

Study on Changes of Precipitation Extremes in Beijing*

Jianhua Zhang, Huanling You[#]

Beijing Meteorological Service Center, Beijing
Email: [#]you_hl@sohu.com

Received: Aug. 8th, 2013; revised: Sep. 4th, 2013; accepted: Sep. 13th, 2013

Copyright © 2013 Jianhua Zhang, Huanling You. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Daily precipitation data of 15 national stations in Beijing area during 1961-2010 are used to study the extreme precipitation exceeding relative thresholds. The results show that the decreasing trend of extreme precipitation frequency is similar to extreme precipitation amount, while the extreme intensity shows a different trend compared with precipitation amount and precipitation frequency during 1961-2010. Our analysis also indicates the decreasing trend of extreme precipitation amount, frequency and intensity based on the relative threshold of 95% in the same period (statistically significant at 0.05-level). Meanwhile, the extreme precipitation amount and frequency based on the relative threshold of 99% also show obvious declining trend (statistically significant at 0.05-level) in Beijing area, but the change of extreme precipitation intensity is not obvious.

Keywords: Extreme Precipitation; Precipitation Frequency; Precipitation Intensity; Beijing

北京地区极端降水事件的变化规律探讨*

张建华, 尤焕苓[#]

北京市气象服务中心, 北京
Email: [#]you_hl@sohu.com

收稿日期: 2013年8月8日; 修回日期: 2013年9月4日; 录用日期: 2013年9月13日

摘要: 利用 1961~2010 年 15 个常规气象站逐日降水数据分析了北京地区极端降水变化趋势。结果表明, 在 1961~2010 年期间, 北京地区大部分站点的极端降水量呈现下降趋势, 极端降水频数与之相似, 但极端降水强度与降水量和降水频数的变化趋势有明显不同。超过第 95 个百分位极端降水阈值的极端降水量、降水频数和降水强度均呈下降趋势, 并均通过了 0.05 的显著性检验。同时, 北京地区超过第 99 个百分位降水阈值的极端降水量、降水频数也呈现显著下降趋势, 但极端降水强度的变化并不明显。

关键词: 极端降水; 降水日数; 降水强度; 北京

1. 引言

一般地说, 极端气候事件的变率要比平均气候的变率更强, 危害更大。自 1990 年至今, 联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的四次气候变化评

估报告, 都用较大篇幅概括了极端温度和降水事件的研究成果^[1-3]。在对极端降水事件的时间变化方面, 许多科学家都做了有益的探索。Alexander et al.^[4]研究发现, 近几十年来北半球中高纬度陆地地区极端强降水事件频率和强度增加。Kunkel et al.^[5]利用 1895~2000 年的逐日降水资料研究美国的极端降水, 发现 19 世纪末至 20 世纪初, 极端降水的发生频率相当高, 之

*资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05090202); 国家自然科学基金项目(40975066)。

