

# 珠江流域降水周期特征分析

陆文秀<sup>1</sup>, 刘丙军<sup>1,2</sup>, 陈晓宏<sup>1,2</sup>, 伍丽丽<sup>1</sup>

(1.中山大学地理科学与规划学院水资源与环境系,广东 广州 510275;  
2.华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室,广东 广州 510275)

**摘要:**运用小波分析方法,研究了珠江流域全年、汛期(4~9月)和非汛期(10~翌年3月)三种降水序列时间周期演变特征,结果表明:(1)珠江流域不同区域降水周期不一,大体可分成三个片区,周期尺度分别为6~8a、12~14a和20~21a;(2)珠江流域全年与汛期降水周期以年际变化为主,且两者降水周期分布一致;非汛期降水周期以年代际变化为主,与全年及汛期的降水周期差异较大。

**关键词:**珠江流域;降水周期;小波分析

中图分类号:P426.6

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2013)02-0082-05

## 1 引言

全球气候变化影响下,流域水文循环明显加快,降水、蒸发等水文要素时空分布演变规律愈益复杂。近年,国内外学者对气候变化下珠江流域降水演变特征进行了诸多研究,并取得一系列成果。Yang Tao等<sup>[1]</sup>根据地形及平均降水量的空间分布特征,将珠江流域划分为6个区;刘艳群等<sup>[2]</sup>研究发现珠江流域汛期降水存在2~3a、6~7a及14a左右的周期特征;张峰等<sup>[3]</sup>研究表明珠江流域枯水期降水存在约2a、6a、13a、30a的主周期,其中以13a、30a的周期变化最为显著;王兆礼等<sup>[4]</sup>研究发现珠江流域年降水序列存在明显的11a、20a、14a以及8a的周期变化;苗娟等<sup>[5]</sup>研究发现华南地区降水存在着3a、8a、11a多层次的准振荡周期,在高层次变化里,也存在一个24a周期变化。

上述各类研究,因研究对象或采取方法不同,得到的珠江流域降水时间演变特征也不尽相同,但按照不同季节研究珠江全流域降水时间演变特征的成果尚不多见。为更深入分析珠江流域降水时间规律,运用小波分析方法,选取珠江流域62个站点1959~2009年全年、汛期(4~9月)和非汛期(10~翌年3月)三种逐月降水序列,研究该流域不同降水季节的周期演变特征,

并根据三种降水序列下各站点降水周期空间分布特征,进行了珠江流域降水周期相似区域划分。研究成果可为科学揭示变化环境下珠江流域水文要素演变规律,实现流域水资源可持续利用提供重要理论和实践依据。

## 2 珠江流域概况及数据处理

珠江流域位于东经102°14'~115°53',北纬21°31'~26°49'之间,西起云贵高原、北起南岭山地,经两广丘陵、珠江三角洲入南海。该流域地处低纬季风地区,地域广大,气候复杂,大部分地区属于亚热带湿润气候,北部为中亚热带湿润气候,西部滇南河谷为北热带湿润气候。流域温和多雨,多年平均温度在14~22℃之间,降水空间分布差异明显,总体呈东多西少变化趋势,多年平均年降水量在1200~2200mm之间。考虑到降水空间分布的整体性,本次将广西东南部、广东东部和西南部及海南岛一并纳入研究。

本文研究采用的数据源于中国气象信息中心。研究区域内共有83个国家气象站点,在各观测站点记录中,资料最长站点记录年限为1951~2009年,资料最短站点记录年限仅为2000~2009年。按照样本一致性、代表性及可靠性要求,保证样本序列有完整的水文变化周期,丰、平、枯段分布合理,最终选择经过质量控

收稿日期:2012-03-30

基金项目:国家自然科学基金项目(50909106);教育部青年教师培育项目(3161399);广东省科技计划项目(2011B0308 00008)

