

郑祚芳,王在文,高华. 2013. 北京地区夏季极端降水变化特征及城市化的影响. 气象, 39(12):1635-1641.

北京地区夏季极端降水变化特征及城市化的影响^{* 1}

郑祚芳 王在文 高 华

中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089

提 要: 应用北京地区 20 站 1971—2010 年降水记录及城市发展数据, 采用百分位方法定义极端降水事件的阈值, 分析了北京地区夏季极端降水事件的时空变化特征及城市化的影响。结果表明: (1) 北京夏季极端降水阈值及频数存在较强局地性特征, 基本沿地形高度分布, 极端降水频数多发区与高阈值区不完全对应; (2) 近 40 年极端降水频率及强度均呈现下降趋势, 年际及年代际差异显著; (3) 城市化发展不同阶段极端降水强度及频数均有不同的分布形态, 城市化对城市不同区域极端降水影响不一样, 城市化导致城市下风向近郊区极端降水强度、次数均表现为增多趋势; (4) 城市对极端降水的影响还与天气过程强度有关, 强天气背景下城市对极端降水频数的影响程度高于对降水强度的影响。

关键词: 极端降水, 频率, 强度, 城市化, 北京

中图分类号: P461

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.12.012

Characteristics of Extreme Precipitation Events in Summer and Its Effect on Urbanization in Beijing Area

ZHENG Zuofang WANG Zaiwen GAO Hua

Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089

Abstract: Based on the summer precipitation data of 20 stations in Beijing and its urban development statistical data during 1971—2010, and defining the 95th percentile as the threshold of extreme precipitation for each station, the characteristics of the spatio-temporal distribution and the linear trend of extreme precipitation events with different durations and city effect of local precipitation are analyzed. The results indicate that the extreme precipitation event frequency shows a gradual decreasing trend from west to east, which is remarkably different from the precipitation distribution. There exist distinctive spatial differences in the distributive features and changes of the threshold values, frequencies, and rainfall of extreme precipitation events. The averaged intensity and frequency of extreme precipitation in Beijing Area show a descending trend in the past 40 years and have significant difference at interannual and interdecadal changes. The impact of urbanization on the intensity and frequency of extreme precipitation has become more and more apparent. Urbanization can not only enhance rain island effect but also make an influence on precipitation in downwind areas; moreover, urbanization can also increase the intensity and frequency of local extreme precipitation.

Key words: extreme precipitation, frequency, intensity, urbanization, Beijing

* 城市气象研究基金(UMRF201108)和国家自然科学基金项目(41105024)共同资助

2012 年 11 月 8 日收稿; 2013 年 8 月 7 日收修定稿

第一作者: 郑祚芳, 主要从事精细天气预报及区域气候变化相关研究. Email: zfzheng@ium.cn

引言

近十多年来,随着城市化迅猛发展及全球气候的持续变暖,各种极端天气事件频繁出现,有关城市化对区域气候的影响开始引起人们越来越多的关注(翟盘茂,2011)。极端降水事件是高风险小概率事件,探讨其变化规律对于科学理解洪旱灾害时空变化、减少灾害损失具有重要意义。

以往关于城市化对区域气候的影响主要针对城市热岛效应展开,结果表明城市化对气温多为增温作用(王郁等,2006;施洪波,2011)。关于城市对局地降水的影响,一般认为有使降水增加的效应,特别是城市下风区,被称为城市“雨岛效应”(Palumbo, et al, 1980;俞烜等,2008;梁萍等,2011;白莹莹等,2013)。研究表明(杨素英等,2008;李聪等,2012),我国极端降水的主要特点是区域性和局地性明显。此外,极端降水事件对全球气候变化的响应十分敏感,即使在总降水量减少的地区,也存在着强降水量及其频次的增加现象。Zhai 等(2005)发现极端降水在华北和四川盆地有减少的趋势,而在西部地区、长江流域和东南沿海则有上升趋势。

