

广东省极端降水事件的变化特征

王文静, 延军平, 刘永林

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: [目的] 分析广东省极端降水事件的分布特点并对其未来的变化趋势进行判断, 旨在为该省的气候评估预测、生态环境建设及经济可持续发展方面的研究提供科学依据。[方法] 利用广东省 1960—2013 年的逐日降水数据, 根据百分位方法定义了极端降水事件的阈值, 通过采用 Mann-Kendall 法、小波分析、Hurst 指数等方法, 对该区的极端降水事件频次和强度的变化特征及其变化趋势进行研究。[结果] 广东省极端降水事件的发生频次、强度及极端降水量均呈上升的趋势, 且极端降水量对总降水量的贡献率在 50% 以上。在空间上极端降水事件的发生频次呈现出北高南低的规律性, 而强度正好相反。在未来的变化预测中, 广东省大部分地区极端降水事件的频次和强度与过去变化趋势相一致, 呈持续增加的趋势。[结论] 极端降水事件的频繁发生给广东省造成了严重的损失, 应加强极端气候事件的预防工作, 针对不同成因的极端降水事件应采取不同的应对措施。

关键词: 极端降水事件; 变化特征; Hurst 指数; 广东省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)02-0293-06

中图分类号: P429

文献参数: 王文静, 延军平, 刘永林. 广东省极端降水事件的变化特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 293-299. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.055

Variation Characteristics of Extreme Precipitation Events in Guangdong Province

WANG Wenjing, YAN Junping, LIU Yonglin

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: [Objective] This paper elucidated the distribution characteristics of extreme precipitation events in Guangdong Province and made forecasts about the future trends in order to provide scientific basis for the study of climate assessment, ecological environment construction and sustainable economic development. [Methods] Based on daily precipitation data of 24 meteorological stations in Guangdong Province during 1960—2013, the extreme precipitation thresholds were determined for different stations by the centesimal value method, and then, frequency, intensity of extreme precipitation events were analyzed by using Mann-Kendall test method, wavelet analysis, the Hurst index to explore the trend of extreme precipitation events. [Results] The frequency, intensity and rainfalls of extreme precipitation events in Guangdong Province were increased. Extreme precipitation accounts for about 50 percent of the total precipitation. In space, the frequency of extreme precipitation events decreased from the north to the south, while the intensity showed opposite distribution. Extreme precipitation frequency and intensity were forested consistent with the ones of the past, showing continually increasing trend. [Conclusion] The frequent occurrence of extreme precipitation events caused serious losses to Guangdong Province. The province should strengthen the prevention of extreme events. Corresponding measures should be taken to deal with the extreme precipitation cases resulted from different causes.

Keywords: extreme precipitation events; variation characteristics; Hurst index; Guangdong Province

IPCC 第 5 次评估报告^[1]指出, 1880—2012 年全球 2003—2012 年平均气温比 1850—1900 年平均气温海陆表面平均温度呈线性上升趋势, 升高了 0.85 °C, 上升了 0.78 °C。温度的升高引起温度极端值的变

收稿日期: 2015-03-10

修回日期: 2015-04-13

资助项目: 国家社会科学基金重点项目“西部重大灾害时空规律的统计研究”(14AZD094)

第一作者: 王文静(1991—), 女(汉族), 山东省聊城市人, 硕士研究生, 研究方向为区域开发与城乡发展。E-mail: wwjing121@163.com。

通信作者: 延军平(1956—), 男(汉族), 陕西省绥德县人, 博士, 教授, 主要从事全球变化与灾害学方面的研究。E-mail: yanjp@snnu.edu.cn。

化,温度极端值的变化导致干旱和洪涝等极端气候事件发生的频率和强度呈现出增加的趋势,从而加剧了极端事件所带来的影响^[2]。极端气候的频繁出现会给当地居民的生活、经济等造成巨大的损失,因此,越来越多的国内外学者加大了对极端气候事件的研究和预测。Zhai 等^[3]对 50 a 来中国的极端降水的变化进行了研究,发现极端降水在华北和四川盆地呈现出显著减少的趋势,而在西部地区、长江流域和东南沿海呈现出相反的趋势。杨素英等^[4]利用中国东北地区的降水数据对极端降水事件时空演变特征进行了分析,发现在增温的大背景下频次和强度随之呈现出增加的态势。陆虹等^[5]对运用线性回归、M-K 突变检验、EOF 等方法分析了华南地区极端强降水频次的变化特征,结果发现年极端强降水频次分布不均匀,即在华南中部较大、广东沿海和广西西部内陆较小。汪宝龙等^[6]对西北地区极端事件的变化特征进行研究发现西北地区年平均降水强度和干旱天数持续增加。袁文德等^[7]基于西南地区 90 个气象站点的逐日降水数据对极端降水事件进行了空间变化特征的分析,发现西南地区近 50 a 极端降水事件总体呈上升的趋势,但显著性不高。截止目前,众多学者加大了对于大区域极端事件的研究。对于广东省降水的研究只局限在时间、空间变化等方面,而对极端降水事件的变化特征及其未来趋势的判断研究相对较少。基于此,本研究利用近 54 a 来广东省 24 个观测站点的逐日降水资料,分析极端降水事件的分布特点并对未来的变化趋势进行了判断,以期为广东省的气候评估预测、生态环境建设及促进经济的可持续发展等提供科学依据。

