

文章编号: 1673-1719 (2008) 02-0101-05



## 1960—2005年湖南省降水的变化

张剑明<sup>1</sup>, 黎祖贤<sup>2</sup>, 章新平<sup>1</sup>

(1 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410081;

2 湖南省气象台, 长沙 410007)

**摘要:** 利用线性回归、突变分析及小波分析方法, 分析了湖南省1960—2005年86个地面台站降水量的变化。结果表明: 46 a来湖南省年降水量呈增加的趋势, 气候倾向率为21.8 mm/10a, 其中春秋两季降水量呈减少趋势, 夏冬两季降水量呈显著增加的趋势, 11 a滑动平均曲线表明, 今后湖南省降水量有减少趋势; 湖南省在1990年代初年降水量增多是一突变现象, 主要是夏冬降水量发生突变, 而春秋两季无突变现象; 湖南省年降水量和四季降水量存在4个主要周期的变化。

**关键词:** 湖南省; 降水变化; 突变分析; 小波分析

**中图分类号:** P426.61<sup>+4</sup> **文献标识码:** A

### 引言

湖南省位于长江中游以南, 南岭以北, 属于典型的亚热带季风气候区。由于处在东南季风和西南季风交绥的地带, 降水分布不均匀, 且年际变化较大, 旱涝灾害发生频率较高。

气候系统以不同时间尺度进行相应的变化。林振山<sup>[1]</sup>将气候系统包含不同时间尺度的时空结构定义为气候层次, 并提出了气候层次理论。同时, 气候的变化在不同的气候层次上常表现出不同的趋势, 因此需在具体的气候层次上讨论变化趋势才有意义<sup>[2]</sup>。目前对湖南省降水的多时间尺度的研究还不多, 刘会玉等<sup>[3]</sup>针对湖南省汛期进行了降水周期性尺度分析, 指出湖南省汛期降水存在明显的3 a、7 a和23 a的特征时间尺度和周期性振荡。本文采用线性回归、M-K突变分析和小波分析等方法对湖南省年平均降水进行突变分析和

周期性振荡分析, 试图揭示该地区降水时间分布特征, 以便为当地防汛抗旱提供参考, 为当地农业生产服务, 也可为该地区对全球降水变化响应的研究提供有益的启示。

### 1 资料与方法

分析资料来源于湖南省气象台资料室提供的湖南省97个测站1960—2005年的逐月降水资料。剔除资料长度不够的站点, 可用的资料为86个站。对个别站点缺测月的降水采用Kriging插值进行了插补, 该方法可以用随机表面给予恰当地描述, 其内插值或局部均值与数据点上的值一致<sup>[4-5]</sup>, 这部分工作在ArcGIS中完成。

本文用线性回归求降水的变化趋势, 并用Mann-Kendall方法对湖南省降水做突变分析<sup>[6]</sup>。小波分析方法在时域和频域上同时具有良好的局

收稿日期: 2007-04-03; 修订日期: 2007-12-13

基金项目: 湖南省重点学科建设项目(40652001)资助

作者简介: 张剑明(1982-), 男, 硕士生, 主要从事环境演变与自然灾害研究。E-mail: zhaolanxiao@sina.com

部性质，并且可以得到时间序列周期变化的局部特征<sup>[7-8]</sup>。本文用 Morlet 小波方法研究湖南省年降水的特征尺度和周期性。

季节划分如下：3—5月为春季，6—8月为夏季，9—11月为秋季，当年的12月至翌年2月为冬季。

## 2 湖南省降水量变化趋势

### 2.1 年降水量变化趋势

对湖南省降水进行趋势系数和倾向率的分析结果见图1，由图可见，过去46 a湖南省年降水量呈明显的增加趋势。降水倾向率达21.8 mm/10a，其中1990年代以后降水偏多。11 a滑动平均曲线表明，降水变化总趋势呈波动上升。1960年代前期和1980年代降水偏少，1980年代中期前后降水由少变多，1980年代中期降水最少，1990年代以后降水明显增加，进入2000年代后降水呈减少的趋势。

