

2021~2023年象山不同区域汛期降水日变化特征分析

曲颖慧¹, 樊丹丹², 徐彬¹

¹浙江省象山县气象局, 浙江 宁波

²陕西省气象信息中心, 陕西 西安

收稿日期: 2024年4月25日; 录用日期: 2024年5月24日; 发布日期: 2024年5月31日

摘要

基于象山县2021~2023年汛期逐小时降水资料, 分析了象山城区、北部山区、海岛、沿海、中部山区五个区域的降水日变化特征。结果表明: 象山县白天降水量略多于夜间, 城区与北部日变化特征较为一致, 大致呈双峰型; 城区降水量日变化最大。北部降水频次明显较高, 其余区域差异不大; 城区、中部、北部、沿海的降水频次日变化趋势较为一致, 大致呈双峰型; 象山降水出现在16~21时的频次最高。白天降水强度大于夜间, 其中13~17时最大, 在汛期服务中, 可提醒民众下班路上携带雨具。2024年新版预警信号将提醒预报员关注长历时降水的累积量及小时雨强。

关键词

日变化, 预警信号, 汛期降水

Diurnal Variation of Flood Season Precipitation in Different Regions of Xiangshan from 2021 to 2023

Yinghui Qu¹, Dandan Fan², Bin Xu¹

¹Xiangshan County Meteorological Bureau, Ningbo Zhejiang

²Shaanxi Meteorological Information Center, Xi'an Shaanxi

Received: Apr. 25th, 2024; accepted: May 24th, 2024; published: May 31st, 2024

Abstract

Based on the hourly precipitation data of Xiangshan County from 2021 to 2023 during the flood

文章引用: 曲颖慧, 樊丹丹, 徐彬. 2021~2023年象山不同区域汛期降水日变化特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(3): 707-715. DOI: 10.12677/ccrl.2024.133080

season, the diurnal cycle of precipitation in Xiangshan five regions were analyzed, including urban area, northern area, island, coastal and central area. The results showed that the precipitation in the daytime was slightly more than that at night, and the diurnal cycle of the urban area and the northern area were relatively consistent, roughly with a double peak type. The diurnal variation of precipitation in the urban area was the largest. The precipitation frequency in the northern area was obviously higher, and the difference in the other regions was not significant. The diurnal cycle of precipitation frequency in the urban area, the central area, the northern area and the coastal area was relatively consistent, roughly with a double peak type. The highest frequency of precipitation occurred in Xiangshan from 16:00 to 21:00. The intensity of precipitation in the daytime was greater than that in the night, and the maximum was 13:00 to 17:00. In the flood season service, people can be reminded to take rain gear on the way home. The new warning signal in 2024 will remind forecasters to pay attention to the accumulation of long-lasting precipitation and hourly rain intensity.

Keywords

Diurnal Cycle, Warning Signals, Flood Season 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

降水是最受关注的天气现象之一，汛期是一年中降水最为集中的时段，也是地质灾害的高发期。研究汛期降水的日变化特征，可助力降水精细化预报、减轻灾害造成的损失、加深对局地气候的理解。

我国幅员辽阔，受地形、下垫面种类、海拔高度等的影响，不同区域的降水日变化差异较大[1] [2] [3]，前人针对不同区域、不同省份有较多研究。宇如聪等[4] [5]利用高密度的地面气象站降水数据分析指出，中国大陆暖季降水日变化峰值时间存在下午、清晨、夜间 3 类典型位相。韩函等[6]利用 2008~2014 年气象站降水数据和卫星反演降水资料针对华北地区夏季降水的日变化特征进行了研究，结果表明华北多数地区夏季降水量和降水频率日变化呈明显双峰特征，短时降水对傍晚峰值贡献较大。张宏芳等[7]利用三源降水融合资料和再分析数据针对秦岭南北两侧暖季降水日变化特征进行了分析，发现秦岭南部降水日峰值主要是夜雨，北部则是午后昼雨。唐敏丽等[8]进一步指出南侧日变化在夏秋两季较为一致，而北侧夏季(秋季)降水强度峰值出现在午后(清晨)。张东方[9]针对成都市汛期小时降雨时空分布特征的分析表明，平均降雨量和降雨频次均呈单峰型分布特征，降雨强度呈双峰型分布。董保举等[10]针对大理苍山不同海拔高度湿季降水日变化进行了对比分析，指出坝区站降水量和降水频次日变化均呈单峰型；山腰站降水量是双峰型，降水频次没有显著日变化；山顶站降水量为双峰型，降水频次为单峰型。

