

广东省降水非均匀性与气候变化的响应关系*

刘永林¹, 延军平¹, 岑敏仪^{1,2}

(1. 陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;

2. 陕西师范大学健康地理所, 陕西 西安 710062)

摘要: 降水量的时空分配不均匀是造成旱涝灾害的主要原因, 深入分析降水量的时空分配均匀性, 有助于防旱抗汛。研究了1960-2013年广东省的降水集中度和集中期, 并探讨了在气候变化背景下广东省的降水量时空均匀性变化特征, 从而揭示出降水量均匀性与气温突变的响应关系。研究表明: ①近54 a广东省总体上呈暖湿化, 气温突变后, 逐渐转变为冷干化; ②季节性降水量与PCD、PCP的变化趋势存在很好的响应关系。③广东省降水量相对较为均匀但变化幅度大, 集中时期较早, 气温突变后, 降水量更集中和集中期推后, 但其趋于分散和集中期趋于提前, 且PCD和PCP波动性趋于减弱; ④广东省气温、降水量、PCD和PCP存在一定的相关关系, 且与北方地区有一定差异; ⑤气温突变后, 大部分地区降水量更集中和集中期推后, 并保持一定的纬向变化。由此表明, 广东省降水量时空均匀性与气候变化是存在一定响应关系的。

关键词: 气候变化; 降水集中度; 集中期; 广东省

中图分类号: P426.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2015)05-0138-09

Response Relation between Precipitation Heterogeneity and Climate Change in Guangdong

LIU Yonglin¹, YAN Junping¹, CEN Minyi^{1,2}

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. Institute of Healthy Geography, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: The spatial and temporal inhomogeneity of precipitation is the main cause of drought and flood disasters. Analyzing the spatial and temporal homogeneity of precipitation can provide scientific basis for the flood control and drought relief work. Based on observed precipitation data during 1960-2013 in Guangdong Province, the precipitation concentration degree (PCD) and precipitation concentration period (PCP) were computed and the temporal and spatial variations of precipitation in Guangdong in response to climate change were analyzed for exploring the response relation between the homogeneity of precipitation and abrupt change of temperature. Results showed that: ① The climate in Guangdong was warm and wet during 1960-2013, but became cold and dry gradually after the temperature abrupt change. ② The seasonal precipitation had a good response relationship with the PCD and the PCP. ③ The precipitation was relatively homogeneous but with large varied amplitude, and the PCP arrived earlier. After the abrupt change of temperature, precipitation became more concentrated and concentration period delayed but precipitation tended to be decentralized and concentration period was ahead of time, and

* 收稿日期: 2014-11-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41171090); 国家社会科学基金重点资助项目(14AZD094)

作者简介: 刘永林(1989年生), 男; 研究方向: 全球变化与区域灾害防治; 通讯作者: 延军平; E-mail: yanjp@snnu.edu.cn

the volatility of the PCD and PCP tended to weaken. ④ There were some correlations among air temperature, precipitation, the PCD and the PCP in Guangdong, which was different with northern China. ⑤ After the abrupt change of temperature, precipitation of most areas became more concentrated and concentration period arrived earlier, and all maintained a certain latitudinal variation. This indicated that precipitation uniformity of space - time in Guangdong has a certain response relationship with climate change.

Key words: climate change; precipitation concentration degree; precipitation concentration period; Guangdong province

广东省是亚热带季风气候，降水量丰富，气象灾害频发，并且旱涝灾害是其主要的气象灾害，而降水量的时空分配不均匀是造成旱涝灾害的主要原因，降水量过于集中则导致集中时段易发生洪涝灾害，而其余时段易发生旱灾，降水集中时间过晚则易导致春旱甚至夏旱。另一方面，广东省作物熟制可达一年三熟，因而，降水量过于集中某个时段则不利于耕作，降水集中时间过早或过晚亦会影响农业生产。因而，深入分析降水量的时空分配均匀性，有助于防旱抗汛和农业生产。

Zhang 和 Qian^[1]提出的降水集中度 (PCD) 和集中期 (PCP) 可用于分析降水量的时间分配特征，并将其应用于探讨长江流域汛期降水集中度和洪涝的关系^[2]。近年来，国内专家学者亦应用 PCD 和 PCP 分析不同地区的降水量分配均匀性。东北地区 PCD 多年平均值高达 0.7，降水集中度高，而集中期较晚，但 PCD 和 PCP 有减少趋势^[3-4]；西北地区 PCD 和 PCP 的空间差异很大，PCD 呈东西反向，PCP 呈南北反向^[5]；黄土高原 PCD 为 0.53 ~ 0.75，呈上升趋势和南北反向，降水集中度高，集中期为 7 月中旬和下旬，呈下降趋势和东西反向^[6]；此外，广西省^[7]、安徽省^[8]、浙江省^[9]、四川省^[10]、新疆省^[11]、陕西省^[12]、辽宁省^[13]、华北地区^[14]等不同地区或不同空间尺度的 PCD 和 PCP 研究亦相继得到应用。

然而，关于广东省降水集中度和集中期的研究基本是空白的。张金玲等^[15]基于 EOF 分析方法分析了广东省后汛期降水集中度和集中期的变化趋势。但是，由于特征向量所包含的要素特征是有限的，而且仅分析后汛期的降水集中和集中期是不完整的，并不能很好地反映广东省降水集中度和集中期的变化特征。因此，本研究基于 PCD 和 PCP 对广东省降水量时空变化进行多方面分析，探讨在气候变化背景下广东省降水量时空分配均匀性，从而填补关于广东省降水集中度和集中期研究的空白。

