

孙激. 2010. 北京地区暴雨气候特征及其变化分析 [J]. 气候与环境研究, 15 (5): 672-676. Sun Wei. 2010. Analysis of the climatic characteristics and the variations of the rainstorm in Beijing area [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (5): 672-676.

北京地区暴雨气候特征及其变化分析

孙激

南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044

摘 要 利用 1961~2007 年北京地区降水资料, 采用气候倾向率、多项式曲线拟合和 Morlet 小波分析方法, 对北京地区暴雨的气候特征及变化趋势进行了分析, 结果表明: 1) 北京地区暴雨有明显的月变化特征, 8 月上旬 (北京奥运会开幕式前后) 是北京地区暴雨出现最为集中的时期。2) 1961~2007 年北京地区暴雨日数总体表现为波动式的缓慢下降, 沙河暴雨日数的下降趋势最不明显, 西郊居中, 南苑暴雨日数的下降趋势最明显。3) 暴雨日数的增减变化具有阶段性特征, 1990 年前南苑暴雨日数的变化与沙河、西郊有着完全相反的变化趋势。4) 北京地区暴雨日数变化具有多重周期性, 南苑、西郊和沙河暴雨周期日数不同。

关键词 北京 暴雨 多项式曲线拟合 Morlet 小波分析

文章编号 1006-9585 (2010) 05-0672-05 **中图分类号** P466 **文献标识码** A

Analysis of the Climatic Characteristics and the Variations of the Rainstorm in Beijing Area

SUN Wei

College of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract Using the precipitation data in Beijing during 1961-2007, statisites rate of the climatic tendency, polynomial curve fitting, and Morlet wavelet method, the climatic characteristics and the trends of the climatic change of rainstroms in Beijing were analysed. The results show that: 1) Rainstorm has obvious monthly variation characteristics, the first 10 days of August (before and after the Beijing Olympic Games opening ceremony) are the most evident stage of the rainstorm days in Beijing. 2) The general trend of the annual rainstorm days has slowly decreased with fluctuation in Beijing during 1961-2007, the descending rate of the annual rainstorm days at Shahe station is the slightest, that at the Xijiao station is second, and that at Nanyuan station is the most marked among the three stations. 3) The variations of the incremental and reduced rainstorm days have periodic characteristics, and there are absolutely opposite variation trends at Nanyuan station before 1990, in comparison with Shahe station and Xijiao station. 4) The variations of the annual rainstorm days have multiple periodicity in Beijing. Different periodic oscillations of the annual rainstorm days exist at Nanyuan station, Shahe station, and Xijiao station.

Key words Beijing, rainstorm, polynomial curve fitting, Morlet wavelet analysis

收稿日期 2010-03-17 收到, 2010-07-25 收到修定稿

资助项目 国家高科技项目 2006AA06A307

作者简介 孙激, 男, 1989 年出生, 本科, 从事气候与天气预报研究。E-mail: sunweiniust@hotmail.com

1 引言

研究表明(郭虎等, 2008), 北京奥运会期间高温灾害和暴雨灾害是 7 种主要气象灾害中风险承受能力与风险控制能力最弱的气象灾害。另外, 降水还是污染物湿沉降的重要因素。因此, 深入研究北京暴雨天气气候特征及其演变规律, 对提高北京奥运会期间气象灾害防范能力以及保障空气质量具有借鉴意义。

对于北京地区暴雨的研究工作, 杨培才和张琦娟(1978)、李津和王华(2006)、孙继松等(2006)、刘还珠等(2007)从暴雨的典型个例分析入手, 着重分析了暴雨发生时的大、中尺度环流形势、城市边界层作用和雷达回波特征, 这些工作为认识北京地区暴雨产生时的环境特征奠定了基础。然而针对近年来北京地区暴雨气候特征及其变化趋势的分析研究还不多见。本文利用 1961~2007 年近 47 年北京地区降水资料, 分析北京地区暴雨时空特征及其变化趋势, 为北京奥运会气象防灾工作和保障空气质量提供参考依据。

