

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221370

基于不同地形因子的重庆市短时强降水时空变化特征分析

旷 兰¹, 田茂举¹, 李 强², 庞 玥², 刘 祥³, 陶 洵⁴

(1. 重庆市綦江区气象局, 重庆 401420; 2. 重庆市气象台, 重庆 401147;
3. 重庆市气象服务中心, 重庆 401147; 4. 重庆市江津区气象局, 重庆 402260)

摘要: 为探讨短时强降水频次和强度与地形因子的关系, 基于 SRTM 数字高程 DEM 模型, 利用重庆地区加密观测的 2017~2021 年 5~9 月逐小时降水资料, 对比分析重庆市不同地形下短时强降水的时空分布特征。结果表明, 重庆市短时强降水空间分布不均, 总体上年均频次高值区和 ≥ 60 mm/h 的站点主要位于渝西北的华蓥山、渝东北的大巴山、渝东南的武陵山附近。对于重庆市短时强降水的站均频次, 月间变化呈显著单峰型, 且 7 月发生频次最多; 日内变化呈双峰型, 主波峰以 03:00~05:00 时发生频次最多、次波峰以 16:00~19:00 时发生频次较多。偏北、偏西较其他坡向的频次略微偏多; 平坡、缓坡较其他坡度的频次多; 海拔 500~1 000 m、 $>1 500$ m 较其他海拔的频次多; 起伏度 ≤ 30 m、30~200 m 较其他起伏度频次多; 当坡度 $\leq 15^\circ$ 、海拔 $\leq 1 000$ m、起伏度 ≤ 200 m 时, 出现了降水强度 ≥ 100 mm/h 的站点, 说明适当的山地地形有利于短时强降水强度的增加。研究成果可为重庆市短时强降水临近预警、防灾减灾提供参考。

关键词: 加密观测; 重庆市; 山地地形; 短时强降水; 时空分布

中图分类号: TV125; P426.6

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)04-0001-04

1 概况

重庆市地处青藏高原与长江中下游平原过渡地带, 东北有大巴山, 西北有华蓥山, 东南有武陵山, 海拔区间为 73.1~2 796.8 m, 区域内山高谷深, 沟壑纵横, 地势为东南部和东北部高, 中部和西部低, 其中西北部和中部以丘陵、低山为主, 东部靠大巴山和武陵山两座大山脉, 坡地较多。降水多集中在 5~9 月, 约占全年总降水量的 70%, 夜雨明显。由于其气候和地形复杂, 常常导致该区域多出现短时强降水^[1-3]。目前, 关于川渝地区短时强降水时空分布方面的研究成果较丰富, 但受地形影响, 地面自动气象站站点空间密度不高, 而短时强降水具有显著局地性和对流性特征, 稀疏的站点对于捕捉局地性或极端性短时强降水非常不利。因此, 本文利用基于高密度观测的完整时空序列的逐小时降水数据, 研究重庆市不同地形下的短时强降水时空分布特征, 以期重庆市短时强降水临近预警、防灾减灾提供参考。

2 数据与方法

2.1 研究数据

采用基于繁密观测的重庆市 2017~2021 年汛期 5~9 月的逐小时降水资料, 小时降水数据通过了无效站点、时间连续性、空间连续性及气候学界限值检查等质量控制, 筛选后最终采用 1 887 个有效气象站点。通过重庆地区高时空分辨率的自动站观测网络, 可以更精细更真实地反映重庆地区短时强降水在不同地形下的时空分布特征。

2.2 研究方法

基于 SRTM 数字高程模型 DEM, 根据各自动气象站点的经纬度, 利用 GIS 平台提取其坡向、坡度及起伏度, 得到重庆市不同地形下的站点分布(图 1)、站点统计(表 1)。利用重庆市加密站点的逐小时降水进行普查, 其中单站短时强降水频次是统计某一时段内某一站点出现短时强降水事件的次数, 当任一站点出现 1 次短时强降水事件就记该站点有 1 次短时强降水, 通过统计年内

收稿日期: 2022-07-05, **修回日期:** 2022-08-05

基金项目: 重庆市气象部门业务技术攻关项目(YWJSGG-202128)

