

长沙地区城市内涝风险预警指标研究

丁玄, 陈婷, 方韵, 邱庆栋, 余后珍

长沙市气象局, 湖南 长沙

收稿日期: 2022年9月26日; 录用日期: 2022年10月26日; 发布日期: 2022年11月3日

摘要

根据2000~2021年长沙城区的年降水量、月降水量、大雨、暴雨日数等气象资料研究主城区近20年来降雨的变化规律为: 年平均降雨量为1388.5 mm, 降水分布不均匀, 全年降水主要集中在4~7月, 暴雨日日数和降雨强度呈现逐年增加的趋势, 城区强降水多为短历时强降水, 强度大、局地性强; 分析2010年以来的16次城市内涝过程, 发现内涝发生时大部分个例的主要降雨量集中在1~3小时内且1小时、2小时降雨量大, 只要少数个例在3小时后还有较强的降水, 一般情况下3~6小时最大累积降水量并无明显变化, 内涝时大部分个例的1小时降雨量超过20 mm、3小时累积雨量超过50毫米; 以区为单位统计2007年以来长沙城区所有自动气象站1小时雨量数据的总样本数、降雨样本数、最大值、0.01%、0.05%、0.1%分位等数据, 确定城市内涝风险预警指标为: 黄色、橙色、红色三个级别的1小时降雨量标准设定为30毫米、50毫米、70毫米; 3小时降雨量标准设定为50毫米、80毫米、110毫米。

关键词

城市内涝, 预警指标, 1小时降雨量, 3小时降雨量

Study of Early Warning Indicator of Urban Waterlogging Risk in Changsha Area

Xuan Ding, Ting Chen, Yun Fang, Qingdong Qiu, Houzhen Yu

Changsha Meteorological Bureau, Changsha Hunan

Received: Sep. 26th, 2022; accepted: Oct. 26th, 2022; published: Nov. 3rd, 2022

Abstract

According to the annual precipitation, monthly precipitation, heavy rain days, rainstorm days and other meteorological data of Changsha urban area from 2000 to 2021, the variation law of rainfall in the main urban area in the past 20 years is studied as follows. The annual average rainfall is 1388.5 millimeter, and the rainfall distribution is uneven. The annual rainfall is mainly concen-

trated from April to July. The number of rainstorm days and rainfall intensity show a trend of increasing year by year. The heavy rainfall in the urban area is mainly short-term heavy rainfall with high intensity and strong localization. By analyzing the 16 Urban Waterlogging processes since 2010, it is found that the main rainfall of most cases is concentrated in 1~3 hours and the rainfall in 1 hour and 2 hours is large. Only a few cases have strong rainfall after 3 hours. Generally, the maximum accumulated rainfall in 3~6 hours does not change significantly. When the waterlogging occurred, the rainfall in most cases exceeded 20 mm in one hour and the accumulated rainfall in three hours exceeded 50 mm. The total sample number, rainfall sample number, maximum value, 0.01%, 0.05%, 0.1% percentile and other data of 1-hour rainfall data of all automatic weather stations in Changsha City since 2007 are counted in the district as a unit, and the urban waterlogging risk early warning indicator is determined as follows: the 1-hour rainfall standard of yellow, orange and red alert is set as 30, 50 and 70 millimeter; the 3-hour rainfall standard is set as 50, 80 and 110 millimeter.