降水具有明显地域差异，浙江省宁波市象山县位于东海之滨，雨量丰沛，受季风、台风等影响，降水年际变化大，降水主要集中在汛期(4 月 15 日~10 月 15 日)，防汛抗旱形势严峻。王颖等[11]曾指出浙江省夏季降水量、降水频次日变化均呈双峰型特征，但关于浙江汛期降水日变化特征的研究较少。本文利用气象站逐时降水数据揭示象山县汛期不同区域降水日变化特征，并对 2018 版、2024 版的预警信号开展回算对比，以期为象山城市建设、洪涝风险防范提供参考，助力降水精细预报服务。

2. 资料和方法

结合象山县地形图(图 1) [12]和研究目标，本文选用浙江省宁波市象山县 10 个地面气象站作为象山

五个区域代表站, 统一选取 2021~2023 年汛期逐小时降雨资料, 将象山县分为城区、北部山区(简称“北部”)、海岛、沿海、中央山区(简称“中部”)五个区域进行对比分析。



Figure 1. Topographic map and subdivision of Xiangshan County, (a) Urban area; (b) Northern area; (c) Island area; (d) Coastal area, and (e) central area, the red dots indicate the locations of weather stations

图 1. 象山县地形图及本文分区, (a) 城区; (b) 北部; (c) 海岛; (d) 沿海; (e) 中部, 红点表示气象站位置

将小时降水量 ≥ 0.1 mm 的时次定义为有效的降水记录[13], 将 08 时~20 时定义为白天时段, 20 时~次日 08 时定义为夜间时段。其余名称定义如下

降水频次: 出现有效降水的时次数总和。

降水强度: 某一时段降水量除以该时段降水频次[14]。

降水持续时间: 某次降水过程后连续 2 h 没有降水, 定义为本次降水过程的结束, 并将降水开始时刻至降水结束时刻的小时数定义为本次降水的持续时间。降水持续时间 1~3 h 为短历时降水, 4~6 h 为中历时, 大于 6 h 为长历时降水[11]。

本文所涉及的时间均采用北京时间, 利用标准差衡量日变化的剧烈程度。

3. 日变化特征分析

3.1. 降水量、降水频次和降水强度的日变化特征

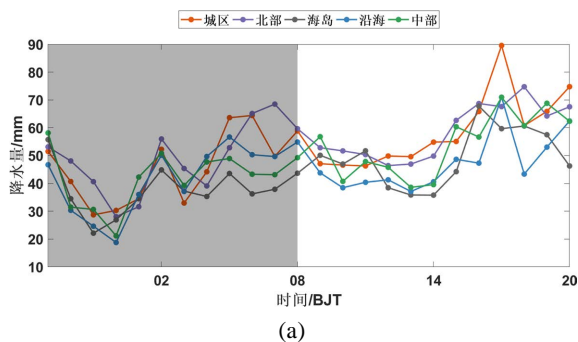
图 2 给出了 2021~2023 年象山县汛期不同区域的降水量、降水频次和降水强度日变化。平均状态下，五个区域降水量从多到少依次为：北部、城区、中部、沿海、海岛。北部降水量大约是海岛降水量的 1.2 倍。白天降水总量略多于夜间，不同区域的降水量均表现出显著的日变化，但日变化特征存在差异。城区与北部日变化特征较为一致，可大致看作双峰型分布：22、23 时出现最小谷值，随后波动上升于 05 时出现次峰值(64.4 mm, 65.1 mm)，随后波动下降，10 时、11 时出现次谷值，此后各时次的降水量逐渐增加，到 16 时、17 时出现最大峰值，之后逐渐减少。海岛、沿海、中部日变化特征较为一致，在 04 或 05 时出现最小值，15 或 16 时出现最大值，其余时次震荡变化。城区降水量日变化最为剧烈，最大峰值(16 时)是最小谷值(22 时)的三倍以上。午后至夜间的 14~19 时是象山降水量相对较多的时段，城区、北部和沿海还存在日出前降水量相对较多的时段，分别为 4~5 时，5~7 时，3~6 时。

