

尤焕苓, 刘伟东, 任国玉. 2014. 1981~2010 年北京地区极端降水变化特征 [J]. 气候与环境研究, 19 (1): 69-77, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.12143. You Huanling, Liu Weidong, Ren Guoyu. 2014. Variation characteristics of precipitation extremes in Beijing during 1981-2010 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 19 (1): 69-77.

## 1981~2010 年北京地区极端降水变化特征

尤焕苓<sup>1</sup> 刘伟东<sup>1</sup> 任国玉<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089

<sup>2</sup> 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081

**摘要** 采用北京地区 20 个常规气象站 1981~2010 年逐日降水数据, 对北京地区极端降水的空间分布特征进行了分析。得到以下主要结论: 1981~2010 年, 北京地区极端降水百分位数 (第 90、95 和 99 个百分位数) 阈值表现出较一致的空间分布特征, 以第 95 个百分位数阈值计算的极端降水日数与降水阈值和降水量的分布有较大差异, 极端降水量对总降水量的贡献可达 30%~37%, 极端降水强度分布与极端降水阈值分布相似。近 30 年, 北京地区多数站点的极端降水量、降水日数和降水强度呈下降趋势, 极端降水量以上甸子、怀柔、平谷和观象台下下降较为明显, 可达到  $40 \text{ mm} (10 \text{ a})^{-1}$  以上, 极端降水强度以顺义、海淀、观象台、大兴和上甸子等站下降较为显著, 每 10 a 降水强度减小趋势可达  $4 \text{ mm d}^{-1}$ , 极端降水日数变化分布与极端降水量变化分布类似, 极端降水强度变化与降水量和降水日数变化的分布有明显不同。

**关键词** 极端降水 降水日数 降水强度 北京

文章编号 1006-9585 (2014) 01-0069-09

中图分类号 P446

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.12143

## Variation Characteristics of Precipitation Extremes in Beijing during 1981-2010

YOU Huanling<sup>1</sup>, LIU Weidong<sup>1</sup>, and REN Guoyu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Urban Meteorology, Beijing, China Meteorological Administration, Beijing 100089

<sup>2</sup> Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, National Climate Center, Beijing 100081

**Abstract** Daily precipitation data of 20 national stations in Beijing area during 1981-2010 are used to study the extreme precipitation exceeding relative thresholds (upper 90th, 95th, and 99th percentiles of precipitation for local sites and given time). The results show that the relative thresholds of 90th, 95th, and 99th percentiles have a similar spatial distribution. The distribution of extreme precipitation days shows a significant difference from the precipitation amount and relative threshold calculated as the upper 95th percentile. The extreme precipitation amount can account for 30%-37% of the total precipitation amount. The distribution of extreme precipitation intensity is consistent with the extreme precipitation threshold. In the recent 30 years, the extreme precipitation amount, days, and intensity of most stations in Beijing area have shown apparent decreasing trends. In Shangdianzi, Huairou, Pingu, and Guanxiangtai stations, the decreasing trend of extreme precipitation amount is obvious, reaching a value of  $40 \text{ mm} (10 \text{ a})^{-1}$ . In Shunyi, Haidian, Guanxiangtai, Daxing, and Shangdianzi stations, the decreasing trend of extreme precipitation intensities is more pronounced, with precipitation intensity being as low as  $4 \text{ mm d}^{-1} (10 \text{ a})^{-1}$ . The distribution trend of extreme precipitation amount is positively related to the precipitation frequency and that of extreme precipitation intensity is inconsistent with the precipitation amount,

收稿日期 2012-08-12 收到, 2013-03-03 收到修定稿

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、41375069

作者简介 尤焕苓, 女, 1973 年出生, 硕士, 高级工程师, 研究方向为城市气象服务等。E-mail: you\_hl@sohu.com

frequency, and patterns of distribution.

**Keywords** Extreme precipitation, Precipitation day, Precipitation intensity, Beijing

## 1 引言

极端降水事件常与洪涝灾害密切相关。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。任国玉等(2010)研究表明,在气候变化背景下,总降水量增大的区域,极端强降水事件出现的机率有可能增加;即使平均总降水减少的区域,一些地点的强降水量及其降水频数也有增加。翟盘茂等(2007)、王小玲和翟盘茂(2008)的研究表明,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。Zhai et al. (2005)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。王萃萃和翟盘茂(2009)研究发现,我国北方尤其是在华北南部,大城市极端降水强度和频数增加的趋势比周围大,华北东南部大城市极端降水强度呈较明显的增强趋势。Wang and Zhou (2005)利用 1961~2001 年我国的台站资料,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。Alexander et al. (2006)的研究也发现了华北极端降水事件频率有减少趋势。张爱英等(2008)分析了近 45 年来华北中北部极端降水事件频率变化时空特征,发现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,20 世纪 90 年代中期以后这种现象比较明显。王冀等(2012)利用华北地区 84 个气象台站 1961~2009 年的资料分析得到了华北地区极端降水量、降水次数和降水强度均呈下降趋势的结论。Tu et al. (2010)对华北降雨进行研究指出,华北 1954~2006 年降水及频次均减少,但大暴雨频次并未减少。郭军等(2010)利用环渤海地区 60 个测站 1961~2008 年逐日降水资料,发现山东南

