

Study on Variation Law of Precipitation in Flood Season in the Qinhe River Basin*

Zhenzhen Wang, Lingmei Huang[#], Bing Shen

Northwest Key Laboratory of Water Resource and Environment Ecology, Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an
Email: wangzhzh183@yeah.net, [#]huanglm@xaut.edu.cn

Received: Jul. 29th, 2012; revised: Aug. 14th, 2012; accepted: Sep. 1st, 2012

Abstract: Based on daily precipitation in flood season dataset of 18 stations in the Qinhe River basin during 1971-2008, the trend and periodicity variation of precipitation in flood season were analyzed by using methods of moving average, accumulative anomaly, ratio of signal to noise and wavelet analysis. The main results are as follows: the precipitation in flood season declined at a speed of 7.89 mm/10a in recent 38 years, but changes in amplitude are not significant; the precipitation in flood season doesn't exist mutation phenomenon; the annual precipitation has 27, 22, 6 and 9 years periods, and the oscillation in 27 years were the most intense. The study forecast that the annual average precipitation in the Qinhe River basin maybe in the dry period after 2008.

Keywords: Qinhe River Basin; Precipitation in Flood Season; Accumulative Anomaly; Signal to Noise Ratio; Moving Average; Wavelet Analysis

沁河流域汛期降水变化规律研究*

王珍珍, 黄领梅[#], 沈冰

西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 西安
Email: wangzhzh183@yeah.net, [#]huanglm@xaut.edu.cn

收稿日期: 2012年7月29日; 修回日期: 2012年8月14日; 录用日期: 2012年9月1日

摘要: 利用沁河流域 18 个雨量站 1971~2008 年共 38a 汛期逐日降水资料, 分别采用滑动平均法、累计距平、信噪比及小波分析等方法, 研究了降水的趋势性及周期性变化。结果表明, 38a 来汛期降水量以 7.89 mm/10a 速率呈小幅的下降趋势; 汛期降水不存在突变现象; 年降水存在着 27a、22a、6a 及 9a 的主周期变化, 27a 周期振荡最为强烈。经预测, 沁河流域在 2008 年后的一段时期内可能处于一个降水偏少期。

关键词: 沁河流域; 汛期降水; 累计距平; 信噪比; 滑动平均; 小波分析

1. 引言

水是生命之源, 是人类生存发展必不可少之物。自然界的水资源主要来自于大气降水, 当前, 全球气

候变化以及人类活动的不断加剧, 引起了降水气候特征的变化。气候特征改变, 必然会给环境生态系统、社会经济、地区乃至一个国家的发展带来影响。本研究就是在这种背景之下, 以沁河流域为研究区域, 在诸多学者定性分析了沁河流域水资源状况的基础上定量研究了该区域降水的变化规律。

*基金项目: 国家自然科学基金(50939004)。

[#]通讯作者。

作者简介: 王珍珍(1990-), 女, 甘肃白银人, 在读硕士生, 研究方向为干旱水文与雨洪侵蚀。

2. 流域概况

沁河流经晋豫两省, 是黄河三门峡至花园口区间的一条较大的一级支流, 晋东南最大的河流。流域总面积 13,532 km², 山西境内 12,264 km², 干流总长 485 km, 山西境内 363 km。丹河是沁河的最大支流, 沁丹河流域呈阔叶形, 地形北高南低, 南北高差可达 800~2000 m。流域上游为石质山区, 植被良好, 水土流失轻微; 中游为土石丘陵区, 人类经济活动强度大, 导致植被较差, 产沙量也较大。中上游干流两岸峰峦重叠, 地形相当复杂。

沁河流域地处我国东部季风区暖温带半湿润地区的西缘, 大陆性季风气候明显。该流域水资源以大气降水为主, 汛期(6~9月)降水量占全年降水量的 67%~74%。降水的年际变化也较大。据气象资料统计, 流域的年平均水面蒸发量为 1487~1903 mm, 由北向南递增。郑晓燕^[1]、燕荷叶^[2]等对沁河流域水资源情况做了定性分析, 指出沁河流域水资源时空分布极为不均, 且断流情况频繁; 张志红^[3]认为八十年代以来沁河流域径流量偏枯主要原因是汛期降水量持续偏少所致。本研究在此基础上定量分析了汛期降水量的变化规律。