作者简介: 旷兰(1987-), 女, 工程师, 研究方向为天气预报, E-mail: 616032331@qq.com

通讯作者: 田茂举(1985-), 男, 高级工程师, 研究方向为天气预报, E-mail: 147758044@qq.com

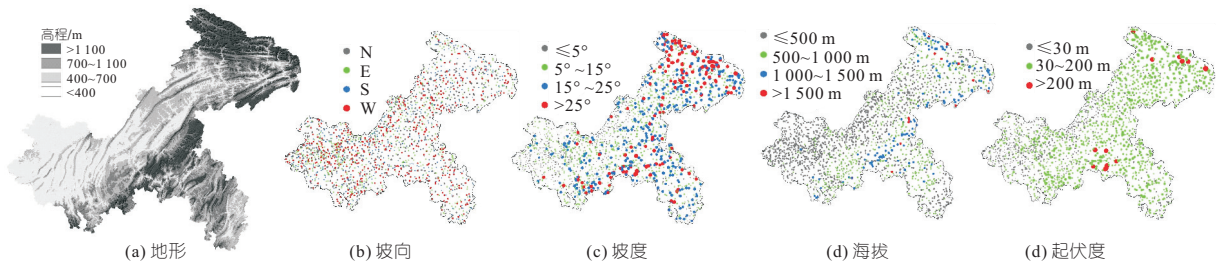


图 1 重庆地形及不同地形下自动气象站点分布

Fig. 1 Chongqing terrain and distribution of automatic weather stations under different terrains

表 1 不同地形下的站点数统计

Tab. 1 Statistics of station number under different terrains

坡向				坡度				海拔/m			起伏度/m			
北	东	南	西	平坡	缓坡	斜坡	陡坡以上	≤ 500	500~1000	1000~1500	> 1500	≤ 30	30~200	> 200
$0 \pm 45^\circ$	$90 \pm 45^\circ$	$180 \pm 45^\circ$	$270 \pm 45^\circ$	$\le 5^\circ$	$5 \sim 15^\circ$	$15 \sim 25^\circ$	$> 25^\circ$	≤ 500	1000	1500	> 1500	≤ 30	30~200	> 200
443	499	462	483	690	699	352	146	1113	615	143	16	641	1233	13

某站点短时强降水总频次再除以统计年数则记为该站短时强降水年均频次,通过统计区域内所有单站短时强降水频次的平均则记为短时强降水站均频次。

3 结果与分析

3.1 短时强降水的空间分布

统计 2017~2021 年短时强降水的年均频次,从其空间分布的鹰眼图(图 2)可知,重庆市短时强降水空间分布不均,总体上年均频次高值区(即 >5 次)主要位于渝西北的华蓥山(图 2(a))、渝东北的大巴山(图 2(b))、渝东南的武陵山(图 2(d))附近,这三个地区多为山谷喇叭口地形、山谷汇合处、低凹地带与各山脉的纵向陡峭地区的迎风坡,其中又以其迎风坡的站点年均频次最多。其中,大巴山为多条山脉形成的西西北—东东南走向,呈喇叭口地形,受地形阻挡和抬升作用,西

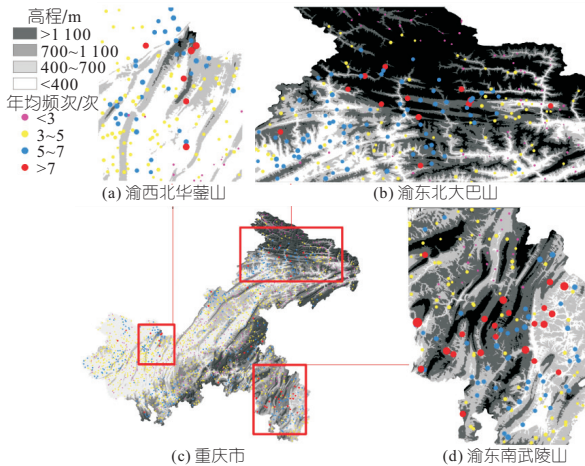


图 2 重庆市短时强降水的年均频次鹰眼图

Fig. 2 Eagle eye chart of annual average frequency of short-term heavy precipitation

