

# 广东省旱涝灾害时空变化特征研究

刘永林, 延军平

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:** [目的] 研究广东省旱涝灾害时空变化特征, 并对广东省 1960—2012 年旱涝等级进行划分。[方法] 应用小波分析、马尔可夫链、Mann—Kendall 突变检验、经验正交函数以及克里金空间插值法等方法。[结果] (1) 在时间上, 广东省年降水量呈上升趋势, 存在 28、13 和 6 a 的时间尺度上的震荡周期; (2) 广东省旱涝灾害发生频率及未来几年旱涝状态与气温变化有良好的响应关系。(3) 在空间上, 粤东地区和粤西地区以涝灾为主, 而广宁—广州—台山地区一带以旱灾为主。[结论] 广东省旱涝灾害与气温变化存在一定的响应关系, 气温突变后旱涝灾害增多。

**关键词:** 旱涝灾害; Z 指数; 小波分析; 马尔可夫链; 经验正交函数; 广东省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)02-0263-06

中图分类号: P429

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.02.050

## Spatial and Temporal Variation Characteristics of Drought and Flood Disasters in Guangdong Province

LIU Yonglin, YAN Junping

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

**Abstract:** [Objective] To analyze the spatial and temporal variation characteristics of drought/flood disasters and to divide drought/flood grade of Guangdong Province from 1960 to 2012. [Methods] Wavelet analysis, Markov chain, Mann—Kendall mutation test, empirical orthogonal function and Kringing method were used. [Results] (1) As for temporal variation, the average annual rainfall of Guangdong Province is on the rise with 28 a, 13 a and 6 a time scale oscillation cycles; (2) Frequency of drought/flood disasters and the situation of drought/flood in the next few years have good responsive association with temperature changes. (3) As for spatial variations, the east and the west zones of Guangdong Province are likely undergoing flooding, while, Guangning—Guangzhou—Taishan region is easily being attacked by drought. [Conclusion] The drought/flood disasters increase after abrupt change of temperature, and there is a certain responsive relationship between drought/flood disasters and temperature changes.

**Keywords:** drought and flood disasters; Z index; wavelet analysis; Markov chain; empirical orthogonal function; Guangdong Province

广东省位于东亚季风区, 季风影响显著, 地形复杂, 降水时空分布不均, 深受旱涝灾害、热带气旋、低温冻害和寒潮等气象灾害影响, 其中, 旱涝灾害是最主要的气象灾害之一, 对人们生产生活造成严重影响, 尤其是对农业生产影响甚大, 为此, 探究广东省旱涝灾害的时空变化特征, 有利于今后防旱防涝工作的进行。我国旱涝等级的划分指标主要使用降水距平百分率、湿度指标、Z 指数、标准化降水指数(SPI)以及降水百分位指数等, 我国专家学者多以降水距平百分率、Z 指数和 SPI 对旱涝等级进行划分为主, 并且

广泛应用于广东省旱涝灾害的研究。吴池胜等<sup>[1]</sup>应用降水距平百分率得出深圳—汕尾、阳江及雷州半岛为大旱中心, 而粤北地区为轻旱中心; 贺海晏<sup>[2]</sup>应用降水距平百分率得出恩平、海丰、清远、龙门等地为多雨区, 粤北、粤西及雷州半岛等地为少雨区; 薛积彬等<sup>[3]</sup>应用湿润指数得出 113°E 以东旱涝分区沿经向分布, 以西旱涝分区沿纬向分布, 并且珠三角多涝灾, 粤北、粤西、粤东和雷州半岛多旱灾; 江涛等<sup>[4]</sup>应用 SPI 得出广东省春秋干旱在空间上具有总体一致性。此外, 专家学者们还分析了大气环流<sup>[5]</sup>、太阳辐射和

收稿日期: 2014-03-03

修回日期: 2014-03-30

资助项目: 国家自然科学基金项目“部分重大自然灾害的时空对称性: 结构、机理与适应对策”(41171090)