1 资料与方法

1.1 资料来源

气象资料来源于中国气象科学数据共享服务网的中国地面气候资料日值数据集 1960 - 2013 年 54 a 观测资料，在保证数据完整性和台站均匀分布的前提下，选取广东省 24 个气象台站 (图 1) 气象资料进行研究分析，缺失数据采用插值方法补充。

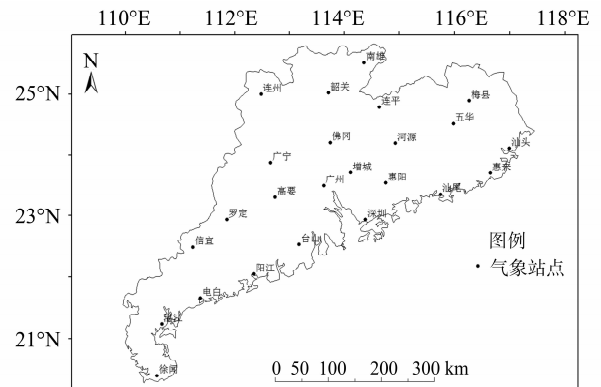


图 1 广东省气象站点分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in Guangdong

本研究四季划分为：春季 3 - 5 月，夏季 6 - 8 月，秋季 9 - 11 月，冬季 12 - 次年 2 月。其中，冬季仅分析 1960 - 2012 年。

1.2 方法

1.2.1 降水集中度和集中期 降水集中度 (PCD) 和降水集中期 (PCP) 是表征单站降水量时间分配特征的新参数，计算公式如下^[1-2]：

$$PCD_i = \sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2} / R_i \quad (1)$$

$$PCP_i = \arctan(R_{xi} / R_{yi}) \quad (2)$$

式中：PCD_i 和 PCP_i 分别为研究时段内的降水集中度和集中期。

$$R_{xi} = \sum_{j=1}^N r_{ij} \sin \theta_j$$

$$R_{yi} = \sum_{j=1}^N r_{ij} \cos \theta_j \quad (3)$$

式中, R_i 为某测站研究时段内总降水量, r_{ij} 为研究时段内某候降水量, θ_j 为研究时段内各候对应的方位角 (整个研究时段的方位角设为 360°), i 为年份 ($i=1960, 1961, \dots, 2013$), j 为研究时段内的候序 ($j=1, 2, \dots, 72$)。

由式 (1) 和 (2) 可知, PCD 能够反映降水总量在研究时段内各个候的集中程度。如果研究时段中, 降水量集中在某一候内, 则它们合成向量的模与降水总量之比为 1, 即 PCD 为极大值; 如果每个候的降水量相等, 则它们各个分量累加后为 0, 即 PCD 为极小值。PCP 是合成向量的方位角, 它指示出每个候降水量合成后的总体效应, 也就是向量合成后重心所指示的角度, 反映了一年最大候降水量出现在哪一个时段内^[2]。

1.2.2 变异系数 变异系数 (C_v) 是表征数据离散程度的无量纲量, 可用于比较不同量纲或不同均值的数据的离散程度和稳定性, 其中, C_v 越大, 离散程度越大, 即数据波动性越大, 反之, C_v 越小, 离散程度越小, 即数据越稳定。变异系数可用以评价各气候要素的稳定性, 计算公式见 (4) 式^[16]:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

式中, n 为样本个数, σ 为样本标准差, x_i 为各气候要素值, \bar{x} 为各气候要素平均值。

1.3 相似系数

相似系数可用于定量表示两幅图的相似程度, 计算公式见 (5) 式^[3]:

$$\cos \theta = \frac{\sum_{i=1}^m x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m y_i^2}} \quad (5)$$

式中, m 为观测站点个数, x_i 、 y_i 分别为 i 站点两幅图对应的气象要素值, $\cos \theta$ 是两幅图的相似程度的定量指标, 即相似系数, 相似系数越接近 1 则越相似, 越接近 -1 则越相反, 相似系数为 1 则完全相同, 为 -1 则完全不相同, 为 0 则不相似。

2 结果与讨论

2.1 时间变化趋势

2.1.1 气温突变检验 对广东省 1960-2013 年平均气温进行 Mann-Kendall 突变检验 (图 2), 得到广东省年平均气温在 1993 年发生突变, 气温突变

后, 呈现迅速增加的趋势, 而在 2005 年后气温呈现较为平稳、略有下降的状态。

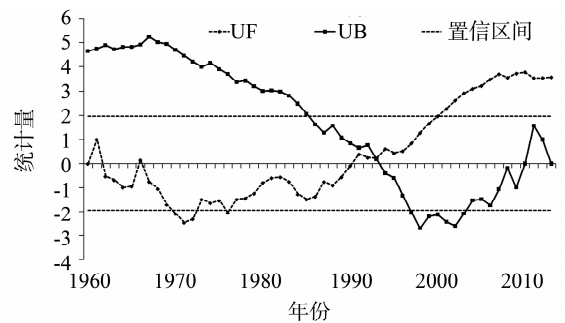


图 2 1960-2013 年广东省年平均气温 Mann-Kendall 突变检验

Fig. 2 The Mann-Kendall test for annual temperature in Guangdong from 1960 to 2013

