

嘉陵江流域近 50 年降水量演变规律分析

段文明¹, 穆兴民^{1,2}, 高鹏^{1,2}, 王飞^{1,2}, 白桦²

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:利用嘉陵江流域 12 个气象站点的 1960—2009 年降雨实测资料,采用地统计学和时间序列等方法,分析了嘉陵江流域近 50 a 降水量时空变化特征,为旱涝、泥石流等自然灾害的防治提供依据。结果表明:流域内年平均降水量 910.5 mm,降水量由东南到西北逐渐递减;近 50 a 来降水量总体上呈减少趋势,流域整体处于一个丰—平—枯的降水阶段;降水量的周期性比较明显,存在 35 a、21 a 尺度的周期;年内降水量具有季节性变化,降水量主要集中在 5—9 月,占全年降水量的 80%左右,春、秋季降水量有减少趋势,流域夏季降水量除渠江有增加趋势外都有减少趋势,冬季变化趋势不明显;近 50 a 来降水量以正常年份居多,降水偏多年份多于偏少年份。通过分析虽年降水量有减少的趋势,但年内降水量却相对集中于夏秋季,因此仍要做好汛期的洪涝、水土流失等灾害的防治,以及春冬季的抗旱工作。

关键词:嘉陵江流域; 降雨量; 时空变化

中图分类号:P333.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0097-05

Analysis on the Trend of Precipitation in Jialing River Basin Nearly 50 Years

DUAN Wen-ming¹, MU Xing-min^{1,2}, GAO Peng^{1,2}, WANG Fei^{1,2}, BAI Hua²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This paper analyzes the spatio-temporal variation of precipitation using the monthly precipitation data from 12 meteorological stations during the period of 1960—2009 based on geostatistics and time series analysis methods, which can serve as the convincing evidences for combating drought and flood, debris flow and other natural disasters. The results indicate that: the average annual precipitation is about 910.5 mm, which has a decreasing gradient from southeast to northwest in the Jialingjiang River Basin. The precipitation shows downward trend in the last 50 years in the catchment, and has periodical features of 21 and 35 years. The precipitation has a rainy-normal-drier period in the last 50 years. The precipitation presents seasonal dynamics during the whole year, and mainly concentrated in the period of May to September, accounting for approximately 80% of annual rainfall. In addition, precipitation in spring and autumn demonstrates decreasing trends. In summer, most stations show downward trends except Qujiang River with an increasing trend, however, there is no significant trend for precipitation in winter. Nearly fifty years, the majority of rainfall occurred in a normal year, the rainy year was more common than drier year. Through the study, there is a decreasing trend in annual precipitation, but it is relatively concentrated in the summer and autumn through the year. Therefore, we should take some measures to prevent the floods, soil erosion or other disasters in flood season and take some measures to prevent drought in spring and winter too.

Key words: Jialing River Basin; precipitation; spatio-temporal variation

随着全球气候变暖,降水在时空分布上也正在发生着改变,而降水的变化又是引发旱、涝等极端自然灾害的直接因素。在我国,流域尺度上的降水时空变异研究逐渐受到重视。冯强^[1]等对我国降水的时空

变化与暴雨洪涝灾害进行了研究,指出不同流域的降水时空分布状况存在着较大差异。丁永建^[2]针对 1955—1995 年黑河流域降水的时空特征进行了分析,认为在空间上,流域内降水由西北向东南呈现明

收稿日期:2011-08-04

修回日期:2011-09-13

资助项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究”(2007CB407203)

作者简介:段文明(1985—),男,山东滨州人,硕士,主要从事水土保持与环境效益研究。Email:duanwenming100@163.com

通信作者:穆兴民(1961—),男,陕西华阴人,工学博士,研究员,博士生导师,主要从事生态水文、水土保持研究。Email:xmmu@ms.iswc.ac.cn

显的增加趋势;40 a 来黑河流域降水在波动中呈现出增加之势。褚健婷等^[3]选取海河流域 1958—2007 近 50 a 的降雨资料进行了时空变化分析,指出除春季降水量略有增加外,海河流域的降水整体上呈减少趋势;降水从南向北,从沿海到内陆逐渐减少。刘引鸽^[4]利用 1951—2001 年陕北黄土高原 24 个测站的降水资料,分析了陕北黄土高原降水时空变化特征,指出陕北黄土高原地区年平均降水量南多北少,近 51 a 来降水总体上呈减少趋势。