[#]通讯作者。

后频率降低,但从 20 世纪二三十年代直到 20 世纪末,频率又有相当大的增加; Kunkel et al.^[6]对于加拿大的研究表明,非常强的极端降水频率没有明显的变化趋势,但强度相对较弱的极端降水频率增加。Goswami et al.^[7]分析了印度中部 1871~2003 年上百年的降水资料,用不同的绝对降水值大小定义强度不同的降水事件,发现极端降水事件呈显著的增加趋势。为掌握中国极端降水事件的变化规律,许多学者利用不同的指标,对降水量、降水频率、降水强度的极值变化做了大量的研究。Zhai et al.^[8]采用超过气候标准期中日降水量序列的第 95 个百分位数的天数,作为台站极端强降水气候事件的度量,发现中国地区年极端强降水日数的趋势变化的空间分布特征与年降水量和暴雨日数相似。最近的研究结论^[9,10]表明,近 50 年来我国多数地区极端强降水量或暴雨降水量在总降水量中的比重有所增加,极端强降水或暴雨级别的降水强度增强,年降水日数趋于减少,有暴雨出现地区的年平均暴雨日数呈微弱增多趋势,但其时空差异较大。Wang et al.^[11]利用 1961~2001 年中国的台站资料,定义日降水量序列的 95% 及 97.5% 为极端事件阈值,也发现西南、西北北部和华东极端降水事件频率有增加趋势,华北、华中有减少趋势,而且这种趋势与平均降水变化趋势空间分布一致。Qian et al.^[12]利用 494 个台站 1961~2000 年的降水资料,根据基于降水百分比、强度及持续性的不同阈值指数,发现黄河流域和华北干旱出现的频率增加,东南地区(包括长江中下游)和新疆地区强降水事件增多。在我国西部地区,也有许多学者^[13-17]研究了极端降水事件的变化特征,分析西部地区极端降水事件的集中度和集中期存在较大的空间差异。张爱英等^[18]分析了近 45 年来华北中北部极端降水事件频率的变化特征,指出平均年最大日降水量呈下降趋势,强降水事件频率变化不大,但其在总降水日数中的比重有所增大,1990 年代中期以后这种现象比较明显。由于极端降水事件常常与洪涝灾害联系在一起,在气候变化大背景下,总降水量增大的区域,极端强降水事件出现机率有可能增加^[19]。

首都北京作为世界闻名的超级大城市,是我国水资源极度匮乏的城市之一,同时也是受极端降水影响较大的城市。因此,在气候变化的背景下,深入研究北京地区极端降水量、降水日数和降水强度的时间变

化特征,以求从一个新的角度分析北京地区极端降水的时间变化特征,对于深入理解北京地区降水变化规律以及评估区域气候特征、提高城市适应气候变化能力等均具有重要意义。

2. 资料与方法

采用 1960 年已建立站点的 15 个常规气象站 1961~2010 年逐日降水数据分析北京地区极端降水事件变化趋势,极端气候事件采用国际上在气候极值变化研究中最常见的将某个百分位值作为极端值的阈值检验方法,定义基于日降水量的极端降水事件。具体采用 1981~2010 年日降水量大于 0.1 mm 的按升序排列的第 90%、95%、99% 的降水量值作为该测站极端降水量的阈值,年极端降水频数指一年中日降水量超过该极端降水阈值的日数,年极端降水强度指超过极端降水阈值的年极端降水总量与年极端降水频数的比值。以极端降水事件为例,95% 极端降水阈值的计算方法为:把 1981~2010 年逐年日降水量大于 0.1 mm 的降水量按升序排列,将第 95 个百分位值的降水量值定义为极端降水事件的阈值,当某站某日降水量超过了该站的阈值时,就称该日该站出现了极端降水事件。具体算法为:

参照 Bonsal 方法^[20],如果某个气象要素有 n 个值,将这 n 个值按升序排列,某个值小于 $x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n$ 或等于 x_m 的概率为:

$$P = (m - 0.31) / (n + 0.38)$$

式中, m 为 x_m 的序号, n 为某个气象要素值的个数,如果有 100 个值,那么第 95 个百分位上的值为排序后的 x_{95} ($P = 94.3\%$) 和 x_{96} ($P = 95.3\%$) 的线性插值。

区域极端降水总量和区域极端降水频数平均值的统计则分别采用北京地区 15 个站点各站的极端降水总量和各站极端降水频数的算术平均。区域极端降水强度则为区域极端降水总量与区域极端降水频数的比值。

3. 结果分析

表 1 是以 1981~2010 年 30 年中某测站第 90、95 和 99 百分位的极端降水量的阈值。可以看出,对于第 90 百分位极端降水事件,降水阈值为 16.6~24.8 mm,各站降水阈值均在中雨雨量范围内,对于第 95 百分位

Table 1. Extreme precipitation of 15 meteorological stations threshold in Beijing area (1981-2010) (unit: mm)

表 1. 北京地区 15 个气象站极端降水量阈值(1981~2010)(单位:mm)

