

程 瑛,侯政君,孔祥伟,等. 甘肃省强降水变化特征[J]. 干旱气象,2014,32(3):382-387, [CHENG Ying, HOU Zhenjun, KONG Xiangwei, et al. Variation Characteristic of Heavy Rainfall in Gansu Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(3):382-387], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-03-0382

## 甘肃省强降水变化特征

程 瑛<sup>1</sup>,侯政君<sup>2</sup>,孔祥伟<sup>1</sup>,李荣庆<sup>1</sup>

(1. 兰州中心气象台,甘肃 兰州 730020;2. 南京信息工程大学,江苏 南京 210044)

**摘 要:**利用甘肃省 1960~2011 年逐日降水量及 1984~2011 年暴洪灾害的灾情资料,分析了甘肃省强降水变化特征及其对社会经济的影响。结果表明:(1)近 52 a 来,甘肃省降水量整体上呈逐年减少趋势,空间上由东南向西北递减;(2)河西年降水在 1986 年以后均匀度明显下降,而河东在 20 世纪 70 年代后期降水时间分布很不均匀、80 年代后期较均匀,其它时间变化不大;河西 5~9 月降水在 20 世纪 80 年代后期到 90 年代前期分布最不均匀,河东 20 世纪 90 年代后期到 21 世纪初期降水不均匀性有所增加,此后逐渐减小;(3)河西西部一直是近 50 a 甘肃降水量分布最不均匀的地区,20 世纪 70 年代及 21 世纪以来不均匀度明显较高;(4)20 世纪 80 年代以来,甘肃河西强降水明显增加,而河东在 21 世纪初有短时段的增加,2008 年以后又逐渐减少;(5)甘肃省暴洪灾害的频次及其造成的直接经济损失均呈增加趋势,而因暴洪灾害造成的死亡人数在减少,2009 年以后略有增加。

**关键词:**甘肃省;基尼系数;强降水日;特征;影响

**文章编号:**1006-7639(2014)-03-0382-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-03-0382

**中图分类号:**P426

**文献标识码:**A

### 引 言

甘肃生态脆弱,降水稀少,向以干旱著称,然而一旦有较强降水就容易引发山洪泥石流等地质灾害。近年来,甘肃省因强降水引发的暴洪灾害造成的经济损失和社会影响越来越大,气象灾害的社会敏感性越来越高,这就需要更加重视气象灾害的风险管理,提高气象灾害防御的能力。许多学者针对甘肃省的强降水个例、强降水的分布及变化事实、环流特征以及水汽输送<sup>[1-7]</sup>等方面做了许多研究工作,本文利用甘肃省 76 个气象站点近 52 a 逐日降水资料以及 1984~2011 年暴洪灾害的灾情资料,利用基尼系数等方法<sup>[8-10]</sup>,对甘肃省强降水的变化特征及其对社会经济的影响进行了系统分析。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

选用了甘肃省 76 个气象站 1960~2011 年逐日降水资料和甘肃省农业厅、甘肃省水利厅、甘肃统计

局、甘肃省图书馆、甘肃省地质自然灾害防治研究所、甘肃省植保质检站提供的以及从甘肃省志、各市地州县志、《西北灾荒史》、《甘肃水旱灾害》、《甘肃抗旱防汛手册》、《甘肃年鉴》和各朝代史书等史料中获取的暴洪气象灾情、经济指标资料,资料年代为 1984~2011 年。

### 1.2 研究方法

基尼系数是经济学中对贫富差距量化评价的重要工具。近年来,基尼系数逐渐地应用于地理学研究,如水土资源匹配分析<sup>[11]</sup>,流域用水公平性评价<sup>[12]</sup>,降水时间分布均匀度研究<sup>[13]</sup>等方面。本文通过基尼系数的引入实现了对降水时间分布均匀度的量化评价,从而对降水变化做出更为全面、客观的评估。意大利统计学家基尼(Corrado Gini, 1884~1965 年)在洛伦茨曲线的基础上,提出了基尼系数(Gini coefficient)的概念。关于基尼系数的计算方法很多,有臧日宏编著的《经济学》和王健、修长柏主编的《西方经济学》均详细介绍了基尼系数的计算公式;另外,张建华<sup>[14]</sup>对臧日宏的计算方法进行

