

近 50 a 北京人居环境中气候因子的变化特征

张秀丽¹, 孙燕²

(1 空军气象中心, 北京 100843 2 江苏省气象台, 江苏 南京 210008)

摘要: 应用 1951—2003 年逐日气象观测资料, 分析影响北京城市人居环境主要气候因子的变化特征。结果表明: 近 50 a 北京增暖趋势明显, 气候变暖与极端热(冷)不舒适日数之间具有较好的相关性, 其所导致的总体趋势是使热(冷)不舒适日数上升(下降), 同时增加了出现极端热(冷)不舒适日的随机性。分析还表明, 北京年加热量日指数存在明显下降趋势, 年制冷度日指数变化正好相反, 这意味着未来北京冬季供暖耗费能源将会减少, 而夏季降温耗费能源将会增加。

关键词: 城市人居环境; 舒适度指数; 采暖度日指数; 制冷度日指数

中图分类号: P413.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2007)04-0519-05

Characteristics of the Climate Factor for Human Settlements in Beijing during Last 50 Years

ZHANG X iu-li¹, SUN Y an²

(1. Air Force Meteorological Center, Beijing 100843, China; 2 Meteorological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210008 China)

Abstract Based on the daily meteorological data from 1951 to 2003, the variations of major climate factors that affects Beijing human settlements are analysed. Investigations show that in the last 50 years, the warming trend in Beijing is obvious. Climate warming and the number of extremely hot(cold) days are close correlated, and the overall trend of climate warming resulted in rise in the number of extremely hot days, decline in the number of extremely cold days and rise in the randomness of extremely hot/cold days respectively. The heating(cooling) degree days in Beijing dropped(rose) obviously, suggesting that the energy consumption for air conditioners will increase in summer and decrease in winter in Beijing in the future.

Key words city human settlements; comfort index; heating degree days; cooling degree days

0 引言

城市人居环境是指人们在城市生活工作所处的自然、经济、社会和文化环境的总称。城市人居环境可持续发展状况是城市是否有序化的最终标准。同时, 人居环境又是城市化进一步发展的基础。在构成城市人居环境的诸多要素中, 自然地理条件是最基本的因素, 其总体状况很大程度上影响了人居环境的质量。而气候又是其中最为活跃的因子, 直接决定着人居环境的舒适与否, 是人们评价城市宜居性的重要标准之一^[1]。舒适是人体对生存环境的本能要求, 人对气候因子的适应有一个极限, 超出这一限度, 体力劳动和脑力劳动的效率都将下降, 还会

出现一系列不舒适的生理反应。在自然环境中, 人体感觉舒适与否的程度与气象条件关系非常密切。舒适度指数是一个用于度量环境温度、湿度、风等气象要素对人体综合影响程度, 表征人体在大气环境中舒适与否, 提示人们根据气象因子来调节生理, 适应环境以及防范冷热突变的指数^[2]。2005年初, 国务院正式批复《北京市城市总体规划(2004—2020年)》, 规划中明确将北京的城市目标定位成“国家首都、国际城市、文化名城、宜居城市”, 在政府层面上首次提出了“宜居城市”的概念。

气候变化对人居环境的影响是一种综合的影响。研究表明^[3-5], 气候变化从三个方面对人居环境产生影响: 一是气候变化后, 资源生产、农作物的生

长、商品及服务市场的需求产生了变化,使支持居住的经济条件受到影响;二是气候变化对能源输送系统、建筑物、城市设施以及工农业、旅游业、建筑业等特定产业的一些直接影响,转而对人居环境产生影响;三是气候变化后极端天气事件增加以及对人体健康的影响。此外,人类对变化后的气候不适应,也会助长某些疾病的蔓延,使病情加重,甚至导致死亡。以往针对城市人居环境的研究很少考虑到气候变化方面的影响^[1]。当前,全球气候变暖已经成为一种共识,在这种背景下探讨影响城市人居环境的相关气候因子的变化规律,对于进一步认识和采取相关措施来改善我们赖以生存的城市基础条件是有意义的。本文将应用北京地区 1951—2003 年逐日气象观测资料,分析影响城市人居环境的主要气候因子的变化特征。

