李书严，马京津，轩春怡，等. 2012. 1951～2008 年北京极端天气事件分析 [J]. 气候与环境研究，17 (2)：244－250，doi:10.3878/j.issn.1006－9585.2011.10086. Li Shuyan，Ma Jingjin，Xuan Chunyi，et al. 2012. Analysis of extreme weather events in Beijing during 1951－2008 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese)，17 (2)：244－250.

1951～2008 年北京极端天气事件分析

李书严 马京津 轩春怡 王 冀

北京市气候中心，北京 100089

摘 要 应用 1951～2008 北京国家气候观象台的气温、降水、雷暴、雾、沙尘、大风、霜冻、相对湿度等逐日观测资料以及逐时降水资料，分析了北京极端天气事件的变化趋势。结果表明：(1) 年平均气温、极端最低气温分别以 0.39 ℃ · (10 a)$^{-1}$、1.0 ℃ · (10 a)$^{-1}$的趋势升高；轻雾天气增加趋势比较明显 [12.4 d · (10 a)$^{-1}$]；日最大降水量以－10.8 mm · (10 a)$^{-1}$的速率呈渐弱趋势；降水日数、相对湿度、大风和雷暴天气均有不同程度的减少，变化趋势分别为－1.90 d · (10 a)$^{-1}$、－1.17% (10 a)$^{-1}$、－2.64 d · (10 a)$^{-1}$和－1.24 d · (10 a)$^{-1}$；沙尘天气减少较明显 [－9.39 d · (10 a)$^{-1}$]；极端最高气温、小时雨强最大值、暴雨天气日数、霜冻、大雾、高温天气日数波动幅度较大，总体变化趋势不明显。(2) 暴雨、高温、极端最高温度和沙尘事件不存在明显的周期性变化；大风、大雾事件周期性特征在不同时段表现不同。雷暴、霜冻、极端最低温度、日最大降水量事件分别有 6 年、7 年、16 年、12 年左右的周期性变化。轻雾除存在 12 年左右的主周期外，不同时段具有不同尺度次周期。(3) 城市的扩展对记录到的变暖趋势有重要的贡献。各种极端天气事件与特定的天气系统相联系，受城市发展影响可能较小。

关键词 北京 极端天气事件

文章编号 1006－9585 (2012) 02－0244－07 **中图分类号** P429 **文献标识码** A

doi:10.3878/j.issn.1006－9585.2011.10086

Analysis of Extreme Weather Events in Beijing during 1951－2008

LI Shuyan, MA Jingjin, XUAN Chunyi, and WANG Ji

Beijing Regional Climate Center, Beijing 100089

Abstract Based on the daily observation data during 1951－2008, the change of extreme weather events in Beijing are analyzed. Results show that: (1) The annual mean temperature, minimum temperature, and mist events show increasing trends of 0.39 ℃ · (10 a)$^{-1}$, 1.0 ℃ · (10 a)$^{-1}$, and 12.4 d · (10 a)$^{-1}$ respectively. The maximum 24-h rainfall shows a decreasing trend of －10.8 mm · (10 a)$^{-1}$, rain days, humidity, gale, and thunder storm decrease at different extent [－1.90 d · (10 a)$^{-1}$, －1.17% (10 a)$^{-1}$, －2.64 d · (10 a)$^{-1}$, and －1.24 d · (10 a)$^{-1}$], sand and dust events show a decreasing trend of －9.39 d · (10 a)$^{-1}$. The maximum temperature, the maximum rain intensity (60 min), and rainstorm, frost, fog, high temperature events have little change. (2) Rainstorm, high temperature, the maximum temperature, and sand and dust events have no remarkable periodicity. Thunder storm, frost, the minimum temperature, the maximum 24-h rainfall, and mist events have periodical variation, their

收稿日期 2010－07－08 收到，2012－02－08 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金项目 40975064，公益性行业（气象）科研专项 GYHY201106049、GYHY201106033，国家重点基础研究发展计划项目 2010CB428506

作者简介 李书严，女，1971 年出生，博士，高级工程师，主要从事城市气候方面研究。E-mail：lishuyanlw@126.com

main periods are 6 a, 7 a, 16 a, 12 a, and 12 a, respectively. (3) Urbanization has an effect on the warming records in Beijing. Extreme weather events may be influenced by certain weather systems, with less correlation with city development.

