

新疆极端降水的气候变化

杨莲梅

(中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002)

摘要: 采用 1961~2000 年 55 个气象台站的逐日降水观测资料, 分析近 40 年来新疆极端降水的气候变化、发展趋势和空间分布差异。用 Mann-Kendall 法对年极端降水量进行突变检验。研究表明: (1) 只有天山北麓经济带和天山南麓国家级棉花基地阿克苏地区极端降水量和频次有显著增多, 尤以 80 年代以后明显, 年极端降水量于 1980 年发生了气候突变, 这种气候变化是由夏半年极端降雨量和频次增多导致的。(2) 新疆极端降水强度无显著变化, 极端降水频次的显著增多导致极端降水量的显著增多。(3) 极端降水对年总降水量的贡献天山山区占年降水量的 41.9%, 北疆北部与和田区域极端降水的贡献为 17.2% 和 21.9%, 其它区域在 25%~31.3%。年极端降水量距平与年降水量距平有好的相关关系 (除阿克苏地区和焉耆盆地外), 说明极端降水量的变化导致年降水量的变化。

关 键 词: 极端降水; 气候变化; 天山; 阿克苏

中图分类号: P426.61; P468.24

1 引言

IPCC (1995) 第二次科学评估报告指出了极端气象事件变化研究的重要意义, 并力图回答“气候是否更加容易变化或更加极端化了?”这一难题^[1], 为此由 CLIVAR (Climate Variability and Predictability), GCOS (Global Climate Observing System) 和 WMO 支持, 1997 年 6 月在美国召开了“气候极值变化指数和指标”研讨会^[2]。2002 年“世界气象日”的主题是“降低对天气和气候极端事件的脆弱性”也正说明极端天气和气候的重要性和危害性。

关于极端气候变化研究需要高分辨率资料, 大多数影响生态和社会的极端气候现象, 至少需要逐日资料来描写, 而传统气候资料, 包括观测和模拟, 基本是月平均甚至年平均的。近几年国内外已开展一些针对极端气候变化的研究项目, 重点分析逐日观测或模拟的气候现象^[3-5], 并指出没有这一步, 就无法深入评估气候变化及其影响。如严中伟、杨赤^[3]、翟盘茂^[4]等进行了近几十年中国极端气候变化格局以及我国极端气候变化的事实、情景和预测等研究, 但把新疆并入西北区域, 新疆的区域变化特征被省略或平均, 本文对新疆极端降水的区域特征进行分析。有研究指出^[6-7]新疆近 40 年气候变暖、变湿, 尤其 90 年代以来阿克苏、北疆区域降水量增多明显, 与我国北方其它地区变为暖干不同。同时由于新疆地处干旱气候区, 河川和下垫面渗透力较差、生态环境极其脆弱, 大

收稿日期: 2002-12-05; 修订日期: 2003-02-17

基金项目: 国家科技部重大基础研究前期研究专项 (2002cca04600) [Foundation Item: The National Pre-project for Basic Research, No.2002cca04600]

作者简介: 杨莲梅 (1969-) 女, 副研究员, 主要从事生态环境和气候变化研究工作。Email: yanglm@idm.com.cn

雨、暴雨、大雪和暴雪往往造成洪水、泥石流、山体滑坡和暴风雪等灾害,对国民经济和人民生活造成巨大影响。新疆具有独特的地理和气候特点,面积为 $166.04 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中荒漠戈壁占 62%^[8],人类集中活动的区域仅限于山地和荒漠两大生态系统之间因天然或人为利用水资源发展起来的绿洲带,形成了新疆独特的绿洲景观。近 40 多年来进行了大规模的农业垦荒活动,区域自然环境和区域气候有很大改变^[9-10],新疆绿洲的扩大是人类大规模改变环境的典型。本文应用新疆 55 个站 1961~2000 年的逐日降水观测资料,分析新疆极端降水的气候变化和发展趋势、定量描述新疆绿洲极端降水气候变化的事实,并分析了年极端降水量的气候突变。

