

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.05.006

莆田市降水量时空演变规律分析

刘 妞^{1,2}, 张仙娥¹, 仇亚琴², 刘 宁^{2,3}, 丁相毅²

(1. 华北水利水电大学 环境与市政工程学院, 郑州 450011; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 3. 河北农业大学 城乡建设学院, 河北 保定 071000)

摘要: 基于莆田市各站点降水量资料, 采用 Mann Kendall 秩次相关法、Mann Kendall 突变检验法以及 Morlet 小波分析法等, 从空间分布、变化趋势、突变性以及周期性等方面系统剖析了 57 年来莆田市及各分区降水的时空演变规律。结果表明: (1) 莆田市年降水量空间上呈现出由东南沿海向西北山区逐渐递增的分布规律, 57 年来绝大部分地区年降水呈不显著增加趋势; (2) 降水年内分配不均, 而年际变化相对稳定, 莆田市及各分区年降水大致经历了多雨少雨交替的 5 个阶段, 且年降水量在 1996 年-1998 年和 2003 年-2004 年间表现出突变性; (3) 莆田市及各分区年降水均具有 3 a、8 a、12 a、28 a 的主周期, 除忠门站的第一主周期为 22 a 外, 其余第一主周期均为 28 a。

关键词: 降水; 时空变化; Mann Kendall 突变检验; 小波分析; 莆田市

中图分类号: P426.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)05-0842-05

Spatial and temporal variations of precipitation in Putian City

LIU Niu^{1,2}, ZHANG Xiannu¹, QIU Yaqin², LIU Ning^{2,3}, DING Xiangyi²

(1. College of Environmental and Municipal Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of the River Basin Water Cycle, Beijing 100038, China; 3. College of Urban and Rural Construction, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China)

Abstract: Based on the precipitation data of each weather station in Putian City, the spatial and temporal variations of precipitation were systematically analyzed from the aspects of spatial distribution, variation trend, mutation and periodicity using the methods of Mann Kendall rank correlation method, Mann Kendall mutation test, and Morlet wavelet analysis. The results showed that (1) the spatial distribution of annual precipitation shows an increasing tendency from the southeastern coast to the northwestern mountains in Putian, and precipitation in most of the area has an insignificantly increasing trend in the past 57 years; (2) the inter annual precipitation distribution is not uniform while annual precipitation is relatively stable, annual precipitation shows five alternative stages with more rain and less rain in each district of Putian, and annual precipitation shows a mutation from 1996 to 1998 and from 2003 to 2004; and (3) annual precipitation in each district of Putian shows primary periodicities of 3 years, 8 years, 12 years, and 28 years, and the first primary periodicity is 28 years for all the districts except for Zhongmen station, which has the first primary periodicity of 22 years.

Key words: precipitation; spatial and temporal variations; Mann Kendall mutation test; wavelet analysis; Putian City

在全球性持续变暖的大背景下, 降水的区域变化格局也愈加不稳定。降水是地区水资源的主要来源和形成旱涝灾害的主要因子, 因此在全球气候变化的背景下研究和掌握区域降水时空演变规律, 不仅是评价气候变化和人类活动对区域水资源影响的基础工作, 而且也是做好防洪除涝和水资源合理配置管理的前提。

近年来, 对于全球以及区域降水特征的研究颇多。有不

少学者对福建省降水量的空间分布、年代际变化^[1-4]等进行了研究, 但却很少提及沿海和岛屿的区域降水量分布特征, 对年降水突变性和周期性也没有表述。本文采用莆田市各雨量站点长系列降水实际观测数据, 从空间分布、趋势性、突变性和周期性等方面系统全面的分析全市及其行政分区降水特征的时空演变规律, 并揭示该区域降水变化的整体特征和区域差异。研究成果对揭示莆田市水文要素演变规律, 辅

收稿日期: 2014-11-20 修回日期: 2015-08-18 网络出版时间: 2015-09-25

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150925.1235.005.html>

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目“水资源红线管理基础和监测统计考核体系研究”(201301001); 国家自然科学基金项目(51021066; 50939006; 51209224); 流域水循环模拟与调控国家重点实验室资助项目(2013ZY02, 2013QN02); 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB403404)

作者简介: 刘 妞(1989), 女, 河南商丘人, 主要从事水资源与水环境方面研究。E-mail: lnhs2015@163.com

助相关部门做好洪涝灾害防范应对措施,实现地区水资源合理利用、生态环境保护等具有重要的指导意义。

1 区域概况与研究方法

1.1 区域概况

莆田市位于东经 $118^{\circ}27' - 119^{\circ}2'$, 北纬 $25^{\circ}2' - 25^{\circ}46'$, 地处福建省沿海中部, 东濒海洋, 属于典型的亚热带海洋性季风气候区。夏无酷暑、冬无严寒、雨量充沛、气候湿润是莆田市气候的一大特点。