2.1.2 降水量时间变化趋势 1) 年降水量时间变化趋势。对广东省近 54 a 降水量变化趋势进行分析 (图 3), 1960-2013 年广东省降水量呈上升趋势, 降水倾向率为 $13.84 \text{ mm}/10\text{a}$; 气温突变前, 多年平均降水量少于常年平均降水量, 但以 $30.90 \text{ mm}/10\text{a}$ 的速度上升; 气温突变后, 多年平均降水量多于常年平均降水量, 但以 $-42.80 \text{ mm}/10\text{a}$ 的速度下降。

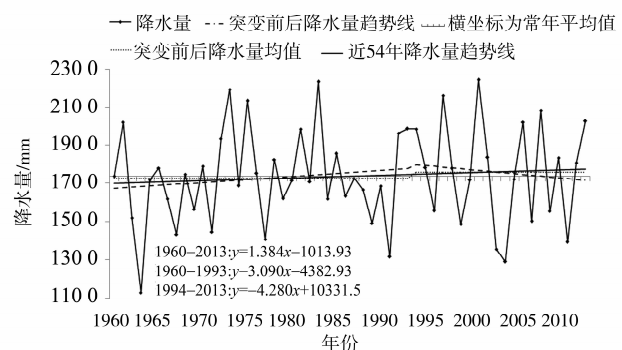


图 3 1960-2013 年广东省降水量变化趋势

Fig. 3 Annual precipitation variation in Guangdong from 1960 to 2013

由此得出, 近 54 a 广东省降水量总体上呈增加趋势, 由于突变前的降水量增加而导致突变后的多年平均降水量高于常年平均降水量, 但降水量由上升趋势转变为下降趋势。广东省在 1960-2013 年呈暖湿化, 这与史培军等^[17] 结论是一致的, 而在气温突变后, 逐渐转变为冷干化。此外, 广东省气温与降水量变化趋势保持着较好的一致性。近 54 a

总体上呈上升趋势，以气温突变点为划分前后时段，突变前多年平均均值低于常年平均值，而突变后多年平均值高于常年平均值，且均经历了上升 - 下降变化趋势。

2) 季节性降水量时间变化趋势。对广东省近 54 a 季节性降水量变化趋势进行分析 (图 4)。1960 - 2013 年广东省春季、夏季及冬季降水量均呈上升趋势，每 10 a 降水倾向率分别为：4.00，15.20，1.31 mm，而秋季降水量呈下降趋势，降

水倾向率为 -9.99 mm。即近 54 a 广东省春季、夏季和冬季降水量增加，秋季降水量减少。

从各个季节降水量所占比例上看，夏季降水量是占全年降水量百分比最高的，平均为 44.6%，其次是春季、秋季和冬季，平均百分比分别是 31.3%、16.5%、7.8%。由此表明，降水量主要集中在春季和夏季，春季和夏季降水量变化可能是引起降水量均匀性变化的主导因素。

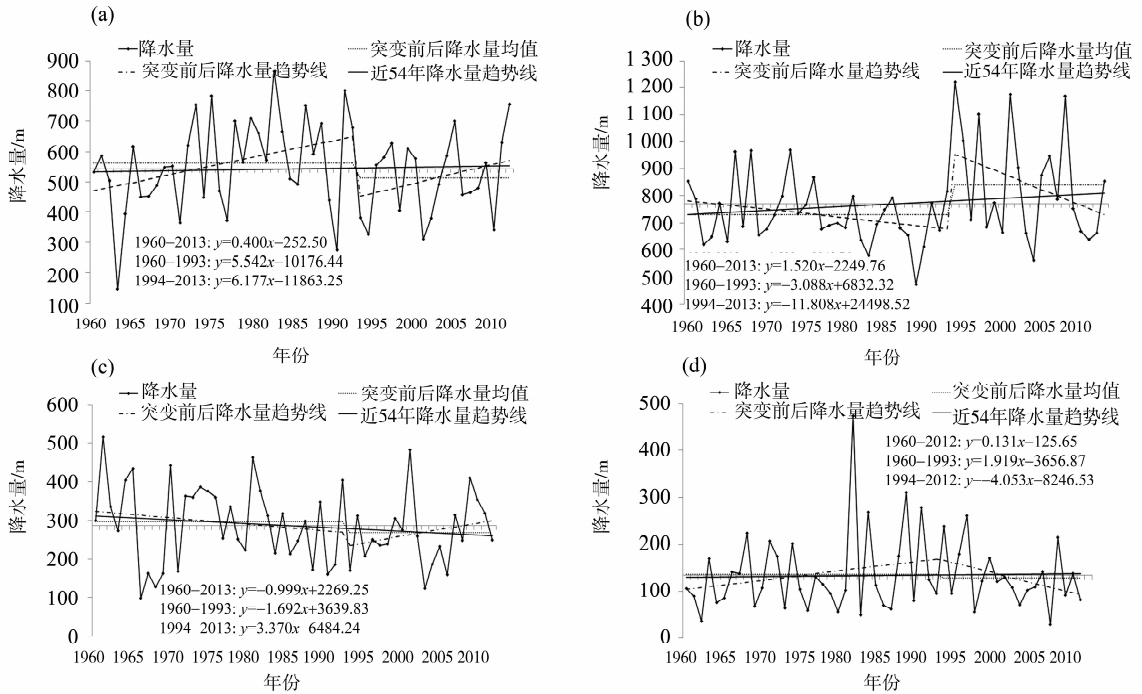


图 4 1960 - 2013 年广东省春季 (a)、夏季 (b)、秋季 (c)、冬季 (d) 降水量变化趋势

Fig. 4 Precipitation variations of Guangdong in spring (a), summer (b), autumn (c), winter (d) from 1960 to 2013

