

# 青藏高原东北侧强降水变化特征 及其气候重现期计算

黄涛<sup>1,2,3</sup>, 刘治国<sup>2,4</sup>, 邓振镛<sup>3</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃临夏回族自治州气象局, 甘肃 临夏 731100;  
3. 甘肃省气象局, 甘肃 兰州 730020; 4. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:**选取青藏高原东北侧临夏回族自治州的 6 个代表气象站点自建站以来的强降水(日降水量  $\geq 25.0$  mm)资料,对该地区强降水的时空分布及气候变化特征进行了分析;利用 Pearson-III 概率分布方法对强降水异常气候重现期进行了计算。结果显示,自 20 世纪 80 年代以来,该区域强降水日数呈显著增多趋势;对 2008 年 8 月 20 日一次强降水过程进行的重现期计算显示,与人工估算结果相符。

**关键词:**青藏高原东北侧;气候变化;强降水;重现期

**中图分类号:** P468.0<sup>+</sup>24

**文献标识码:** A

## 引言

临夏回族自治州(102°41' ~ 103°40' E, 34°57' ~ 36°12' N)位于青藏高原东北侧边坡地带,总面积 8 169 km<sup>2</sup>。其辖区内地形多样,气候复杂。境内西南部属高寒阴冷湿润区,中部属塬坡半湿润半干旱区,东北部属沟壑干旱气候区。年降水量在 287.4 ~ 662.5 mm 之间。

青藏高原东北侧地处我国东南季风边缘,是气候的敏感区和脆弱带。它不同于北疆地区主要受西风带控制,也不同于我国东部地区受较均一的夏季风影响。该地区的气候特征是东南季风、高原季风和西风带共同作用的结果<sup>[1]</sup>。王宝灵等<sup>[2]</sup>对西北地区 140 站降水量的 EOF 分析发现,青藏高原东北侧区的年际变化在整个西北地区最大;李栋梁等<sup>[3]</sup>也指出该地区是中国西北月总降水量异常的最敏感性区域,并将之定义为高原东侧型。何金海等<sup>[4]</sup>对西北地区 31 站夏季降水异常分析发现,该地区与东部沿海地区影响系统不同,影响时期不一致。魏锋等<sup>[5]</sup>对西北地区降水研究发现,该地区地形复杂,东、西受不同的天气系统影响,降水一致性较差。

IPCC AR4 及相关研究表明<sup>[6-11]</sup>,20 世纪以来,

特别是近 50 a 以来全球气候变暖趋势显著,随之导致了强降水等极端天气事件发生的频率大幅增加。临夏地区极端天气事件对人民的经济财产和生命安全造成损失,一直被政府和相关部门高度重视。如 2007 年 8 月 25 日,临夏州局地大暴雨诱发严重的地质灾害,致使 5 人死亡,2 人受伤,直接经济损失 431 万元。因此,开展该区域强降水序列的趋向性分析以及对强降水事件进行异常气候重现期的评估应用是一项十分迫切的工作。

## 1 资料与计算方法

### 1.1 资料说明

所用资料来源于临夏州气象局整编的临夏、永靖、东乡、广河、和政、康乐 6 个气象观测站建站以来逐日降水资料。

其中,临夏站为 1943 ~ 2008 年资料,永靖站为 1967 ~ 2008 年资料,东乡站为 1968 ~ 2008 年资料,广河站为 1968 ~ 2008 年资料,和政站为 1959 ~ 2008 年资料,康乐站为 1967 ~ 2008 年资料。因为时间序列不同,当对 6 个站点降水资料进行合计分析时,本文使用 1968 ~ 2008 年资料。