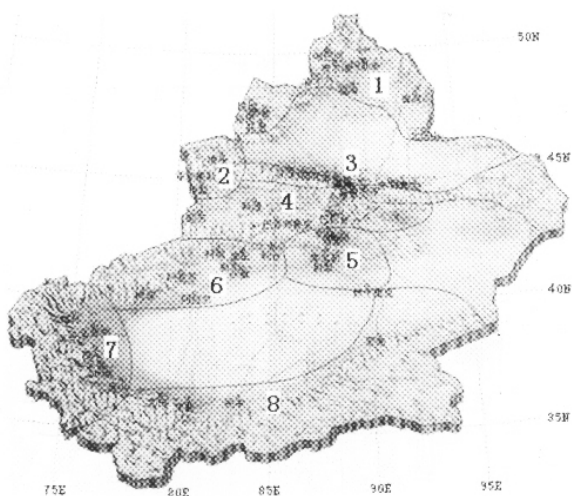


图 1 新疆极端降水的 8 个分布区域
(1. 北疆北部 2. 北疆西部 3. 天山北麓 4. 天山山区 5. 焉耆盆地
6. 阿克苏地区 7. 喀什地区 8. 和田区域)

Fig. 1 Eight areas of extreme precipitation in Xinjiang

2 资料处理和分析方法

应用国家气象局整编的新疆 55 个气象站 1961~2000 年逐日降水观测资料,以确保资料的正确和完整。鉴于新疆降水的气候特点和区域环境情况^[11],划分为北疆北部、北疆西部、天山北麓、天山山区、阿克苏地区、焉耆盆地、喀什地区、和田区域 8 个区域进行研究(图 1)。新疆农事活动主要在 4~10 月进行,而降雨在 4~10 月,以 4~10 月为极端降雨时段,其余为极端降雪时段。为了减少单站记录的片面性,先进行单站统计,然后进行区域平均,以整个区域的空间平均序列作为区域序列。

年极端降水量、强度和频次的变化趋势采用线性趋势法,把气候要素写成时间 t 的线性函数 $y = at + b$,其中 a 、 b 为经验常数。用最小二乘法通过实际资料计算出 a 和 b ,其中 a 表示线性函数的斜率,也就是气候要素的线性趋势。 a 为正表示增加趋势,零表示无变化趋势,并采用 T 检验对线性趋势的统计信度进行 95% 的检验,通过显著性检验说明变化趋势显著,否则认为变化趋势为正常的气候波动。气候变化的阶段性分析采用距平曲线法,1961~1990 年的平均值为基准。用 Mann-Kendall 法进行突变检验。

3 极端降水的统计特征

新疆自然降水稀少且分布很不均匀,南、北疆平原地区年均降水量分别为 40~80 mm 和 150~270 mm,天山、昆仑山、帕米尔高原和阿勒泰山的年均降水量一般为 400~800 mm。新疆规定本地的降水划分标准:大雨 $R > 12.0 \text{ mm}$,暴雨 $R > 24.0 \text{ mm}$,大雪 $R > 8.0 \text{ mm}$ 。分析 1961~2000 年 55 站 $R > 0.1 \text{ mm}$ 、降雨 $R > 12.0 \text{ mm}$ 和 $R > 24.0 \text{ mm}$,降雪 $R > 8.0 \text{ mm}$ 的日数、强度。

由 8 个区域 40 年降水统计值可见,新疆夏季降水日多于冬季(表 1),尤其南疆和天山山区冬季降水日数较夏季明显少。北疆夏半年暴雨以上降水日数占 $R > 0.1 \text{ mm}$ 降水日数的频率:天山山区为 2.0%,其他区域在 1% 以下。夏半年大雨以上频率 2.7%~