气温突变前，春季、秋季和冬季多年平均降水量均高于常年均值，夏季多年平均降水量则低于常年均值，而气温突变后，春季、秋季和冬季多年平均降水量均低于常年均值，夏季多年平均降水量则高于常年均值。由此可以推测，气温突变后，降水比突变前更加集中并更加集中在夏季。

气温突变前，春季和冬季每 10 a 降水量分别以 54.32 mm 和 19.19 mm 的速度增加，夏季和秋季分别以 30.88 mm 和 16.92 mm 的速度减少；气温突变后，春季和秋季降水量分别以 61.77 mm 和 33.70 mm 的速度增加，夏季和冬季则分别以 118.08 mm 和 40.53 mm 的速度减少。可以推断，气温突变后，随着春季降水量的大幅增加以及夏季降水量的大幅减少，将会导致降水量越来越趋于均匀；此外，由于夏季降水量大幅减少，是导致年降

水量呈现下降趋势的主要原因。

2.1.3 PCD 时间变化趋势 对广东省近 54 a 降水集中度 (PCD) 进行分析 (图 5)，1960 - 2013 年广东省 PCD 为，0.281 ~ 0.616，PCD 常年平均值为 0.464，比北方地区 (东北地区^[3]、松花江流域^[4]、黄土高原^[6]、陕西^[12]、辽宁等^[13]) 要低，亦低于同纬度地区 - 广西地区 (PCD 为 0.49^[7])，而高于浙江^[9]、四川^[10]、新疆^[18]、涘河流域等地^[19]，即总体上看，广东省降水集中度相对较低但变化幅度大；PCD 总体上变化较为稳定，仅以 0.003 2/10a 的速度上升；气温突变前，PCD 多年平均值低于常年平均值，即集中度弱于常年，且以 -0.018 8/10a 的速度下降；气温突变后，PCD 多年平均值高于常年平均值，即集中度强于常年，但亦以 -0.028 9/10a 的速度下降，且下降速度大于突变前。

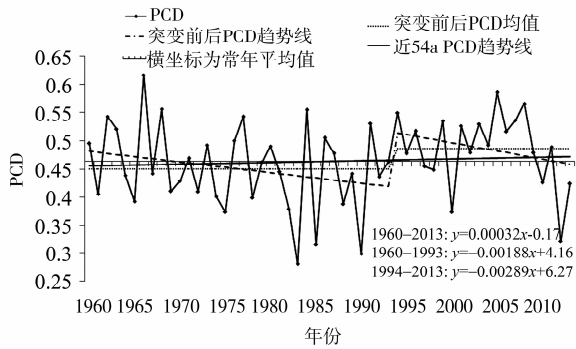


图 5 1960-2013 年广东省 PCD 变化趋势

Fig. 5 The variation of precipitation concentration degree in Guangdong from 1960 to 2013

近 54 a 广东省 PCD 总体上较为稳定, 有微弱上升趋势, 但气温突变前后均呈现下降趋势, 造成这种现象是由于 PCD 在突变年 (1993 年) 前后发生转变, 由低值转向高值, 突变前的 34 a 和突变后的 20 a 都是由降水集中向分散转变, 存在一定的周期性变化, 即集中-分散-集中-分散, 经周期性变化而导致两时段呈下降趋势但整体稳定或略有上升的现象。

2.1.4 PCP 时间变化趋势 对广东省近 54 a 降水集中期 (PCP) 进行分析 (图 6), 1960-2013 年广东省降水集中在 6-7 月, 6 月最多, PCP 常年平均值为 175.87, 即第 36 候 (即 6 月第 6 候), 集中时期比大部分地区要早^[3,4,6,8-14,18-19], 比广西 (广西为第 33 候^[7]) 要略晚, 即广东省降水集中期较早; PCP 总体上呈下降趋势, 下降速度为 $-0.96/10a$, 即降水集中时间有提前的趋势; 气温突变前, PCP 多年平均值低于常年平均值, 且以 $-7.06/10a$ 的速度明显下降 (通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验); 气温突变后, PCP 多年平均值高于常年平均值, 并以 $-4.11/10a$ 的速度下降, 但下降速度比突变前有所减缓。

近 54 a 广东省 PCP 总体上亦较为稳定, 有微弱下降趋势, 即降水集中时间提前; 气温突变前, 降水集中时间早于常年, 且有提前的趋势; 气温突变后, 降水集中时间推后, 但亦呈现出提前的趋势。

此外, 由于在突变年 PCP 亦出现跳值, 出现类似于 PCD 的变化趋势, 即经历“晚-早-晚-早”的周期性变化而导致整体稳定或略有下降的现象。

广东省 PCD 和 PCP 均为“总体稳定, 内部波

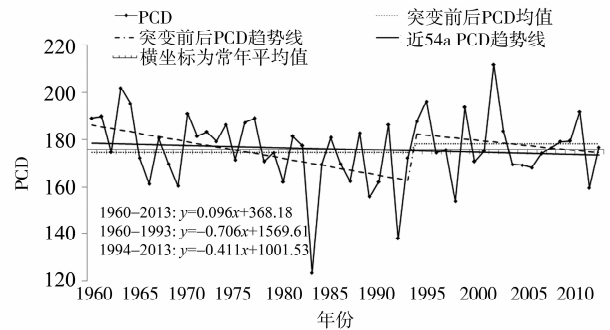


图 6 1960-2013 年广东省 PCP 变化趋势

Fig. 6 The variation of precipitation concentration period in Guangdong from 1960 to 2013

