

何莉阳,韦玉勇,廖胜石,等. 1961—2021 年广西东兴市暴雨日数气候特征分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(2):29–34.

He Liyang, Wei Yuyong, Liao Shengshi, et al. Climate characteristic analysis of rainstorm days in Dongxing City from 1961 to 2021[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(2): 29–34.

# 1961—2021 年广西东兴市暴雨日数气候特征分析

何莉阳<sup>1</sup>, 韦玉勇<sup>2</sup>, 廖胜石<sup>1</sup>, 陆虹<sup>1\*</sup>

(1. 广西壮族自治区气候中心, 南宁 530000; 2. 东兴市气象局, 广西 东兴 538100)

**摘要:** 利用 1961—2021 年广西东兴国家地面气象观测站逐日降水量资料, 采用气候趋势分析、小波分析等数理统计方法, 对东兴近 61a 不同等级的暴雨日数气候特征进行了研究分析。结果表明, 东兴暴雨总日数及不同等级暴雨日数具有明显的年际和年代际变化特征, 近 61a 东兴暴雨总日数存在 2~4a、6~9a 的准周期振荡。暴雨总日数在 20 世纪 90 年代为最多, 20 世纪 60 年代为最少; 全年各个季节和月份均有暴雨发生, 主要发生在 5—9 月, 暴雨总日数年内呈单峰型分布, 峰值出现在 7 月, 后汛期暴雨明显多于前汛期。持续性暴雨过程主要出现在夏季, 最长过程持续时间为 8 d。

**关键词:** 暴雨日数; 小波分析; 周期分析; 气候变化

**中图分类号:** P463

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.2.05

## 引言

在全球变暖背景下, 高温热浪、干旱、暴雨等极端天气气候事件不仅频次日益增多, 而且强度和影响范围也有增强和扩大的趋势<sup>[1]</sup>, 其中暴雨和热带气旋引起的强降水所导致的洪涝灾害、地质次生灾害损失约占自然灾害损失的 60%, 是各类自然灾害中影响最大的, 严重威胁社会生产建设以及人民财产安全<sup>[2-4]</sup>的气象灾害。我国华南地区是暴雨的多发区和重灾区, 暴雨引起洪涝灾害的损失逐年上升<sup>[5-6]</sup>。有关研究<sup>[7-9]</sup>表明, 华南区域暴雨日数及暴雨过程呈单峰型分布, 最大值出现在 6 月, 降水大值区位于广东、广西北部、福建沿海等地区。华南地区不仅暴雨日数趋于增多, 暴雨强度以及暴雨对年降水量的贡献率也有增强和增高的趋势。广西大部地区同样存在暴雨日数和雨量增多的趋势, 降水特征逐渐向区域性、极端性发展和转移<sup>[10-15]</sup>。根据统计, 广西沿海风暴潮主要出现在 7—10 月, 致灾风暴潮年平均约 1.8 次<sup>[16]</sup>。影响广西北部湾地区的台风集中在 7—9

月, 西太平洋台风引发大暴雨的次数偏多<sup>[17]</sup>; 就北部湾来说, 3~4d 的连续性降水最易引发洪涝灾害<sup>[18]</sup>。不少学者针对各地区的暴雨气候变化特征进行了分析和研究, 不同地区暴雨的时空变化特征存在多样性和地区差异<sup>[19-25]</sup>, 这与各地区独特复杂的地形地貌和天气气候系统影响密切相关<sup>[26-30]</sup>。

东兴市位于广西壮族自治区南部沿海, 隶属防城港市的一个县级市, 是我国大陆海岸线最西南端, 因兴起于北仑河东岸而得名, 与越南北方最大经济特区芒街市仅一河之隔, 是我国通往越南乃至东盟国家最便捷的海陆通道。东兴属亚热带季风海洋气候<sup>[31-32]</sup>, 由于受十万大山南麓迎风坡的特殊地理环境和大气环流的共同影响, 东兴市常年平均降水量 2657.9mm, 是我国大陆年平均降水量最多的地方<sup>[33]</sup>, 也是华南地区暴雨最频发的区域, 受暴雨引起的洪涝灾害影响最为严重, 据统计, 2005—2014 年东兴市暴雨洪涝灾害导致的直接经济损失占到全部气象灾害的 35%<sup>[34]</sup>。目前针对东兴市的暴雨日数变化特征研究还比较少, 因此本文利用 1961—2021 年东兴