第一作者: 刘永林(1989—), 男(汉族), 广东省罗定市人, 硕士研究生, 研究方向为全球变化与区域灾害防治。E-mail: yorlinliu@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研究。E-mail: yanjp@snnu.edu.cn。

气温<sup>[6]</sup>、气溶胶<sup>[7]</sup>、太平洋和印度洋表层和次表层水温以及夏季风<sup>[8-9]</sup>、厄尔尼诺<sup>[10]</sup>等与旱涝的关系和影响机理,李析男等<sup>[11]</sup>通过加权马尔可夫链进行旱涝灾害预测。鞠笑生等<sup>[12-13]</sup>对比分析了降水距平百分率、湿度指标、Z 指数等的适用性,指出 Z 指数为最佳方法,并系统地建立了应用 Z 指数进行单站旱涝等级和区域旱涝等级的划分系统;袁文平等<sup>[14]</sup>指出 Z 指数与 SPI 两者具有较好的一致性;刘利平<sup>[15]</sup>指出 Z 指数相对降水量距平百分率更适用于广东省旱涝灾害。因此,本研究将应用 Z 指数对广东省旱涝等级进行划分与分析。

## 1 资料与方法

所用资料为中国气象科学数据共享服务网提供的中国地面气候资料年值数据集,为保证数据完整性和台站分布均匀而选用广东省 24 个气象台站 1960—2012 年 53 a 观测资料,数据基本完整,仅缺失广宁台站 1968 年的年平均气温,根据无交互作用双因素方差分析的误差平方和最小原理对缺失数据进行补缺<sup>[16]</sup>。

应用小波分析、马可夫链、Mann—Kendall 突变检验、经验正交函数以及克里金空间插值法等方法进行分析<sup>[17-22]</sup>。

## 2 旱涝灾害时间变化特征

### 2.1 降水量变化特征

从图 1 和表 1 可以看出,1960—2012 年广东省年均降水量为 1 727 mm,年降水量最小值出现在 1963 年,最大值出现在 1983 年,该省年降水量呈波动上升趋势,倾向率为 8.60 mm/10 a。年代平均降水量由 1960s 至 1990s 波动上升,20 世纪以来呈现下降趋势;冬季平均降水量由 1960s 至 1990s 呈上升趋势,20 世纪以来呈现下降趋势;春季平均降水量由 1960s 至 1980s 呈上升趋势,1990s 以来呈现下降趋势;夏季、秋季平均降水量在各年代呈波动变化,夏季平均降水量略有上升。

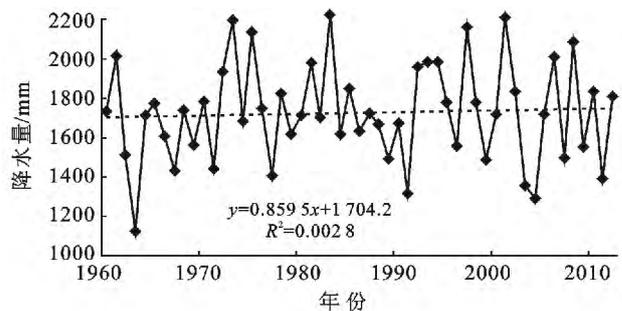


图 1 1960—2012 年广东省年降水量变化情况

表 1 广东省 1960—2012 年代际降水量季节变化

季节	降水量/mm					
	1960s	1970s	1980s	1990s	20 世纪以来	1960—2012 年
冬季	112	123	146	172	119	134
春季	472	563	652	507	507	540
夏季	758	761	673	837	805	767
秋季	282	330	285	252	283	286
年均降水量	1 624	1 777	1 756	1 768	1 714	1 728

