

近17年成都市汛期小时降雨时空分布特征分析

张东方, 成青燕, 孙 磊

成都市气象局, 四川 成都

收稿日期: 2023年2月18日; 录用日期: 2023年3月20日; 发布日期: 2023年3月27日

摘 要

基于成都市14个国家气象站2005~2021年汛期(5~9月)逐小时降雨数据, 对成都市汛期短历时、持续性降雨过程的时空分布特征和日变化特征进行分析得到: 1) 持续性降雨为汛期总降雨量的主要贡献者; 持续性降雨的过程雨量为短历时过程雨量的6倍; 短历时降雨为汛期降雨的主要降雨形式; 持续性降雨峰值雨强为短历时过程峰值雨强的3倍; 持续性降雨过程达到峰值雨强的时间较短历时降雨过程明显偏长。2) 96.55%的小时降雨量在10 mm以下, 随着小时雨强的增大, 降雨时次迅速减小。3) 短时强降雨时次占总汛期降雨时次的1.17%, 而降雨量贡献了20%。4) 平均降雨量和降雨频次均呈单峰型分布特征, 降雨量在3~4时达到峰值, 17时为谷值; 降雨频次在4~5时达到峰值, 16时达到谷值; 降雨强度呈双峰型分布, 第一峰值在3~4时, 次峰值在16时, 谷值在11时。

关键词

短历时降雨, 持续性降雨, 短时强降雨, 日变化

Analysis of Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Hourly Rainfall during Flood Season in Chengdu in Recent 17 Years

Dongfang Zhang, Qingyan Cheng, Lei Sun

Chengdu Meteorological Bureau, Chengdu Sichuan

Received: Feb. 18th, 2023; accepted: Mar. 20th, 2023; published: Mar. 27th, 2023

Abstract

Based on the hourly rainfall data of 14 national meteorological stations in Chengdu during the flood season (May-September) from 2005 to 2021, the temporal and spatial distribution characteristics and daily variation characteristics of the short duration and continuous rainfall process in the flood season in Chengdu are analyzed and obtained as follows: 1) Persistent rainfall is the main contributor to the total rainfall in flood season; The process rainfall of continuous rainfall is 6 times of that of short duration process; Short duration rainfall is the main form of rainfall in flood season; The peak rainfall intensity of continuous rainfall is 3 times of the peak rainfall intensity of short duration process; The duration of continuous rainfall process reaching the peak rainfall intensity is shorter than the duration rainfall process. 2) 96.55% of the hourly rainfall is below 10 mm, and the rainfall time decreases rapidly with the increase of hourly rainfall intensity. 3) The short-term heavy rainfall time accounts for 1.17% of the total rainfall time in the flood season, and the rainfall contributes 20%. 4) The average rainfall and rainfall frequency are characterized by a single peak distribution. The rainfall reaches the peak at 3~4 o'clock and the valley at 17 o'clock; The rainfall frequency reached the peak at 4~5 o'clock and reached the valley at 16 o'clock; The precipitation intensity is distributed in a bimodal pattern, with the first peak at 3~4 o'clock, the second peak at 16 o'clock and the valley at 11 o'clock.

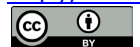
Keywords

Short-Duration Rainfall, Continuous Rainfall, Short-Term Heavy Rainfall, Daily Variation

