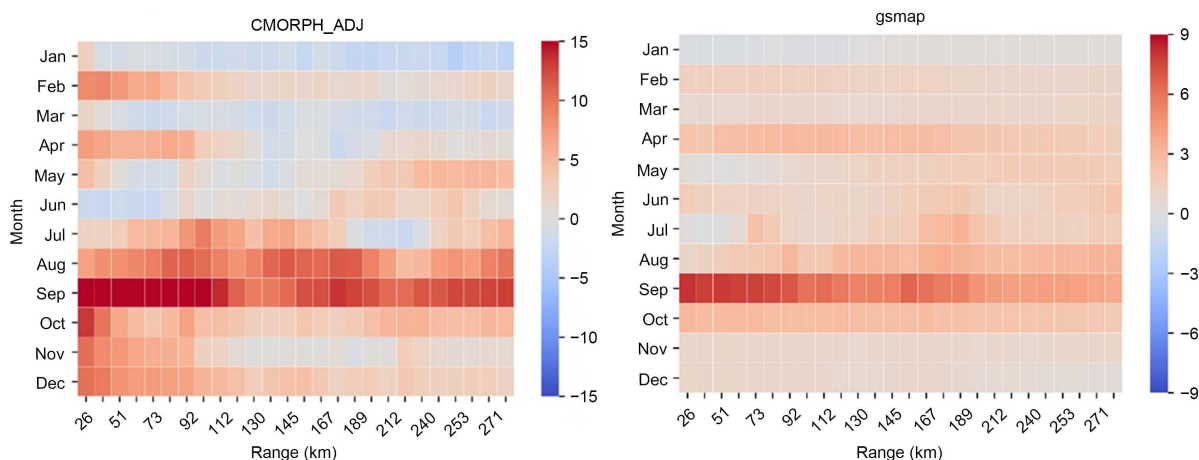


Figure 5. Annual precipitation and its trends along waterway  
图 5. 航道上年降水量及降水趋势

#### 3.2. 月降水量及趋势

在图 6 月尺度上，GSMaP 和 CMORPH\_ADJ 显示九月是月降水增加最为剧烈的月份，以南通以东

(26~92 km)航段最为显著在 15 mm/yr 左右。在冷季(12~次年 1 月), GSMaP 和 CMORPH\_ADJ 呈现微弱的减弱趋势最低分别 5 mm/yr、0 mm/yr 左右、CMORPH\_ADJ 为微弱趋势。

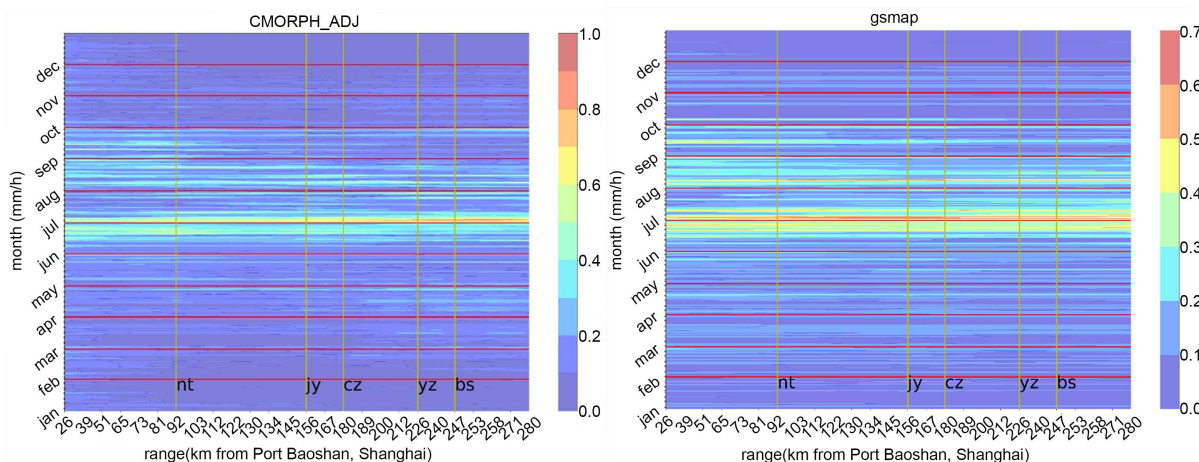


**Figure 6.** Monthly precipitation and trends along waterway  
**图 6.** 航道上月降水量及趋势

### 3.3. 多年气候态日降水量

在图 7 多年日平均小时降水中, 研究从吴淞口至南京 280 公里区域在不同月份的降水量。两套数据均能反映出 6 月中旬全航段内的梅雨过程, 同时能刻画出 7 月初常州(180 km)以东航段高值为 0.6~0.8 mm/yr、7 月上旬结束扬中以东航段低值区 0~0.4 mm/yr。整体上, 两套数据能够体现出气候态的日降水规律:

- 1) 在 9 月中旬和 9 月底, 全航段有降水。
- 2) 在 10 月上旬和下旬, 有全航段降水现象。
- 3) 在 11 月上旬和下旬各有一次全航段降水现象。
- 4) 在 8 月上旬底和下旬初各有一次长历时的全航段降水现象。
- 5) 在 4 月中旬有一次全航段降水现象。



**Figure 7.** Perennial climate daily precipitation  
**图 7.** 多年气候态日降水量

## 4. 结论

- 1) 在镇江至宝山航道上, 多年平均降水量在 900~1300 mm/yr 波动。在不同时间长度的遥感降水产

品中, 航道上年降水量均呈现每年 200 mm/10yr 以上的增加趋势。

2) 在月尺度上, 九月是月降水增加最为剧烈的月份, 南通以东(26~92 km)航段最为显著。在冷季(12~次年 1 月), GSMaP 和 CMORPH\_ADJ 呈现微弱的减弱趋势。