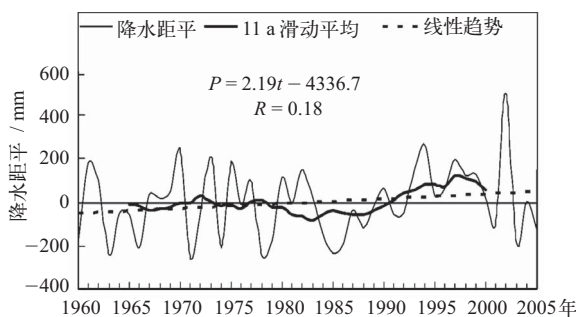


图1 1960—2005年湖南省年降水量的逐年变化

Fig. 1 Annual precipitation in Hunan Province during 1960–2005 (thin solid line: precipitation anomaly; thick solid line: 11-year running mean; dashed line: linear trend)

### 2.2 四季降水量变化趋势

湖南省四季降水距平的逐年变化(图2)表明，春秋两季降水减少，但均没达到显著性水平，降水倾向率分别为-5.2 mm/10a和-10.7 mm/10a。根据11 a滑动平均曲线，1980年代以前春季降水高于平均值，之后则低于平均值，进入2000年代后春季降水略有增加。秋季降水的总趋势是在波动中下降。由于夏季降水在全年降水中占较大比重，因此夏季

降水表现为显著增加，且其趋势与年降水变化趋势相似，降水倾向率为23.6 mm/10a(达到0.1的显著性水平)。11 a滑动平均曲线表明，1980年代以前夏季降水变化不大，之后降水减少，1980年代中期降水量最少，1990年代后夏季降水量增加异常显著，其中，异常偏多的年份有1994、1996、1999、2002年。冬季降水亦呈增加的趋势，降水倾向率为13.9 mm/10a(达到0.05的显著性水平)。11 a滑动平均曲线

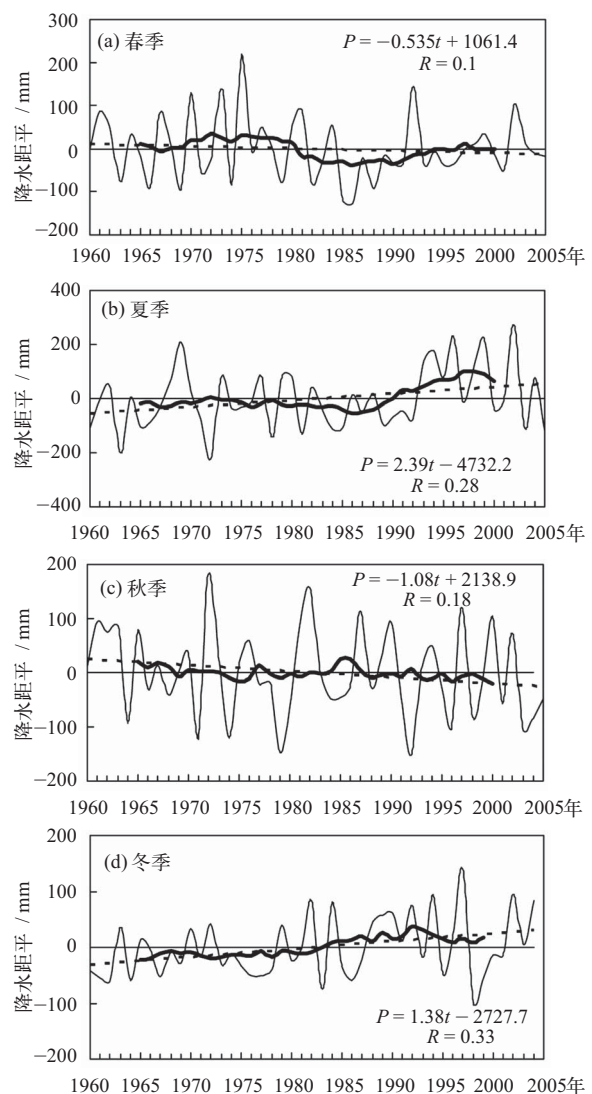


图2 1960—2005年湖南省四季降水量逐年变化 (图例同图1)

Fig. 2 Seasonal precipitation anomalies in Hunan Province during 1960–2005 for spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d) (legend as in Fig. 1)