本文收集了莆田市 36 个雨量站点(图 1)长系列降水资料。在资料分析中,对部分站点资料不全的,采用与邻站相关法、频率分析插补方法等对缺测年份进行插补延长。

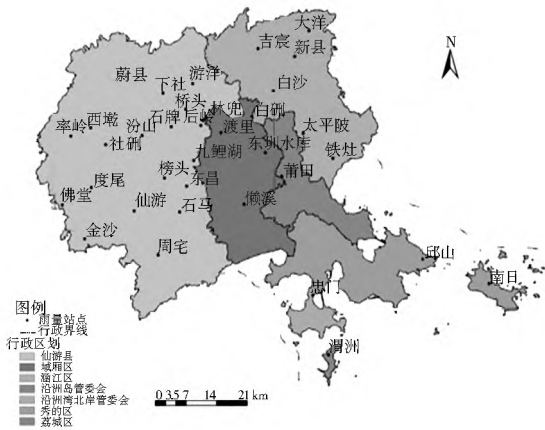


图 1 莆田市各行政区划及雨量站点分布

Fig. 1 The administrative division and distribution of precipitation stations in Putian City

1.2 研究方法

(1) 采用普通克里格方法^[57]对莆田市年降水进行空间插值。在 ArcGIS 环境下,对各个站点年降水系列采用普通克里格插值成连续的面状数据,再利用区域统计功能对历年不同时段降水分布图所有栅格加和求平均,得到区域不同时段降水量的逐栅格平均值(面均值),形成区域平均的降水时间序列,并绘制出了相应的空间分布图,进行年降水特征变化的区域差异分析。

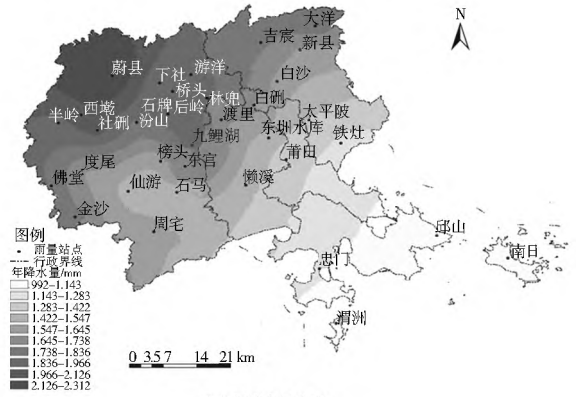
(2) 利用 Mann Kendall 秩次相关统计方法^[8,9](简称 M-K 秩次相关法)及突变点分析^[10]、Morlet 小波^[11]对莆田市年降水量的变化趋势、突变性及周期性进行分析。M-K 秩次相关法是目前得到广泛应用的非参数统计检验方法,本文用于检验莆田市年降水的长期变化趋势,另外利用 M-K 突变检验法来进行莆田市降水序列突变年份分析。小波分析是一种时间-频率分析方法,在时频两域能反映出序列的振幅、位相和功率的局部变化特征,本文采用 Morlet 小波分析方法对莆田市降水系列的周期性进行了分析。这些方法的具体原理和步骤可详见相关文献,在此不再详述。

2 降水变化的空间分布特征

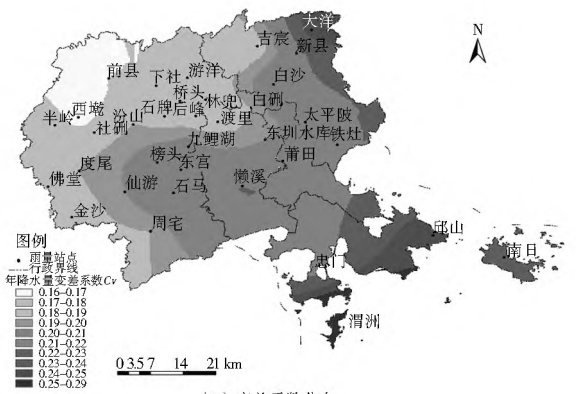
基于莆田市 36 个雨量站的 1956 年-2012 年降水量数据,经插值计算得到莆田市年降水空间分布(图 2(a)),可以看出莆田市降水量分布差异大,年降水量一般在 990~ 2 320 mm,