Keywords

Urban Waterlogging, Early Warning Indicator, 1-Hour Rainfall, 3-Hour Rainfall

Copyright © 2022 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

城市内涝是指短历时强降雨或长历时较强降雨的降雨量超过城市排水能力而引起城市内产生积涝的现象[1] [2], 它严重影响城市安全运行和居民的生产生活, 成为制约城市可持续发展的难题之一[3]。2012年, 北京“721”特大暴雨导致城市内涝造成 79 人死亡, 约 160.2 万群众受灾, 直接经济损失 116.4 亿元; 2016 年 7 月, 武汉暴雨内涝导致 14 人死亡, 约 75.7 万人受灾, 直接经济损失 22.65 亿元[4]; 2021 年郑州“720”特大暴雨造成地铁 5 号线被淹紧急疏散 953 人、14 人死亡, 京广快速路北隧道淹水倒灌, 6 人死亡、247 辆汽车被淹。由此可见, 城市内涝与气象条件密切相关, 强降雨是致灾的关键因素[5] [6] [7]。因此, 探究城市强降雨规律, 建立一个科学合理的城市内涝风险预警指标, 不但可以提高城市内涝预报预警能力, 也可为政府各级防汛部门治理和防御城市内涝提供决策依据。

2. 研究资料与方法

考虑到进入 21 世纪后, 长沙城市化发展进程加快, 城市内涝发生的频率、强度及影响日益严重, 因此本文根据 2000~2021 年长沙城区的年降水量、月降水量、大雨、暴雨日数等气象资料研究主城区近 20 年来降雨的变化规律, 选取 2010 年以来的 16 次城市内涝过程研究其与相应时段内自动站小时降雨量的关系, 并利用 2007 年以来长沙城区所有自动气象站 1 小时雨量数据, 以区为单位, 统计总样本数、降雨样本数、最大值、0.01%、0.05%、0.1%分位等数据从而确定城市内涝风险预警指标。

3. 城区降水特点

3.1. 降水年变化

图 1 为 2000~2021 年长沙城区年降水量变化趋势图, 从图可知, 长沙近 21a 年平均降水量为 1388.5 mm, 年平均降雨量呈现逐年增加的趋势, 其中增加率为 2.8 mm/a。2013 年之前长沙城区降水逐年波动变化大,