1 研究区概况

广东省地处中国大陆最南部,地理坐标为 110°—118°E, 20°—26°N,属于热带、亚热带季风气候。由于受西风带天气系统和地形的影响,降水时空分布不均,从而导致洪涝和干旱灾害频繁发生。其中,暴雨成为广东省最主要的灾害性天气之一。为此,本研究探究广东省的极端降水变化特征,以期为今后的旱涝灾害的预防工作做好准备。

2 资料来源和研究方法

2.1 资料来源

气象资料来自于中国气象科学数据共享服务网提供的中国地面气候资料日值数据集。在保证数据完整、气象站点均匀的前提下,选取了广东省的 24 个气象站点 1960—2013 年的逐日的降水数据,个别缺

测的降水数据利用插值法进行填补,经整理后的数据具有较好的连续性和代表性。

2.2 研究方法

2.2.1 阈值的百分位法 对于极端气候事件的检测,最常见的方法有绝对阈值法和百分位阈值法。绝对阈值法是设定某一固定数值,当大于或者小于该值时,则认为发生了极端事件。我国通常将日降水量超过 50 mm 的降水事件称为暴雨,日降水量超过 25 mm 且低于 50 mm 的降水事件称为大雨。事实上,对于不同地区来说,极端降水事件不能完全按照国家统一的固定阈值来简单地定义^[8]。比如,中国的干旱半干旱地区如果采用绝对阈值法(50 mm)几乎检测不到极端降水的存在。因此,为了确保资料的可靠性,本文采用了百分位法定义了各站极端降水事件的阈值,即把 1960—2013 年逐日降水数据按升序排列,将第 95 个百分位值的 54 a 平均值定义为极端降水事件的阈值,当某站某日的降水量超过该站极端降水事件的阈值时,称该日出现了极端降水事件。极端降水量为每年极端降水事件的降水量的总和;极端降水频次为每年发生极端降水事件的天数;而极端降水量与极端降水天数的比值则称为极端降水强度。

2.2.2 小波分析法 小波分析方法是由工程师 Morlet^[9]首先提出的,是一种时频分析方法,它开启了一个全新的领域,对于科学研究具有十分重要的意义。小波分析为更好地研究时间序列问题提供了可能,能清晰地揭示出隐藏在时间序列中的多种变化周期,充分反映系统在不同时间尺度中的变化趋势,并能定性估计系统未来发展的趋势^[10]。根据小波系数曲线反映的冷暖、干湿交替情况以及对主周期的分析,可以预测未来一段时间内气候演变的趋势。

2.2.3 Hurst 指数分析法 Hurst 指数分析法最早由英国水文专家赫斯特在尼罗河水库水流量和储存量之间的关系的研究中提出的,而后不断完善,被大多数学者广泛地应用到降水事件的研究中。根据 Hurst 指数 $H(0 < H < 1)$ 的数值大小来判断其未来的变化趋势:(1)当 $H=0.5$ 时,表示各时间序列相互独立,即未来变化与历史变化情况无关;(2)当 $0 < H < 0.5$ 时,表示各要素时间序列具有反持续性,即未来变化情况与过去变化呈相反的趋势, H 值越小,其反持续性越强;(3)当 $0.5 < H < 1$ 时,表示各要素时间序列具有持续性,即未来变化情况与过去变化相一致, H 值越大,也就是 H 值越接近 1,持续性越强。

3 结果分析

3.1 极端降水的年际变化

1960—2013 年广东省极端降水事件的发生频次

(区域平均值)总体呈上升趋势,上升的速率为 $0.246 \text{ d}/10 \text{ a}$,但是并未通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验,即极端降水事件的发生频次不存在明显上升趋势(图 1)。这与李霞等^[12]的研究相一致。极端降水事件发生频次最高值出现在 1983 年,值为 $33 \text{ d}/\text{a}$;最低值出现在 1963 年,值为 $12.2 \text{ d}/\text{a}$ 。由 5 a 滑动平均曲线可以看出,极端降水的频次存在明显的年代际变化,1970 年以前、1978—1982,1988—1991 及 2005—2011 年总体为负距平,1971—1978 年,1981—1988 年,1991—2005 年及 2011 年以来总体为正距平。

