

Spatial and temporal distribution characteristics and topographic influence of short-term heavy precipitation in Huizhou City

Shimin Liu

Yuanyuan Zhou Xuanji Pan Xiaohui Chen Jueyin Zhan

Abstract

Taking Huizhou City as the research object, this paper analyzes the temporal and spatial distribution characteristics of short-term heavy precipitation in Huizhou City by using the hourly rainfall data and 30-meter resolution DEM of Huizhou City from 2010 to 2021, and discusses the influence of topography on short-term heavy precipitation. The diurnal variation showed a unimodal pattern in the afternoon, with the highest number of stations at 15 o'clock, and the peak intensity was higher in the pre-flood season and more significant than that in the night rain in the post-flood season. Four high-frequency rainbands (Longmen Yonghan-Longtian, Boluo Futian-Luoyang, Huidong Baipenzhu-Gaotan, and Pinghai-Huangbu) were identified in the spatial distribution, with the high-frequency center in the pre-flood season being northwesterly and the post-flood season moving southeast. There was a significant positive correlation between elevation and annual average stations, and the slope aspect showed that the southwest direction was the most prone area, followed by the southeast and northeast directions, which confirmed the differential mechanism of the response of the monsoon and typhoon systems to the terrain.

Keywords

short-term heavy precipitation; automatic weather station; spatiotemporal distribution; topographic factors

惠州市短时强降水时空分布特征与地形影响

刘施敏 周媛媛 潘璇玑 陈晓辉 旃珏吟

广东省惠东县气象局, 中国·广东 惠州 516300

摘 要

本文以惠州市为研究对象, 利用2010-2021年惠州市的小时雨量数据与30米分辨率DEM分析了惠州市短时强降水的时空分布特征, 并探讨了地形对短时强降水的影响: 时间分布呈现显著季节性与日变化特征, 月均站次6月最高, 其次为5月、8月, 12月最低; 日变化呈午后单峰型, 15时出现站次最高, 且前汛期峰值强度更高且较后汛期夜雨更为显著; 空间分布识别出四条高频雨带(龙门永汉-龙田、博罗福田-罗阳、惠东白盆珠-高潭、平海-黄埠), 前汛期高频中心偏西北, 后汛期中心东南移; 海拔与年均站次显著正相关, 坡向显示西南向为最易发区, 其次为东南向、东北向, 印证季风与台风系统对地形响应的差异性机制。

关键词

短时强降水; 自动气象站; 时空分布; 地形因素

1 引言

短时强降水(小时雨量 ≥ 20 mm)是一种突发性强、时空分布不均匀的灾害性天气, 常引发城市内涝、山洪、泥石流等地质灾害。由于其突发性和局地性, 短时强降水的预报

和预警一直是气象学研究的难点。国内外学者对短时强降水的时空分布特征进行了大量研究。早期的研究主要集中在利用国家气象站观测资料分析短时强降水的时空分布特征及其与中尺度对流系统的关系。^[1]近年来, 随着气象观测技术的进步, 特别是区域自动气象站的广泛应用, 为短时强降水的时空分布特征研究提供了丰富的数据支持。广东的短时强降水多发区集中在三大暴雨中心以及珠三角城市群和西南部的湛江、茂名地区; 短时强降水的空间分布与地形关系密切, 多产生于河谷、湖泊和喇叭口地形区; 地形对降水的影响是气象学中的一个重要课题。山脉、丘陵等地形地貌通过改变气流的运动路径和速度, 影响降水的分布和强度。特别是在地形复杂的地区, 地形对短时强降水的影响更为显著。^[2]

【项目基金】2022年广东省气象局省局科研青年基金项目“惠州市短时强降水时空分布特征与地形影响”阶段性影响(项目编号: GRMC2022Q28)。

【作者简介】刘施敏(1998-), 女, 中国广东惠州人, 本科, 助理工程师, 从事大气科学研究。

因此,研究地形对短时强降水的影响,对于提高短时强降水的预报准确率和灾害防范具有重要意义。在地形对降水影响的研究方面,学者们通过数值模拟和观测数据分析,探讨了地形对降水增幅作用的机理。研究表明,地形通过抬升作用、地形阻塞效应和山谷风等机制,显著影响降水的分布和强度。^[3]