表 1 1961~2000 年新疆 8 个区域降水特征

Tab. 1 Precipitation characteristics from 1961 to 2000 in Xinjiang

降水统计量	北疆 北部	北疆 西部	天山 北麓	天山 山区	阿克苏 地区	焉耆 盆地	喀什 地区	和田 区域
年均降水量(mm)	165.9	270.7	205.9	426.7	72.6	66.6	58.5	36.4
年均降水≥0.1mm 日数(d)	83.0	96.5	77.1	112.1	34.2	29.1	25.0	16.3
夏半年降水≥0.1mm 日数(d)	48.1	57.2	44.4	82.6	26.7	23.1	17.2	11.9
冬半年降水≥0.1mm 日数(d)	34.9	39.3	32.7	29.5	7.5	6.0	7.8	4.4
夏半年降水>12mm 日数/ 降水≥0.1mm 日数(%)	2.7	5.1	6.3	8.0	3.6	4.3	4.3	3.5
夏半年降水>12mm 降水强度(mm/d)	17.3	17.3	17.6	20.0	19.5	18.7	17.9	18.7
夏半年降水>24mm 日数/ 降水≥0.1mm 日数(%)	0.3	0.6	1.0	2.0	0.8	0.8	0.7	0.8
冬半年降水>8mm 日数 /降水≥0.1mm 日数(%)	1.3	5.4	2.1	2.0	2.0	1.8	2.2	1.8
冬半年降水>8mm 降水强度(mm/d)	10.8	11.2	11.0	10.9	11.5	13.3	14.4	10.5

8.0%；冬半年大雪以上的频率为 1.3%~5.4%。因此选择大雨以上和大雪以上作为极端降水的标准。南疆地区冬季降水 $R>0.1\text{ mm}$ 的日数为 4.4~7.8 d，概率为 2.9%~5.2%是小概率事件，大雪在这小概率事件中只占 1.8%~2.2%，约为 6~12 年一遇，因此讨论其气候变化意义不大，且冬季降雪危害很小，故以后对南疆冬季极端降水不再单独进行分析。虽然北疆、天山山区、南疆年均降水量差异很大，但极端降水强度差别不大，甚至南疆比北疆强度还大，南疆极端降水一旦出现一次，降水量占年均降水量的 15%以上。

4 极端降水的气候变化

4.1 极端降水的气候变化趋势

由 8 个区域 1961~2000 年极端降水线性变化趋势可见，各区域年极端降水量都有不同程度的增加(表 2)，但只有阿克苏地区、天山北麓、天山山区表现出显著的增多趋势。年极端降水频次阿克苏地区和天山北麓为显著的增多趋势，年极端降水强度各地均无显著的变化倾向，说明阿克苏地区和天山北麓降水频次的增多引起降水量的增多。对夏半年而言，极端降水量表现为阿克苏地区、天山北麓、天山山区有显著的增多趋势，其中阿克苏地区和天山北麓降水频次为显著的增多倾向，降水强度各地均无显著的变化。对冬半年而言，只有北疆北部的降水量表现为显著的增多趋势，主要因为其极端降水频率只有 1.3%，年均极端降水量为 4.4 mm，因此变率较大，其它区域的降水量、

表 2 1961~2000 年新疆 8 个区域极端降水线性变化趋势 (单位: 1%/10a)

Tab. 2 Liner tendency of extreme precipitation from 1961 to 2000 in Xinjiang (Unit: 1%/10a)

	北疆 北部	北疆 西部	天山 北麓	天山 山区	阿克苏地区	焉耆 盆地	喀什 地区	和田 区域
年极端降水量(mm)	5.1	4.2	19.1	7.6	24.5	14.9	11.4	6.1
年极端降水频次(times)	5.9	2.5	14.3	5.0	20.0	10.0	0.0	0.0
年极端降水强度(mm/times)	0.0	0.6	1.1	1.0	2.7	0.6	1.2	-1.9
夏半年极端降水量(mm)	-0.9	2.3	20.2	7.3	29.0	15.2	8.6	4.3
夏半年极端降水频次(times)	0.0	0.0	19.2	4.1	22.2	11.1	0.0	0.0
夏半年极端降水强度(mm/times)	2.3	1.3	1.2	1.0	4.9	0.6	2.0	-0.6
冬半年极端降水量(mm)	36.4	8.6	14.3	12.3				
冬半年极端降水频次(times)	25.0	6.6	0.0	11.4				
冬半年极端降水强度(mm/times)	2.1	1.9	5.0	0.0				