作者简介:陆文秀(1986-),女,山西朔州人,硕士研究生,主要从事水循环演变分析。E-mail:846580064@qq.com

通讯作者:刘丙军(1976-),男,湖南益阳人,副教授,博士,从事水资源系统分析研究。E-mail:liubj@mail.sysu.edu.cn

制且无缺测值的 62 个站点地面逐月降水观测资料,序列长度为 51a (1959~2009 年)。在进行降水周期分析时,为减少降水趋势项的影响,分别对全年、汛期和非汛期降水序列进行了距平化处理<sup>[6]</sup>。流域内地形条件、站点分布及多年平均年降水情况见图 1。

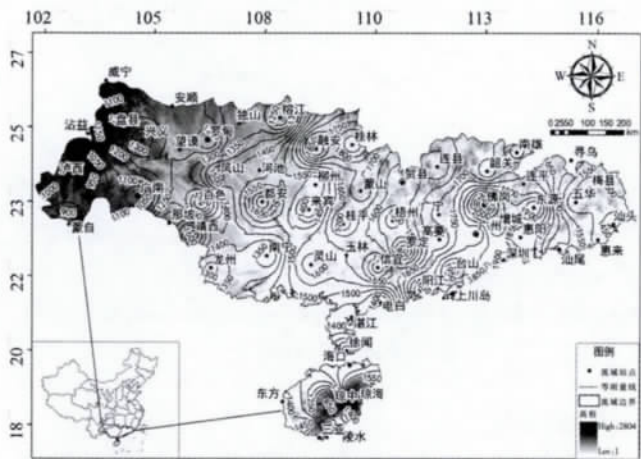


图 1 珠江流域雨量观测站点及多年平均年降雨等值线图  
Fig.1 The contour of mean precipitation of the hydrological stations in the Pearl River basin

### 3 分析方法

为揭示珠江流域降水周期演变特征,按照降水季节变化,分别研究了珠江流域 62 个站点 1959~2009 年的全年、汛期(4~9 月)和非汛期(10 月~翌年 3 月)三种逐月降水序列的周期演变特征。并根据不同降水序列流域各站点降水周期空间分布特征,进行了降水周期相似区域划分。

本文选用小波分析方法进行珠江流域降水时间序列周期分析计算。小波分析<sup>[7]</sup>是一种窗口大小固定但形状可变(时宽和频宽可变)的时频局部化分析方法,在水文系统多时间尺度分析中有较为明显的优势。对于  $f(t) \in L^2(R)$ ,连续小波变换为:

$$W_f(a,b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \left| \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \right| \quad (1)$$

式中:  $W_f(a,b)$  为  $f(t)$  在相平面  $(a,b)$  处的小波变换系数;  $a$  为尺度因子或频率因子,反映小波的周期长度;  $b$  为时间因子,反映在时间上的平移。

小波分析的核心在于小波函数的选取,小波函数有多种,本文采用 Morlet 小波,其定义为:

$$\psi(t) = e^{ict} e^{-t^2/2} \quad (2)$$

式中:  $c$  为常数且当  $c \geq 5$  时 Morlet 小波就能近似满足允许性条件。取  $c=6.2$ , Morlet 小波伸缩尺度  $a$  和周期  $T$  有如下关系:

$$T = \left( \frac{4\pi}{c + \sqrt{2+c^2}} \right) * a \quad (3)$$

将时间域上的关于  $a$  的所有小波变化系数的平方进行积分,即小波方差:

$$Var(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |W_f(a,b)|^2 db \quad (4)$$

小波方差能够直观的看出波动能量随尺度的分布情况,进而确定水文序列(本文指珠江流域全年、汛期及非汛期逐月降水序列)的周期。

## 4 结果分析

### 4.1 全年降水序列周期分析

运用 Morlet 小波,对 1959~2009 年逐月降水距平序列进行周期分析,根据小波方差图确定珠江流域各站点周期,见图 2。分析图 2,珠江流域各站点全年降水周期不完全一致,整体呈现由南向北、由西向东、由内陆向沿海逐渐减小的趋势,且沿海地区周期年际特征显著。流域内各站点降水主要有三种周期时间尺度,分别是 6~8a、12~14a 以及 20~21a。根据流域内各站点降水周期空间分布特征,大致可将珠江流域降水周期划分成三个相似区域,即 区(6~8a)、区(12~14a)和区(20~21a)。