部、河北西南部、辽宁西部与河北东北部等区域具有较高极端降水值。

虽然很多研究者在极端气候方面做了大量的研究,但对于北京这样一个地形复杂、城市化高速发展的较小的区域,通常仅采用北京观象台站的极端气候特征作为北京地区的特征,而对于北京地区各站极端气候事件的相关研究较少。因此,本文选取北京地区 1981~2010 年的 20 个常规气象站日降水资料对北京地区极端降水特征进行研究,以期了解北京地区极端降水量、降水日数和降水强度等的变化特征,从一个新的角度分析北京地区极端降水的特征,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具有重要意义。

## 2 资料与方法

本文采用北京地区 20 个常规气象站 1981~2010 年逐日降水数据,分析极端降水事件变化趋势和极端事件的空间分布。北京地区地形复杂,气候的地域差异明显,仅用绝对阈值定义日降水极端事件,在各个区县之间缺乏可比性。因此,本文采用国际上在气候极值变化研究中常见的将某个百分位值作为极端值的阈值检验方法,定义基于降水量的极端降水指数。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,年极端降水日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日数的比值。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 et al. (2001)的方法,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:

$$P=(m-0.31)/(n+0.38), \quad (1)$$

其中,  $m$  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。

### 3 结果与分析

#### 3.1 极端降水事件空间分布

从表 1 可以看出, 对于第 90 百分位的极端降水事件, 降水阈值为 16.8~24.8 mm, 均在中雨雨量范围内, 对于第 95 百分位的极端降水事件, 降水阈值为 23.9~37.5 mm, 除延庆站外均在大雨雨量范围, 第 99 百分位的降水阈值为 43.1~79.6 mm, 除延庆、佛爷顶、汤河口和斋堂站外, 降水阈值均处在暴雨雨量范围。几种降水阈值都表现出类似的分布特征, 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(图 1)。尤莉等(2010)统计了内蒙古 116 个单站 1961~2008 年的逐日降水量, 发现第 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古地区。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, 相对阈值方法检测出了

西部山区暴雨以下量级但可能形成一定灾害的极端降水。因第 90 个、第 95 个和第 99 个百分位的降水极端事件的阈值空间分布相近, 以下主要针对第 95 个百分位的降水极端事件进行分析。

表 1 1981~2010 年北京地区 20 个气象站第 90、95 和 99 个百分位数的极端降水阈值

Table 1 The upper 90th, 95th, and 99th percentile extreme precipitation threshold in Beijing during 1981-2010 mm

| 站名  | 第 90 百分位 | 第 95 百分位 | 第 99 百分位 |
|-----|----------|----------|----------|
| 顺义  | 22.90    | 35.55    | 79.70    |
| 海淀  | 22.93    | 35.39    | 71.81    |
| 延庆  | 16.70    | 24.70    | 42.72    |
| 佛爷顶 | 17.24    | 25.69    | 46.75    |
| 汤河口 | 16.80    | 25.74    | 48.61    |
| 密云  | 23.04    | 36.40    | 80.20    |
| 怀柔  | 24.30    | 35.10    | 74.20    |
| 上甸子 | 21.51    | 33.00    | 66.19    |
| 平谷  | 24.50    | 37.00    | 73.51    |
| 通州  | 22.30    | 34.30    | 64.06    |
| 朝阳  | 24.30    | 34.73    | 73.71    |
| 昌平  | 18.50    | 28.08    | 67.62    |
| 斋堂  | 16.80    | 23.20    | 46.86    |
| 门头沟 | 22.92    | 33.30    | 74.44    |
| 观象台 | 22.38    | 32.85    | 65.35    |
| 石景山 | 21.77    | 33.90    | 66.32    |
| 丰台  | 21.90    | 35.43    | 68.73    |
| 大兴  | 21.99    | 32.87    | 67.93    |
| 房山  | 20.70    | 34.18    | 66.70    |
| 霞云岭 | 21.20    | 34.08    | 72.52    |