惠州市位于广东省东南部,包含粤北、粤东两个暴雨中心区域,地形复杂,地势起伏较大,短时强降水频发。近年来,惠东县高潭镇于2013年8月17日和2018年8月31日、龙门县龙华镇于2021年5月31日先后出现了三次超历史极端特大暴雨,造成严重的财产损失。而有关惠州短时强降水缺乏系统深入研究。有关文章对惠州强降水的分析主要集中在对历史极端降水事件的个例分析及粤北、粤东暴雨中心的气候特征,对于惠州近年来短时强降水的规律与特征及不同地形因素对其的影响尚未有较系统的研究。本文以惠州市为研究对象,利用2010-2021年惠州市的小时雨量数据,分析了惠州市短时强降水的时空分布特征,并探讨了地形对短时强降水的影响。研究惠州市短时强降水的时空分布特征及其与地形的关系,不仅有助于提高该地区短时强降水的预报准确率,还能为当地的防灾减灾提供科学依据。此外,通过对惠州市的研究,可以为其他类似地形复杂地区的短时强降水研究提供参考和借鉴。

2 资料和方法

惠州北部靠山南部临海,地形复杂多样。其北部有南昆山,中部有罗浮山,东部接莲花山脉,南临南海,还有东江及其支流西枝江贯穿其中。广东暴雨中心的形成离不开地形的影响,粤北暴雨中心位于南岭山脉南部边缘的丘陵地带,粤东暴雨中心主要集中在沿莲花山脉两侧的汕尾中北部和惠东高潭附近。

本研究采用2010-2021年惠州市4个国家气象观测站和117个区域自动气象观测站共121个观测站的逐小时降水观测数据,数据来源于广东省气象资料业务系统(AGROS)。根据广东省气象局的标准,将小时降水量 ≥ 20 mm的事件定义为短时强降水。为统一统计标准,将每个站点出现一次 ≥ 20 mm/h的降水事件记为一个“站次”。考虑到部分气象站建站时间不同,在统计其中年平均值为2010-2021年期间各站点实际使用年数的平均站次。地形分析数据采用惠州30米分辨率的数字高程模型(DEM)数据,通过ArcGIS软件提取海拔高度、坡度、坡向等地形因子并绘制其空间分布图。

3 结果与分析

3.1 短时强降水时间分布特征

为了探究惠州市短时强降水年均逐月频次分布特征,通过分析该地区基于观测数据的短时强降水逐月频次分布图图1(a),观察到6月份短时强降水出现频率最高,为284站次,其次为8月和5月,250站次左右;7月、4月和

9月频次中等,约150站次;1月、2月、11月、12月频次最低,接近或低于5次/年;总体趋势显示夏季(5月至8月)频次较高,而冬季(1月至2月和12月)较低;基于这些结果,得出结论:惠州市短时强降水的年均逐月频次存在明显的季节性变化,夏季频次显著高于冬季,这可能与季节性气候变化的影响有关。

通过年均逐小时频次分布图图1(b),可知出现短强频次最高的时段在15时100站次;13时至17时的频次较高,均超过80站次,形成明显高峰;7时左右形成另一小高峰;0时至6时以及20时至23时的频次较低,最低的时段出现在凌晨2时,低于20站次。又通过将汛期大致拆分为前汛期(4-6月)和后汛期(7-9月)分别进行统计得出其逐时频次变化,由图1(c)可见年前汛期(4月至6月)短时强降水年均逐时频次的日变化特征及月间差异,通过分析该折线图,5月整体频次高于4月和6月,尤其在下午时段;5月在下午时段(大约14时至16时)频次最高,接近25次/年;4月和6月在下午时段(大约13时至17时)频次较高但略低于5月;4-5月在凌晨和晚上频次较低,但6月5-10时短时强降水出现频率较高。分析图1(d),可以观察到8月整体频次高于7月和9月,尤其在下午时段;8月在下午时段频次最高,15-17时均超过20站次;7月和9月在下午时段(13时-18时)频次较高但略低于8月;所有月份在凌晨(0时-6时)和晚上(20时至23时)频次较低。比较惠州市前汛期(4-6月)与后汛期(7-9月)短时强降水的差异特征,前后汛期均表现为午后单峰型日变化,但前汛期峰值强度更高且时段更集中,而后汛期峰值强度稍弱且时段略宽,且前汛期夜雨较后汛期较为显著。差异可能与季风推进、热力对流强度及天气系统配置的季节性演变有关。