收稿日期:2013-12-13;改回日期:2014-01-28

基金项目:中国气象局小型业务建设项目“环境气象业务(空气污染气象条件预报)系统建设”资助

作者简介:程瑛(1966-),女,甘肃酒泉人,高级工程师,主要从事气候变化的研究. E-mail:kyzy\_chengy@163.com

了探索和简化,总结出了便于计算和应用的简单公式。基尼系数的含义是指实际洛伦茨曲线与绝对公平线所包围的面积  $A$  占绝对公平线与绝对不公平线的面积  $A + B$  的比重,其表达式如下:

$$G = \frac{A}{A + B} \quad (1)$$

根据公式(1),首先将12个月的降水量分为12组,且按从多到少排列;然后以  $W_i$  表示从第1组直到第12组降水累计占年降水的百分比,为方便计算,在第1组之前虚设一个第0组,该组降水为0,即  $W_0 = 0$ 。另外,第1组到第12组降水累计即是年降水,由此可知  $W_n = 100\% = 1$ ,于是,基尼系数可转化为:

$$\begin{aligned} G &= \frac{A}{A + B} = \frac{(A + B) - B}{A + B} \\ &= 1 - \frac{1}{n} \cdot 2 \sum_{i=1}^{n-1} W_i - \frac{1}{n} \\ &= 1 - \frac{1}{n} (2 \sum_{i=1}^{n-1} W_i + 1) \end{aligned} \quad (2)$$

式中(2)中,降水量的基尼系数  $G$  的值在  $0 \sim 1$  之间,当基尼系数  $G = 0$  时,降水绝对平均,当基尼系数  $G = 1$  时,降水绝对不平均。基尼系数  $G$  越大,表示降水量在某一时间段内分布越不均匀,反之则表示降水量在某一时间段内分布越均匀。年降水基尼系数趋势线波动越明显,说明年降水时间分布振幅越大,降水时间分布稳定性越弱,旱涝灾害越频繁。

本文强降水是指日降水量  $\geq 10$  mm 以上的降水,强降水出现的条件概率是指雨日(日雨量  $\geq 0.1$  mm)及强降水日(日雨量  $\geq 10$  mm)条件下,分别出现  $\geq 10$  mm、 $25$  mm、 $50$  mm 强降水的概率,分别用  $P_{\geq 10 \text{ mm}}$ 、 $P_{\geq 25 \text{ mm}}$ 、 $P_{\geq 50 \text{ mm}}$  表示。以雨日条件下,出现  $\geq 25$  mm 强降水的条件概率  $P_{\geq 25 \text{ mm}}$  为例,其定义如下:

$$P_{\geq 25 \text{ mm}} = \frac{\text{降水} \geq 25 \text{ mm 日数}}{\text{雨日日数}} \quad (3)$$

## 2 结果分析

### 2.1 甘肃省降水变化

图1是1960~2011年甘肃省年降水量距平百分率变化。可以看到,近52 a来甘肃省降水量年际变化为逐渐减少,年代际降水呈波动下降趋势,尤其进入20世纪90年代,降水明显减少。甘肃省年降水量的空间变化是由东南到西北递减,经定西到陇

西、天水、武都、文县为一个由北向南伸展的干舌;甘肃省年降水量的趋势变化(图略)显示,年降水量线性倾向率的零线基本以黄河为界,河西为正值,河东为负值。其中河西西部的降水量变化不大,河西中东部以  $5 \sim 15$  mm/10 a 的速率增加,而河东则以  $-5 \sim -35$  mm/10 a 的速率减少<sup>[2]</sup>。

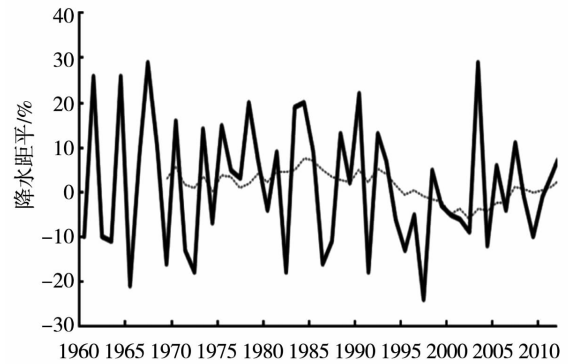


图1 1960~2011年甘肃省年降水量距平百分率(虚线为10 a滑动平均)

Fig.1 The anomaly percentage of annual precipitation in Gansu Province during 1960-2011 (the dotted line for the ten-year moving average)

