

# 浙江丽水市降水特征多时间尺度 周期变化规律的探究

吴昊旻<sup>1,2</sup>, 姜燕敏<sup>2</sup>, 强玉华<sup>2</sup>

(1. 南京大学大气科学学院, 江苏 南京 210093; 2. 浙江省丽水市气象局, 丽水 323000)

**摘要:**根据丽水市 1953~2010 年逐月降水量资料,在利用趋势分析方法对年际、年代际、季度、月份降水变化趋势进行分析的基础上,运用多窗口谱分析方法对降水的周期特征进行研究,并将显著周期信号进行 MTM 重建,寻找不同时间尺度上的显著周期随时间的振荡演变规律。结果表明:近 58 a 来,丽水降水量呈下降趋势,约每 10 a 降水减少 10.19 mm,其中春季 5 月和秋季 9 月降水量减少最为显著,夏季 8 月增多最明显。降水周期特征的多窗口谱分析表明,降水在年代际尺度上的 12 a 周期最显著,且周期振幅随时间变化分布均匀,同时在年际尺度上 2~4 a 的周期也较明显,且振幅具有缓变包络的特征。

**关键词:**降水;变化趋势;多窗口谱分析;丽水市

**中图分类号:**P468.0<sup>+</sup>24

**文献标识码:**A

## 引言

关于降水气候演变规律特征,近几年来不少专家和学者做过深入的研究和探索。如朱宵峰等<sup>[1-4]</sup>对汛期降水与旱涝的关系做了较多分析;叶笃正等<sup>[5-9]</sup>研究了降水特征、旱涝规律及影响因子的相关作用;吴昊旻等<sup>[10-14]</sup>从降水和旱涝的时空分布着手,分析了气候的演变特征。其中,趋势分析<sup>[15-16]</sup>、小波变换<sup>[17-18]</sup>、Mann-Kendall 检验<sup>[19]</sup>和 EOF<sup>[20]</sup>等方法在分析降水变化特征中得到了广泛的应用。丽水市地处浙江西南部地区,属于亚热带季风气候,1953~2010 年年平均降水量 1 416.1 mm,温暖湿润,雨量充沛。洪涝灾害是当地主要的气象灾害之一<sup>[21]</sup>,深入研究降水的气候变化趋势和周期演变规律,为中长期预报服务提供依据,对防灾减灾有着重要的意义。

## 1 资料和方法

以 1953~2010 年丽水市逐月降水量资料为研究对象,资料序列长度为 58 a,共 696 个月。首先采用多尺度趋势分析法<sup>[22]</sup>对丽水降水年变化、月变化

基本特征进行分析,得出其在不同时间尺度上的变化趋势;在此基础上,利用多窗口谱<sup>[23]</sup>方法对降水周期特征进行分析,并将最显著周期信号进行 MTM 重建,深入探究不同时间尺度上的周期信号随时间的振荡变化。

多窗口谱方法(Multi-Taper Method,简称 MTM)是一种新颖的谱估计和信号重建技术<sup>[23]</sup>。该方法利用最佳窗函数与多窗口平滑结合得到了一种低方差、高分辨的谱估计。同时,通过多窗口谱分解信息的时间域反演进行各类显著信号的重构,其重建信号的位相、振幅具有时变特性。所以,该方法非常适合于非线性气候系统中短序列高噪声背景下弱信号、时空依赖信号的诊断分析。具体方法介绍见文献<sup>[23]</sup>。

## 2 丽水降水气候变化的多尺度分析

### 2.1 降水的年际、年代际变化特征

从图 1 丽水市 1953~2010 年降水量变化趋势可以看出,1987 年之前,丽水降水经历了 4 个比较明显的阶段:1953~1962 年、1969~1975 年 2 个多雨期阶段;1963~1968 年、1976~1986 年 2 个少雨期阶段,即降水存在约 6~10 a 的丰(水期)和枯(水

