

刘璐,张峰.一种短历时降雨综合评估方法在广州市的应用[J].气象研究与应用,2020,41(1):35-40.

Liu Lu,Zhang Feng.Application of a short duration rainfall comprehensive evaluation method in Guangzhou[J].Journal of Meteorological Research and Application,2020,41(1):35-40.

一种短历时降雨综合评估方法在广州市的应用

刘璐^{1,2},张峰²

(1.北京师范大学减灾与应急管理研究院,北京 100875; 2.国家气象中心,北京 100081)

摘要:基于广州市 5 个国家气象站 1981–2015 年逐小时降水资料,应用线性趋势法、Mann–Kendall 突变检验等方法对广州市气象站不同历时降雨年际变化特征进行分析,应用百分位法建立了一种基于降雨极值和降雨持续时间的短历时降雨综合等级评估方法,并使用此方法对 2007–2011 年广州市 21 次降雨过程进行综合评估,同时对灾损因子和短历时降雨因子进行相关性分析。结果表明,广州市短历时强降雨发生频次和极值均呈现上升趋势,其中 1h 强降雨频次上升趋势最为显著;综合等级评估方法对短历时降雨灾情具有一定的指示作用;短历时降雨持续时间和 6h 降雨极值与部分灾损因子相关系数较高。

关键词:短历时降雨;百分位法;综合等级;相关性分析

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.1.08

引言

广东省是我国全年降雨量最多、暴雨洪涝灾害最为频发的地区之一,其中汛期(4–9 月)是广东强降雨天气的主要时段,占全年降雨量约 8 成^[1]。针对华南地区或广东汛期强降雨,气象学者已累积了大量研究成果,前期的研究大多集中在强降雨时空分布特征和天气学成因上^[2–7],但对于降雨综合强度和致灾风险评估等方面的研究不多。近年来,由强降雨特别是短历时强降雨而引发的暴雨灾害频发,如 2017 年 5 月 7 日广州极端暴雨事件,在几小时内多个气象站小时降雨量达到 100mm 以上,局地过程累计降雨量超过 500mm,打破广州当地日雨量历史极值,短历时强降雨导致了严重内涝,造成多地交通中断或瘫痪^[8];2018 年 5 月 7 日,广东东部和广州等地再次出现类似的短历时强降雨,两次降雨天气都呈现出突发性强、短时雨强大、致灾性高等特点。目前,应用气候学和统计学方法对长时间序列降雨数据进行分析,并建立以降雨致灾因子为主的定量综合指标是暴雨灾害评估研究领域的主流方法,常用的研

究方法有概率分析、回归拟合、灰色关联度法、层次分析法等^[9–15],但研究所使用的降雨数据多为逐日降雨数据,难以对一些更短历时的强降雨过程进行客观和有效的评估。

利用广州市 5 个国家气象站 1981–2015 年逐小时降水资料,根据不同历时降雨量极值和短历时降雨持续时间两个指标,建立广州市短历时强降雨综合强度评估方法,并与 2007–2011 年广州市灾情数据进行对比分析,验证评估方法的合理性,为今后开展分区域短历时强降雨综合评估和气象服务工作提供参考。

1 资料和方法

1.1 资料来源

所用降雨资料取自国家气象信息中心 1981–2015 年广州市 5 个国家级地面气象站(广州、番禺、花都、从化、增城)逐小时降水数据,以及国家气象中心 2007–2011 年 MICAPS 第三类格式逐小时降水数据。

广州市灾情资料取自广东省 2007–2011 年气

收稿日期: 2020-01-03

基金项目: 2019 年中国气象局决策服务专项

作者简介: 刘璐(1989–),女,工程师,主要从事决策气象服务和气象灾害风险评估工作。E-mail: neverland0819@sina.com

象灾情普查数据, 主要包含受灾人口、直接经济损失、农作物受灾面积、倒塌和损坏房屋等。

1.2 降雨年际变化分析方法

利用线性趋势法、5 年滑动平均法和 Mann-Kendall 突变检测法^[16]对 1981–2015 年广州气象站不同历时降雨时间分布特征进行分析。

1.3 短历时降雨综合指标计算方法

筛选广州 5 个站 1981–2015 年间 4–9 月逐小时降水数据, 计算各站 1h、滑动 3h 和滑动 6h 降雨量, 利用百分位阈值法定义 3 种短历时降雨强度指标和短历时降雨持续时间指标, 通过降雨强度指标和降雨持续时间指标的乘积定义降雨综合指标。