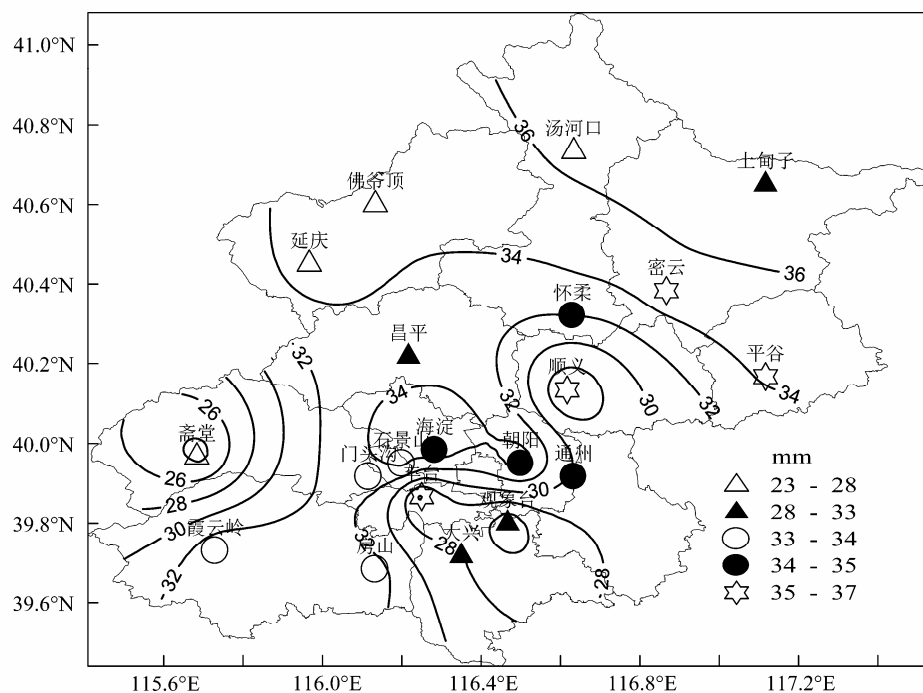


图 1 北京地区 1981~2010 年第 95 百分位降水量阈值

Fig. 1 Distribution of the 95th percentile extreme precipitation threshold in Beijing during 1981-2010

由图 2 可以看到，北京地区极端降水量从西南部到东北部以及城区较强，极端降水量可达 190 mm 以上，而在西部和东南部逐渐减少，降水量在 180 mm 以下。极端降水量大值区主要分布在北京的上甸子、密云、海淀、朝阳、门头沟、丰台和房山等站。这种分布和降水的气候平均态以及大雨和暴雨分布较为类似，也反映了极端降水对于降水的贡献非常大，用百分位方法确定的极端降水阈值是合理的。同时可以看出，在北京城区、城区东北部盛行风下风方向和城区西部、东南部郊区的降水差异，北京地区主城区下风方的东北区降水量最大，表现出明显的“城市雨岛效应”，这主要是由于夏季北京地区多处于北支低槽区域和副高控制下西南暖湿气流的冷暖空气交汇处，有利于降水频繁发生。另外北京城市化产生的城市热岛、建筑物对天气系统移动减速及更多凝结核对暴雨起增幅作用所引起的（陈静和刘琳，2011）。

北京地区极端降水日数平均为每年 3.16~4.24 d（图 3），极端降水日数与极端降水阈值和极端降水量的分布有较大差异，表现出极端降水阈值小的站点其极端降水日数较多。从西南至北部，沿山区分布，极端降水日数较大，如佛爷顶站极端降水日数大约在 4 d 左右，而在城区及其附近降水日数较少，大约在 3.4 d 左右，对应极端降水量分布，表

明这些站点极端降水量大而极端降水日数小。对于佛爷顶站，其极端降水量不大，但极端降水日数较多。对于密云、平谷和门头沟等站，其极端降水量大、极端降水日数少的特点更加显著。这主要是由于北京西部和北部山区受北方频发的冷空气影响，与来自北京东南的暖湿空气受燕山、太行山的抬升，在山前迎风坡形成多雨区，而背风坡则形成少雨区，造成系统性降水过程增多，从而导致降雨日数多的原因（徐宗学等，2006）。

极端降水量对年总降水量的贡献可以通过年极端降水量在全年总降水量中所占的比例来衡量，在一定程度上反映了一个地区降水量年内分布情况。北京地区极端降水量对总降水量的贡献为 30%~38%（见图 4），其中霞云岭、房山、昌平、顺义、门头沟等站点极端降水对总降水量贡献较大，达到了 36% 以上，说明这些地区的极端降水在更大程度上决定了该地区总降水量的大小。而延庆、汤河口、佛爷顶和斋堂这些山区站，极端降水对总降水量的贡献较小，不到 33%。同郭军等（2010）得出的京津唐地区极端降水量对年降水量的贡献超过了 30% 的结论比，与本研究的结论基本一致，其差异主要同极端降水阈值的确定时限、研究站点和所研究的时期有关。