空间总体上的分布为自东南沿海向西北山区递增。莆田市多年平均降水量等值线基本上与地形高低相对应:年平均降水量在 2 000 mm 以上的区域均分布在仙游县西北部山区即半岭-西垵-前县一线区域;年平均降水量在 1 600~ 2 000 mm 之间的区域主要分布在仙游县中部及东北部、城厢区西部以及涵江区西北部;年平均降水量在 1 300~ 1 600 mm 之间的区域主要分布在仙游县南部、城厢区中东部、涵江区中东部、荔城区西部以及秀屿区西北部;年平均降水量小于 1 300 mm 的区域主要分布在涵江区东南部、荔城区东部以及秀屿区大部分地区。

年降水量变差系数 C_v 值(图 2(b))一般在 0.16~ 0.29,大部分地区在 0.18~ 0.22 之间,年降水量 C_v 值不大,年降水量较稳定。年降水量 C_v 值总体分布规律是从莆田市西北山区向东南沿海递增;半岭-西垵-前县一线区域的年降水 C_v 值最小;涵江区的新县-大洋、秀屿区的邱山-南日以及湄洲区域的 C_v 值最大。由此可知年降水较大的地区变差系数要小于年降水较小的地区,即年降水量越大,其不稳定性越小;而年降水量越小,其不稳定性越大。



(a) 年降水量分布



(b) 变差系数分布

图 2 莆田市年降水量及其变差系数空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of annual precipitation and its variation coefficient in Putian City

采用 M-K 秩次相关法对莆田市各雨量站点 57 年来年降水变化趋势的空间分布特征进行分析,结果见图 3(M-K 统计量 Z 代表年降水的增减趋势,负值表示减少趋势,正值表示增加趋势,数值绝对值越大,变化趋势越显著)。可以看出,年降水量增加趋势较大区位于白沙-白礁-东圳水库-濂溪一线区域,形成一个带状降水量高增区,降水量增加趋势由这个带状区域向两侧递减;除仙游县的社硎、九鲤湖、前县、

游洋以及秀屿区的邱山、南日等 6 个区域年降水量表现为减少趋势外(仅邱山通过 95% ($\alpha=0.05$) 显著性检验, 减少趋势显著), 其余站点年降水 Z 值均为正值, 表明年降水量呈增加趋势, 但显著程度不一, 其中只有白沙、东圳水库年降水量 Z 值通过了 95% 显著性检验, 增加趋势显著。总体来说, 莆田市绝大部分地区年降水呈增加趋势, 但不显著。

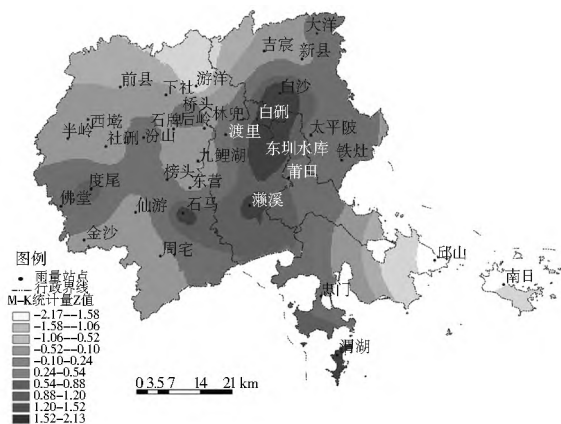


图 3 莆田市年降水量变化趋势空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of variation trend of annual precipitation in Putian City

3 降水变化的时间分布特征

3.1 年内分配特征

因雨量站点逐月降水资料收集有限, 本文只得出部分站点降水量月分配情况(图 4)。可以看出莆田市年内降水分配不均, 绝大部分地区年内降水量变化呈双峰型: 从 4 月起莆田市的降水明显增多, 5 月-6 月是莆田市降水集中期, 降水量的第一个峰值, 7 月由于受西太平洋副热带高压影响, 降水量明显减少; 8 月-9 月份是台风盛行期, 雨水又明显增多, 出现了另一高峰, 10 月-12 月降水量逐月减少。多年平均 4 月-9 月汛期降水量占全年降水量的 75% 左右, 连续最大 4 个月降水量多出现在 5 月-8 月, 占全年降水量的 60% 左