1 近 50 a 北京气候变化

图 1 给出北京地区 1951 年以来的气温和降水量变化序列。可以很清楚地看到,近 50 a 北京增暖趋势明显,高于全球平均 $0.6 \pm 0.2 \text{ }^{\circ}\text{C} / (100 \text{ a})$ 的增温率^[6]。但升温幅度并不对称,其中年平均最低气温的增温幅度最大,达到 $0.48 \text{ }^{\circ}\text{C} / (10 \text{ a})$; 年平均气温的增幅次之,为 $0.35 \text{ }^{\circ}\text{C} / (10 \text{ a})$; 年平均最高气温的增幅最小,仅为 $0.17 \text{ }^{\circ}\text{C} / (10 \text{ a})$ 。而年降水量则呈现下降趋势,降幅约为 $45.56 \text{ mm} / (10 \text{ a})$,与谢庄等^[7]对北京百年气候记录分析得到的结论一致。依照这种趋势,未来北京气候将向暖旱化方向发展。

高温、暴雨等极端天气事件的出现往往会对城市人居环境带来重大影响。近年来,气候变暖背景

下极端天气事件的变化开始引起人们的关注。研究表明^[8],气候变暖后更容易导致夏季高温和闷热事件的出现,同时与热有关的疾病和死亡率也会上升。图 2 给出的是北京高温(日最高气温高于 $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$)和暴雨(日降水量大于 50 mm)事件的出现频率,可见近 50 a 北京的高温天气事件的出现具有明显的周期性波动特征,1960 年代和 1990 年代以来为高温事件的多发期。暴雨事件率则呈下降趋势,与图 1 中给出的年降水量的变化一致,表明北京年降水量的丰欠与年暴雨次数的多寡有密切关系。

2 近 50 a 北京人体舒适度指数变化

关于舒适度指数国内学者已有一些研究,这些研究为相关部门提供了有价值的参考。如任健美等^[9]分析了五台山的各月气候舒适度指数,为旅游发展规划和游客选择旅游时间提供了科学依据。杨成芳等^[10]分析发现,近 30 a 山东省各区域冷不舒适日数明显减少,热不舒适日数则有增加的趋势。此外,一些学者^[11-14]还从不同角度分析了舒适度变化对人体的影响。在此基础上,谈建国^[15]进一步提出了一个适合衡量上海地区夏季暑热程度的相对舒适度指数。最近,杨成芳^[16]采用旋转经验正交分解(EOF)方法,对山东省不同季节的人体舒适度进行了分析,得到人体舒适度分区,并进一步探讨了各区域人体舒适度指数的变化趋势,为开展区域性人体舒适度预报和气候研究打下基础。目前关于北京地区人体舒适度的变化还未见有研究,本文利用 1951 年以来的逐日气象观测资料,对其进行计算。具体计算方法^[2]为:

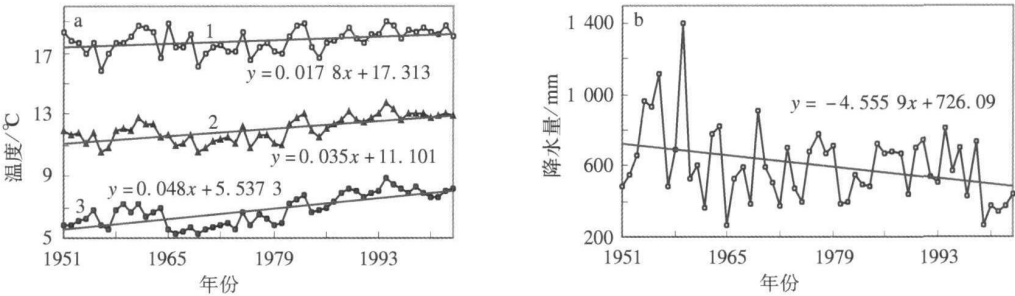


图 1 1951—2003 年北京地区气候变化

a 温度(1.最高气温;2.平均气温;3.最低气温);b 降水量

Fig. 1 Yearly variations of climatic factors and their linear trends in Beijing during 1951—2003
a temperature(1. maximum temperature 2. average temperature 3. minimum temperature); b precipitation