### 2.2 甘肃省降水时间分布均匀度变化

#### 2.2.1 基尼系数的年际变化

降水量基尼系数的变化可以反映降水量时间分布均匀度的变化,基尼系数越大,表明降水量分布越不均匀,旱涝灾害愈加频繁。从图2甘肃省降水量基尼系数的年变化上可以看出,河西降水量的基尼系数明显比河东大,其原因主要是2地区不同的气候条件所致。从全年降水的基尼系数年际变化上看(图2a),甘肃省降水量的基尼系数在  $0.45 \sim 0.68$  之间波动,其中河西在1986年以前,降水量的基尼系数变化平稳,1986年以后下降明显;河东除了20世纪70年代后期降水量基尼系数较大,80年代后期降水量基尼系数较小外,其它时间变化不大。5~9月是甘肃的主要降水时段,90%~95%暴洪灾害发生在这一期间。图2b显示,1962年以来河西5~9月的降水量基尼系数一直都很大,20世纪80年代后期至90年代前期最大,且降水基尼系数趋势线波动明显,此后有所减小,但2005年以后又再次增大;河东20世纪80年代至90年代前期降水基尼系数最小,20世纪90年代后期至21世纪初期有所增大,此后又逐渐减小。对比图2a和图2b发现,年降水量的不均匀度明显高于5~9月降水量的,表明5~9月的降水较其他月份更集中。

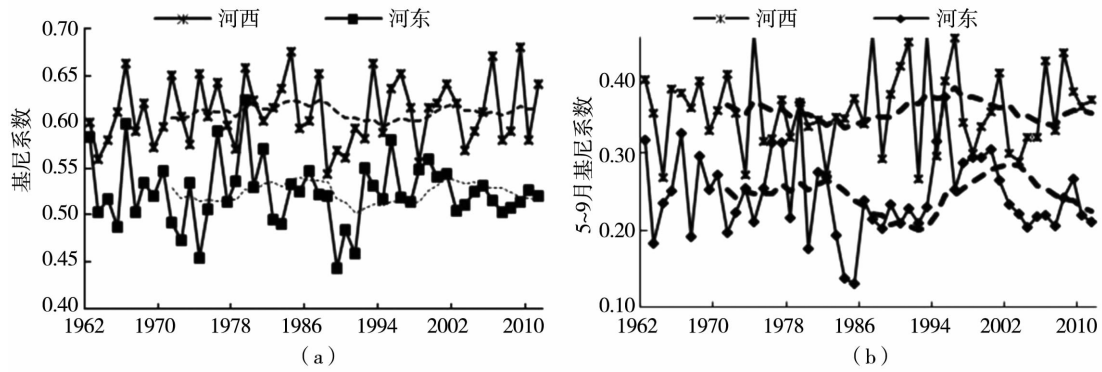


图2 甘肃省年降水(a)和5~9月降水(b)的年基尼系数变化(虚线为10 a滑动平均)

Fig. 2 The annual variations of Gini coefficient for annual precipitation(a) and accumulated precipitation from May to September(b) during 1962 - 2011 in Gansu Province (the dotted lines for the ten - year moving average)