2 资料与方法

在研究北京城市气候问题时, 对于测站的选取, 李兴荣等(2007)将海淀作为 3 个城区站之一。张立杰等(2009)指出北京夏季盛行偏南风, 大兴、海淀和昌平 3 站分布符合从南到北且横跨城区的条件, 大兴位于城区上风向, 海淀位于城区, 昌平则位于城区的下风向, 这 3 站的气象要素时间序列很可能包含了城市化的信息, 并使用上述 3 站资料来探讨城市化对北京地区夏季降水的影响。郭虎等(2008)认为, 大兴、昌平属于北京地区气象灾害易损度中值区, 海淀属于北京地区气象灾害易损度高值区。因此本文使用南苑(位于大兴)、沙河(位于昌平)、西郊(位于海淀) 1961~2007 年降水资料(图 1), 分析北京地区暴雨特征及其变化情况。

在资料统计时做如下规定, 即 12 h 降水量 ≥ 30.0 mm 或 24 h 降水量 ≥ 50.0 mm 为暴雨日, 24 h 降水量 ≥ 100.0 mm 为大暴雨日。3 站暴雨日数独立统计。

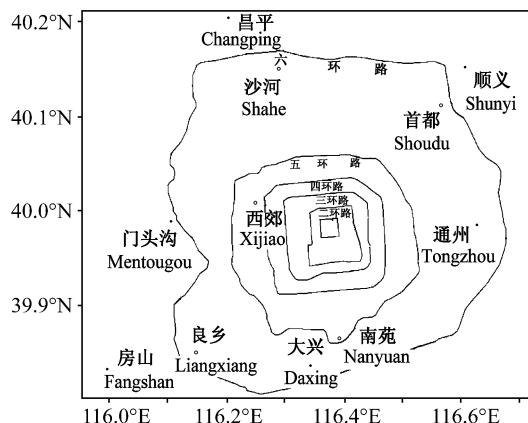


图 1 北京区域部分站点分布

Fig. 1 The distribution of some weather stations in Beijing

尽管降水、暴雨的时间序列变化趋势是非线性的, 但为了问题讨论的直观性, 本文首先采用线性拟合得出的气候倾向率来讨论暴雨的平均变化趋势(廖雪萍等, 2007; 杨金虎等, 2008; 张立杰等, 2009)。因此, 计算暴雨日数年变化曲线并在此基础上建立暴雨日数一元线性回归方程

$$y = bt + c, \quad (1)$$

其中, y 为单站暴雨日数; t 为时间; 系数 b 为线性趋势项, 其正负反映单站暴雨日数逐年上升或下降的趋势, $10b$ 为单站暴雨日数的气候倾向率, 反映暴雨日数每 10 年的变化情况; c 为截距。此外, 还采用多项式曲线拟合方法分析了暴雨变化趋势的具体情况和阶段性特征。

对于给定的 n 对观测数据 (x_i, y_i) ($i = 1, 2, \dots, n$), 用 $m-1$ 次多项式

$$p(x) = b_1 + b_2x + \dots + b_mx^{m-1} (m \leq n), \quad (2)$$

进行曲线拟合。 p 是任意函数。按照最小二乘法原理, 拟合曲线的要求应满足:

$$\sum_{i=1}^n [p(x) - y_i]^2 = \min. \quad (3)$$

当 $n=1$ 时, 拟合为线性拟合。对于北京地区暴雨天气而言, $n=2 \sim 5$ 时, 它们的拟合曲线接近重合, 表现为波动振幅很弱的单峰(谷)形态, 无法反映出暴雨天气气候变化的波动性和阶段性特征; 当 $n=6$ 时, 拟合曲线可以反映出这两种状态。因此, 选用 6 次多项式曲线来分析暴雨天气气候变化的具体情况。

Morlet 小波分析具有多分辨率分析的特点, 它优于传统的 Fourier 分析, 近年来广泛应用于多

尺度气候分析研究(廖雪萍等, 2007; 杨金虎等, 2008), 并取得了较好的效果。Morlet 小波(实部)变化系数的大小代表某一尺度波动振幅的大小, 反映它所对应时段时间尺度的周期性是否显著, 小波系数正负分别表示该时段要素为偏多期和偏少期, 小波系数零值线, 对应要素气候突变(转折)期(廖雪萍等, 2007)。