站名	P90%	P95%	P99%
顺义	22.9	35.5	79.584
延庆	16.62	23.885	43.079
密云	23.1	37.18	79.533
怀柔	24.2	35.075	78.385
上甸子	22.2	33.6	65.098
平谷	24.8	37.5	73.424
通州	23.07	36.3	72.944
朝阳	24.4	35.2	73.192
昌平	18.7	28.28	65.092
门头沟	22.9	33.7	71.767
观象台	23.1	33.195	66.136
丰台	22.3	34.7	67.81
大兴	22.1	33.1	67.926
房山	20.7	33.9	71.09
霞云岭	21.68	34.3	71.994

极端降水事件, 降水阈值为 23.9~37.5 mm, 各站降水阈值除延庆站外均在大雨雨量范围内, 第 99 百分位降水阈值为 43.1~79.6 mm, 除延庆站外其它站点降水阈值均处在暴雨雨量范围。几种降水阈值均表现出一致的分布特征(表 1), 即在北京地区东部和南部地区以及城区降水阈值较大, 而在北京西部及其西北部山区, 降水阈值较小(图 1)。尤莉等^[21]统计内蒙 116 个单站 1961~2008 年逐日降水量显示, 第 90 和第 95 百分位的极端降水阈值分别为 2.1~14.2 mm 和 4.0~23.8 mm。总体可见, 北京地区极端降水阈值明显高于内蒙地区。极端强降水阈值的空间分布与年降水量的分布相似, 说明极端强降水与年降水量关系密切。同时, 相对阈值方法也可检测出西部山区暴雨以下量级但可能形成一定灾害的极端降水。以下主要针对第 95、99 个百分位降水阈值的极端降水事件的区域平均进行分析。

北京地区超过第 95 个百分位降水阈值的极端降水总量呈显著的下降趋势(图 2), 近 50 年以 25.8 mm/10 a 的速率下降, 达到 0.05 的信度检验, 极端降水量平均为 242 mm, 近 50 年平均下降了大约 129 mm, 对北京这样一个水资源极度匮乏而城市化快速发展的区形势非常严峻。从图 2 还可看出, 极端降水

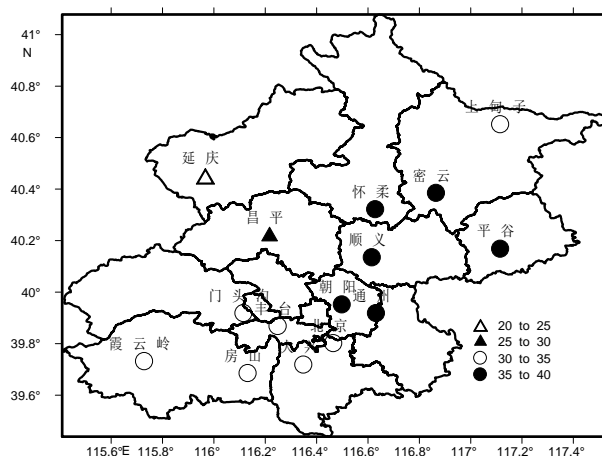


Figure 1. Ninety-fifth percentiles precipitation threshold distribution of 15 stations of Beijing area in 1981-2010 (mm)

图 1. 北京地区 15 站 1981~2010 年第 95 百分位降水量阈值分布 (mm)

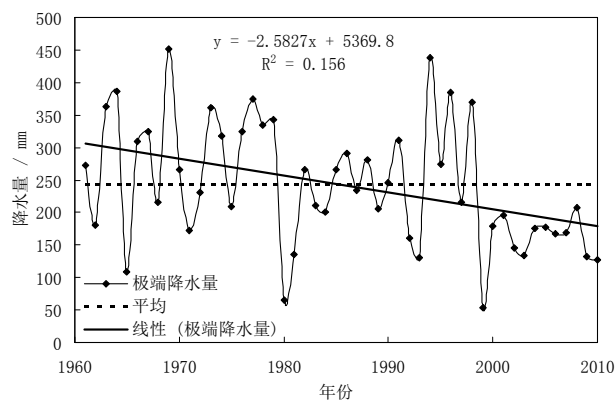


Figure 2. Change of extreme precipitation of 1961-2010 more than ninety-fifth percentiles precipitation threshold of Beijing area
图 2. 北京地区 1961~2010 年超过第 95 百分位降水阈值的极端降水量变化