近 54 a 来广东省极端降水事件的强度总体呈明显的上升趋势,通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验,上升的速率为 $0.249 \text{ mm}/10 \text{ a}$ (图 1)。该地极端降水强度的多年均值为 $48.19 \text{ mm}/\text{d}$,极端降水事件强度的最高值出现在 2008 年,为 $58.52 \text{ mm}/\text{d}$;最低值出现在 1963 年,为 $37.31 \text{ mm}/\text{d}$ 。极端降水强度变化有明显的波动性,不同时段极端降水强度变化趋势有较大的差异性。根据 5 a 滑动平均曲线可以将强度变化分为 3 个阶段:1960—1988 年极端降水事件的强度基本在多年平均值附近上下波动,1992—1996 年和 2004—2009 年呈现出上升的趋势,1987—1992 年,1996—

2004 年及 2009 年至今极端降水事件的强度呈现出下降的趋势。

将频次和强度结合起来看,二者总体均呈增加的趋势,且上升速率基本一致。但从时间上看,频次和强度的变化趋势具有明显的差异性。极端降水量的多少主要受极端降水发生频次和强度的影响。由于近 54 a 来该地区极端降水的频次和强度均呈现出增加的趋势,因而极端降水量呈现出相同的规律性(图 1)。且极端降水量最高值出现在 1983 年,最低值出现在 1963 年,基本上与频次和强度的最高低值年份保持一致。

极端降水量与降水总量的百分比,反映极端降水事件降水量对总降水量的贡献,也从一定程度上反映极端降水事件对洪涝的贡献率^[13]。该地区极端降水量对降水总量贡献率总体呈上升的趋势,但是并未通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验,即极端降水量对降水总量贡献率不存在明显上升趋势(图 1)。其贡献率的多年平均值为 50.03% ,说明广东省降水总量的一半来自于极端降水量。且最高值出现在 1983 年,贡献率为 60.39% ;最低值出现在 1963 年,贡献率为 40.37% ,与极端降水事件量高低值出现的年份相一致。