3.2 短时强降水的空间分布

通过惠州市短时强降水的年平均站次空间分布图图2(a)观察到频次分布显著不均,其中惠州龙门、博罗东北、惠东东部南部区域为高频区,即两大暴雨中心附近;低频区主要位于博罗中部、惠城中部及惠东中部,短时强降水降水发生可能性较低。其中形成了四条显著的高频短强降雨带,分别位于龙门县永汉-龙田、博罗县福田-罗阳、惠东县白盆珠-高潭以及平海-黄埠。该研究揭示了惠州市短时强降水存在显著的空间集聚特征,高频雨带多分布于地形复杂的山区及沿海地带,这一分布模式可能与地形抬升作用和海陆热力差异有关。

为了分析惠州市前后汛期短时强降水的空间分布特征,对比研究了图2(b)(c)前、后汛期短时强降水的空间格局差异。结果表明,前汛期短时强降水主要受锋面低槽和西南季风爆发影响,集中分布于偏西偏北的龙门县、博罗县西部至中部以及惠东县南部稔平半岛,其中高频中心位于龙门县永汉-龙田一带和博罗县福田附近;后汛期则主要受热带气旋影响,降水中心向东南方向迁移,主要出现在惠东县平山附近以及白盆珠-高潭一带。该研究揭示了前、后汛期主导天气系统的差异是造成降水分布格局变化的关键因素。