2013年后呈现出较平稳增加的趋势。降水最多年份为2012年,达到1730 mm,最少年份为2011年,仅932.8 mm。

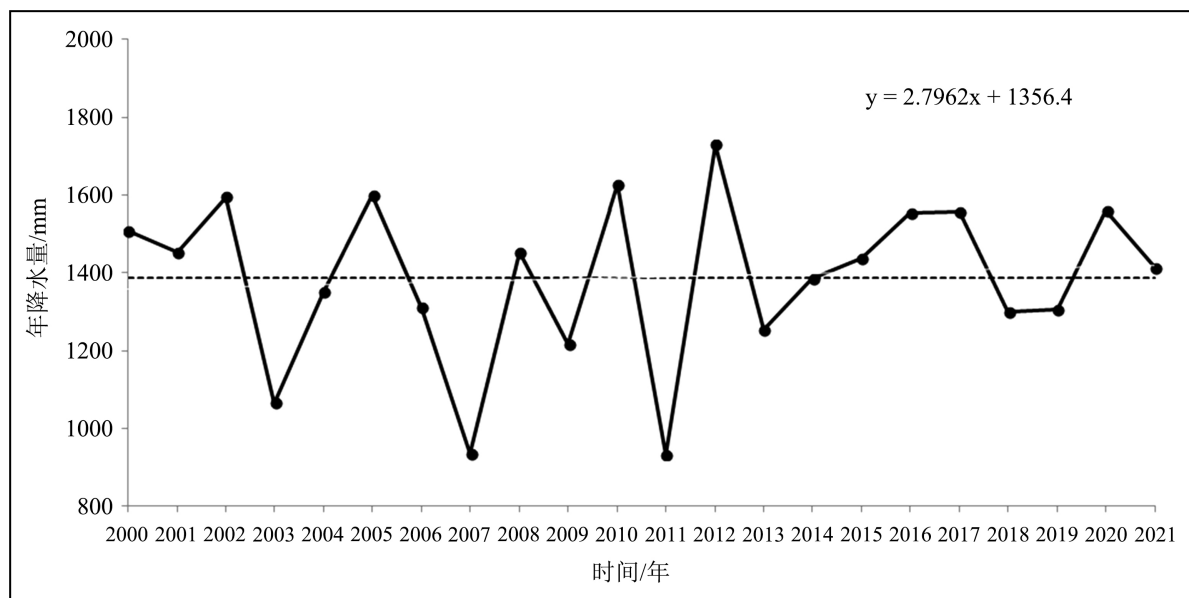


Figure 1. Annual variation trend of precipitation in Changsha urban area

图 1. 长沙城区降水年际变化趋势

3.2. 降水月变化

从长沙城区逐月降水量变化趋势(图 2)分析可知,近 21a 城区降水主要集中在 3~9 月(占全年降水的 69%),月平均降雨量均超过 100 mm,特别是 4~7 月集中了全年一半以上(占比 51%)的降水,该时期也是长沙短时强降水、大雨、暴雨的多发时段,城市内涝也主要集中在该时段。每次暴雨来临时,城区防渍排涝任务严峻。为进一步了解城区防渍排涝的严峻形势,图 3 给出了 4~7 月城区降水量年际变化趋势。4 月、6 月降水量呈现逐年递减的趋势,递减率分别为 2.7 mm/a、1.6 mm/a; 5 月、7 月降水量则是逐年增加的,增加率分别为 1.6 mm/a、3.6 mm/a,表明长沙城区降水在主汛期 5 月、7 月有明显的增加趋势。