近年来,嘉陵江流域旱涝、泥石流、水土流失等自然灾害频繁发生,给流域内的经济发展造成严重损失,这些自然灾害发生与降水量的时空变化分布有很大的关系。目前,针对嘉陵江流域降雨研究主要集中在人类活动和气候变化对嘉陵江流域径流泥沙的影响^[5-7],应用模型对降水量进行适当的预测^[8]等方面,而对于流域内近 50 a 来降水量的时空变化分布特征研究甚少。本文基于嘉陵江流域 12 个气象站点的降雨实测资料,对流域近 50 a 降雨时空变化特征进行分析,为流域气象、水文旱涝、泥石流等自然灾害的预警和防治提供理论基础。

1 研究流域概况

嘉陵江流域发源于秦岭南麓,是长江第二大支流,干流全长 1 120 km,流域面积约 16 万 km²,地势总体为西、北、东高,东南面最低;流经陕西、甘肃、四川、重庆等四省(市),分嘉陵江、渠江、涪江三大水系,干流自北向南,渠江自东北向西南,涪江自西北向东南,三大水系在合川附近汇合,构成扇形向心水系;嘉陵江流域大部分属亚热带湿润季风气候,气候温和,四季分明,雨水充沛;嘉陵江流域是长江各大支流中水土流失比较严重的地区,是长江上游重点产沙区域之一。

2 资料与方法

2.1 资料

研究区域为嘉陵江流域,选取嘉陵江流域 12 个气象站,并按嘉陵江上游、中下游、涪江、渠江等四片分析。12 站逐日降水资料来源于中国气象数据共享网,资料年限为 1960—2009 年,区域年降水量为区域内各站点降水量的算术平均。

2.2 方法

降水量空间分布采用普通克里格(Ordinary kriging)插值方法做降水量的等值线图^[9];采用 Mann—Kendall 方法(简称 MK 方法)^[11-12]及线性回归方法进行降水量年际变化趋势分析;利用 Morlet 复小波对年降水量小波分析,分析降水的周期性^[10];

利用降水集中度统计方法^[13],分析降水的地域分异规律。采用累积距平百分率^[14]和距平百分率分析降水量变化的阶段性与异常年份。

降水集中度(precipitation concentration index, PCI)可以表征年内降水量的分布特征,其计算式如下:

$$PCI = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_i)^2} \quad (1)$$

式中: P_i ——某站第 i 月的降水量。当 $PCI < 10$, 降水年内分配均衡,差异不大;当 $10 \leq PCI \leq 20$, 降水呈现季节性变化; $PCI > 20$ 时,降水月际变化显著。

降水量异常年份采用年距平百分率($\Delta R\%$)判定,具体标准见表 1^[15]。

表 1 降水量年型划分标准

降雨年型	年距平百分率阈值($\Delta R\%$)
异常偏多	$80\% \leq \Delta R\%$
显著偏多	$50\% \leq \Delta R\% < 80\%$
偏多	$25\% < \Delta R\% \leq 50\%$
正常	$-25\% \leq \Delta R\% \leq 25\%$
偏少	$-50\% < \Delta R\% < -25\%$
显著偏少	$-80\% < \Delta R\% \leq -50\%$
异常偏少	$\Delta R\% \leq -80\%$

3 结果与分析

3.1 降水量空间变化特征

基于流域内 12 个及流域周边 37 个气象站点的 1960—2009 年降水量序列,采用普通克里格空间插值方法,绘制流域内多年平均年降水量等值线,由图 1 分析表明,流域面平均降水量 910.5 mm,最多年份为 1 190 mm(1983 年),最少的年份为 650.6 mm(1997 年)。年降水量由东南的 1 100.4 mm 向西北逐渐递减到 550.8 mm,其空间差异较大。降水量相对高值区集中在渠江段,约 1 100.4 mm 左右,相对低值区集中在嘉陵江上游段,约 550.8 mm 左右。嘉陵江流域降水量空间分布与我国降水量东南多、西北少,从东南向西北递减的空间分布是一致的,说明研究区域的降水仍受东亚季风的影响。

3.2 降水量年际变化特征

对于嘉陵江流域年降水量的年际变化趋势分别采用 MK 方法和线性趋势分析法计算各站点 MK 检验值和降雨倾向系数,并采用普通克里格插值方法进行空间插值,得出流域内降水量 MK 检验值等值线分布图和降水量趋势分布图(如图 2 和图 3 所示)。分析表明,近 50 a 嘉陵江流域降水量整体呈现减少趋势。嘉