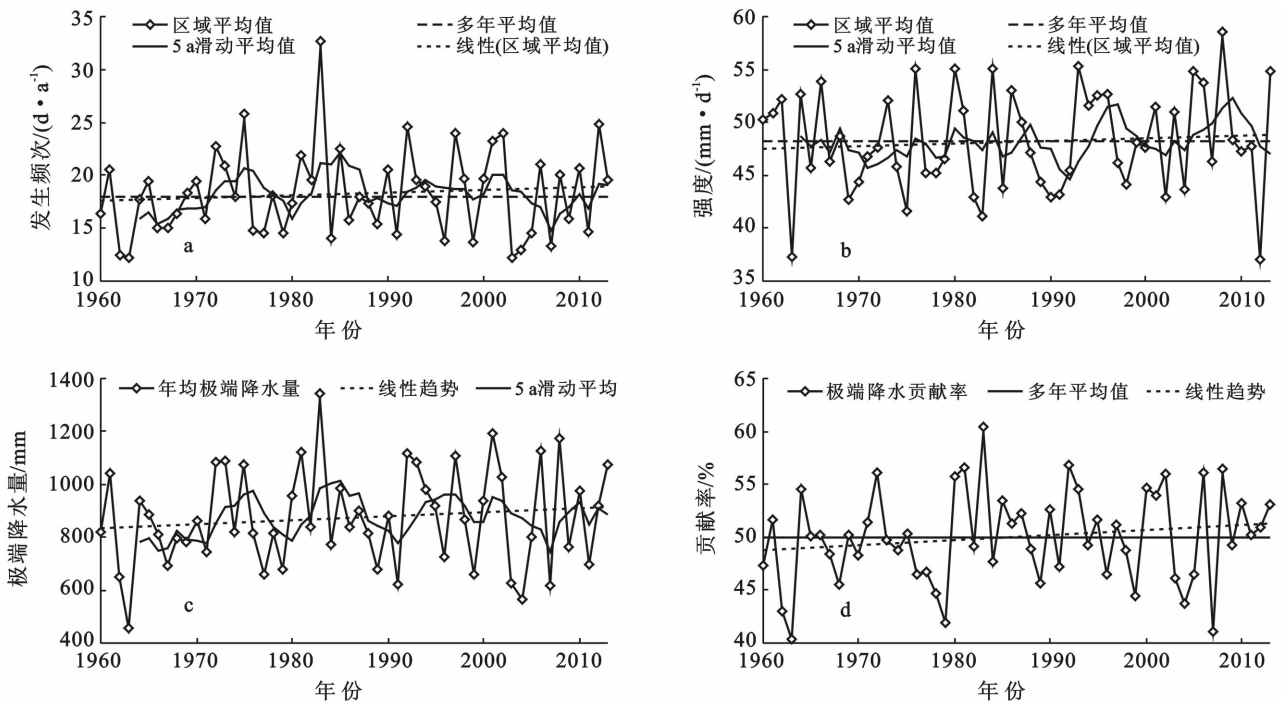


图 1 广东省极端降水各因子对降水总量贡献率的年际变化

3.2 极端降水的空间变化

1960—2013 年广东省 24 个站点年极端降水频次的空间分布极为不均(图 2),大致呈北高南低的趋势进行变化,其频次最高值为 $22.8 \sim 23.9 \text{ d}/\text{a}$,出现

在以佛冈为中心的粤西北地区 and 以阳江为中心的粤西南地区;最低值为 $14 \sim 15.1 \text{ d}/\text{a}$,出现在以五华为中心的粤东北地区,以惠阳为中心的粤东南地区及以罗定为中心的粤中地区。从整个区域来看,极端降水

事件的强度呈现出大致沿纬度方向自北向南依次增加的变化趋势(图 2)。广东省极端降水事件的强度最高值出现在以阳江为中心的粤西南地区,最低值出现在粤西北和粤东北地区。从极端降水事件的频次和强度来看,以阳江为中心的地区是高频次高强度区;以佛冈为中心的周边地区是高频次低强度区;而广东省的最南端徐闻及汕尾则是低频次高强度区。对比该地区频次和强度的

空间分布图(图 2)可以发现,频次呈现出北高南低的规律性,而强度则相反,呈南高北低的规律性进行变化。造成这种现象的原因可能是由于广东省的山脉大致以东北—西南走向居多,地势北高南低,再加上沿海地区,易受到热带气旋的影响,导致降水持续时间短,强度大,降水较为集中,从而极端降水的强度分布基本上呈现出南高北低的趋势,从而造成极端降水事件呈现出相同的规律性。这与黄奇章^[14]的研究相一致。

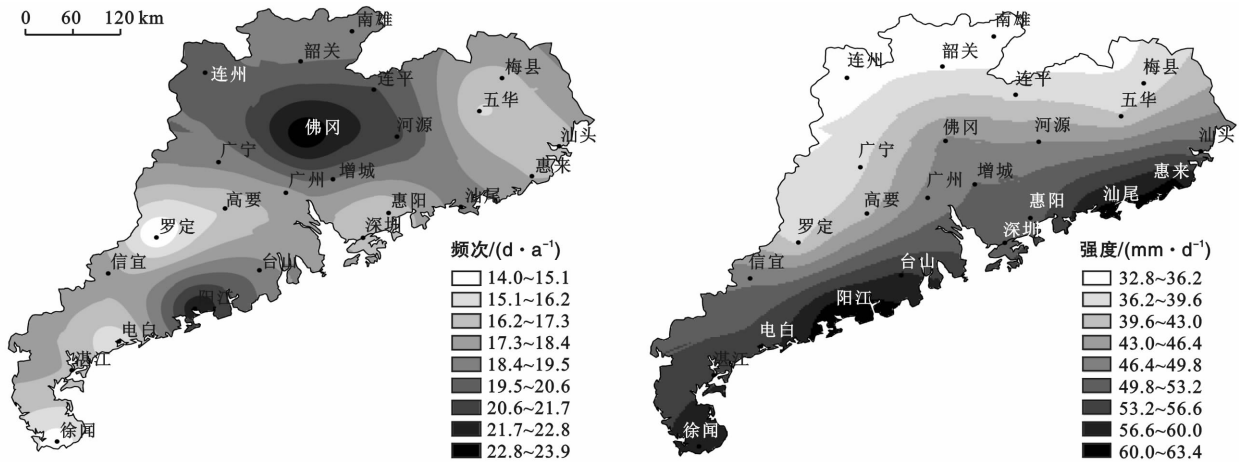


图 2 广东省极端降水事件发生频次和强度的空间分布

广东省极端降水量大致按照自南向北的方向减少,其在空间上存在 3 个高值中心和 4 个低值中心,高值中心分别是阳江、汕尾和佛冈,低值中心为罗定、南雄、五华和梅县(图 3)。这是由于受频次和强度的共同影响,频次和强度的增加都可能使极端降水量增加。然而高值中心形成的因素是不同的,阳江是因为高频次高强度的极端降水,汕尾是因为高强度的极端

