

# 1960—2010 年关中地区旱涝灾害对气候变化的响应

窦睿音, 延军平\*

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:** 依据关中平原 1960—2010 年月平均气温和降水量, 采用线性回归分析、非参数 Mann-Kendall 突变检验法及 Z 指数分析法, 对关中平原气候变化特征及气温突变前后旱涝灾害的变化进行分析。结果表明: 51 年中, 关中平原年平均气温升高, 年降水量呈下降趋势, 暖干化趋势明显; 关中平原地区约在 1995 年发生明显的气温突变; 气温突变后, 关中地区涝灾比例减少了 3.6%, 旱灾比例增加了 23.8%, 干旱趋势明显。

**关键词:** 气温; 降水量; 气温突变; 旱涝灾害; 关中平原

中图分类号: P426.6 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2012)05-0542-06

## Characteristics of drought and flood and its response to climate change in Guanzhong plain in 1960 to 2010

DOU Rui-yin, YAN Jun-ping\*

(College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** Based on meteorological data of Guanzhong plain from 1960 to 2010, the characteristics of climate change in Guanzhong plain and the change of drought and flood before and after the temperature jump were analyzed by linear regression analysis, Mann-Kendall test and Z index. The results showed that the annual average temperature is gradually increased in the past 51 years and the annual precipitation showed a downward trend, indicating a significant warming and drying trend in climate change. The time of the temperature jump occurred around 1995; after the temperature jump, the flood events in Guanzhong plain decreased by 3.6% and the drought events increased by 23.8%, indicating an obvious drought trend.

**Key words:** temperature; precipitation; temperature jump; drought and flood; Guanzhong plain

20 世纪全球平均地面温度比 19 世纪上升了 0.56~0.92 °C; 21 世纪全球平均温度仍将持续上升<sup>[1-4]</sup>。在中国, 气候变暖导致的极端气候事件(干旱、飓风、洪水、极端高温、低温等)的出现频率有增加趋势, 20 世纪 90 年代, 气象灾害每年造成的损失占国民经济生产总值(GDP)的 3%~6%, 其中约 80%是由旱涝气候灾害造成的<sup>[5]</sup>。关中平原是陕西省工农业最发达、人口最密集的地区。近年来, 学者们主要对关中平原单个城市的气候变化进行分析, 如车慧正<sup>[6]</sup>、张立伟<sup>[7]</sup>等均利用近 50 年的气

象资料, 分别对西安、咸阳地区的气候变化特征进行了分析, 但关于整个关中平原的气候特征、气候突变以及旱涝发展趋势等的研究尚少。笔者利用 1960—2010 年关中地区的气象资料, 对近 51 年关中平原旱涝灾害对气候变化的响应进行分析, 现将结果报道如下。

### 1 研究区概况、资料来源及研究方法

#### 1.1 研究区概况

关中平原位于陕西省中部, 总面积  $5.55 \times 10^4$

收稿日期: 2012-05-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171090)

作者简介: 窦睿音(1989—), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要从事区域开发与城乡发展研究, douruiyin0816@163.com; \*通信作者, yanjp@snnu.edu.cn

km<sup>2</sup>, 包括西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南 5 个省辖地级市, 共 54 个县(市、区), 位于暖温带范围内, 地处半湿润季风气候区, 是气候变化的敏感区。关中地区地处内陆, 水资源贫乏, 生态环境脆弱, 近年来, 工农业的迅速发展和人口的快速增长, 使得本地区生态环境进一步恶化。

### 1.2 研究资料来源

研究数据为陕西省境内关中地区 34 个气象站

点(图 1)1960—2010 年的逐月气温和降水量, 由陕西省气象局提供。

### 1.3 研究方法

季节划分采用气象学上的标准: 春季为 3—5 月, 夏季为 6—8 月, 秋季为 9—11 月, 冬季为 12 月至翌年 2 月。主要研究方法为线性回归分析法<sup>[8]</sup>、降水距平法、非参数 Mann-Kendall 突变检验法<sup>[9]</sup>以及降水量 Z 指数分析法<sup>[10]</sup>。