量在 1961~1979 年较大, 总体上明显高于近 50 年的平均, 而在 1980 年, 突然降低到 64.6 mm, 1982~1998 年, 围绕极端降水的气候均值波动, 震荡幅度较弱, 从 1999 年至 2010 年极端降水量均低于气候平均值, 1999 年极端降水量为 54 mm, 为近 50 年的最低值, 但年际之间震荡幅度大大减小, 处于一个相对稳定的干旱气候时期。从 1999 年到 2010 年, 极端降水量连续 11 年的极端降水量平均为 155 mm, 显著低于近 50 年的气候均值 242 mm, 由于极端降水量对总降水量贡献很大, 极端降水量的减少是引起北京地区严重的连年干旱的重要原因之一。

从图 3 看, 超过第 95 个百分位降水阈值的极端降水频数与极端降水量的变化具有较好的对应关系, 全区多年平均年极端降水频数为 4.57 d, 以 0.376 d/10 a

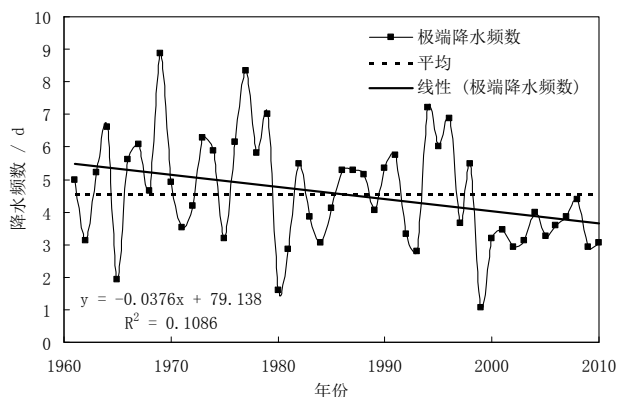


Figure 3. Frequency of extreme precipitation changes during 1961-2010 more than ninety-fifth percentiles precipitation threshold in Beijing area
图3. 北京地区1961~2010年超过第95个百分位降水阈值的极端降水频数变化

的速率减小,通过了信度0.05的检验。在1965、1980、1999年降水频数出现低谷,不到2d,而1969、1977、1979、1994年极端降水频数较大,达到了7d以上。与降水量类似,1961~1979年全区平均极端降水频数年际变化很大,在气候均值上下大幅震荡,总体上高于近50年的极端气候均值;1980年极端降水频数最小,为1.6d,1981~1998年,年际间极端降水日数围绕气候均值震荡,在1999~2010年,极端降水频数均低于近50年的气候均值。可以看出,年极端降水频数与降水量的变化基本一致。这与郭军等^[22]对环渤海地区的研究结果一致,即在1961~2007年,极端强降水频次总体上呈减少趋势,其中京津冀中部减少趋势显著。

图4为北京地区超过第95个百分位的降水阈值的降水强度的变化。全市平均极端降水强度为52.59mm/d,以1.68mm/d/10a的速率减小,通过了信度0.05的检验。极端降水强度与极端降水量、极端降水频数变化基本一致,但也存在一些差异。从图3可以看出,1963、1975、1984、1985、1994、1998年极端降水强度较大,均达到了60mm/d的强度,但并没有明显对应于极端降水量和极端降水频数的高值,但极端降水强度大的年份多为北京地区受大暴雨危害较为严重的年份。从1961~2000年,极端降水强度总体上围绕极端降水强度近50年均值震荡,而2000年至2010年,极端降水的强度呈现较为明显的减弱趋势,但也不能排除如1980年达到最低强度,而后急剧增强的趋势。综合分析极端降水量、降水频数和降水强度,