3 暴雨气候及其变化特征

3.1 暴雨的月变化特征

北京地区暴雨存在明显的月变化特征。除沙河暴雨结束较早外, 3 站暴雨的月分布特征基本相同。暴雨可出现在 4~10 月, 6 月是暴雨的突增期, 9 月是陡减期, 暴雨主要集中在 7~8 月, 7 月达到最大值(表 1)。若按旬统计, 8 月上旬(即奥运会开幕式前后)是北京地区暴雨出现最为集中的时段, 这短短 10 天之内所发生的暴雨次数占年暴雨总数的 24.1% (表略)。各站各月平均暴雨日数也不相同, 6 月和 8 月西郊最多, 7 月南苑最多。

表 1 1961~2007 年北京 3 站月平均暴雨日数
Table 1 Monthly mean rainstorm days at the three stations in Beijing during 1961 - 2007

	暴雨日数/d		
	沙河	西郊	南苑
4 月	0.05	0.02	0.04
5 月	0.05	0.09	0.11
6 月	0.36	0.51	0.34
7 月	1.55	1.62	1.66
8 月	1.18	1.28	1.19
9 月	0.27	0.28	0.17
10 月	0	0.04	0.02

3.2 暴雨的年变化特征

从近 47 年年平均统计来看, 沙河、西郊、南苑年平均暴雨日数分别为 3.45 d、3.83 d 和 3.53 d, 城区略多于郊区。由图 2 可见, 3 站暴雨日数的年际变化都很大, 暴雨日数最多年与最少年相差 8~9 d。从 3 站的线性变化趋势来看, 近 47 年 3 站暴雨日数均呈缓慢下降趋势, 这与王萃萃和翟盘茂(2009)对北京 1951~2005 年极端强降水强度呈减少趋势的研究结论相吻合。但 3 站暴雨

日数的气候倾向率各不相同, 南苑、西郊和沙河平均每 10 年分别下降 0.542 d、0.253 d 和 0.121 d。南苑暴雨日数下降最为明显, 西郊次之, 沙河暴雨日数下降最不明显, 其气候倾向率与西郊、南苑相差 1~2 倍。为了解释 3 站暴雨日数下降趋势的不同, 分别计算了南苑和沙河年平均相对湿度、相对湿度 $\geq 70\%$ 和相对湿度 $\geq 85\%$ 的年日数变化趋势(见表 2)。结果显示, 南苑下降趋势都最为明显, 这有助于解释南苑暴雨日数下降最为明显的现象。形成这种现象的原因也与城市盛行风下方往往存在降水的高值区(周丽英和杨凯, 2001)、城市化地区对下风向地区有增雨效应(张立杰等, 2009)有关。