五个区域平均降水频次从多到少依次为：北部、中部、城区、海岛、沿海。北部降水频次大约是沿海的 1.3 倍，北部降水频次在一天中的任一时刻均高于其他区域，其余区域降水频次总数差异不大。中部夜间降水频次与白天均等，其余区域夜间降水频次略多于白天。城区、中部、北部、沿海的降水频次日变化趋势较为一致，可大致看作双峰型分布：00 时前后出现次谷值，随后波动上升，日出前后(05~06 时)出现次峰值，随后波动下降，14 时出现最小谷值，此后降水频次逐渐增加，到 16 时、17 时出现最大峰值。海岛的降水频次日变化也可大致看作双峰型分布，与其他区域不同的是，海岛降水频次最大峰值位于 06 时，19 时出现次峰值。北部的降水频次日变化最为剧烈。象山降水出现在 16 时~21 时的频次最高。

五个区域平均降水强度从大到小依次为：城区、沿海、中部、北部、海岛。城区降水强度约为海岛的 1.2 倍。白天降水强度大于夜间。相对于降水量和降水频次，降水强度的波动特征较为显著。城区、海岛、沿海的降水强度日变化趋势较为一致：22、23 时出现最小值，随后波动上升于午后 15、16 时出现最大值，随后波动下降。北部在 05~17 时降水强度持续处于较高水平；中部 21~23 时降水强度较低，午后 14~16 时由于对流旺盛，降水强度较高，其余时次降水强度震荡变化。城区降水强度日变化最为剧烈。总体而言，象山降水强度在 13~17 时较大，21~0 时较小。

3.2. 不同持续时间的降水量和降水频次日变化特征

图 3 给出了各区域不同持续时间的降水量日变化特征。降水持续时间 1 h 的降水量很小，各时次累积降水量都小于 40.0 mm，持续时间 2~14 h 的降水量较大；城区持续时间 24 h、北部持续时间 18 h、沿海持续时间 23 h，中部持续时间 24 h 的降水量较大。各区域午后 14~20 时均存在持续时间 2~6 h 降水量的大值区，在气象服务中需格外引起关注。这与 Yu *et al.*的结果中“中国中东部夏季持续性降水的极大值则多出现在下午或傍晚” [15]有一定相似性。