2 不同历时降雨年际变化特征

2.1 长短历时强降雨频次

分别用 24h 和 1h 降雨量代表长历时和短历时降雨。其中, 24h 强降雨和 1h 强降雨筛选依据分别为《降

水量等级》国家标准和《强对流天气等级》气象行业标准^[17–18], 即 24h 降雨量 $\geq 50\text{mm}$ 、1h 降雨量 $\geq 20\text{mm}$ 。

以广州气象站作为代表站, 得到 1981–2015 年间长历时强降雨和短历时强降雨频次的年际分布和变化趋势见图 1。由图可见, 1h 强降雨频次最高的 3 个年份为 2001 (24 次)、2014 (21 次) 和 2005 年 (20 次), 均出现在 2000 年以后 (图 1b), 经过统计得知在 2001–2015 年间有 10a 的强降雨频次较多年平均次数偏多; 而对于 24h 强降雨频次, 最高的年份也为 2001 年, 但并未在近年来显现出频次的明显偏多 (图 1a)。另外, 从 5 年滑动平均的线性趋势来看, 长短两种历时的强降雨频次随年份的推移上下波动并有增多的趋势 (图 1b), 但 1h 强降雨线性趋势系数高达 0.3078, 明显大于 24h 强降雨线性趋势系数 0.0979, 这说明该地区短历时强降雨频次的增加更为显著。

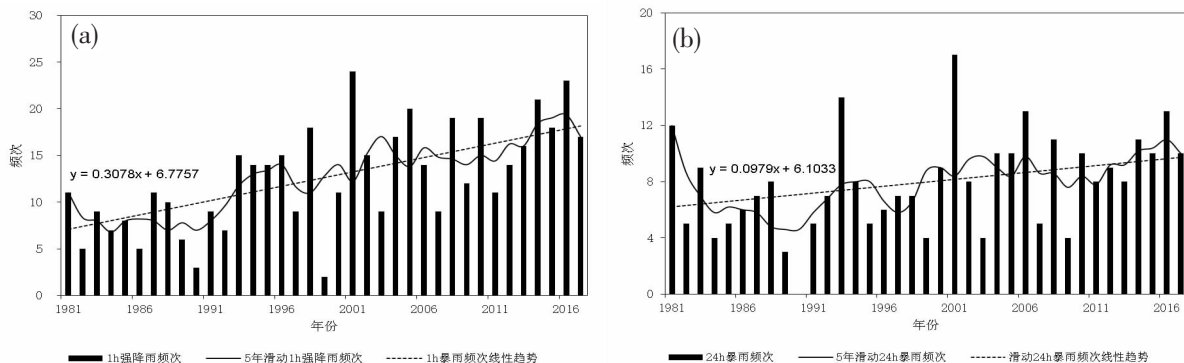


图 1 广州站长历时(a)和短历时(b)强降雨频次年际变化曲线

2.2 不同历时强降雨极值

广州站 1981–2015 年 5 种历时 (1h、3h、6h、12h 和 24h) 降雨极值年际变化如图 2 所示。可见, 6h、12h 和 24h 降雨量极值年际变化特征总体为略有下降 (图 2a), 其中 24h 降雨极值下降趋势更为明显,

而代表短历时降雨的 1h 和 3h 降雨量极值则呈现上升趋势 (图 2b), 且 1h 降雨极值线性趋势系数更高, 达到 0.5613。结合前文对强降雨频次的分析, 可以发现, 对广州站来说短历时强降雨发生频次较以前更多, 且极端性更强。