Key words Beijing, extreme weather events

1 引言

根据 IPCC 第四次评估报告（AR4）（IPCC，2007），近百年来（1906～2005 年）全球平均地表温度升高 0.74 ℃，大于第三次评估报告（TAR）指出（IPCC，2001）的 1901～2000 年增加 0.6 ℃（0.4～0.8 ℃）的趋势。科学家们利用大型计算机分析及模拟的情景表明，气候变暖会导致许多极端天气气候事件的增多；在几乎所有的陆地上，非常可能出现酷热日数和热浪增多的现象；极端的降水量值和频率在许多地区非常可能会上升。据统计，20 世纪 90 年代全世界发生的重大气象灾害比 50 年代多 5 倍。在全球变暖的大背景下，极端事件发生的频率、强度等会如何变化，是气候变化研究中普遍关注的问题。

重大的气象灾害往往由诸如高温、干旱、暴雨、雷电、大风、低温等极端天气事件引发，所带来的生命财产损失难计其数，而城市又是极端天气事件中最脆弱的地区，城市规模不断扩大使城市承受灾害的脆弱性和风险增大。2007 年 7 月 18 日，山东济南遭受大暴雨袭击，为 1958 年以来历史最大值，由于短时间雨量过大以及城市排水系统能力不足，造成 25 人死亡、4 人失踪、170 多人受伤，和重大财产损失。2008 年 8 月 25 日，上海市出现汛期最强雷暴雨天气，徐汇区 1 小时最大降雨量 117.5 mm，为徐家汇 1872 年有气象记录以来所未遇。因此次强降水发生在居住密集的市区和上班高峰期，并且强降水远远超过上海市排水能力，市区 150 多条马路严重积水，最深处达 1.5 m，造成交通严重堵塞，虹桥机场多架航班延误（http://www.weather.com.cn[2008－12－16]）。2007 年 6 月 30 日至 7 月 31 日，福建省福州市连续 32 天日最高气温≥35 ℃，连续高温日数为 1880 年有气象记录以来的第一位。

北京是一个超大城市，又是我国的政治文化中心，对于灾害性天气更加敏感，气象灾害造成的经济损失平均每年在 10 亿元以上（http://www.qianlong.com[2008－07－09]），对城市交通、供水、供电、供气和通讯等系统构成极大威胁。表 1 列举了近几年北京地区极端天气事件及受灾情况（资料来自 2004～2009 年北京地区气候公报），据不完全统计，2004～2009 年的 6 年间，北京地区共遭遇高温天气 49 天、致灾性的局地暴雨 34 次、致灾性冰雹大风天气 44 天、雷电事件 191 起，给城市所带来的人员伤亡及经济损失难以尽数。本文以北京为例，研究大城市中极端天气事件发生发展的规律，并探讨其与城市发展的可能联系。

2 资料及方法

所用气候资料为北京市国家气候观象台 1951～2008 年逐日实测值：选取逐年平均气温、极端最高气温、极端最低气温，逐年的小时雨强最大值及日最大降水量，逐年的大风、雷暴、暴雨、沙尘暴及大雾出现的天数作为分析对象。这些信息涵盖了可能导致北京重大气象灾害的主要极端天气事件。所用的北京市近 20 年城市建设用地面积的资料摘自 1981～2008 年逐年的北京年鉴。研究方法包括趋势分析、相关分析、小波分析等。

本文中对于极端天气事件的定义参考中国气象局制定的标准（中国国家气象局，1990），日最大风速大于 17 $m \cdot s^{-1}$ 定义为大风日；日降水量大于 50 mm 定义为暴雨日；出现闪电或雷声时定义为雷暴；沙尘天气是对水平能见度 1～10 km 的浮尘和扬沙天气的总称；由于风沙原因导致水平能见度小于 1 km 时记为沙尘暴；由空气中水汽凝结或凝华而导致能见度小于 500 m 时定义为大雾事件；能见度在 1～10 km 的称为轻雾；将日最高气温高于 35 ℃定义为高温日；日最低气温低于－10 ℃定义为低温日。