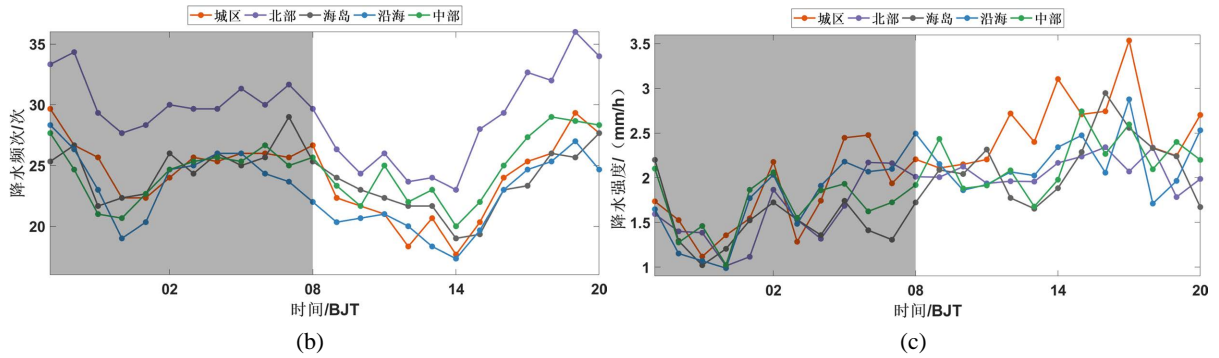
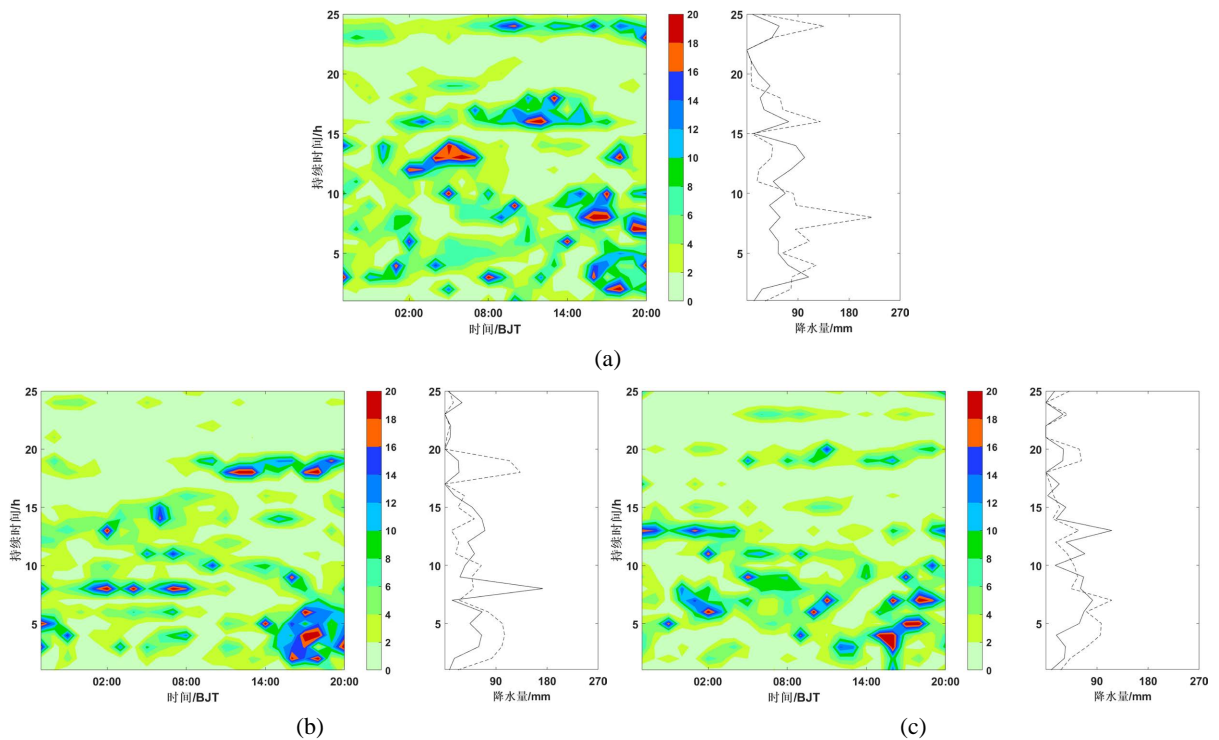


Figure 2. Diurnal cycle of (a) rainfall amount; (b) rainfall frequency; and (c) rainfall intensity of Xiangshan different areas. The gray shades represent the nighttime period