### 1.2 计算方法

收稿日期:2009-09-14;改回日期:2009-10-15

基金项目:国家自然科学基金“中国西部地区秋季降水机制研究”(40675066)资助

作者简介:黄涛(1981-),男,河北邯郸人,助工,主要从事生态与环境气象研究. E-mail: hunteria@163.com

1.2.1 强降水气候变化突变点计算

为计算强降水日数气候变化的突变点,我们利用历年强降水日数序列进行了 Cramer 方法计算,该方法原理详见文献[12]。

设总序列  $x$  和子序列  $x_1$  的均值分别为  $\bar{x}$  和  $\bar{x}_1$ , 总序列方差为  $s$ , 定义统计量:

$$t = \sqrt{\frac{n_1(n - 2)}{n - n_1(1 + \tau)}} \cdot \tau \quad (1)$$

其中  $n$  为序列样本长度;  $n_1$  为子序列样本长度。  $\tau$  由下式求出

$$\tau = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}}{s} \quad (2)$$

(1)式遵从自由度为  $n - 2$  的  $t$  分布。

为客观反映气候变化特征,经过筛选,我们取  $n_1 = 10$  为子序列长度。

1.2.2 强降水气候倾向率计算

为了反映该区域强降水日数的气候变化趋势,我们采用一元回归来拟合其线性变化趋势<sup>[12-13]</sup>,得到

$$Y = aX + b \quad (3)$$

式中  $Y$  为强降水日数序列,  $X$  为年份序号,  $a$  为该直线斜率,  $b$  为截距。其中,

$$M = a \times 10 \quad (4)$$

被称为气候倾向率,即每 10 a 该气象要素的变化值。

1.2.3 强降水异常气候重现期计算

有关研究和实践证实<sup>[14-17]</sup>, Pearson - III 型概率分布曲线能较好地拟合许多地区的强降水频数分布。其概率密度函数和保证率分布函数分别为:

$$f(x) = \frac{\beta^a}{\Gamma(a)}(x - x_0)^{a-1} e^{-\beta(x-x_0)} \quad (5)$$

$(a > 0, x \geq x_0)$

$$P(x \geq x_p) = \frac{\beta^a}{\Gamma(a)} \int_{x_p}^{\infty} (x - x_0)^{a-1} e^{-\beta(x-x_0)} dx \quad (6)$$

其中参数  $x_0$  (单位:mm) 为随机变量  $x$  所能取的最

小值,  $a$  称为形状参数,  $\beta$  为尺度参数,  $\Gamma(a)$  是  $a$  的伽玛函数。用矩法可得 3 个参数的表达式:

$$a = 4/c_s^2 \quad (7)$$

$$\beta = 2/\sigma c_s \quad (8)$$

$$x_0 = m(1 - \frac{2c_v}{c_s}) \quad (9)$$

式中  $m$  为数学期望(单位:mm),  $\sigma$  为均方差,  $c_s$  为偏态系数,  $c_v$  为变差系数。其估计量分别为:

$$\hat{m} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (10)$$

$$\hat{\sigma} = s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (11)$$

$$\hat{c}_v = \hat{\sigma}/\hat{m} = s/\bar{x} \quad (12)$$

$$\hat{c}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 / \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{3/2} \quad (13)$$

由式(6) ~ (9)可知,理论保证率  $P$  与  $m$ 、 $c_v$ 、 $c_s$  3 个参数有关。由此方法可以计算得到目标站点某气象要素出现的概率  $P$ ,进而可以得到该要素异常气候重现期  $T = 1/P$ 。

2 结果分析

2.1 强降水气候特征

2.1.1 空间分布特征

从临夏地区 6 个站点年平均  $\geq 25.0$  mm 强降水日数看,北部干旱区在 1 d 左右,中部半湿润半干旱区在 2 ~ 3 d 之间,南部湿润区在 3 d 左右(图 1a),与多年平均降水量的分布形态颇为相似(图 1b)。

2.1.2 时间分布特征

对临夏地区 6 个站点 1968 ~ 2008 年间强降水次数合计分析发现,全年除冬季(12 月至来年 2 月)外每个季度都出现了  $\geq 25.0$  mm 的强降水。从表 1 可以看出,强降水主要出现在夏季和初秋。这主要是活跃的夏季风所影响。其中 7 ~ 8 月强降水次数占全年强降水次数的 62.5%,  $\geq 100.0$  mm 的大暴雨全部集中发生在 7 ~ 8 月之间。