对 1960—2012 年广东省年降水量进行小波分析(图 2)可知,正位相与负位相交替变化(实线为正位相,虚线为负位相),反映出广东省年降水量偏多与偏少呈交替变化;该省年降水量存在 3 个的峰值,依次对应为 28,13 和 6 a 的时间尺度,这与陈特固<sup>[7]</sup>的研究结论基本一致,其中,大尺度时间上 28 a 周期震荡最强,为年降水量变化的第一主周期;中尺度时间上存在 13 a 周期震荡,为年降水量变化的第二主周期;小尺度时间上存在 6 a 周期震荡,为年降水量变化的第三主周期。

### 2.2 旱涝灾害时间特征

通过对广东省 24 个台站 1960—2012 年的降水量进行 Z 指数处理,并利用区域旱涝指数对该省旱涝等级进行等级划分(图 3)。1960—2012 年广东省发生重涝 3 次(1983,1997,2001 年),大涝 5 次(1961,1973,1975,2006,2008 年),重旱 3 次(1963,1991,

2004 年),大旱 4 次(1967,1971,1999,2003 年),其余旱涝情况分别为:偏涝 7 次,偏旱 10 次,正常 21 次。分析可知,广东省重涝、大涝发生次数与重旱、大旱基本一致,偏旱次数稍多于偏涝。

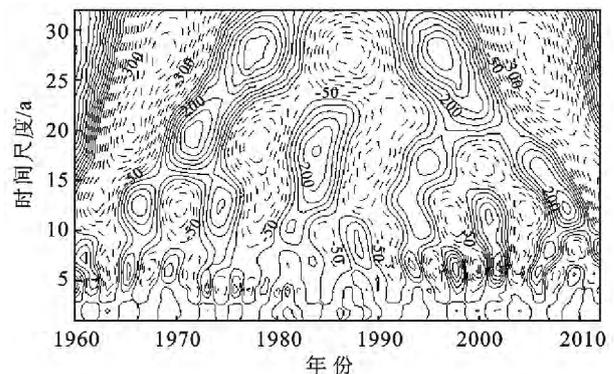


图 2 广东省小波变换等值线图

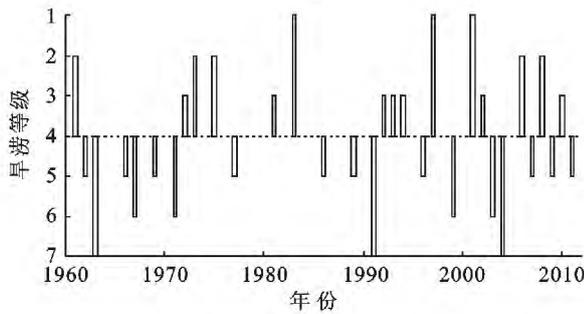


图 3 广东省 1960—2012 年旱涝等级

通过广东省各年代旱涝灾害分析发现(表略), 1960s 以旱灾为主, 频率达 50%; 1970s 旱灾与涝灾频率相差不大, 正常年份与旱涝灾害频率各占 50%; 1980s 以正常年份为主, 频率达 60%, 前期发生涝灾, 后期发生旱灾; 1990s 以及 20 世纪以来旱涝灾害明显增多, 1990s 旱涝灾害频率为 70%, 20 世纪以来旱涝灾害频率达 77%, 旱灾与涝灾交替出现。