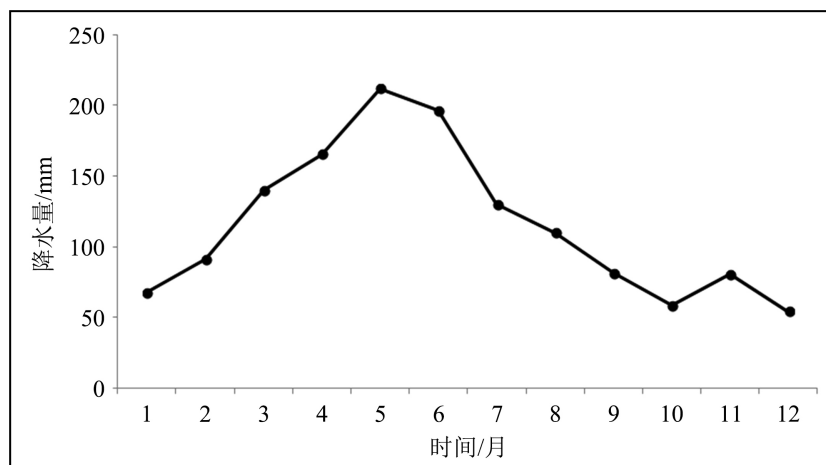


Figure 2. Monthly variation trend of precipitation in Changsha urban area

