

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20222261

# 长江三角洲城市群极端降水时空变化特征

向宇豪<sup>1,2</sup>, 宋晓猛<sup>2</sup>, 胡兆永<sup>1</sup>

(1. 四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065;  
2. 中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116)

**摘要:**为研究长江三角洲城市群极端降水时空变化特征,利用长江三角洲城市群135个气象站点1951~2017年的逐日降水资料,从极端降水总量、频次、强度方面来定义极端降水指数,对极端降雨指标值进行线性趋势分析、M-K趋势检验、小波周期分析和反距离权重插值。结果表明,极端降水指标值除CDD以 $-0.11\text{ d/a}$ 下降外,其他指标值均有小幅度增加;各指标值在40~50年的特征时间尺度下,平均变化周期为15~25年;RX1day、RX5day、CWD、R95P、R20均值的空间分布高值区在长江三角洲城市群东南区;CDD则与前者分布相反;SDII均值高值区则在长江三角洲城市群西区;RX1day、RX5day、R95P的变化趋势空间分布高值区均在南京市、常州市和上海市一带;SDII和PRCPTOT变化趋势空间分布高值区在南京市、无锡市和苏州市一带;CWD、CDD、R20变化趋势的高值区在杭州市、绍兴市及温州市。研究结果可为长江三角洲城市群暴雨内涝灾害预防提供参考。

**关键词:**长江三角洲城市群;极端降水;极端降雨指数;时空分布;周期变化

**中图分类号:**TV125 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-7709(2023)09-0001-05

## 1 引言

在全球变暖背景下,全球极端降水事件急剧增加<sup>[1,2]</sup>。孔锋等<sup>[3]</sup>发现极端降水的平均强度与城市化水平有显著线性关系,因而在人口密集高度城镇化的地区,极端降水、暴雨内涝事件频发<sup>[4]</sup>,引发的灾害给地区城市活动造成了极大负面影响<sup>[5]</sup>。长三角城市群作为我国经济发展最快、城市分布最集中的地区之一,近年来也多次遭受极端降雨灾害,引起城市洪涝问题,对该地区生产生活造成了严重影响和经济损失,但目前针对长江三角洲城市群极端降水时空变化特征的研究较少,对该地区的极端降水时空变化了解还不够充分。因此,本文利用长江三角洲城市群135个气象站点1951~2017年的逐日降水资料分析了长江三角洲城市群极端降水时空变化特征,以期能为长三角城市群暴雨内涝灾害预防和排水系统等工程预案设计提供数据支持。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据资料

选用中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)1951~2017年长江三角洲城市群内135个气象站的逐日降雨资料。长江三角洲城市群位置及气象站的分布见图1。

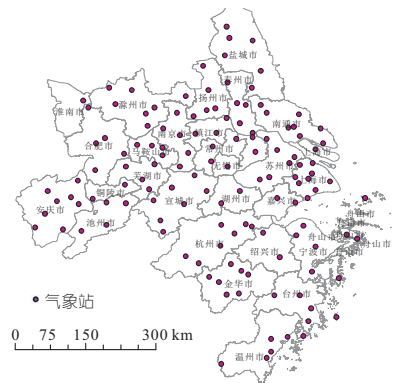


图1 长江三角洲城市群气象站点分布

Fig. 1 The Yangtze River Delta city cluster and hydrological station

### 2.2 研究方法

选取气候变化检测和指数联合专家组(ETC-CDI)定义的极端降水持续指数(持续湿润日数

收稿日期:2022-10-27,修回日期:2022-11-28

基金项目:国家自然科学基金项目(51979271);江苏省基础研究计划(自然科学基金)(BK20211247)

作者简介:向宇豪(2000-),男,硕士研究生,研究方向为水文水资源,E-mail:xiangyh@stu.scu.edu.cn

通讯作者:宋晓猛(1987-),男,博士、副教授、博导,研究方向为水文水资源,E-mail:xmsong@cumt.edu.cn

CWD 和持续干旱日数 CDD)、相对指数(最大 1 d 降水量 RX1day、强降水量 R95P 和最大 5 d 降水量 RX5day)、强度指数(降水强度 SDII 和湿日降水量 PRCPTOT)和绝对指数(大雨日数 R20)来衡量极端降雨。各指数定义<sup>[6]</sup>见表 1。