2.3 气温变化与旱涝灾害的相关关系

对 1960—2012 年广东省年均温进行 Mann—Kendall 突变检验(图 4),  $\alpha=0.05$  时, 发现该省年均

温在 1993 年出现突变, 1993 年之前呈波动变化、总体平稳的状态; 1993 年之后呈明显上升趋势, 而 2007 年之后呈现平稳状态。

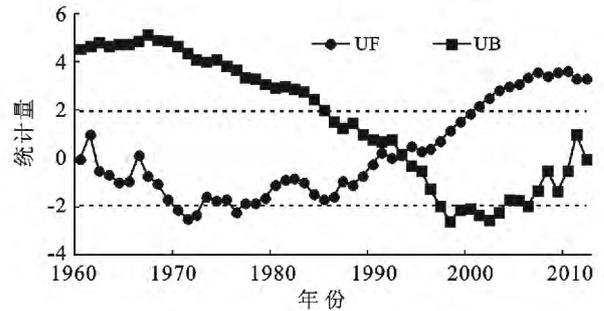


图 4 广东省 1960—2012 年年均温 Mann—Kendall 突变检验

对 1960—2012 年广东省旱涝灾害频率变化进行分析(表 2), 1960—2012 年以正常年份为主, 旱灾频率稍大于涝灾, 1960—1993 年与之相似; 1994—2012 年正常年份频率明显减小, 旱灾与涝灾频率均明显增大且频率相等。由此可以得出, 旱涝灾害对年均温变化有明显的响应关系, 1993 年的年均温突变后, 广东省旱涝灾害相应地产生变化, 旱涝灾害明显增多。

表 2 广东省 1960—2012 年旱涝灾害频率变化

等级	1960—2012 年			1960—1993 年			1994—2012 年		
	频数	实际频率/%	旱涝频率/%	频数	实际频率/%	旱涝频率/%	频数	实际频率/%	旱涝频率/%
$N_1$	3	5.7		1	2.9		2	10.5	
$N_2$	5	9.4	28.3	3	8.8	23.5	2	10.5	36.8
$N_3$	7	13.2		4	11.8		3	15.8	
$N_4$	21	39.6	39.6	16	47.1	47.1	5	26.3	26.3
$N_5$	10	18.9		6	17.6		4	21.1	
$N_6$	4	7.5	32.1	2	5.9	29.4	2	10.5	36.8
$N_7$	3	5.7		2	5.9		1	5.3	

2.4 气温变化影响旱涝灾害的机理分析

ENSO 事件、西太平洋暖池的热力异常、青藏高原上空的热源异常、亚洲季风环流异常、西太平洋副热带高压带异常以及由海—陆—气耦合的东亚季风气候系统各子系统的变异等都对我国旱涝灾害造成影响<sup>[23]</sup>。全球变暖的背景下, 台风的强度及强台风的频数有增加的趋势, 海平面的上升、沿海地区对台风风暴潮的脆弱性增大, 因而台风灾情将加重<sup>[24]</sup>, 从而导致涝(洪)灾的增加; 水循环会更加活跃, 并且整个大气容纳水的能力会增强, 而部分地区蒸发作用变强, 在大尺度的水分循环中, 带走当地的部分水分, 从而使该地降水减少<sup>[25]</sup>, 促使旱灾形成; 热带太平洋表层温度总体升高, 尤以赤道中—东太平洋地区最为明

显<sup>[26]</sup>, 促使赤道哈得来环流发展, 副高加强, 位置偏西<sup>[26]</sup>, 西太平洋对流活动减弱, 影响降水。进入 90 年代, 东亚夏季风处于一个负位相阶段, 特别是最近 10 a 其强度达到最弱期<sup>[27]</sup>, 有利于从孟加拉湾、热带西太平洋和中国南海输送来的水汽<sup>[23]</sup>, 从而导致降水量增多, 容易造成洪涝。此外, 20 世纪 90 年代以来, ENSO 暖事件频率发生<sup>[27]</sup>, 也是导致旱涝灾害易发的原因<sup>[10, 23]</sup>。