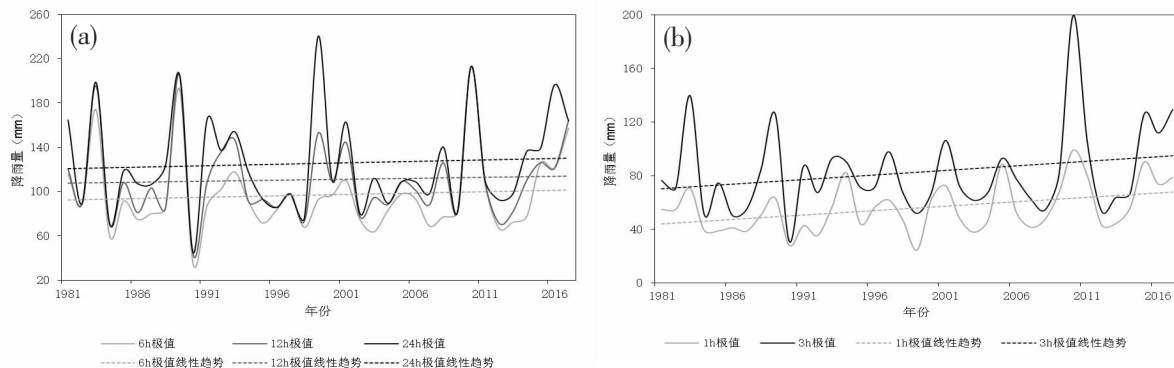


图 2 广州不同历时降雨极值年际变化曲线

2.3 Mann-Kendall 突变检测

对降雨频次和降雨极值这两种降雨因子进行 Mann-Kendall 突变检测,来分析因子的气候序列中是否存在明显的突变点。可以清楚地看到,在 1995 年以后广州站 1h 强降雨年频次 UF 曲线均大于 0,表示该地区短历时强降雨的年频次在增加,并且在近 10a 都超过了 0.05 显著性水平线,说明这种增加

趋势更加明显(图 3a)。另外,在 1998 年 UF 曲线和 UB 曲线出现交点,能够确定该地区 1h 强降雨年频次在 1998–2000 年之间存在一个突变区间。但对于各历时降雨极值 Mann-Kendall 突变检测结果来看,虽然能够看到 1h 降雨极值也同样在 1995 年后 UF 曲线大于 0,但未找到明显的突变点(图 3b)。

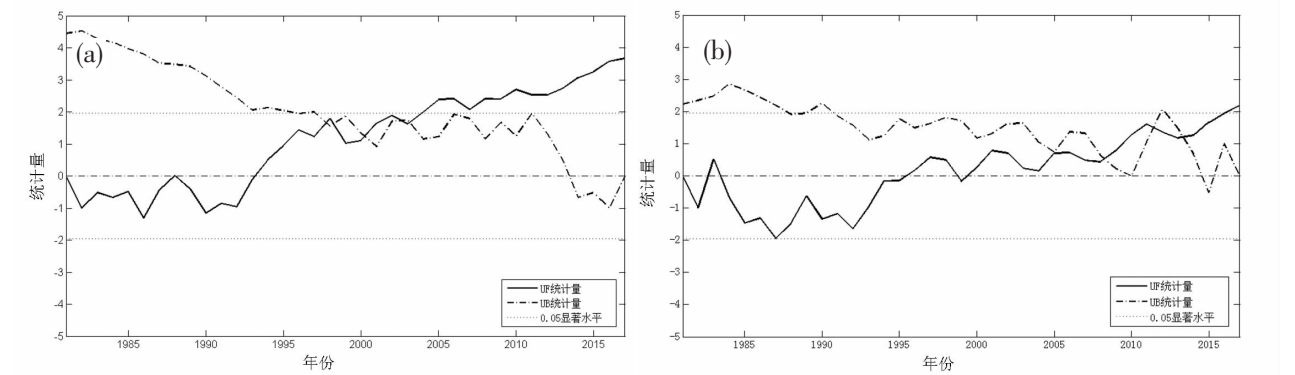


图3 广州 1h 强降雨频次(a)、1h 降雨极值(b)Mann-Kendall 突变检测曲线

3 短历时降雨综合指标的建立

利用广州市 5 个国家级地面气象站 1981–2015 年间 4–9 月逐小时降水数据,计算各站 1h、滑动 3h 和滑动 6h 降雨量,利用百分位阈值法选取上述 3 种历时 99%、95%、90%、85%位置所对应的降雨量值,将其对应的数值区间定义为 3 种历时降雨强度指标 (I_1 、 I_3 、 I_6)的 4 个等级。计算各站 1981–2015 年汛期小时降雨量 $\geq 5\text{mm}$ 的持续时间,同样利用百分位法选取 99%、95%、90%、85%所对应的持续小时数,将其对应的数值区间定义为短历时降雨持续时间指标 (T)的 4 个等级,其等级划分如表 1–2 所示。