表1 2004～2009年北京地区极端天气事件

Table 1 Extreme synoptic events in Beijing region during 2004－2009

发生日期	灾情
2004年7月10日	城区出现多年罕见的局地暴雨，部分立交桥下积水深达2 m，城市交通堵塞，部分路段交通瘫痪。
2005年7月23日	全市有14个测站降水达暴雨量级，房山区的霞云岭站日降水量达150.5 mm。暴雨造成大量民房倒塌，2人死亡，农作物受灾。
2006年8～12月	北京连续4个月降水持续明显偏少，全市有90%以上的面积出现旱情，其中重旱面积达到34%。
2006年4月26日	平谷区5个村遭受冰雹袭击，地面冰雹厚度达2～3 cm，最大冰雹直径1 cm，果树成灾面积达8500亩。
2006年11月20～21日	全市性大雾天气使得高速公路相继封闭，机场航班延误80余架次。大雾造成空气质量中度污染，医院呼吸疾病患者比平日增加了20%。
2007年5月17日	门头沟、大兴等遭受大风袭击，受灾人口1904人，农作物受灾面积达218公顷，损坏房屋28间，直接经济损失达4277万元。
2007年8月6日	市区北部遭遇暴雨突袭，1个小时内安华桥降雨达82 mm，桥下积水最大深度达到1.7 m，造成主路交通中断。
2008年5月28～30日	部分地区出现大风天气，8个乡镇、59个村受灾，受灾人口17002人，受灾面积620公顷，绝收面积30公顷，直接经济损失1030万元。
2008年6月13日	城区出现局地暴雨，多个地铁站被迫暂时封站，知春路城铁桥下积水近2 m，2辆车被淹，机场40余架航班延误或取消。大风刮倒某宾馆附近脚手架，砸坏近10辆汽车。
2009年5～8月	高温（日最高气温≥35 ℃）日数为16天，比常年明显偏多。高温天气使心脑血管疾病和发热病人骤增，且增加了用水量和电力负荷。6月25日，市区日供水量达266万立方米，突破了1999年以来历史最高记录。8月14日12时36分，电网最大负荷达到1424.6万千瓦，再次刷新最高纪录。

3 近50年北京极端天气事件变化规律

3.1 近50年北京极端天气事件变化趋势

DeGaetano and Allen（2002）在研究20世纪美国极端气温发展趋势时发现，最高和最低气温极值增长最快的是城市站，在其他学者的研究中也得到类似的结论（朱家其等，2006；Ren et al.，2007）。北京的气候变化有同样的趋势。图1a给出了北京国家气候观象台自1951年以来的年平均气温、极端最高、最低气温变化曲线。3项都呈现升高的趋势，年平均气温增势为0.39 ℃·(10 a)$^{-1}$（通过0.05显著性水平检验）；极端最低气温的增温幅度最大，为1.0 ℃·(10 a)$^{-1}$（通过0.05显著性水平检验），极端最低气温的最低值出现在1996年（－27.4 ℃），最高值出现在1992年（－8.7 ℃），2001年以后呈显著增长的趋势，达3.9 ℃·(10 a)$^{-1}$。近58年来极端最高气温的波动幅度较小，增温幅度为0.1 ℃·(10 a)$^{-1}$（没有通过0.05显著性水平检验）。以上结论与Zhai et al.(1999）的研究基本一致：自20世纪50年代起，我国平均最高温度略有上升，平均最低温度显著增加，最高、最低温度的变化趋势表现出较为一致的年代际变化特点。自1950年开始，北京地区的寒潮活动逐渐减弱，尤其是在80年代和90年代初，低温日数趋于减少，这种变化可能与冬季风的明显减弱有关。另外，从北京年平均气温、极端最高、最低气温变化曲线还可以看出，年平均气温的升高主要是极端最低气温的贡献。根据严中伟和杨赤（2000）、谢庄和王桂田（1994）等的研究，北京区域气候增暖主要是由于冬、春季最低气温的增加造成的，因为从各季节的变化趋势来看，升温幅度以冬季为最大，其次是春季，夏、秋季相对较弱。