陵江上游降水量减少(武都附近地区有增加趋势,但不显著),且上游的东北部和西北地区降水量减少趋势比较显著,嘉陵江上游中部地区减少趋势不显著,降水倾向系数为负值,幅度 $-8.11\sim 0$ mm/a;嘉陵江中下游降水量有增加趋势,但趋势不显著,降水倾向系数多为

负值(除嘉陵江中下游下半段为正值),幅度为 $-3.34\sim 1.39$ mm/a;涪江段上游呈减少趋势,下游呈增加趋势,但趋势都不显著,降水倾向系数多为负值,幅度为 $-8.11\sim 0$ mm/a;渠江段降水量呈增加趋势,但不显著,降水倾向系数为正值,在 $0\sim 1.39$ mm/a。

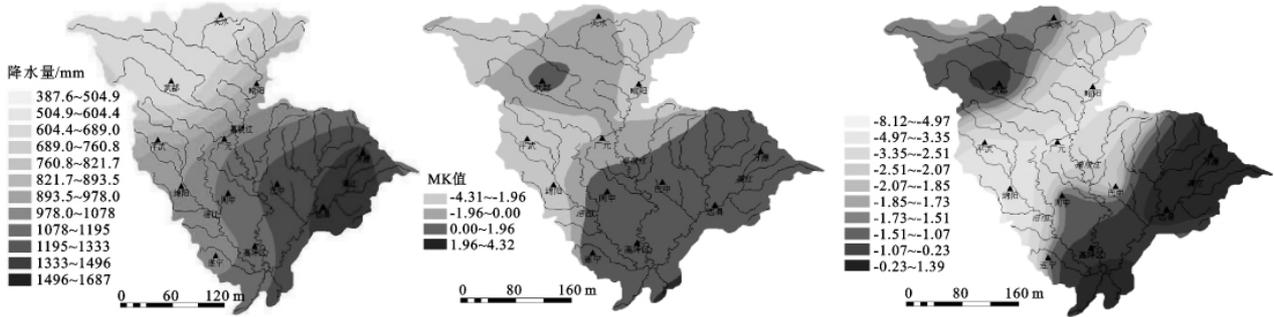


图 1 嘉陵江流域多年平均年降雨量空间分布 图 2 1960—2009 年降水量 MK 检验值分布 图 3 1960—2009 年降水量趋势分布

3.3 降水量年内变化特征

3.3.1 降水量的季节分布规律及其趋势性变化特征

由公式(1)计算各站点逐年降水集度,并采用普通克里格插值进行空间插值,得出降雨集度空间分布图(图 4),分析降水的地域分异规律。结果表明流域内降水集中指数(PCI)在 $12\sim 20$ 附近, $11\leq PCI\leq 20$,即降水呈现季节性变化,嘉陵江流域中部地区月降雨量较其他区域相对集中。

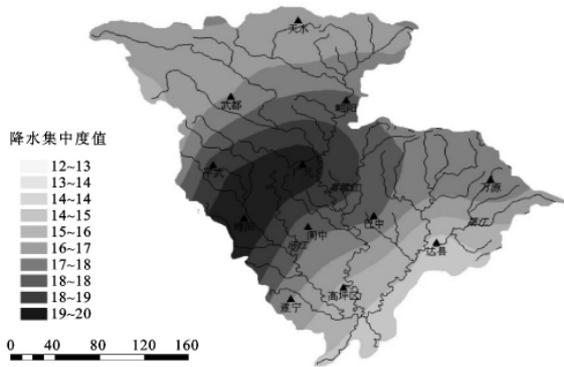


图 4 嘉陵江流域降水集度空间分布

一般将 3—5 月划为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季、12 月至次年 2 月为冬季。整体来看,各季节降水量最多的都是渠江地区,嘉陵江上游各季节降水量都是最少的。各地区的降水量主要集中在夏季,