北京是我国城市化发展最快的地区之一。以往关于北京城市化对降水影响研究多集中于年、季节降水量的分析,结果表明城市效应对不同季节、城市不同区域降水量相对变化趋势影响明显不同(刘熙明等,2006;于淑秋等,2007)。但不同研究结果还存在较大差异,如孙继松等(2007)应用北京地区 20 站 30 年(1975—2004 年)资料分析发现,城市效应对冬季和夏季降水量相对变化趋势影响明显不同。而王喜全等(2007;2008)应用北京地区 14 站 1960—2000 年资料分析则认为,北京城市化主要影响冬季降水分布格局,而其他季节则影响不明显。此外郑思轶等(2008)用 13 站 1960—2000 年资料分析表明,过去 40 年北京城区年降水量下降幅度比郊区明显,但夏季城区降水量下降趋势远较郊区缓慢。最近李书严等(2011)应用北京 20 个站 1978—2009 年资料分析发现,城市化使得城区降水日数明显减少,但会增加城区及下风方局地降雨量。这些差异的存在可能与所用资料密度、长度及是否考虑盛行风、地形环境的不同有关,显示出城市化对降水影响的复杂性。关于北京极端强降水研究目前则多侧重于天气个例机理分析及新型探测数据应用方面(吴庆梅等,2012;王令等,2012;魏东等,2011),对极端降水

事件的气候变化趋势及城市化的影响还少有分析。本文将应用北京地区 20 个气象站 1971—2010 年逐日观测记录,结合城市化发展不同阶段,分析北京地区夏季极端降水事件的时空变化特征,探讨城市化对北京局地极端降水事件的影响。

1 资料和方法

本文所用的资料包括:(1) 1971—2010 年北京地区 20 个常规站逐日降水序列,来源于北京市气象信息中心。其中有 5 个站(海淀、石景山、佛爷顶、汤河口、斋堂)是从 20 世纪 70 年代中期才开始建站。为尽可能提高资料利用率,应用客观分析方法对其进行了平面内插,得到 20 站 1971—2010 年完整序列;(2)北京市 1971—2010 年总人口、城镇人口比例等城市发展数据,取自北京统计年鉴。

所谓极端事件,是指某要素正负异常超出了一定的阈值,发生于一定区域和时段上的气候极值。由于降水极值具有很强的地区差异,因此根据当地的情况确定极端事件的标准对本地更有实际意义。本文采用百分位的方法来定义每个台站的极端降水事件的阈值。方法如下:对每个台站,将 1971—2010 年夏季(6—8 月)日降水所有样本按升序排列,取日降水量大于等于 0.1 mm 的子样本的第 95 个百分位的日降水量,定义为气候平均极端降水阈值,作为确定极端降水事件的气候标准。当某站某日降水量超过阈值,就认为该日出现了极端降水事件。并将每个台站出现的极端降水量除以极端降水日数,作为极端降水平均强度。

采用于淑秋(2007)提到的平均值方法来分离降水记录里大尺度气候背景和局地变化,即用北京 20 个站 40 年(1971—2010 年)极端降水资料(记为 R_{ij}),对 20 个站作平均,得到北京地区年极端降水序列(记为 R_j),代表北京地区大尺度极端降水变化,它的多年平均记为 R_m ,则局地极端降水距平百分比可定义为 $DR_{ij} = (R_{ij} - R_j) / R_m$ 其中 $i = 1, 2, \dots, 20, j = 1, 2, \dots, 40$ 。此外,文中应用线性趋势分析、Mann-Kendall 统计方法用来检验序列的变化趋势及突变特征。

2 北京极端降水事件的空间分布

2.1 阈值与极端雨日空间分布

统计表明,1971—2010 年北京地区 20 站降水

量多年平均为 547.5 mm, 高于华北区域 (37°~45°N、105°~122°E) 22 个国家基本站同期降水量平均值 (402.9 mm)。近 40 年北京地区年降水量线性倾向率为 $-9.12 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 华北区域为 $-12.57 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。但北京年降水量距平多数年份明显大于华北区域, 这表明北京是华北地区容易出现降水异常偏多(少)的区域之一。

图 1 给出的是根据百分位方法确定的北京地区夏季气候平均极端降水阈值和极端降水日数的空间分布。从降水阈值分布(图 1a)可以看出, 各站点由于所处下垫面环境不同, 极端降水阈值差异明显, 最低的阈值出现在延庆站为 50.7 mm, 最高的阈值出现在怀柔站为 85.1 mm, 显现出降水的地域差异。各站极端降水阈值分布与地形高度关系密切, 位于