极端降水强度是衡量极端降水的重要指标，强

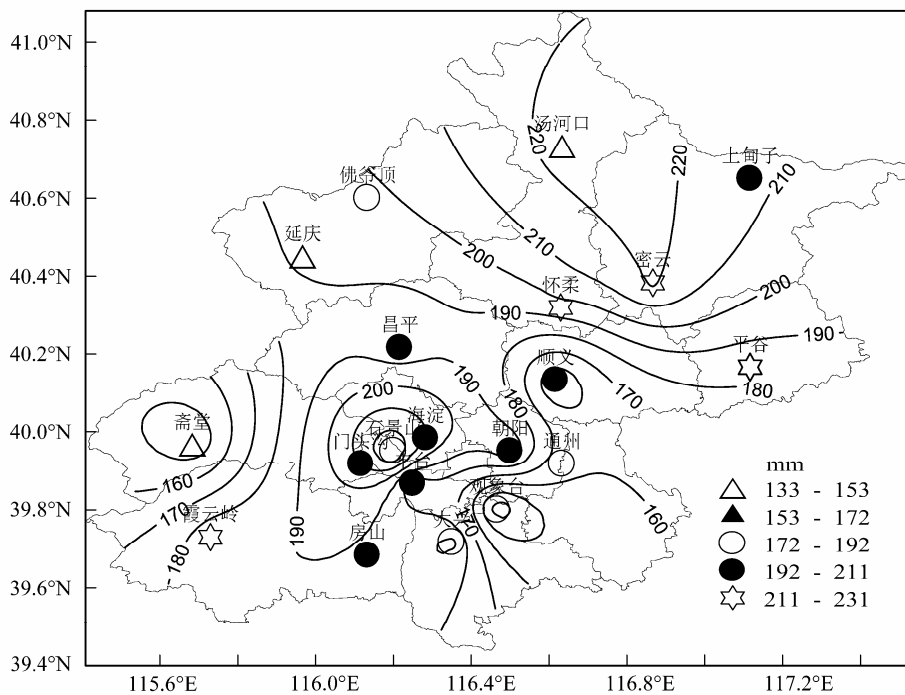


图 2 北京地区 1981~2010 年年平均极端降水量分布

Fig. 2 Distribution of annual extreme precipitation amount in Beijing during 1981-2010

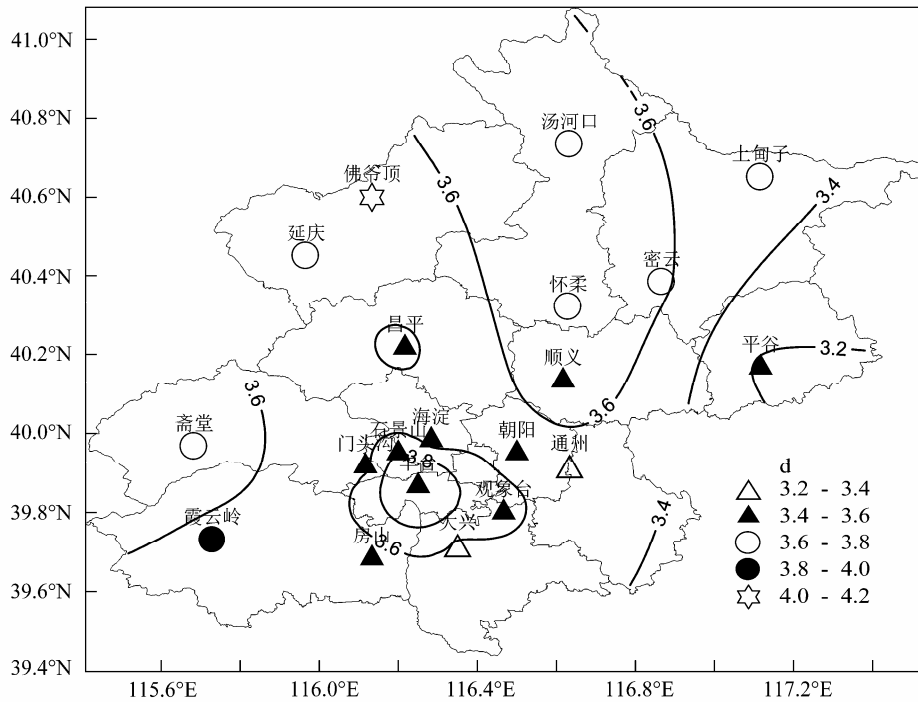


图3 北京地区 1981~2010 年极端降水日数年平均空间分布  
Fig. 3 Distribution of annual extreme precipitation days in Beijing during 1981-2010