短历时降雨综合强度指标 (RI)应该受到短历时降雨强度和降雨持续时间两个指标共同作用,本文采用降雨强度指标 (I)与短历时降雨持续时间指标 (T)分别对应的等级相乘:

$$RI_i=I_i\times T \tag{1}$$

其中,i 表示 1h、3h 和 6h 这 3 种历时,根据(1)式计算出综合强度指标 RI,其等级划分见表 3。

表 3 短历时降雨综合强度指标 RI

短历时降雨综合强度指标 (RI)	综合等级
$1\leq RI\leq 4$	1 (特强)
$4 < RI\leq 8$	2 (强)
$8 < RI\leq 12$	3 (较强)
$12 < RI\leq 16$	4 (中等)

表 1 3 种历时降雨强度指标 I_i			
1h 降雨量指标 I_1 (mm)	滑动 3h 降雨量指标 I_3 (mm)	滑动 6h 降雨量 指标 I_6 (mm)	等级
≥ 30	≥ 48	≥ 64	1
13 ~ 29.9	24 ~ 47.9	33 ~ 64	2
8 ~ 12.9	15 ~ 23.9	21 ~ 32.9	3
5 ~ 7.9	10 ~ 14.9	15 ~ 20.9	4

表 2 短历时降雨持续时间指标 T	
短历时降雨持续时间 T (h)	等级
≥ 5	1
3 ~ 5	2
2 ~ 3	3
< 2	4

4 短历时降雨综合评估方法的应用

基于 2007–2011 年间广州市分区灾情资料,筛选出 21 次降雨过程。21 次降雨过程中大多数过程从降雨开始(小时降雨量 $\geq 0.1\text{mm}$)到结束的持续时间不超过 1d。

根据 1.3 节短历时降雨综合评估方法,分别计算短历时强度指标和持续降雨时间指标,最终得到 21 次降雨过程综合强度(表 4)。将 3 种短历时降雨综合强度指标 (RI_1 、 RI_3 和 RI_6)所对应的等级与灾损进行对比,可以发现直接经济损失超过 1000 万和受

表 4 广州市 21 次降雨过程短历时综合评估等级

受灾市（区）	灾害开始和结束时间	受灾人口（人）	直接经济损失（万）	RI ₁ 综合等级	RI ₃ 综合等级	RI ₆ 综合等级
从化	2007.04.24	3720	62.39	2（强）	3（较强）	3（较强）
从化	2007.05.26	14092	1299.93	1（特强）	1（特强）	1（特强）
增城	2008.05.04		1336	2（强）	2（强）	2（强）
从化	2008.05.29	510		2（强）	3（较强）	3（较强）
广州城区	2008.06.02–2008.06.03	700	1000	1（特强）	1（特强）	1（特强）
广州城区	2008.06.25–2008.06.27	2822	7232.09	1（特强）	1（特强）	1（特强）
花都	2008.06.25–2008.06.26		16998.6	1（特强）	1（特强）	1（特强）
从化	2008.06.25–2008.06.29	52627	6052.92	1（特强）	1（特强）	1（特强）
增城	2008.06.25–2008.06.28	36398	12000	1（特强）	1（特强）	1（特强）
番禺	2008.06.25–2008.06.26			1（特强）	1（特强）	1（特强）
增城	2009.06.11		718	1（特强）	1（特强）	1（特强）
广州城区	2010.05.06–2010.05.07	7235	26195.1	1（特强）	1（特强）	1（特强）
花都	2010.05.06–2010.05.07		7916.8	1（特强）	2（强）	1（特强）
从化	2010.05.06–2010.05.07	3506	4650.9	1（特强）	2（强）	2（强）
增城	2010.05.06–2010.05.08		1615	1（特强）	1（特强）	1（特强）
广州城区	2010.05.14–2010.05.15	2373	9046.08	1（特强）	1（特强）	1（特强）
从化	2010.05.14–2010.05.15	85	44.4	1（特强）	1（特强）	1（特强）
花都	2010.09.02–2010.09.04	40000		1（特强）	1（特强）	1（特强）
广州城区	2010.09.03–2010.09.04	11510	7792.44	1（特强）	1（特强）	1（特强）
广州城区	2010.09.12	600	521	1（特强）	1（特强）	1（特强）
广州城区	2011.10.13	19315	62.8	1（特强）	1（特强）	1（特强）