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

汛期是一年当中降雨最集中的时段, 降雨具有突发性强、强度大的特点, 导致的主要灾害包括暴雨洪涝、地质灾害、城市内涝等。关于汛期降雨有许多研究成果, 周玉都[1]等通过分析长江流域降雨得到降雨频率增加、降雨强度增大导致长江流域降雨增加, 而华北地区降雨减少主要是降雨频率减少的结果。周长艳[2]分析了四川省近 50 年的降雨特征, 指出年均暴雨日数从西到东呈现“增-减-增”的总体变化趋势, 大雨日数变化趋势与之接近等。以上研究主要是针对日尺度降雨进行分析, 近年来随着气象事业的高速发展, 高分辨率观测资料日益增加, 而且采用小时尺度降雨替代日降雨资料可更好地反映强度等实际降雨的变化, 减小取样的误差[3], 因此许多学者开展了一系列关于小时降雨的研究[4] [5] [6]。研究中东部小时降雨特征发现, 长江流域(华北)中下游的降雨数量和频率明显增加(减少), 但降雨强度却有所降低(增加) [7]。这与以往基于日数据得到的长江流域每日降雨量增加的结果不同, 其每小时降雨强度是降低的, 还有大量工作分析了各地小时尺度降雨, 得到了雨强、日变化等时空分布及变化特征[8]-[13]。蒋元华[14]更进一步基于小时降雨将降雨过程分为长历时和短历时, 分析了不同历时降雨对汛期降雨的贡献及变化。

成都地处青藏高原边缘, 降雨时空分布差异十分明显。受地面观测资料的限制, 以往开展的降雨研究基本以季节尺度和年际尺度为主[15] [16], 也有专门针对短时强降雨进行分析的[17]。但缺乏基于小时尺度降雨的研究, 更缺乏针对降雨过程的分析。本文在前人的基础上采用汛期逐时降雨资料, 从长短历

时降雨过程的强度、历时、雨量、频次、降雨开始时间和日变化等方面，详细分析了成都市不同历时降雨过程变化特征，增进对成都市降雨日变化的理解，为进一步改进数值预报模式中降雨有关的本地化参数提供必要依据，为降雨强度精细化预报、城市规划发展和大城市的防汛、内涝、中小河流暴雨洪涝风险防范等提供参考。

2. 资料和方法

本文选用成都市 14 个国家级地面气象站 2005~2021 年汛期 5~9 月(下文简称“汛期”)逐小时降雨资料。将降雨过程分为持续性降雨过程和短历时降雨过程，从总降雨量、过程降雨量、降雨过程次数、平均雨强、降雨过程历时、峰值雨强、降雨开始到峰值雨强历时、过程开始时间、降雨的日变化和短时强降雨等方面对成都市汛期降雨特征进行分析。

本文所用的一些名称定义如下：

- ① 降雨小时：小时降雨量 ≥ 0.1 mm 的时次判定为有降雨发生，为降雨小时。
- ② 降雨过程：以 2 h 为界限划分两次降雨事件，即某一降雨时次之后连续 2 h 没有降雨时，判断该降雨过程结束。
- ③ 降雨过程历时：将一次降雨过程开始至结束之间的小时数定义为降雨的持续时间(h)。
- ④ 过程雨量：降雨过程内的小时降雨量之和定义为降雨过程雨量(mm)。
- ⑤ 过程平均雨强($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)：过程雨量除以降雨过程历时。
- ⑥ 峰值雨强($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)：一次降雨过程中最大的小时降雨量。
- ⑦ 到达峰值雨强历时(h)：从降雨开始至峰值雨强出现时刻之间的历时。
- ⑧ 降雨开始时间：将 24 个时次中降雨开始最多的时次定义为降雨开始时间。
- ⑨ 持续性(短历时)降雨过程：持续时间 > 6 h (≤ 6 h)的降雨过程。
- ⑩ 短时强降雨：小时降雨量 ≥ 20 mm

本文涉及的地理分区：西部指彭州、都江堰、大邑、蒲江、邛崃、崇州；东部指龙泉驿、金堂、简阳，中部指温江、郫县、双流、新津、新都；西南部指蒲江、邛崃和新津。

3. 结果分析

3.1. 短历时和持续性降雨基本特征

成都市 14 个国家站汛期总降雨、短历时降雨和持续性降雨各统计量平均值见表 1。短历时降雨和持续性降雨分别占汛期降雨的 35%和 65%，持续性降雨为汛期降雨的主要贡献者；从降雨次数可以看到，短历时降雨占总降雨次数的 77%，持续性降雨占比为 23%，短历时降雨次数是持续性降雨次数的 3 倍，所以短历时降雨是汛期降雨的主要形式；从过程降雨量可以看到，持续性过程雨量为短历时过程雨量的 6 倍；持续性过程雨强较短历时过程雨强偏大 50%；持续性降雨峰值雨强为短历时峰值雨强的 3 倍；达到峰值雨强的时间持续性较短历时降雨过程明显偏长。