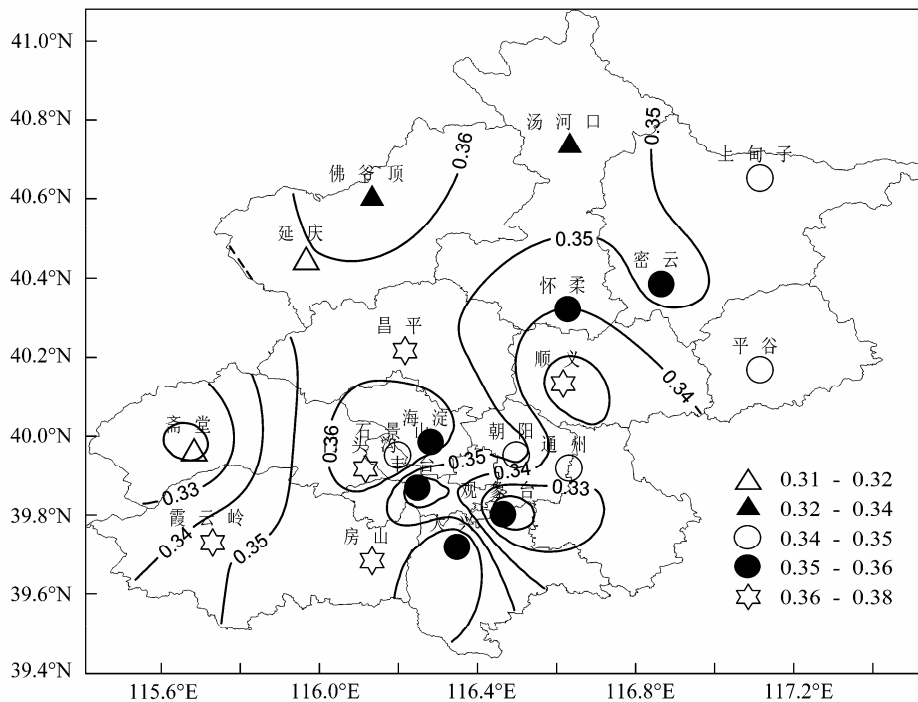


图4 北京地区 1981~2010 年极端降水量对总降水量的贡献  
Fig. 4 Contribution of the extreme precipitation amount to total precipitation in Beijing during 1981-2010

度越大造成灾害的可能性越大。图 5 所示，北京地区多年平均年极端降水强度分布与极端降水阈值分布相似，即在东北部和城区降水强度较大，可达  $56 \text{ mm d}^{-1}$ ，而在北京西部、北部山区降水强度较小，低于  $48 \text{ mm d}^{-1}$ 。其中在顺义、密云、怀柔、

平谷和霞云岭等地高于  $60 \text{ mm d}^{-1}$ ，而在延庆、汤河口、佛爷顶和斋堂等地低于  $41 \text{ mm d}^{-1}$ 。由于北京受地形和城市的影响，造成其降水强度分布不均匀。结合阈值分布，说明阈值大的地方，其降水强度也大，形成灾害的风险也大。

### 3.2 极端降水事件时间变化

近 30 年北京地区极端降水量变化趋势 (图 6) 表明, 大部分站点的极端降水量均呈现出下降趋势, 而以上甸子、怀柔、平谷和观象台下降最为明显, 大于  $40 \text{ mm} (10 \text{ a})^{-1}$ , 佛爷顶、延庆站则有小幅上升, 大约在  $10 \text{ mm} (10 \text{ a})^{-1}$ , 其它站点的极端

降水量变化在  $-40 \sim 0 \text{ mm} (10 \text{ a})^{-1}$  范围内。总体上看, 北京东北部、顺义、昌平和城区极端降水量下降较多。极端降水日数变化是造成极端降水量变化的主要因素之一, 极端降水日数变化分布 (图 7) 与极端降水量变化分布相似。可以推知, 北京地区极端降水量的减少原因之一是因为极端降水日数