2.2.2 基尼系数的年代空间分布

图3 为甘肃省年降水基尼系数的年代空间分

布。整体可以看出,河西西部一直是近50 a降水量分布最不均匀的地区。20世纪60年代,敦煌、安

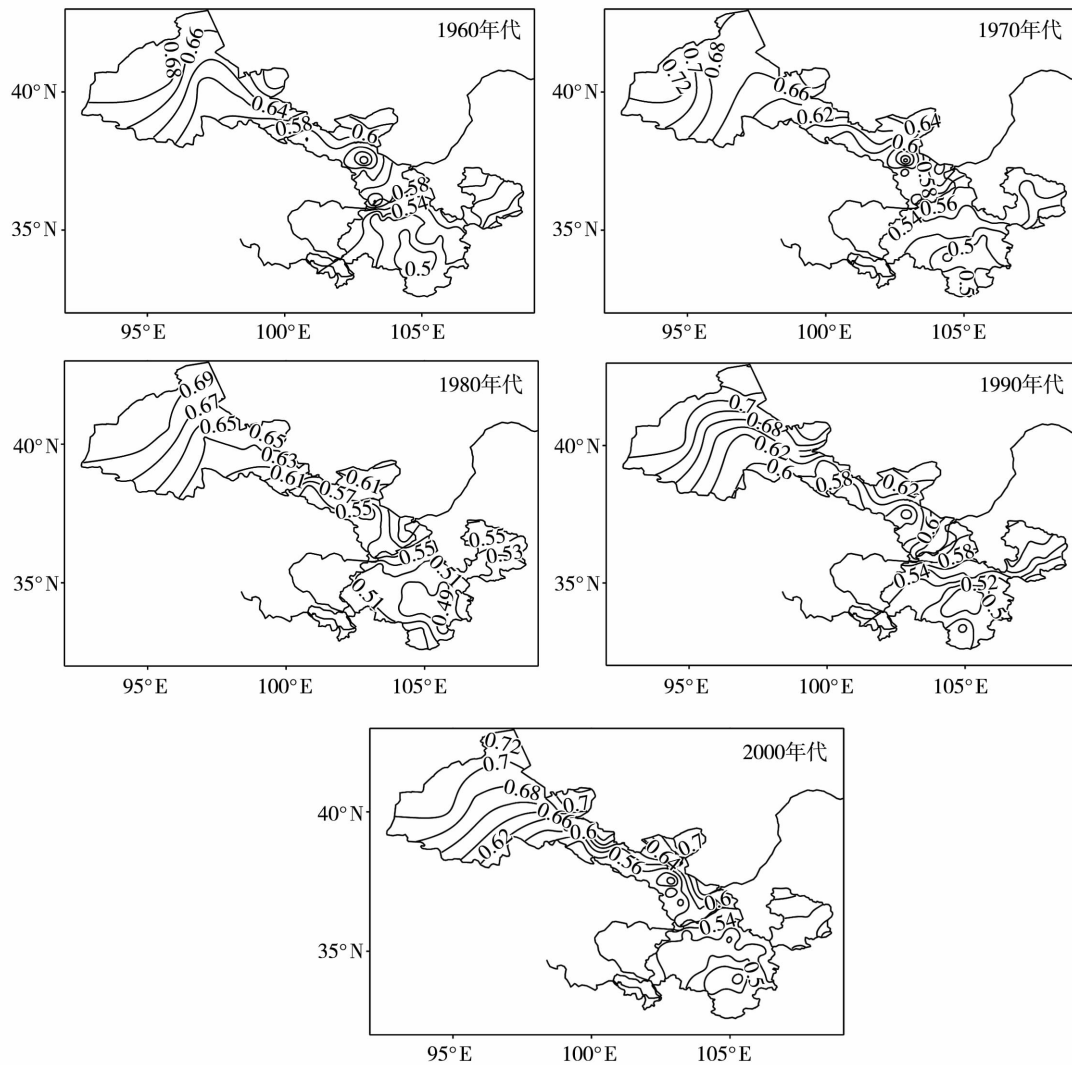


图3 甘肃省年降水基尼系数的年代空间分布

Fig. 3 The spatial distributions of annual precipitation Gini coefficient for different decades in Gansu Province

西、马鬃山的降水量时间分布极不均匀,降水量的基尼系数都在0.65以上,河东中部的白银市、兰州市以及庆阳的环县、平凉的崇信降水量的基尼系数较大,均在0.58以上,永靖最大,达0.63。1970年代以后,河西降水量的不均匀度明显增加,降水量不均匀的地区转移到了敦煌、鼎新,基尼系数的最大值达到了0.75左右;而河东地区降水基尼系数略有增加,最大值位于白银市的景泰、白银、永靖。从1980年代开始,河西西部地区降水量的年际波动较小,其分布相对均匀;河东中部除白银外,降水基尼系数明显下降,降水量年际分布相对均匀。步入1990年代以后,河西中部是降水分布最均匀的地区,河东中部的白银市、兰州市降水基尼系数增加明显,降水的不均匀度明显增加。进入21世纪以来,河西降水量基尼系数有所增大,降水的均匀度较差,而河东变化不大。