收稿日期: 2022-04-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(42065004)、广西科技计划项目(桂科 AB21075008)、广西自然科学基金项目(2020GXNSFAA159092)

作者简介: 何莉阳(1994—), 女, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 气候预测与气候变化研究。E-mail: hlyahs@163.com

通讯作者: 陆虹(1966—), 女, 硕士, 正研级高级工程师, 主要研究方向: 气候预测与气候变化研究。E-mail: luhong0908@163.com

国家地面气象观测站的逐日降水量资料和多种数理统计方法,研究探讨东兴市暴雨日数的气候特征,以期当地暴雨的天气预报和气象服务提供参考依据,同时为当地政府预防和减少洪涝灾害提供科学决策依据。

## 1 资料与方法

所用资料为 1961—2021 年东兴国家地面气象观测站的日降水量(北京时间 20—20 时),资料来自中国气象信息中心(CMDC)提供的中国地面日值数据集。按照降水量等级国家标准(GB/T 28592-2012),定义当日日降水量在 50~99.9mm 之间为 1 个暴雨日,在 100~249.9mm 之间为 1 个大暴雨日,大于 250mm 以上为 1 个特大暴雨日,定义暴雨总日数为各等级暴雨日数的总和。文中多年平均值统计年份为 1961—2021 年;春季为 3—5 月,夏季为 6—8 月,秋季为 9—11 月,冬季为 12 月至次年 2 月。采用气候趋势分析、小波分析等数理统计方法,分析 1961—2021 年东兴市暴雨日数的气候特征及其变化趋势。

## 2 结果与分析

### 2.1 年际和年代际变化特征

统计结果表明,近 61a 东兴暴雨总日数为

901d,年平均暴雨总日数 14.8d,1995 年最多(25d),1982、1991 和 2018 年最少,仅有 8d。如图 1 所示,暴雨总日数的气候倾向率为  $0.006\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,多年变化呈增多趋势。各等级暴雨日数与暴雨总日数的年际变化特征类似,年平均暴雨日数 9.7d,以  $0.15\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$  的速率增多;大暴雨和特大暴雨的年平均日数分别为 4.7d 和 0.4d,气候倾向率分别为  $-0.04\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$  和  $-0.05\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,呈减少趋势。暴雨总日数和各等级暴雨日数的线性趋势均未通过  $\alpha=0.1$  的显著性检验,说明东兴暴雨日数没有发生显著的长期气候变化趋势(图 1)。

从高斯 9a 低通滤波结果来看,暴雨总日数序列变化大致可分为 4 个阶段:1961 年至 1972 年为波动上升阶段,1973 年至 2002 年年际振荡明显,2003 年至 2011 年为减少阶段,2012 年转为回升阶段。暴雨日数变化可分为 3 个阶段:1961 年至 1995 年为波动上升阶段;1996 年至 2008 年为减少阶段;2009 年以来为上升阶段。大暴雨日数变化可分为 4 个阶段:1961 年至 1977 年为上升阶段;1978 年至 1991 年为减少阶段;1992 年至 2002 年为上升阶段;2003 年以来为减少阶段。特大暴雨日数主要出现在 1965 年至 1973 年、1995 年至 2003 年、2013 年至 2019 年间。