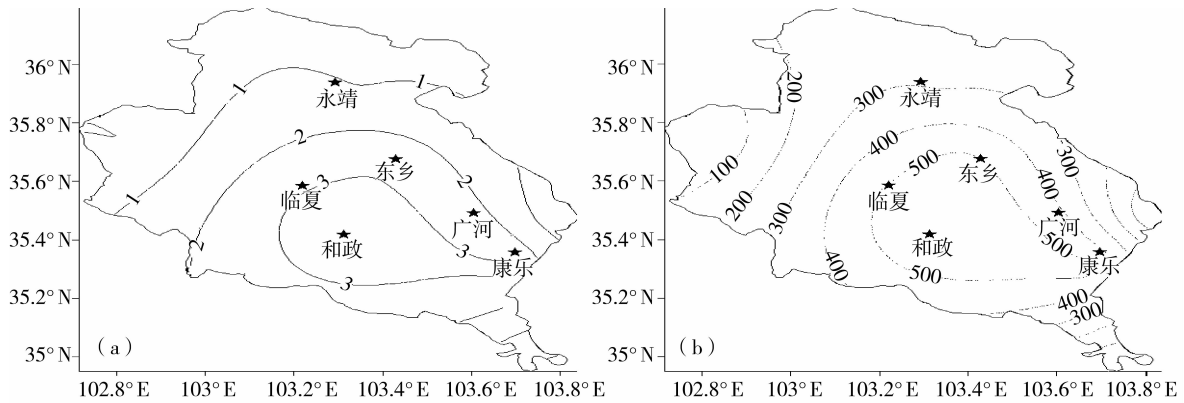


图1 临夏地区年平均 $\geq 25.0$  mm 强降水日数(a,单位:d)和多年平均降水量(b,单位:mm)分布图  
 Fig.1 The annual mean  $\geq 25.0$  mm heavy precipitation days (a, units: d) and the annual mean precipitation distribution (b, units: mm) in Linxia region from 1968 to 2008

表1 1968~2008年临夏地区强降水频次  
 Tab.1 The frequency of heavy precipitation in the period of 1968-2008 in Linxia

降水量级	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
$\geq 25.0$ mm	4	64	87	173	231	73	12	1
$\geq 50.0$ mm	/	1	2	19	25	1	/	/
$\geq 100.0$ mm	/	/	/	2	3	/	/	/

2.2 气候变化对强降水影响

2.2.1 年际变化

在1968~2008年期间,出现强降水次数最多的年份为2007年,6站共出现 $\geq 25.0$  mm降水34站次,出现强降水次数最少的年份为1982年,6站共出现 $\geq 25.0$  mm降水仅5站次。一年内出现 $\geq 25.0$  mm强降水次数达到25站次以上的年份有1979、1999、2007和2008年。

为了确定1968~2008年临夏地区强降水气候变化的突变点,用(1)式对临夏地区6站合计的年平均 $\geq 25.0$  mm强降水日数进行了Cramer方法计算突变点。结果显示,年强降水日数突变点位于1990年附近(图2)。因此我们以1990年为界,用(3)式分别拟合6个代表站点1968~1989年和1990~2008年2个时间段的回归直线。用(4)式计算得到气候倾向率 $M$ ,1968~1989年间, $M = -2.3$ ,年强降水日数为减少趋势,但未通过相关性检验,说明该时段年强降水日数处于多变时期;1990~2008年间, $M = 6.8$ ,年强降水日数为明显增加趋势,并且通过了 $\alpha = 0.05$ 置信水平的相关性检验。我们用同样的方法分别计算6个站点在1990~2008年期间的强降水

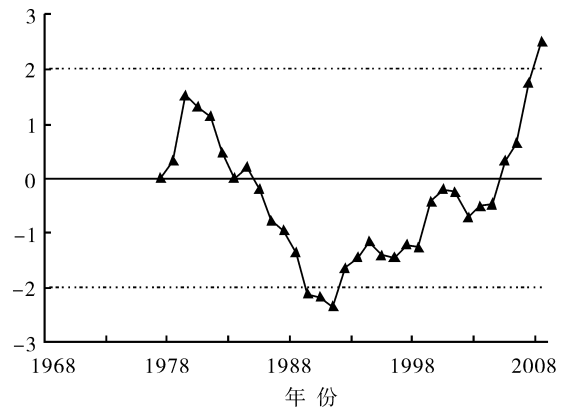


图2 临夏地区年强降水日数Cramer突变结果检验(虚线为95%检验线)  
 Fig.2 The test result of Cramer's intensity catastrophe for annual heavy precipitation days in Linxia region