收稿日期:2011-12-05;改回日期:2011-12-26

基金项目:浙江丽水市科技计划项目(2010JYZB10)资助

作者简介:吴昊旻(1980-),男,高级工程师,主要从事气象电子和气象服务等相关工作。E-Mail:wuhaomin8048@gmail.com

期)交替特征。在 1987 年之后,多雨期和少雨期交替出现的时间缩短,以 2~4 a 交替为主。如果用降水量距平百分率来衡量旱涝的发生发展情况,则依据降水量距平百分率  $\leq -15\%$  为旱,降水量距平百分率  $\geq 15\%$  为涝<sup>[24]</sup>的指标来判断丽水的旱涝年份。可以看出,近 58 a 来达到干旱指标的有 11 a,主要集中在 1970~1980 年代和 21 世纪初,其中 1971 年偏旱程度最显著,降水量距平百分率达到 -31.67%。而达到洪涝标准的年份随时间分布比较均匀,各个年代均有,但除了 1975 和 2010 年(降水距平百分率分别达到 38.16% 和 47.57%)洪涝程度比较严重之外,其它年份的降水距平百分率都低于 30%。一元线性回归分析显示,降水序列呈下降趋势,但趋势不明显,线性倾斜率为  $-10.19 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ,相当于近 58 a 降水减少 59.1 mm,没有通过 95% 的置信度检验。

通过降水序列的 10 a 滑动平均的趋势走向,可以看出降水在年代际尺度上的变化特征。除了 1950 年代和 1990 年代,降水量表现为偏多状态,分别比平均水平偏多 9.3% 和 3.8%,其它年代降水量都处于负距平,其中 1970 年代和 1980 年代降水偏少程度明显,约比平均水平偏少 60 mm 以上,相对而言 1960 年代和 21 世纪初则为调整期,降水量接近平均水平略偏少。

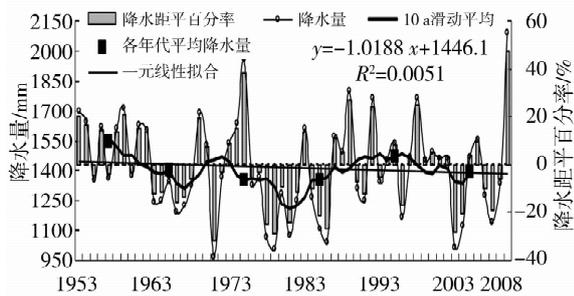


图 1 丽水市 1953~2010 年降水量变化趋势  
Fig. 1 The variation of precipitation during 1953-2010 in Lishui of Zhejiang Province

### 2.2 降水的月、季节变化特征

丽水近 58 a 逐月降水量变化和趋势演变如图 2 所示。可以看出,月平均降水量主要集中在 3~9 月之间,其中夏季 6 月(常年 6 月为丽水降水集中、降水量大的主汛期,常发生暴雨、洪涝等灾害,但年际之间变化较大)最多,月均降水量达到 248.9 mm;其次是春季 5 月,比各月平均降水量偏多 76.6 mm;最小值则出现在 12 月,比平均水平偏少 63.6%。为

了更清楚地了解丽水近 58 a 各月降水涨落情况,将逐月降水进行一元线性拟合,得出各月降水的气候变化倾斜率。从中可以看出,降水正负倾斜率交替出现,其中降水增多的月份(1、3、6、7、8、10、11 和 12 月)明显多于减少的月份(2、4、5 和 9 月),但增多趋势的强度却低于减少的程度,如 5 和 9 月降水气候变化的倾斜率分别达到  $-21.4 \text{ mm}/10 \text{ a}$  和  $-13.0 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ,相当于近 58 a 降水分别减少 124.4 mm 和 75.5 mm,尤其是 5 月,减少趋势还突破 99% 的置信度检验;而降水增加的月份中,趋势最明显的是 8 月,线性倾斜率为  $13.2 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ,约每 10 a 降水增多 9.4%,超过 95% 的置信度检验,而其它降水增多月份气候倾斜率在  $0.11 \sim 5.81 \text{ mm}/10 \text{ a}$  之间浮动。

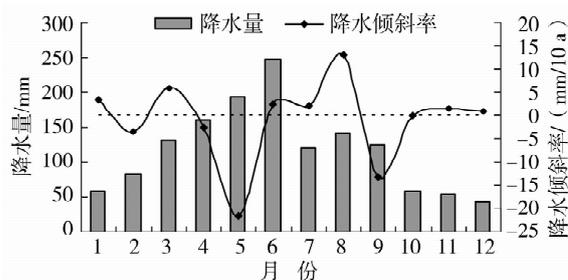


图 2 丽水市近 58 a 各月降水量变化趋势  
Fig. 2 Monthly variation of precipitation in the last 58 years in Lishui