3. 资料及方法

3.1. 资料来源

本研究选取沁河流域内 18 个雨量站为研究站点, 所采用的数据是 1971~2008 年共 38a 实测汛期逐日降水量, 数据资料可靠。

3.2. 研究方法

3.2.1. 滑动平均法

滑动平均法也称移动平均法。对序列 x_1, x_2, \dots, x_n 的几个前期值和后期值取平均, 得到光滑化的新序列 y_i , 数学式表示为^[4]:

$$y_i = \frac{1}{2l+1} \sum_{i-l}^i x_{i+i}$$

当 $l=2$ 时为 5 点滑动平均, $l=3$ 时为 7 点滑动平均, 以此类推。

3.2.2. 累计距平与信噪比

利用累计距平曲线来寻找气候变化过程中的可

能的突变点。其表达式为:

$$C_i = \sum_{i=1}^i (X_i - \bar{X})$$

式中: X_i 为第 i 年的平均降水量; \bar{X} 为计算时段内的年平均降水量。

作出累计距平曲线, 曲线上 $|C_i|$ 值最大点对应的年份为转折年份。利用信噪比进一步验证该点是否达到气候突变的标准。信噪比的表达式为^[5]:

$$S/N = \frac{|\bar{X}_a - \bar{X}_b|}{\sigma_a + \sigma_b}$$

式中: \bar{X}_a 、 \bar{X}_b 和 σ_a 、 σ_b 分别表示转折年份前后两阶段降水量的平均值和标准差; $S/N > 1.0$ 时可认为存在气候突变, 否则气候突变不明显。

3.2.3. 小波分析

采用复 Morlet 小波^[6]作为母小波分析沁河流域降水的时频特征, 函数式为:

$$\psi(t) = e^{ict} e^{-t^2/2} \quad (1)$$

小波变换系数表示为:

$$W_f(a, b) = |a|^{-1/2} \int_R f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

将时间域上的关于 a 的所有小波变换系数的平方进行积分, 得到小波方差:

$$\text{Var}(a) = \int_R |W_f(a, b)|^2 db \quad (3)$$

式(1)、(2)、(3)中: a 为尺度因子, 反映小波周期长度; b 为时间因子, 反映时间平移; $f(t)$ 为时间序列; $\psi_{a,b}(t)$ 为 $\psi(t)$ 经伸缩和平移而成的一族函数; c 取常数 6.2。

4. 结果分析

4.1. 汛期降水的趋势性分析

本研究采用 5 点滑动平均对降水序列进行趋势分析, 进而拟合线性方程。该方法计算简单, 过程简捷, 能够比较直观的反映降水系列的增减变化趋势。

由图 1, 根据线性趋势线, 沁河流域 1971~2008 年汛期降水量总体变化幅度不大, 平均以 7.89 mm/10a 的速率呈下降趋势, 但根据 5 点滑动平均曲线, 汛期降水量年代际变化较为明显, 以九十年代初为

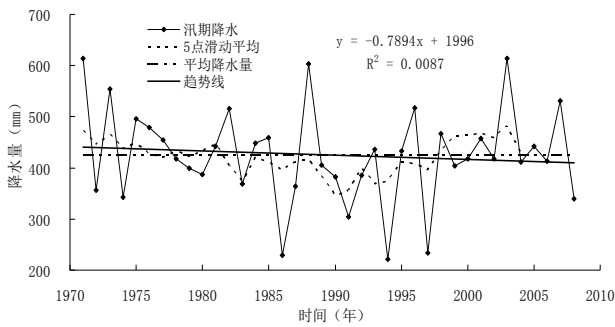


Figure 1. The variation of precipitation in flood season in the Qinhe River basin during 1971-2008
图1. 沁河流域 1971-2008 年汛期降水量变化

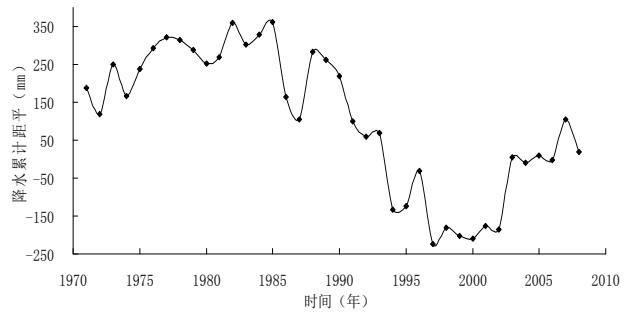


Figure 2. The accumulative anomaly of precipitation in flood season in the Qinhe River basin during 1971-2008
图2. 沁河流域 1971-2008 年汛期降水累计距平曲线

界, 大致可分为两个阶段。第一阶段为七十年代初~九十年代初, 降水量呈明显的下降趋势; 第二阶段为九十年代初~2008 年, 降水量呈明显的上升趋势。其中, 第一阶段后期以及第二阶段前期即 1982~1998 年, 降水量低于汛期平均降水量 425 mm。