图 2. 象山县不同区域(a) 降水量; (b) 降水频次和(c) 降水强度日变化降水量日变化, 灰色阴影代表夜间时段

图 3 中右侧为不同持续时间降水事件在白天和夜间的累积降水量。短历时降水事件中, 沿海夜间降水量大于白天, 其余区域均为白天大于夜间, 北部短历时降水白天降水量高达夜间的 2.4 倍。中历时降水事件中, 各区域白天降水量均大于夜间。长历时降水事件中, 北部和海岛白天和黑夜降水量基本持平, 其他区域白天降水量均明显大于白天。各区域白天降水量占比相差不大, 范围在 55.0%~58.8%之间。城区白天、北部夜里在持续时间 8 h 有一个大值, 沿海白天、中部白天分别在持续时间 23 h、24 h 有一个大值, 这提醒我们长历时降水, 虽然小时雨强不大, 但由于降水时间长, 累积雨量是很可观的。

从象山县不同区域不同历时的累积降水量占总降水量的比值(表 1)可以看出, 长历时降水量的贡献最多, 远超中历时和短历时, 后两者占比之和不足 1/4, 中历时降水量贡献次之, 短历时降水贡献最少, 均不足 10%。各区域又有细微差异, 短历时降水量贡献在城区和中部最多, 中历时在沿海最多, 长历时降水量贡献在北部最多。



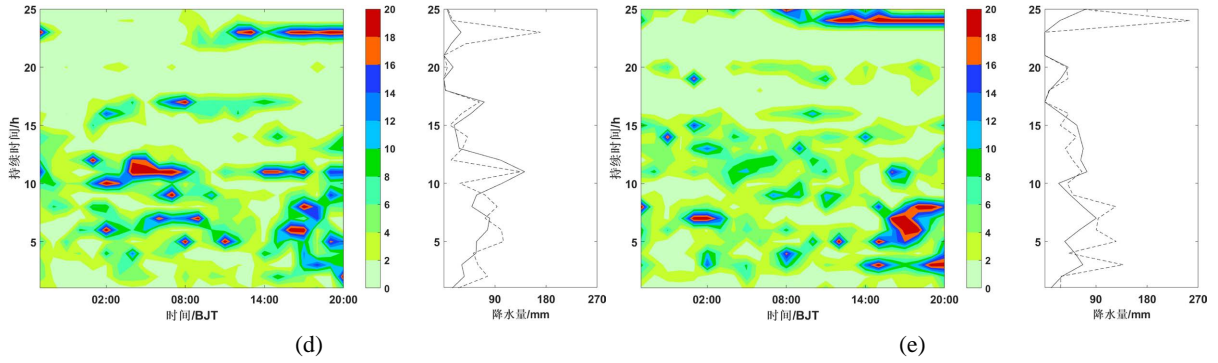


Figure 3. Rainfall amount for different durations of (a) Urban area; (b) Northern area; (c) Island area; (d) Coastal area; and (e) Central area, the dotted line on the right represents rainfall amount during the day and the solid line represents rainfall amount at night.

图 3. 象山县各区域不同持续时间的降水量变化(a) 城区; (b) 北部; (c) 海岛; (d) 沿海; (e) 中部, 右侧虚线代表白天降水量, 实线代表夜间降水量

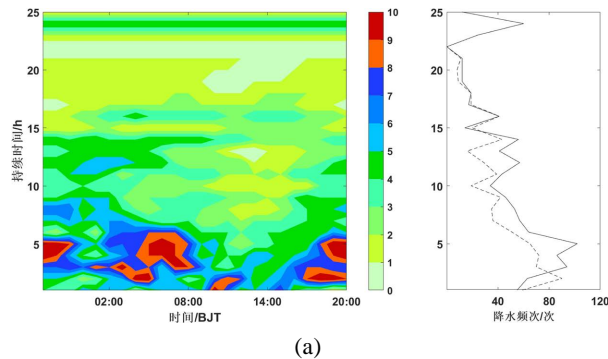
Table 1. The proportion of rainfall amount for different durations in different areas of Xiangshan County

表 1. 象山县不同区域不同历时的降水量占比

区域	短历时	中历时	长历时
城区	9.3%	13.1%	77.6%
北部	7.6%	11.9%	80.5%
海岛	7.4%	13.9%	78.7%
沿海	8.0%	14.7%	77.3%
中部	9.2%	12.4%	78.4%