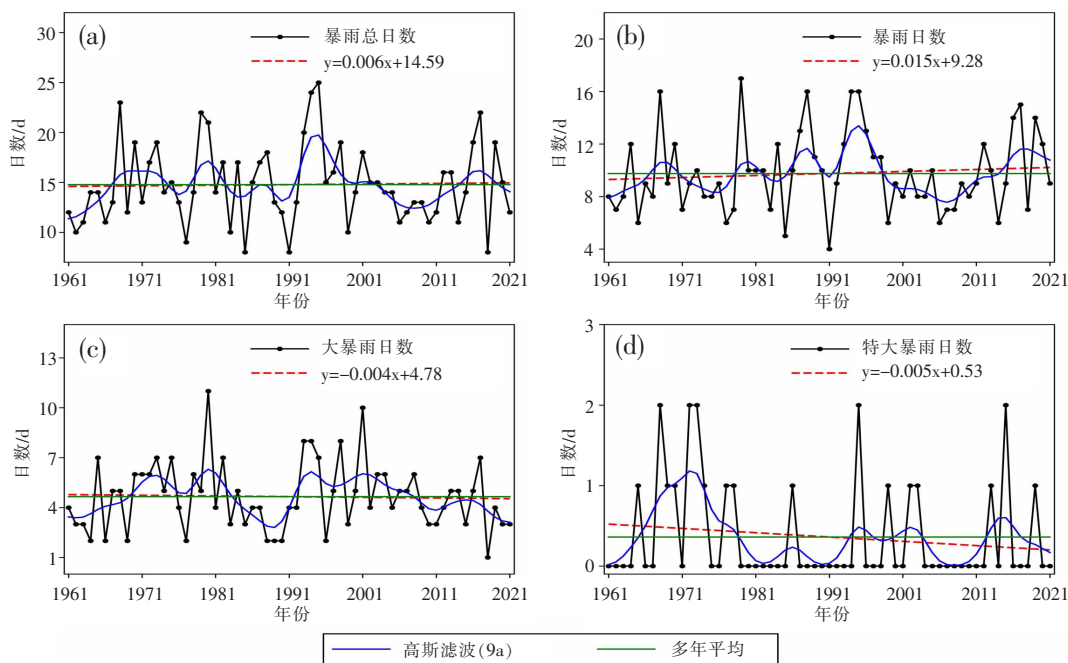


图 1 东兴市 1961—2021 年暴雨总日数和不同等级暴雨日数的年际变化  
(a)暴雨总日数;(b)暴雨日数;(c)大暴雨日数;(d)特大暴雨日数

图 2 给出了 1961—2021 年暴雨总日数逐年时间序列的复 Morlet 小波分析结果，并使用  $\alpha=0.1$  的显著性检验的 Lag-1 自相关红噪声函数模型进行检验(Lag-1=0.38)。小波全模(GWS)有 3 个主要峰值：2~4a、6~9a 和 20~24a，其中 2~4a 和 6~9a 周期通过了  $\alpha=0.1$  的显著性检验。由小波功率谱(图 4b)可以

看到 3 个周期出现在不同的时间段上，准 2~4a 周期变化出现在 1966—1971 年、1981—1986 年、1996—2001 年以及 2016—2021 年。准 6~9a 周期变化出现在 1976—2002 年，对应暴雨总日数年代际振荡变化(图 1a)。

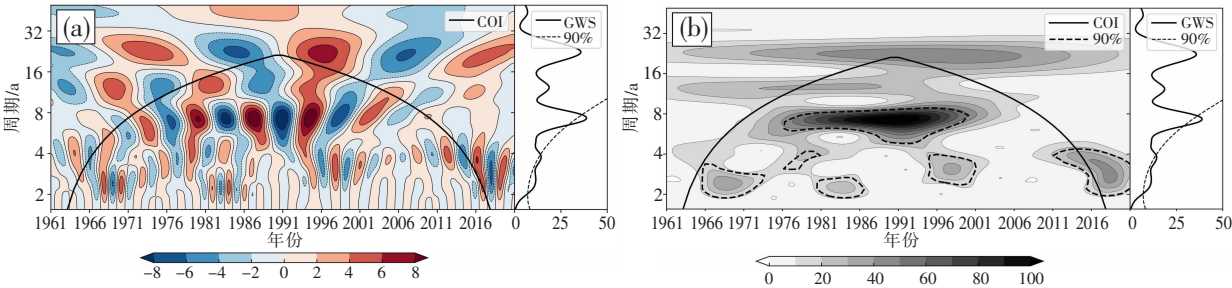


图 2 1961—2021 年东兴市暴雨总日数的小波分析结果  
(a)小波系数实部；(b)小波功率谱；右侧小图为小波全模 GWS

各年代变化分析见表 1，将各等级暴雨日数与 1961—2021 年的平均值相比较，定义大于平均值为偏多期，小于平均值为偏少期。暴雨总日数在 20 世纪 60 年代为偏少期，70 年代至 90 年代为偏多期，90 年代最多，至 21 世纪 00 年代后偏少。暴雨日数在 20 世纪 60 年代至 70 年代为偏少期，80 年代至