表明,2000年代以前冬季降水的总趋势是波动上升,之后呈减少趋势。

### 3 湖南省降水量突变分析

对湖南省降水进行突变分析,参照文献 [6] 分析绘制出正向序列 (UB) 和反向序列 (UF) 曲线,并给定显著性水平:  $\alpha=0.05$ , 临界值为  $\pm 1.96$  (图 3 中两条虚线)。当统计曲线超过临界线时,表明上升或下降趋势显著,如果统计曲线在临界线之间出现交点,则交点对应的时刻就是突变开始的时间。

#### 3.1 年降水量突变分析

分析湖南省 1960—2005 年年降水量 M-K 曲线 (图 3), 正向序列曲线表明 1990 年代以来湖南省年降水量有增加的趋势。根据两曲线交点的位置, 确定湖南省 1990 年代的降水增多是一突变现象, 1993 年为突变年。进入 21 世纪后正向序列曲线转为负方向变化, 说明进入 21 世纪后湖南省年降水量减少, 进入一个相对干旱的时期。

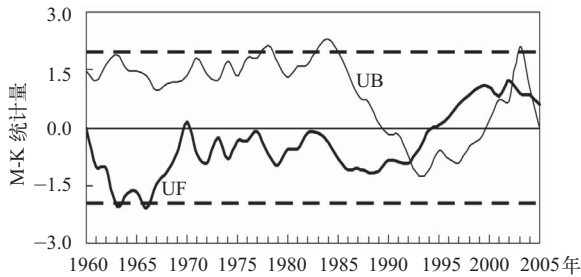


图 3 湖南省年降水量 M-K 曲线

Fig. 3 The M-K map of annual precipitation in Hunan Province

#### 3.2 四季降水量突变分析

在春季降水 M-K 曲线 (图略, 下同) 中 UF 和 UB 曲线在置信区间 ( $-1.96 \sim +1.96$ ) 内无明显交叉点, 表明湖南省 46 a 来春季降水无明显突变过程。但是 1970 年代到 1980 年代中期春季降水处于多雨时段。夏季降水 M-K 曲线表明, 夏季降水 M-K 曲线与年降水相似, 这可能与湖南省降水主要集中在 4—7 月有关。1990 年代以来湖南省夏季降水有增加的趋势, 而且夏季降水增加是一突变现象, 1993 年为突

变年, 进入 21 世纪后 UF 曲线转为负方向变化, 说明进入 21 世纪后降水开始减少, 为一个相对于干旱时期。秋季降水 M-K 曲线表明, 湖南省 46 a 来秋季降水也无明显变化趋势。从冬季降水 UF 曲线可见, 1980 年代末期以来湖南省冬季降水有增加的趋势, 而且冬季降水增加是一突变现象, 开始时间为 1988 年。

### 4 湖南省降水量小波分析

#### 4.1 年降水量小波分析

图 4 给出湖南省 1960—2005 年平均年降水 Morlet 小波分析结果, 由图可见, 湖南省年降水量存在 4 个明显的特征时间尺度, 分别是 2 a、6 a、9 a 和 19 a。46 a 中始终存在 6 a 左右的特征时间尺度, 且周期振荡稳定。对 9 a 左右的时间尺度, 在 1980 年代中期之前周期振荡比较明显, 之后较弱。19 a 左右时间尺度的周期振荡贯穿整个研究时段且表现稳定, 46 a 中大致经历了 4 次干湿交替: 1960 年代初到 1960 年代中期为降水偏少期; 1960 年代中期到 1970 年代末为降水丰沛期; 1970 年代末到 1990 年代初为降水偏少期; 1990 年代初到 1990 年代末为降水丰沛期; 进入 21 世纪后降水偏少。

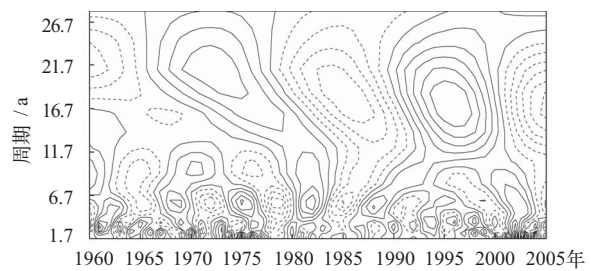


图 4 湖南省年降水 Morlet 小波系数实部等值线

Fig. 4 The real part of Morlet wavelet coefficients of annual precipitation in Hunan Province during 1960—2005