北方冷空气与西西南暖湿气流在此区域交汇,降水也在此区域加强、停滞;华蓥山为多条山脉形成的东北—西南走向,呈喇叭口地形,受地形阻挡和抬升作用,西南暖湿气流与偏南暖湿气流在此区域汇合;武陵山为多条山脉交错形成的东北—西南走向,依然形成了局地的喇叭口地形,受地形阻挡和抬升作用,西南暖湿气流在此区域汇集。从短时强降水极大值的空间分布(图 3)可知, ≥ 60 mm/h 的短时强降水多分布在喇叭口地形、山脉汇合处、低凹地带与各山脉的纵向陡峭地区,依然以大巴山、华蓥山、武陵山三个区域最为显著。以上说明短时强降水具有明显的区域性、局地性,基于高密度观测的自动气象站对短时强降水特别是极端短时强降水的监测与预警更为有效。

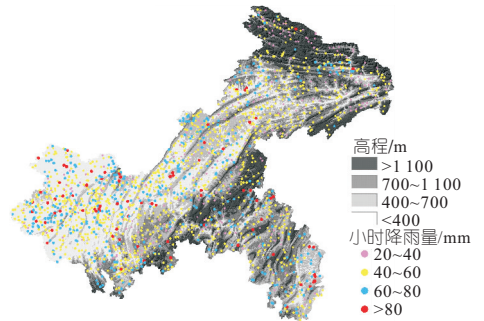


图 3 短时强降水极大值的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of maximum value of short-term heavy precipitation

3.2 不同地形下短时强降水站均频次的月间和日内分布

3.2.1 月间变化

分别从不同坡向、坡度、海拔、起伏度对重庆市 2017~2021 年短时强降水的站均频次进行月间变化统计(图 4)。重庆地区短时强降水的站均频次呈显著单峰型分布,且以 7 月发生频次最多,

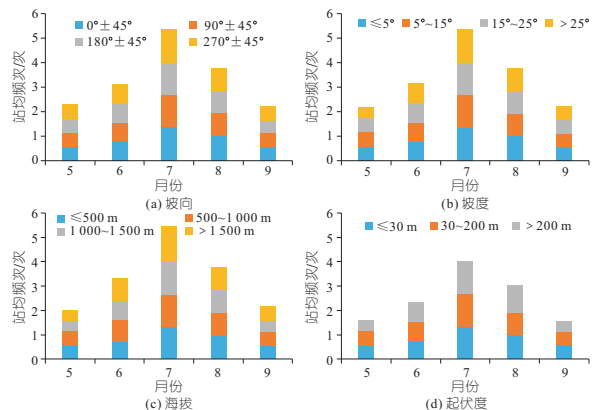


图 4 不同地形下短时强降水站均频次的月间变化

Fig. 4 Monthly variation of mean frequency of short-time heavy rainfall stations under different terrains

其次为 8、6 月, 最后为 5、9 月。其中, $0^\circ \pm 45^\circ$ 、 $270^\circ \pm 45^\circ$ 较其他坡向区间的短时强降水频次多, 平坡 $\leq 5^\circ$ 、缓坡 $5^\circ \sim 15^\circ$ 较其他坡度区间的短时强降水频次多, $500 \sim 1\,000$ 、 $> 1\,500$ m 较其他海拔区间的短时强降水频次多, 起伏度 ≤ 30 、 $30 \sim 200$ m 较其他起伏度区间的短时强降水频次多。

3.2.2 日内变化

分别从不同坡向、坡度、海拔、起伏度, 统计重庆市 2017~2021 年短时强降水的站均频次的日内变化(图 5)。重庆地区短时强降水的站均频次呈双峰分布, 主波峰以 03:00~05:00 时发生频次最多、次波峰以 16:00~19:00 时发生频次相对较多, 主波谷以 12:00~13:00 时发生频次最少, 次波谷以 21:00~22:00 时相对较少。其中, $0^\circ \pm 45^\circ$ 、 $270^\circ \pm 45^\circ$ 较其他坡向区间的短时强降水频次多, 平坡 $\leq 5^\circ$ 、缓坡 $5^\circ \sim 15^\circ$ 较其他坡度区间的短时强降水频次多, $500 \sim 1\,000$ 、 $> 1\,500$ m 较其他海拔区间的短时强降水频次多, 起伏度 ≤ 30 、 $30 \sim 200$ m 较其他起伏度区间的短时强降水频次多。