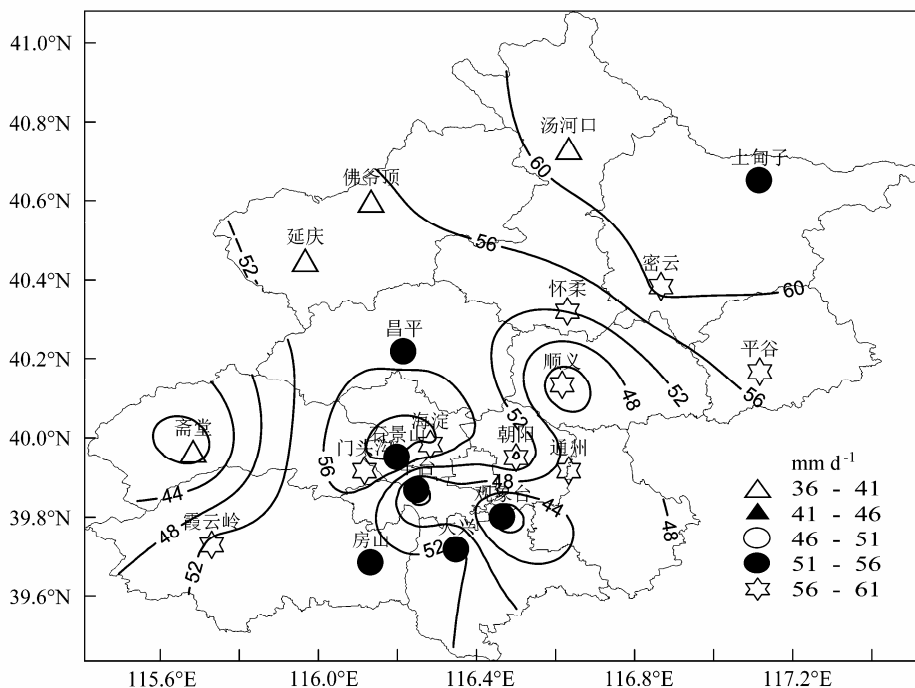


图 5 北京地区 1981~2010 年平均极端降水强度分布

Fig. 5 Distribution of the mean extreme precipitation intensities in Beijing during 1981-2010

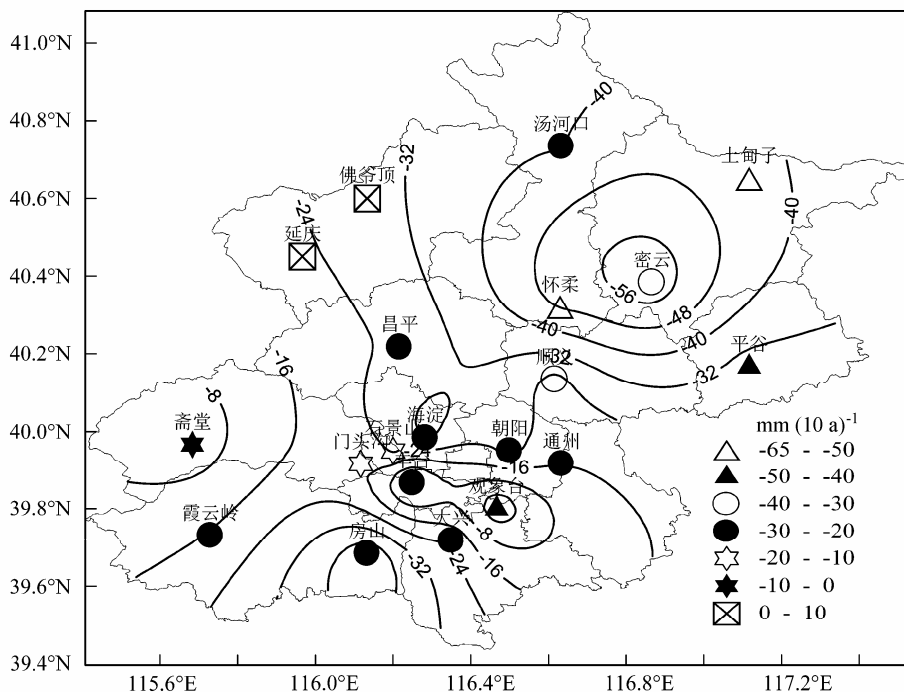


图 6 北京地区 1981~2010 年年平均极端降水量变化趋势

Fig. 6 The trend of annual extreme precipitation amount in Beijing during 1981-2010

减少所造成的。该结论与王冀等(2012)利用华北地区 84 个气象台站 1961~2009 年资料分析得到的华北地区极端降水量、降水次数和降水强度均呈下降趋势的结论一致。但这与 Tu et al. (2010) 研究得出的华北地区 1954~2006 年大暴雨频次并未减