### 2.3 强降水日频数的分布

图4是1968~2011年甘肃省河西、河东年降水日数及强降水日数变化。可以看出,甘肃省河西、河东地区自1968年以来年降水日数逐渐减

少,河东比河西减少得更明显(图4a);雨日条件下,河西出现日雨量 $\geq 10$  mm的强降水概率呈现出先减少,至20世纪80年代中期以后缓慢持续增加的特征,而河东地区的变化较复杂,日雨量 $\geq 10$  mm的强降水概率前期出现小幅度的下降,随后的70年代初期逐渐增加,至1980年代中期达到最大,此后逐渐减少,至1990年代中后期降为最低点,2000年以后整体又再次增加(图4b);日雨量 $\geq 25$  mm的强降水日数变化特征(图4c)同日雨量 $\geq 10$  mm的强降水条件概率分布大致相同,只是20世纪70年代中期以前河西日雨量 $\geq 25$  mm的强降水日数出现急剧增加的现象;河西降水量少,出现暴雨(日降水量 $\geq 50$  mm)的概率很小。从河东日雨量 $\geq 50$  mm的强降水日数变化(图4d)来看,它与日雨量 $\geq 10$  mm的强降水条件概率、日雨量 $\geq 25$  mm的强降水日数变化特征基本一致。由此可见,自20世纪80年代以来,甘肃省河西强降水是增加的,河东在21世纪初强降水有所增加,但2008年以后开始逐渐减少。

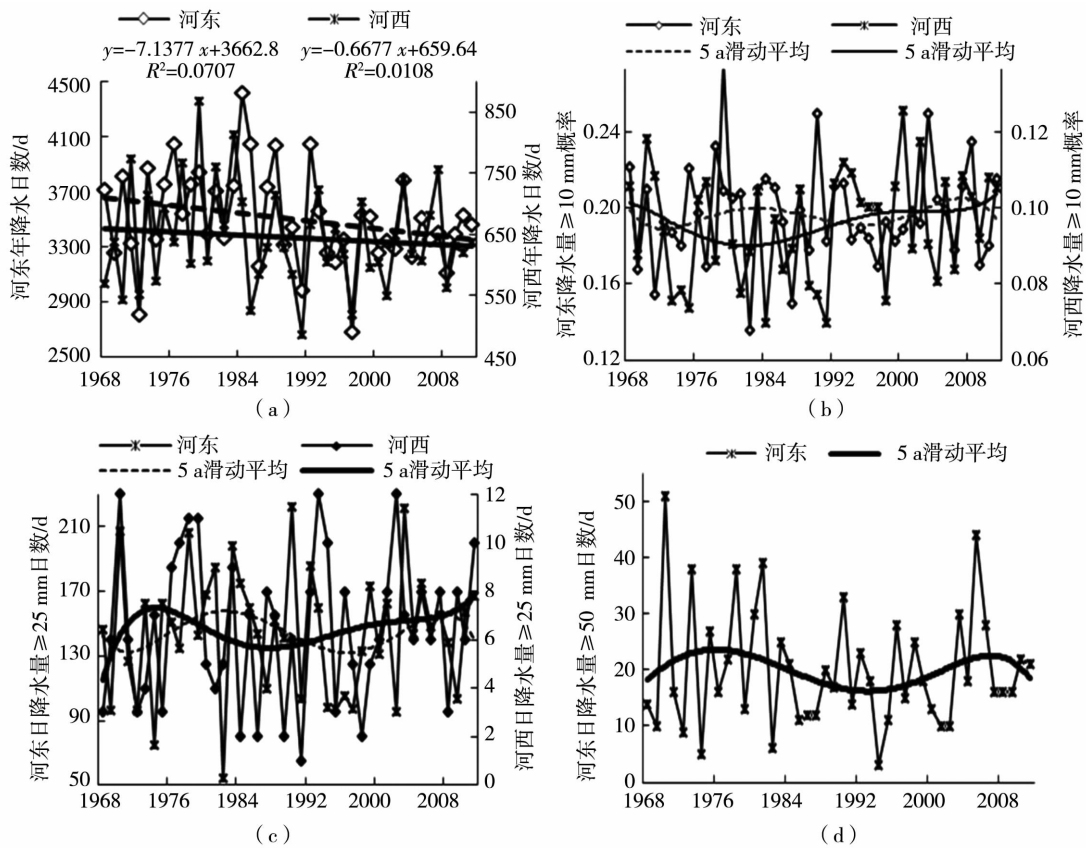


图4 1968~2011年甘肃省河西、河东年降水日数(a)、降水量 $\geq 10$  mm(b)以及日降水量 $\geq 25$  mm(c)、 $\geq 50$  mm(d)的降水日数变化

Fig.4 The annual changes of annual precipitation days (a), the probability for daily precipitation more than 10 mm (b) and precipitation days more than 25 mm(c) and 50 mm (d) in Hexi and Hedong of Gansu