90 年代为偏多期，20 世纪 00 年代为偏少期，10 年代以来转为偏多期。大暴雨日数在 20 世纪 60 年代偏少，70 年代至 21 世纪 00 年代均偏多，10 年代以来偏少。特大暴雨日数在 20 世纪 60 年偏多，70 年代偏多最多，至 80 年代后均为偏少。

表 1 东兴市 1961—2021 年各年代不同等级暴雨年平均日数(单位:d)

| 等级     | 1960s | 1970s | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s 以来 | 1961—2021 年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------------|
| 暴雨日数   | 9.2   | 9.3   | 10.4  | 10.8  | 8.2   | 10.4     | 9.7         |
| 大暴雨日数  | 3.7   | 5.4   | 4.5   | 5.1   | 5.5   | 3.8      | 4.7         |
| 特大暴雨日数 | 0.4   | 0.8   | 0.1   | 0.3   | 0.2   | 0.3      | 0.4         |
| 暴雨总日数  | 13.3  | 15.5  | 15.0  | 16.2  | 13.9  | 14.5     | 14.8        |

2.2 年内变化特征

2.2.1 季节变化特征

由表 2 可知，1961—2021 年东兴一年四季均可能发生暴雨发生，暴雨总日数在夏季(573d)最多，秋季(176d)次多、春季(136d)第三，冬季(16d)最少。春季暴雨、大暴雨、特大暴雨日数分别占全年暴雨总日数的 9.88%、4.44%、0.78%。夏季发生暴雨以上的日

数比其他季节日程要多，夏季暴雨日数、大暴雨日数分别占全年暴雨总日数的 41.73%、20.64%，特大暴雨日数在 61a 中仅出现 22d，但其中一半发生在夏季，占全年暴雨总日数的 1.22%。秋季暴雨、大暴雨日数多于春季，但特大暴雨日数较春季偏少，分别占暴雨总日数的 12.65%、6.44%和 0.44%。冬季暴雨天气比较少，暴雨日数只有 16d，占暴雨总日数的

表 2 东兴市 1961—2021 年各季节不同等级暴雨日数(单位:d)

| 等级     | 春季  | 夏季  | 秋季  | 冬季 | 合计  |
|--------|-----|-----|-----|----|-----|
| 暴雨日数   | 89  | 376 | 114 | 16 | 595 |
| 大暴雨日数  | 40  | 186 | 58  | 0  | 284 |
| 特大暴雨日数 | 7   | 11  | 4   | 0  | 22  |
| 暴雨总日数  | 136 | 573 | 176 | 16 | 901 |

1.78%,而且无大暴雨、特大暴雨发生。

2.2.2 月变化特征

东兴市全年各月均可能出现暴雨(图 3),暴雨总日数月变化呈单峰型,4 月开始暴雨日数迅速增多,7 月达到峰值之后逐月减少,其中 5—9 月是主要发生月份。暴雨日数、大暴雨日数的逐月变化特征与暴雨总日数的变化特征基本类似,均表现为单

峰型,且在 7 月达到峰值。特大暴雨日数月变化表现为双峰型,峰值和次峰值分别出现在 5 月和 7 月,1—3 月、11—12 月均无特大暴雨发生。从汛期(4—9 月)暴雨统计分析来看,1961—2021 年东兴汛期暴雨总日数为 810d,前汛期(4—6 月)和后汛期(7—9 月)暴雨总日数分别为 302d 和 508d,可见后汛期暴雨总日数明显多于前汛期。