右, 连续最小 4 个月降水量多出现在 10 月-1 月, 占全年降水量的 10% 左右。

3.2 年际变化特征

3.2.1 年降水量的变化趋势分析

1956 年-2012 年莆田市多年平均降水量为 1 584.57 mm, 最大值为 2 309.21 mm (1990 年), 最小值为 1 016.74 mm (2003 年), 最大值与最小值之比为 2.27。莆田市年降水变差系数 C_v 为 0.17, 各年降水量之间差别不大。从年降水 5 a 滑动平均过程线可知(图 5(a)), 57 a 来降水量增加了 108.48 mm, 增加速率为 1.90 mm/a。利用 M-K 秩次相关法计算得出年降水 Z 值为 0.51, 未通过 95% 显著性检验, 说明莆田市年降水的增加趋势不显著。

从莆田市年降水量累积距平变化过程(图 5(b))可以看出, 1956 年-1961 年曲线呈上升阶段, 年均降水量为 1 799.26 mm, 处于多雨期; 1962 年-1971 年, 曲线呈下降趋势, 年均降水量为 1 377.76 mm, 少雨占优势; 1972 年-1975 年曲线呈短暂的上升趋势, 年均降水量为 1 810.21 mm, 处于多雨期; 1976 年-1996 年曲线呈波动式下降趋势, 年均降水量为 1 516.83 mm, 又处于少雨期; 1997 年-2012 年曲线以上升趋势为主, 年均降水量为 1 665.83 mm, 又进入多雨期。

为详细分析莆田市各分区降水量的年际变化, 考虑到雨量站点系列的长度和代表性, 分别在莆田市四区一县各选择一个代表站, 即涵江区的白沙站、荔城区的莆田站、城厢区的渡里站、秀屿区的忠门站以及仙游县的仙游站。各代表站点降水量特征统计详见表 1。可以看出, 白沙、莆田、忠门、渡里和仙游 5 个站的降水量均呈增加趋势, 但只有白沙站年降水量的变化通过了 95% 显著性水平检验, 增加趋势显著, 其降水量增加速率达到了 7.94 mm/a。降水增速最慢的为仙游站, 为 2.05 mm/a; 各代表站的最大年降水量和最小年降水量比值在 2.26~2.75 之间变化。由于本区每年季风带来的雨期交替出现, 水汽供给充分, 与福建其他地区相比^[13-14], 降水年际变化相对较为稳定。