少的结论有所不同,其主要原因是所研究的时段、降雨量级和区域的范围等不同所造成的。

图 8 所示的极端降水强度变化趋势与极端降水量和极端降水日数变化趋势的分布有明显不同,可以看出在北京西部、西北部、北部和东部多数地区

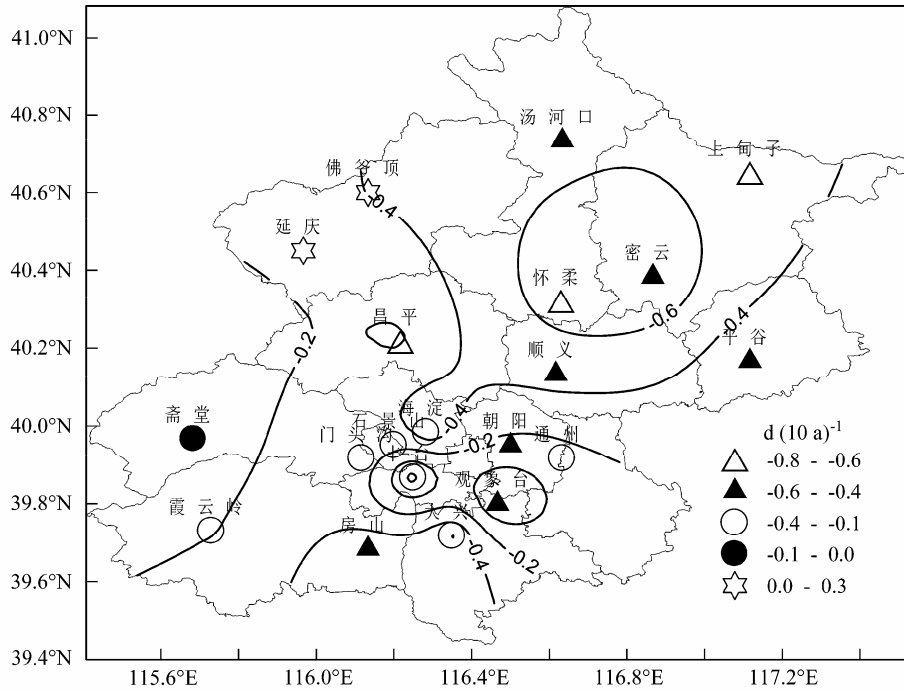


图 7 北京地区 1981~2010 年年平均极端降水日数变化趋势

Fig. 7 The trend of annual extreme precipitation days in Beijing during 1981-2010

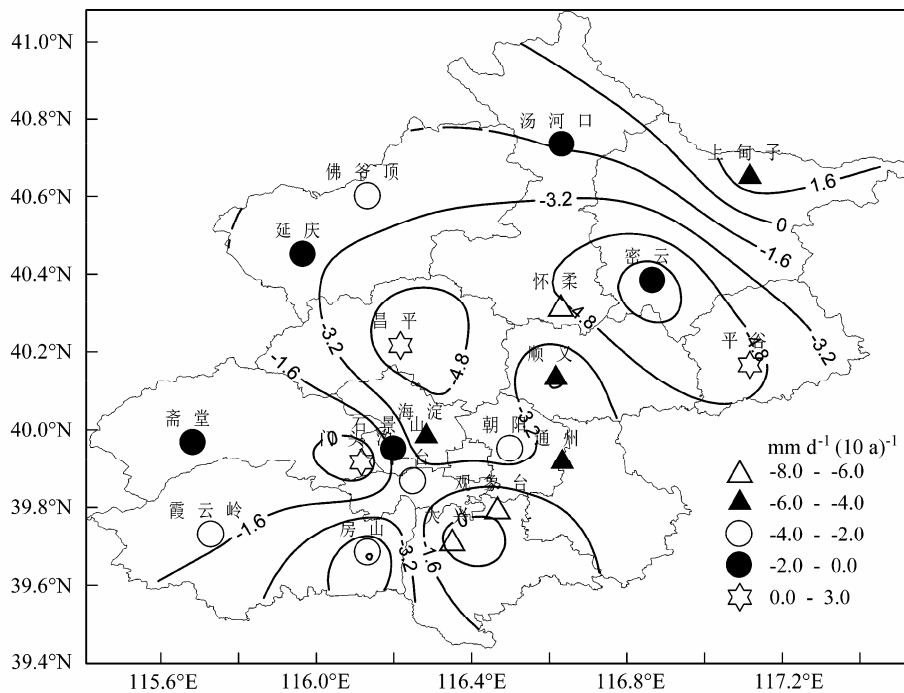


图 8 北京地区 1981~2010 年极端降水强度变化趋势空间分布

Fig. 8 The trend of mean extreme precipitation intensities in Beijing during 1981-2010

极端降水强度减小,其中顺义、海淀、观象台、大兴和上甸子等 5 个站每 10 a 降水强度减小趋势大于  $4 \text{ mm d}^{-1}$ ;而在北京平谷、昌平和门头沟等台站,极端降水强度有弱增强趋势。总体上看,在西南部平原地区,降水强度减小明显,而在西部北部山区,降水强度减小不明显。

## 4 结论与讨论

本文采用北京地区 20 个常规气象站 1981~2010 年逐日降水数据,分析了北京地区 1981~2010 年极端降水阈值、极端降水量、极端降水日数、极端降水强度及其变化趋势的分布,得到以下结论:

(1) 对于北京地区 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;对于降水量最强的 5%,其极端降水阈值除延庆站均在大雨雨量范围;而对于降水量最强的 1% 的极端降水阈值,除延庆、佛爷顶、汤河口和斋堂,其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) 北京地区极端降水气候平均分布表现为从西南到东北以及城区较强,而在西部和东南部逐渐减少。与降水的气候平均态以及大雨和暴雨分布较为类似,极端降水的多寡在很大程度上影响该地区降水量大小。最强的 5% 极端降水量对北京地区总降水量的贡献为 30%~38%,多年平均年极端降水强度分布与极端降水阈值分布非常一致,阈值大的地方,极端降水强度也大。