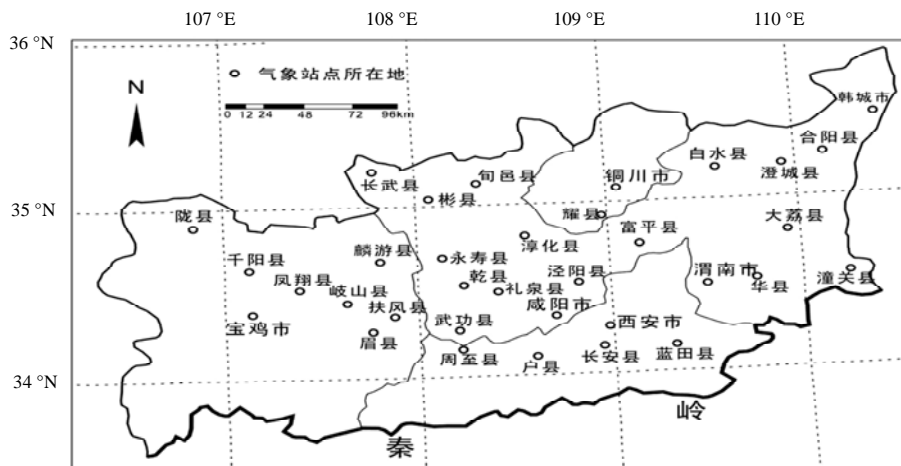


图 1 关中平原气象站点分布

Fig.1 Distribution of meteorological stations in Guanzhong plain

## 2 1960—2010 年关中地区气候的变化

### 2.1 气温变化特征

#### 2.1.1 气温年际变化

由图 2 可见, 1960—2010 年, 关中平原年平均气温呈上升趋势, 每 10 年上升 0.225 °C, 大于近 50

年全球平均气温变化率(每 10 年上升(0.13±0.03) °C), 但低于同期西北地区气温变化率(每 10 年约上升 0.32 °C)<sup>[11]</sup>。1984 年年均温度为 11.0 °C, 为 51 年最低; 2006 年年平均温度为 13.3 °C, 为 51 年最高。

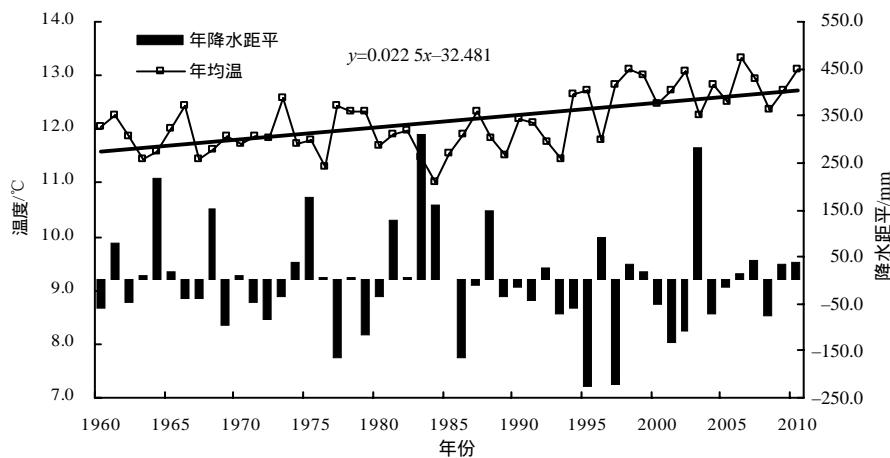


图 2 1960—2010 年关中平原的年均气温和降水距平

Fig.2 Temperature and precipitation in Guanzhong plain from 1960 to 2010

### 2.1.2 气温季节变化

由图 3 可见,春季年均气温上升速率为四季最高,达到每 10 年 0.369℃。1960—1983 年,气温基本在平均温度以下波动;自 1984 年以来,气温下降到最低值后又持续剧烈上升;自 1997 年开始,气温基本在平均温度以上波动。

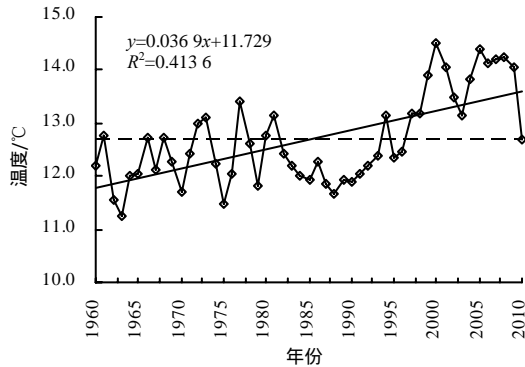


图 3 1960—2010 年关中平原春季的平均气温

Fig.3 Spring temperature trends in Guanzhong plain from 1960 to 2010

夏季气温呈缓慢下降的趋势,每 10 年下降 0.127℃。1960—1980 年,夏季气温出现 51 年来的最低值,仅为 22.4℃;1981—1997 年,气温持续波动上升(图 4)。