#### 4.2 四季降水量小波分析

春季降水 (图略, 下同) 存在 4 个明显的特征时间尺度, 分别是 2 a、8 a、17 a 和 24 a。在 46 a 中始终存在 8 a 时间尺度的特征, 且周期振荡较为稳定。对 17 a 时间尺度, 1960 年代初振荡周期为 14 a, 逐渐过渡到 21 世纪初的 18 a 振荡周期。对 28 a 时间



尺度,降水大致经历了3次干湿交替:1960年代初到1960年代后期为降水偏少期;1960年代后期到1980年代初为降水丰沛期;1980年代初到1990年代中期为降水偏少期;1990年代中期以后为降水丰沛期。

夏季降水存在2 a、5 a、8 a和19 a左右4个特征时间尺度。对5 a和8 a左右时间尺度,1980年代中期以后都表现为7 a周期振荡。19 a左右时间尺度的周期振荡在整个研究时段都表现得非常稳定,46 a中大致经历了4次干湿交替:1960年代初到1960年代中期为降水偏少期;1960年代中期到1970年代末为降水丰沛期;1970年代末到1990年代初为降水偏少期;1990年代初到1990年代末为降水丰沛期;进入21世纪后降水偏少。

秋季降水存在2~3 a、5 a、12 a和28 a左右4个特征时间尺度。对5 a左右的时间尺度,1960年代初到1980年代初表现为4 a周期振荡,1980年代初到1990年代初表现为5 a周期振荡,之后又表现出4 a的周期振荡。对24 a左右尺度,大致经历了3次干湿交替:1960年代初到1960年代后期为降水偏少期;1960年代中期到1970年代中期为降水丰沛期;1970年代中期到1980年代中期为降水偏少期;1980年代中期到1990年代中期为降水丰沛期。

冬季降水有2 a、5 a、7 a和17 a左右4个特征时间尺度。对2 a的时间尺度,整个时段上周期振荡明显。对5 a左右时间尺度,只有1980年代末到1990年代末周期振荡较强。对7 a左右时间尺度,1960年代初振荡周期为7 a,之后周期逐渐变长,到本世纪初周期延长为10 a。对17 a左右时间尺度,1990年代末期以前周期明显,大致经历了4个干湿交替:1960年代初到1960年代中后期为降水丰沛期;1960年代后期到1980年代初为降水偏少期;1980年代初到1990年代中期为降水丰沛期;1990年代中期以后为降水偏少期。

除春季降水外,无论21 a左右周期转变还是7~10 a周期转变,在2000年代中后期降水将相对偏少,之后可能进入一个丰水期,这与实测结果<sup>[3]</sup>是一致的。2~3 a周期振荡与平流层大气环流的准2 a周期

振荡(QBO)存在一致性。平流层QBO通过纬向风的垂直切变来影响对流层顶乃至对流层,平流层的QBO改变着对流层的大气环流形势,从而影响对流层中的降水过程<sup>[9]</sup>。6 a周期则与ENSO事件的5~7 a的准周期相联系,说明ENSO事件在一定程度上影响湖南省降水;12 a、准21 a的周期与太阳活动的准11 a和准22 a周期相吻合,说明湖南省降水可能受太阳活动影响<sup>[10]</sup>。

## 5 结论与讨论

利用湖南省86个地面气象台站1960—2005年的月降水资料,采用线性回归、M-K突变分析和小波分析等方法,对湖南省降水变化规律进行了分析,取得了如下结果:

(1)湖南省46 a来年降水量呈增加的趋势,但11 a滑动平均曲线表明今后湖南省降水量有减少趋势,在1990年代初年降水增多是一突变现象。

(2)湖南省四季降水区别显著,春秋两季降水量呈减少趋势,但不显著,且无突变现象发生;夏冬两季降水量呈显著增加的趋势,于1990年代初出现突变。

(3)降水量均存在4个周期变化。在20 a左右的时间尺度上,除春季外,进入21世纪后降水均有减少的趋势。

气候学家通过气象资料分析发现,长江中下游地区的年降水量表现为波动上升趋势<sup>[11-12]</sup>,其中20世纪50年代为多雨期,60—70年代为少雨期,80—90年代为多雨期<sup>[13-14]</sup>,1990年代是长江中下游地区近百年来降水最多的十年<sup>[15]</sup>,长江流域有7个典型的降水变化敏感区域<sup>[16]</sup>。但对于湖南省降水变化来说,除春秋两季外,降水呈现明显的增加趋势,而且该地区的降水振荡具有19 a的准周期,这与我国降水变化具有的22~23 a的振荡周期较吻合,即湖南省与中国的降水具有一致增加的趋势。M-K突变曲线表明,湖南省降水开始增多发生在1990年代初,与一些研究指出的长江流域降水演变发生在1980年代末<sup>[16]</sup>较为一致。■

## 参考文献

- [1] 林振山. 气候层次理论及其应用 [J]. 北京大学学报, 1990, 26: 355-360
- [2] 林振山, 卞维林. 中国旱涝史料的层次分析 [J]. 气象科学, 1999, 57 (1): 112-121
- [3] 刘会玉, 林振山, 张明阳. 湖南汛期降水异常的时空分布特征研究 [J]. 热带气象学报, 2004, 20 (4): 409-418
- [4] 邬伦, 刘瑜, 张修军. 地理信息系统——原理、方法和应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2001
- [5] 蔡秀华, 曹鸿兴. 资料插值的进展 [J]. 气象, 2005, 31 (8): 3-7
- [6] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 1999
- [7] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1998, 79: 61-78
- [8] 林振山. 子波气候诊断技术的研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1999
- [9] 丁裕国, 余锦华, 施能. 近百年全球平均气温年际变率中的QBO长期变化特征 [J]. 大气科学, 2001, 25 (1): 89-102
- [10] 段长春, 孙绩华. 太阳活动异常与降水和地面气温的关系 [J]. 气象科技, 2006, 34 (4): 381-386
- [11] 翟盘茂, 任福民, 张强. 中国降水极值变化趋势检测 [J]. 气象学报, 1999, 57 (2): 208-216
- [12] 刘学华, 季致建, 吴洪宝, 等. 中国近40年极端气温和降水的分布特征及年代差异 [J]. 热带气象学报, 2006, 22 (6): 618-624
- [13] 王叶红, 王谦谦, 赵玉春. 长江中下游降水异常特征及其与全国降水和气温异常的关系 [J]. 南京气象学院学报, 1999, 22 (4): 685-691
- [14] 江志红, 丁裕国. 近40年我国降水量年际变化的区域性特征 [J]. 南京气象学院学报, 1994, 17 (1): 73-78
- [15] 龚道溢, 王绍武, 朱锦红. 1990年代长江中下游地区多雨的机制分析 [J]. 地理学报, 2000, 55 (5): 567-575
- [16] 张永领, 高全洲, 丁裕国, 等. 长江流域夏季降水的时空特征及演变趋势分析 [J]. 热带气象学报, 2006, 22 (2): 161-168

## Precipitation Change in Hunan Province

Zhang Jianming<sup>1</sup>, Li Zuxian<sup>2</sup>, Zhang Xinping<sup>1</sup>

(1 College of Resources and Environment Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

2 Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410007, China)

**Abstract:** The change of precipitation in Hunan Province since recent 46 years was analyzed by using linear regression, abrupt change analysis and wavelet analysis. The results showed that the annual precipitation increased at a climatic tendency of 21.8 mm/10a. However, the 11-year running mean curve showed that it will decrease in the future. Precipitations in spring and autumn were decreasing in most of the areas, while summer and winter precipitations both had increasing trends. There existed a wetter trend in summer and winter in Hunan Province in the last 46 years. The abrupt change occurred in summer and in winter during the early 1990s. Generally, both annual precipitation and seasonal precipitation presented four kinds of periodic change.

**Key words:** Hunan Province; precipitation change; abrupt change analysis; wavelet analysis