图1b是北京地区自1951年以来小时雨强（60分钟）最大值和日最大降水量（20时至20时）的变化曲线。日最大降水量值在50年代后期至60年代最大，此后逐渐下降，到80年代又有一个小高峰，但总体还是呈现出－10.8 mm·(10 a)$^{-1}$的减弱趋势（通过0.05显著性水平检验）；小时雨强最大值波动幅度较大，变化趋势不明显。对降水日数和相对湿度（图略）的分析结果，减少趋势分别为－1.90 d·(10 a)$^{-1}$（通过0.05显著性水平检验）和－1.17%·(10 a)$^{-1}$（通过0.05显著

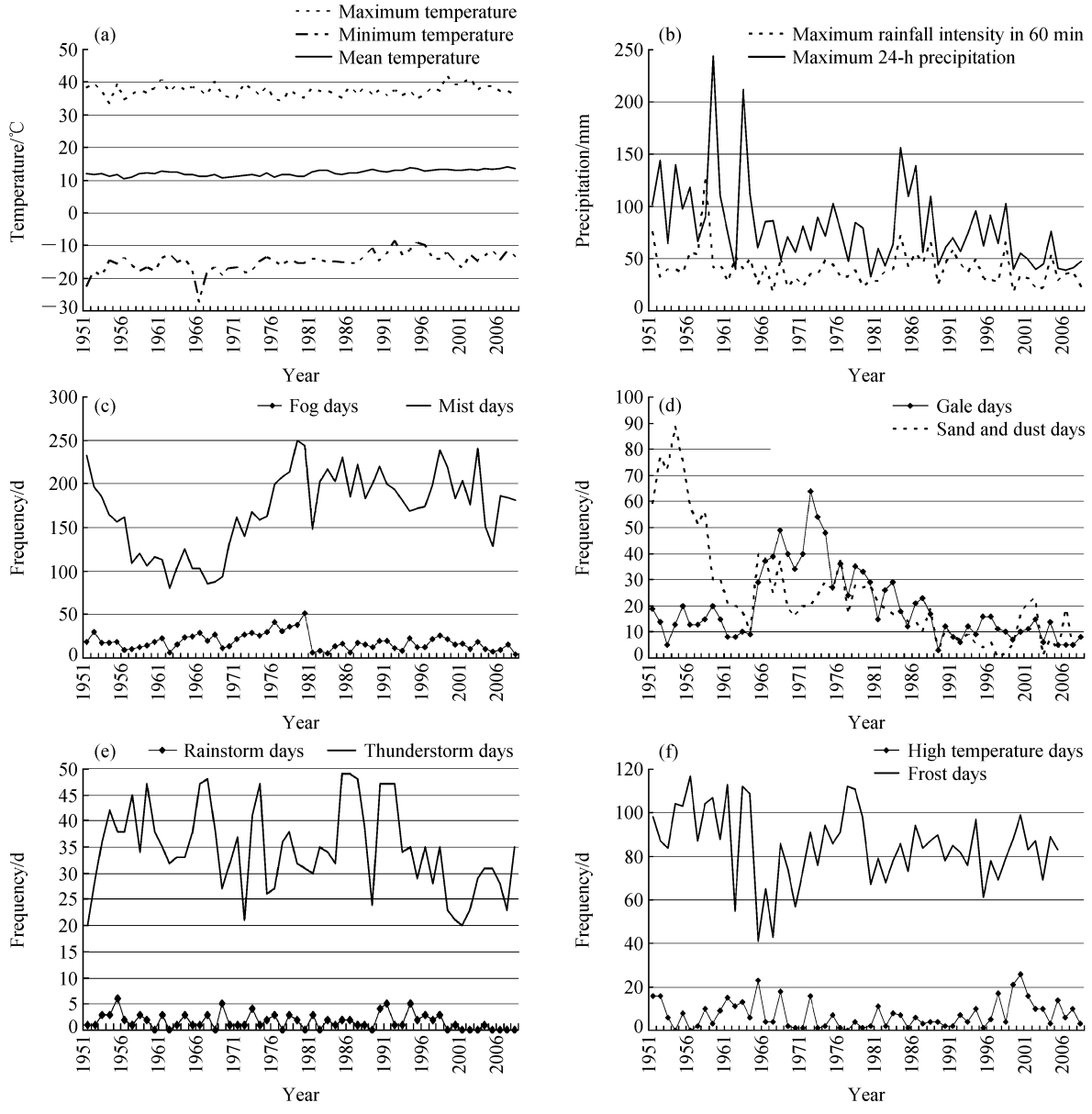

图 1　北京地区 1951～2008 年极端天气事件变化趋势及频率：(a) 年平均气温、年极端最高、最低气温；(b) 小时雨强最大值、日最大降水量；(c) 大雾、轻雾日数；(d) 大风、沙尘日数；(e) 暴雨、雷暴日数；(f) 高温、霜冻日数

Fig. 1　Evolution trend and frequency of extreme synoptic events in Beijing during 1951－2008: (a) Mean air temperature, the maximum air temperature, and the minimum temperature; (b) the maximum rainfall intensity in 60 min, the maximum 24-h precipitation; (c) fog days and mist days; (d) gale days, sand and dust days; (e) rainstorm days and thunderstorm days; (f) high temperature days and frost days

性水平检验)，这说明北京有逐渐干旱的趋势。郑思轶和刘树华 (2008) 的研究也得到类似的结论，并发现北京气候演变趋势与人口等城市发展数据的年际变化有较强的相关性。Zhang et al. (2007) 利用全球历史气候网的陆地月降水量观测数值，将观测到的趋势和大量气候模拟结果进行比较，发现陆地降水变化很大程度上受到人类活动的影响。