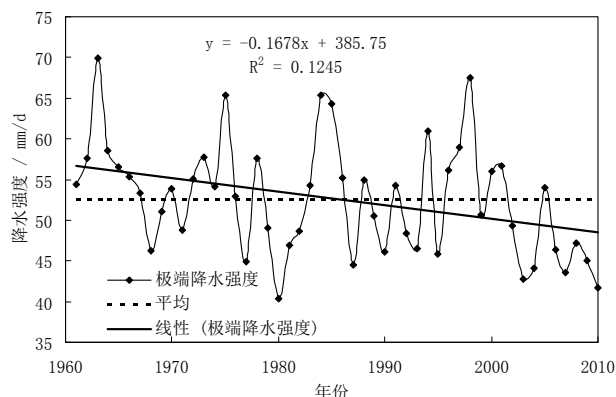


Figure 4. The intensity of extreme precipitation of 1961-2010 more than ninety-fifth percentiles precipitation threshold in Beijing area
图4. 北京地区1961~2010年超过第95个百分位降水阈值的极端降水强度变化

三者均呈下降趋势,并且均通过了5%的显著性检验。从年代际变化情况看,降水量、降水次数和降水强度均存在着明显的波动特征,其中1980年代前和1980年代末期到2000年代初期为偏多时期,而其他时段则为偏少时段。1987~2010年期间,极端降水总量、降水次数和降水强度的减少趋势较整个时段的变化趋势更显著。其次,极端降水总量的减少主要是由于降水强度和降水频数减少共同作用所造成的。这也从侧面反映出极端降水总量的减少是造成北京地区近些年来干旱化的一个可能的原因,同时可能说明,北京地区原有的水汽循环结构发生了改变,导致原有的降水分布型被打破,强降水发生的突发性和不确定性加大。

北京地区超过第99个百分位降水阈值的极端降水总量呈显著的下降低趋势(图5),近50年以15.9mm/10a的速率下降,达到0.05的信度检验,极端降水量平均为97.6mm,近50年平均下降了大约79.3mm,说明北京地区对于99%阈值的总降水量下降极为明显。从图5还可看出,同95%阈值的极端降水量类似,极端降水量在1961~1979年较大,总体上明显高于近50年的平均,在1980年突然降低到2.87mm,1982~2010年,极端降水量有一个降低趋势。其中,1963、1964、1973、1978、1994、1996、1998年等的极端降水量均达到180mm以上,明显超过气候均值97.6mm。

超过第99个百分位的降水阈值的极端降水频数与极端降水量的变化基本一致(图6),全区多年平均99%阈值的年极端降水频数为1.15d,以0.177d/10a

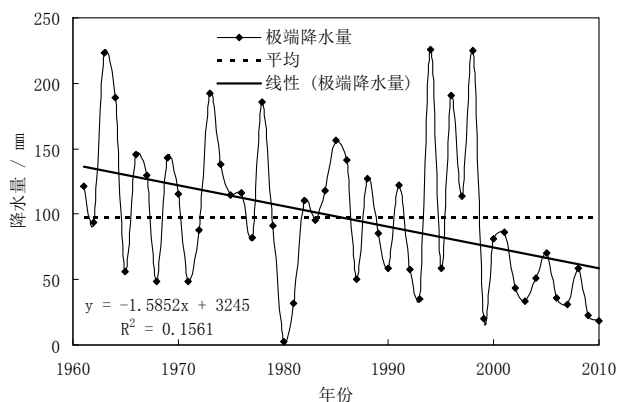


Figure 5. Change of extreme precipitation of 1961-2010 more than ninety-ninth percentile precipitation threshold of Beijing area
图 5. 北京地区 1961~2010 年超过第 99 个百分位降水阈值的极端降水量变化

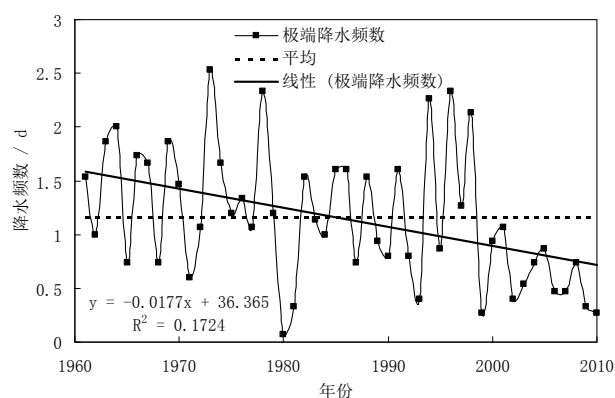


Figure 6. Frequency of extreme precipitation changes during 1961-2010 than precipitation threshold of ninety-ninth percentile in Beijing area
图 6. 北京地区 1961~2010 年超过第 99 个百分位的降水阈值的极端降水频数变化