注: 下划线部分通过 95%的信度检验

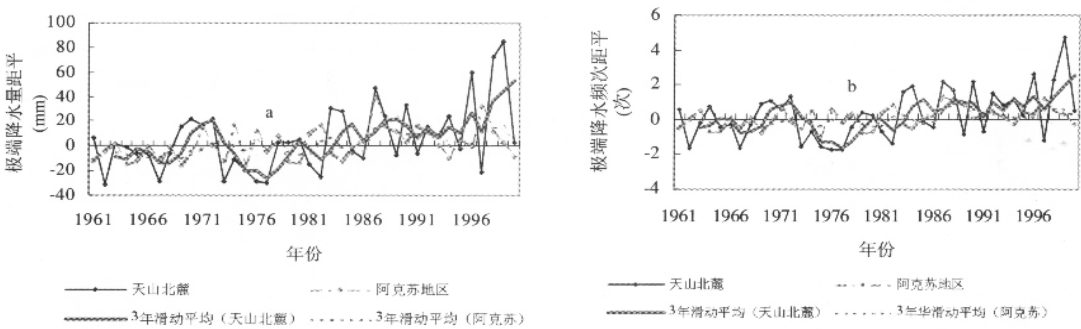


图 2 1961~2000 年新疆极端降水量 (a) 和极端降水频次 (b) 距平
Fig. 2 Extreme precipitation departure (a) and times departure (b) from 1961 to 2000 in Xinjiang

降水频次、降水强度均无显著变化。由此可得出：阿克苏地区 and 天山北麓夏半年极端降水频次的显著增多导致降水量的显著增多，由此造成年极端降水频次和降水量的显著增多。

由天山北麓和阿克苏地区 1961~2000 年极端降水量和频次的距平曲线分析发现其极端降水量和频次变化趋势一致(图 2)，天山北麓 1982 以前为负距平 (除 1971~1973 年外)，1983 年以后基本为正距平，说明增多稳定，最大负距平在 1967 年，最大正距平在 1999 年。阿克苏地区 1986 年以前大部分为负距平，没有明显波谷，1987 年以后为正距平，增多稳定，最大负距平出现在 1975 年，最大正距平出现在 1987 年。由此可见天山北麓和阿克苏地区于 1982 年和 1986 年以后极端降水量和频次有显著的增多趋势且稳定。

统计分析表明极端降水量的变差系数：北疆和天山山区 0.4~0.6，天山山区最小为 0.4；南疆为 0.6~1.1，阿克苏地区最小为 0.66；极端降水频次的变差系数：北疆和天山山区为 0.40~0.57，天山山区最小为 0.40；南疆地区为 0.59~1.02，阿克苏地区最小为 0.59，与极端降水量的变差系数分布一致。

4.2 极端降水的年代际变化

分析 8 个区域极端降水量、强度和频次的年代际变化 (表 3)，极端降水量和频次的年代际变化同步，60 年代接近多年平均，70 年代为偏少时期 (和田除外)；天山北麓和

表 3 新疆极端降水量、频次和强度的年代际变化 (单位: 降水/mm、频次/次、强度/(mm/次))
Tab. 3 The decadal change of precipitation, frequency and intensity of extreme precipitation in Xinjiang
(Unit: precipitation (mm), frequency (times), intensity (mm/times))

区域		北疆 北部	北疆 西部	天山 北麓	天山 山区	阿克 苏	焉耆 盆地	喀什	和田
1961~1970	降水量(mm)	28.7	64.4	51.6	158.3	11.6	18.2	16.4	6.1
	频次(次/a)	1.7	4.2	3.2	8.5	0.8	1.0	0.9	0.3
	强度(mm/次)	15.3	15.1	16.0	19.3	16.1	14.2	17.7	12.4
1971~1980	降水量(mm)	23.3	55.8	48.0	134.1	18.4	12.5	12.2	11.1
	频次(次/a)	1.4	3.6	2.8	7.4	0.9	0.7	0.7	0.6
	强度(mm/次)	16.3	15.0	17.1	18.4	20.1	16.6	14.0	17.1
1981~1990	降水量(mm)	30.6	63.0	65.1	147.2	27.7	25.6	24.4	12.4
	频次(次/a)	1.9	4.1	3.9	8.1	1.5	1.4	1.2	0.6
	强度(mm/次)	15.0	15.4	16.1	18.1	19.3	16.7	17.0	18.5
1991~2000	降水量(mm)	31.4	65.2	78.7	188.1	25.8	27.1	20.4	9.6
	频次(次/a)	2.0	4.2	4.5	9.5	1.4	1.4	1.2	0.5
	强度(mm/次)	15.7	15.2	17.1	19.9	18.5	18.8	10.5	15.7
30 年均值	降水量(mm)	27.5	61.1	54.9	146.5	19.2	18.8	17.6	9.9
	频次(次/a)	1.7	4.0	3.3	8.0	1.1	1.0	1.0	0.5
	强度(mm/次)	15.5	15.2	16.4	18.6	18.5	15.8	16.3	16.0