## 2.4 甘肃省强降水变化及其影响

甘肃每年都因强降水造成重大经济损失和人员伤亡,尤其是近几年,因暴洪灾害造成的损失非常巨大。如2010年8月8日舟曲特大泥石流灾害,导致4.7万人受灾,1508人死亡,257人失踪,直接经济损失90亿元;2011年6月15~16日酒泉西部的阿克塞、肃北、敦煌、安西等地遭遇了罕见的暴雨袭击,24h降水量均为当地有气象资料记录以来最大,直接经济损失达2.2亿元;2012年5月10日岷县特大山洪泥石流,造成45人死亡,14人失踪,114人受伤,直接经济损失76.27亿元。

图5是甘肃省1984~2011年暴洪频次及其造成的死亡人数和直接经济损失(2010年舟曲特大泥石流灾害造成的死亡人数和经济损失图中未标出)。可看出,甘肃省暴洪灾害的频次进入21世纪以后明显增加,因暴洪灾害造成的直接经济损失也呈增加趋势,2003年以后增加明显,而因暴洪灾害造成的死亡人数却逐年减少,2009年以后有增加趋势。

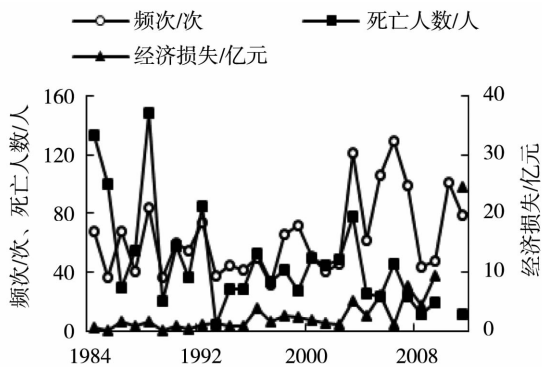


图5 1984~2011年甘肃省暴洪频次及其造成的死亡人数、直接经济损失

Fig. 5 The frequencies of heavy rainfall, flood and death tolls as well as direct economic losses in Gansu Province during 1984-2011

## 3 结论

(1)甘肃省近52a来降水量年际变化为逐渐减少,年代际降水呈波动下降趋势,尤其进入20世纪90年代,降水明显减少;降水量的空间变化是由东南向西北递减,零线基本以黄河为界,河西增加,河东减少。

(2)近50a来,甘肃省降水时间分布均匀度不同,河东明显比河西均匀。年降水的变化,河西在1986年以前,降水量分布较均匀,1986年以后均匀度明显下降,而河东在20世纪70年代后期降水量

分布很不均匀,80年代后期降水量较均匀,其它时间变化不大;5~9月降水的变化,河西在20世纪80年代后期到90年代前期降水量分布最不均匀,90年代后期到21世纪初期不均匀性有所减缓,2005年以后又再次增加,而河东20世纪90年代后期到21世纪初期降水不均匀性有所增加,此后逐渐减小。

(3)近50a来,甘肃河西西部一直是降水量分布最不均匀的地区。20世纪60年代,河西西部的敦煌、安西、马鬃山是降水量分布不均匀的地区,河东中部的白银市、兰州市以及庆阳的环县、平凉的崇信降水量分布较不均匀,永靖最不均匀;1970年代,河西降水量不均匀度明显增加,降水量不均匀的地区转移到了敦煌、鼎新,河东地区降水量不均匀度略有增加,最不均匀的地区分布在白银市的景泰、白银、永靖;1980年代,河西东部地区成为降水量分布相对均匀的地区,河东中部除白银外,其它地区降水量分布较均匀;1990年代,河西中部是降水最均匀的地区,河东中部的白银市、兰州市降水不均匀度明显增加;进入21世纪以来,河西降水量均匀度较差,河东变化不大。

(4)河西进入20世纪80年代以后,出现日雨量 $\geq 10$ mm的概率逐渐增加,而河东地区的变化较复杂,日雨量 $\geq 10$ mm的强降水概率经历了前期小幅度下降,随后的1970年代初期逐渐增加,至1980年代中期达到最大,此后逐渐减少,至1990年代中后期降为最低点,2000年以后又再度出现短期的升降过程;甘肃日雨量 $\geq 25$ mm的强降水日数变化同日雨量 $\geq 10$ mm的概率变化基本一致;河东日雨量 $\geq 50$ mm的强降水日数变化同日雨量 $\geq 25$ mm的强降水日数变化一致。可见,20世纪80年代以来,河西强降水是增加的,河东在21世纪初有所增加,但2008年以后又逐渐减少。