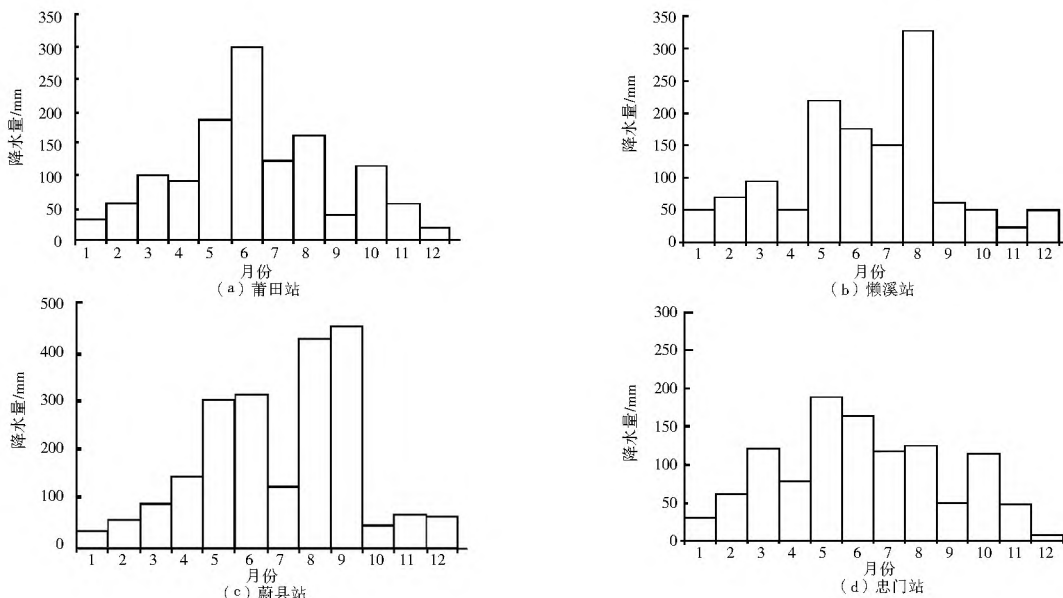


图 4 部分雨量站降水量年内分配情况

Fig. 4 Monthly precipitation of some weather stations

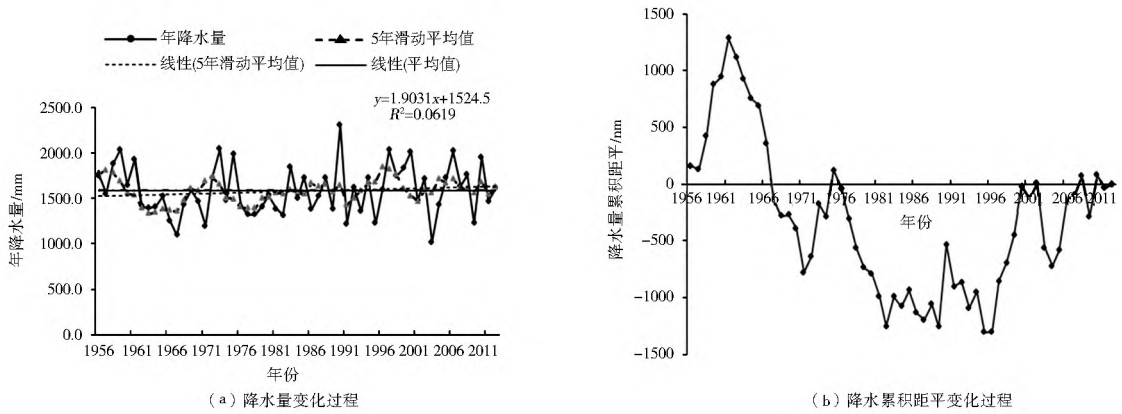


图5 莆田市降水量年际变化和年降水累积距平变化过程

Fig. 5 Inter annual variation of precipitation and cumulative departure of annual precipitation in Putian City

表1 莆田市各区雨量代表站年降水量特征统计

Tab.1 Statistics of annual precipitation characteristics of weather stations in Putian City

站点名	平均值 /mm	最大值/mm (年份)	最小值/mm (年份)	MK 值	临界值	变化率 /(mm·a ⁻¹)	显著性
白沙	1 625. 4	2 651. 8(1990)	1 022. 2(1967)	2. 16	1. 96	7. 94	显著
莆田	1 351. 7	1 983. 6(1959)	876. 4(1977)	1. 09	1. 96	3. 34	不显著
忠门	1 184. 4	1 914. 1(1983)	757. 5(1967)	0. 82	1. 96	2. 06	不显著
渡里	1 655. 9	2 508. 9(1990)	1 083. 5(2009)	1. 07	1. 96	3. 21	不显著
仙游	1 526. 7	2 377(2010)	863. 0(2003)	0. 58	1. 96	2. 05	不显著

3.2.2 年降水量的突变分析

根据 M-K 突变检验分析法, 绘制出正向序列(UF)、反向序列(UB) 曲线, 并给定显著水平: $\alpha = 0.05$, 即 $u_{0.05} = \pm 1.96$ (图6中两条直线)。若 UF、UB 曲线值大于 0, 则表明序列呈上升趋势, 相反为下降趋势。当 UF、UB 曲线超过临界线时, 则表明上升或下降趋势显著。若 UF、UB 两条曲线在临界线之间出现交点, 则交点对应的时刻便是突变开始的时间^[15]。

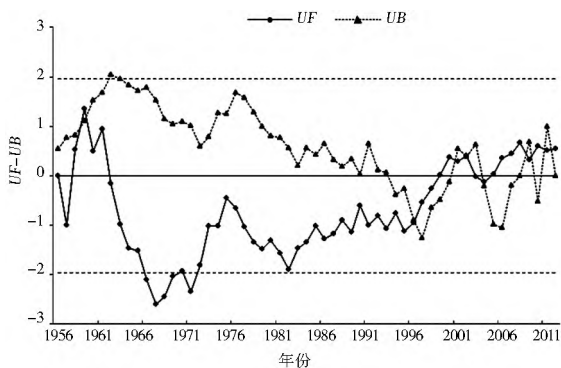


图6 莆田市年降水 Manr Kendall 突变检验曲线

Fig. 6 The Mann-Kendall mutation test curve of annual precipitation in Putian City

根据 UF 和 UB 曲线交点位置以及是否超出显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的临界值时间区域对莆田市年降水序列进行突变分析。从图6可看出, 莆田市降水量随时间序列的变化, 呈现出波段起伏状。UF 曲线变化总体表现为升-降-升-降-升, 且在 1966 年-1971 年间曲线超出临界线, 降水量减少趋势显著。其 UF、UB 曲线在 1959 年、1996 年、2001 年、2004 年、2009 年、2010 年之间存在交点; 结合累积距平曲线(图5(b))