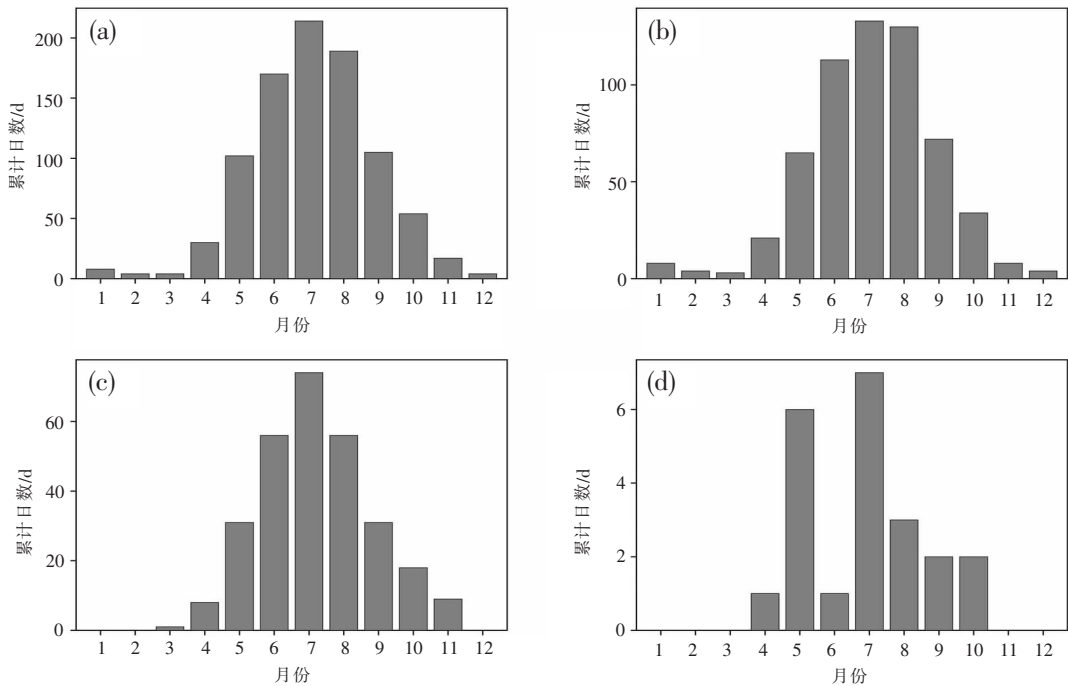


图 3 东兴市 1961—2021 年不同等级暴雨累计日数逐月分布  
(a)暴雨总日数;(b)暴雨日数;(c)大暴雨日数;(d)特大暴雨日数

2.3 暴雨的持续性特征

将日降水量 $\geq 50\text{mm}$ ,且持续 3d 及以上的过程定义为持续性暴雨过程。对东兴的持续性暴雨过程进行了统计(见表 3)。近 61a 东兴出现持续性暴雨过程共 31 次,其中持续 3d 的有 18 次;持续 4d 和 5d 的均为 5 次;持续 6d、7d 和 8d 各 1 次,分别出现在 1997 年、2015 年和 1994 年。春季出现持续性暴

雨过程 2 次,过程发生在 1972 年 5 月 16 日至 19 日,1973 年 5 月 26 日至 28 日,过程累计降水量分别为 880.0mm、593.7mm。夏季是持续性暴雨过程集中期,总计出现 25 次,占总数的 80.6%。秋季发生持续性暴雨过程 3 次,分别出现在 1980 年 10 月 21 日至 23 日、1981 年 10 月 2 日至 4 日及 1993 年 9 月 18 日至 20 日,过程累计降水量分别为 326.7mm、

表 3 东兴市 1961—2021 年持续性暴雨过程统计(单位:次)

| 持续天数(d) | 1960s | 1970s | 1980s | 1990s | 2000s | 2010s 以来 | 1961—2021 年 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------------|
| 3       | 1     | 3     | 3     | 4     | 3     | 4        | 18          |
| 4       | 0     | 2     | 0     | 1     | 0     | 2        | 5           |
| 5       | 0     | 2     | 0     | 2     | 1     | 0        | 5           |
| 6       | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0        | 1           |
| 7       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1        | 1           |
| 8       | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0        | 1           |
| 总和      | 1     | 7     | 3     | 9     | 4     | 7        | 31          |