西部高海拔山区的站点极端降水阈值明显低于平原地区。两个主要的高阈值区一个位于城区东北部的怀柔、密云站及其周边多雨区, 另一个位于城区西南近郊的门头沟站附近, 极端降水阈值均超过 80 mm。阈值高值区主要分布在城市夏季盛行风下风向及陡峭地形一侧, 这种空间分布与年降水总量的分布很类似, 这显然是合理的。也说明了极端降水与总降水的关系密切。极端降水日数亦基本维持沿地形分布特征(图 1b), 但西部山区与平原地带极端降水日数差异不如降水阈值那么明显, 强降雨多发区与阈值高值区也不完全对应, 主要的极端降水多发区位于城区东南部平原地带的大兴站附近, 40 年中共出现 27 次。结合阈值分布, 说明这个地区雨日比较多而降水强度并非特别突出, 因而极端雨日较多。

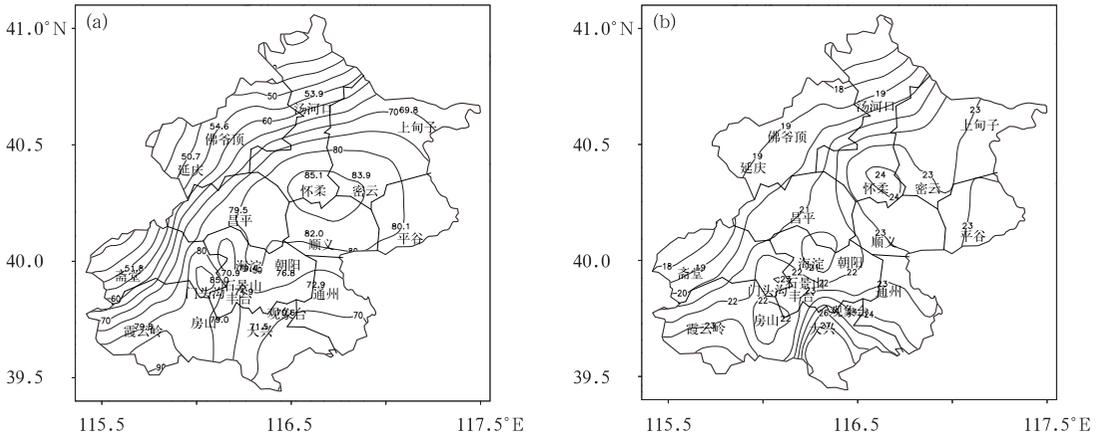


图 1 北京地区夏季极端降水阈值(a, 单位:mm)和极端雨日数(b, 单位:d)的空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of the extreme precipitation threshold (a, unit: mm) and the mean extreme precipitation days (b, unit: d) in Beijing Area in summer

2.2 极端降水的大尺度特征

将北京地区 20 个站 40 年(1971—2010 年)夏季极端降水资料(记为 R_{ij}), 对 20 个站作平均, 得到北京地区夏季平均极端降水序列(记为 R_j), 可代表区域大尺度气候背景。从图 2 可见, 近 40 年来北京地区夏季极端降水事件频率及平均强度均呈现下降趋势, 其中极端降水强度平均每 10 年减少 2.13 mm, 出现频数平均每 10 年减少 1.71 次, 且均表现出明显的年际差异。这种趋势与近 40 年来北京地区降水量总体呈下降趋势是一致的(于淑秋, 2007; 郑思轶等, 2008; 李书严等, 2011), 表明北京地区夏季极端降水的大尺度变化趋势受区域气候背景影响明显。对北京地区夏季极端降水事件频率及强度的 Mann-Kendall 检验发现, 其减弱趋势均不曾达到

0.01 的显著性水平标准, 在年际变化尺度上不存在突变现象。

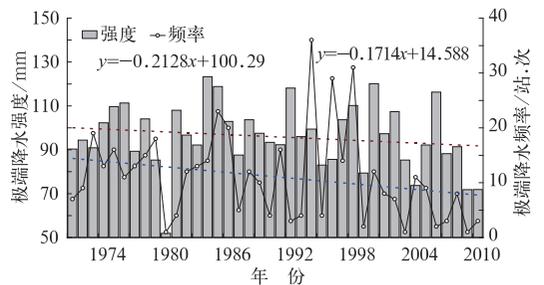


图 2 1971—2010 年北京地区夏季极端降水事件频率及平均强度演变趋势

Fig. 2 The frequency and mean intensity of extreme precipitation events in Beijing Area in summer during 1971 to 2010