Table 1. Features of the short-duration and continuous rainfall events during the flood season in Chengdu

表 1. 成都市汛期短历时和持续性降雨过程基本特征

	总降雨	短历时降雨	持续性降雨
总降雨量/mm	820.2	286.3	533.9
总降雨过程次数/次	104.0	80.1	23.9
降雨过程降雨量/mm	7.9	3.6	22.1

Continued

降雨过程历时/h	4.6	2.6	11.6
平均雨强/mm·h ⁻¹	1.3	1.2	1.8
峰值雨强/mm·h ⁻¹	3.5	2.4	7.2
达到峰值时间/h	2.3	1.5	5.0

3.2. 短历时和持续性降雨时空分布特征

3.2.1. 降雨量

成都市汛期短历时降雨和持续性降雨量分布情况见图 1。短历时降雨过程总降雨量向东向南逐渐减小，都江堰、双流、温江和崇州超过 300mm，都江堰最多 326.1mm，金堂最少 234.9mm。持续性降雨过程总降雨量由西部沿山向东部递减，西部在 500mm 以上，蒲江最多 705.2mm，东部大部地方在 500mm 以下，双流最少为 476.0mm。地形是造成降雨西多东少分布形态的主要原因，成都位于四川盆地的西北部，西侧为青藏高原边缘山地，东面则是平畴千里的四川盆地，南风或东风气流遇到山地，受到地形强迫抬升作用影响，形成降水。

短历时降雨过程降雨量以中部的双流、温江最多，均为 3.9mm，向东西递减，西部最少为都江堰 3.3mm，东部最少为金堂 3.4mm；持续性过程降雨量空间分布则与短历时过程降雨量基本呈相反的状态，中部双流最少为 21.1mm，然后向东西递增，最多为都江堰 23.8mm。

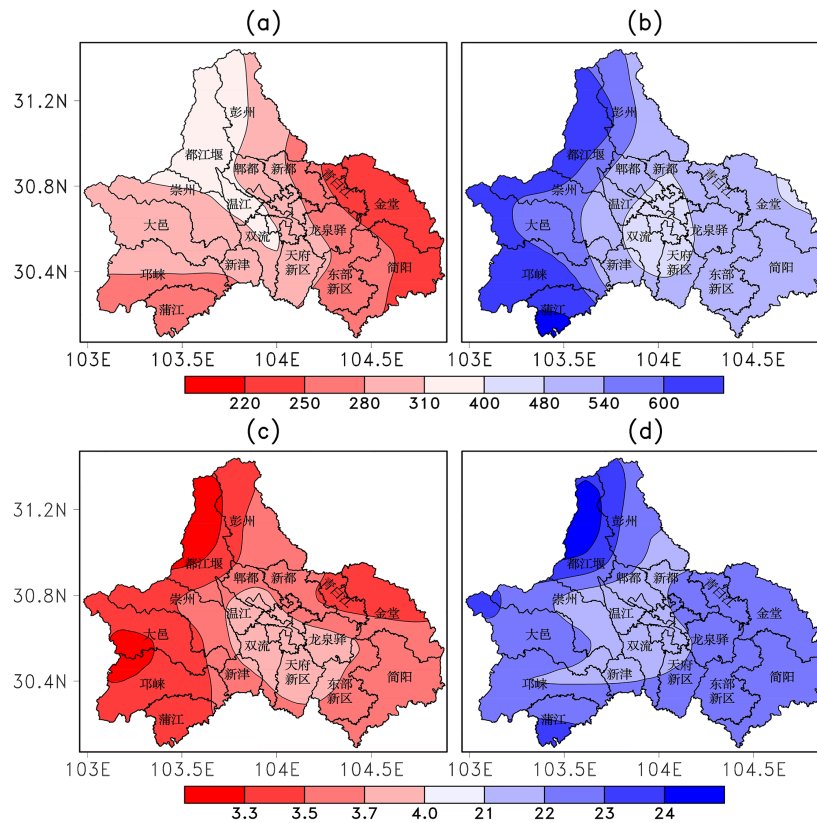


Figure 1. Spatial distribution of short-duration (a) (c) and continuous rainfall (b) (d) rainfall amounts (a) (b) and process rainfall amounts (c) (d) (Unit: mm)