(5)甘肃省暴洪灾害的频次进入21世纪以后明显增加,相应地因暴洪灾害造成的直接经济损失也随之增加,尤其是2003年以后增加明显,同时死亡人数却逐年减少,2009年以后有增加趋势。

### 参考文献:

- [1] 王素萍,宋连春,韩永翔,等.近50年河西走廊地区降水均值突变特征分析[J].高原气象,2011,30(5):1286-1293.
- [2] 张天锋,王位泰,吴爱敏,等.庆阳一次强暴雨天气过程雷达回波特征[J].干旱气象,2007,25(3):61-65.
- [3] 扈祥来,高前兆,牛最荣,等.甘肃省暴雨初探[J].干旱气象,2004,22(1):74-79.
- [4] 滕水昌,渠永兴,王坚,等.河西走廊一次突发性暴雨天气的诊断

- 分析[J]. 干旱气象,2007,25(3):66-71.
- [5] 陈乾,陈添宇,肖宏斌. 祁连山区夏季各类降水过程的典型个例分析[J]. 干旱气象,2008,26(3):1-7.
- [6] 杨绚,李栋梁. 中国干旱气候分区及其降水量变化特征[J]. 干旱气象,2008,26(2):17-24.
- [7] 赵庆云,李栋梁,李耀辉. 西北区降水异常的时空特征分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版),1999,35(4):512-516.
- [8] 刘新有,史正涛,彭海英,等. 基于“基尼系数”的降水时间分布均匀度变化研究[J]. 气象研究与应用,2007,28(2):46-48.
- [9] 张长征,郇志坚,李怀祖. 中国教育公平程度实证研究:1978-2004—基于教育基尼系数的测算与分析[J]. 清华大学教育研究,2006,27(2):10-14.
- [10] 王金南,逯元堂,周劲松,等. 基于 GDP 的中国资源环境基尼系数分析[J]. 中国环境科学,2006,26(1):111-115.
- [11] 赵肖丽. 广西马铃薯产业化发展存在问题即对策[J]. 广西园艺,2006,17(5):49-50.
- [12] 李建芳,栗晓玲,王素芳. 基于基尼系数的内陆河流域用水公平性评价—以石羊河流域为例[J]. 西北农林科技大学学报,2010,38(8):217-222.
- [13] 刘新有,史正涛,彭海英,等. 基于“基尼系数”的降水时间分布均匀度变化研究[J]. 气象研究与应用,2007,28(2):46-48.
- [14] 张建华. 一种简便易用的基尼系数计算方法[J]. 山西农业大学学报,2007,6(3):275-283.

## Variation Characteristic of Heavy Rainfall in Gansu Province

CHENG Ying<sup>1</sup>, HOU Zhenjun<sup>2</sup>, KONG Xiangwei<sup>1</sup>, LI Rongqing<sup>1</sup>

(1. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China;  
2. Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Based on daily precipitation data during 1960-2011 and flood disasters data in Gansu Province during 1984-2011, the spatial and temporal distributions of heavy rainfall and its impact on social economy were analyzed. The results were as follows: (1) The annual precipitation in Gansu showed a declining trend from 1960 to 2011 as a whole, and the precipitation decreased gradually from southeast to northwest. (2) The evenness of precipitation in time domain in Gansu Province was different during 1962-2001, and that in Hexi was distinctly lower than that in Hedong. The evenness in annual rainfall in Hexi region decreased obviously since 1986, and the rainfall from May to September from the late 1980s to the early 1990s was the most uneven, while the temporal distribution in annual rainfall of Hedong region was uneven in the late 1970s and even in the late 1980s, and the unevenness of rainfall from May to September from the late 1990s to the early 21st century increased. (3) The temporal distribution of rainfall in western Hexi was always the most uneven in Gansu Province in the past 50 years, and the unevenness of rainfall in the 1970s and the 2000s was higher significantly. (4) Since the 1980s, heavy rainfall in Hexi region increased significantly, while that in Hedong region had a briefly increase in the early 21st century, and dropped again since 2008. (5) The frequency of flash flood and the direct economic losses caused by flash flood disasters in Gansu Province showed an increasing trend, and the death persons caused by flash flood declined, but rose slightly after 2009.

**Key words:** Gansu Province; Gini coefficient; heavy rainfall day; characteristic; impact