降水,而佛冈则是因为高频次的极端降水。因此,在应对极端降水事件所带来的危害时,要根据其成因采取不同的防御措施。广东省极端降水量对降水总量贡献率的空间分布与极端降水事件强度的空间分布呈现出一致的规律性,即沿纬度方向自北向南依次增加(图 3)。这一现象说明极端降水事件强度的空间分布和极端降水量有较好的相关性。

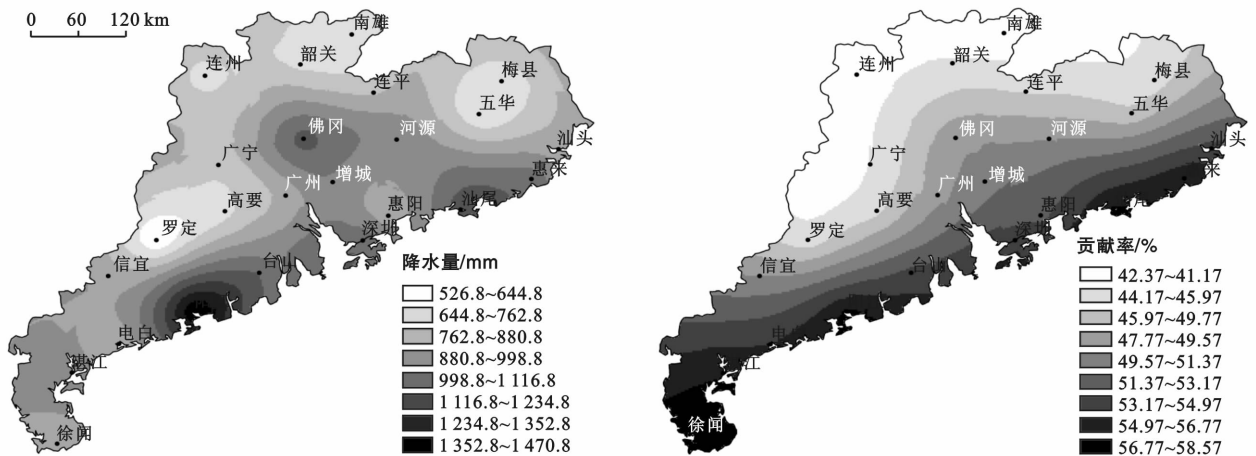


图 3 广东省极端降水量及极端降水量对降水总量贡献率的空间分布

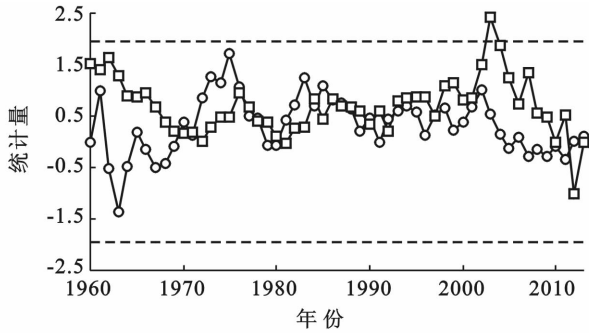
3.3 极端降水的突变检验

气候突变是气候变化中的一个重要现象,它是气

候预测和模拟的重要因素^[9]。利用 Mann-Kendall 法对近 54 a 来广东省极端降水事件的频次和强度进行

了突变检验。极端降水事件频次的 UF 和 UB 曲线有多个交点,且曲线大多在置信区间以内,表明极端降水事件频次没有突变点,即频次不存在显著增加的趋势(图 4)。

极端降水事件强度在 1962 年发生突变,且通过 α



$=0.05$ 的置信水平检验(图 4)。突变之后 UF 整体呈现出波动下降的趋势,这说明突变后极端降水强度逐渐下降。但在 2005 年之后 UF 波动上升,并与 UB 相交,即 2005 年以来,极端降水强度由下降转变为上升的趋势。

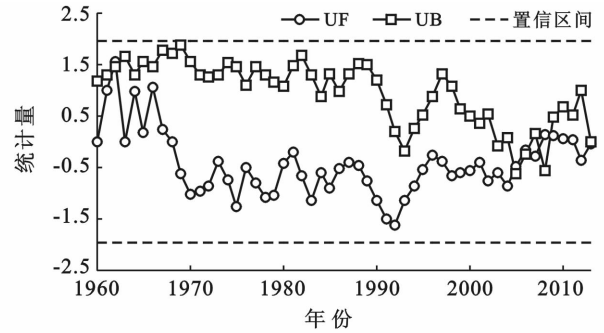


图 4 广东省极端降水发生频次和强度的 M-K 突变检验

3.4 极端降水的周期

对广东省极端降水频次和强度序列进行小波分析,得到不同时间尺度上的变化特征。小波系数实部等值线图能反映降水序列不同时间尺度的周期变化及其在时间地域中的分布,可以判断在不同时间尺度上的年降水量未来变化趋势^[15]。由图 5 可以看出,近 54 a 来广东省年极端降水频次存在 4, 7, 14, 23, 28 a 的变化周期,其中 4, 7, 14, 28 a 震荡周期始终存在。