表 1 给出的是北京地区几个代表站(包含城区站、近郊站及远郊区站点)不同年代夏季极端降水平均强度及出现天数。亦呈现出显著的年代际差异及站点间差异,表现出极端降水事件的局地性特征。

表 1 北京地区主要代表站夏季极端降水的年代际变化

Table 1 The interdecadal change of extreme precipitation events in Beijing Area in summer

站名	1971—1980 年平均 强度(天数)/mm(d)	1981—1990 年平均 强度(天数)/mm(d)	1991—2000 年平均 强度(天数)/mm(d)	2001—2010 年平均 强度(天数)/mm(d)
观象台	80.7(10)	122.6(7)	90.8(4)	77.2(2)
朝阳站	93.5(5)	101.3(5)	102.0(11)	114.9(1)
密云	107.8(4)	108.7(6)	112.6(10)	100.8(3)
怀柔	96.0(9)	115.7(6)	116.2(7)	113.7(2)
门头沟	113.2(8)	125.9(4)	120.3(7)	121.5(4)
房山	78.8(9)	102.9(8)	103.3(4)	101.0(1)
延庆	60.3(7)	61.3(4)	66.3(6)	62.0(2)
斋堂	56.1(4)	68.7(5)	78.3(6)	60.0(4)
大兴	100.4(11)	102.9(7)	102.9(6)	72.5(3)

3 城市化对北京夏季极端降水的影响

3.1 北京地区城市化发展简析

研究表明,经济发展和城市人口增加是中国城市土地扩张主要驱动因子,城市化最为直接的测度是人口城市化率,即非农人口占总人口比例。从图 3a 来看,北京市总人口自 1971 年以来平均每年净增人口 24.3 万人,至 2010 年底达 1961.2 万人。相应的城市人口所占比例也从 1971 年的 52.5% 上升到 2010 年底的 86.0%,平均每年增加 0.83%,城市化速度是非常快的。在讨论城市化效应时如何划

分城市化不同阶段对研究结论有很大的影响,以往的研究在划分城市化不同阶段时大多是由人为估计来确定(王喜全等,2007;2008),这导致不同研究结论存在很大差异。本文将北京城市发展的相关指标(如非农人口占总人口比例、年度房屋竣工总面积、道路面积、能源消耗量等数据)分别与城郊温差(北京观象台站与上甸子大气本底站温度差)进行了对比分析,发现北京城郊温差与上述各种城市化指标之间均存在显著的正相关,其中与城市人口比例的相关系数最高($R=0.75$)。此外,对城市化指标进行 Mann-Kendall 检验发现,取 0.01 显著性水平标准,其检验得到的突变点均出现在 1990 年附近(图 3b),表明自 1990 年前后开始北京城市化进程

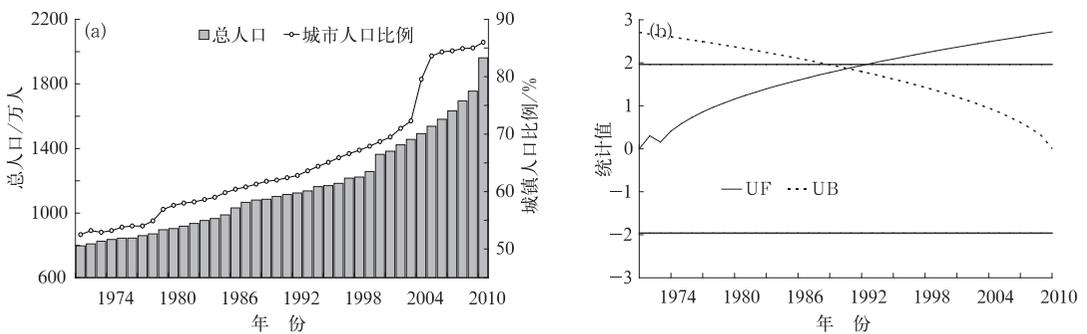


图 3 北京城市发展资料

(a) 总人口及城镇人口比例, (b) 人口城市化率 Mann-Kendall 检验统计量

Fig. 3 The process of urbanization in Beijing

(a) ratio between total population and urban population, (b) Mann-Kendall test statistics of population urbanization rate

有明显加快趋势。基于此,本文将北京城市化进程划分为 1990 年以前的城市化缓慢期及 1990 年以后的快速城市化时期,以讨论北京城市化发展不同阶段对区域极端降水的影响。