426.9mm及328.5mm。冬季持续性暴雨过程仅1次,出现在2010年1月21日至23日,过程累计降水量为157.5mm。持续时间最长的过程发生在1994年7月14日至21日,共8d,过程累积降水量1156.8mm,为1961年以来持续性暴雨过程累计降水量最多。20世纪90年代发生持续性暴雨过程的频次最多,共有9次,占总数的29%;20世纪70年代和21世纪10年代以来持续性暴雨过程各为7次,占22.5%。

### 3 结论与讨论

(1)1961—2021年东兴市暴雨总日数和各等级暴雨日数存在明显的年际和年代际变化,东兴市暴雨总日数存在2~4a和6~9a准周期振荡。暴雨总日数多年平均为14.8d,最多年为25d,最少年仅8d。

(2)东兴市全年各个季节和月份均有暴雨发生,主要发生在5—9月,暴雨总日数年内呈单峰型分布,峰值出现在7月,后汛期暴雨明显多于前汛期。暴雨日数、大暴雨日数的逐月变化特征与暴雨总日数的变化特征基本相似,为单峰型,但特大暴雨日数月变化表现为双峰型。

(3)1961—2021年东兴市发生连续3d及以上的持续性暴雨过程共31次,主要集中在夏季,持续时间最长为8d。20世纪90年代持续性暴雨过程最多。

本文仅从统计学角度分析了东兴市单站暴雨日数气候特征,对东兴市,乃至防城港市暴雨的精细化空间分布特征、暴雨影响因子等仍待研究。与华南、广西全区相比,东兴市暴雨日数周期变化除了准2~4a,还存在6~9a的准周期振荡,这些周期变化受哪些环流系统的调制影响同样值得探讨。此外,东兴重点开发开放试验区建设从2010年正式开始,同时东兴暴雨总日数也逐渐回升,其变化是否与之相关、城市化和工业化背景下暴雨的时空变化也值得在未来深入研究。

#### 参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- [2] WMO. State of Climate in 2021: Extreme Events and Major Impacts [R]. 2021.
- [3] WMO. WMO Provisional Report on the State of the Global Climate 2021 [R]. 2021.
- [4] 景垠娜. 自然灾害风险评估——以上海浦东新区暴雨洪涝灾害为例 [D]. 上海: 上海师范大学.

- [5] 张柳红, 郑璟, 伍红雨, 等. 广东暴雨洪涝灾害损失定量评估 [J]. 暴雨灾害, 2021, 40(1): 87–93.
- [6] 史丽, 张柳红, 伍红雨. 1994–2018年广东主要气象灾害特征分析 [J]. 广东气象, 2021, 43(2): 54–57.
- [7] 黄晓远, 李谢辉. 基于CMIP6的西南暴雨洪涝灾害风险未来预估 [J]. 应用气象学报, 2022, 33(2): 231–243.
- [8] 寿绍文. 中国暴雨的天气学研究进展 [J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5): 450–463.
- [9] 李娟茹, 韦志刚, 刘雨佳, 等. 1961–2018年华南全年和四季暴雨的时空特征分析 [J]. 气候与环境研究, 2022, 27(1): 1–18.
- [10] 闵爱荣, 廖移山, 邓雯. 2008–2013年我国暴雨分布情况及变化趋势分析 [J]. 暴雨灾害, 2016, 35(6): 576–584.
- [11] 林建, 杨贵名. 近30年中国暴雨时空特征分析 [J]. 气象, 2014, 40(7): 816–826.
- [12] 罗亚丽, 孙继松, 李英, 等. 中国暴雨的科学与预报: 改革开放40年研究成果 [J]. 气象学报, 2020, 78(3): 419–450.
- [13] 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): 1262–1269.
- [14] 刘雨佳, 张强, 余予. 华南地区1961–2014年暴雨及典型暴雨事件统计分析 [J]. 暴雨灾害, 2017, 36(1): 26–32.
- [15] 吴玉霜, 黄小燕, 林开平, 等. 广西前汛期大范围持续性暴雨的月际特征及环流差异性分析 [J]. 气象研究与应用, 2018, 39(4): 9–13, 106.
- [16] 陈剑飞, 苏志, 罗红磊. 2001–2018年广西沿海风暴潮特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2020, 41(2): 21–24.
- [17] 刘占明, 陈子桑, 胡宝清, 等. 广西环北部湾地区降水的时空变化特征 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2017, 56(4): 154–160.
- [18] 何小娟, 丁治英. 广西北部湾地区台风暴雨的统计特征 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(2): 31–35, 53.
- [19] 广西壮族自治区气候中心. 广西气候变化监测报告(1961–2015) [M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2017: 25–27.
- [20] 何洁琳, 谢敏, 黄卓, 等. 广西气候变化事实 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37(3): 11–15.
- [21] 覃卫坚, 李栋梁. 近50a来广西各级降水气候变化特征分析 [J]. 自然资源学报, 2014, 29(4): 666–676.
- [22] 李艳兰, 黄卓, 何洁琳, 等. 1961–2017年广西区域性暴雨过程变化特征 [J]. 气象与环境学报, 2020, 36(1): 51–57.
- [23] 肖志祥, 黄明策, 黄荣, 等. 1965–2016年广西暴雨时空变化特征 [C]//第35届中国气象学会年会S7东亚气候、极端气候事件变异机理及气候预测. 2018: 432–435.
- [24] 莫丽霞. 1960–2015年广西极端气温和降水事件的变化研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [25] 周嘉琦, 陈世发. 1951–2018年华南前汛期暴雨特征分析——以韶关市为例 [J]. 水土保持研究, 2021, 28(3): 163–169, 176.
- [26] 陈潜, 郑群峰, 陈训来, 等. 1953–2019年深圳市暴雨的