图 1. 短历时 (a) (c) 和持续性 (b) (d) 总降雨量 (a) (b)、过程降雨量 (c) (d) 空间分布 (单位: mm)

3.2.2. 降雨次数和历时

成都市汛期短历时降雨过程和持续性降雨过程次数空间分布(图 2)。短历时降雨过程次数东西差异较大,呈现西多东少的分布特征,金堂最少为 70.1 次·a⁻¹,都江堰最多为 98.0 次·a⁻¹;持续性降雨过程降雨次数整体上也呈现西多东少的特征,但各站差异较小,中东部大部在 21~23 次·a⁻¹,西部在 25 次·a⁻¹以上,最多为蒲江 30.8 次·a⁻¹。成都市汛期短历时降雨过程历时在 2.5~2.7 h;持续性降雨过程历时在 11.1~12.2 h;短历时降雨过程从降雨开始到峰值雨强经历 1.5~1.6 h;持续性降雨过程到达峰值雨强的时间在 4.8~5.4 h (图略)。

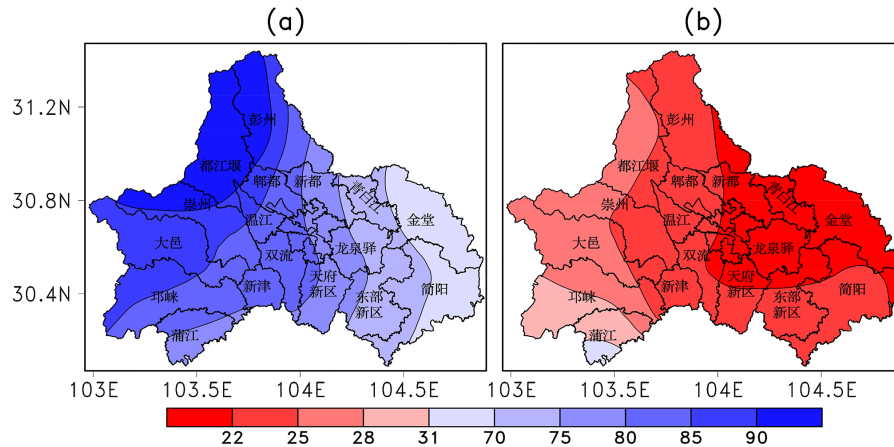


Figure 2. Spatial distribution of short-duration (a) and continuous rainfall (b) frequencies (Unit: n)

图 2. 短历时 (a)和持续性 (b)降雨过程次数空间分布(单位: 次)

3.2.3. 降雨强度

表 2 为成都市汛期降雨过程小时降雨量为汛期总降雨量贡献的降雨时次和降雨量占比,从中可以看到,96.55%的小时降雨量在 10mm 以下,随着小时雨强的增大,降雨时次迅速减小,达到短时强降雨(雨强 ≥ 20 mm/h)的时次在 1.17%,从降雨量占比可以看到,小时雨强在 20 mm 以下的贡献了总降雨量的 80%,短时强降雨贡献了汛期总降雨量的 20%。图 3 为短时强降雨次数、雨量、汛期降雨贡献的空间分布,短时强降雨年均时次在 4.5~6.8 h,西部山区时次偏多,东部少;短时强降雨平均小时雨强 30.8 mm,最大为彭州 33.4 mm,最小为龙泉驿 29.1 mm;各站历年最大小时降雨量均超过 50 mm,最大为彭州 92.1 mm,最小为双流 59.4 mm。