表 4 新疆 40 年平均的极端降水量与年总降水量的关系

Tab. 4 The relationship between extreme precipitation and annual precipitation of 40-year average in Xinjiang

区域	北疆 北部	北疆 西部	天山 北麓	天山 山区	阿克 苏	焉耆 盆地	喀什	和田
年极端降水量/年总降水量(%)	17.2	25.0	29.6	41.9	28.7	31.3	31.3	21.9
年极端降水量距平与年降水量 的距平的相关系数	0.83	0.91	0.89	0.94	0.46	0.53	0.90	0.90

阿克苏极端降水频次和降水量从 80 年代以来偏多明显, 北疆其他地区 80 和 90 年代接近或略大于多年平均, 天山山区 90 年代偏多。焉耆盆地和喀什地区 80 年代以来为偏多期。和田 60 年代为偏少期, 70、80 年代为偏多期。降水强度的年代际变化北疆和天山山区变化很小, 南疆为极端干旱区, 降水变率较大, 其降水强度变化也大。

4.3 年极端降水量与年降水量的关系

由各区域 40 年平均的极端降水量对年总降水量贡献以及年极端降水量距平与年降水量距平的相关系数可见, 天山山区极端降水对年总降水量的贡献最大(表 4), 占年降水量的 41.9%, 北疆北部与和田区域极端降水的贡献为 17.2%和 21.9%, 其它区域在 25%~31.3%, 可见新疆极端降水对年降水量的贡献较大。而两者距平相关天山山区为 0.94, 其他区域为 0.83~0.91, 各区域年极端降水量距平与降水量距平(图 3)表明除了阿克苏地区和焉耆盆地两者之间同步性较差外, 其他区域二者基本同步变化, 说明年降水量变化能很好地体现在年极端降水量的变化, 反过来说极端降水量的变化也体现在年降水量变化上; 而阿克苏地区和焉耆盆地极端降水量的变化并不体现在年降水量的变化上。