图 2. 长沙城区降水逐月变化趋势

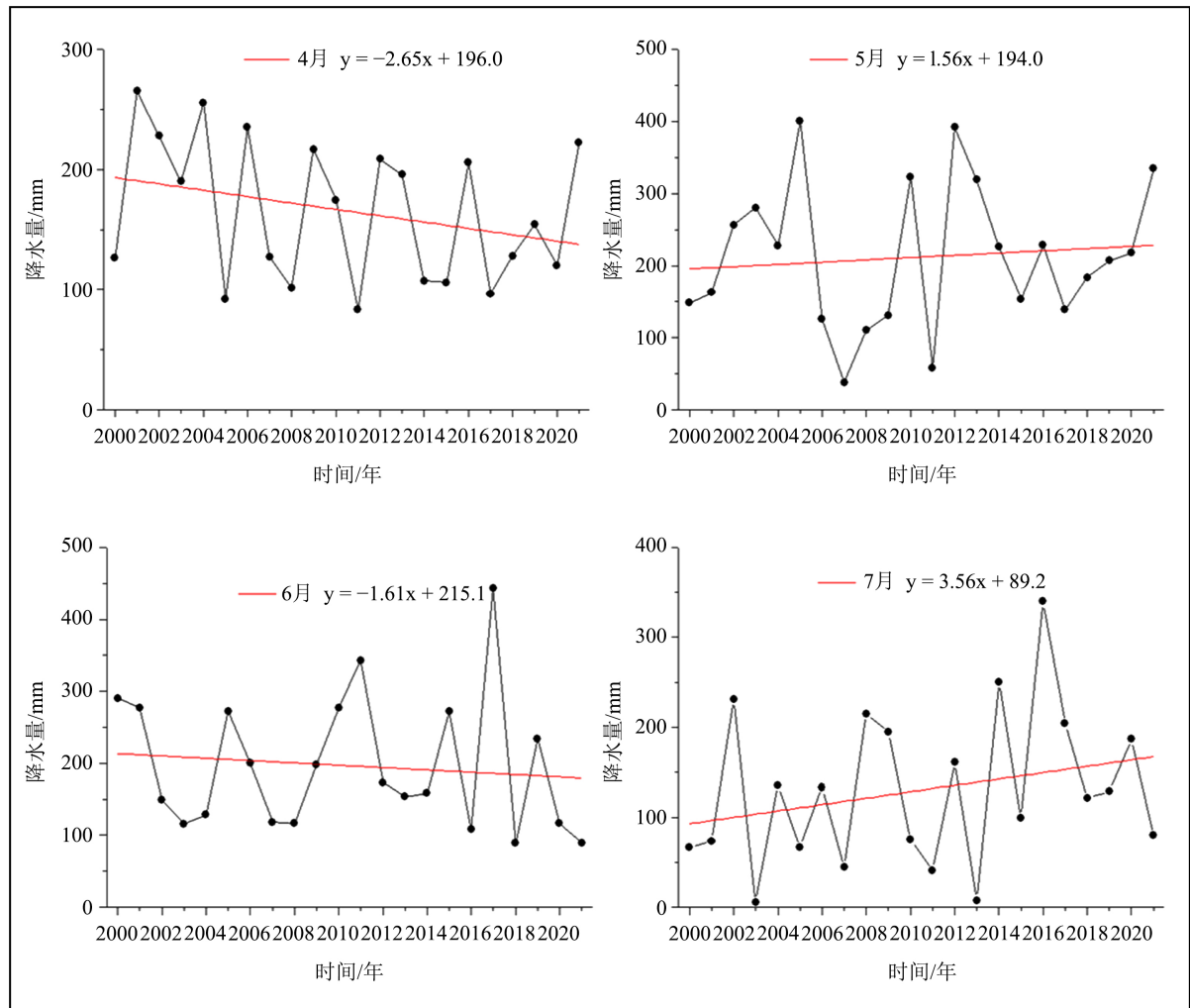
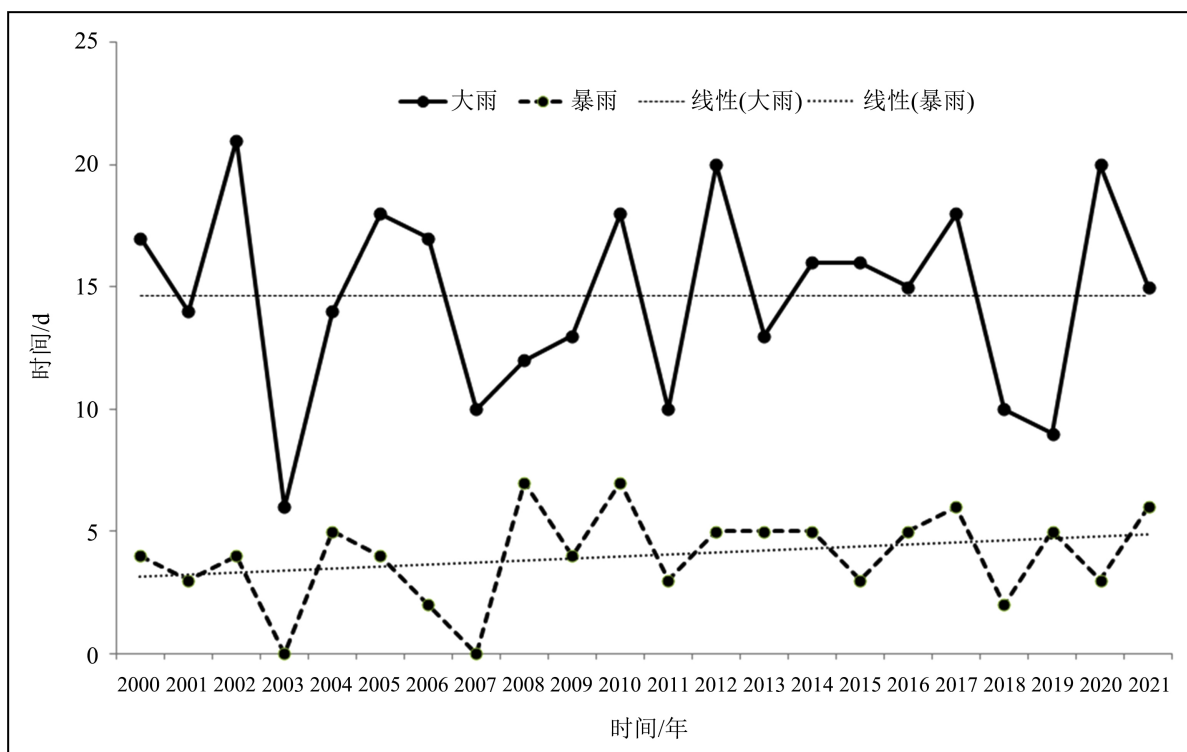