降水量的四季变化趋势统计,如表 1 所示。夏季(6、7、8 月)降水最多,其次是春季(3、4、5 月),秋季(9、10、11 月)和冬季(12、1、2 月)相对较少,且冬季少于秋季。这主要是因为丽水春季多连阴雨天气,夏季又经常受到热带气旋的影响<sup>[25]</sup>,雨量较为充沛,而秋、冬季则多受高压系统控制,天气晴朗少雨,降水明显偏少。从各季度降水变化趋势来看,

表 1 丽水市近 58 a 四季降水量变化趋势统计  
Tab. 1 The variation of seasonal precipitation in the last 58 years in Lishui

	平均降水 /mm	降水倾斜率 /(mm/10 a)	降水增减量 /mm	降水增减幅度 /%
春季	485.4	-18.19	-105.5	-21.7
夏季	509.9	18.16	105.3	20.7
秋季	237.4	-11.35	-65.8	-27.7
冬季	183.4	1.19	6.9	3.8

注:降水增减量(mm) = 降水量线性倾向(mm/a) × 年数,  
降水增减幅度(%) = 降水增减量(mm) / 年平均降水量 × 100%。

春、秋季降水主要表现为减少趋势,一元线性倾斜率分别为  $-18.19 \text{ mm}/10 \text{ a}$  和  $-11.35 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ,近 58 a 降水减少幅度达到 21.7% 和 27.7%;而夏季降水则增加势头强烈,约每 10 a 增加 18.2 mm;冬季变化趋势不大,近 58 a 降水只增加了 6.9 mm。

### 3 丽水降水变化的周期演变特征

#### 3.1 降水周期特征的多窗口谱分析

对丽水市 1953 ~ 2010 年的月降水序列进行多窗口谱分析。图 3 为近 58 a 来月降水序列的 MTM 谱估计及其相应的强红噪声临界谱。在置信度 99% 的水平上,丽水市降水序列的频率  $f < 0.03$ ,即周期  $> 33 \text{ a}$ (注: $f$  为振荡频率,周期  $T$  为频率  $f$  的倒数)的低频振荡并不明显。在  $f > 0.03$  的高频谱段上,能明显看到 4 个峰值,按照谱密度从大到小排列,分别为:振荡频率  $f = 0.083$   $f = 0.25$   $f = 0.41$  和  $f = 0.50$ ,分别对应的周期为 12 a、4 a、2.5 a 和 2 a。其中 12 a 周期谱密度最强,达到 73 930.9。而在 95% 的置信度水平上,还有振荡频率  $f$  在 0.17 ~ 0.19、0.27、0.37 和 0.45 ~ 0.46 也通过验证,周期  $T$  分别对应 5.3 ~ 5.9 a、3.7 a、2.7 a 和 2.17 ~ 2.2 a。综上所述,降水在年际尺度上以 2 ~ 6 a 周期为主,其中 2 ~ 4 a 周期较为明显,而在年代际尺度上则主要体现在 12 a 周期上,且在全时域中最为显著。

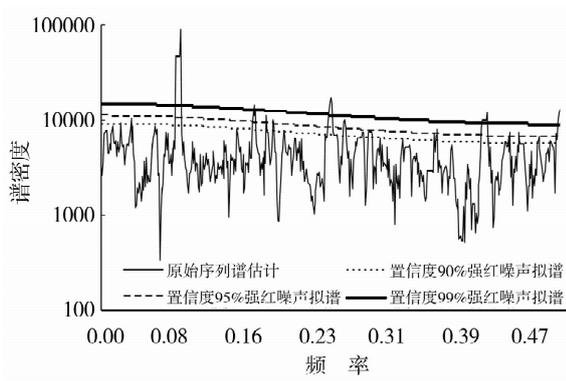


图3 丽水市 1953 ~ 2010 年降水周期特征的多窗口谱分析

Fig. 3 The analysis of precipitation from 1953 to 2010 in Lishui by Multi-taper method