Table 2. Hourly rainfall intensity and rainfall ratio

表 2. 不同小时雨强时次和降雨量占比

等级(mm)	时次占比%	降雨量占比%
[0.1~10]	96.55	62.23
(10~20]	2.28	17.77
(20~30]	0.71	9.59
(30~40]	0.27	5.17
(40~50]	0.11	2.60
50 以上	0.08	2.63

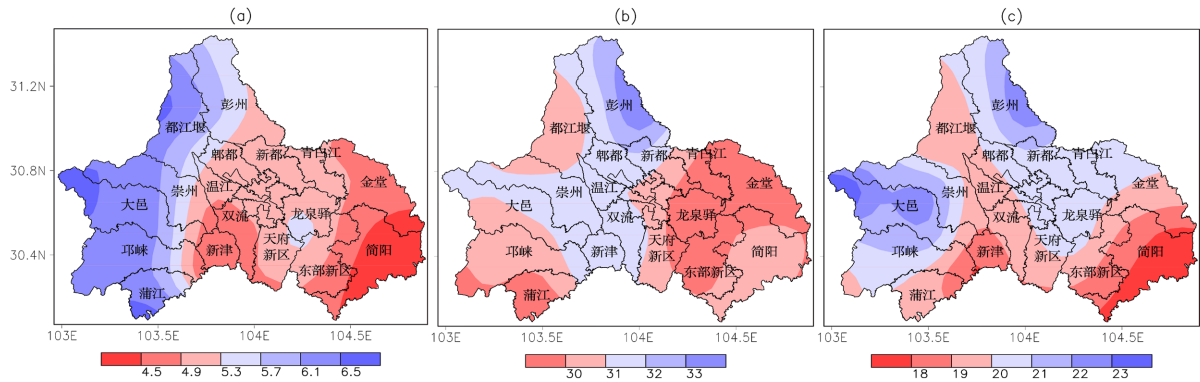


Figure 3. Short term heavy rainfall (a) Annual average frequency (b) Hourly rainfall (c) Proportion to total rainfall in flood season

图 3. 短时强降雨(a) 年平均次数(b) 小时降雨量(c) 占汛期总降雨比例

3.2.4. 降雨日变化特征

图 4 为成都市汛期降雨量、降雨频次和降雨强度的日变化分布图，平均降雨量和降雨频次均呈单峰型分布特征，平均降雨量在凌晨 3~4 时达到峰值，17 时最小，降雨频次在 4~5 时达到峰值，16 时最少；降雨强度呈双峰型分布，第一峰值在 3~4 时，次峰值在 16 时，11 时最小。图 5 为成都市汛期降雨量、降雨频次和降雨强度的峰值所在时间的空间分布，降雨量峰值时间集中在 1~5 时，其中西部稍偏早，在 1~4 时，中东部在 4~5 时；降雨频次峰值和降雨量峰值时间类似，集中出现在 3~6 时，其中西部沿山稍偏早在 3~4 时，中东部在 4~6 时；降雨强度峰值时间则主要集中在 1~4 时和下午 14~19 时，前者主要出现在东西两端，后者多出现在中部。

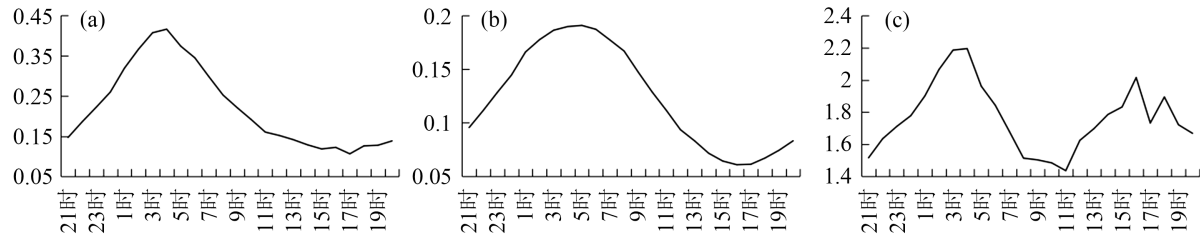


Figure 4. Daily variation of (a) rainfall, (b) rainfall frequency and (c) rainfall intensity