动”的变化趋势。总体上看, 近 54 a 广东省 PCD 增加而 PCP 下降, 即降水更早更集中, 但变化幅度较小; 气温突变前后时段上看, PCD 和 PCP 变化趋势保持较好一致性, 突变前 PCD 和 PCP 多年平均值都低于常年平均值, 突变后两者都高于常年平均值, 突变前和突变后 PCD 和 PCP 均为下降趋势, 但 PCD 下降幅度增大, PCP 下降幅度有所减缓。

值得意的是, 季节性降水量与 PCD、PCP 的变化趋势具有一定的响应关系, 主要表现在: 夏季降水量变化趋势与 PCD、PCP 变化趋势保持较好的一致性。气温突变前, 夏季多年平均降水量低于常年平均值, PCD、PCP 的多年平均值则低于常年平均值, 气温突变后, 夏季多年平均降水量高于常年平均值, PCD、PCP 的多年平均值则高于常年平均值; 气温突变前和突变后, 夏季降水倾向率与 PCD、PCP 均为负。

气温突变后, 春季降水量的增加和夏季降水量的减少是导致降水趋于均匀、降水集中时间提前的主要原因。

2.1.5 相关性分析 为分析广东省近 54 a 气温、降水量、PCD 以及 PCP 之间的相互关系, 对其进行相关性分析 (表 1)。气温与降水量、PCP 相关性较低, 而与 PCD 存在低度正相关, 即气温越高, 降水更集中, 反之, 气温越低, 降水越分散; 降水量与 PCD 存在明显的中低度负相关, 而与 PCP 亦存在低度负相关, 即降水量越多, 降水越分散, 集中时期越提前, 反之, 降水量越少, 降水越集中, 集中时期越推后; PCD 与 PCP 存在明显的低度正相关, 即降水越集中, 集中时期越晚, 降水越分散, 集中时期越早。

表 1 广东省气温、降水量、PCD 和 PCP 相关系数及变异系数¹⁾

Table 1 Correlations and coefficient of variation between air temperature, precipitation, PCD and PCP in Guangdong

	相关系数				变异系数		
	气温	降水量	PCD	PCP	1960 - 2013	1960 - 1993	1994 - 2013
气温	1	-0.013	0.266	0.029	0.020 0	0.014 8	0.016 4
降水量		1	-0.300 *	-0.257	0.146 4	0.140 5	0.159 1
PCD			1	0.280 *	0.158 1	0.163 0	0.139 9
PCP				1	0.084 0	0.089 1	0.074 5

1) 带 * 为通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验

此外，北方地区的降水量与 PCD 和 PCP 一般呈正相关关系^[3,6,11,13,17]，而广东省降水量与 PCD 和 PCP 均呈负相关关系，并且降水量与 PCD 为显著正相关，说明广东省降水量与 PCD 和 PCP 的相关关系与北方地区有一定差异。

2.1.6 稳定性分析 运用变异系数对广东省气温、降水量、PCD 以及 PCP 的稳定性进行分析（表 1）。1960 - 2013 年广东省气温、降水量、PCD 和 PCP 的变异系数均不超过 0.2，表明广东省气温、降水量、PCD 和 PCP 是较为稳定的。其中，气温和 PCP 变异系数不足 0.1，即气温和 PCP 较为稳定，而降水量和 PCD 变异系数相对较大，即降水量和 PCD 存在一定的波动性；气温与降水量均为突变前的变异系数低于常年值，突变后的变异系数高于常年值，且突变后变异系数比突变前有所增大，即突变后波动性增强；而 PCD 与 PCP 则恰好与之相反，突变前的变异系数高于常年值，突变后的变异系数低于常年值，且突变后变异系数比突变前有所减小，即突变后波动性减弱。

由此得出，近 54 a 广东省气温、降水量、PCD 和 PCP 是较为稳定的，降水量和 PCD 存在一定波动性，气温和降水量变化较为一致且波动性趋于增强，PCD 和 PCP 变化较为一致且波动性趋于减弱。

2.2 空间变化趋势

2.2.1 降水量空间变化趋势 近 54 a 广东省降水量以珠三角地区为高值中心，向周边地区逐渐递减，阳江为最大值中心，南雄、五华 - 梅县为最小值中心（图 7a）；广东省大部分地区的降水倾向率为正值，广州和阳江为最大值中心，高要 - 广宁 - 佛冈、河源 - 梅县为负值，佛冈为最小值中心，即广东省大部分地区降水增多，而高要 - 广宁 - 佛冈、河源 - 梅县降水减少（图 7b）。

2.2.2 PCD 与 PCP 空间变化趋势 多水年即多于常年平均降水量的年份，少水年即少于常年平均降

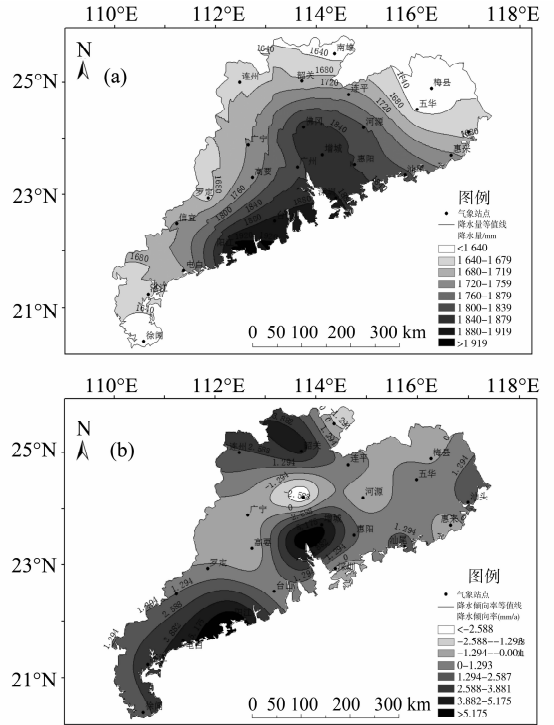


图 7 1960 - 2013 年广东省降水量 (a) 和降水倾向率 (b) 空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of precipitation (a) and precipitation tendency rate (b) in Guangdong from 1960 to 2013