注:空白处为灾情资料缺失。

灾人口超过 2000 人的降雨过程中,使用该方法评估出的综合等级基本为特强级别;同时,在灾损较低的降雨过程中,3 种短历时降雨综合等级也相对较低,说明该方法对短历时降雨灾情具有一定的指示作用。

为了进一步探讨短历时降雨因子与实际灾损的相关关系,筛选了灾情资料中相对完整的受灾人口、

倒塌房屋、损坏房屋、直接经济损失和农作物受灾面积共 5 个灾损因子,分别计算与短历时降雨持续时间以及 1h、滑动 3h、滑动 6h 降雨量极值 4 种降雨因子的相关系数,并剔除缺失值,结果见表 5。

由表 5 可见,受灾人口与 4 种降雨因子的相关系数都不高,且没有通过显著性检验,同样,倒塌房屋的结果也与其相似。导致上述相关关系差的原因

表 5 短历时降雨因子与灾损因子的相关系数

		受灾人口	倒塌房屋	损坏房屋	直接经济损失	农作物受灾面积
短历时降雨持续时间	Pearson 相关性	0.44	0.12	0.70*	-0.10	0.52*
	显著性（双侧）	0.10	0.70	0.01	0.69	0.05
1h 降雨量极值	Pearson 相关性	0.36	0.02	-0.001	0.41	0.20
	显著性（双侧）	0.19	0.96	1.00	0.09	0.47
滑动 3h 降雨量极值	Pearson 相关性	0.48	0.29	0.43	0.59**	0.43
	显著性（双侧）	0.07	0.35	0.16	0.01	0.11
滑动 6h 降雨量极值	Pearson 相关性	0.50	0.23	0.61*	0.64**	0.50
	显著性（双侧）	0.06	0.48	0.04	0.00	0.06

注:*表示在 0.05 水平上显著相关,**表示在 0.01 水平上显著相关。

较为复杂,由于本文的研究区域为广州市,现代化程度高且作为承灾体的建筑物抗灾能力强,所以降雨因子的致灾阈值也相对较高;此外,受灾人口的多少不仅与降雨因子强度相关,也与当地的人口密度、孕灾环境危险性等有关。由于上述原因,可能导致灾损和降雨因子间相关性不显著。

另外,损坏房屋和农作物受灾面积与4种降雨因子之中的降雨持续时间相关系数最高,分别为0.7和0.52,且通过了0.05的显著性检验。上文中我们已将短历时降雨持续时间定义为小时降雨量 $\geq 5\text{mm}$ 的小时数,这从一定程度上说明上述两类灾损因子对持续性的较强降雨敏感性较高。另外,随着降雨量极值统计时长的增加,相较于1h降雨量极值和滑动3h降雨量极值,滑动6h降雨量极值与损坏房屋、直接经济损失和农作物受灾面积这3类灾损因子相关系数更高;其中,直接经济损失与其相关系数达到了0.64并通过0.01的显著性检验,损坏房屋与其相关系数为0.61并通过0.05的显著性检验,这说明上述3类灾损因子受较长时间段的累计降雨量极值的影响较大。

5 结论与讨论

(1) 通过分析广州站不同历时降雨因子年际变化特征,发现短历时尤其是1h强降雨发生频次呈现逐年增多趋势,且在2000年前后存在明显突变区间;但长历时强降雨年际变化趋势相对平稳。

(2) 利用百分位法建立了一种基于不同历时降雨极值和降雨持续时间的短历时降雨综合评估方法,结合实际灾情,发现该方法对短历时降雨灾情具有一定的指示作用。

(3) 通过对灾损因子和短历时降雨因子的相关性分析,发现损坏房屋和农作物受灾面积与短历时降雨持续时间相关性较好。另外,损坏房屋、直接经济损失和农作物受灾面积受较长时间段的累计降雨量极值影响较大。

本文建立的综合评估方法仅涉及降雨数据,但强降雨的致灾程度还与当地的地理环境、人口密度、经济水平等相关,未来可将上述因素与气象因素综合考虑,进一步提升评估方法的客观性和合理性。

参考文献:

[1] 广东省气象局《广东省天气预报技术手册》编写组. 广

东省天气预报技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 22.