图 4. (a) 降雨量、(b) 降雨频次、(c) 降雨强度的日变化

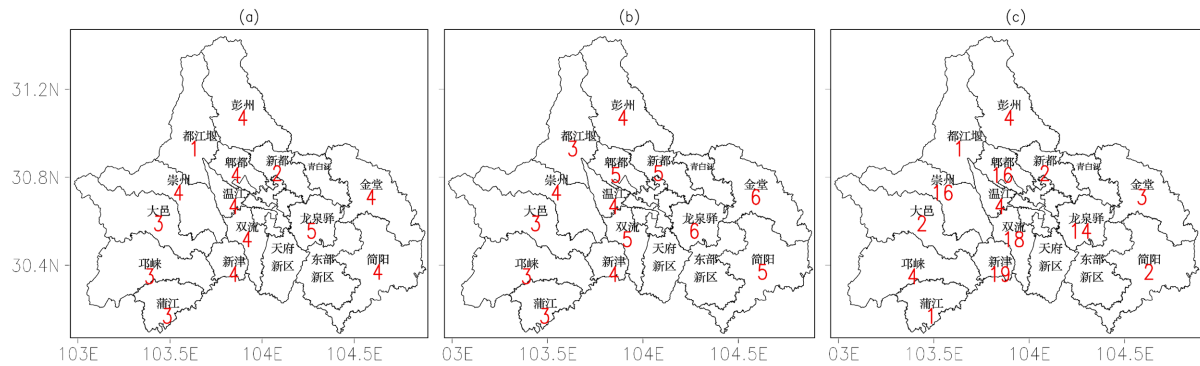


Figure 5. Peak time distribution of (a) rainfall, (b) rainfall frequency, (c) rainfall intensity

图 5. (a) 降雨量、(b) 降雨频次、(c) 降雨强度的峰值时间分布

4. 结论与讨论

1) 成都市汛期短历时降雨过程总降雨量以中部到西北部为最多, 持续性降雨过程总降雨量西南部最多; 短历时降雨过程降雨量、平均雨强和峰值雨强自中部向东西两边递减, 持续性降雨过程降雨量、平均雨强和峰值雨强自中部向东西两边递增; 短历时降雨过程次数最多出现在都江堰, 持续性降雨过程次数最多出现在蒲江; 短历时降雨过程历时中部最长, 持续性降雨过程历时西南部最长; 短历时降雨过程的降雨开始到峰值雨强历时西北部最长, 持续性降雨过程到达峰值的时间在西部最长。

2) 成都市汛期短历时降雨过程次数呈西多东少的分布特征; 持续性降雨过程次数整体也呈西多东少分布特征, 但各站差异较小。短历时降雨过程历时在 2.5~2.7 h; 持续性降雨过程历时在 11.1~12.2 h; 短历时降雨过程从降雨开始到峰值雨强经历 1.5~1.6 h; 持续性降雨过程到达峰值为 4.8~5.4 h。

3) 成都市汛期降雨过程 96.55% 的小时降雨量在 10 mm 以下, 小时雨强增大则降雨时次减小。短时强降雨短时强降雨年均时次在 4.5~6.8 h, 占汛期总降雨时次的 1.17%, 降雨量占汛期总降雨量的 20%; 短时强降雨平均小时雨强 30.8 mm, 最大达到 92.1 mm。

4) 成都市汛期平均降雨量和降雨频次均呈单峰型分布特征, 平均降雨量在凌晨 3~4 时达到峰值, 17 时最小, 降雨频次在 4~5 时达到峰值, 16 时最少; 降雨强度呈双峰型分布, 第一峰值在凌晨 3~4 时, 次峰值在 16 时, 最小在 11 时; 降雨量峰值时间集中在凌晨 1~5 时, 西部较东部稍偏早; 降雨频次峰值集中在凌晨 3~6 时, 西部较中东部稍偏早; 降雨强度峰值时间主要集中在凌晨 1~4 时和下午 14~19。