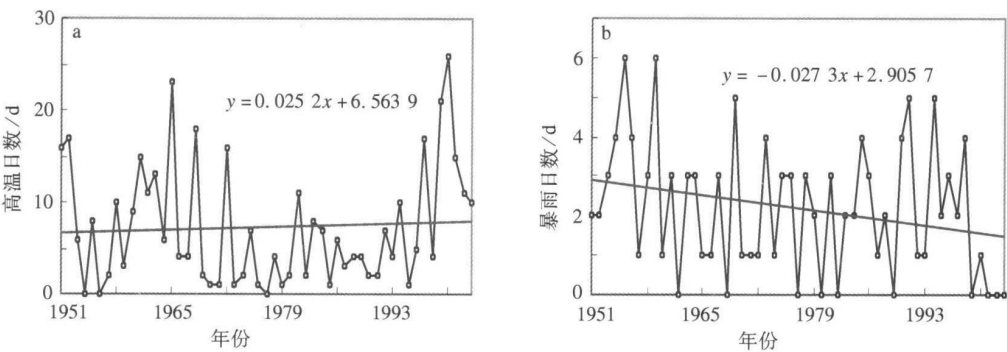


图 2 1951—2003 年北京地区的极端天气事件

a 高温; b 暴雨

Fig. 2 Yearly variations of extreme weather events in Beijing during 1951—2003

a high temperature; b heavy rain

$$K = 1.8 \times T - 0.55 \times (1.8 \times T - 26) \times (1 - f) - 3.2 \times \sqrt{V} + 32$$
其中: K 为人体舒适度指数, T 为温度, f 为相对湿度, V 为风速。表 1 参考了文献 [2] 给出的人体舒适度划分标准。

表 1 人体舒适度指数分级及感觉程度

Table 1 Grades of human body comfort index and human sensation

舒适度指数	等级	人体感觉
< 20	E	寒冷, 人感觉极不舒适, 有冻伤危险
20~ 40	D	冷, 人感觉很不舒适, 体温稍有下降
41~ 50	C	凉, 人感觉不舒适
51~ 60	B	凉爽, 人感觉较舒适
61~ 70	A	舒适
71~ 75	F	温暖, 人感觉较舒适
76~ 80	G	暖, 人感觉不舒适, 容易出汗
81~ 85	H	热, 人感觉很不舒适, 容易过度出汗
> 85	I	酷热, 人感觉极不舒适, 热调节功能障碍

为分析方便, 将符合表 1 中 A、B、F 等级的天数合起来作为人体舒适日数, 将符合 G、H 等级的天数合起来作为热不舒适日数, 将符合 C、D 等级的天数合起来作为冷不舒适日数, 将符合 E 等级的天数定义为极冷不舒适日数, 符合 I 等级的天数定义为极热不舒适日数。从图 3 给出的人体舒适、不舒适日数变化趋势上可以看出, 近 50 a 北京地区年舒适日数呈现出微弱的下降趋势, 但总体变化不是很明显, 其年际变化上有较规律的周期性波动特征。年热不舒适日数具有较明显的上升趋势, 增幅最大的时段出现在 1970 年代末期以后。50 a 平均每 10 a 增加

约 2.7 d。年冷不舒适日数的变化与热不舒适日数的变化趋势相反, 每 10 a 减少约 2.0 d 下降幅度最快的时段也是出现在 1970 年代末期以后。从年极热不舒适日数变化来看, 亦有较明显的增加趋势, 其线性拟合斜率达到 0.101 8, 增幅最大的时段出现在 1990 年代以后。年极冷不舒适日数则呈下降趋势, 其线性拟合斜率为 -0.144 4。