的速率减小,通过了信度 0.05 的检验。在 1980、1981、1999、2002、2009 和 2010 年降水频数出现低谷,不到 0.4 d,而 1973、1978、1994、1996、1998 年极端降水频数较大,达到了 2.1 d 以上。与降水量类似,1961~1979 年全区平均极端降水频数年际变化很大,在气候均值上下大幅震荡,总体上高于近 50 年的极端气候均值;1980 年极端降水频数最小,为 0.07 d,1981~1998 年,年际间极端降水日数围绕气候均值震荡,在 1999~2010 年,极端降水频数均低于近 50 年的气候均值,呈明显下降趋势。也与 95% 阈值的极端降水频数大致分布一致。

超过第 99 个百分位降水阈值的全区平均极端降水强度为 82.10 mm/d,以 1.57 mm/d/10 a 的速率减小(图 7)。极端降水强度与极端降水量、极端降水频数变化基本一致。1963、1984、1994、1998 和 2002 年极

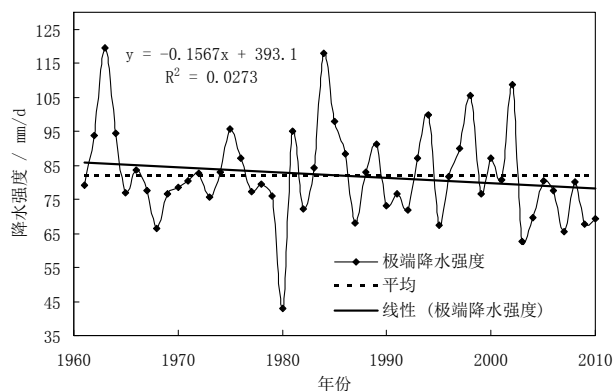


Figure 7. The intensity of extreme precipitation of 1961-2010 more than ninety-ninth percentile precipitation threshold of Beijing area
图 7. 北京地区 1961~2010 年超过第 99 个百分位降水阈值的极端降水强度变化

端降水强度较大,均达到了 100 mm/d 的强度,同第 95 个百分位的降水阈值的极端降水一样,并没有明显对应于极端降水量和极端降水频数的高值,但极端降水强度大的年份也多为北京地区受大暴雨危害较为严重的年份。1980 年,极端降水强度最小,为 43 mm/d。在 1961~2010 年,除去几个极高值和 1980 年的最低值,极端降水强度总体上围绕极端降水强度近 50 年均值震荡,并呈现较弱的减小趋势。同时也可以看出,对于超过第 99 个百分位的降水阈值的极端降水量,其趋势与降水频数变化密切相关,主要是由极端降水频数下降所决定的。

4. 结论

利用 1961~2010 年 15 个常规气象站逐日降水数据分析了北京地区 1961~2010 年 15 个站平均的极端降水事件随时间的变化,得到以下结论:

1) 北京地区 1981~2010 年的极端降水阈值,降水量最强的 10% 极端降水阈值均在中雨雨量范围内;对于第 95 个百分位降水阈值的降水事件,其极端降水阈值除延庆站外均在大雨雨量范围;而对于第 99 个百分位降水阈值的降水事件,除延庆站外其它站的降水阈值均处在暴雨雨量范围。几种降水阈值均表现出一致的分布特征,即在北京地区东部和南部地区以及城区降水阈值较大,而在北京西部及其西北部山区,降水阈值较小。