3.2 极端降水强度的局地变化

讨论北京地区夏季极端降水事件的局地变化(即 DR_{ij})特征。首先对 DR_{ij} 在 j 方向作平均,得到 20 站局地极端降水的多年平均值。图 4 给出的是北京城市化发展不同阶段夏季极端降水强度距平百分比,从其分布形态看,地形是决定各站点极端降水强度差异的主要因素。在 1971—1990 年期间的城

市化缓慢期(图 4a),极端降水强度正距平区为东北—西南向的带状分布,主要高值区位于城西北近郊的昌平、西南部的房山及霞云岭站附近。这与年雨量的局地分布有所不同,年雨量的高距平区主要位于东北部的怀柔—密云区域附近。在这张图上,西部、北部高海拔山区及中心城区、东南部平原地带以负距平为主。在城市化快速发展期(图 4b),城区北部的正距平有较明显的增强,中心城区极端降水强度则表现为减弱趋势,可见城市发展对局地极端降水强度的影响在城市的不同区域影响是不一样的。

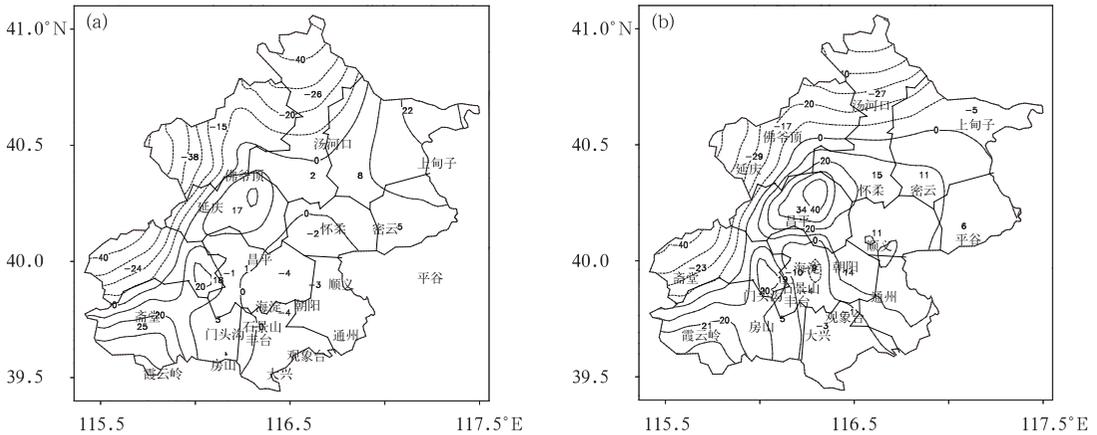


图 4 北京地区夏季极端降水强度的距平百分比(单位: %)

(a) 1971—1990 年平均, (b) 1991—2010 年平均

Fig. 4 The averaged local intensity of extreme precipitation in Beijing Area in summer over 1971—1990 (a) and 1991—2010 (b) (unit: %)

图 5 给出的是夏季极端降水频数的局地变化。其分布形态与降水强度有很大的差异,地形不再是决定各站点差异的主要因素。在城市化缓慢期(图 5a),极端降水频数正距平高值区主要位于西部山前靠近城区位置,城区及东南部平原地带也以正距平为主,其他地方则主要为负距平区。在城市化快速发展期(图 5b),主要正距平区有明显的东移北推。城市中心线以南以负距平为主,中心线以北城近郊区则以正距平为主。这亦可能与城市发展对降水的增幅作用有关。以上事实表明,北京城市化发展不同阶段极端降水强度及频数均有不同的分布形态,城市发展对城市不同区域极端降水的影响是不一样的。城市发展对局地极端降水的影响主要表现在使城市下风向近郊区极端降水强度、次数均表现为增多趋势。

由于影响降水分布的因素较多,其过程也比较复杂,有学者研究过不同强度天气条件下城市对降水影响的不同作用。于淑秋(2007)分析发现,在涝年时北京市区雨岛增强,早年时雨岛消失。为进一步探讨北京地区城市化对极端降水的影响,选取近 40 年来 5 个最涝年(1977、1990、1994、1996 和 1998 年),对局地极端降水强度、频数进行了合成分析。