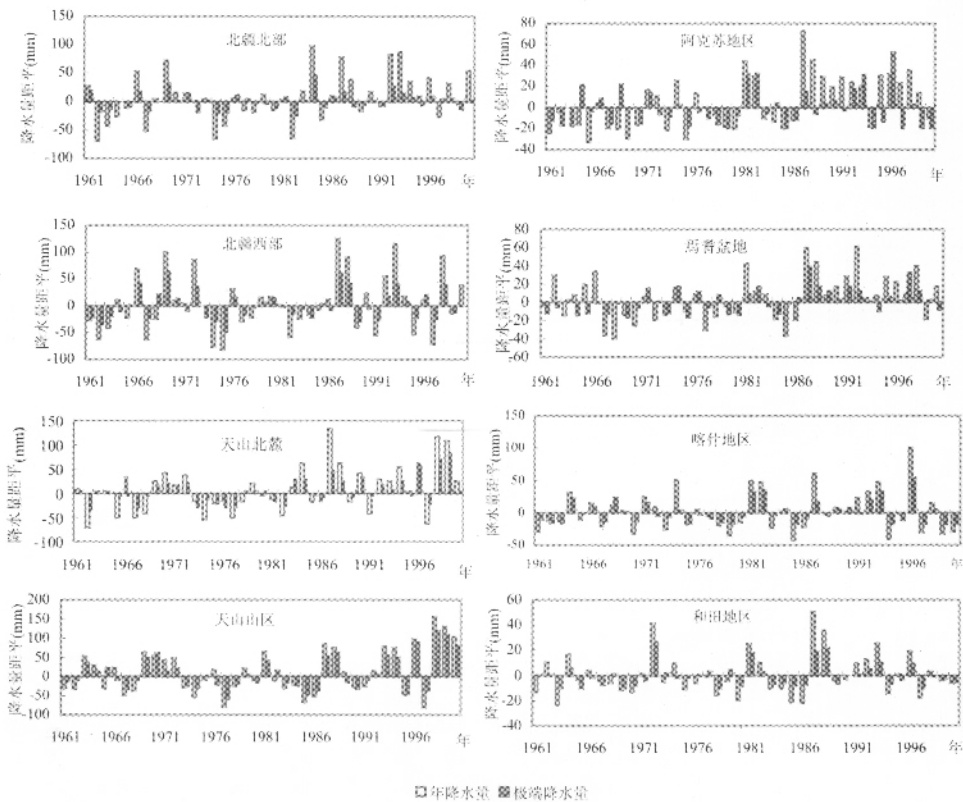


图 3 新疆 1961~2000 年极端降水量与年降水量的距平分布

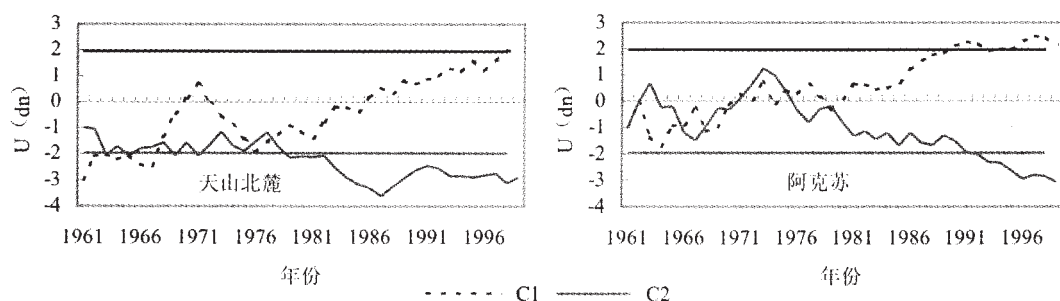


图4 Mann-Kendall 确定新疆年极端降水量的气候突变

Fig. 4 Climate jump of annual extreme precipitation by Mann-Kendall method in Xinjiang

5 年极端降水量的突变检验

总的来说新疆的极端降水量近 40 年除天山北麓和阿克苏有显著增多的趋势外, 其他地区无显著变化。为了分析 40 年天山北麓和阿克苏极端降水变化, 本文用 Mann-Kendall 法对其年极端降水量进行突变检验^[12]。Mann-Kendall 法取 95% 信度水平, 当序列 C1 和 C2 超过 $y = \pm 1.96$ 信度线, 并 C1 和 C2 曲线相交于信度线之间, 则交点便是突变点的开始。图 4 为天山北麓 (a) 和阿克苏 (b) 年极端降水量 Mann-Kendall 突变检验, 表明: 天山北麓和阿克苏年极端降水量于 1980 年发生了由少到多的突变。

6 小结

(1) 天山北麓和阿克苏地区极端降水量和频次有显著增多, 80 年代以来尤其明显, 年极端降水量于 1980 年发生突变。极端降水量的线性变化: 阿克苏地区为 $24.5\%10a$, 天山北麓为 $19.5\%10a$; 频次: 阿克苏地区为 $20\%10a$, 天山北麓 $14.5\%10a$ 。其它地区极端降水量和频次无显著变化。极端降水的气候变化是由夏半年极端降雨的变化引起的。

(2) 新疆极端降水强度无显著变化, 极端降水频次的显著增多导致极端降水量的显著增多。

(3) 新疆极端降水对年总降水量的贡献较大, 天山山区占年降水量的 41.9%, 北疆北部与和田区域极端降水的贡献为 17.2% 和 21.9%, 其它区域在 25%~31.3%。年极端降水量距平与年降水量距平除阿克苏地区和焉耆盆地外均有好的相关关系, 说明极端降水量的变化导致年降水量的变化, 阿克苏地区和焉耆盆地极端降水量的变化并不体现在年降水量的变化。

参考文献 (References)