广东省极端降水事件的强度存在着 15~17 和 26

~28 a 的变化周期(图 6)。其中 15~17 a 时间尺度在 1992—2010 年表现明显,其时间中心尺度为 16 a; 26~28 a 时间尺度几乎贯穿全部年份,其时间中心尺度为 28 a。该地区的极端降水强度有 2 个明显的峰值,依次对应着 16, 28 a 的时间尺度。其中,最大峰值对应着 28 a 的时间尺度,说明 28 a 左右的周期震荡最强,为极端降水强度变化的第 1 主周期;16 a 时间尺度对应着第 2 峰值,为年极端降水强度变化的第 2 主周期。

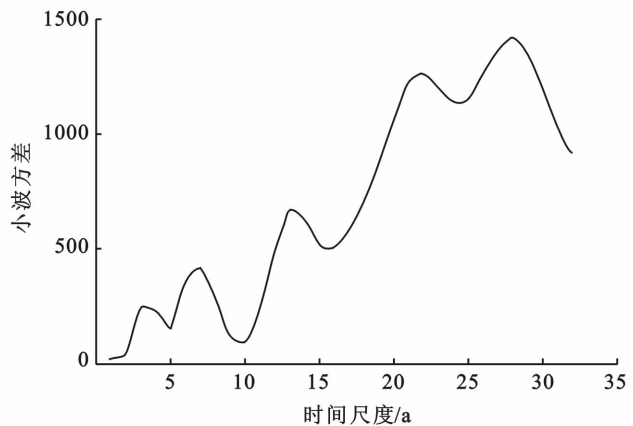
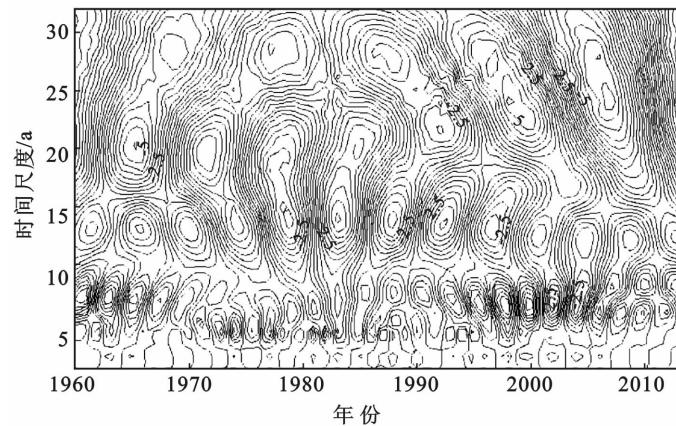


图 5 广东省极端降水频次小波变换等值线和小波方差图

3.5 极端降水的未来趋势预测

Hurst 指数的趋势性成分可以预测未来的气候变化趋势。在 Hurst 分析中,0.5 为持续性和反持续性的分界点,因此,广东省年极端降水频次和强度的 Hurst 值具有如下特点:极端降水频次和强度的 H 值分别为 0.535 2 和 0.526 4,均大于 0.5,说明该区极端降水频次和强度具有持续性,即未来广东省极端

降水频次和强度的变化情况与过去变化相一致,呈增加的趋势。

通过对广东省各个站点的极端降水频次和强度进行 Hurst 指数分析(图 7),广东省绝大部分地区极端降水频次和强度 Hurst 指数均大于 0.5,即广东省绝大部分地区极端降水事件在未来是呈增加的趋势。其中,全省极端降水频次的 Hurst 指数除佛冈、五华