2.5 旱涝灾害马尔可夫链

根据区域旱涝指数对广东省 1960—2012 年旱涝等级进行划分, 并根据马尔可夫链计算广东省旱涝灾害状态转移概率矩阵  $P$ , 并记旱涝等级  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7$  分别为状态  $E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7$ 。

$$P = \begin{bmatrix} 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.333 & 3 & 0.666 & 7 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 \\ 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.400 & 0 & 0.600 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 \\ 0.000 & 0 & 0.142 & 9 & 0.285 & 7 & 0.285 & 7 & 0.142 & 9 & 0.142 & 9 & 0.000 & 0 \\ 0.100 & 0 & 0.150 & 0 & 0.050 & 0 & 0.250 & 0 & 0.300 & 0 & 0.100 & 0 & 0.050 & 0 \\ 0.100 & 0 & 0.100 & 0 & 0.100 & 0 & 0.500 & 0 & 0.000 & 0 & 0.100 & 0 & 0.100 & 0 \\ 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.250 & 0 & 0.500 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.250 & 0 \\ 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.333 & 3 & 0.666 & 7 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 \end{bmatrix}$$

2012 年为正常状态即  $E_4$ , 记 2012 年旱涝状态记为, 根据状态转移概率矩阵  $P$  及相关公式得到 2013—2018 年广东省旱涝灾害发生概率(表 3)。2013 年处于偏旱状态或正常状态较大, 偏旱状态概率稍多于正常状态, 而 2014—2018 年处于正常状态较大。根据 1960—2012 年广东省年均温 Mann—Kendall 突变检验, 2007—2012 年处于平稳状态, 由此可以得出, 广东省年均温的平稳状态可能有利于减少旱涝灾害的发生。

表 3 广东省 2013—2018 年旱涝灾害发生概率

状态	各年份灾害概率					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
$E_1$	0.10	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
$E_2$	0.15	0.07	0.10	0.09	0.10	0.10
$E_3$	0.05	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
$E_4$	0.25	0.44	0.38	0.39	0.38	0.38
$E_5$	0.30	0.17	0.19	0.19	0.19	0.19
$E_6$	0.10	0.06	0.08	0.08	0.08	0.08
$E_7$	0.05	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06

### 3 旱涝灾害空间变化特征

#### 3.1 多年平均降水空间变化特征

应用克里金空间插值法对 1960—2012 年广东省 24 个台站多年平均降水量进行空间分析。由图 5 可

以看出, 广东省多年平均降水量以珠三角地区为高值中心区, 向粤东、粤西及粤北地区呈逐步下降变化, 在台山附近形成最高值中心; 粤东地区以五华县为最低值中心, 粤西地区以雷州半岛为最低值中心区; 珠三角地区向粤北地区大致呈纬向下降变化。

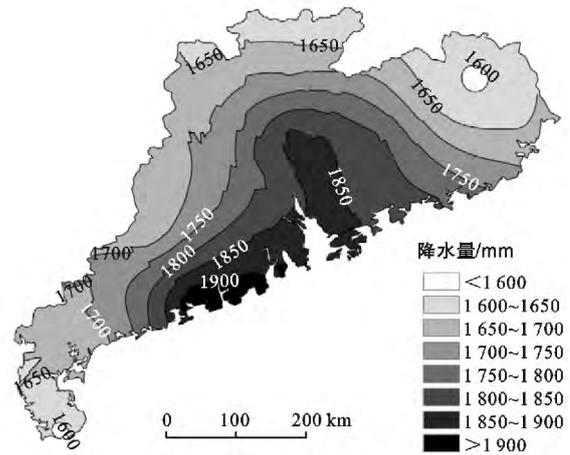


图 5 广东省多年平均降水量空间分布

#### 3.2 旱涝灾害空间变化特征

对 1960—2012 年广东省 24 个台站  $Z$  指数进行 EOF 分解得到特征值和相应的特征向量(经显著性检验), 前 5 个特征值累积贡献率达 79%, 其中, 前 3 个特征值累积贡献率达 70%, 可以充分反映广东省多年旱涝灾害时空分布特征(表 4)。