(1) 区降水周期为 6~8a,主要分布在广东东部沿海地区、广西东南部以及海南岛。该区降水周期具有较强的年际特征,与其地理位置、地形条件以及所处中小尺度的天气循环系统有关。区背山面海,处在东南暖湿气流的迎风面,受副热带高压、东南暖湿气流、热带气旋及台风的影响较大,雨量充沛,多年平均年降水量达到 1 600mm。肖莞生等<sup>[8]</sup>在研究广东沿海地区降水变化特征时,发现区内三个沿海城市具有 7.8a 和 11a 的降水周期,与本次研究结果保持一致。

(2) 区降水周期为 12~14a,主要分布在云南、贵州以及广西中部区域。该区降水周期具有较强年际特征,与该区所处地形条件、气流条件等因素有关。

区处在云贵高原及桂、粤丘陵区,区内有云雾山、云开大山、凤凰山等山脉纵横交错,在地形及山脉的屏障作用下,冷空气入侵减弱,副热带高压影响减小,降水相对较少,多年平均年降水量为 1 270mm。王

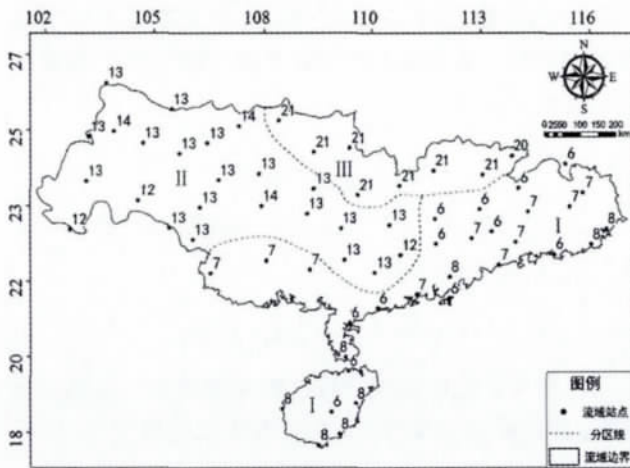


图2 珠江流域全年降雨周期分布图

Fig.2 The period distribution of annual precipitation in the Pearl River basin

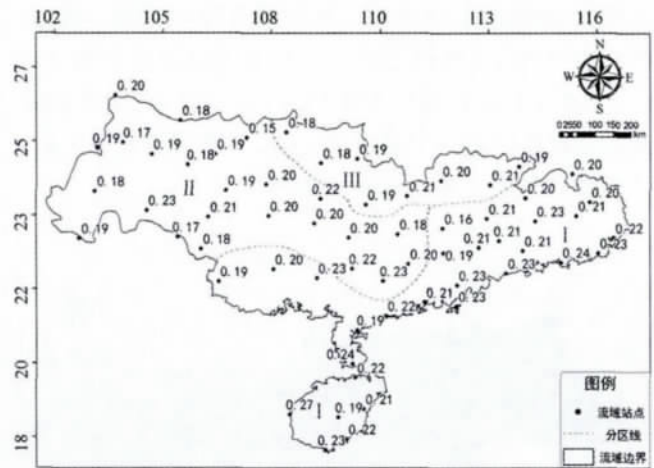
图3 珠江流域全年降水  $C_v$  值分布图

Fig.3 The coefficients of variation distribution of annual precipitation in the Pearl River basin