表 1 极端降雨指标

Tab. 1 Extreme rainfall indices defined by ETCCDI

指数类型	指数缩写	指数名称	定义	单位
持续	CWD	持续湿润日数	日降水量≥1 mm 的最大持续日数	d
	CDD	持续干旱日数	日降水量<1 mm 的最大持续日数	d
相对	RX1day	最大 1 d 降水量	全年日降水量最大值	mm
	RX5day	最大 5 d 降水量	全年连续 5 d 降水量最大值	mm
	R95P	强降水量	日降水量超过 95% 分位数的降水总量	mm
强度	SDII	降水强度	年降水量/年降水日数(日降水量≥1 mm)	mm/d
	PRCPTOT	湿日降水量	全年日降水量总和(日降水量≥1 mm)	mm
绝对	R20	大雨日数	日降水量≥20 mm 天数	d

各站点的极端降水指标值使用 Python 与 RClindex<sup>[7]</sup> 软件计算,得到极端降水指标值时间序列。利用极端降水指标值序列分析极端降雨指数的时间变化特征;利用 M-K 趋势检验法<sup>[8]</sup> 来检验极端降雨指数变化的趋势及其突变性。利用 Arcgis 的反权重插值法(IDW)揭示极端降雨指数的空间分布特征及其变化趋势;利用小波周期分析法<sup>[9]</sup> 来分析极端降雨指数的周期性。

### 3 结果与分析

#### 3.1 极端降雨指标值变化趋势

图 2 为 1951~2017 年长江三角洲城市群极

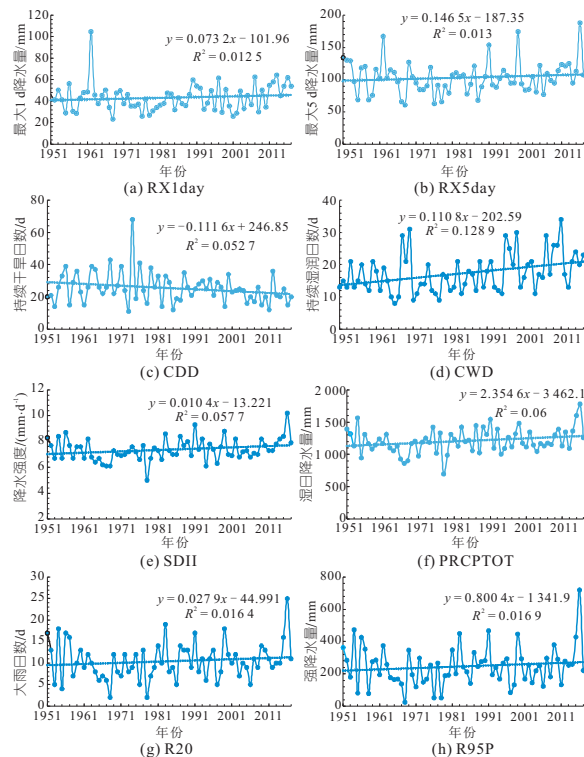


图 2 长江三角洲城市群极端降雨指标趋势变化图

Fig. 2 Extreme rainfall indicators trend change chart

端降雨指标值的线性趋势曲线图。由图 2 可知,长江三角洲城市群极端降雨指标值总体呈微小增加趋势。其中 RX1day、RX5day、CWD、SDII、PRCPTOT、R20、R95P 分别以线性系数 0.073 3 mm/a、0.150 8 mm/a、0.110 8 d/a、0.010 4 mm/(d · a)、2.354 6 mm/a、0.027 9 d/a、0.800 4 mm/a 的速率增加;CDD(持续干旱日数)以-0.111 6 d/a 的速率减小。CWD、SDII、PRCPTOT 在可信度  $\alpha = 0.05$  区间下线性趋势回归检验值分别为 3.08、2.08、2.04, CDD 线性趋势回归检验值为 1.89,说明 CWD、SDII、PRCPTOT、CDD 增减趋势显著。

由 M-K 检验(图 3)可知,RX1day、RX5day 在 1965 年后明显下降,且 1980 年达到显著水平,1981 年开始回升至平均变化率附近;CWD 变化趋势在 1951~1964 年呈小幅波动下降,于 1964 年明显下降,在 1968 年短暂回升随后继续保持下降趋势,1997 年转变为上升趋势且速率持续增加,2016 年达到显著水平;SDII 变化趋势在 1951~1958 年呈小幅波动下降,1962 年明显下降且 1964 年达到显著水平,1968 年开始回升,