图 1c－f 是北京自 1951 年以来主要极端天气事件出现的频率。近 58 年来下降幅度较为明显的是沙尘、大风和雷暴天气日数，减少量分别为 $-9.39\ d\cdot(10\ a)^{-1}$、$-2.64\ d\cdot(10\ a)^{-1}$ 和 $-1.24\ d\cdot(10\ a)^{-1}$ (通过 0.05 显著性水平检验)。58 年来增加趋势比较明显的是轻雾天气日

数，增加量为 12.4 d·(10 a)$^{-1}$（通过 0.05 显著性水平检验）。轻雾天气从有记录的 1950 年开始直到 60 年代末期都处于减少状态，70 年代开始逐渐增多，1980 年记录到的次数最多，至今一直居高不下。近 58 年来霜冻、大雾、暴雨及高温天气日数波动幅度较大，总体变化趋势不明显。

3.2 北京极端天气事件的周期性分析

小波分析方法（尤卫红等，1999）用于气候时间序列分析时，可以较好地揭示信号中各种频率的时间结构。把时间和频率作为独立变量，将一维信号在时间和频率 2 个方向上展开，等值线中心可代表波动的峰谷，中心值的大小可以反映出波动的振荡强度。本文中用小波变换分析前，首先对资料进行了标准化处理。

计算结果表明，暴雨、高温、极端最高温度和沙尘事件不存在明显的周期性变化；大风、大雾事件周期性特征在不同的历史时段表现不同（图略），例如，大风事件在 20 世纪 60～80 年代有大约 6 年的周期性变化，90 年代后至今变为 8 年左右的周期；大雾事件在 90 年代之前有 7 年左右的周期性，之后周期性变得不明显。极端最低温度事件有 16 年左右的周期性变化，从发展趋势看，目前正处于低温事件的多发期。雷暴和霜冻事件（图 2a 和 2b）分别有 6、7 年的周期，且目前都处于偏少阶段的末期，即将进入多发期。轻雾（图 2c）除存在 12 年左右的主周期外，不同时段具有不同尺度次周期：70～90 年代以 7 年的次周期为主，90 年代末至今以 5 年的次周期较为明显，目前处于多发阶段。日最大降水量（图 2d）有 12 年左右的周期性变化，目前处于降雨量偏大阶段。