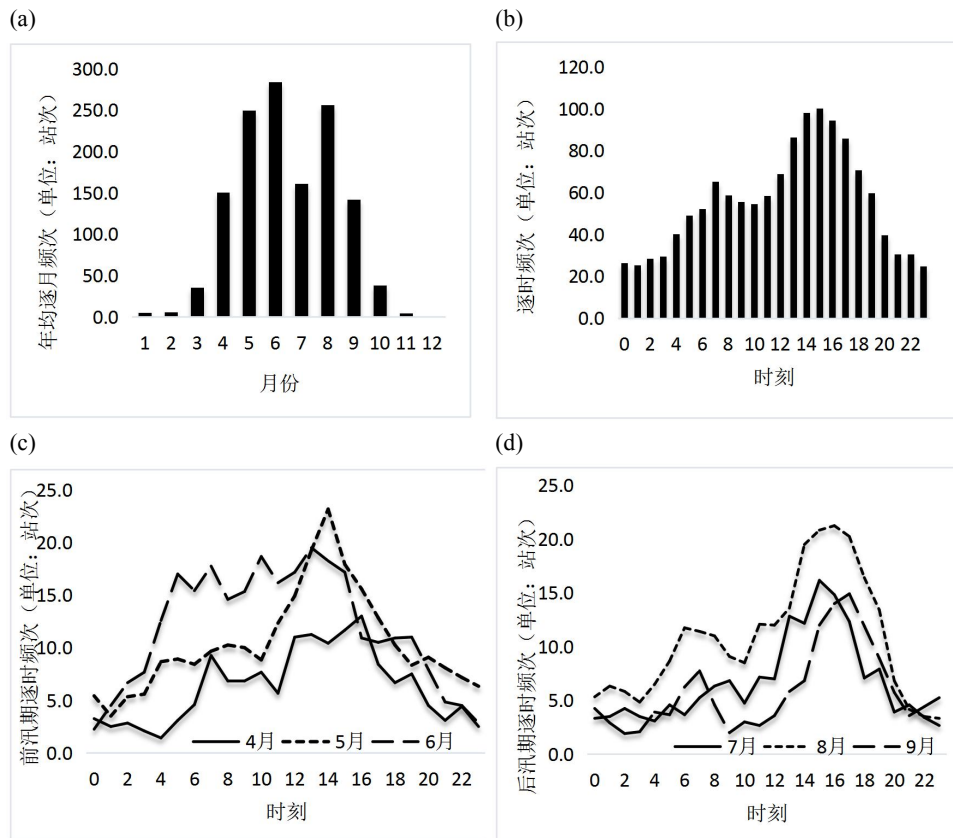


图 1 (a)2010–2021 年惠州市短时强降水年均逐月站次变化 (b)2010–2021 年惠州市短时强降水年均逐时站次日变化 (c) 前汛期短时强降水逐时站次日变化 (d) 后汛期短时强降水逐时站次日变化

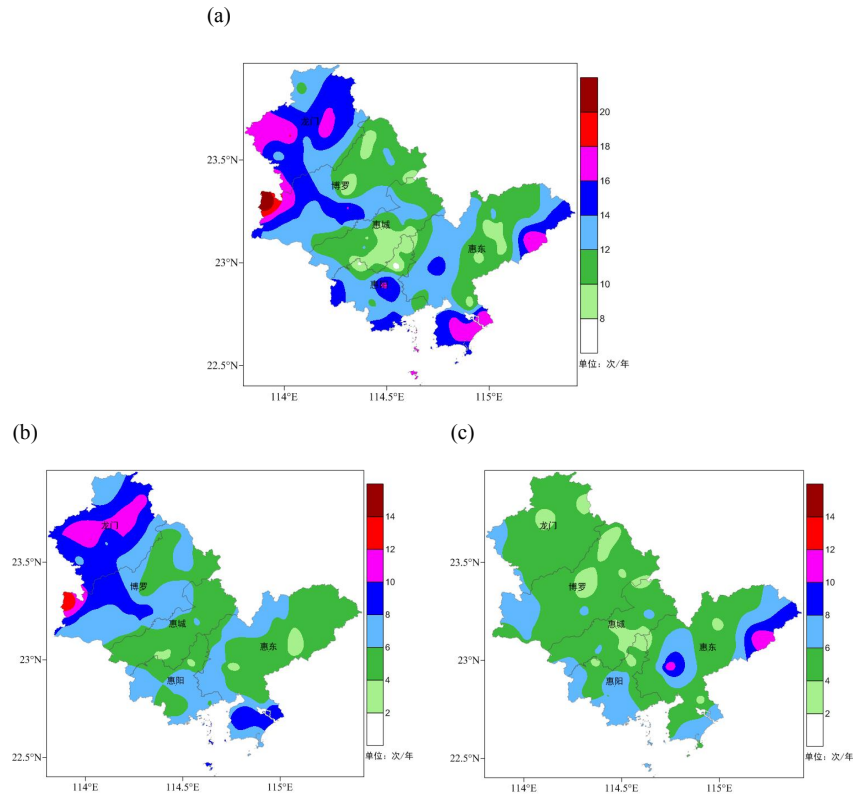


图 2 (a)2010–2021 年惠州市短时强降水年平均站次空间分布 (b)2010–2021 年惠州市短时强降水前汛期站次空间分布 (c)2010–2021 年惠州市短时强降水后汛期站次空间分布

将基于每日逐时(0-23时)的年平均短时强降水站次进行了每3小时空间变化分析如图3,结果显示:21-23时、0-2时大部分区域短时强降水频次较低;3-5时博罗西北部区域短强频次有所增加;6-11时龙门北部与惠东南部短强频次进一步增多;12-14时,博罗西北部、中南部,惠阳西部、中部及惠东西部短强频次显著增多;15-17时为短强出现频次最高时间段,龙门西部东部、博罗西北部南部、惠城东部、