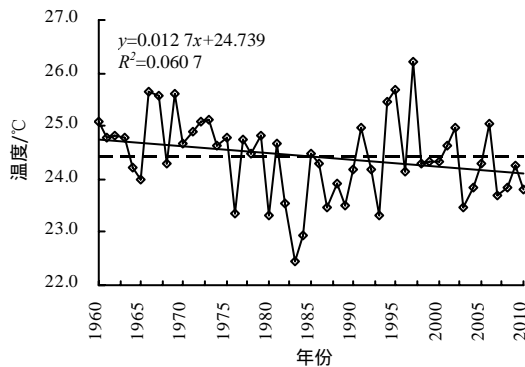


图 4 1960—2010 年关中平原夏季的平均气温

Fig.4 Summer temperature trends in Guanzhong plain from 1960 to 2010

秋季气温总体呈平稳上升趋势,气温每 10 年升高 0.196℃。1980 年之前,气温基本在平均温度以下平缓波动;1981 年开始,气温多数高于平均温度且波动剧烈,并且在 1998 年达到历史同期最高值 13.7℃;2005 年后,气温均在平均温度以上波动(图 5)。

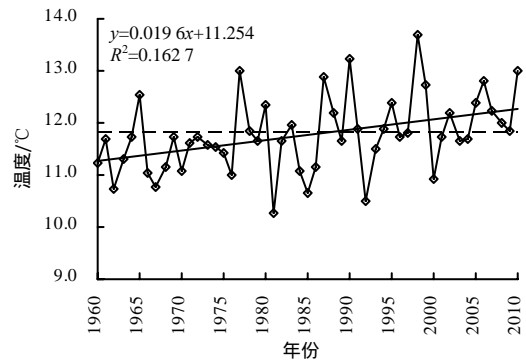


图 5 1960—2010 年关中平原秋季的平均气温

Fig.5 Autumn temperature trends in Guanzhong plain from 1960 to 2010

冬季气温每 10 年上升 0.317℃。1987 年之前,气温基本在平均温度以下波动,1969 年达同期历史最低值 -2.6℃;1987 年之后,气温多在平均温度以上波动,只有 2008 年气温异常低,达到 -1.2℃(图 6)。

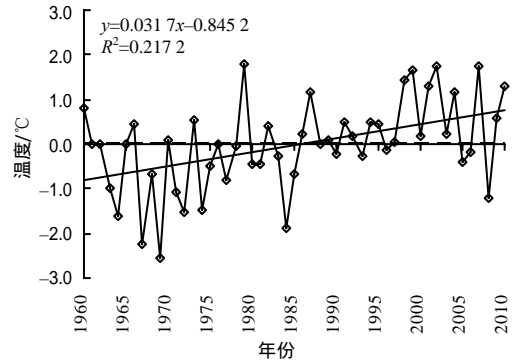


图 6 1960—2010 年关中平原冬季的平均气温

Fig.6 Winter temperature trends in Guanzhong plain from 1960 to 2010

## 2.2 降水量变化特征

### 2.2.1 降水量的年际变化

由图 2 可见:51 年中,降水量呈下降趋势,每 10 年下降 7.21 mm;最大降水量为 904 mm,出现在 1983 年(这一年的平均气温为 11.5℃,低于 51 年的平均温度 12.2℃)。1960—1989 年,降水量在 51 年平均降水量上下平稳波动;1990—2010 年,有 13 年降水距平处于平均降水量以下,说明该地区在 20 世纪 90 年代气温剧烈升高的同时降水量减少,暖干化趋势明显(降水量的变化与气温变化呈负相关),这与延军平<sup>[12]</sup>的研究一致。

### 2.2.2 降水量的季节变化

如图 7 所示,春季降水量整体呈减少趋势,每 10 年减少 10.19 mm。1960—1974 年,有 10 年的降

水距平为正值(同期的气温多在 51 年均值以下,表明在这段时期气温与降水量呈正相关关系);1975—1989 年,降水距平在 51 年均值上下波动;1990 年以后,降水量负距平明显多于正距平(表明春季气温明显升高的同时降水量显著减少)。