4 城市发展与区域气候及极端天气事件的可能联系

城市建成区面积能够表征城市的发展状况，

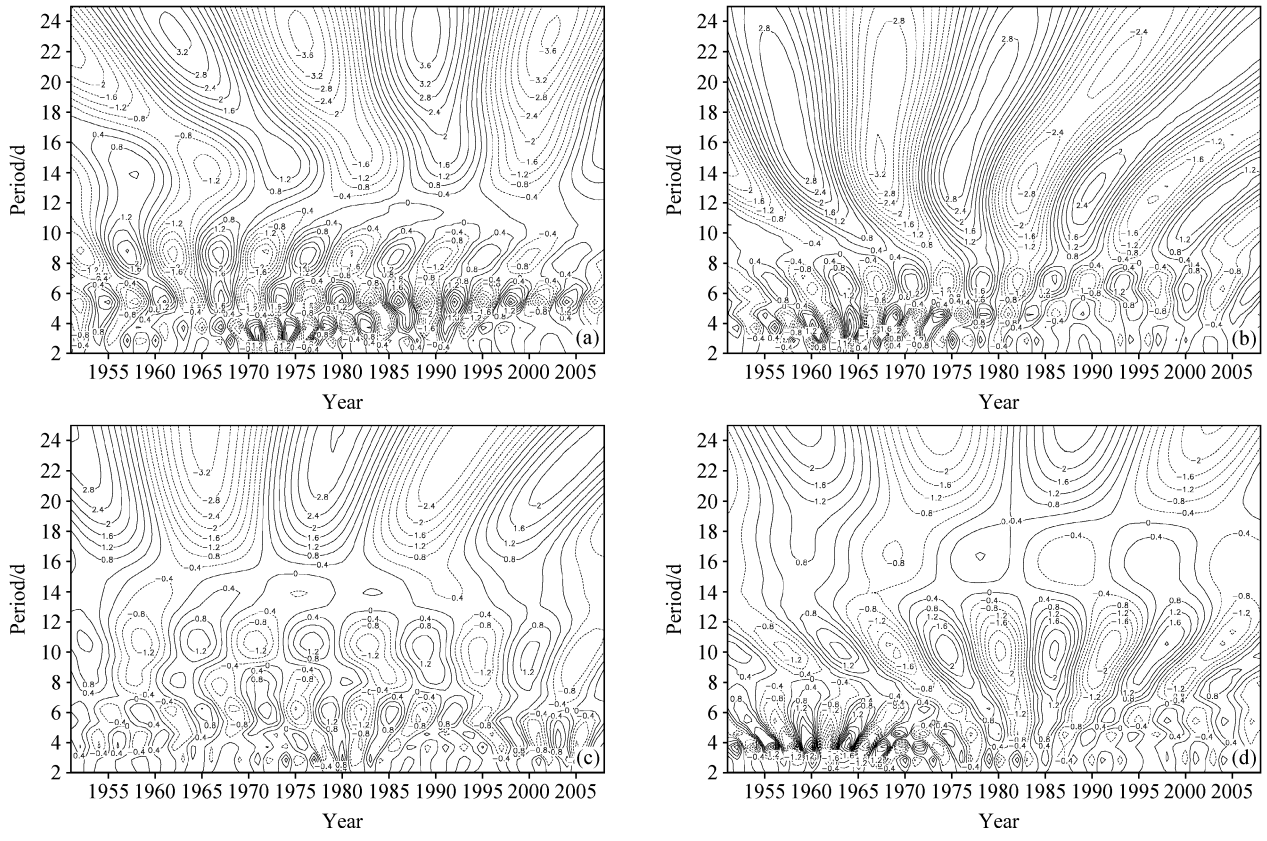

图 2 1951～2008 年北京地区极端天气事件的周期性特征：(a) 雷暴日数；(b) 霜冻日数；(c) 轻雾日数；(d) 日最大降水量

Fig. 2 Periodic characters of extreme synoptic events in Beijing during 1951－2008：(a) Thunderstorm days；(b) frost days；(c) mist days；(d) the maximum 24-h precipitation