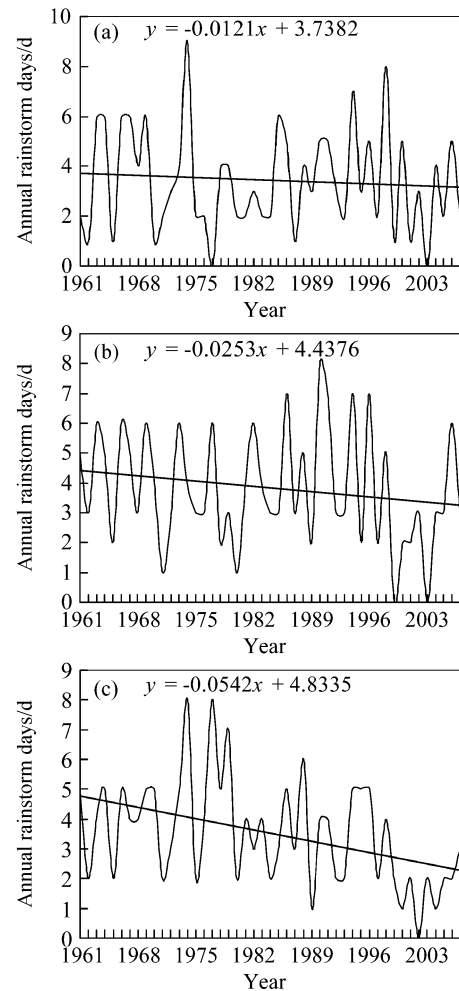


图 2 (a) 沙河、(b) 西郊、(c) 南苑暴雨日数年变化及线性趋势

Fig. 2 Interannual variations of the annual rainstorm days and their linear trend at (a) Shahe, (b) Xijiao, and (c) Nanyuan stations

表 2 沙河与南苑不同要素气候倾向率
Table 2 Tendency rates of the various factors at Shahe and Nanyuan stations

	暴雨日数	气候倾向率		
		年平均相 对湿度	相对湿度 ≥70%	相对湿度 ≥85%
沙河	-0.121	-1.178	-5.698	-3.010
南苑	-0.542	-1.551	-8.921	-5.157

采用 6 次多项式对年暴雨日数变化进行阶段性分析 (图 3), 发现 3 站暴雨日数均呈波动式的缓慢下降。暴雨日数的多寡具有阶段性特征, 尤其值得关注的是, 南苑暴雨日数的年变化在 1990 年之前, 与其他 2 站有着完全相反的变化形式 (西郊与沙河变化形式相同, 图略)。1961~1970 年南苑先降后升表现为谷的形态, 西郊、沙河先升后降表现为峰的形态; 1970~1982 年南苑表现为峰, 西郊、沙河转为谷; 1982~1990 年西郊、沙河为暴雨日数增多阶段, 南苑为暴雨日数缓慢减少阶段; 1990 年开始, 3 站的变化趋势趋同。在这一轮峰谷转换间, 总体而言, 沙河与南苑的波动振幅差距较西郊大, 这一点与 3 站气候倾向率数值表现一致。

3.3 周期及突变分析

由 Morlet 小波分析 (图 4) 可以看出, 各站

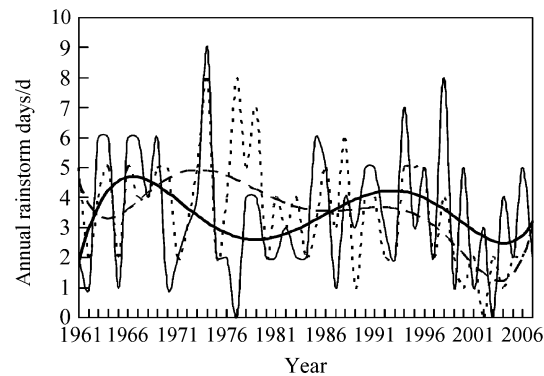


图 3 沙河和南苑暴雨日数年变化及多项式曲线 (粗实线为沙河暴雨日数多项式曲线、细实线为沙河暴雨日数年变化, 长虚线为南苑暴雨日数多项式曲线、短虚线为南苑暴雨日数年变化)
Fig. 3 Interannual variations of the rainstorm days and their polynomial equation curve at Shahe and Nanyuan stations. Solid thick line is polynomial equation at Shahe station; solid thin line is interannual variations at Shahe station; long dashed line is polynomial equation at Nanyuan station; short dashed line is interannual variations at Nanyuan station

暴雨日数周期不完全相同。沙河在长时间尺度上, 准 22 a 振荡为主周期; 准 4 a 振荡为次周期, 其中准 4 a 振荡在 20 世纪 70 年代至 80 年代初比较显著。西郊长时间尺度上, 20~22 a 振荡为主周期 (1986 年前为准 20 a, 1986 年后为准 22 a), 准 3 a 振荡为次周期; 在短时间尺度上, 1990 年后 11 a 振荡也较明显。相比沙河和西郊而言, 南