Figure 3. Annual variation trend of precipitation from April to July in Changsha urban area
图 3. 长沙城区 4~7 月降水量年际变化趋势

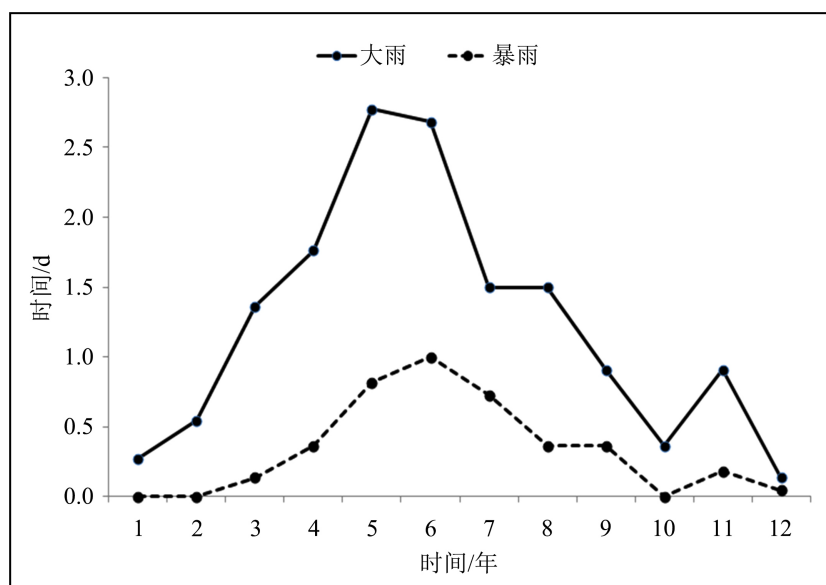
3.3. 大雨、暴雨日数变化

2000~2021 年间长沙城区出现大雨日数累计 322 天、暴雨日数累计 88 天,从逐年分布情况看(图 4(a))大雨日数呈现逐年减少的趋势,而暴雨日数呈现逐年增加的趋势。暴雨日数在 2010 年最多,达到 7 天,2010 年后城区暴雨日数呈波动性增加。近年来,极端天气和气候事件频发,长沙城区极端性降水发生的概率在逐渐提高,这也是城市内涝灾害近年来多发频发的主要原因。从大雨、暴雨的逐月变化情况看(图 4(b)),城区大雨、暴雨日主要集中在 4~8 月,大雨日数占全年的 69%、暴雨日数占全年的 83%。大雨日数在 5 月最多,暴雨日数在 6 月最多,这与雨季雨量的季节变化趋势相吻合。城区最大日降水量为 149.5 mm,出现在 2017 年 7 月 1 日。经统计,24 h 暴雨主要是集中在 6 h 内,而 6 h 暴雨又以 1~3 h 内短时强降雨为主。

综上,长沙城区近 21 年内年平均降雨量为 1388.5 mm,年内降水分布不均匀,全年降水主要集中在 4~7 月。近年来城区强降水具有以下特征:1) 城区暴雨日日数和降雨强度呈现逐年增加的趋势;2) 城区强降水多为短历时强降水,强度大、局地性强,其原因可能是随着城市规模扩大、人口及机动车数量增加等引起的“城市热岛”效应导致的。



(a)



(b)

Figure 4. (a) Annual variation trend of heavy rain and rainstorm days in Changsha urban area; (b) Monthly variation trend of heavy rain and rainstorm days in Changsha urban area

图 4. (a) 长沙城区大雨、暴雨日数年际变化趋势; (b) 长沙城区大雨、暴雨日数逐月变化趋势

4. 城市内涝与降雨量的关系

在全球气候变暖大背景及快速城市化过程中,城市局地气候也相应发生了一系列的变化,如“热带效应”、“雨岛效应”愈加显著、极端降水天气出现的频率日益增加等[8]。城市内涝的发生与气象条件

关系密切,短历时强降水由于其降雨强度大、空间分布不均匀、持续时间长等特征,易造成的道路积水,是产生城市内涝的关键因素[9]。

统计 2010~2021 年城区 16 次内涝过程中各内涝点对应区域自动站 1~6 小时最大累积降雨量数据(图 5),从中可见,大部分个例的主要降雨量集中在 1~3 小时内且 1 小时、2 小时降雨量大,只要少数个例在 3 小时后还有较强的降水,一般情况下 3~6 小时最大累积降雨量并无明显变化。另外,城市内涝时大部分个例的 1 小时降雨量超过 20 mm、3 小时累积雨量超过 50 毫米。因此,在建立城区内涝风险预警值指标时,主要考虑 1 小时降水量和 3 小时累积雨量。