- 气候特征[J].广东气象,2020,42(4):6-9.
- [27] 王君军,周林,陈海凤,等.近 56 a 贵阳市暴雨气候特征分析[J].中低纬山地气象,2020,44(5):67-71.
- [28] 黄鹤,于雷,丁峥臻,等.保定暴雨气候特征及其变化趋势[J].气象与环境学报,2013,29(5):69-73.
- [29] 钟池.地形对华南暴雨的影响[C]//第 32 届中国气象学会年会 S23 第五届研究生年会.2015:251-265.
- [30] 赵玉春,王叶红.近 30 年华南前汛期暴雨研究概述[J].暴雨灾害,2009,28(3):193-202,228.
- [31] 黄丽超,陈国弟.东兴暴雨气候特征[J].气象研究与应用,2009,30(S2):51-52.
- [32] 东兴市地方志编纂委员会.东兴市志[M].南宁:广西人民出版社,2017.
- [33] 《广西天气预报技术和方法》编写组.广西天气预报技术和方法[M].北京:气象出版社,2012.
- [34] 陈国弟,易小斌,黄丽超.影响东兴的主要气象灾害及防御对策[J].气象研究与应用,2016,37(S1):112-113.

## Climate characteristic analysis of rainstorm days in Dongxing City from 1961 to 2021

He Liyang<sup>1</sup>, Wei Yuyong<sup>2</sup>, Liao Shengshi<sup>1</sup>, Lu Hong<sup>1\*</sup>

( 1.Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China;

2. Dongxing Meteorological Bureau, Guangxi Dongxing 538100, China)

**Abstract:** Using the daily precipitation data of the national surface meteorological observatory station in Dongxing, Guangxi from 1961 to 2021, and using mathematical statistical methods such as climate trend analysis and wavelet analysis, this paper analyzed the climatic characteristics of rainstorm days in Dongxing in past 61 years. The results shows the total days of Dongxing rainstorm and rainstorms of different grades have obvious interannual and interdecadal variation characteristics. There are two major oscillations of the total number of rainstorm days in Dongxing; 2~4a and 6~9a. The maximum number of rainstorm days is in the 1990s, while the minimum is in the 1960s. Dongxing rainstorms occur in all seasons, mainly appear during May to September. The total number of rainstorm days is unimodal distribution which is with the peak occurring in July. The total number of rainstorm days during the post-flood season (July-September) obviously exceeds that of the pre-flood season (April-June). Persistent rainstorms mainly occur in the summer, with a maximum duration of 8d.

**Key words:** rainstorm days; wavelet analysis; cycle analysis; climate change