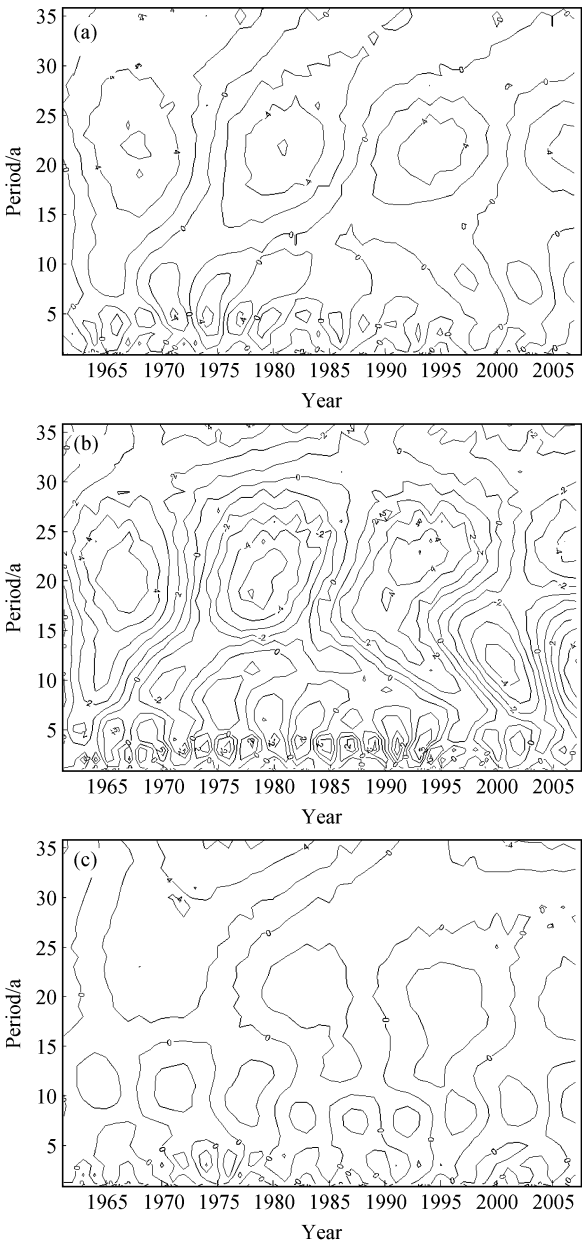


图 4 (a) 沙河、(b) 西郊、(c) 南苑年暴雨日数 Morlet 小波 (实部) 分析
Fig. 4 Morlet wavelet analysis of the annual rainstorm days at (a) Shahe, (b) Xijiao, and (c) Nanyuan stations

苑的暴雨日数振幅不强, 长时间尺度上, 主周期为准 35 a 振荡, 次周期为 8~10 a 振荡 (1980 年前和 2002 年后为 8 a 振荡, 1980~2002 年为 10 a 振荡)。

突变分析表明, 3 站突变年并不一致。突变年沙河为 1973、1987 和 2001 年, 西郊为 1973、1983、1996 和 2005 年, 南苑为 1966、1976、1982 和 1991 年。从暴雨日数 6 次多项式曲线变化趋势及暴雨周期转换分析结果看, 20 世纪末至 21 世纪初正经历暴雨日数相对减少的过程, 相对这一阶段, 未来几年北京暴雨日数有相对增多的可能。

4 结论

(1) 北京地区暴雨天气有明显的季节特点。6 月和 9 月分别是暴雨的突增期和陡减期, 7 月为峰值期, 8 月上旬是北京地区暴雨出现最为集中的时段, 其暴雨日数占年暴雨总数的 24.1%。

(2) 1961~2007 年北京地区暴雨日数总体表现为波动式的缓慢下降。南苑、西郊和沙河平均每 10 年分别下降 0.542 d、0.253 d 和 0.121 d, 南苑暴雨日数下降最为明显, 西郊次之, 沙河暴雨日数下降最不明显。南苑暴雨日数下降最为明显可能与其相对湿度的显著下降有关。