3) 在多年日平均小时数据中, 除梅雨显著特征外, 全航道有如下规律: ① 在 9 月中旬和 9 月底, 全航段有降水。② 在 10 月上旬和下旬, 有 3 次全航段降水现象。③ 在 11 月上旬和下旬各有一次全航段降水现象。④ 在 8 月上旬底和下旬初各有一次长历时的全航段降水现象。⑤ 在 4 月中旬有一次全航段降水现象。

4) 对于降水强度的小时统计, 两套数据反映的规律有显著的差异, 但仍然有共性的规律特征。在月尺度不同强度降水时间统计上, GSMaP 数据小雨时间降水小时数增加的区域主要集中在江阴至扬中航段, 在四月低和九月初增幅仅为 0.3 h/yr。降水显著减少的主要在 1 月底至 2 月的常州以东航段(26~189 km), 减幅达到 1.8 h/yr。CMORPH\_ADJ 中, 小时数增长趋势发生主要在九月, 增幅在 0.6 h/yr。其余时段处于减少趋势。两套数据能较为一致的反映出五月中旬至八月底的高值区(在 15~30 h/月)。GSMaP 能够反映在此时间内增加的趋势, CMORPH\_ADJ 反映出微弱的减少趋势。GSMaP 还反映出在 9 月中雨小时数呈增加趋势(1 h/yr)。对于中雨以上的小时数, 主要在五月中旬至八月底的高值, 这些年有微弱的增加趋势。

## 基金项目

高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室开放研究基金项目和海南大学科研基金资助项目(KYQD(ZR)-22083)。

## 参考文献

- [1] 阮宁. 长江航运转型升级的战略思考[J]. 科技和产业, 2010, 10(10): 19-22, 93.
- [2] 刘西川, 高太长, 刘磊, 等. 降水现象对大气消光系数和能见度的影响[J]. 应用气象学报, 2010, 21(4): 433-441.
- [3] 周雨, 盛志军. 江西高速公路沿线极端降水特征分析[J]. 江西科学, 2019, 37(6): 900-907.
- [4] 白永清, 何明琼, 刘静, 祁海霞. 高速公路交通事故与气象条件的关系研究[J]. 气象与环境科学, 2015, 38(2): 66-71.
- [5] 文元桥, 杨雪, 黄立文, 等. 长江中游干线降雨对航运影响的气候变化特征[J]. 中国航海, 2013, 36(3): 95-100.
- [6] 张新军, 刚赫, 王舒. 新疆 G30 高速公路气象灾害调查与分析[J]. 气象灾害防御, 2019, 26(4): 21-24.
- [7] 张峻, 张艺玄. 长江中下游地区近 60a 降水变化规律研究[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(3): 259-266.
- [8] 时光训, 刘健, 马力, 等. 1970~2014 年长江流域极端降水过程的时空变化研究[J]. 水文, 2017, 37(4): 77-85.
- [9] 何书樵, 郑有飞, 尹继福. 近 50 年长江中下游地区降水特征分析[J]. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1187-1192.
- [10] 胡思, 曾祎, 王磊, 贺新光. 长江流域极端降水的区域频率及时空特征[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8): 2008-2018.
- [11] 马小芳, 林爱文, 方建. 1960-2012 年长江中下游极端降水与极端径流时空演变研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(2): 157-160.
- [12] 孙惠惠, 章新平, 罗紫东, 等. 近 53a 来长江流域极端降水指数特征[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(8): 1879-1890.
- [13] 潘欣, 尹义星, 王小军. 1960~2010 年长江流域极端降水的时空演变及未来趋势[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(3): 436-444.
- [14] 苏布达, 姜彤. 长江流域降水极值时间序列的分布特征[J]. 湖泊科学, 2008, 20(1): 123-128.
- [15] 苏布达, Gemmer, M., 姜彤, 任国玉. 1960-2005 年长江流域降水极值概率分布特征[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(4): 208-213.
- [16] Wang, W., Lin, H., Chen, N. and Chen, Z. (2021) Evaluation of Multi-Source Precipitation Products over the Yangtze River Basin. *Atmospheric Research*, 249, Article ID: 105287. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105287>

- 
- [17] Guo, H., Chen, S., Bao, A., *et al.* (2016) Comprehensive Evaluation of High-Resolution Satellite-Based Precipitation Products over China. *Atmosphere*, **7**, Article No. 6. <https://doi.org/10.3390/atmos7010006>
- [18] Deng, P., Zhang, M., Guo, H., *et al.* (2018) Error Analysis and Correction of the Daily GSMaP Products over Hanjiang River Basin of China. *Atmospheric Research*, **214**, 121-134. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.07.022>
- [19] Li, Z., Yang, D. and Hong, Y. (2013) Multi-Scale Evaluation of High-Resolution Multi-Sensor Blended Global Precipitation Products over the Yangtze River. *Journal of Hydrology*, **500**, 157-169. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.023>
- [20] 张天宇, 桂术, 杨若文, 等. TRMM 和 CMORPH 卫星资料对三峡库区降水的评估分析[J]. 气象, 2020, 46(8): 1098-1112.
- [21] 杨旭, 刘志武, 李波. 多源降水数据在长江上游流域比较研究[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(1): 131-139.
- [22] 许冠宇, 李琳琳, 田刚, 等. 国家级降水融合产品在长江流域的适用性评估[J]. 暴雨灾害, 2020, 39(4): 400-408.