分析, 突变年份为 1996 年和 2004 年, 且均表现为降水突然明显增加。

通过分析各代表站点年降水量突变性, 五站点均表现出在 1996 年-1998 年间的突变性, 另外, 莆田、渡里以及仙游还表现出在 2003 年-2004 年间的突变性。这主要是部分站点受 20 世纪 90 年代后期的重涝、极涝以及 2003 年-2004 年间的极旱影响有关, 变化分析结果与福建省历史上发生严重干旱、雨涝的年份基本一致^[4, 16]。

3.2.3 年降水量的周期性分析

(1) 年降水变化的主要周期分析。

利用小波方差公式计算莆田市年降水时间序列中存在的主周期(图7), 发现年降水小波方差图中有 4 个峰值, 第一个峰值是 28 a 尺度对应的小波方差, 说明 28 a 左右的周期震荡最强, 为第一主周期; 第 2、3、4 主周期依次为 12 a、8 a、3 a。另外, 白沙、莆田、忠门、渡里以及仙游 5 个站点降水时间序列小波方差峰值个数及其对应的主周期的时间尺度见表 2, 五站点的降水周期都存在 28 a、12 a、8 a 和 3 a 左右的主周期, 其中, 忠门站的第一主周期为 22 a, 其余四站的第一主周期为 28 a。

(2) 年降水变化周期的尺度分析。

小波变换系数与降水量之间存在正相关关系, 各个时间尺度的正小波变换系数与其对应的时间尺度下降水量丰枯周期变化的丰水期相对应, 在小波变换系数图中用实线绘出; 负小波变换系数与枯水期相对应, 图中用虚线绘出(图8)。从图8可分析得出, 莆田市降水存在降水存在 17 a 以上尺度、7~17 a 尺度及 7 a 以下尺度的周期变化。从较大尺度 17~32 a 分析, 降水量出现丰、枯交替的三次震荡, 以年降水 28 a 左右强周期对应的位相结构, 正负相位以 28 a 左右的时

间振荡, 在 1956 年- 1962 年, 1973 年- 1981 年、1990 年- 1998 年、2008 年至今各时段为正相位, 表示降水偏多; 而在 1963 年- 1972 年、1982 年- 1989 年、1999 年- 2007 年各时段为负相位, 表示降水偏少。从 12 a 时间尺度上分析, 降水存在约 6 次震荡。同时还可以看出, 以上 28 a、12 a 两个尺度的周期变化在整个分析时段表现的非常稳定, 具有全域性。

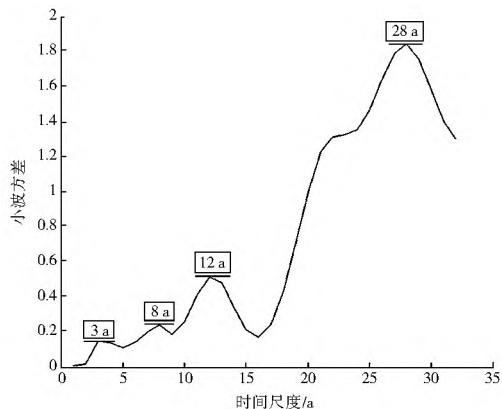


图 7 莆田市年降水小波系数方差

Fig. 7 Wavelet variances of annual precipitation in Putian City

表 2 各雨量代表站小波方差峰值个数及其对应的主周期时间尺度

Tab. 2 The peak number of wavelet variance and corresponding cycle time scales of each weather station

站名	峰值个数	主周期时间尺度(依强至弱) a
白沙	4	28、12、8、4
莆田	4	28、22、13、4
忠门	5	22、28、12、3、5
渡里	4	28、12、8、3
仙游	5	28、21、13、8、3

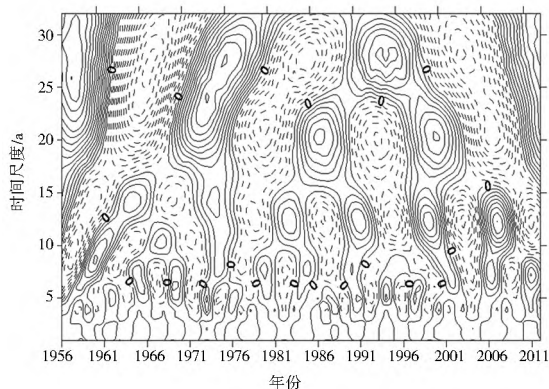


图 8 莆田市年降水小波变换系数时域分布

Fig. 8 Distribution of the wavelet transform coefficient domain of annual precipitation in Putian City