(3) 近 30 年北京大部分地区极端降水量均呈下降趋势,极端降水日数变化趋势分布与极端降水量变化趋势分布相同。极端降水强度变化趋势与极端降水量和极端降水日数变化趋势的分布有明显不同,在北京西部、西北部、北部和东部多数地区极端降水强度减小,而在北京平谷、昌平和门头沟极端降水强度有增强趋势。

北京地区极端降水总量的减少主要是由于降水强度和降水日数减少共同作用所造成的,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。北京地区极端降水变化在空间分布上的不均匀性极其复杂,可以通过进一步分析北京地区的天气气候背景、地形和城市热岛特征上得

到一些合理解释。本文的分析对城市规划建设、管理和理念方面的思考,以及为科学制定城市规划可提供一些借鉴作用。

## 参考文献 (References)

- Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation [J]. *J. Geophys. Res.*, 111 (3): D05109, doi: 10.1029/2005JD006290.
- Bonsal B R, Zhang X, Vincent L A, et al. 2001. Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada [J]. *J. Climate*, 14(9): 1959–1976.
- 陈静, 刘琳. 2011. 2011 年汛期北京城市暴雨特征及其灾害成因初步分析 [J]. *暴雨灾害*, 30 (3): 282–287. Chen Jing, Liu Lin. 2011. Characteristics of urban rainstorm and its disaster cause over Beijing in flood season of 2011 [J]. *Torrential Rain and Disasters (in Chinese)*, 30 (3): 282–287.
- 郭军, 任国玉, 李明财. 2010. 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*, 15 (4): 425–432. Guo Jun, Ren Guoyu, Li Mingcai. 2010. Characteristics of the probability distribution of the extreme precipitation events around the Bohai Bay [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 15 (4): 425–432.
- 任国玉, 封国林, 严中伟. 2010. 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*, 15 (4): 337–353. Ren Guoyu, Feng Guolin, Yan Zhongwei. 2010. Progresses in observation studies of climate extremes and changes in mainland China [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 15 (4): 337–353.
- Tu K, Yan Z W, Dong W J. 2010. Climatic jumps in precipitation and extremes in drying North China during 1954–2006 [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 88 (1): 29–42.
- 王萃萃, 翟盘茂. 2009. 中国大城市极端强降水事件变化的初步分析 [J]. *气候与环境研究*, 14 (5): 553–560. Wang Cuicui, Zai Panmao. 2009. Changes of precipitation extremes in Chinas large cities [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 14 (5): 553–560.
- 王冀, 蒋大凯, 张英娟. 2012. 华北地区极端气候事件的时空变化规律分析 [J]. *中国农业气象*, 33(2): 166–173. Wang Ji, Jiang Dakai, Zhang Yingjuan. 2012. Analysis on spatial and temporal variation of extreme climate events in North China [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology (in Chinese)*, 33 (2): 166–173.
- 王小玲, 翟盘茂. 2008. 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*, 24 (5): 459–466. Wang Xiaoling, Zai Panmao. 2008. Changes in China's precipitation in various categories during 1957–2004 [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 24 (5): 459–466.
- Wang Y Q, Zhou L. 2005. Observed trends in extreme precipitation events in China during 1961–2001 and the associated changes in large-scale circulation [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 32 (5): L09707.
- 徐宗学, 张玲, 阮本清. 2006. 北京地区降水量时空分布规律分析 [J]. *干旱区地理*, 29 (2): 186–192. Xu Zongxue, Zhang Ling, Ruan Benqing. 2006. Analysis on the spatiotemporal distribution of precipitation in the Beijing region [J]. *Arid Land Geography (in Chinese)*,



- 29 (2): 186-192.
- 尤莉, 戴新刚, 张宇. 2010. 1961~2008 年内蒙古降水极端事件分析 [J]. 气候变化研究进展, 6 (6): 411-416. You Li, Dai Xingang, Zhang Yu. 2010. Extreme precipitation events in Inner Mongolia in 1961-2008 [J]. Advances in Climate Change Research (in Chinese), 6 (6): 411-416.
- 翟盘茂, 王萃萃, 李威. 2007. 极端降水事件变化的观测研究 [J]. 气候变化研究进展, 3 (3): 144-148. Zai Panmao, Wang Cuicui, Li Wei. 2007. A review on study of change in precipitation extremes [J]. Advances in Climate Change Research (in Chinese), 3 (3): 144-148.
- Zhai P M, Zhang X B, Wan H, et al. 2005. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China [J]. J. Climate, 18 (7): 1096-1108.
- 张爱英, 高霞, 任国玉. 2008. 华北中部近 45 a 极端降水事件变化特征 [J]. 干旱气象, 26 (4): 46-50. Zhang Aiying, Gao Xia, Ren Guoyu. 2008. Characteristic of extreme precipitation events change in central North China in recent 45 years [J]. Arid Meteorology (in Chinese), 26 (4): 46-50.