因此，本文中利用北京地区年平均气温、城市建成区面积和各种极端天气事件频率做相关性分析，探讨极端天气事件与城市发展及区域气候三者之间是否存在某种联系。

图 3 给出了 1981～2008 年北京地区的建成区面积变化曲线。北京建成区面积从 1981 年的 349 km^2增加到 2004 年的 834 km^2，20 多年间建成区面积扩大两倍多。2005 年开始因筹备奥运会等原因，建成区面积大幅度增加，到 2008 年止，建成区面积已有 1289 km^2。我们选取 1981～2008 年北京建成区面积的增长与年平均温度、极端最高和最低气温、高温日数、雷暴、暴雨日数、轻雾日数、大风、沙尘日数等作相关分析。结果表明，年平均温度（y）与建成区面积（x）呈线性相关，相关系数为 0.69（置信度水平 $a<0.05$），线性方程为 $y = 12.34 + 0.001x$。这可能说明城市的扩展对区域气候变暖的贡献不可忽略。这一结论中关于资料背景需要一提，即国家气候观象台 54511 站 1981 年从郊区迁至近城区，1997 年迁回，1981～1997 年这段温度记录可能区域代表性差。Yan et al.（2010）就 54511 站迁址对气温观测值的影响作了深入的研究，通过比较 54511 站与北京其它 18 个基本站不同季节的多年平均气温，计算得出迁址导致的偏差在 0.43～0.95 ℃，校订后得出近几十年北京城市化引起的升温趋势约 0.3 ℃ ·（10 a）$^{-1}$的结论，这与本文结论一致。事实上最新研究也表明，人类活动是近 50 年全球气候变暖的主要原因（罗勇，2010），这一观点已经为国际社会和科学界普遍认同。

建成区面积与极端最高和最低气温、高温日数、暴雨、雷暴日数、轻雾、沙尘日数等的相关性不大。这可能说明了高温、雷暴、轻雾日数等受全球气候变化大背景的影响更大，与特定的天气系统相联系，受城市发展影响较小。这一点与其他学者的研究一致，IPCC（2007）指出：城市对于气温增暖的贡献存在但是局地的，对于全球（半球）尺度的贡献并不明显。本文的结论比较符合并支持这一论断。

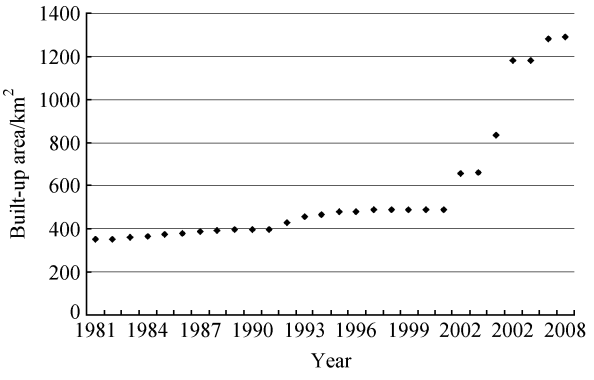

图 3　1981～2008 年北京地区建成区面积的变化

Fig. 3　Variation of Beijing built-up area during 1981－2008

5　结论与讨论

本文应用逐日观测资料，分析了北京极端天气事件的变化趋势，及其与城市发展的可能联系，初步结论如下：

（1）年平均气温、极端最低气温呈升高趋势，增势分别为 0.39 ℃ ·（10 a）$^{-1}$、1.0 ℃ ·（10 a）$^{-1}$，极端最高气温变化趋势不明显；日最大降水量呈－10.8 mm ·（10 a）$^{-1}$的渐弱趋势；小时雨强最大值变化趋势不明显；降水日数和相对湿度（图略）的分析结果，减少趋势分别为－1.90 d ·（10 a）$^{-1}$（通过 0.05 显著性水平检验）和－1.17%（10 a）^{1}（通过 0.05 显著性水平检验）。这说明北京有逐渐干旱的趋势。下降幅度较为明显的是沙尘、大风和雷暴天气日数，减少量分别为－9.39 d ·（10 a）$^{-1}$、－2.64 d ·（10 a）$^{-1}$和－1.24 d ·（10 a）$^{-1}$（通过 0.05 显著性水平检验）；霜冻、大雾、暴雨及高温天气日数波动幅度较大，总体变化趋势不明显；轻雾天气增加趋势比较明显［12.4 d ·（10 a）$^{-1}$］。