白沙、莆田、忠门、渡里以及仙游五个站点也均存在 17 a 以上尺度、7~ 17 a 尺度及 7 a 以下尺度的周期变化。各站年降水小波系数周期中心为 21~ 28 a、12~ 13 a、5~ 8 a, 且在 12~ 13 a 周期中心上均出现了 6 次丰枯交替, 12~ 13 a 尺度的周期变化在整个分析时段表现的非常稳定, 具有全域性。

4 结论

(1) 对莆田市年降水量, 从时间上来看, 总体表现为增加

趋势, 且变化趋势不明显; 从空间分布上来看, 表现为自东南沿海向西北山区递增, 高值区主要分布在仙游县西北部山区, 低值区主要分布在涵江区东南部、荔城区东部以及秀屿区大部分地区。

(2) 莆田市年降水量序列突变时段为 1996 年和 2004 年, 降水周期存在 28 a、12 a、8 a 和 3 a 左右的周期; 另外年降水量均存在 17 a 以上尺度、7~ 17 a 尺度及 7 a 以下尺度的周期变化, 且在 17 a 以上尺度及 7~ 17 a 尺度的周期变化在整个分析时段表现的非常稳定, 具有全域性。

参考文献(References):

[1] 张成娟, 王延朝, 常禹. 1961~ 2006 年福建省降水时空分布特征研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(24): 14766-14767, 14774. (ZHANG Chengjuan, WANG Yan chao, CHANG Yu. Research of the temporal and spatial distribution characteristics of precipitation in Fujian Province during 1961-2006[J]. Journal of Anhui Agri, 2011, 39(24): 14766-14767, 14774. (in Chinese))

[2] 蔡晓禾, 廖廓, 池艳珍, 等. 福建雨季降水时空非均匀分布特征分析[J]. 福建农业学报. 2014, 29(4): 378-384. (CAI Xiaohu, LIAO Kuo, CHI Yan zhen, et al. Analysis on N character of precipitation during rainy season in Fujian Province[J]. Fujian Journal Agricultural Sciences. 2014, 29(4): 378-384. (in Chinese))

[3] 康晋闽, 杨贤栋. 近 51 年福建省降水统计分析[J]. 农业与技术. 2013, 33(9): 196-197. (KANG Jin min, YANG Xiandong. The analysis of precipitation statistical in Fujian Province nearly 51 years[J]. Agriculture and Technology. 2013, 33(9): 196-197. (in Chinese))

[4] 吴滨. 福建省近 50 年降水趋势及区域变化特征[J]. 台湾海峡. 2005, 24(4): 440-447. (WU Bin. Characteristics of tendency and regional variation in 50 year precipitation in Fujian Province[J]. Journal of oceanography in Taiwan strait, 2005, 24(4): 440-447. (in Chinese))

[5] 刘胤雯, 赖格英, 陈元曾, 等. 梅江河流年均降雨量空间插值方法研究[J]. 亚热带资源与环境学报, 2007, 2(3): 29-34. (LIU Yin wen, LAI Geying, CHEN Yuan zeng, et al. A research on rainfall on spatial interpolation methods based on GIS[J]. Journal of Subtropical Resources and Environment. 2007, 2(3): 29-34. (in Chinese))

[6] 王兆礼, 陈晓宏, 张灵, 等. 近 40 年来珠江流域降水量的时空演变特征[J]. 水文, 2006, 26(6): 71-75. (WANG Zhaoli, CHEN Xiaohong, ZHANG Ling, et al. Spatiotemporal change characteristics of precipitation in the Pearl River Basin in recent 40 years[J]. Journal of China Hydrology, 2006, 26(6): 71-75. (in Chinese))

[7] 邵晓梅, 严昌荣, 魏红兵. 基于 Kriging 插值的黄河流域降水时空分布格局[J]. 中国农业气象, 2006, 27(2): 65-69. (SHAO Xiaomei, YAN Changrong, WEI Hongbing. Spatiotemporal structure of precipitation in the Yellow River Basin based on Kriging Method[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2006, 27(2): 65-69. (in Chinese))

[8] 丁晶, 邓育仁. 随机水文学[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1988. (DING Jing, DENG Yuren. Stochastic Hydrology[M]. Chengdu: University of Science and Technology Press, 1988. (in Chinese))

(下转第 852 页)