气候倾向率(表2)发现,每个站点的气候倾向率均为正值,在0.3~2.2之间不等,除永靖、康乐2站增加趋势不明显之外,其余各站年强降水日数均为显著增加趋势。

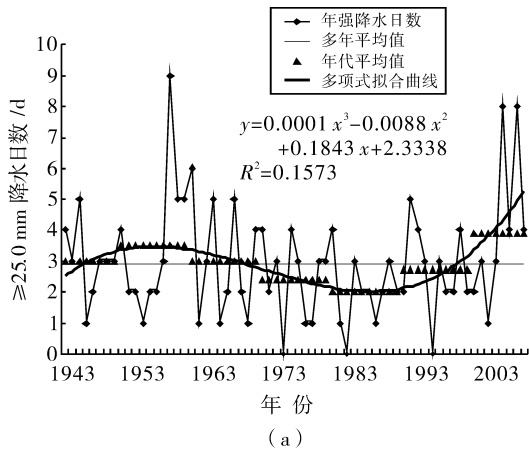
表2 1990~2008年临夏地区强降水气候倾向率  
 Tab.2 The climate tendency of heavy precipitation in Linxia in the period of 1990-2008

站点	临夏	永靖	东乡	广河	和政	康乐
强降水气候倾向率	1.5*	0.6	1.4*	1.2**	2.2***	0.3

注: \* 为通过 $\alpha = 0.1$ 置信水平的相关性检验, \*\* 为通过 $\alpha = 0.05$ 置信水平的相关性检验, \*\*\* 为通过 $\alpha = 0.01$ 置信水平的相关性检验

李栋梁等<sup>[4]</sup>对西北地区1960~1990年降水研究发现,20世纪60~70年代,降水为减少趋势,80~90年代,降水为增加趋势;山崎信雄等<sup>[18]</sup>的研究也证明北半球20世纪80年代中期以后,降水相对百分率高于气候值。王遂缠等<sup>[19]</sup>对青藏高原东北侧夏季降水研究也表明,6、7月份降水自20世纪80~90年代以来呈显著增多趋势。这与我们所研究的青藏高原东北侧强降水序列的变化趋势相似。

2.2.2 年代际变化



1968~2008年,6站合计出现 $\geq 25.0$  mm的强降水日数达646站次(平均每年出现15.6站次),其中 $\geq 50.0$  mm的强降水日数达48站次(平均每年出现1.2站次)。

图3a为临夏站1943~2008年逐年强降水日数变化曲线图,其中粗黑线为三阶多项式趋势线。可以看出强降水日数20世纪80年代后期之前呈减少趋势,80年代后期至今呈明显的增加趋势。我们整理合计了临夏地区全部6个站点的资料后,仍然可以看出这个趋势(图3b)。

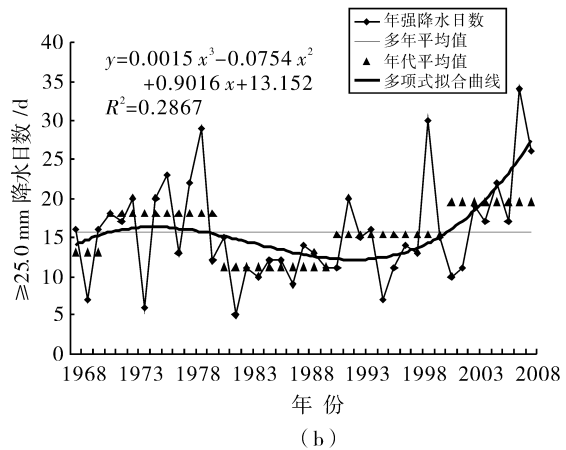


图3 临夏站(a)和临夏地区6站合计(b)  $\geq 25.0$  mm强降水日数年际变化 (多项式拟合均通过  $\alpha=0.01$  置信水平的相关性检验)