等地小于0.5以外,其余绝大部分地区均大于0.5,说明绝大部分地区极端降水频次在未来是呈增加的趋势(图7);其余绝大部分地区的 H 值均大于0.5,

说明绝大部分地区在未来呈增加的趋势。全省的极端降水强度的Hurst指数均大于0.5,说明该省极端降水强度在未来呈增加的趋势(图7)。

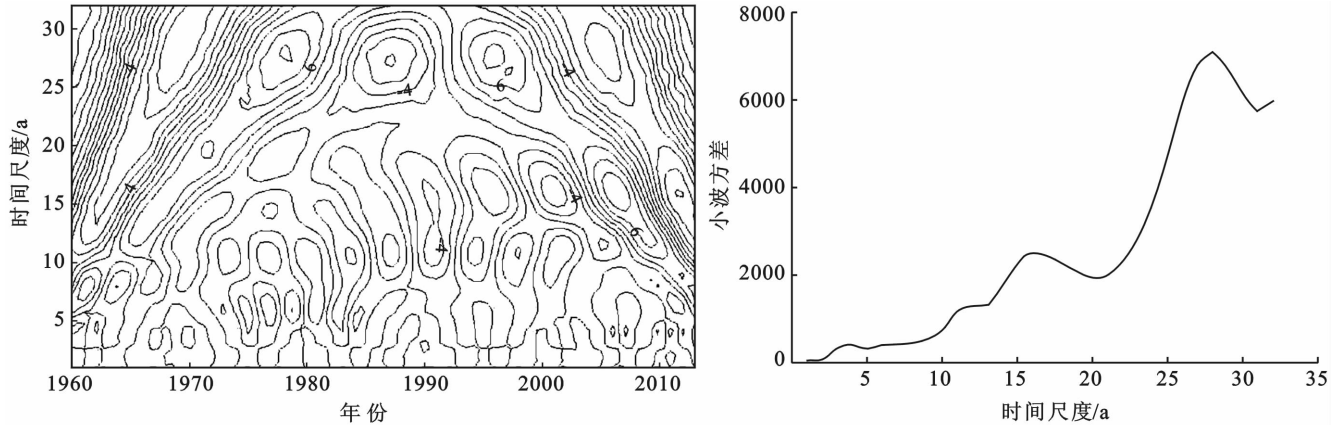


图6 广东省极端降水强度小波变换等值线和小波方差图

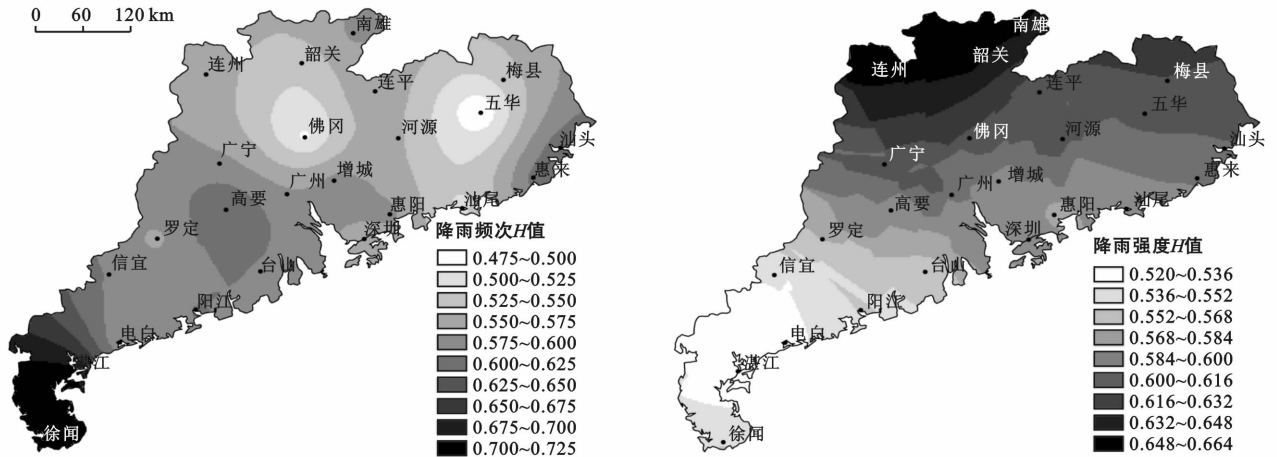


图7 广东省极端降水频次和强度的Hurst指数分析空间分布图

4 讨论与结论

极端降水事件的频繁发生给世界许多国家和地区造成了严重的损失,引起了广泛的关注。本研究通过对广东省极端降水事件的变化特征及其未来的变化趋势进行了分析,得出了极端降水量对降水总量的贡献率在50%以上;在空间上极端降水事件的频次和强度呈现出相反的规律性。对于极端降水量来说出现了3个高值中心,分别是阳江、汕尾和佛冈地区。阳江是因为高频次高强度的极端降水,汕尾地区是因为高强度的极端降水,而佛冈地区则是因为高频次的极端降水,对于不同成因的极端降水事件应采取不同的应对措施。希望本研究能对极端气候的预防提供一定的依据。