以上分析表明, 近 50 a 区域气候变暖所导致的总体趋势是使得热不舒适日数的增加和冷不舒适日数的减少。同时在 2000—2003 年时段年极热不舒适日数和年极冷不舒适日数都很大, 这个趋势今后是否会继续维持是值得关注的。

为进一步分析北京地区人体舒适指数的年代际差异, 计算了相关指数的年代际平均值和标准差 (表 2)。由表可见, 近 50 a 舒适日数和不舒适日数均呈阶梯状变化。比较而言, 70 年代是一个相对最舒适的时段。80 年代开始, 舒适日数和冷 (极冷) 不舒适日数明显减少, 热 (极) 热不舒适日数变化正好相反, 一直维持增加趋势, 到 90 年代后增幅明显加大, 其标准差也有类似的变化趋势, 说明气候变暖在带来更多的极热不舒适日数的同时, 也使得出现这种极端事件的随机性增加了。值得注意的是, 对于冷 (极冷) 不舒适日, 90 年代以后其标准差也有增加的趋势, 这可能就是 1991—2003 年间会同时出现较多的极热不舒适日和极冷不舒适日的缘故。

计算得到年平均气温与年极不舒适日数 (极热不舒适日与极冷不舒适日数之和) 的相关系数为 0.597, 达到 0.001 显著性水平标准, 表明气候变暖与极端天气事件之间具有较明显的联系。