表 4 广东省 24 个台站  $Z$  指数 EOF 特征值

特征值序号	1	2	3	4	5
特征值 $\lambda$	12.315 7	3.188 7	1.301 9	1.128 8	1.030 6
贡献率/%	51.315 3	13.286 2	5.424 7	4.703 4	4.294
累积贡献率/%	51.315 3	64.601 5	70.026 2	74.729 6	79.023 6

将前 3 个特征值相应的特征向量应用克里金空间插值法进行空间分析(图 6)。第一特征值贡献率约 51.4%, 基本能充分反映广东省旱涝灾害空间分布状况。由图 6 可以看出, 特征向量以正值为主, 自西向东递增, 反映出空间上以涝灾分布为主, 且涝灾程度自西向东呈上升趋势; 粤东地区为连片高值区,

粤西地区涝灾程度低于粤东地区, 而广宁—台山地区形成负值低值中心, 广宁—台山地区以旱灾为主。

第二特征值贡献率约 13.3%, 一定程度上能反映广东省旱涝灾害空间分布状况(图 6)。粤西地区向粤东地区逐步递减, 粤西地区为正值区, 粤东地区为负值区, 说明粤西地区以涝灾为主, 粤东以旱灾为

主,以珠三角为界,涝灾程度往西递增,旱灾程度往东递增;此外,台山地区、揭阳—陆丰地区形成负值低值中心,湛江—雷州半岛则形成正值高值中心。

第三特征贡献率约为 5.4%,可作分析广东省旱涝灾害空间分布的参考。由图 6 可以看出,以广州地区为负值低值中心,分别向粤东和粤西逐步往正值递增,说明广州市周边地区以旱灾为主,而粤东地区和粤西地区则均以涝灾为主,潮州、雷州半岛为正值高值中心。

综合前 3 个特征值及其特征向量空间分析图,广东省全省以涝灾为主;图 6 各分图均指向粤西地区为正值区,具有较好的一致性,即粤西地区以涝灾为主,湛江—雷州半岛为正值高值中心,这可能与珠江水系主要流经粤西地区有关;珠三角地区偏涝为主,广宁—台山地区以旱灾为主,尤其是台山周边地区为负值低值中心,而台山周边地区为多年平均降水量最高值中

心,但仍以旱灾为主;粤东地区则以涝灾为主,粤东地形以山地为主,可能与汇水集中、泄洪能力不强等因素有关;粤北地区以轻旱为主。

使用相对湿度指数(MI)、降水距平百分率、标准化蒸散发指数(SPEI)的已有研究结果指出<sup>[1-3,28]</sup>,广东省全省以涝灾为主,且粤东地区明显高于粤西地区,珠三角涝灾多发,粤北以轻旱为主,潮汕地区、雷州半岛等地则是旱灾多发,与本研究使用 Z 指数得出结论相比较,基本保持一致,尤其与薛积彬<sup>[3]</sup>使用 MI 得出历史时期广东省旱涝空间分布特征具有较好一致性;但 Z 指数得出潮汕地区、雷州半岛以涝灾为主,与其他指数得出结论存在一定出入,其原因一方面可能是由于气候变化导致研究的气候背景产生变化有关,另一方面可能与划分指数的类型及阈值修正方法的差异性有关。