(1) 广东省极端降水事件的发生频次、强度及极

端降水量均呈上升的趋势,且极端降水量对总降水量的贡献率在50%以上。

(2) 在空间上极端降水事件的发生频次呈现出北高南低的规律性,而强度正好相反,呈南高北低的规律进行变化。

(3) 极端降水量由于受频次和强度的不同影响,在空间上的存在着3个高值中心,分别是阳江、汕尾和佛冈。

(4) 极端降水事件的频次未发生突变,变化周期存在多尺度的;而强度在1962年发生突变,存在着28 a和16 a的主周期。

(5) 广东省大部分地区极端降水事件的频次和强度与过去变化趋势相一致,在未来具有持续增加的趋势。

(6) 本研究仅对降水的频次和强度的年平均

的变化进行了分析,未讨论极端降水的事件季节变化。因此,对于不同季节极端降水事件的变化特征以及极端降水的原因,有待于在今后的工作中进一步探讨。

[参 考 文 献]

- [1] 秦大河, Thomas S. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 1-6.
- [2] 封国林, 侯威, 支蓉, 等. 极端气候事件的检测、诊断与可预测性研究[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [3] Zhai Panmao, Zhang Xuebin, Wan Hui, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China [J]. Journal of Climate, 2005, 18(7): 1096-1108.
- [4] 杨素英, 孙凤华, 马建中. 增暖背景下中国东北地区极端降水事件的演变特征[J]. 地理科学, 2008, 28(2): 224-228.
- [5] 陆虹, 陈思蓉, 郭媛, 等. 近 50 a 华南地区极端强降水频次的时空变化特征[J]. 热带气象学报, 2012, 28(2): 219-227.
- [6] 汪宝龙, 张明军, 魏军林, 等. 西北地区近 50 a 气温和降水极端事件的变化特征[J]. 自然资源学报, 2012, 27(10): 1720-1733.
- [7] 袁文德, 郑江坤, 董奎. 1962—2012 年西南地区极端降水事件的时空变化特征[J]. 资源科学, 2014, 36(4): 766-772.
- [8] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 a 温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003, 58(S): 1-10.
- [9] 李小亚, 张勃. 1960—2011 年甘肃河东地区极端降水变化[J]. 中国沙漠, 2013, 33(6): 1884-1890.
- [10] 刘贤赵, 张定安, 李嘉竹. 地理学数学方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 190-192.
- [11] 李菲, 张明军, 李小飞, 等. 1962—2011 年宁夏极端降水的时空演变研究[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(5): 171-180.
- [12] 李霞, 纪忠萍. 近 48 a 广东极端降水事件的变化特征[J]. 第 27 届中国气象学会年会灾害天气研究与预报分会场论文集, 2010.
- [13] 鲍名, 黄荣辉. 近 40 a 我国暴雨的年代际变化特征[J]. 大气科学, 2006, 30(6): 1057-1067.
- [14] 黄奇章. 广东降水气候特征及其成因分析[J]. 热带地理, 1990, 10(2): 113-124.
- [15] 谢毅文, 李粤安. 基于小波变换的广东省年降水量序列多时间尺度分析[J]. 人民珠江, 2013, 34(3): 32-34.

(上接第 292 页)

- [4] 刘玉海, 武鹏. 转型时期中国农业全要素耕地利用效率及其影响因素分析[J]. 金融研究, 2011(7): 114-127.
- [5] 周晓林, 吴次芳, 刘婷婷. 基于 DEA 的区域农地生产效率差异研究[J]. 中国土地科学, 2009, 23(3): 60-65.
- [6] 经阳, 叶长盛. 基于 DEA 的江西省耕地利用效率及影响因素分析[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 257-261.
- [7] 李茗薇, 付强, 张军生, 等. 基于 DEA 的吉林省耕地利用效率及其影响因素研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(3): 3682-3684.
- [8] 杨朔, 于文海, 李世平. 基于 DEA 非有效改进的陕西省耕地生产效率研究[J]. 中国土地科学, 2012, 27(10): 62-38.
- [9] 刘新平, 孟梅, 罗桥顺. 基于数据包络分析的新疆农用地利用效益评价[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(1): 40-43.
- [10] 赵玉芝, 董平. 江西省县域经济差异特征及其成因分析[J]. 人文地理, 2012, 27(1): 87-91.
- [11] 马占新, 马生昀, 包斯琴高娃. 数据包络分析及其应用案例[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [12] 汪文雄, 余利红, 刘凌览, 等. 农地整治效率评价研究: 基于标杆管理和 DEA 模型[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(6): 103-113.
- [13] 张晓峰, 王宏志, 纵兆伟, 等. 中国农业劳动力转移与土地利用效率的空间耦合度研究[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(3): 56-61.
- [14] 郭军华, 倪明, 李帮义. 基于三阶段 DEA 模型的农业生产效率研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2010(12): 27-38.
- [15] 梁流涛, 曲福田, 王春华. 基于 DEA 方法的耕地利用效率分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2): 242-246.
- [16] 龙开胜, 陈利根, 占小林. 不同利用类型土地投入产出效率的比较分析: 以江苏省耕地和工业用地为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(5): 174-178.