4.2. 汛期降水的突变检验

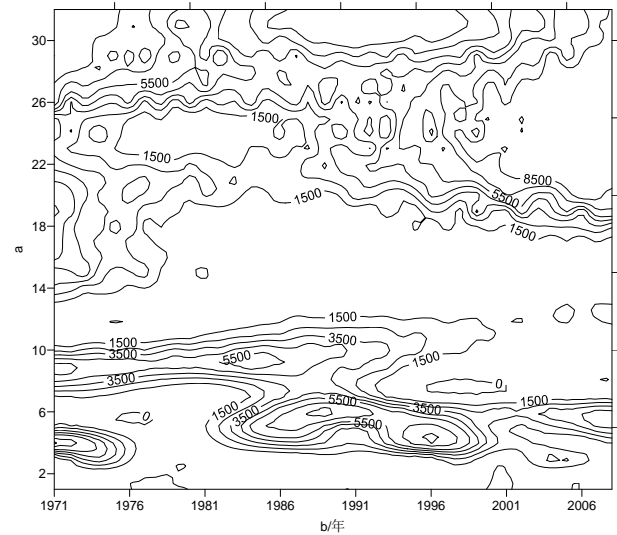
由图 2 可知, 沁河流域 $|C_t|$ 的最大值出现在 1985 年, 降水由偏高期转为偏低期; 其次为 1997 年, 降水由偏低期转为偏高期。经计算, 1985、1997 年降水的信噪比均小于 1.0, 可认为是气候转折年, 而非气候突变年。

4.3. 汛期降水的周期性分析

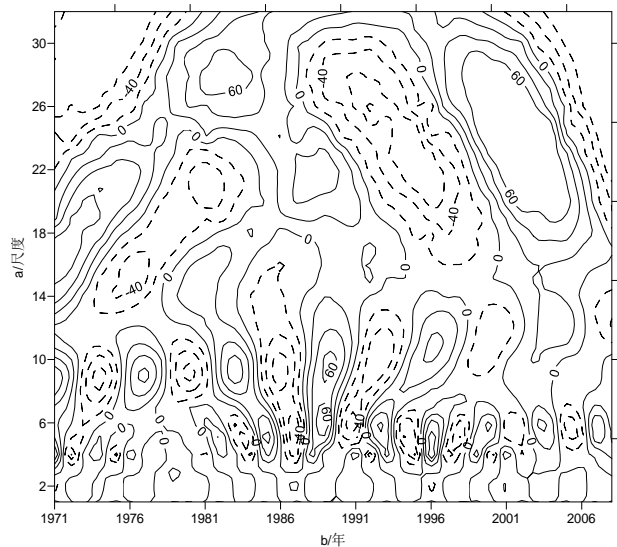
由于小波分析存在边缘效应, 对首末数据的分析会产生一定的影响, 故借助 matlab 先对原始数据进行周期延拓^[7], 计算出小波变换系数, 再将延拓部分弃除, 用原始时段的数据进行之后的分析。

图 3(a)显示了不同时段各时间尺度的强弱分布。由图可知, 18~30a 的时间尺度变化最强, 表现在整个研究时段; 3~6a 的时间尺度变化较强, 大致发生在 1982~2000 年; 7~11a 也存在明显的时间尺度变化, 大致发生在 1971~1994 年; 此外, 还存在着一个局部性变化较强的 3~5a 时间尺度。

图 3(b)显示了小波变换实部的实频变化及分布。沁河流域汛期降水量的年际及年代际变化比较明显。图中小波系数的大小反映信号的强弱, 其中, 实线即正的等值线表示降水偏多, 虚线即负的等值线表示降水偏少, 系数为 0 则为突变点^[8]。不同时间尺度下虚实线交替出现表示该尺度下的干湿交替变化^[9]。由图



(a)



(b)

Figure 3. The modulus square (a) and real part (b) of morlet wavelet transform coefficient of precipitation in flood season in the Qinhe River basin

图3. 沁河流域汛期降水量小波变换模平方(a)和实部(b)图

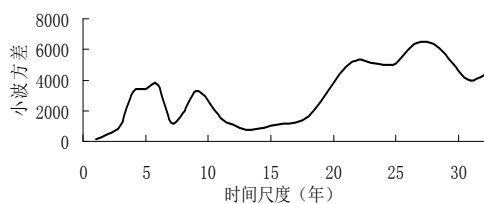


Figure 4. The wavelet variance of precipitation in flood season in the Qinhe River basin