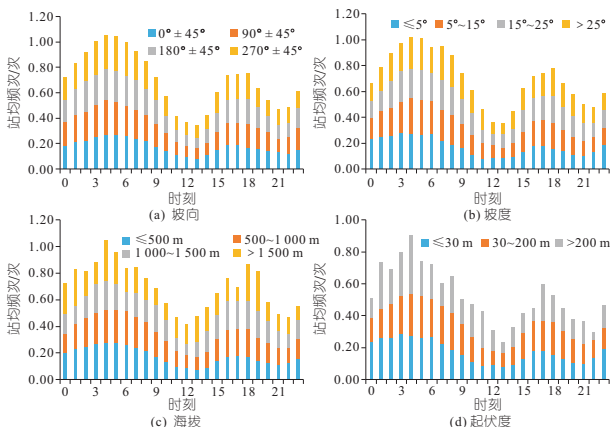


图 5 不同地形下短时强降水站均频次的日内变化

Fig. 5 Intraday variation of average frequency of short-time heavy rainfall stations under different terrains

3.3 不同地形下短时强降水雨量的分布

小提琴图(即 Violin 图)是箱线图与核密度图的结合, 其中箱线图展示了四分位数的位置, 而小提琴图则展示了任意位置密度, 它通过密度曲线来描述数据分布, 每条曲线的宽度对应于各区域数据点的近似频率, 曲线上下细虚线代表第 1、3 个四分位数, 中间粗虚线代表中位数, 外部形状代表核密度估计。小提琴图越瘦小(上侧或下侧的须越长)代表数据分布越不均匀(即越离散); 小提琴图的肚子越胖代表数据越集中; 小提琴图中的散点代表每一个数据样本。通过对比不同地形区间下短时强降水的雨量分布特征(图 6)发现, 重庆地区的短时强降水的第 1 个四分位数为 22 mm/h, 中位数为 28 mm/h, 第 3 个四分位数为 35 mm/h, 大部分位于 60 mm/h 之下。

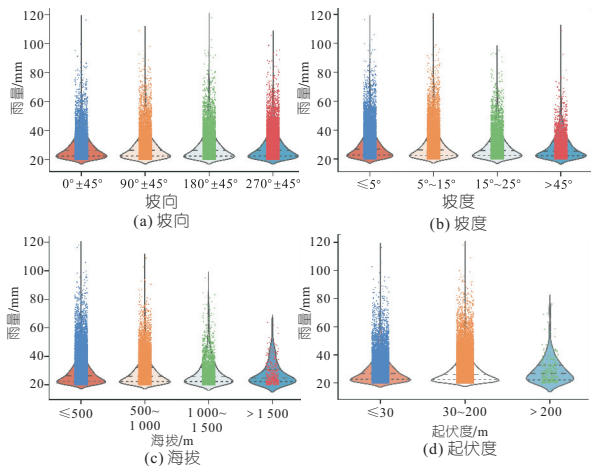


图 6 不同地形下短时强降水雨量的分布

Fig. 6 Distribution of short-term heavy rainfall under different terrains

极端事情指某一区域内极少发生的事件, 通常以 95% 分位数作为极端事件的阈值。本文极端短时强降水指将重庆市汛期 5~9 月短时强降水降水量序列按升序排列, 将第 95 个百分位值所对应的降水值称为极端短时强降水的阈值。以 50 mm 作为重庆地区极端短时强降水的阈值, 通过分析不同地形下极端短时强降水的雨量 Violin 分布(图 7)可知, 重庆地区的短时强降水的第 1 个四分位数为 53 mm/h, 中位数为 57 mm/h, 第 3 个四分位数为 64 mm/h, 大部分位于 70 mm/h 之下, 极个别站点小时雨强达到了 100 mm/h 以上。坡向对短时强降水的强度影响并不明显; $\leq 5^\circ$ 、 $5^\circ \sim 15^\circ$ 的坡度区间、 ≤ 500 、 $500 \sim 1\,000$ m 的海拔区间、 ≤ 30 、 $30 \sim 200$ m 的起伏度区间出现了极个别站点的小时雨强 ≥ 100 mm/h 以上, 说明这些地形区间有利于短时强降水强度的提升。