- [2] Li J, Yu R C, Sun W. Duration and Seasonality of Hourly Extreme Rainfall in the Central Eastern China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2013(27): 799–804.
- [3] 余功梅. 华南地区近40年降水的气候特征 [J]. *热带气候学报*, 1998, 12(3): 252–256.
- [4] 池艳珍, 何金海, 吴志伟. 华南前汛期不同降水时段的特征分析[J]. *南京气象学院学报*, 2005, 28(2): 163–171.
- [5] 伍红雨, 杜尧东, 秦鹏. 华南暴雨的气候特征及变化 [J]. *气象*, 2011, 37(10): 1261–1269.
- [6] 吴滨, 文明章, 李玲, 等. 福建省不同短历时暴雨时空分布特征[J]. *暴雨灾害*, 2015, 34(2): 153–159.
- [7] 唐传师, 许爱华, 马锋敏, 等. 1961–2015年江西省短历时强降水时空分布特征[J]. *暴雨灾害*, 2015, 37(5): 421–427.
- [8] 伍志方, 蔡景就, 林良勋, 等. 2017年广州“5·7”暖区特大暴雨的中尺度系统和可预报性 [J]. *气象*, 2018, 44(4): 485–499.
- [9] 古安川, 夏军强, 李洁, 等. 经济发展对洪灾损失影响的主成分分析评价——以河南、山东省为例[J]. *灾害学*, 2014, 29(4): 220–223, 229.
- [10] 李春梅, 刘锦鑫, 潘蔚娟, 等. 暴雨综合影响指标及其在灾情评估中的应用[J]. *广东气象*, 2008, 30(4): 1–4.
- [11] 陈艳秋, 袁子鹏, 盛永, 等. 辽宁暴雨事件影响的预评估和灾后速评估[J]. *气象科学*, 2007, 27(6): 626–632.
- [12] 陈亚宁. 自然灾害的灰色关联灾情评估模型及应用研究[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(2): 56–60.
- [13] 王莉萍, 王秀荣, 王维国, 等. 中国区域降水过程综合强度评估方法研究及应用 [J]. *自然灾害学报*, 2015, 24(2): 186–194.
- [14] 岳岩裕, 吴翠红, 毛以伟, 等. 2016年湖北省梅雨期暴雨特征及灾情影响分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(2): 412–420.
- [15] 陈艳秋, 袁子鹏, 盛永, 等. 基于概率分析的暴雨事件快速评估模型[J]. *气象与环境科学*, 2006, 22(5): 62–65.
- [16] Cooper N S, Whysall K D B, Bigg G R. Recent decadal climate variations in the tropical Pacific [J]. *International Journal of Climatology*, 1989(9): 221–242.
- [17] 中国气象局. GB/T 28592–2012 降水量等级 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [18] 中国气象局. QX/T 416–2018 强对流天气等级[S]. 北京: 气象出版社, 2018.

Application of a short duration rainfall comprehensive evaluation method in Guangzhou

Liu Lu^{1,2}, Zhang Feng²

(1. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875;

2. National Meteorological Centre, Beijing 100081)

Abstract: Based on hourly precipitation dataset from 1981 to 2015, the linear trend method and Mann-Kendall test method were used to analyze the spatial distribution characteristics of short-time rainstorm (1h, 3h, 6h) and long-time rainstorm (24h) in Guangzhou. By using the percentile threshold method, a short-time rainfall comprehensive evaluation model was established based on the extreme value and the duration of rainfall. 21 rainfall processes in Guangzhou from 2007 to 2011 were comprehensively evaluated, and the correlation between disaster damage factors and short duration rainfall factors was analyzed. The frequency and extreme value of short-term rainstorm in Guangzhou showed an upward trend, and the frequency of 1h rainstorm was the most significant. The comprehensive grade evaluation method had a certain indicative effect on the short-term rainfall disaster. The correlation coefficients of short-duration rainfall duration and 6h rainfall extreme value with some disaster damage factors were high.

Key words: short-duration rainfall; percentile method; comprehensive level; correlation analysis