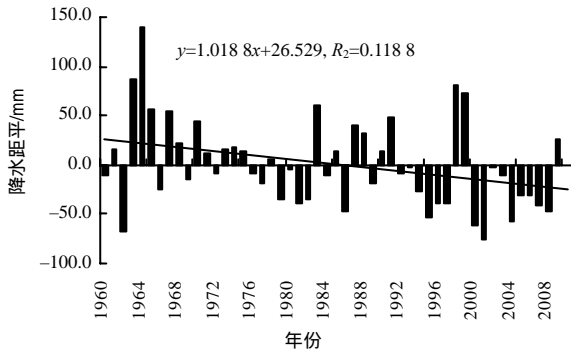


图 7 1960—2010 年关中平原春季的降水距平  
Fig.7 Trends of spring changes for precipitation anomaly in Guanzhong plain from 1960 to 2010

夏季降水量呈增加趋势,每 10 年增加 9.34 mm。

1960—1979 年,降水距平多为负值(期间气温多在 51 年夏季平均温度之上),这与牛桂平等<sup>[13]</sup>的研究一致;1980—2010 年,降水距平在平均降水距平上下波动,2006—2010 年的降水距平有 4 年为正,说明这段时期降水量较充沛(图 8)。

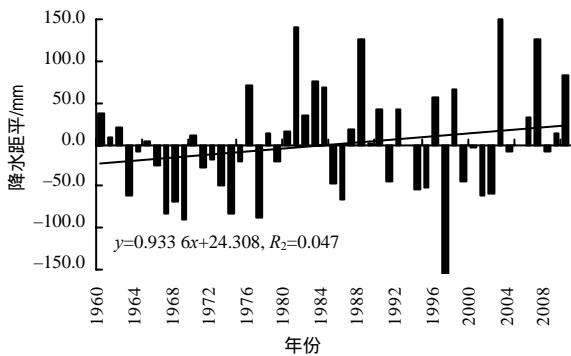


图 8 1960—2010 年关中平原夏季的降水距平  
Fig.8 Trends of summer changes for precipitation anomaly in Guanzhong plain from 1960 to 2010

秋季降水量呈减少趋势,每 10 年减少 12.91 mm。

1960—1974 年,有 11 年降水距平为正值(同期气温多在 51 年均值以下,表明在这段时期气温与降水量呈负相关关系);1980—1999 年,降水负距平持续增加,连旱现象严重(图 9)。

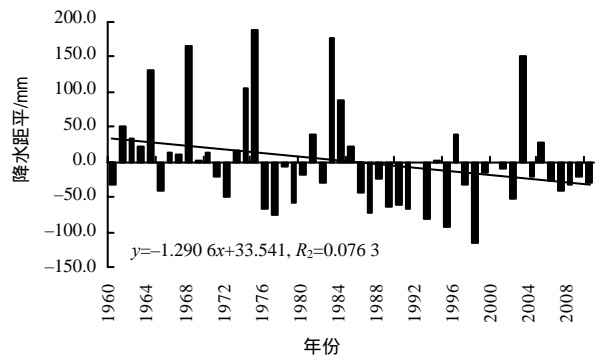


图 9 1960—2010 年关中平原秋季的降水距平  
Fig.9 Trends of autumn changes for precipitation anomaly in Guanzhong plain from 1960 to 2010

冬季降水量略有增加,每 10 年增加 1.60 mm。

1960—1999 年,降水距平多为负值,表明这段时期关中平原冬季持续偏旱。51 年的冬季降水量最小值 5.1 mm 出现在 1982 年;2000—2010 年,有 8 年降水距平为正,表明冬季进入了降雨充沛期,51 年的冬季降水量最大值 50.5 mm 出现在 1988 年(图 10)。

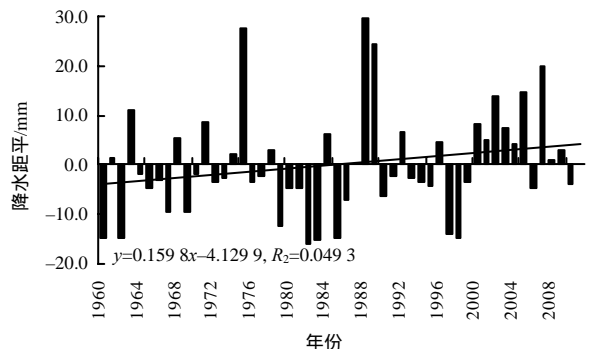


图 10 1960—2010 年关中平原冬季的降水距平  
Fig.10 Trends of winter changes for precipitation anomaly in Guanzhong plain from 1960 to 2010