Fig. 3 The annual variation of  $\geq 25.0$  mm heavy precipitation days in Linxia station (a) and the total of 6 stations (b) (the multinomial regressions were all passed  $\alpha=0.01$  confidence level)

2.3 强降水重现期计算及其评估应用

2.3.1 强降水异常气候重现期

通过(3)~(11)式 Pearson-III型概率分布函

数计算得到了临夏地区6个代表站点的强降水出现的概率P,并进而推导出强降水极端气候重现期  $T=1/P$ (表3)。

表3 临夏地区强降水极端气候重现期

Tab.3 The return periods of heavy precipitation in Linxia region

台站	m(数学期望值)/mm	$c_e$	$c_s$	10 a /mm	50 a /mm	100 a /mm	500 a /mm	1 000 a /mm
临夏	40.6	0.35	0.86	59.8	76.1	82.6	96.8	102.6
永靖	28.8	0.29	0.58	39.8	48.3	51.5	58.5	61.4
东乡	39.2	0.27	0.65	53.5	64.8	69.1	78.6	82.4
广河	38.1	0.29	1.14	53.1	67.2	72.9	85.6	91.0
和政	46.1	0.40	2.02	69.8	99.3	112.0	141.5	154.2
康乐	45.9	0.50	2.66	74.2	117.0	136.2	181.6	201.5

我们将通过 Pearson-III型概率分布曲线计算出的保证率曲线与实况曲线同画在一张图上(图4),从而可以很直观地看出拟合效果。除永靖站外,其他5站点的拟合效果都很好。我们用适线法,将永靖站

1970年111.1 mm的最大日降水量用多年平均值代替,并把参数  $c_s$  调整为0.58,从而改善了曲线拟合效果(图4b)。经计算,6站相关系数R在0.938~0.991之间,均通过  $\alpha=0.001$  置信水平的相关性检验。