- [1] J T Houghton et al. IPCC. Climate Change 1995, The Second IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO/UNEP. Cambridge University Press, 1995.
- [2] GCOS/CLIVAR. Indices and indicators for changes in climate extremes. Asheville, NC, USA, 1997(6): 3-6.
- [3] Yan Zhongwei, Yang Chi. Change structure in climatic extremes in China in recent decades. Climate and Environment, 2000, 5(3). [严中伟, 杨赤. 近几十年我国极端气候变化格局. 气候与环境研究, 2000, 5(3).]
- [4] Zhai Panmao. Detection of trends in China's precipitation extremes. Acta Meteorologica Sinica, 1999, 57(2): 208-216. [翟盘茂. 中国降水极值变化趋势检测. 气象学报, 1999, 57(2): 208-216.]
- [5] Jones et al. The use of indices to identify changes in climatic extremes. Climatic Change, 1999, 42: 131-149.
- [6] Zhang Jiabao, Shi Yuguang. Climate Change and Forecast of Short-term Climate in Xinjiang. Beijing: Meteorological Press, 2002. [张家宝, 史玉光. 新疆气候变化及短期气候预测. 北京: 气象出版社, 2002.]

- [7] Hu Ruji. Signals and effects of climatic pattern change from warm-dry to warm-wet in Xinjiang. *Arid Land Geography*, 2002, 25(3): 194-200. [胡汝骥. 新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响. 干旱区地理, 2002, 25(3): 194-200.]
- [8] Geographical Society of Xinjiang (ed.). *Geographical Handbook in Xinjiang*. Urumqi: Xinjiang People's Press, 1993. 3-4. [新疆地理学会 编. 新疆地理手册. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1993. 3-4.]
- [9] Song Yudong. Research on Water Resources and Ecology of Tarim River, China. Urumqi: Xinjiang People's Press, 2000. 181-189. [宋郁东. 中国塔里木河水资源与生态问题研究. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000. 181-189.]
- [10] Wei Wenshou. The Responses and Feedback of Modern Sand Deserts to Climate Change. Beijing: China Environmental Science Press, 2000. 62-72. [魏文寿. 现代沙漠对气候变化的响应与反馈. 北京: 中国环境科学出版社, 2000. 62-72.]
- [11] Zhang Jiabao, Deng Zifeng. A Generality of Rainfall in Xinjiang. Beijing: Meteorological Press, 1987. 10-16. [张家宝, 邓子风. 新疆降水概论. 北京: 气象出版社, 1987. 10-16.]
- [12] Fu Congbin, Wang Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1992, 16(1): 111-119. [符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法. 大气科学, 1992, 16(1): 111-119.]

Climate Change of Extreme Precipitation in Xinjiang

YANG Lianmei

(Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China)

Abstract: Based on the day-to-day observed data of precipitation from 55 meteorological stations in Xinjiang from 1961 to 2000, the climatic variations, tendencies and distribution of extreme precipitation have been analyzed during the last 40 years. The climate jumps have been examined in terms of 3-year moving averaged seasonal and annual series of extreme rainfall and frequency using Yamamoto method and Mann-Kendall method. Regional ecological environments have been changed tremendously after large-scale reclamation since the 1950s at the northern foot of the Tianshan Mountains and Aksu area. Rainfall and frequency of extreme precipitation have an increasing tendency in the two areas since the 1980s. Under the special geographical conditions and climate background, the changes resulted from variations of regional eco-environments and climate are induced by human activities. The results obtained are as follows: Quantity and frequency of extreme precipitation have an obvious increasing tendency at the northern foot of the Tianshan Mountains and Aksu area, especially since the 1980s, there is a climate jump of annual extreme precipitation in 1980; the linear tendencies of annual extreme precipitation are 24.5%/10a in Aksu area, 19.5%/10a at the northern foot of the Tianshan Mountains; the linear tendency of frequency increases by 20%/10a in Aksu area, and 14.5%/10a at the northern foot of the Tianshan Mountains. In other areas there are no obvious variations. Climate change of extreme precipitation is from variation of extreme rainfall in summer. The percentage that extreme precipitation takes up in annual precipitation: the Tianshan Mountains is 41.9%, northern Xinjiang and Hotan region are 17.2% and 1.9% respectively, the other areas are 25%-31.3%.

Key words: extreme precipitation; climate change; Tianshan Mountains; Aksu