#### 3.2 降水显著周期信号的重建

对原序列作剔除背景的处理,即对  $f = 0$  的信号进行 MTM 重建,该信号变率极小,可以看作一个常量。将  $f = 0$  时 MTM 重建的信号称为背景趋势,进一步对丽水降水通过多窗口谱 99% 置信度检验的

12 a、4 a、2.5 a 和 2 a 的周期振荡幅度进行分析,对扣除了背景趋势后的  $f = 0.083$   $f = 0.25$   $f = 0.41$  和  $f = 0.50$  的信号进行 MTM 重建,结果见图 4。

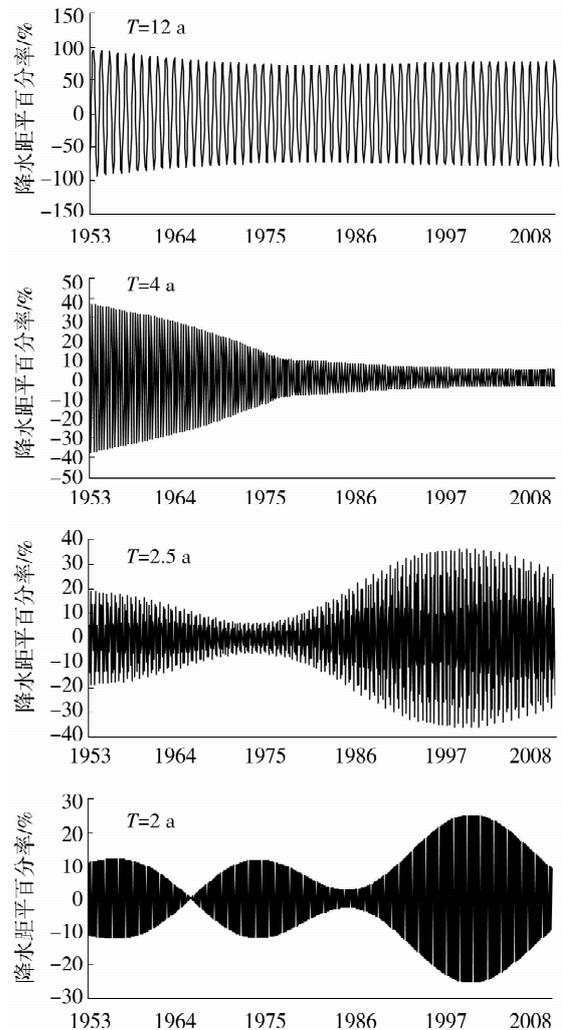


图4 丽水市降水显著周期信号的重建序列

Fig. 4 The reconstructional series of precipitation's significant period signal in Lishui

由图 4 可明显看出,丽水降水在全时域中最显著的周期,也就是年代际尺度上准 12 a 的周期信号,其振幅在全时域中都有所体现,且分布比较均匀,其中在 1950 年代中期振幅相对明显,而 1970 年代中后期,振幅有所减小,但在 1990 年代中期开始又再次增大。由于在 2010 年时,12 a 周期对应的振荡正处于低值区,未来延续在负值区域发展并向正值方向转化。由降水的强 12 a 周期振荡预测,未来几年内降水继续处于偏少状态,并逐渐向偏多方向转换。

丽水降水在年际尺度上较为明显的 4 a、2.5 a

和2 a的周期信号,其振幅随时间变化具有明显的缓变包络的特性。4 a周期振幅变化,主要分为2阶段,1970年代中期之前,周期振幅表现为显著缩减的趋势,1953年降水距平百分率振幅的绝对值高达37.3%,到1976年时就缩减到了9.3%,24 a下降幅度达到75.1%,相当于每10 a降水距平百分率的振幅下降11.7%;1970年代中期之后,振幅虽然也表现为减少,但趋势比较缓慢,自1977年振幅为 $\pm 9.1\%$ 的降水距平百分率,到2010年时下降到最低值,只有3.8%,近34 a降水距平百分率也就减少了5.3%。

2.5 a和2 a周期存在相同点,首先,都在1999~2000年之间存在振幅最大值,降水距平百分率的绝对值分别达到36.2%和25.1%;其次,近58 a的首尾1953和2010年的振幅分别处于中等强度时期;但1990年代中期之前降水振幅变化存在差异,其中2.5 a周期振幅变化在全时域中共存在2个缓变包络,其周期变化在20~38 a,1972年振荡最弱,降水距平百分率的绝对值只有5.6%;而2 a周期振荡存在3个缓变包络的交替,其缓变包络的周期在12~26 a,在1965和1985年周期振荡幅度最小,且1985年振幅大于1965年,而在1956、1974和2000年前后,2 a的周期振荡幅度最大,特别是2000年。