### 3 气温突变年份的确定

从一个稳定的气候阶段向另一个稳定的气候阶段过渡,且其后阶段持续时间的长度远大于过渡时期的长度,这种现象称作气候突变<sup>[14]</sup>。由图 11 可知:1960 年和 1961 年的  $UF>0$ ,表明这 2 年气温呈上升趋势;1962—1977 年,只有 1966、1973 年的  $UF>0$ ,表明只有 2 年的温度是上升的,其余 14 年气温呈下降趋势;1977—1982 年的  $UF>0$ ,表明该时间段气温持续上升;1983—1994 年的  $UF<0$ ,表明气温在该时间段持续下降;1995 年后  $UF>0$ ,在 2001 年处超 1.96 信度线。曲线  $UF$  与  $UB$  于 1995

年在±1.96 临界线内相交,表明关中地区年平均温度在 1995 年发生突变,且之后的气温呈持续上升

趋势,在 2001 年后这种趋势达到显著水平(图中平行线是显著水平  $\alpha=0.05$  时  $U\alpha =\pm 1.96$  的临界值线)。

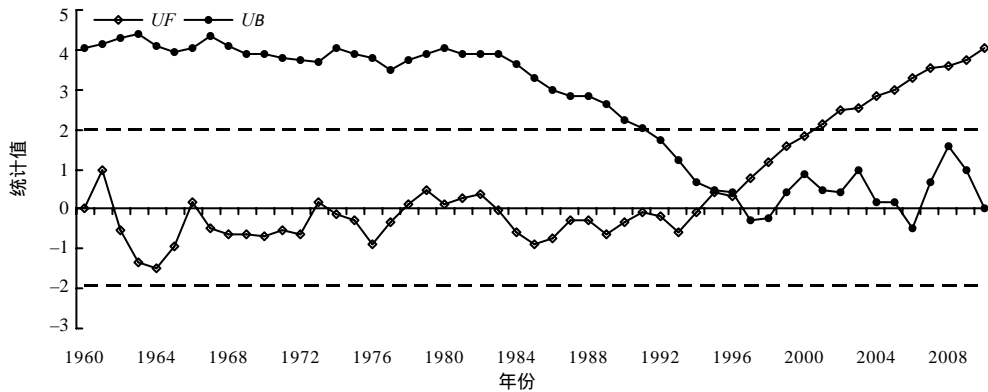


图 11 1960—2010 年关中平原年平均气温的 Mann-Kendall 检验

Fig.11 Mann-Kendall test for annual temperature of Guanzhong plain from 1960 to 2010

#### 4 1995 年气温突变前后旱涝的变化

##### 4.1 Z 指数区域适应性分析

将 Z 变量的正态分布曲线划分为 7 个等级,并确定其相应的 Z 界限值(表 1)<sup>[15]</sup>。对关中平原 34 个气象站点 1960—2010 年的 Z 指数进行分析后,发现每级的理论频率和实际频率均较接近(表 2),表明该 Z 指数等级划分标准能够反映实际情况,可以用于研究关中平原的旱涝气候变化特征。

表 1 Z 指数旱涝等级标准

等级	Z 值	类型	累计频率
1	$Z > 1.6485$	重涝	>95%
2	$1.0364 < Z < 1.6485$	大涝	>85% ~ 95%
3	$0.5244 < Z < 1.0364$	偏涝	>70% ~ 85%
4	$-0.5244 < Z < 0.5244$	正常	>30% ~ 70%
5	$-1.0364 < Z < -0.5244$	偏旱	>15% ~ 30%
6	$-1.6485 < Z < -1.0364$	大旱	5% ~ 15%
7	$Z < -1.6485$	重旱	<5%

表 2 1960—2010 年关中平原四季及年 Z 指数旱涝等级平均出现频率

Table 2 Mean frequency of drought and flood with different grades based on Z index associated with seasons and years from 1960 to 2010

等级	Z 指数旱涝等级频率/%					理论频率
	春	夏	秋	冬	全年	
重涝	2	0	4	2	6	5
大涝	14	8	10	10	8	10
偏涝	8	14	8	4	14	15
正常	49	53	49	47	45	40
偏旱	16	20	20	12	14	15
大旱	10	4	6	12	8	10
重旱	2	2	4	4	6	5

##### 4.2 气温突变前后旱涝灾害的变化

由表 3 可见,将气温突变前 35 年和突变后 16 年进行对比,51 年中重涝(1 级)出现年份由突变前的 5.7% 升高为突变后的 6.3%,变化不明显;大涝(2 级)在气温突变前所占比例为 11.4%,而气温突变后未发生过大涝;偏涝(3 级)由突变前的 11.4% 增加