水量的年份，采用合成分析法对近 54 a 广东省多水年、少水年的 PCD 和 PCP 空间变化趋势进行分析，分别对近 54 a 降水最多和最少的前 5 a 即最大多水年和最小少水年、突变前后的多水年、少水年的 PCD 差值和 PCP 差值进行分析。

1) 最大多水年、最小少水年 PCD 和 PCP 空间变化趋势。近 54 a 无论是最大多水年还是最小少水年，PCD 与 PCP 都呈现较好的纬向变化，自南向北逐渐递减，亦呈现出由沿海向内陆逐渐递减的变化（图 8），且从相似系数来看，其空间变化均保持着高度的一致性（表 2）。

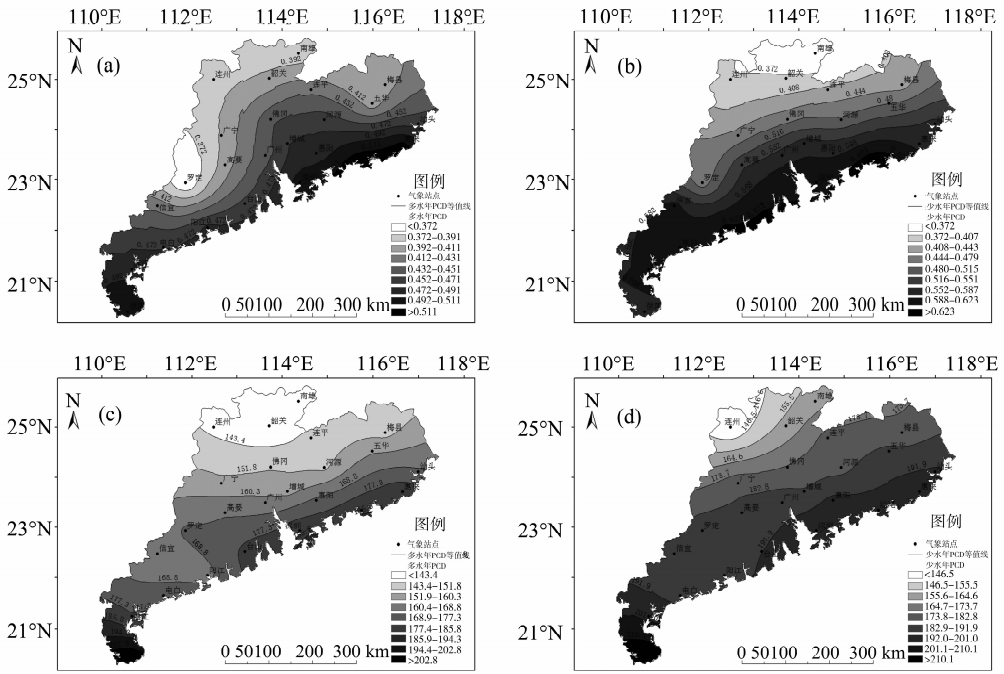


图 8 广东省最大多水年、最小少水年 PCD 和 PCP 合成分析

Fig 8 Synthetic analysis of PCD and PCP during maximum wet years and minimum dry years in Guangdong (a) 为最大多水年 PCD, (b) 为最小少水年 PCD, (c) 为最大多水年 PCP, (d) 为最小少水年 PCP

表 2 广东省最大多水年、最小少水年 PCD 和 PCP 相似系数

Table 2 Similarity coefficient between air temperature, precipitation, PCD and PCP in Guangdong

	多水年 PCD	少水年 PCD	多水年 PCP	少水年 PCP
多水年 PCD	1	0.993 051	0.994 059	0.994 075
少水年 PCD		1	0.994 053	0.993 127
多水年 PCP			1	0.998 829
少水年 PCP				1

最大多水年和最小少水年, 全省除沿海地区的 PCD 和 PCP 高于常年平均值, 大部分地区低于常年平均值, 即沿海地区降水较为集中和较为提前, 而大部分地区降水较为分散和较为推后。

2) 突变前后多水年、少水年 PCD 和 PCP 空间变化趋势。为更好反映出气温突变前后, 广东省的 PCD 和 PCP 的空间变化, 采用突变前后的 PCD 和 PCP 的差值 (即突变后的值 - 突变前的值), 其可以更直观地看出突变后的上升或下降趋势 (图 9)。

从空间变化走向看, 广东省 PCD 和 PCP 均呈现出纬向变化, 这与降水量、最大多水年 PCD 和 PCP、最小少水年 PCD 和 PCP 的空间变化走向较为一致。其中, 多水年 PCD 差值和少水年 PCP 差值由沿海向内陆逐渐递减, 少水年 PCD 差值大致