上述研究立足于成都市小时降雨, 对汛期的降雨总体特征以及短历时和日变化特征进行了分析, 受限于资料的长度、降雨长短历时的划分规则和两次降雨时间的间隔划分等因素, 对各要素趋势没有分析, 下一步可以通过改变短历时降雨的历时和两次降雨的间隔时间来进行更大范围的分析, 有助于更全面更细致地认识成都市汛期小时降雨特征。

参考文献

- [1] 周玉都, 许敏, 赵玮, 刘艳杰, 李娜. 2005-2019 年河北省小时降雨时空分布特征[J]. 气象科技, 2021, 49(6): 885-896. <https://doi.org/10.19517/j.1671-6345.20200444>
- [2] 周长艳, 岑思弦, 李跃清, 彭国照, 杨淑群, 彭骏. 四川省近 50 年降雨的变化特征及影响[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 619-630.
- [3] 李建, 宇如聪, 孙激. 从小时尺度考察中国中东部极端降雨的持续性和季节特征[J]. 气象学报, 2013, 71(4): 652-659.
- [4] 多典洛珠, 周顺武, 宋倩倩, 孙阳, 赤曲. 西藏拉萨汛期降雨日变化特征[J]. 干旱气象, 2020, 38(1): 58-65.
- [5] 刘洋, 李韵婕, 王世强, 黄照亮, 何晓云. 基于小时资料的珠海市降雨特征分析[J]. 广东气象, 2020, 42(1): 15-19.
- [6] 杨春, 张勇, 张亚萍, 余君, 吴胜刚, 李强. 近 25a 重庆地区小时降雨时空分布特征分析[J]. 暴雨灾害, 2020, 39(1): 71-80.
- [7] Yu, R.C., et al. (2010) Changes in Characteristics of Late-Summer Precipitation over Eastern China in the Past 40 Years Revealed by Hourly Precipitation Data. *Journal of Climate*, **23**, 3390-3396. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3454.1>
- [8] Li, X.F., Henkinsop, B., Barbero, R., et al. (2020) Global Distribution of the Intensity and Frequency of Hourly Precipitation and Their Responses to ENSO. *Climate Dynamics*, **54**, 4823-4839. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05258-7>
- [9] Yin, S.Q., Li, W.J., Chen, D.L., et al. (2011) Diurnal Variations of Summer Precipitation in the Beijing Area and the Possible Effect of Topography and Urbanization. *Advances in Atmospheric Sciences*, **28**, 725-734. <https://doi.org/10.1007/s00376-010-9240-y>
- [10] 董旭光, 邱黎, 刘焕彬, 等. 济南地区小时强降雨变化特征[J]. 干旱气象, 2019, 37(6): 892-898.
- [11] 章毅之, 吴琼, 胡菊芳, 等. 江西省小时降雨特征分析[J]. 暴雨灾害, 2018, 37(3): 274-280.
- [12] 吴兴洋, 兰方信, 李从英, 等. 贵州年最大小时雨强时空分布变化特征[J]. 气象科技, 2020, 48(5): 723-730.

-
- [13] 宇如聪, 李建. 中国大陆日降雨峰值时间位相的区域特征分析[J]. 气象学报, 2016, 74(1): 18-30.
- [14] 蒋元华, 曾向红, 段丽洁, 汤亦豪, 吴浩. 湖南省汛期降雨结构演变特征分析[J]. 干旱气象, 2021, 39(4): 554-562.
- [15] 李昕翼, 肖国杰, 白爱娟, 等. 成都地区降雨时空分布变化[J]. 气象科技, 2011, 39(4): 417-422.
- [16] 张禄英, 毛文书, 庞波. 成都平原气候变化特征[J]. 成都信息工程大学学报, 2020, 35(2): 179-187.
- [17] 张涛, 韦玮, 青娉楚, 等. 成都盛夏短时强降雨特征统计分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2020, 35(3): 299-305.