(3) 暴雨日数的增、减具有阶段性特征, 1990 年前南苑与沙河、西郊有着完全相反的增、减变化趋势。20 世纪末至 21 世纪初正经历暴雨日数相对减少的过程, 未来几年北京暴雨日数有相对增多的可能。

(4) 北京地区暴雨日数变化具有多重周期性, 南苑、西郊和沙河暴雨周期不同。

参考文献 (References)

- 郭虎, 熊亚军, 扈海波. 2008. 北京市奥运期间气象灾害风险承受与控制能力分析 [J]. 气象, 34 (2): 77-82. Guo Hu, Xiong Yajun, Hu haibo. 2008. Analysis on the risk tolerance and control ability of meteorological disaster in the period of Beijing Olympic Game [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 34 (2): 77-82.
- 李津, 王华. 2006. 北京城区一次大到暴雨的预报难点分析 [J]. 气象, 32 (2): 92-97. Li Jin, Wang Hua. 2006. Forecast difficulties for a Beijing heavy rainfall [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 32 (2): 92-97.
- 李兴荣, 胡非, 舒文军. 2007. 北京夏季强热岛分析及数值模拟研究 [J]. 气象, 37 (6): 25-31. Li Xingrong, Hu Fei, Shu Weijun. 2007. Analysis and numerical simulation of summer strong urban heat island in Beijing [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 37 (6): 25-31.
- 刘还珠, 王维国, 邵明轩, 等. 2007. 西太副高影响下北京区域性暴雨的个例分析 [J]. 大气科学, 31 (4): 727-734. Liu Huanzhu, Wang Weiguo, Shao Mingxuan, et al. 2007. A case study of the influence of the Western Pacific subtropical high on the torrential rainfall in Beijing area [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31 (4): 727-734.
- 廖雪萍, 覃卫坚, 唐炳莉, 等. 2007. 广西近 50 年暴雨日数变化的小波分析 [J]. 气象, 33 (12): 39-45. Liao xueping, Qin Weijian, Tang Bingli, et al. 2007. Wavelet analysis of variation of rainstorm days in Guangxi in recent 50 years [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 33 (12): 39-45.
- 孙继松, 王华, 王令, 等. 2006. 城市边界层过程在北京 2004 年 7 月 10 日局地暴雨过程中的作用 [J]. 大气科学, 30 (2): 221-234. Sun Jisong, Wang Hua, Wang Ling, et al. 2006. The role of urban boundary layer in local convective torrential rain happening in Beijing on 10 July 2004 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (2): 221-234.
- 王萃萃, 翟盘茂. 2009. 中国大城市极端强降水事件的初步分析 [J]. 气候与环境研究, 14 (5): 553-560. Wang Cuicui, Zhai Panmao. 2009. Changes of precipitation extremes in China's large cities [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (5): 553-560.
- 杨培才, 张琦娟. 1978. 北京地区对流性暴雨雷达回波特征的分析 [J]. 大气科学, 2 (2): 131-138. Yang Peicai, Zhang Qijuan. 1978. Studies on the radar echo characteristics of the convective rainstorms in Beijing [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 2 (2): 131-138.
- 杨金虎, 江志红, 王鹏祥, 等. 2008. 中国年极端降水事件的时空分布特征 [J]. 气候与环境研究, 13 (1): 75-83. Yang Jinhu, Jiang Zhihong, Wang Pengxiang, et al. 2008. Temporal and spatial characteristic of extreme precipitation event in China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (1): 75-83.
- 张立杰, 胡天洁, 胡非, 等. 2009. 近 30 年北京夏季降水演变的城郊对比 [J]. 气候与环境研究, 14 (1): 63-68. Zhang Lijie, Hu Tianjie, Hu Fei, et al. 2009. Comparison of summer precipitation evolution over the last 30 years between urban and rural region of Beijing [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (1): 63-68.
- 周丽英, 杨凯. 2001. 上海降水百年变化趋势及其城郊的差异 [J]. 地理学报, 56 (4): 467-476. Zhou Liying, Yang Kai. 2001. Variation of precipitation in Shanghai during the last one hundred years and precipitation differences between city and suburb [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 56 (4): 467-476.