图 4 给出了象山县不同区域不同持续时间的降水频次的日变化特征。不同区域降水频次在持续时间 8 h 内较大, 中部降水频次大值区在 6 h 以内。海岛、沿海、中部的夜间在持续时间 10~14 h 存在一个次大值区。

区分白天黑夜来看, 短历时降水事件中, 海岛夜间降水频次明显多于白天, 其余区域白天黑夜降水频次较为接近。中历时降水事件中, 中部和海岛白天黑夜降水频次相当, 其余各区域均为夜间降水频次大于白天。长历时降水事件中, 各区域均为夜间大于白天。各区域白天降水频次占比相差不大, 范围在 53.0%~55.8%之间, 夜间降水频次多于白天主要归因于长历时降水的贡献。



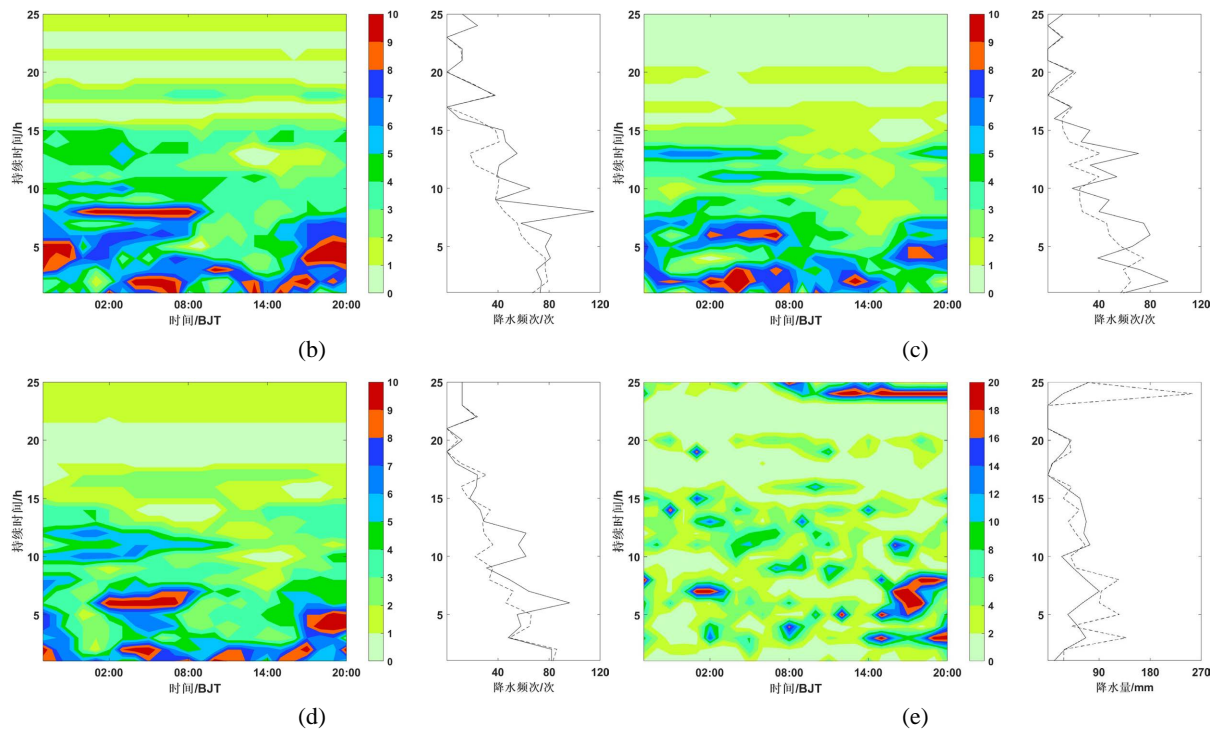


Figure 4. Rainfall frequency for different durations of (a) Urban area; (b) Northern area; (c) Island area; (d) Coastal area, and (e) Central area, the dotted line on the right represents rainfall frequency during the day and the solid line represents rainfall frequency at night