自北向南递减, 多水年 PCP 差值由内陆向沿海递减。

从空间分布看, 广东省大部分地区 PCD 和 PCP 为正值, 即降水更集中和集中期推后。其中, 多水年的 PCD 仅北部地区 (南雄 - 连平 - 五华 - 梅县) 减小, 其余大部分地区均增大, 即北部地区降水量更分散, 而绝大部分地区特别是沿海地区降水量更集中, 而 PCP 则仅南部地区 (罗定 - 阳江 - 电白 - 湛江 - 徐闻) 减小, 其余大部分地区均增大, 即南部地区降水集中时期提前, 大部分地区降水集中时期推后; 少水年的 PCD 仅罗定、高要、汕头减小, 其余绝大部分地区均增大, 即罗定、高要、汕头降水量更分散, 绝大部分地区降水量更集中, 而 PCP 则全省均为增大, 即全省的降水集中时期推后。

由此得出, 总体上看, 气温突变后, 广东省大部分地区降水量更集中和集中期推后, 并保持一定的纬向变化。

3 讨论

本研究主要是基于 PCD 和 PCP 探讨广东省降水量时空分配均匀性与气候突变存在何种响应关系。

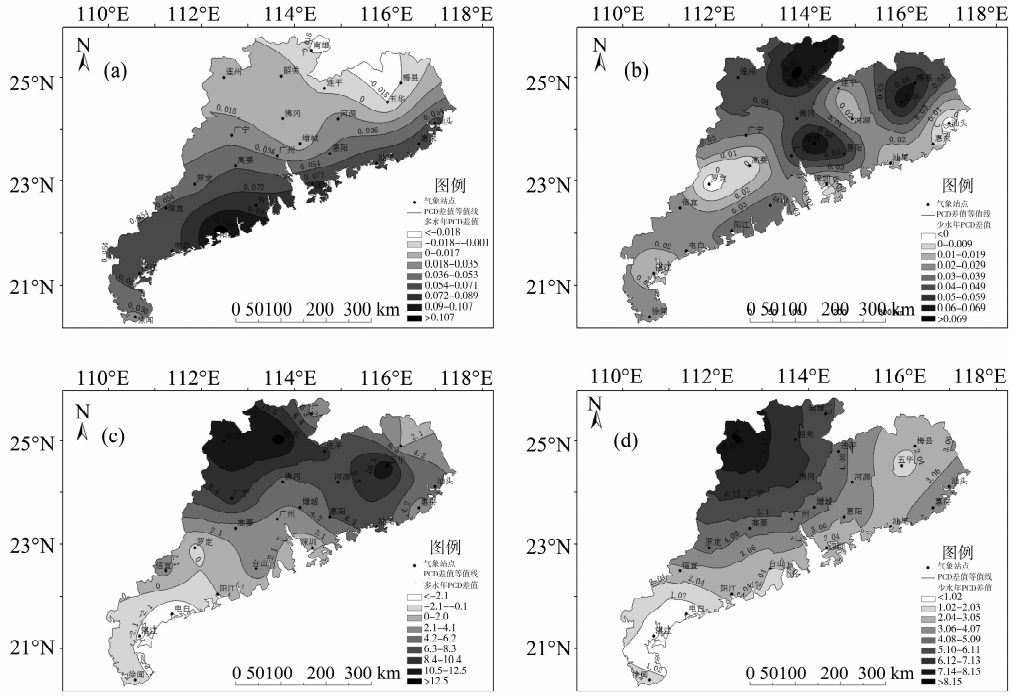


图 9 广东省多水年、少水年 PCD 差值和 PCP 差值空间分布

Fig. 9 Spatial distribution of PCD and PCP frequency during wet years and dry years in Guangdong

(a) 为多水年 PCD 差值, (b) 为少水年 PCD 差值, (c) 为多水年 PCP 差值, (d) 为少水年 PCP 差值

通过分析发现,在气温突变后,广东省由暖湿化逐渐转变为冷干化,并且降水量更集中和集中期更晚,但降水量趋于集中和集中期推后;与其他地区对比,广东省的降水量较为均匀但集中期较早;此外,广东省的降水量与 PCD、PCP 为负相关,这又与北方地区存在一定的差异^[3,6,11,13,17]。

春季、夏季降水量是影响广东省降水量均匀性的主导因素。气温突变后,春季降水量的增加以及夏季降水量的减少是导致降水量趋于均匀、降水集中时间提前的主要原因。其中,夏季降水量对降水量均匀性和集中期影响程度更大,这与广东省的亚热带季风性气候的降水特征及热带气旋的影响等是一致的。

尽管气温突变后,广东省大部分地区降水量更集中和集中期推后,但由于 PCD 和 PCP 趋于减弱及变化波动性趋于减弱,即降水分配趋于均匀和稳定,一定程度上有利于防旱抗汛。

本研究主要是探讨气温、降水量、PCD 和 PCP 的时空变化趋势及其有关响应关系,但对其响应机制或影响因素未进行深入探讨,如 PCD、PCP 与北极涛动、东亚夏季风的相关性等^[5],在今后的研究工作中应对其进行深入分析。

4 结 论

本研究通过对近 54 a 广东省气温、降水量、PCD 和 PCP 的时空变化趋势进行分析,探讨在气候变暖和气温突变的背景下,广东省降水量对气温变化的响应,得出以下结论:

- 1) 近 54 a 广东省总体上呈暖湿化,而气温突变后,逐渐转变为冷干化。
- 2) 季节性降水量与 PCD、PCP 的变化趋势存在很好的响应关系。夏季降水量与 PCD、PCP 的变化趋势保持很好的一致性;气温突变后,春季降水量的增加以及夏季降水量的减少是导致降水趋于均匀、降水集中时间提前的主要原因。
- 3) 近 54 a 广东省 PCD 为 0.281 ~ 0.616,常年平均值为 0.464,降水量相对较均匀但变化幅度大,经“集中 - 分散 - 集中 - 分散”的周期性变化而保持总体稳定,有微弱上升趋势,气温突变后,降水量更集中但趋于分散;
- 4) 近 54 a 广东省降水集中于 6 - 7 月,PCP 常年平均值为 175.87 (6 月第 6 候),集中期较早,经“晚 - 早 - 晚 - 早”的周期性变化而保持总体稳定,略有下降的趋势,气温突变后,降水集中时期推后但趋于提前;
- 5) 广东省气温、降水量、PCD 和 PCP 存在一

定的相关关系, 且与北方地区有一定差异。其中, 气温与 PCD 为正相关, 降水量与 PCD 和 PCP 为负相关, PCD 与 PCP 为正相关。

6) 近 54 a 广东省气温、降水量、PCD 和 PCP 较为稳定, 波动性较小; 气温突变后, 气温和降水量波动性趋于增强, PCD 和 PCP 波动性趋于减弱。

7) 近 54 a 广东省降水量以珠三角地区为高值中心, 向周边地区逐渐递减, 除高要 - 广宁 - 佛冈、河源 - 梅县降水减少以外, 大部分地区降水量趋于增加。

8) 最大多水年和最小少水年, 广东省 PCD 与 PCP 呈现自南向北递减的纬向变化和自沿海向内陆递减变化, 且空间变化保持高度的一致性; 沿海地区降水较为集中和较为提前, 而大部分地区降水较为分散和较为推后。

9) 气温突变后, 广东省大部分地区降水量更集中和集中期推后, 并保持一定的纬向变化。

参考文献:

- [1] ZHANG L J, QIAN Y F. Annual distribution features of precipitation in China and their interannual variations [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2003, 17 (2): 146 - 163.
- [2] 张录军, 钱永甫. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究[J]. *地球物理学报*, 2004, 47(4): 622 - 630.
- [3] 张运福, 胡春丽, 赵春雨, 等. 东北地区降水年内分配的不均匀性[J]. *自然灾害学报*, 2009, 18(2): 89 - 94.
- [4] 陆志华, 夏自强, 于岚岚, 等. 1958 - 2009 年松花江流域降水时空演变特征[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(6): 990 - 1000.
- [5] 杨金虎, 王鹏祥, 白虎志, 等. 中国西北降水年内非均匀性特征分析[J]. *气候变化研究进展*, 2007, 3(5): 276 - 281.
- [6] 刘宪锋, 任志远, 张翀, 等. 1959 - 2008 年黄土高原地区年内降水集中度和集中期时空变化特征[J]. *地理科学进展*, 2012, 31(9): 1157 - 1163.
- [7] QIN W J, WANG Y Q, QIN Z N. Study on variation characteristics of precipitation concentration degree in Guangxi under the background of global climate becoming warm [J]. *Meteorological and Environmental Research*, 2010, 1(5): 17 - 21.
- [8] 王胜, 石磊, 谢五三, 等. 基于降水集中度方法的安徽省主汛期降水时空特征分析[J]. *中国农业气象*, 2010, 31(4): 507 - 511.
- [9] 曹永强, 路璐, 张亭亭, 等. 基于降水集中度和集中期的浙江省降水时空变化特征分析[J]. *资源科学*, 2013, 35(5): 1001 - 1006.
- [10] 朱丹, 肖天贵, 谌芸. 四川地区 1960 年 - 2004 年降水集中程度研究[J]. *资源科学*, 2010, 32(10): 1910 - 1917.
- [11] LI X M, JIANG F Q, LI L H, et al. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. *Int J Climatol*, 2011, 31(11), 1679 - 1693.
- [12] 刘文莉, 张明军, 王圣杰, 等. 1960 - 2011 年陕西省年内降水分配非均匀性特征及预测[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(7): 1877 - 1887.
- [13] 戴廷仁, 陆忠艳, 李广霞, 等. 近 46 年辽宁省降水集中程度研究[J]. *气象*, 2007, 33(1): 32 - 37.
- [14] 张天宇, 程炳岩, 王记芳, 等. 华北雨季降水集中度和集中期的时空变化特征[J]. *高原气象*, 2007, 26(4): 843 - 853.
- [15] 张金玲, 王冀, 邹菊香, 韩照宇. 广东地区后汛期降水集中度和集中期特征[J]. *气象科技*, 2011, 04: 401 - 407.
- [16] 马淑红, 张学文. 新疆年降水变差系数的若干规律性[J]. *气象学报*, 1991, 49(1): 39 - 45.
- [17] 史培军, 孙劭, 汪明, 等. 中国气候变化区划(1961 ~ 2010 年) [J]. *中国科学: 地球科学*, 2014, 44: 2294 - 2306.
- [18] 张林梅, 庄晓翠, 胡磊, 等. 新疆阿勒泰地区汛期降水集中度和集中期的时空变化特征[J]. *中国农业气象*, 2009, 30(4): 501 - 508.
- [19] 李远平, 杨太保, 马建国. 渭河流域汛期降水集中度和集中期的变化特征[J]. *资源科学*, 2012, 34(3): 418 - 423.