其次为秋、春季节,冬季降水量最少,属于典型的大陆性季风气候区。由表 2 可以看出,嘉陵江上游夏季降水量占全年的 50.0%,而冬季的降水量仅占全年的 2.1%,春、夏、秋季的降水量都有减少的趋势,夏季减少的幅度最大,达 0.880 mm/a,冬季降雨倾向系数基本保持不变。嘉陵江中下游夏季降水量最大,占全年的 49.9%,秋、春次之,冬季最少,仅占 3.6%,春、夏、秋季降水都有减少趋势,秋季减少趋势最大,为 2.208 mm/a,冬季有增加趋势,但很不显著。涪江地区夏季降水占全年的 55.0%,春、秋和冬季的降水量分别占全年的 18.6%,23.3%和 3.1%,春、夏、秋、冬降水量都有减少趋势,夏、秋两季减少的幅度较大,分别为 1.239 mm/a,1.266 mm/a。渠江地区夏季降水量占全年的 46.7%,其次为秋、春两季,冬季最少,春、秋两季降水量有减少趋势,秋季减少较大,为 2.653 mm/a,夏、冬有增加趋势,夏季增加幅度较大,为 2.722 mm/a。

3.3.2 逐月降水量分布规律 对比分析各区域的逐月降水量可以看出(图 5),各区域降水主要集中在 5—9 月,这 5 个月的降水量总和占全年降水量的 80%左右,7 月降水量最大,而 1 月、2 月和 12 月的降水量所占比例很小,这与季节降水分布是一致的。各区域逐月的降水量占全年降水量的比例相差不大。

表 2 各季节降水比例及降水倾向系数值

地区	季降水量/mm				占全年比例/%				倾向系数/(mm·a ⁻¹)			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
上游	124.3	296.7	160.0	12.4	20.9	50.0	27.0	2.1	-0.530	-0.880	-0.431	0.023
中下游	200.0	491.7	257.3	35.6	20.3	49.9	26.1	3.6	-0.557	-0.762	-2.208	0.073
涪江	162.6	481.0	203.8	26.8	18.6	55.0	23.3	3.1	-0.551	-1.239	-1.266	-0.002
渠江	265.5	555.4	328.8	39.9	22.3	46.7	27.6	3.4	-0.395	2.722	-2.653	0.208

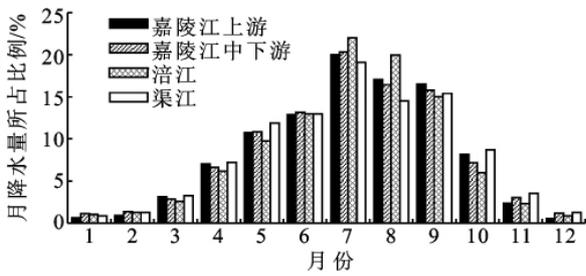


图 5 嘉陵江流域各区域各月降水所占比例

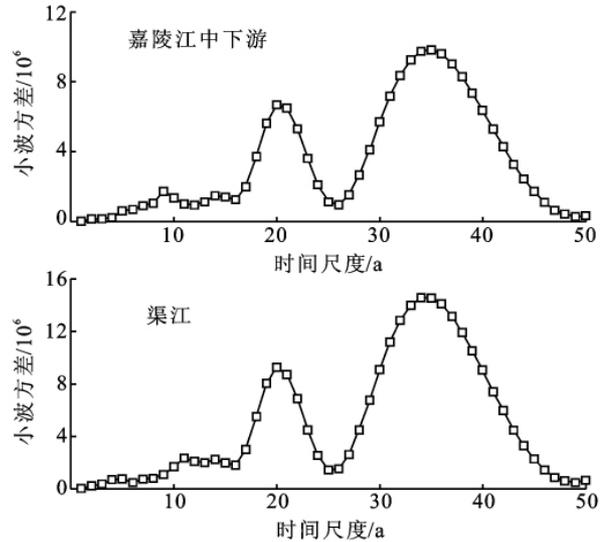
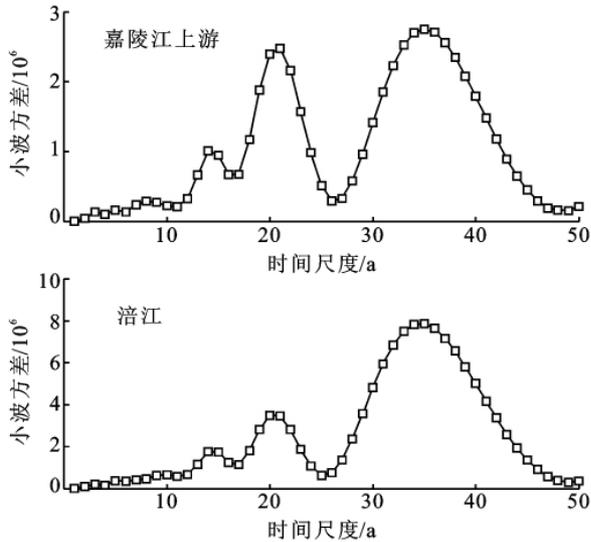