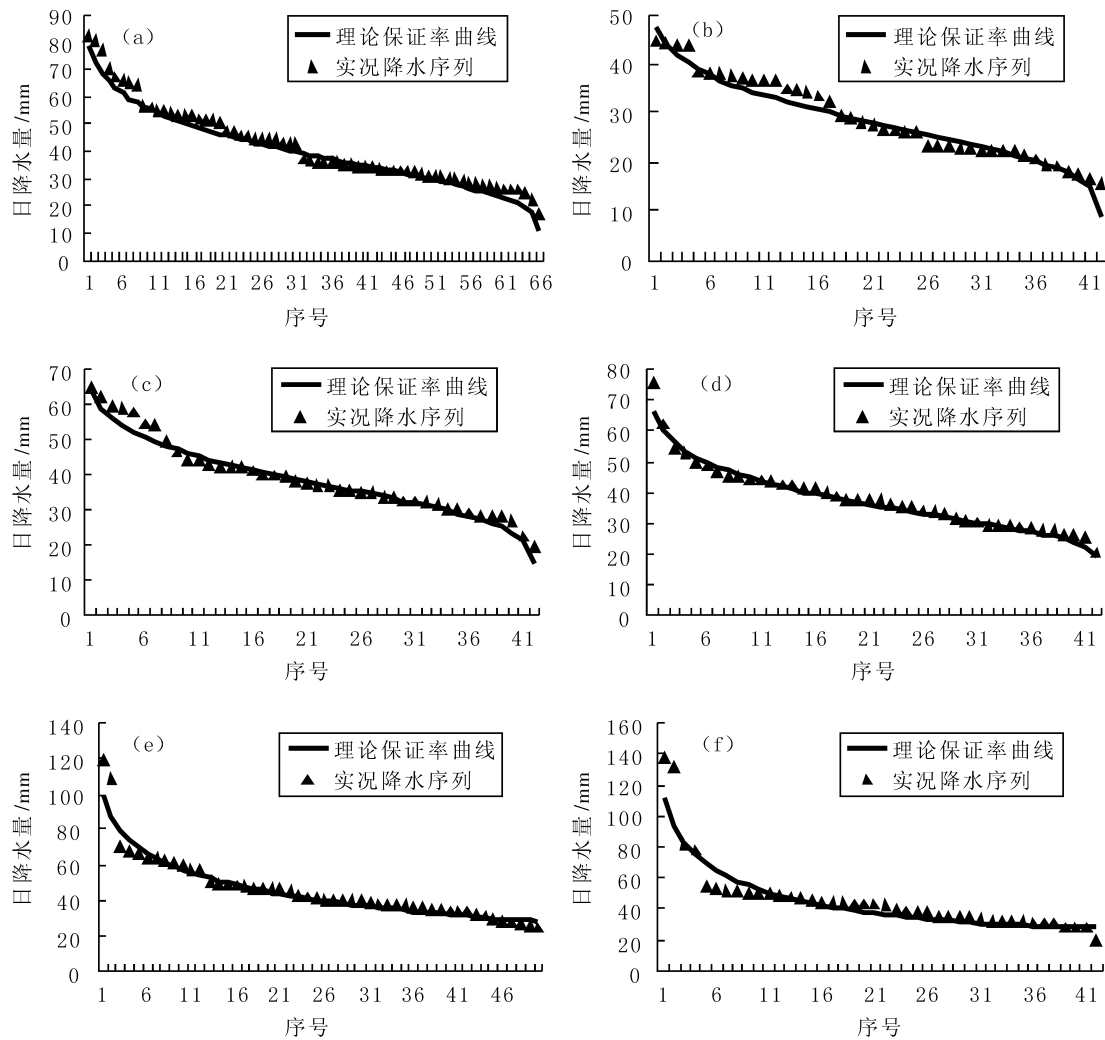


图4 各站理论保证率曲线与降水实况对比

(a~f 分别为临夏、永靖、东乡、广河、和政、康乐站资料对比)

Fig.4 Comparison of the actual and the theoretical values of precipitation in Linxia region

(Figure a to f for Linxia, Yongjing, Dongxiang, Guanghe, Hezheng and Kangle stations, respectively)

通过确定图4中理论保证率曲线,即可根据保证率 $P$ 查算出所对应的最大日降水量的理论值,反之,亦可根据某一最大日降水量的理论值查算出保证率 $P$ ,继而推算出重现期 $T$ 。通过将理论保证率曲线与实况降水序列对比,可以看出理论估计的最大日降水量是可信的。

### 2.3.2 对2008年8月20日强降水过程进行重现期评估应用

对2008年8月20日发生在青藏高原东北侧的一次强降水过程进行了重现期计算的评估应用,临夏地区6个代表站当日降水量及强降水气候重现期见表4。

表4 2008年8月20日临夏地区各站降水量及其强降水气候重现期

Tab.4 The precipitation amount and the return periods of heavy precipitation on August 20, 2008 in Linxia region

站点	临夏	永靖	东乡	广河	和政	康乐
日降水量/mm	81.3	44.0	49.4	51.4	66.9	55.2
异常气候重现期/a	90.8	21.3	6.0	8.3	8.5	4.6

评估结果显示,在此次强降水过程中,临夏站为90 a一遇的强降水,永靖站为20 a一遇的强降水,其他各站为5~10 a一遇的强降水。结果与人工估算一致。

### 3 小结与讨论

(1) 临夏地区强降水主要发生在中部及南部地区,北部为少发区;强降水主要集中在每年的6~9月份,以7~8月份最为集中。

(2) 临夏地区自1990年以来强降水气候倾向率为6.8,为明显增加趋势,这与同时期北半球的降水变化趋势相似。

(3) 通过对Pearson-III型理论保证率分布曲线的绘制,我们得到了不同降水量所对应的重现期,并且通过了与实况强降水序列的相关性检验。利用2008年8月20日的强降水过程进行重现期评估应用,结果与人工估算相符。