图 4. 象山县各区域不同持续时间的降水频次变化(a) 城区; (b) 北部; (c) 海岛; (d) 沿海; (e) 中部, 右侧虚线代表白天降水频次, 实线代表夜间降水频次

从象山县不同区域不同历时的累积降水频次占总降水频次的比值(表 2)可以看出, 不同历时降水频次占比差异要小于降水量占比差异。长历时降水的降水频次占比最高, 短历时降水次之, 中历时降水的降水频次占比最低。长历时降水在北部最多发, 中历时降水在城区最多发, 短历时降水沿海和中部最多发。北部和沿海降水频次占比与其他区域差异较为明显, 北部长历时降水占比最多, 短历时和中历时占比最少; 沿海短历时降水占比最多, 长历时降水最少。各区域降水频次随着降水持续增长而波动减少。

Table 2. The proportion of rainfall frequency for different durations in different areas of Xiangshan County

表 2. 象山县不同区域不同历时的降水频次占比

区域	短历时	中历时	长历时
城区	20.1	19.3	60.6
北部	16.5	16.2	67.3
海岛	19.9	18.0	62.1
沿海	21.4	18.6	60.0
中部	21.0	17.6	61.4

4. 新旧版暴雨预警信号回算分析

2018 年 1 月发布的《浙江省气象灾害预警信号发布与传播规定》为依据, 以及 2024 年 1 月发布的

暴雨预警信号，二者对于暴雨预警信号的标准要求如表 3 所示。暴雨蓝色预警信号的标准维持不变，均为 12 小时降雨量将达到 50 毫米以上。

Table 3. Comparison of rainstorm warning signals between the 2018 and the 2024 edition
表 3. 2018 版与 2024 版暴雨预警信号含义对比

	黄色	橙色	红色
旧版	6 h ≥ 50	3 h ≥ 50	3 h ≥ 100
新版	3 h ≥ 50 或 12 h ≥ 75	1 h ≥ 50 或 3 h ≥ 75 或 12 h ≥ 100	1 h ≥ 75 或 3 h ≥ 100 或 12 h ≥ 200

注：6 h ≥ 50 意为 6 小时降水达 50 毫米以上，其余依此类推。

据此，对不同区域进行降水预警信号回算，结果如表 4 所示。总体而言，暴雨黄色预警信号数量由原来的 21 次减少到 16 次，暴雨橙色预警信号数量由原来的 17 次减少到 13 次，暴雨红色预警信号的数量由原来的 1 次增加到 3 次。这说明新版预警信号的发布将减轻预报员黄色、橙色预警信号发布压力，也提醒预报员在平时预报服务中需关注长历时降水的累积量及小时雨强。

Table 4. The quantity of rainstorm warning signals between the 2018 and the 2024 edition in the past three years

表 4. 近三年 2018 版与 2024 版暴雨预警信号回算数量

颜色		城区	北部	海岛	沿海	中部
黄色	新版	7	4	2	5	3
	旧版	4	2	4	4	2
橙色	新版	4	3	4	3	3
	旧版	4	3	2	3	1
红色	新版	1	0	0	0	0
	旧版	2	0	0	0	1

5. 结论和讨论

本文通过分析象山 2021~2023 年汛期降水日变化，得出如下结论：

1) 象山县白天降水量略多于夜间，其中 14~19 时降水量最大；降水量表现出显著的日变化，但不同区域日变化特征存在差异，城区与北部日变化特征较为一致，可大致看作双峰型分布，城区降水量日变化最大。对于降水频次而言，北部明显较高，其余区域差异不大；中部夜间降水频次与白天均等，其余区域夜间降水频次略多于白天；城区、中部、北部、沿海的降水频次日变化趋势较为一致，可大致看作双峰型分布；象山降水出现在 16~21 时的频次最高。相对于降水量和降水频次，降水强度的波动特征较为显著，白天降水强度大于夜间，其中 13~17 时最大，21~0 时最小。在日常业务中，可适当增加对于汛期下班路上携带雨具的提醒。