## 4 结 论

(1)年际尺度上,近58 a来丽水降水序列整体呈下降趋势,约每10 a减少10.19 mm,且在1987年前存在约6~10 a的丰(水期)和枯(水期)交替特征,1987年后,多雨期和少雨期交替出现的时间缩短为2~4 a为主。年代际尺度上,1950和1990年代,降水处于偏多期;1970和1980年代降水处于偏少期;1960年代和21世纪初降水处于调整期,接近平均水平略偏少。用降水量距平百分率来衡量丽水旱涝发生情况可知,干旱主要集中在1970~1980年代和21世纪初,洪涝发生时间分布比较均匀,各个年代均有。

(2)一年中降水主要集中在3~9月,其中以6月降水最为充沛。各月降水变化趋势中,降水增多的月份多于减少的月份,但增多的强度却低于减少的强度,其中以5月和9月降水量下降最为显著,8月增多最明显。四季变化中,夏季降水最多,其次是春季,秋、冬季相对较少,且冬季少于秋季;各季降水变化趋势来看,春、秋季主要表现为减少趋势,夏季

增加势头强烈,冬季变化趋势不大。

(3)丽水市1953~2010年的降水周期特征的多窗口谱分析表明,降水在年际尺度上以2~6 a周期为主,其中2~4 a周期较为明显,在年代际尺度上则主要体现在12 a周期上,且在全时域中最为显著。由此预测,未来几年内降水将延续偏少状态,并逐步向偏多方向转变。

(4)对丽水市降水最显著的12 a、4 a、2.5 a和2 a周期信号进行MTM重建,可以看出降水12 a周期信号的振幅在全时域中都有所体现,且分布比较均匀;4 a周期振幅变化,在1970年代中期之前有快速递减的趋势,1970年代中期之后,振幅表现为缓慢减少;2.5 a和2 a周期都在1999~2000年之间存在振幅最大值,且在首尾1953和2010年的振幅分别处于中等强度,但2.5 a周期振幅变化在全时域中共存在2个缓变包络更替,而2 a周期振荡存在3个缓变包络的交替。

## 参考文献:

- [1] 朱宵峰,钱永甫,宁亮,等.长江下游地区汛期暴雨气候特征分析[J].热带气象学报,2008,24(2):136-146.
- [2] 钟元,顾骏强,滕卫平,等.浙江省汛期旱涝趋势对气候变暖的响应[J].浙江大学学报(理学版),2007,34(1):106-114.
- [3] 吴昊旻,姜燕敏,茅军念.丽水汛期降水多时间尺度演变特征[J].暴雨灾害,2010,29(2):176-180.
- [4] 薛根元,周锁铨,李庆祥,等.浙江省梅汛期降水与洪涝灾害的长期变化[J].自然灾害学报,2004,13(5):69-74.
- [5] 叶笃正,黄荣辉.长江黄河流域旱涝规律和成因研究[M].济南:山东科学技术出版社,1996.387.
- [6] 姜燕敏,吴昊旻,孙卫国,等.我国华东地区气候变化与副高指数的小波分析[J].广东气象,2008,30(6):17-19.
- [7] 赵声蓉,宋正山.华北汛期旱涝与中高纬大气环流异常[J].高原气象,1999,18(4):535-540.
- [8] 章名立.西太平洋云量变化与中国东部的降水[J].大气科学,1993,17(5):576-583.
- [9] 章基嘉,高学杰.1891~1990年期间北半球大气环流和中国气候的变化[J].应用气象学报,1994,5(1):1-9.
- [10] 吴昊旻,杨羡敏,姜燕敏.浙江省夏秋季降水量时空分布特征及趋势演变规律[J].中国农业气象,2011,32(3):326-330.
- [11] 车少静,李春强,申双和.基于SPI的近41年(1965-2005)河北省旱涝时空特征分析[J].中国农业气象,2010,31(1):137-143.
- [12] 唐伍斌.广西秋冬季旱涝的时空分布特征及同期环流分析[J].气象,2009,35(1):108-113.
- [13] 郭锐,智协飞.中国南方旱涝时空分布特征分析[J].气象科学,2009,29(5):598-605.
- [14] 邵晓梅,刘劲松,许月卿.河北省旱涝指标的确定及其时空分布特征研究[J].自然灾害学报,2001,10(4):133-136.