表 3 1960—2010 年关中地区气温突变前各级旱涝指数的出现频率及时间

旱涝指数 等级	1960—1994 年			1995—2010 年		
	出现时间/年	出现频率/%	涝-正常-旱频率/%	出现时间/年	出现频率/%	涝-正常-旱频率/%
1	2	5.7		1	6.3	
2	4	11.4	28.6	0	0.0	25.0
3	4	11.4		3	18.8	
4	18	51.4	51.4	5	31.3	31.3
5	4	11.4		3	18.8	
6	2	5.7	20.0	2	12.5	43.8
7	1	2.9		2	12.5	

至突变后的 18.8%；正常(4级)由气温突变前的 51.4%降为突变后的 31.3%；偏旱(5级)突变前为 11.4%，突变后为 18.8%；大旱(6级)由气温突变前的 5.7%增加至气温突变后的 12.5%；重旱(7级)由气温突变前的 2.9%升高至突变后的 12.5%。

由表3涝-正常-旱出现频率可以看出，1960—2010年，在1995年气温发生突变前后，关中平原地区涝灾减少了3.6%，变化不明显；正常等级年份所占比例由51.4%降至31.3%；旱灾年份由气温突变前的20%增加到43.8%。这表明，在气温突变后，关中地区旱涝灾害发生更加频繁，其中涝灾变化不大，而旱灾增多的趋势更明显。

## 5 结 论

1) 1960—2010年，关中平原年际及春、秋、冬三季的气温均呈上升趋势，每10年上升分别为0.225、0.369、0.196、0.317℃，与全球气候变暖趋势一致，其中，春季气温增幅最明显，只有夏季气温呈微弱降低趋势，每10年降低0.127℃。

2) 1960—2010年，关中平原年降水量整体呈下降趋势，每10年减少7.21mm，降水量变化与气温变化呈负相关。四季降水量变化中，夏、冬降水量呈增加趋势，分别为每10年增加9.34、1.60mm；春、秋降水量呈减少趋势，分别为每10年减少10.19、12.91mm。

3) 1960—2010年，关中平原气温突变点为1995年。从Z指数等级7级和涝-正常-旱3级的比例来看，气温突变前涝灾的比例从28.6%降至25.0%，正常从突变前的51.4%减少为31.3%，而旱灾则由20.0%升高为43.8%，说明关中平原气温升高，降水量减少，暖干化趋势明显，关中地区在不断向干旱状态变化。

## 参考文献:

- [1] Hansen J, Lebedeff S. Global trends of measured surface air temperature[J]. J Geophys Res, 1987, 92 (D11): 13345-13372.
- [2] Vinnikov K Y, Groisman P Y A, Lugin K M. Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation)[J]. J Climate, 1990(3): 662-677.
- [3] 王邵武, 叶瑾琳. 近百年全球气候变暖的分析[J]. 大气科学, 1995, 19(5): 545-553.
- [4] 赵宗慈, 王邵武, 罗勇. IPCC成立以来对温度升高的评估与预估[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 183-184.
- [5] 黄荣辉, 杜振彩. 全球变暖背景下中国旱涝气候灾害的演变特征及趋势[J]. 自然杂志, 2010, 32(4): 187.
- [6] 车惠正, 张小曳, 李杨, 等. 过去50年西安气候演变趋势的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 28(5): 96-100.
- [7] 张立伟, 延军平. 咸阳市气候暖干化及干旱灾害趋势判断[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 131-134.
- [8] 刘新平, 刘存侠. 教育统计与测评导论[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 105-110.
- [9] 胡德勇, 姚帮松. 澧水流域降水量的时空分布特征[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2011, 37(5): 558-561.
- [10] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟, 等. 中国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报, 1997, 8(1): 26-33.
- [11] 丁一汇, 张莉. 青藏高原与中国其他地区气候突变时间的比较[J]. 大气科学, 2008, 32(4): 794-805.
- [12] 延军平. 秦岭南北环境响应程度比较[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 11-12.
- [13] 牛桂萍, 李智嘉, 杨月娟, 等. 陕西省关中、陕南地区初夏干旱特点及预测研究[J]. 灾害学, 1997, 12(2): 63-64.
- [14] 于淑秋, 林学椿. 北太平洋海温的气候跃变度及其对中国汛期降水量的影响[J]. 热带气象学报, 1997, 13(3): 265-275.
- [15] 张存杰, 王宝灵, 刘德祥, 等. 西北地区旱涝指标的研究[J]. 高原气象, 1998, 17(4): 381-389.

责任编辑: 王赛群