图 6 嘉陵江流域 1960—2009 年降水量序列小波方差

3.5 降水量变化的阶段性和异常年份

嘉陵江流域降水距平累积百分率变化如图 7 所示,降水量在年际间的随机变化中表现出丰、平、枯的阶段特征。嘉陵江流域各区域年际变化的阶段性有一定的差异,从大致时间看,嘉陵江上游存在两个显著的丰水段即 1960—1969 年、1975—1985 年;两个显著的枯水段即 1970—1974 年、1991—2010 年;一个平水段即 1986—1990 年。嘉陵江中下游存在两个显著

3.4 降水量周期性变化

选用 Morlet 复小波对嘉陵江上游、嘉陵江中下游、涪江和渠江 1960—2009 年降水量序列实行一维连续小波变换,并分别绘制小波方差图。由图 6 分析表明,嘉陵江流域近 50 a 降水量具有显著的周期性变化,嘉陵江上游、嘉陵江中下游、涪江、渠江的第 1、2 主周期相同,分别是 35 a,21 a,即嘉陵江流域降水存在 35 a,21 a 的周期。

的丰水段即 1960—1969 年、2006—2010 年;一个显著的枯水段即 1990—1997 年;三个显著的平水段即 1970—1975 年、1976—1989 年、1998—2005 年。渠江存在两个显著的丰水段即 1979—1986 年、2003—2010 年;两个显著的枯水段即 1975—1978 年、1987—2002 年;一个显著的平水段即 1960—1974 年。涪江存在两个显著的丰水段即 1960—1968 年、1973—1986 年;两个显著的枯水段即 1969—1972 年、1987—2010 年。

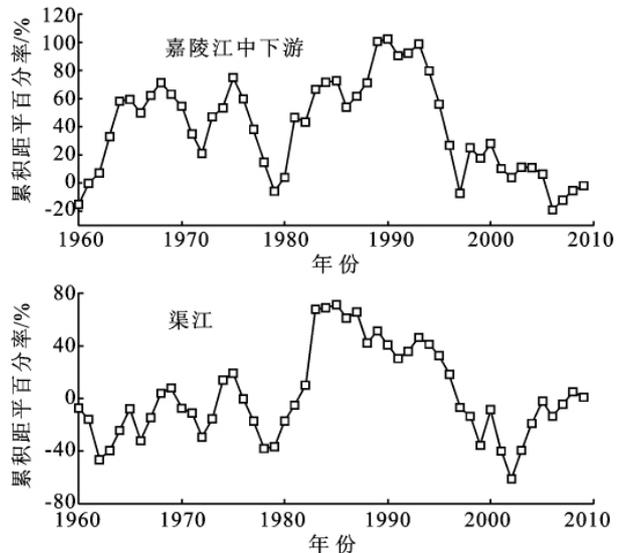
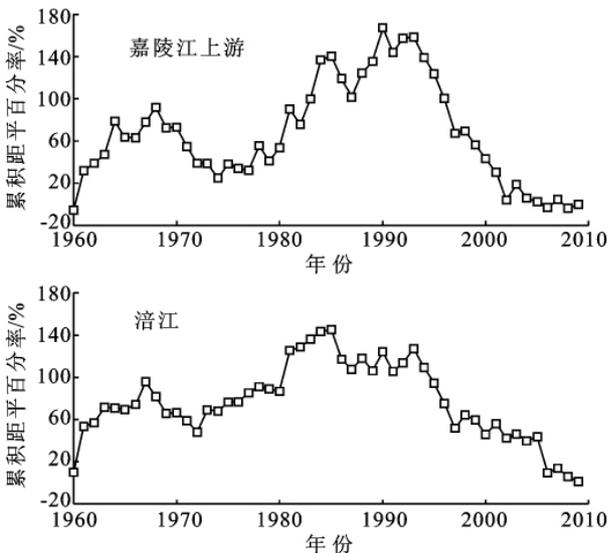