（2）暴雨、高温、极端最高温度和沙尘事件不存在明显的周期性变化；大风、大雾事件周期性特征在不同的历史时段表现不同。雷暴、霜冻、极端最低温度、日最大降水量事件分别有 6、7、16、12 年左右的周期性变化。轻雾除存在 12 年左右的主周期外，不同时段具有不同尺度次周期。

（3）近几十年来城市的扩展对区域气候变暖的贡献不可忽略。各种极端天气事件与特定的天气系统相联系，受城市发展的影响尚须进一步研究。

城市是所有自然与人为灾害的巨大承载地，城市越现代化，其致灾易损性就越大，城市就显得越脆弱。因此，研究气候变化条件下极端天气事件的变化规律，提高极端天气事件的监测、预

报水平显得十分紧迫，也再一次表明将防灾规划提到城市规划工作的日程是何等重要。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）

DeGaetano A T, Allen R J. 2002. Trends in twentieth-century temperature extremes across the United States [J]. J. Climate, 15: 3188-3205.

IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis [A]. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.

IPCC. 2007. Climate change 2007: The physical science basis [C] //. Contribution of Working Group l to the Fourth Assessment Report of the intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.

罗勇. 2010. 对气候变化关键科学问题的认识 [R]. 北京：首届中国气象学会理事长高层论坛. Luo Yong. 2010. Some insights about key science problem of climate change [R] (in Chinese). Beijing: The First High Level Forum of Chinese Meteorological Society.

Ren G Y, Chu Z Y, Chen Z H, Ren Y Y. 2007. Implications of temporal change in urban heat island intensity observed at Beijing and Wuhan stations [J]. Geophys. Res. Lett., 34, L05711, doi:10.1029/2006GL027927.

谢庄，王桂田. 1994. 北京地区气温和降水百年变化规律的探讨 [J]. 大气科学，18 (6)：683-690. Xie Zhuang, Wang Guitian. 1994. The changes of temperature and precipitation in Beijing during last 100 years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 18 (6): 683-690.

Yan Zhongwei, Li Zhen, Li Qingxiang, et al. 2010. Effects of site change and urbanisation in the Beijing temperature series 1977-2006 [J]. International Journal of Climatology, 30 (8) 1226-1234.

严中伟，杨赤. 2000. 近几十年中国极端气候变化格局 [J]. 气候与环境研究，5 (3)：267-272. Yan Zhongwei, Yang Chi. 2000. Geographic patterns of extreme climate changes in China during 1951-1997 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 5 (3): 267-272.

尤卫红，杞明辉，段旭. 1999. 小波变换在短期气候预测模型研究中的应用 [J]. 高原气象，18 (1)：39-46. You Weihong, Qi Minghui, Duan Xu. 1999. Wavelet transforms' applications to researches on model of short range climate forecast [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 18 (1): 39-46.

Zhai P M, Sun A J, Ren F M, et al. 1999. Changes of climate extremes in China [J]. Climate Change, 42 (1): 203-218.

Zhang Xuebin, Zwiers F W, Hegerl G C, et al. 2007. Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends [J]. Nature, 448: 461-465.

郑思轶，刘树华. 2008. 北京城市化发展对温度、相对湿度和降水的影响 [J]. 气候与环境研究，13 (2)：123-133. Zheng Siyi, Liu Shuhua. 2008. Urbanization effect on climate in Beijing [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (2): 123-133.

中国国家气象局. 1990. 重要天气预报质量评分办法 [M]. 北京：气象出版社，15-57. China Meteorological Administration. 1990. Scoring Method in Important Weather Forecast Quality of Chinese Meteorological Bureau [M] (in Chinese). Beijing: Chinese Meteorological Press, 15-17.

朱家其，汤绪，江灏. 2006. 上海市城区气温变化及城市热岛 [J]. 高原气象，25 (6)：1154-1160. Zhu Jiaqi, Tang Xu, Jiang Hao. 2006. The air temperature variation and heat island effect in urban area of Shanghai City [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 25 (6): 1154-1160.