兆礼等<sup>[4]</sup>在研究珠江流域降水的时空演变时,发现该区存在 11a 及 14a 的降水周期,与本文研究结果保持一致。

(3) 区降水周期为 20~21a,主要分布在广西北部及广东东北部。区降水周期与区和区完全不同,存在较强年代际特点,主要与该区所处地形、气候等条件有关。该区位于南岭山脉南侧,九万大山及海洋山北部,受长江中下游地区季风气候影响较大,经由湘桂走廊和北江谷地入侵的北方冷空气,常与华南静止锋在南岭一带相遇,成云致雨,区内降水充足,多年平均年降水量达 1 620mm。苗娟等<sup>[5]</sup>研究表明,长江中下游地区存在 22a 的降水周期,这与本文研究结果一致。

分析珠江流域各站点逐月降水系列  $C_v$  值空间分布特征,见图 3。降水  $C_v$  值反映了降水序列的离散程度,若降水序列  $C_v$  值越大,表明降水时间离散程度也大,则其降水时间周期相应偏小。分析图 3,三个降水相似区降水  $C_v$  值与其时间周期呈较好的负相关关系。其中,区降水  $C_v$  值较大,大部分在 0.21~0.24 之间,其降水周期相对较小,为 6~8a;区降水  $C_v$  值介于 0.19~0.22 之间,降水周期为 12~14a;区  $C_v$  值最小,介于 0.18~0.20 之间,其降水周期较大,达到 20~21a。

#### 4.2 汛期降水序列周期分析

珠江流域降水年内分布极不均匀,汛期(4~9月)降水量超出全年降水量的 75%以上。运用 Morlet 小波,分析珠江流域 62 个雨量站汛期降水周期空间分布

特征,见图 4。

(1)珠江流域汛期降水主要服从三种时间尺度,分别为 6~8a、12~14a 和 19~21a。珠江流域汛期降水周期空间分布与全年降水一致,具有较强空间相似性,汛期降水同样可划分成三个降水周期相似区,分别为区(6~8a)、区(12~14a)和区(19~21a)。研究结果与刘艳群<sup>[2]</sup>、黄雪松<sup>[9]</sup>等对珠江流域汛期降水的研究结果保持一致。

(2)统计珠江流域各站点汛期降水周期与全年降水周期特征,流域内 82%的降水站点两者完全一致,剩余 18%的降水站点两者比较接近,降水周期差异不超过 2 年。由于珠江流域汛期降水超出全年降水总量的 75%,全年降水周期和汛期降水周期基本一致,表明汛期降水决定了全年降水周期特征。

(3)分析汛期降水  $C_v$  值空间分布特征,见图 5。各站点汛期降水  $C_v$  值略高于全年降水  $C_v$  值,且汛期降水  $C_v$  值与其降水周期存在较好的负相关关系。其中,区降水  $C_v$  值大部分在 0.22~0.29 之间,其降水周期相对较小,为 6~8a;区降水  $C_v$  值大多介于 0.21~0.25 之间,其降水周期为 12~14a;降水  $C_v$  值较小,为 0.21~0.24,其降水周期较大,达到 19~21a。

#### 4.3 非汛期降水序列周期分析

珠江流域非汛期降水较少,约占全年降水量的 25%。运用 Morlet 小波分析方法,分析珠江流域 62 个雨量观测站非汛期(10月~翌年 3月)降水周期特征见图 6。





图4 珠江流域汛期降雨周期分布图

Fig.4 The period distribution of flood season precipitation in the Pearl River basin

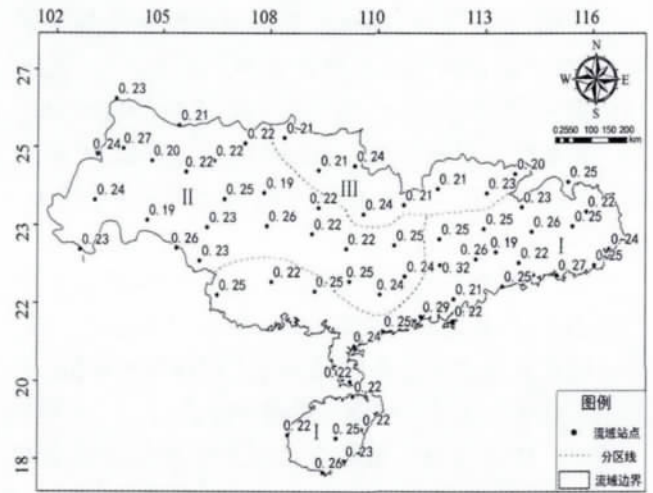


图5 珠江流域汛期降水 Cv 值分布图

Fig.5 The coefficients of variation distribution of flood season precipitation in the Pearl River basin