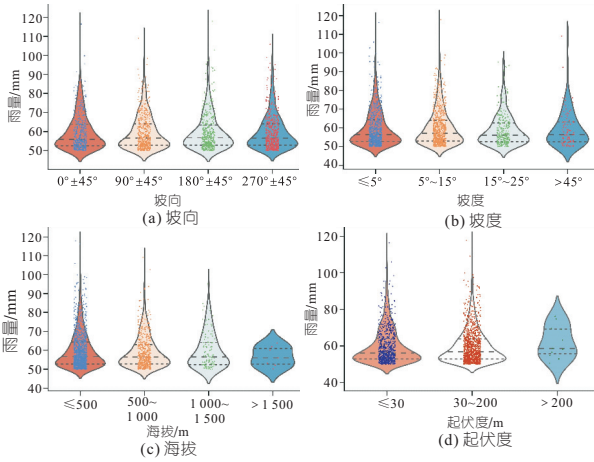


图 7 不同地形下极端短时强降雨雨量的分布
 Fig. 7 Distribution of extreme short-term heavy rainfall under different terrains

4 结论

a. 重庆市短时强降雨空间分布不均, 总体上年均频次高值区和 $\geq 60\text{mm/h}$ 的站点主要位于

渝西北的华蓥山、渝东北的大巴山、渝东南的武陵山附近。

b. 短时强降雨站均频次的月间变化呈显著单峰型分布, 日内变化呈双峰分布; 偏北和偏西较其他坡向的频次多, 平坡、缓坡较其他坡度频次多, $500\sim 1\,000\text{m}$ 、 $>1\,500\text{m}$ 较其他海拔的频次多, 起伏度 $\leq 200\text{m}$ 较其他起伏度频次多; 平坡与缓坡、海拔 $1\,000\text{m}$ 以下、起伏度 200m 以下地形有利于短时强降雨强度的提升。

参考文献:

[1] 李禧亮, 陈子健, 杨玥, 等. 张家口赛区冬季降水特征分析[J]. 水电能源科学, 2022, 40(4): 10-13.
 [2] 李禧亮, 武姗姗, 陈子健, 等. 崇礼赛区地形影响降水特征分析[J]. 水电能源科学, 2021, 39(4): 1-3, 30.
 [3] 张树奎, 鲁子爱, 张楠, 等. 金沙江流域地形因子对降水量空间分布的影响[J]. 水电能源科学, 2011, 29(12): 13-15, 146.

Analysis of Temporal and Spatial Variation Characteristics of Short-term Heavy Precipitation in Chongqing Based on Different Landforms

KUANG Lan¹, TIAN Mao-ju¹, LI Qiang², PANG Yue², LIU Xiang³, TAO Xun⁴

(1. Chongqing Qijiang Meteorological Bureau, Chongqing 401420, China; 2. Chongqing Meteorological Observatory, Chongqing 401147, China; 3. Chongqing Meteorological Service Center, Chongqing 401147, China; 4. Chongqing Jiangjin Meteorological Bureau, Chongqing 402260, China)

Abstract: Based on the SRTM digital elevation DEM model, using the hourly precipitation data of Chongqing from May to September 2017 to 2021, this paper analyzed the temporal and spatial distribution characteristics of short-term heavy precipitation under different terrains in Chongqing, and discussed the relationship between the frequency and intensity of short-term heavy precipitation and topographic factors. The results show that the spatial distribution of short-term heavy precipitation in Chongqing is uneven. The overall average frequency high value area of the previous year and stations $\geq 60\text{mm/h}$ are mainly located near Huaying Mountain in Northwest Chongqing, Daba Mountain in Northeast Chongqing and Wuling Mountain in Southeast Chongqing; For the station average frequency of short-term heavy precipitation in Chongqing, the monthly variation shows a significant single peak type, and the frequency is the most in July; The diurnal variation is bimodal, with the main peak occurring most frequently at 03:00-05:00 and the secondary peak occurring more frequently at 16:00-19:00. The frequencies of the north and west slopes are slightly more than those of the other slopes. The frequency of flat slope and gentle slope is more than that of other slopes. The frequency of $500\sim 1\,000\text{m}$ and $>1\,500\text{m}$ is more than that of other altitudes; The fluctuation $\leq 30\text{m}$ and $30\sim 200\text{m}$ are more frequent than other fluctuations; When slope $\leq 15^\circ$, altitude $\leq 1\,000\text{m}$, and undulation $\leq 200\text{m}$, stations with precipitation intensity $\geq 100\text{mm/h}$ appear, indicating that appropriate mountain topography is conducive to the increase of short-time heavy rainfall intensity. The research results can provide reference for near early warning, disaster prevention and reduction of short-term heavy precipitation in Chongqing.

Key words: intensive observation; Chongqing; mountainous terrain; short-term heavy precipitation; temporal and spatial distribution