惠东北部东部则为短强频次最高区域,空间集中趋势显著增强;18-20时高频次区范围缩减但仍集中于博罗中西部。结果表明,午后到下午(12-17时)高频次区集中现象尤为突出,结合前后汛期空间分布图可看出无论是受锋面低槽和西南季风爆发影响还是受热带气旋影响短时强降水出现在下午时段得可能性最高,尤其在15-17时。

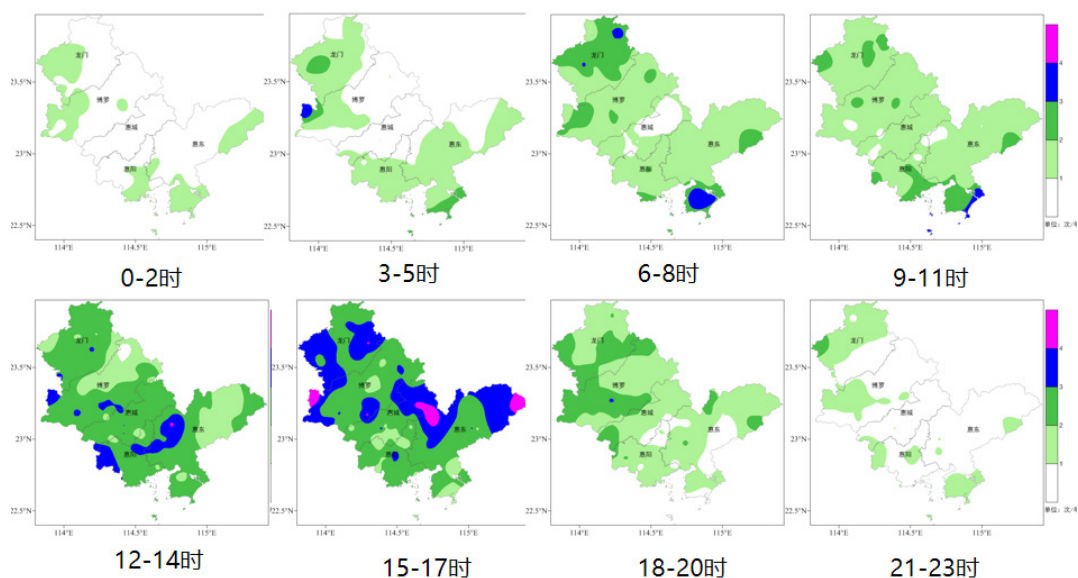


图3 2010-2021年惠州市短时强降水年平均站次逐3小时日变化空间分布图

3.3 短时强降水的地形影响

为了获得惠州市的海拔、坡向、坡度,本研究使用ARCGIS从惠州30米分辨率的DEM数据分析出惠州市坡向坡度数据,再点对点提取出各个站点海拔、坡向、坡度,从而将其与对应站点的短时强降水年均站次使用SPSS进行肯德尔相关性检验。经计算,各气象站的海拔与短时强降水年均站次存在显著正相关的关系($\rho = 0.162 > 0$, $p = 0.009 < 0.05$)。地形强迫抬升将大尺度水汽输送转化为局地极端降水,且这一过程随海拔升高呈非线性增强,最终形成显著的正相关关系。坡向与短时强降水年均站次呈正相关但不显著($\rho = 0.93 > 0$, $p = 0.134 > 0.05$);坡度与短时强降水年均站次呈负相关但不显著($\rho = -0.11 < 0$, $p = 0.865 > 0.05$)。

本研究又将坡向分类为16个方向,统计了不同坡向短时强降水年均站次出现的情况,如图4显示,频率较高的坡向主要在西南方向、东南方向和东北方向。其中,SSW的频率最高年均出现171站次,其次是SW和E,分别为152站次和143站次;整体来看偏北方向的坡向短时强降水频率较低,其中NNW方向出现站次为22,频率最低。春夏季惠州受西南季风控制,从孟加拉湾和南海携带大量暖湿水汽,西南向坡地首当其冲,发生强烈的强迫抬升,导致水汽迅速凝结释放,形成强降水。当西南季风越过山脉时,在背风坡的NE方向因地形涡旋触发次级强降水中心。在台风期