通过对青藏高原东北侧强降水气候变化规律的研究以及利用异常气候重现期对强降水进行评估应用,对当地气象、防汛、农业和民政等部门开展气候资源利用、抗灾防灾以及合理安排农业种植制度等都有指导意义和实用价值。但是本文所研究的强降水事件为小概率极端事件,由于资料所限,较少的站点以及较短的时间序列可能影响强降水气候变化特征的客观表现,我们将在以后的工作中开展更加深入的研究。

#### 参考文献:

- [1] 王宝灵,谢金南,吴国雄,等. 青藏高原东北侧汛期降水若干问题研究[J]. 大气科学,2000,24(6):775-784.
- [2] 王宝灵,董安祥,王玲. 中国西北夏季降水的EOF分析及其与500 hPa高度场的关系[J]. 高原气象,1995,14(3):342-347.
- [3] 李栋梁,谢金南,王文. 中国西北夏季降水特征及其异常研究[J]. 大气科学,1997,21(3):331-340.
- [4] 何金海,刘芸芸,常越. 西北地区夏季降水异常及其水汽输送和环流特征分析[J]. 干旱气象,2005,23(1):10-16.
- [5] 魏锋,丁裕国,杨金虎,等. 中国西北地区雨季降水与500 hPa高度场的SVD分析[J]. 干旱气象,2005,23(4):17-23.
- [6] Jones P D, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an up-date to 2001[J]. J Climate, 2003, 16: 206-223.
- [7] Frich P, Alexander L V, Della-Marta P, et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century[J]. Climate Res, 2002, 19: 193-212.
- [8] 丁一汇. 气候变暖—我们面临的灾害和问题[J]. 中国减灾, 2003(2):19-25.
- [9] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究,2003,23(2):151-163.
- [10] 李占玲,徐宗学. 甘肃省40年来气温和降水时空变化[J]. 应用气象学报,2009,20(1):102-107.
- [11] 张文纲,李述训,庞强强. 青藏高原40年来降水量时空变化趋势[J]. 水科学进展,2009,120(12):168-176.
- [12] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,1999. 43-47.
- [13] 袭祝香,孙力,刘实. 吉林省单站暴雨特征分析及评估方法[J]. 气象科学,2009,29(2):230-234.
- [14] 陈海泉,罗碧瑜,李凌志,等. 用Pearson-III分布推算梅州最大一日降水量的重现期[J]. 中国防汛抗旱,2008(4):24-26.
- [15] 马开玉. 气候统计原理与方法[M]. 北京:气象出版社,1993. 69-76.
- [16] 林两位,王莉萍. 用Pearson-III概率分布推算重现期年最大日雨量[J]. 气象科技,2005,33(4):314-317.
- [17] 刘春蓁,刘志雨,谢正辉. 近50年海河流域径流的变化趋势研究[J]. 应用气象学报,2004,15(4):385-393.
- [18] 山崎信雄,何金海,周兵. 中国和日本气候极端降水研究[J]. 南京气象学院学报,1999(1):32-38.
- [19] 王遂强,李栋梁,王谦谦. 青藏高原东北侧夏季降水的气候特征分析[J]. 干旱气象,2005,23(2):13-18.

## Change Characteristics and Climate Return Periods Calculation of Heavy Precipitation in the Northeast Side of Qinghai - Tibet Plateau

HUANG Tao<sup>1,2,3</sup>, LIU Zhiguo<sup>2,4</sup>, DENG Zhenyong<sup>3</sup>

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China; 2. Linxia Meteorological Bureau of Gansu Province, Linxia 731100, China; 3. Gansu Provincial Meteorological Bureau, Lanzhou 730020, China; 4. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** The heavy precipitation was analyzed based on the data from 1943 to 2008 in 6 representative meteorological stations in Linxia which is located in the northeast side of Qinghai - Tibet Plateau. At first, the spatial and temporal distribution of heavy precipitation in this region was analyzed, and then, the return periods of heavy precipitation was assessed by Pearson - III distribution method. Results show that the days of heavy precipitation increased conspicuously since the 1980s. The return period was calculated about a heavy precipitation event in this region occurred on August 20, 2008, and the result accorded with the artificial - assessment.

**Key words:** northeastern side of Qinghai - Tibet Plateau; climate change; heavy precipitation; return period