2) 北京地区超过第 95 个百分位降水阈值的极端降水总量、降水次数和降水强度均呈下降趋势并且均通过了 5% 的显著性检验。从年代际变化情况看极

端降水总量、降水次数和降水强度在 1980 年代前和 1980 年代末期到 2000 年代初期偏高, 而其他时段则偏低。1987~2010 年期间, 极端降水总量、降水次数和降水强度的减少趋势较整个时段的变化趋势更为显著。

3) 北京市第 99 个百分位降水阈值阈值的极端降水总量和降水频数均有显著下降的趋势, 且均通过了 0.05 的显著性检验。其年代际变化情况同第 95 个百分位降水阈值以上的降水量、降水次数变化相近。但对于极端降水强度, 其变化并不明显, 呈现出微弱的下降趋势。超过第 99 个百分位降水阈值的极端降水总量趋势与降水频数变化密切相关。

参考文献 (References)

- [1] IPCC. Climate change 1996—The physical science basis, Contribution of working group I to the third assessment report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [2] IPCC. Climate change 2001: The scientific basis. Observed climate variability and change. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2001.
- [3] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007.
- [4] L. V. Alexander, X. Zhang, T. C. Peterson, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111(3): D05109.
- [5] K. E. Kunkel, D. R. Easterling, K. Redmond and K. Hubbard. Temporal variations of extreme precipitation events in the United States: 1895-2000. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(17): 1900.
- [6] K. E. Kunkel. North American trends in extreme precipitation. *Natural Hazards*, 2003, 29(2): 291-305.
- [7] P. Y. Groisman, T. R. Karl, D. R. Easterling, et al. Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climatic change. *Climatic Change*, 1999, 42: 243-283.
- [8] P. M. Zhai, X. B. Zhang, H. Wan, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *Journal of Climate*, 2005, 18(7): 1096-1108.
- [9] 翟盘茂, 王萃萃, 李威. 极端降水事件变化的观测研究[J]. *气候变化研究进展*, 2007, 3(3): 144-148.
- [10] 王小玲, 翟盘茂. 1957~2004 年中国不同强度级别降水的变化趋势特征[J]. *热带气象学报*, 2008, 24(5): 459-466.
- [11] Y. Q. Wang, L. Zhou. Observed trends in extreme precipitation events in China during 1961-2001 and the associated changes in large-scale circulation. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32(5): L09707.
- [12] W. Qian, X. Lin. Regional trends in recent precipitation indices in China. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2005, 90(2): 193-207.
- [13] 赵庆云, 赵红岩, 刘新伟. 西北东部极端降水事件及异常旱涝季节变化倾向[J]. *中国沙漠*, 2006, 26(5): 745-749.
- [14] 杨金虎, 江志红, 杨启国等. 中国西北汛期极端降水事件分析[J]. *中国沙漠*, 2007, 27(2): 320-325.
- [15] 杨金虎, 江志红, 王鹏祥等. 中国西北极端降水事件年内非均匀性特征分析[J]. *中国沙漠*, 2008, 28(1): 178-184.
- [16] 王兴梅, 张勃, 戴声佩等. 甘肃省黄土高原区夏季极端降水的时空特征[J]. *中国沙漠*, 2011, 31(1): 223-229.
- [17] 蔡新玲, 吴素良, 贺皓等. 变暖背景下陕西极端气候事件变化分析[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(4): 1095-1101.
- [18] 张爱英, 高霞, 任国玉. 华北中部近 45 年极端降水变化特征[J]. *干旱气象*, 2008, 26(4): 46-50.
- [19] 任国玉, 封国林, 严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. *气候与环境研究*, 2010, 15(4): 337-353.
- [20] B. R. Bonsal, X. Zhang, L. A. Vincent and W. D. Hogg. Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada. *Journal of Climate*, 2001, 14: 1959-1976.
- [21] 尤莉, 戴新刚, 张宇. 1961~2008 年内蒙古降水极端事件分析[J]. *气候变化研究进展*, 2010, 6(6): 411-416.
- [22] 郭军, 任国玉, 李明财. 环渤海地区极端降水事件概率分布特征[J]. *气候与环境研究*, 2010, 15(4): 425-432.