间东风系统从东侧灌入,使东南-东北坡向成为水汽辐合区,短时强降水易发。

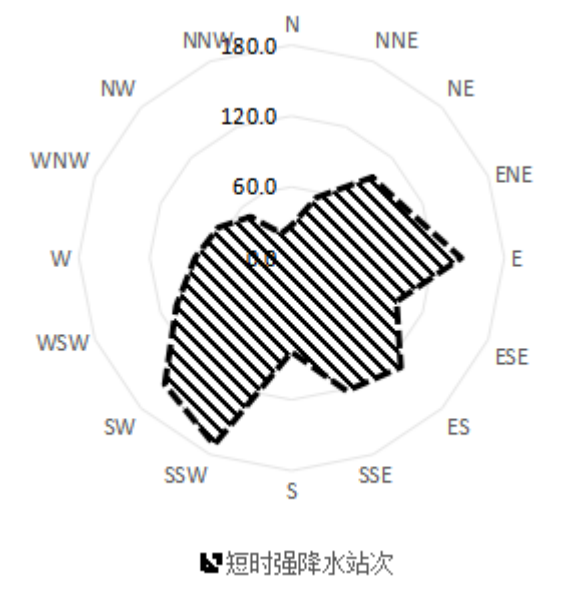


图4 2010-2021年惠州市短时强降水年均站次坡向分布图

4 结论

(1) 短时强降水呈现显著季节性与日变化特征:月频次峰值集中于夏季(6月最高,约284站次;5月、8月次

之,约250站次左右),冬季(1-2月、11-12月)频次不足5站次。日变化表现为午后单峰型,峰值出现在15时(约100站次),13-17时为高频时段(均>80站次)。

(2)汛期分异显著:前汛期(4-6月)峰值强度更高且时段集中(5月14-16时约25站次),后汛期(7-9月)峰值略弱且时段延展(8月15-17时>20站次)。夜雨现象在前汛期较显著,可能与季风推进及热力对流演变有关。

(3)空间分布呈显著集聚性,形成四条高频雨带:龙门永汉-龙田、博罗福田-罗阳、惠东白盆珠-高潭、平海-黄埠。高频区集中于地形复杂山区及沿海(如龙门、博罗东北部、惠东东部/南部),低频区分布于博罗中部、惠城中部及惠东中部。前汛期受锋面低槽及西南季风影响,高频中心偏西/北(龙门永汉-龙田、博罗福田);后汛期受热带气旋主导,中心东南移(惠东平山、白盆珠-高潭)。午后(12-17时)为全域高频时段,在15-17时达峰值。

(4)海拔与短时强降水频次呈显著正相关(Kendall's $\rho=0.162$, $p=0.009$),印证地形抬升对水汽凝结的增强效应。坡向、坡度相关性未达显著水平(坡向 $\rho=0.093$, $p=0.134$;坡度 $\rho=-0.011$, $p=0.865$),但坡向分频统计显示:西南向(SSW 171站次、SW 152站次)为最易发区,东北向(NE)因背风坡涡旋形成次中心,东风系统则激活东南-东北坡向(E 143站次),反映季风与台风路径对地形响应的差异性。

参考文献

- [1] 侯淑梅,孙敬文,孙鹏程,谷山青,邱粲,刘程.基于加密自动气象观测站和国家气象观测站的山东省极端短时强降水时空分布特征的对比分析[J].气象,2020,46(2):200-211. DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2020.02.006.
- [2] 蔡晶,李怀宇,钱嘉星,等.广东短时强降水的时空分布特征[J].广东气象,2019,41(6):5-9.
- [3] 吕劲文,姚日升,涂小萍,等.2019浙江省6—9月午后短时强降水空间分布特征分析[J].暴雨灾害,38(4):320-328