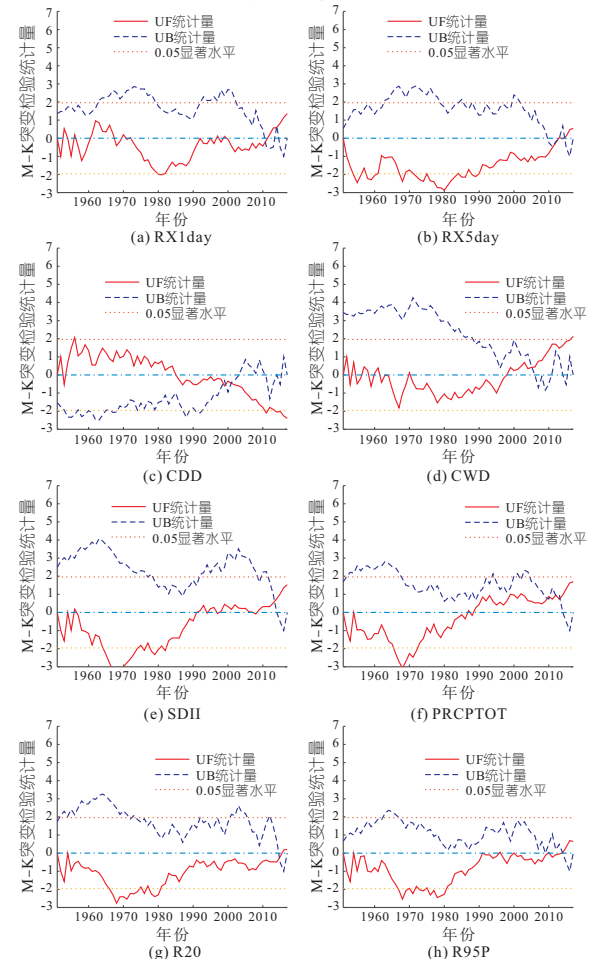


图 3 极端降雨指标的 M-K 突变检验

Fig. 3 M-K mutation test of extreme rainfall indicators

1973~1983 年内有所波动,1984 年回升并逐渐转变为上升趋势且速率持续增加,但并未达到显著水平;PRCPTOT 整体变化趋势和 SDII 变化趋势很相近;R20、R95P 变化趋势在 1951~1956 年小幅波动,无明显增减,1957 年明显下降且保持至 1964 年达到显著水平,1968 年开始回升,1981 年脱离显著水平;1982~2014 年内呈小幅波动,无明显增减趋势;CDD 变化趋势在 1951~1958 年呈大幅波动上升,1957 年达到显著水平。CDD 变化趋势于 1960 年开始缓慢波动下降,且一直保持缓慢减小趋势,最终于 2010 年达到显著水平,达到显著水平后仍呈下降趋势。各极端降雨指标突变时间见表 2。

表 2 极端降雨指标突变时间

Tab. 2 Abrupt change stable of extreme rainfall indicators

极端降雨指标	突变时间	极端降雨指标	突变时间
RX1day	2010、2014 年	SDII	2013 年
RX5day	2012、2014 年	PRCPTOT	2010、2013 年
CDD	1997、2001 年	R20	2014 年
CWD	2005 年	R95P	2014 年

### 3.2 极端降雨指标值变化周期

图 4 为长江三角洲城市群极端降雨指标值小波系数实部等值线图。由图 4 可知,RX1day 在

第一主周期 40 年时间尺度下,平均变化周期为 17 年;RX5day 在第一主周期 42 年时间尺度下,平均变化周期为 15 年;PRCPTOT 在第一主周期 42 年时间尺度下,平均变化周期为 16 年;CWD 在第一主周期 55 年时间尺度下,平均变化周期为 18 年;SDII 在第一主周期 43 年时间尺度下,平均变化周期为 25 年。CDD 在第一主周期 56 年时间尺度下,平均变化周期为 35 年;R20 在第一主周期 55 年时间尺度下,平均变化周期为 30 年。R95P 在第一主周期 45 年时间尺度下,平均变化周期为 30 年。总体平均变化周期为 15~35 年,时间尺度为 40~55 年。