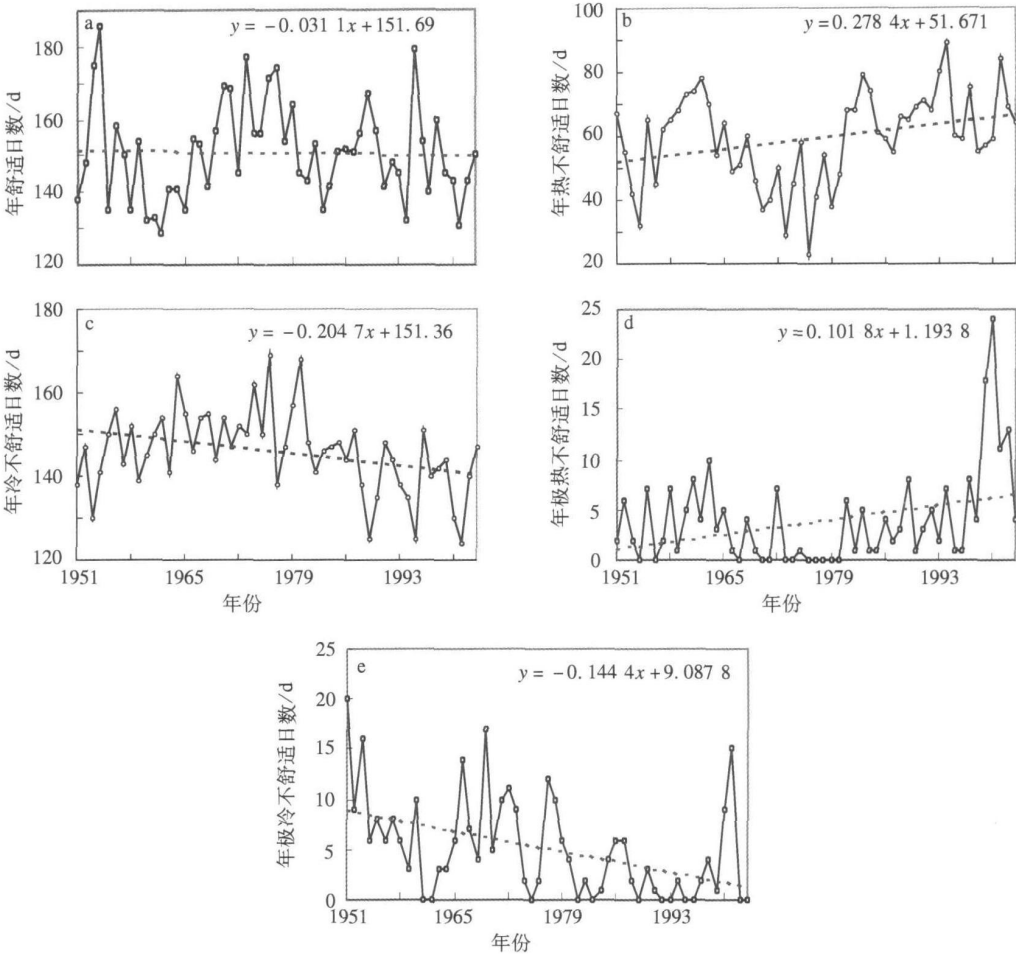


图 3 1951—2003 年北京地区年舒适、不舒适日数变化趋势
a 舒适日数; b 热不舒适日数; c 冷不舒适日数; d 极热不舒适日数; e 极冷不舒适日数
Fig. 3 Yearly variations of comfortable (uncomfortable) days in Beijing during 1951—2003
a comfortable days; b hot uncomfortable days; c cold uncomfortable days;
d extremely hot uncomfortable days; e extremely cold uncomfortable days

表 2 北京地区人体舒适度日数的年代际变化特征
Table 2 The interdecadal variations of body comfortability in Beijing

时段	舒适日数		热不舒适日数		冷不舒适日数		极热不舒适日数		极冷舒适日数	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
1951—1960	151.1	17.1	57.4	12.8	114.1	7.2	3.2	2.6	9.2	4.9
1961—1970	145.5	11.9	58.3	12.5	151.7	6.3	3.6	3.2	5.9	5.3
1971—1980	161.0	10.9	42.6	10.3	154.0	9.4	0.8	2.0	6.6	4.1
1981—1990	150.7	8.50	66.4	6.70	142.3	7.4	3.2	2.4	2.4	2.2
1991—2003	146.3	11.3	67.3	10.7	139.7	7.6	7.8	6.4	2.6	3.7

3 加热/制冷度日指数的变化

度日 (degree days) 是国际上广泛用来表示为应对环境温度变化而采取加热或降温措施所需能量的一个时间温度指数。度日指数对于合理安排居民生

活、工农业生产具有重要的指导意义, 其相关研究和应用在国外已开展多年^[17-18], 但最近才开始在国内得到关注。根据定义^[16], 采暖度日 (heating degree days HDD) 指每年冷季 (9 月—次年 4 月) 日平均温度低于某一特定阈值 (一般取对人体最舒适的

温度 18°C) 的温度与这一阈值的差值之和; 年制冷度日 (cooling degree days, CDD) 指每年暖季 (5—9 月) 温度高于 25°C 的值与 25°C 的差值之和。

图 4 给出 1951—2003 年北京地区年采暖度日和年制冷度日指数分布, 可见近 50 a 北京年采暖度日指数存在明显下降趋势, 其线性拟合斜率达到 -9.801 。年制冷度日的变化正好相反, 呈上升趋势, 但其幅度比年采暖度日小, 线性拟合斜率为 3.9003 。由于年采暖度日和年制冷度日所反映的实际上是一种能源需求状态, 它与当地的城市化程度有较好的相关性^[9]。从其变化趋势所揭示的意义来看, 未来北京冬季为供暖所需耗费的能源将会减少, 而夏季为降温所需耗费的能源将会增加。

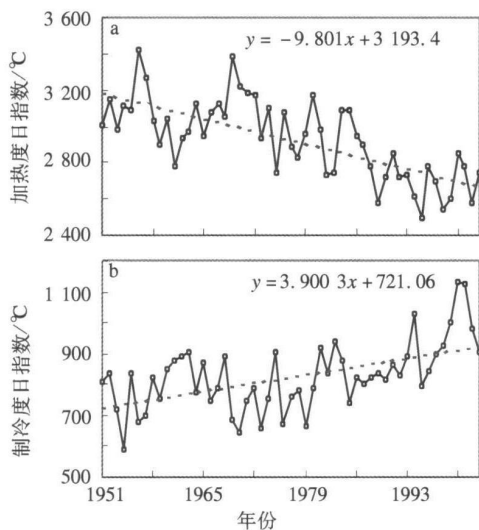


图 4 北京地区 1951—2003 年 HDD (a) 和 CDD (b) 分布
Fig. 4 Yearly evolution of (a) heating degree days and (b) cooling degree days during 1951—2003 in Beijing