- [15] 孙永亮, 李小雁, 许何也. 近 40a 青海湖流域逐日降水和气温变化特征[J]. 干旱气象, 2007, 25(1): 7-13.
- [16] 韩晖, 孟丽霞. 甘肃省近 46a 年降水结构空间变化分析[J]. 干旱气象, 2010, 28(1): 30-34.
- [17] 巴金, 王秀琴. 敦煌近 56a 气候特征分析[J]. 干旱气象, 2010, 28(3): 304-308.
- [18] 魏锋, 王劲松, 李宝梓, 等. 祁连山近 45a5~9 月日降水气候特征[J]. 干旱气象, 2010, 28(3): 285-290.
- [19] 陈海波, 严华生, 陈文, 等. 宁夏六盘山区多年降水的时空变化分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 103-110.
- [20] 曹玲, 窦永祥. 黑河流域降水的时空特征及预报方法[J]. 干旱气象, 2005, 23(2): 35-38, 59.
- [21] 杨羨敏, 潘娅英. 丽水市 40 年洪涝的气候特征及演变趋势预测[J]. 浙江气象, 2003, 25(3): 5-8.
- [22] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 431-439.
- [23] 江志红, 屠其璞, 施能. 多窗谱分析方法及其在全球变暖研究中的应用[J]. 气象学报, 2001, 59(4): 480-490.
- [24] 中国气象局政策法规司编. 气象标准汇编 2005-2006[M]. 北京: 气象出版社, 2008. 33-52.
- [25] 周国华, 孙莉莉, 胡淳焯, 等. 影响丽水的的天热带气旋降水气候特征[J]. 广东气象, 2008, 30(4): 27-29.

## Multi-time-scale Characteristic of Precipitation Cycle Evolution in the Past 58 Years in Lishui of Zhejiang Province

WU Haomin<sup>1,2</sup>, JIANG Yanmin<sup>2</sup>, QIANG Yuhua<sup>2</sup>

(1. College of Atmospheric Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China;  
2. Lishui Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Lishui 323000, China)

**Abstract:** Based on the monthly precipitation data from 1953 to 2010 in Lishui of Zhejiang Province, the change tendency method was used to analyze monthly, seasonal, annual and decadal variation characteristics of precipitation in Lishui, then the precipitation cycle characteristic was analyzed by multi-taper method in order to investigate the cycle evolution of precipitation. The results showed that the precipitation in Lishui presented a decreasing trend with the rate of 10.19 mm/10 a in the past 58 years, in May and September precipitation reduced obviously, but increased in August. It was found that the precipitation was characterized by obvious cycle change with 12 years on decadal scale, and 2-4 years cycle was also obvious with slowly varying envelope characteristics.

**Key words:** precipitation; change tendency; multi-taper method; Lishui

=====

(上接第 26 页)

## Application of Fractal Theory in Climate Change in Shiyanghe Watershed

BIE Qiang<sup>1</sup>, HE Lei<sup>1</sup>, ZHAO Chuanyan<sup>2</sup>

(1. College of Earth and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. State Key Laboratory of Pastoral Agricultural Ecosystem, Institute of Arid Agroecology, School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The climate change trend in past 50 years of Shiyanghe watershed was analyzed by using Kandel Rank test and R/S time series analysis method based on the climate records from Wushaoling and Wuwei weather station which stands for climate of the mountains and the plain of Shiyanghe watershed in the east of Qilian mountain respectively. The results indicated that the temperature, vapor pressure and precipitation of Shiyanghe watershed presented significantly increasing trend at 95% confidence level in the past 50 years, especially in winter, the Kandel Rank correlation coefficient reached about 3.0, and the climate change in Shiyanghe area had an obvious continued phenomenon through the R/S analysis.

**Key words:** Shiyanghe watershed; climate change; trend; R/S analysis; fractal theory