涝年则表示该年冷暖空气交换频繁,天气过程较强。由其极端降水强度距平百分比合成图(图 6a)可见,类似于图 4b,但主要正距平区强度增加。城区及以北平原地带表现为正距平区,这表明在天气过程较强时,中心城区的极端降水强度亦有增加的趋势。图 6b 给出的是涝年极端降水频数距平百分比的合成图,非常类似于图 5b,但强度要大很多。在这张图上,正距平高值区主要位于城市中

心线以北城近郊区及东北部平原地带,城区南部及西北部山区则以负距平为主。对比图 6a 与 6b 还可

发现,强天气背景下城市发展对极端降水频数的影响程度高于对降水强度的影响。

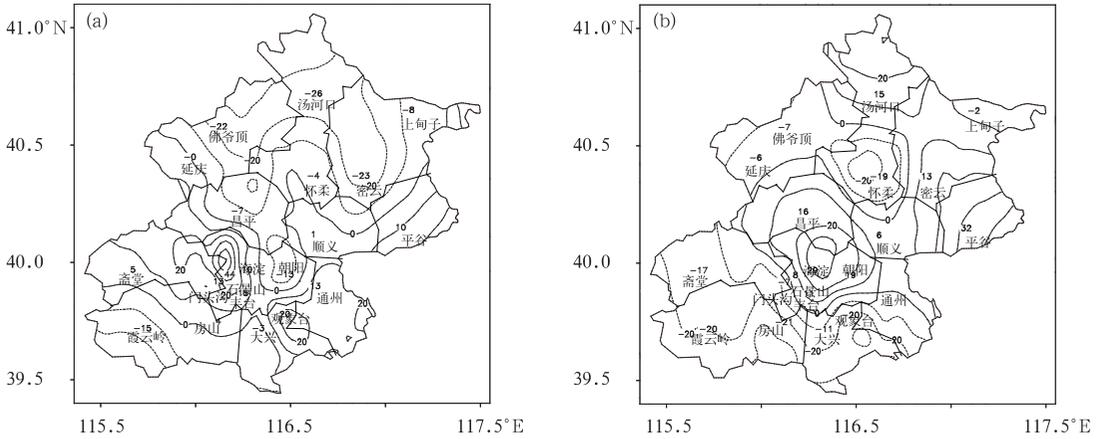


图 5 北京地区夏季极端降水次数的距平百分比(单位: %)

(a) 1971—1990 年平均, (b) 1991—2010 年平均

Fig. 5 The local frequency of extreme precipitation in Beijing Area in summer over 1971—1990 (a) and 1991—2010 (b) (unit: %)

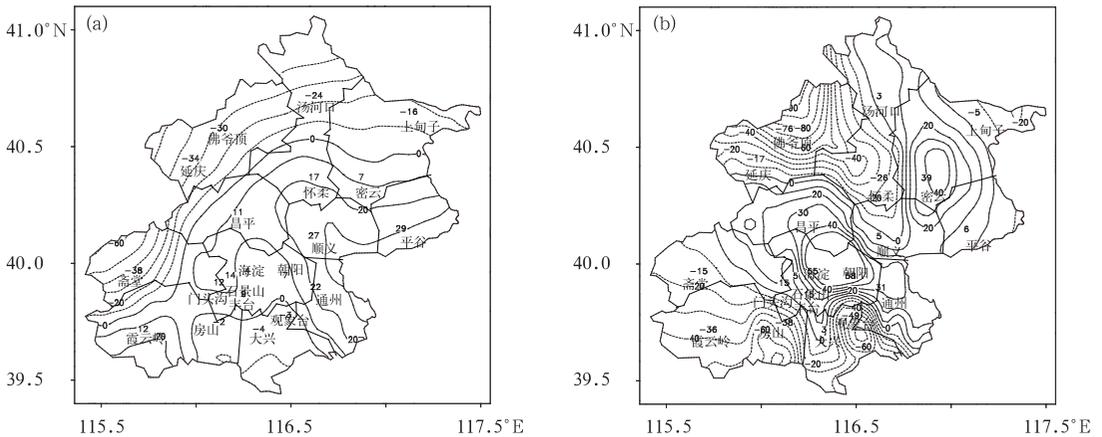


图 6 北京地区涝年夏季极端降水强度(a)及频率(b)的距平百分比分布(单位: %)