2) 各区域午后 14~20 时均存在持续时间 2~6 h 降水量的大值区，在气象服务中需格外引起关注。同时需要注意的是，长历时降水虽然小时雨强不大，但由于降水时间长，累积雨量是很可观的。

3) 不同区域降水频次在持续时间 8 h 内较大，夜间降水频次多于白天，主要归因于长历时降水的贡

献。长历时降水的降水频次占比最高，短历时降水次之，中历时降水的降水频次占比最低。

4) 2024 年新版预警信号相对于 2018 年旧版预警信号将减轻预报员黄色、橙色预警信号发布压力，也提醒预报员在平时预报服务中需关注长历时降水的累积量及小时雨强。

由于气象站的稀疏性，下一步将结合卫星资料对象山降水日变化进行更加深入的分析，针对梅雨、台风等不同天气系统分别进行降水日变化的研究[16] [17]。

参考文献

- [1] 宇如聪, 李建, 陈昊明, 等. 中国降水日变化[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [2] 杨蕾. 中国夏季降水日变化的空间分布特征研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2020.
- [3] Zhang, X.-X., Bi, X.-Q. and Kong, X.-H. (2015) Observed Diurnal Cycle of Summer Precipitation over South Asia and East Asia Based on CMORPH and TRMM Satellite Data. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, **8**, 201-207. <https://doi.org/10.1080/16742834.2015.11447260>
- [4] 宇如聪, 李建. 中国大陆日降水峰值时间位相的区域特征分析[J]. 气象学报, 2016, 74(1): 18-30.
- [5] 宇如聪, 李建, 陈昊明, 原韦华. 中国大陆降水日变化研究进展[J]. 气象学报, 2014, 72(5): 948-968
- [6] 韩函, 吴昊旻, 黄安宁. 华北地区夏季降水日变化的时空分布特征[J]. 大气科学, 2017, 41(2): 263-274.
- [7] 张宏芳, 潘留杰, 陈昊明, 等. 秦岭及周边地区暖季降水日变化及其成因分析[J]. 高原气象, 2020, 39(5): 935-946.
- [8] 唐敏丽, 肖潺, 原韦华. 秦岭南北降水小时尺度特征对比分析[J]. 暴雨灾害, 2022, 41(1): 24-32.
- [9] 张东方, 成青燕, 孙磊. 近 17 年成都市汛期小时降雨时空分布特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(2): 386-393.
- [10] 董保举, 徐安伦, 苏锦兰. 大理苍山不同海拔高度湿季降水日变化特征分析[J]. 气象, 2023, 49(11): 1405-1413.
- [11] 王颖, 刘丹妮, 张玮玮, 等. 2004-2016 年浙江省夏季降水的日变化特征[J]. 干旱气象, 2019, 39(1): 1-9.
- [12] 象山县地方志编纂委员会. 象山县志[M]. 北京: 方志出版社, 2019.
- [13] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003
- [14] 周子涵, 王基鑫, 刘维成, 等. 甘肃省暖季降水日变化特征[J]. 干旱区研究, 2024, 41(1): 1-12.
- [15] Yu, R.-C., Zhou, T. J., et al. (2007) Diurnal Variations of Summer Precipitation over Contiguous China. *Geophysical Research Letters*, **34**, L01704. <https://doi.org/10.1029/2006GL028129>
- [16] 智协飞, 李佳, 张玲. 双低空急流影响下华南初夏降水日变化的时空分布特征[J]. 大气科学学报, 2022, 45(3): 444-455.
- [17] 汪冬冬, 方艳莹, 申华羽, 等. 浙江省梅雨期降水日变化及 ECMWF 预报能力评估[J]. 水利水电技术, 2023, 54(7): 36-49.