- orologica Sinica, 2002, 22(6): 149-158. (in Chinese)
- [11] 陶诗言, 徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征[J]. 气象学报, 1962, 32(1): 1-10. (TAO Shiryan, XU Shuying. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in Yangtze and Hwaiho valleys in summer[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1962, 32(1): 1-10. (in Chinese))
- [12] HE JH, ZHOU B, WEN M, et al. Vertical circulation structure, interannual variation features and variation mechanism of western Pacific subtropical high[J]. Adv. Atmos. Sci., 2001, 18(4): 497-510.
- [13] 刘可晶, 王文, 朱烨, 等. 淮河流域过去 60 年干旱趋势特征及其与极端降水的联系[J]. 水利学报, 2012, 43(10): 1179-1187. (LIU Kejing, WANG Wen, ZHU Ye, et al. Trend of drought and its relationship with extreme precipitation in Huaihe river basin over the last 60 years[J]. Journal of Water Conservancy, 2012, 43(10): 1179-1187. (in Chinese))
- [14] 纳丽, 李欣, 朱晓炜. 宁夏夏季降水集中程度与旱涝关系的研究[J]. 干旱气象, 2012, 30(2): 215-219. (NA Li, LI Xin, ZHU Xiaowei. Relationship between summer precipitation concentration degree and drought/flood in Ningxia[J]. Journal of Arid Meteorology, 2012, 30(2): 215-219. (in Chinese))
- [15] 姜爱军, 杜银, 谢志清, 等. 中国强降水过程时空集中度气候趋势[J]. 地理学报, 2005, 60(6): 1007-1014. (JIANG Aijun, DU Yin, XIE Zhiming, et al. Climatic trends of heavy precipitation spatial and temporal concentration in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(6): 1007-1014. (in Chinese))
- [16] 丁明军, 郑林, 杨续超. 1961-2007 年鄱阳湖周边地区气温变化趋势分析[J]. 中国农业气象, 2010, 31(4): 517-521. (DING Mingjun, ZHENG Lin, YANG Xuchao. Trend analysis of long term temperature time series in the area around Poyang Lake from 1961 to 2007[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(4): 517-521. (in Chinese))
- [17] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236. (WANG Zunya, DING Yihui, HE Jinhai, et al. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years. [J] Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(2): 228-236. (in Chinese))
- [18] 顾万龙, 王纪军, 朱业玉, 等. 淮河流域降水量年内分配变化规律分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(4): 426-431. (GU Wanlong, WANG Jijun, ZHU Yeyu, et al. Annual distribution of precipitation over the Huaihe river basin[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(4): 426-431. (in Chinese))
- (上接第 846 页)
- [9] Mu Xingmin, Zhang Lu, McVicar TR, et al. Estimating the impact of conservation measures on streamflow regime in catchments of the Loess Plateau[J]. China. Hydrological Progress, 2007, 21(16): 2124-2134.
- [10] 曹洁萍, 迟道才, 武力强, 等. Mann-Kendall 检测方法在降水趋势分析中的应用研究[J]. 农业科技与装备, 2008(5): 34-37. (CAO Jieping, CHI Daochai, WU Liqiang, et al. Mann-Kendall examination and application in the analysis of precipitation trend[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2008(5): 34-37. (in Chinese))
- [11] 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 Jing, LI Yueqing, et al. Wavelet Analysis in Hydrology[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2005. (in Chinese))
- [12] 穆兴民, 李靖, 王飞, 等. 黄河天然径流量年际变化过程分析[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(2): 1-5. (MU Xingmin, LI Jing, WANG Fei, et al. Analysis on the annual natural runoff variety process of the Yellow River[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment, 2003, 17(2): 1-5. (in Chinese))
- [13] 蔡晓禾, 廖廓, 池艳珍, 等. 福建雨季降水时空非均匀分布特征分析[J]. 福建农业学报, 2014, 29(4): 378-384. (CAI Xiaohu,
- LIAO Guo, CHI Yanzhen, et al. Analysis on character of precipitation during rainy season in Fujian Province[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2014, 29(4): 378-384. (in Chinese))
- [14] 陈莹, 陈兴伟. 福建省近 50 年旱涝时空特征演变—演变标准化降水指数分析[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(3): 57-63. (CHEN Ying, CHEN Xingwei. Evolution of spatiotemporal characteristics of flood and drought in Fujian Province for recent 50 years: an SPI-based analysis[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(3): 57-63. (in Chinese))
- [15] 秦年秀, 姜丹, 许崇育. 长江流域径流趋势变化及突变分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(5): 589-594. (QIN Nianxiu, JIANG Tong, XU Chongyu, et al. Trends and abrupt analysis on the discharge in the Yangtze Basin[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(5): 589-594. (in Chinese))
- [16] 李玲. 福建省雨季降水异常规律及其成因的初步分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2006. (LI Ling. The preliminary analysis of the anomaly regularity and the cause responsible in the raining season in Fujian Province[D]. Nanjing: Nanjing university of information science & technology, 2006. (in Chinese))