Fig. 6 The averaged intensity (a) and frequency (b) of extreme precipitation in Beijing Area in summer of flooding years (unit: %)

4 结 论

应用北京地区 20 个气象站近 40 年(1971—2010 年)降水记录分析了北京地区夏季极端降水事件的时空变化特征及城市化的影响,结论如下:

(1) 北京各地夏季极端降水阈值及频数均存在较强局地性特征,且基本沿地形高度分布。两个主要的高阈值区分别位于东北部的怀柔、密云站多雨区及西南近郊的门头沟站附近。极端降水频数多发

区与高阈值区不完全对应,极端降水多发区位于东南部大兴站附近。

(2) 近 40 年极端降水事件频率及平均强度均呈现下降趋势,与年降水量总体变化趋势一致,表明北京地区极端降水的大尺度变化趋势受区域气候背景影响明显。极端降水年际及年代际差异显著,但不存在突变现象。

(3) 城市化发展不同阶段夏季极端降水强度及频数均有不同的分布形态,表明城市化对城市不同区域极端降水的影响是不一样的。城市化使得夏季

城市下风向近郊区极端降水强度、次数均表现为增多趋势。

(4) 城市对夏季极端降水的影响还与天气过程强度有关,强天气背景下城市发展对极端降水频数的影响程度高于对降水强度的影响。

参考文献

- 白莹莹,张焱,何泽能,等. 2013. 城市化进程对重庆都市圈降水空间分布的影响. *气象*, 39(5): 592-599.
- 李聪,肖子牛,张晓玲. 2012. 近60年中国不同区域降水的气候变化特征. *气象*, 38(4): 419-424.
- 李书严,马京津. 2011. 城市化进程对北京地区降水的影响分析. *气象科学*, 31(4): 414-421.
- 梁萍,丁一汇,何金海,等. 2011. 上海地区城市化速度与降水空间分布变化的关系研究. *热带气象学报*, 27(4): 475-483.
- 刘熙明,胡非,李磊,等. 2006. 北京地区夏季城市气候趋势和环境效应的分析研究. *地球物理学报*, 49(3): 689-697.
- 施洪波. 2011. 1960—2008年京津冀地区夏季高温日数的变化趋势分析. *气象*, 37(10): 1277-1282.
- 孙继松,舒文军. 2007. 北京城市热岛效应对冬夏季降水的影响研究. *大气科学*, 31(2): 311-320.
- 王令,王国荣,孙秀忠,等. 2012. 应用多种探测资料对比分析两次突发性局地强降水. *气象*, 38(3): 281-290.
- 王喜全,王自发,齐彦斌,等. 2007. 城市化与北京地区降水分布变化初探. *气候与环境研究*, 12(4): 489-495.
- 王喜全,王自发,齐彦斌,等. 2008. 城市化进程对北京地区冬季降水分布的影响. *中国科学(D辑):地球科学*, 38(11): 1438-1443.
- 王郁,胡非. 2006. 近10年来北京夏季城市热岛的变化及环境效应的分析研究. *地球物理学报*, 49(1): 61-68.
- 魏东,孙继松,雷蕾,等. 2011. 三种探空资料在各类强对流天气中的应用对比分析. *气象*, 37(4): 30-40.
- 吴庆梅,杨波,王国荣,等. 2012. 北京地形和热岛效应对一次 β 中尺度暴雨的作用. *气象*, 38(2): 174-181.
- 杨素英,孙风华,马建中. 2008. 增暖背景下中国东北地区极端降水事件的演变特征. *地理科学*, 28(2): 224-228.
- 俞烜,杨贵羽,周祖昊,等. 2008. 天津夏季降水演变规律及其城市效应. *地理科学进展*, 27(5): 43-48.
- 于淑秋. 2007. 北京地区降水年际变化及其城市效应的研究. *自然科学进展*, 17(5): 632-638.
- 翟盘茂. 2011. 全球变暖背景下的气候服务. *气象*, 37(3): 257-262.
- 郑思铁,刘树华. 2008. 北京城市化发展对温度、相对湿度和降水的影响. *气候与环境研究*, 13(2): 123-133.
- Palumbo A, Mazzarella A. 1980. Rainfall statistical properties in naples. *Mon Wea Rev*, 108(11): 1011-1015.
- Zhai P M, Zhang X B, Wan H, et al. 2005. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *J Climate*, 18: 1096-1108.