图 7 嘉陵江流域降水量距平百分率年际变化

通过计算年降水量距平百分率,根据表 1 统计嘉陵江流域降水异常年份,嘉陵江流域内异常降水年见表 3。近 50 a 降水中,嘉陵江流域内降水以正常年份居多,偏多年份多于偏少年份,异常偏多和异常偏

少的年份基本没有,个别小区域出现异常偏多年份。嘉陵江上、中下游降水偏多年数多于涪江、渠江区域,降水偏少年数嘉陵江上、中下游、涪江和渠江基本一样。

表 3 嘉陵江流域降水异常年份

类别	嘉陵江上游	嘉陵江中下游	涪江	渠江
显著偏多				1983
偏多	1961,1964,1981,1984,1990	1963,1964,1973,1981,1989,1998	1961,1981	1974,2000
偏少	1997,2002	1996,1997,2006	1986,2006	1962,1997,2001

4 结论

(1)流域面平均降水量 910.5 mm,受东亚季风气候的影响,流域内的降水量空间分布不均匀,自东南向西北逐渐递减。

(2)嘉陵江流域整体近 50 a 降水量有减少趋势,但趋势不显著。流域内降水的年代集中指数(PCD)较稳定,在 12~20 之间,即降水呈现季节性变化,嘉陵江流域中部地区月降雨量较其他区域相对集中,夏季降水量占全年降水量比例最高,秋、春次之,冬季最少,降水量集中在 5—9 月;春秋季降水有减少趋势,夏季除渠江有增加趋势外都有减少趋势,冬季变化趋势不明显。

(3)近 50 a 降水量存在 35 a,21 a 的周期变化;各区域年际变化具有一定的阶段性,流域整体处于一个丰—平—枯的降水阶段。近 50 a 降水中,嘉陵江流域内降水以正常年份居多,降水偏多年份多于偏少年份,异常偏多和异常偏少的年份基本没有,嘉陵江上、中下游降水偏多年数多于涪江、渠江区域,降水偏少年数嘉陵江上、中下游、涪江和渠江基本一样。

(4)虽然近 50 a 降水量有减少趋势,但年内降水量却相对集中,且集中于夏秋两季,因此仍要做好汛期的洪涝、水土流失等灾害的防治措施以及春冬的防旱工作,减少自然灾害对流域内社会、经济的影响。

参考文献:

[1] 冯强. 我国降水的时空变化与暴雨洪涝灾害[J]. 自然灾害学报,1998,7(1):87-93.

- [2] 丁永建,叶佰生,周文娟. 黑河流域过去 40 a 来降水时空分布特征[J]. 冰川冻土,1999,21(1):42-48.
- [3] 褚健婷,夏军,许崇育,等. 海河流域气象和水文降水资料对比分析及时空变异[J]. 地理学报,2009,64(9):1083-1092.
- [4] 刘引鸽. 陕北黄土高原降水的变化趋势分析[J]. 干旱区研究,2007,24(1):49-55.
- [5] 许炯心. 人类活动和降水变化对嘉陵江流域侵蚀产沙的影响[J]. 地理科学,2006,26(4):432-437.
- [6] 陈桂亚,Clarke D. 气候变化对嘉陵江流域水资源量的影响分析[J]. 长江科学院院报,2007,24(4):14-18.
- [7] 高鹏,穆兴民,王炜. 长江支流嘉陵江水沙变化趋势及其驱动因素分析[J]. 水土保持研究,2010,17(4):57-61.
- [8] 向田恬,陈华,郭家力,等. 气候变化对嘉陵江流域降水变化影响分析[J]. 南水北调与水利科技,2010,8(1):75-77.
- [9] 许家琦,舒红. 降水数据空间插值的时间尺度效应[J]. 测绘信息与工程,2009,34(3):29-30.
- [10] 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.
- [11] 徐宗学,张玲,阮本清. 北京地区降雨量时空分布规律分析[J]. 干旱区地理,2006,4(2):186-192.
- [12] Zbigniew W K, Alice R. Detection trend and other changes in hydrological data [M]. WMO/TD-No. 1013. Geneva,2000.
- [13] Olive J E. Monthly precipitation distribution. A comparative index[J]. The Professional Geographer, 1980, 32(3):300-309.
- [14] 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.
- [15] 魏淑秋. 农业气象统计[M]. 福州:福建科学技术出版社,1985.