4 结论

应用北京地区 1951—2003 年逐日气象观测资料, 分析了影响城市人居环境的主要气候因子的变化规律, 得到以下初步结论。

(1) 近 50 a 北京增暖趋势明显, 高于全球近百年平均增温率。20 世纪 60 年代和 90 年代以来为高温事件的多发期, 暴雨事件的发生呈下降趋势。

(2) 近 50 a 北京地区年舒适日数呈弱的下降趋势, 其年际变化有较规律的周期性波动特征, 年热(冷)不舒适日数具有较明显的上升(下降)趋势。

(3) 气候变暖与极端热(冷)不舒适日数之间具有较高的相关性, 气候变暖所导致的总体趋势是热

(冷)不舒适日数的上升(下降), 同时出现极端热(冷)不舒适日的随机性增加。

(4) 北京年加热(降温)度日指数存在明显的下降(上升)趋势, 表明未来北京冬季供暖耗费的能源将会减少, 而夏季降温耗费的能源将会增加。

参考文献:

- [1] 李雪铭, 张春花, 张馨, 等. 城市化与城市人居环境关系的定量研究 [J]. 中国人口资源与环境, 2004, 14(1): 91-96
- [2] 张书余. 城市环境气象预报技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2002: 124-126
- [3] Braga A L, Zanobetti A, Schwartz J. The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U. S. cities [J]. Environ Health Perspect 2002; 110(6): 859-863
- [4] 姚玉璧, 王毅荣, 张存杰, 等. 黄土高原作物气候生产力对气候变化的响应 [J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(1): 101-106
- [5] 郑广芬, 陈晓光, 孙银川, 等. 宁夏气温、降水、蒸发的变化及其对气候变暖的响应 [J]. 气象科学, 2006, 26(4): 412-421
- [6] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J et al. Climate change: the scientific basis [M]. Cambridge City: Cambridge University Press 2001: 770
- [7] 谢庄, 王桂田. 北京地区气温和降水百年变化规律的探讨 [J]. 大气科学, 1994, 18(6): 683-690
- [8] Bonsal B R, Zhang X B, Vincent L A, et al. Characteristics of daily and extreme temperature over Canada [J]. J Climate, 2001, 14(14): 1959-1976
- [9] 任健美, 牛俊杰, 胡彩虹, 等. 五台山旅游气候及其舒适度评价 [J]. 地理研究, 2004, 23(6): 856-862
- [10] 杨成芳, 薛德强, 李长军. 山东省人体舒适度区域特征研究 [J]. 气象, 2004, 30(10): 7-11
- [11] 朱燕君, 陈峪, 李庆祥, 等. 北京奥运会期间的气象条件分析 [J]. 应用气象学报, 2006, 17(增刊): 37-45
- [12] 谈建国, 邵德民, 马雷鸣, 等. 人体热量平衡模型及其在人体舒适度预报中的应用 [J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(3): 384-390
- [13] 刘梅, 于波, 姚克敏. 以热量平衡为基础的体感温度模型及气候要素的效应分析 [J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(4): 498-502
- [14] 石春娥, 王兴荣, 陈晓平, 等. 人体舒适度预报方法研究 [J]. 气象科学, 2001, 21(3): 363-368
- [15] 谈建国. 衡量上海夏季暑热程度的相对舒适度指数研究 [J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(2): 213-218
- [16] 杨成芳. 山东省人体舒适度的 REOF 分析 [J]. 气象科学, 2006, 26(1): 103-109
- [17] Kadioglu M, Zekai S. Degree day formulations and application in Turkey [J]. J Appl Meteor, 1999, 38(6): 837-846
- [18] Thom H C S. Seasonal degree-day statistics for the United States [J]. Mon Wea Rev, 1952, 80(9): 143-147