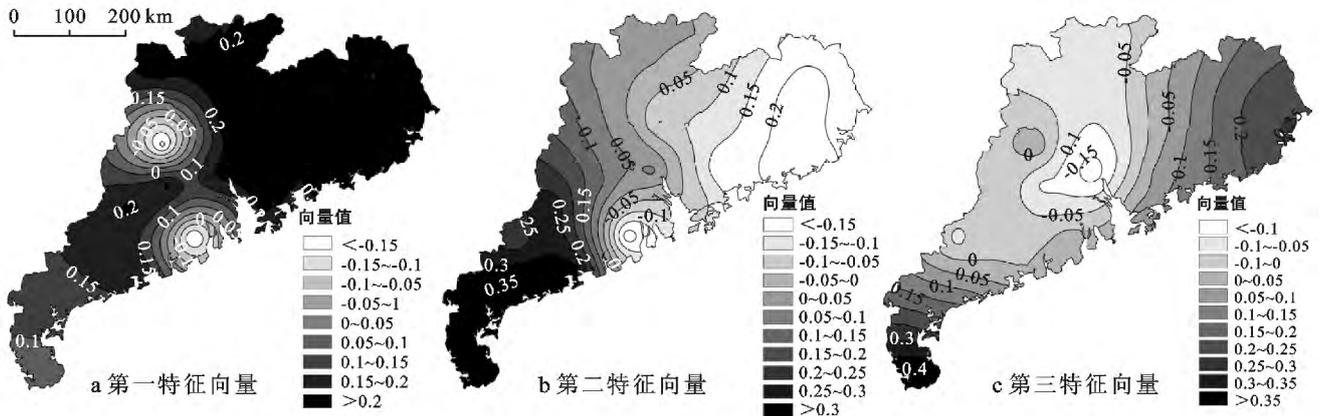


图 6 广东省旱涝灾害空间变化特征

### 4 结论

(1) 广东省年降水量呈波动上升趋势,上升率为 0.860 mm/a,且存在 28,13 和 6 a 的时间尺度上的震荡周期;从年代平均降水量来看,20 世纪以来呈下降趋势。

(2) 广东省旱涝灾害发生频率与气温变化有良好的响应关系。1993 年的年均温发生突变后,旱涝灾害发生频率明显增多。

(3) 通过马尔可夫链对 2013—2018 年旱涝灾害进行趋势分析,2013 年偏旱概率稍大,2014—2018 年则以正常状态为主,且可能与气温变化处于稳定状态有一定关系。

(4) 广东省多年平均降水量在空间上以珠三角地区为高值中心,向粤东、粤北、粤西地区逐步递减;台山地区为多年平均降水量最高值中心,但台山地区为 Z 值负值低值中心,两者存在反向对应关系。

(5) 对 Z 指数进行 EOF 分解得出,广东省范围内以涝灾为主,且粤东地区多于粤西地区;珠三角偏涝为主,广宁—台山地区旱灾为主,粤北地区偏旱,粤东及粤西以涝灾为主,潮汕地区、雷州半岛为正值高值中心。

(6) 使用 Z 指数得出潮汕地区、雷州半岛以涝灾为主的结论,与使用 MI、降水距平百分率及 SPEI 得出结论有所不同,而其他结论基本一致,这可能与研究的气候背景、划分指数与阈值修正方法差异性有关,在今后研究工作中应继续深入对比分析各种指数优缺点及准确程度。

(7) 本研究运用多种时间序列分析方法综合分析广东省气候特征及旱涝时空分布特征,由宏观向微观、由总体向细节、由过去向未来逐步深入分析,各种方法得出的结论相辅相成,避免方法的单一性和分析的片面性。首先利用线性趋势分析多年降水总体趋势,再对各年代及季节降水特征进行分析,应用小波

分析得出降水在大、中、小时间尺度的周期震荡,利用 Mann—Kendall 突变检验寻求气温与旱涝两者的响应关系,最后运用马尔可夫链对旱涝灾害未来发展状态进行预测;此外,通过 EOF 分析实现时间序列主要特征值的提取,为空间分析提供基础。