### 3.3 极端降雨指标平均值的空间分布

图 5 为长江三角洲城市群极端降雨指标平均值空间分布。由图 5 可知,RX1day、RX5day、PRCPTOT、CWD、R20、R95P 多年均值的空间分

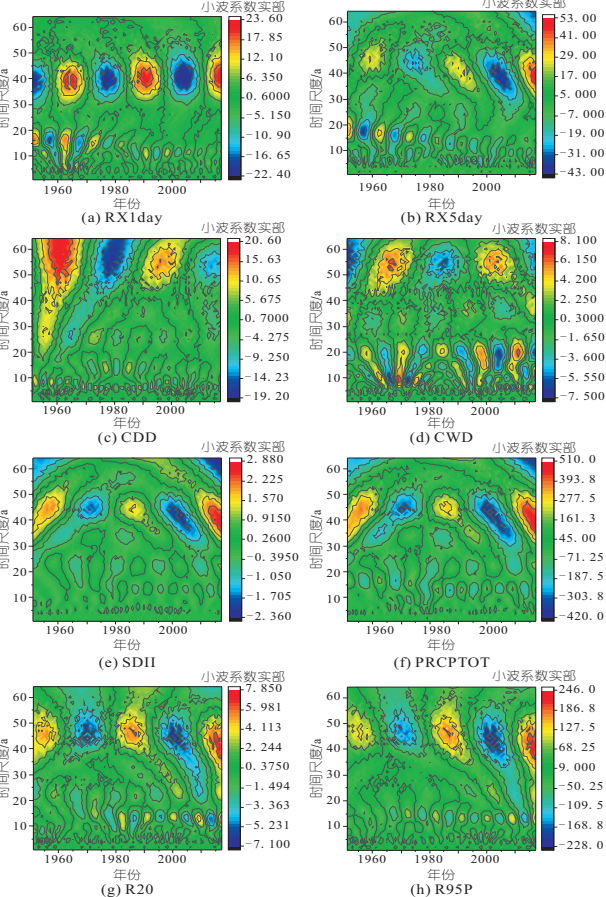


图 4 极端降水指数小波系数实部等值线图

Fig. 4 Solid contour map of extreme precipitation index wavelet coefficient

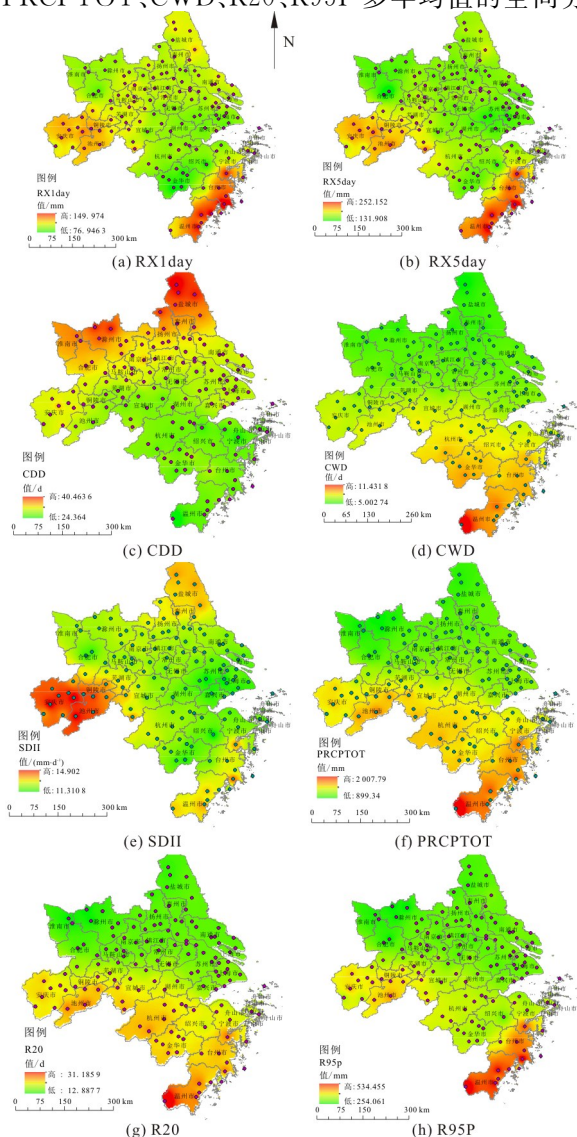


图 5 极端降雨指标多年均值空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution map of multiannual mean of extreme precipitation index

布极为相似,在大部分区域分布均较小,在长江三角洲西部,即安庆、沧州和铜陵市这几个区域值较高;在长江三角洲东南部温州市和台州市这一区域值最高。这六个极端降雨指标值的空间分布层次明显,呈现随纬度增加而减少的趋势。SDII 多年均值的空间分布大抵呈中间低四周高的散发式分布,在中东部地区和西北部地区分布较低(11~12 mm/d);在北部、南部、芜湖市和宣城市分布较高(12~13 mm/d);长江三角洲城市群 SDII 在西部(安庆市、池州市和铜陵市)分布最高(13~14 mm/d)。CDD 多年均值的空间分布与前六个指标值的分布正好相反,呈现随纬度增加而增加的趋势。