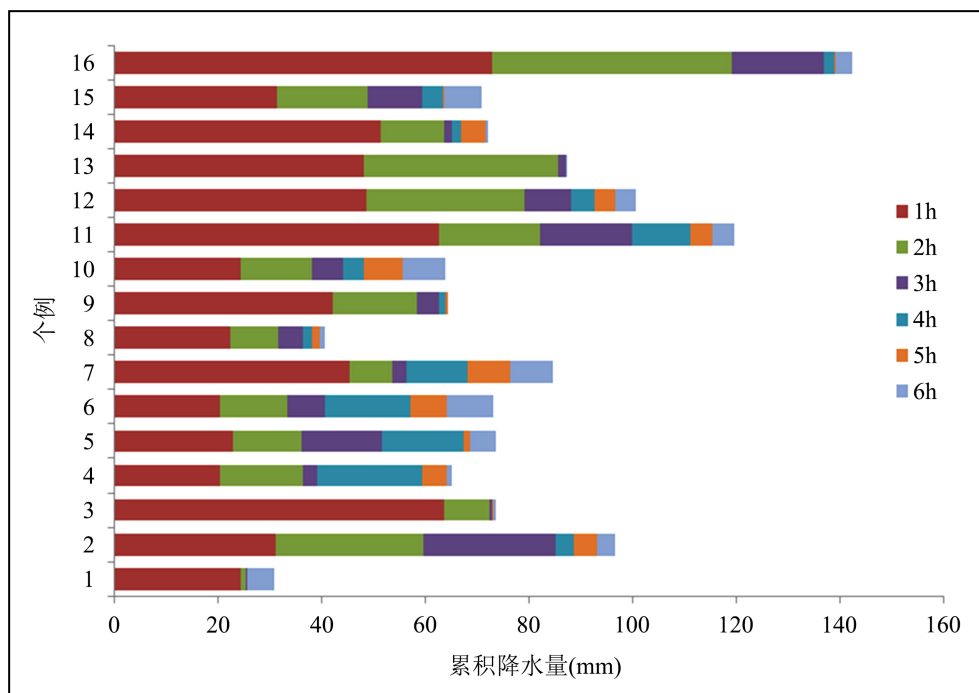


Figure 5. Maximum accumulated rainfall in 1 to 6 hours during 16 cases of waterlogging in Changsha urban area (unit: millimeter)

图 5. 长沙城区 16 次内涝过程 1~6 小时最大累积降雨量(单位: mm)

5. 城市内涝风险预警指标的建立

统计 2007 年以来长沙市所有自动站点全部 1 小时、3 小时,根据气候背景、气候评价报告甄别错误数据,以区为单位,分析总样本数、降雨样本数、最大值、0.01%、0.05%、0.1%分位等数据,汇总得到表 1、表 2。

各区的小时降雨量极值(除芙蓉区外,可能是芙蓉区站点较少的原因)大致分布在 80~100 毫米;对于内五区,这些 1 小时雨量超过 80 毫米的极端短时暴雨过程均造成了严重的城市内涝灾害,如 2020 年 6 月 9 日天心区双塔国际、2021 年 8 月 17 日南湖路隧道等;0.01%分位值大致分布在 50~60 毫米范围,发生频率低(极端性),且在城市防涝排渍的工作经验中具有较高的致灾性;0.1%分位值分布在 29~32 毫米范围,发生频率较低,在实际经验中对城市排水系统有一定压力。

根据上述分析,可在城市防涝排渍工作中,将城市内涝风险预警黄色、橙色、红色三个级别的 1 小时降雨量标准设定为 30 毫米、50 毫米、70 毫米,黄色、橙色分别对应 0.1%分位值和 0.01%分位值,红色对应极值(设置小于极值,保证对极端情况不漏报),在致灾性和统计学分析上均较为合理。

Table 1. Historical data statistics of 1-hour rainfall in Changsha urban area
表 1. 长沙城区 1 小时雨量历史数据统计

	总样本数	降雨数	降雨比例	最大值 (mm)	最大值 出现站点	最大值 出现时间	0.01%值 (mm)	0.05%值 (mm)	0.1%值 (mm)
芙蓉区	354,766	44,241	12.5%	63.5	东岸	2013-5-7 4:00	54.7	37.0	29.8
天心区	888,341	107,360	12.1%	77.4	湖南林科大	2020-6-9 22:00	61.5	38.1	32.2
岳麓区	1,296,971	161,636	12.5%	88.7	观沙岭	2013-6-26 16:00	52.9	38.6	31.8
开福区	704,959	91,738	13.0%	83.3	科大佳园	2021-8-18 21:00	47.1	38.1	30.7
雨花区	525,293	67,709	12.9%	85.4	雨花区政府	2020-6-9 22:00	64.3	37.5	30.3
望城区	3,646,578	482,734	13.2%	99.7	桥驿	2020-8-10 0:00	54.9	38.1	30.0

注：分位数只从降雨样本中计算。

各区的 3 小时降雨量极值差异较大，分布在 80~140 毫米范围，均值为 119.8 毫米；0.01%分位值相对接近，分布在 70~90 毫米范围，均值为 83.7 毫米；0.1%分位值较为统一，分布在 48~54 毫米，均值为 51 毫米。采用与 1 小时同样的分位值对应关系，可将黄色、橙色、红色三个级别的 3 小时降雨量标准设定为 50 毫米、80 毫米、110 毫米。