图6 珠江流域非汛期降雨周期分布图

Fig.6 The period distribution of non-flood season precipitation in the Pearl River basin

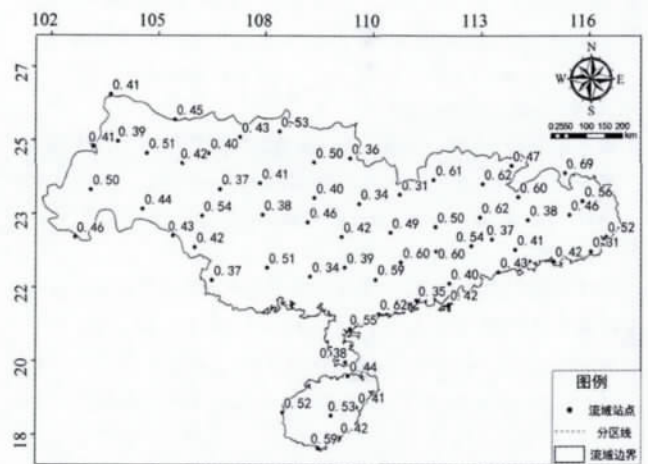


图7 珠江流域非汛期降水 Cv 值分布图

Fig.7 The coefficients of variation distribution of non-flood season precipitation in the Pearl River basin

(1)珠江流域各站点非汛期降水周期差异较大,主要有 7a、16a、29a 和 41a 等多种周期成分。除沿海地区降水周期以年际特征为主外,其余地区降水周期均以年代际特征为主。非汛期降水周期普遍大于全年或汛期降水周期,表明非汛期降水过程相对稳定。

(2)流域各站点非汛期降水周期空间分布比较凌乱,长周期与短周期交替出现,没有明显的分区特征。统计 62 个站点非汛期降水周期和全年降水周期一致性,流域仅有 5 个站点的非汛期降水周期与全年降水周期相同,其余 57 个站点两者差异较大,表明珠江流域非汛期降水周期与全年降水周期不一致,非汛期降

水对全年降水周期影响不大。

(3)分析非汛期降水  $C_v$  值空间分布情况,见图 7。各站点非汛期降水  $C_v$  值与其降水周期存在较好负相关关系,大部分非汛期降水长周期站点,其  $C_v$  值相对较小,反之亦然。

## 5 结论

利用珠江流域 62 个站点 1959~2009 年的逐月降水资料,按照降水季节分成全年、汛期及非汛期三种降水序列,研究了该流域降水周期分布特征,得到以下主要结论:

(1)受地形条件、地理位置以及大气环流等因素影响,珠江流域各站点全年降水周期分布不一,整体呈由南向北、由西向东、由内陆向沿海逐渐减小的趋势。根据珠江流域降水周期的空间分布特征,可将流域划分成三个降水周期相似区域,降水周期分别为6~8a、12~14a以及20~21a;

(2)珠江流域汛期降水超出全年降水总量的75%,各站点汛期降水周期与全年降水周期比较一致,在流域空间分布上亦形成三个降水周期相似区域,表明汛期降水决定了全年降水周期特征;

(3)珠江流域非汛期降水占全年降水的比重不大,各站点非汛期降水周期与全年差异较大,且各站点非汛期降水周期空间分布没有明显分区特征,表明非汛期降水对全年降水周期特征影响较小。

参考文献:

- [1] Tao YANG, Quanxi SHAO, Zhenchun HAO. Regional frequency analysis and spatial-temporal pattern characterization of rainfall extremes in the Pearl river basin, China [J]. Journal of Hydrology, 2010, 380(3-4):386-405.
- [2] 刘艳群,陈创实. 珠江流域汛期降雨的时间演变特征[J]. 人民珠江, 2007,4:47-51. (LIU Yanqun, CHEN Chuangshi. Pearl river basin flood season rainfall evolution characteristics [J]. Pearl River, 2007,4:47-51. (in Chinese))
- [3] 张峰,雷晓辉,蒋云钟,等. 珠江上游流域枯水期演变特征分析[J]. 水电能源科学,2012,30(2):9-12. (ZHANG Feng, LEI Xiaohui, JIANG Yunzhong, et al. Analysis of precipitation variation of low water season in upstream of Pearl river basin [J]. Water Resources and Power,2012,30(2): 9-12. (in Chinese))
- [4] 王兆礼,陈晓宏,张灵,等. 近40年来珠江流域降雨量的时空演变特征 [J]. 水文,2006,26 (6):71-75. (WANG Zhaoli, CHEN Xiaohong, ZHANG Ling, et al. Spatial-temporal characteristics of precipitation in the Pearl river in recent 40 years [J]. Journal of China Hydrology,2006,26(6):71-75. (in Chinese))
- [5] 苗娟,林振山. 我国9大气候区降雨特性及其物理成因的研究 [J]. 热带气象学报,2003,19 (4):377-388. (MIAO Juan, LIN Zhenshan. Study of the characteristics of the precipitation of nine regions in China and their physical causes [J]. Journal of Tropical Meteorology,2003,19(4):377-388. (in Chinese))
- [6] 李淼,夏军,陈社明,等. 北京地区近300年降雨变化的小波分析[J]. 自然资源学报,2011,26 (6):1001-1011. (LI Miao, XIA Jun, CHEN Sheming, et al. Wavelet analysis on annual precipitation around 300 years in Beijing area [J]. Journal of Natural Resources,2011,26 (6):1001-1011. (in Chinese))
- [7] 王文圣,丁晶,李跃清. 水文小波分析[M]. 北京:化学工业出版社,2005.(WANG Wensheng, DING Jin, LI Yueqing. Hydrology Wavelet Analysis[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2005. (in Chinese))
- [8] 肖莞生,陈子燊. 广东沿海降雨长期变化特征与极值分析[J]. 热带地理,2010,30(2):135-139. (XIAO Guansheng, CHEN Zishen. Analysis of the characteristics and extreme value of rainfall in three coastal cities of Guangdong province [J]. Tropical Georaphy,2010,30 (2):135-139. (in Chinese))
- [9] 黄雪松,况雪源,黄梅丽,等. 近百年广西汛期降水的诊断及预测[J]. 灾害学,2006,21 (1):43-47. (HUANG Xuesong, KUANG Xueyuan, HUANG Meili, et al. Diagnosis of the flood-season precipitation series in Guangxi during recent 100 years and experimental prediction [J]. Journal of Catastrophology, 2006,21(1):43-47. (in Chinese))

## Characteristics of Precipitation Period in Pearl River Basin

LU Wenxiu<sup>1</sup>, LIU Bingjun<sup>1,2</sup>, CHEN Xiaohong<sup>1,2</sup>, WU Lili<sup>1</sup>

(1. Department of Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** In this study, we analyzed the period change characteristics of three precipitation series in a year, flood season (from April to September) and non-flood season (from October to March of the following year) based on the methodology of wavelet transformation. The results show: (1) The periods are different in various regions in the Pearl River Basin. The Pearl River Basin can be categorized into three regions by the distribution characteristics of the period. The main period scales are as follows: 6 to 8 years, 12 to 14 years, and 20 to 21 years. (2) The period of the annual and flood season precipitation is mainly an inter-annual change, and the period distribution between the two is consistent. The inter-decadal variation of non-flood season period is the dominating pattern, and there is a large difference between the period of non-flood season precipitation and that of the annual and flood season.

**Key words:** Pearl River Basin; precipitation period; wavelet transformation