图4. 沁河流域汛期降水过程小波方差图

可知, 中心时间尺度在 27a 左右时, 降水共出现 2 次干湿交替变化, 且表现在整个研究时段; 中心时间尺度在 22a 左右时, 降水共出现 3 次干湿交替变化, 同样表现在整个研究时段; 中心时间尺度在 9a 左右时, 降水共出现 5 次干湿交替变化, 表现在七十年代初~九十年代末; 中心时间尺度在 6a 左右时, 降水大致出现 6 次干湿交替变化, 表现在八十年代初~2008 年; 中心时间尺度在 4a 左右时, 1971~1975 年共出现 2 次干湿交替变化, 其余则较弱, 周期性不强。当中心时间尺度在 27a、22a、6a 时, 降水在 2008 年后的一段时期内都处于偏少期, 对于 9a 尺度则处于偏多期。

由图 4 可知, 27a 和 22a 时间尺度的小波方差值最大, 即该尺度下波动能量最强, 分别为第 1、第 2 主周期, 6a 时间尺度为第 3 主周期, 9a 时间尺度为第 4 主周期。4a 时间尺度的波动能量仅次于 6a, 但根据图 3, 该尺度下的周期性具有局部特性, 波动不强。

5. 结论

1) 由线性趋势分析可知, 近 38a 来沁河流域汛期降水量总体变化幅度不大, 平均以 7.89 mm/10a 的速率呈下降趋势, 且在九十年代初期之前, 降水量高于汛期平均降水量, 在九十年代初期之后, 降水量低于平均水平。

2) 由突变检验可知, 在过去的 38 年里, 沁河流域汛期降水未发生突变现象, 但分别在 1985、1997 年出现了转折。其中, 1985 年降水由偏高期转为偏低期; 1997 年降水由偏低期转为偏高期。

3) 由周期性分析可知, 沁河流域汛期降水量存在着明显的多时间尺度周期性变化, 27a 尺度及 22a 尺度的年代际变化最为突出, 6a 尺度的年际变化也较强。

4) 沁河流域汛期降水存在着 27a、22a、6a 及 9a 的主周期变化, 27a 周期变化最为明显。分析这四个主周期的干湿交替变化特性, 沁河流域在 2008 年后的一段时期内可能处于一个降水偏少期。

参考文献 (References)

- [1] 郑晓燕. 沁河流域水资源可持续利用对策探讨[J]. 山西水利, 2010, 10: 25-26.
ZHENG Xiaoyan. Countermeasures of water resources sustainable utilization in Qinhe River basin. Shanxi Water Resources, 2010, 10: 25-26. (in Chinese)
- [2] 燕荷叶. 解决沁河流域缺水问题的有效途径[J]. 水利科技与经济, 2007, 13(2): 117-118.
YAN Heye. Effective ways to solve water shortage of Qinhe River. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2007, 13(2): 117-118. (in Chinese)
- [3] 张志红, 陈宏莉, 何宏谋. 沁河流域近十几年来水资源量偏枯原因分析[J]. 水文, 2004, 24(1): 32-35.
ZHANG Zhihong, CHEN Hongli and HE Hongmou. Analysis on the reduction cause of water resources in Qinhe River basin during the recent decade. Hydrology, 2004, 24(1): 32-35. (in Chinese)
- [4] 王文圣, 丁晶, 金菊良. 随机水文学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
WANG Wensheng, DING Jing and JING Juliang. Random hydrology. Beijing: Hydropower and Electrical Press, 2008. (in Chinese)
- [5] 陈保西, 王晓玲, 隅竹. 近 50 年林芝浅层地温对气候变化的响应[J]. 西藏科技, 2011, 6: 59-61.
CHEN Baoxi, WANG Xiaoling and YU Zhu. Characteristics of soil temperature variations in Linzhi and response to climate change in recent 50 years. Tibet's Science & Technology, 2011, 6: 59-61. (in Chinese)
- [6] 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 and LI Yueqing. Hydrology wavelet analysis. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. (in Chinese)
- [7] 周伟. 基于 MATLAB 的小波分析应用[M]. 西安电子科技大学出版社, 2010.
ZHOU Wei. The application of wavelet analysis based on MATLAB. Xi'an Electronic and Science University Press, 2010. (in Chinese)
- [8] 邵晓梅, 许月卿, 严昌荣. 黄河流域降水序列变化的小波分析[J]. 北京大学学报, 2006.
SHAO Xiaomei, XU Yueqing and YAN Changrong. Wavelet analysis of rainfall variation in the Yellow river basin. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006. (in Chinese)
- [9] 莫淑红, 沈冰, 季瑞瑞, 等. 西安市区地表供水水源径流变化规律分析[J]. 干旱区研究, 2006, 23(1): 183-188.
MO Shuhong, SHEN Bing, JI Ruirui, et al. Analysis on the periodicity and variance trend of runoff volumes of surface water supply for the urban area of Xi'an City. Arid Zone Research, 2006, 23(1): 183-188. (in Chinese)