综上，城市内涝风险预警黄色的指标为：1 小时降水量达到 30 毫米或 3 小时累积雨量达到 50 毫米；橙色的指标为：1 小时降水量达到 50 毫米或 3 小时累积雨量达到 80 毫米；红色的指标为：1 小时降水量达到 70 毫米或 3 小时累积雨量达到 110 毫米。

Table 2. Historical data statistics of 3-hour rainfall in Changsha urban area
表 2. 长沙城区 3 小时雨量历史数据统计

	总样本数	降雨数	降雨比例	最大值 (mm)	最大值 出现站点	最大值 出现时间	0.01%值 (mm)	0.05%值 (mm)	0.1%值 (mm)
芙蓉区	354,766	67,360	19.0%	81.7	东岸	2010-6-23 22:00	72.4	57.2	50.3
天心区	888,341	162,657	18.3%	134.7	湖南林科大	2020-6-10 0:00	85.0	59.1	52.0
岳麓区	1,296,971	240,720	18.6%	116.2	莲花	2013-6-26 21:00	83.9	64.0	54.4
开福区	704,959	136,201	19.3%	131.8	沙坪	2017-6-30 16:00	87.1	57.2	48.1
雨花区	525,293	101,612	19.3%	120.0	跳马镇杨林	2016-6-15 7:00	85.9	61.5	50.7
望城区	3,646,578	717,512	19.7%	134.5	丁字湾街道 金云	2019-6-21 20:00	87.8	60.7	50.7

6. 结论与讨论

长沙城区近年来暴雨日数和降雨强度均呈现逐年增加的趋势；城区降水主要集中在每年的 4~7 月，强降水过程多为短历时强降水，强度大、局地性强，空间分布不均匀，城市内涝与 1 小时降雨强度及 3 小时累积降雨量关系密切，城市内涝风险预警黄色、橙色、红色三个级别的 1 小时降雨量标准设定为 30 毫米、50 毫米、70 毫米；3 小时降雨量标准设定为 50 毫米、80 毫米、110 毫米。

基金项目

湖南省研究型业务预报预测专项(XQKJ21C001)。

参考文献

- [1] 杨芳园, 段燕楠, 潘娅婷, 李晓鹏. 昆明市主城区城市内涝短临预警指标研究[J]. 云南地理环境研究, 2018, 30(4): 64-69.
- [2] 李春梅, 唐力生, 章国材. 城市内涝风险预警服务业务技术指南[M]. 北京: 气象出版社, 2015: 40.
- [3] 尤凤春, 扈海波, 郭丽霞. 北京市暴雨积涝风险等级预警方法及应用[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(3): 263-267.
- [4] 梁爽, 贺山峰, 王欣, 李明启. 城市内涝灾害致灾机理分析与研究展望[J]. 防灾科技学院学报, 2020, 22(3): 77-83.
- [5] 薛春芳, 王建鹏, 薛荣, 金丽娜. 基于 GIS 的西安城市强降水内涝预报预警系统[J]. 陕西气象, 2008(3): 6-9.
- [6] 庄红波, 高瑞泉, 饶华炎. 城市内涝监测技术的应用研究[J]. 气象科技, 2013, 41(2): 378-383.
- [7] 王建鹏, 薛春芳, 解以扬, 金丽娜, 薛荣. 基于内涝模型的西安市区强降水内涝成因分析[J]. 气象科技, 2008, 36(6): 772-775.
- [8] 郝莹. 气象水文耦合的城市内涝风险多尺度预测与预估研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京大学, 2021.
- [9] 高维英, 李明, 李菁. 西安城市内涝分布特征及其与降雨量的关系[J]. 陕西气象, 2014(2): 17-20.