### 3.4 极端降雨指标值空间变化趋势

由长江三角洲城市群极端降雨指标值变化趋势空间分布(图 6)可知,长江三角洲城市群 RX1day 变化趋势的空间分布与 RX5day、R95P 变化趋势的空间分布非常相似,两者变化趋势的空间分布均随纬度的提升先增后减、再增加至最高值附近、最后又减小至最低值附近,在南京、镇江、常州和上海市一带变化趋势值分布最高;SDII、PRCPTOT 变化趋势的空间分布较为相似,在南京、无锡、镇江和苏州一带及舟山市变化趋势分布最高;而 CWD、CDD 与 R20 变化趋势的空间分布比较相似,均在杭州、金华、绍兴市一带及南部温州市变化趋势分布最高,在南京、镇江和常州一带变化趋势分布最低。

## 4 结 论

**a. 时间趋势与周期性。**1951~2017 年长江三角洲城市群极端降雨总体呈上升趋势。CWD、SDII、PRCPTOT 增加趋势显著,CDD 减少趋势显著;指标值突变年份集中在 1997~2014 年。RX1day、RX5day、SDII、PRCPTOT、R95P 在 40~50 年尺度下,周期为 15~20 年;CWD、CDD、R20 在 55 年尺度下,周期为 18~30 年。

**b. 空间分布特征。**长江三角洲城市群极端降水指标多年均值大多空间分布层次明显,呈现随纬度增加而减少的趋势;指标值变化趋势的空间分布基本都在南京、无锡、常州和上海市一带变化趋势分布最高,在北部盐城、泰州市一带变化趋势分布最低。

**c. 本文只研究了长江三角洲城市群极端降水时空变化特征,未深入探讨其影响因素,未来可进一步分析其原因。**

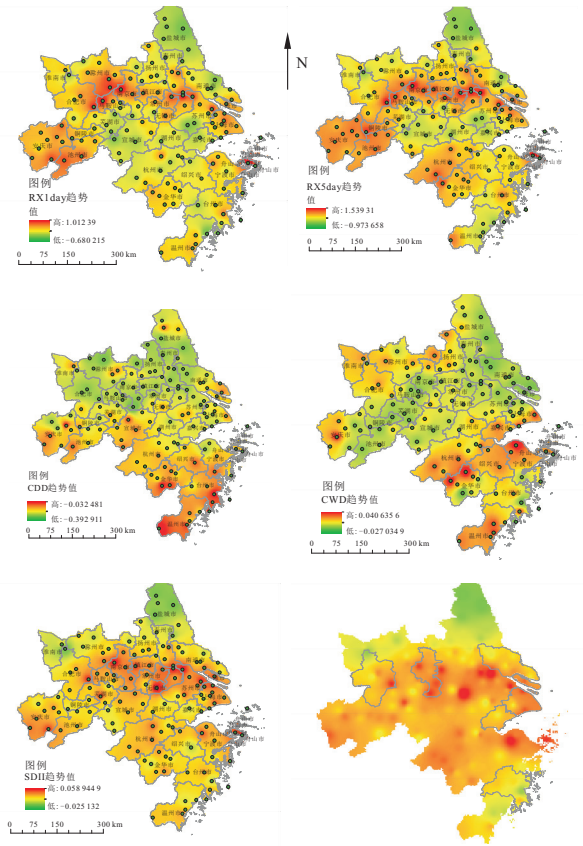


图 6 极端降雨指标值变化趋势空间分布

Fig. 6 Spatial distribution map of extreme precipitation index change trend

### 参考文献:

[1] 宋晓猛,张建云,孔凡哲,等. 北京地区降水极值时空演变特征[J]. 水科学进展,2017,28(2):161-173.

[2] ALEXANDER L V, ZHANG X, PETERSON T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation[J]. Journal of geophysical research: Atmospheres, 2006, 111(D5). <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>.

[3] 孔锋,史培军,方建,等. 全球变化背景下极端降水时空格局变化及其影响因素研究进展和展望[J]. 灾害学,2017,32(2):165-174.

[4] 黄国如,陈易恩,姚芝军. 高度城镇化背景下珠三角地区极端降雨时空演变特征[J]. 水科学进展,2021, 32(2):161-170.

[5] DONATM G, ALEXANDER L V. Global land-based temperature and precipitation extremes over the past century[C]//EGU General Assembly Conference Abstracts, 2014:10862.