(8) 应用 Z 指数进行区域旱涝等级划分主要是基于观测台站的降水量记录数据进行处理分析,今后应当将基于数据进行处理而进行旱涝等级划分的同时,综合考虑实际发生状况作进一步修正。本研究时间尺度为 1 a,得出的区域旱涝等级并非是短时间内的洪灾或旱灾,而是综合反映全年的气象旱涝情况。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 吴池胜,梁必骥. 广东旱涝的气候特征[J]. 中山大学学报论丛,1993(1):8.
- [2] 贺海晏. 近 40 年广东省的旱涝特征[J]. 热带气象学报,1998,14(4):297-305.
- [3] 薛积彬,钟巍,赵引娟,等. 历史时期广东省旱涝时空分布特征的初步研究[J]. 地理科学,2005,25(4):461-466.
- [4] 江涛,杨奇,张强,等. 广东省干旱灾害空间分布特征[J]. 湖泊科学,2012,24(1):156-160.
- [5] 刘黎明,郑德娟. 广东旱涝的典型型式及其环流分析[J]. 中山大学学报:自然科学版,1996,35(S1):206-210.
- [6] 薛积彬,钟巍. 历史时期广东地区旱涝灾害与气候变化关系[J]. 地理与地理信息科学,2005,21(5):75-79.
- [7] 陈特固,曾侠,张江勇,等. 全球变暖背景下的广东省降水量及旱涝变化趋势[J]. 广东气象,2007,29(1):5-10.
- [8] 吴迪生,魏建苏,周水华,等. 南海中北部次表层水温与南海夏季风和广东旱涝[J]. 热带气象学报,2007,23(6):581-586.
- [9] 吴迪生,俞胜宾,冯伟忠,等. 太平洋—印度洋暖池次表层水温对广东旱涝的影响[J]. 热带气象学报,2012,28(1):89-95.
- [10] 唐晓春,袁中友. 近 60 年来厄尔尼诺事件对广东省旱灾的影响[J]. 地理研究,2010,29(11):1932-1939.
- [11] 李析男,毕宏伟,胡彩虹. 基于马尔可夫链的旱涝预测应用研究[J]. 气象与环境科学,2008,30(4):20-23.
- [12] 鞠笑生,杨贤为. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报,1997,8(1):26-33.
- [13] 鞠笑生,邹旭恺. 气候旱涝指标方法及其分析[J]. 自然灾害学报,1998,7(3):51-57.
- [14] 袁文平,周广胜. 标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报,2004,28(4):523-529.
- [15] 刘利平,黄嘉佑,李湘皎,等. Z 指数在广东气象旱涝分析中的应用[J]. 广东水利水电,2013(1):5-7.
- [16] 陈彦光. 地理数学方法:基础和应用[M]. 北京:科学出版社,2011:23-25.
- [17] 刘剑刚,李永化,张威,等. 辽宁省洪涝灾害规律的初步研究[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(5):114-119.
- [18] 刘贤赵,张安定,李嘉竹. 地理学数学方法[M]. 北京:科学出版社,2009:190-192.
- [19] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京:气象出版社,2004:130-132.
- [20] 刘婷婷,张华. 主成分分析与经验正交函数分解的比较[J]. 统计与决策,2011(16):159-162.
- [21] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002:98-103.
- [22] 张丽花,延军平,刘栋杉. 山西气候变化特征与旱涝灾害趋势判断[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(5):120-125.
- [23] 黄荣辉,杜振彩. 全球变暖背景下中国旱涝气候灾害的演变特征及趋势[J]. 自然杂志,2010,32(4):187-195.
- [24] 雷小途,徐明,任福民. 全球变暖对台风活动影响的研究进展[J]. 气象学报,2009,67(5):679-688.
- [25] 何丽. 近百年全球气温变化对长江流域降水影响分析[J]. 资源环境与发展,2007(4):4-7.
- [26] 李就,余丹丹,王彦磊,等. 全球气候变暖对西北太平洋热带气旋频数的影响[C]. 第十四届中国科协年会第 14 分会场:极端天气事件与公共气象服务发展论坛论文集,2012.
- [27] 胡博,李维京,陈鲜艳. 全球增暖对 ENSO 影响的数值模拟研究[J]. 大气科学,2007,31(2):214-221.
- [28] 陈子燊,黄强,刘曾美. 1962—2007 年广东干湿时空变化特征分析[J]. 水科学进展,2013,24(4):469-476.