

城市化对北京室内外气温影响的研究^{*}

张一平¹⁾ 张德山²⁾ 李佑荣¹⁾
马友鑫¹⁾ 刘玉洪¹⁾

1) (中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

2) (北京市专业气象台, 北京 100089)

X16 A

摘 要 以北京市为研究对象, 利用由于城市扩大而受到影响的北京近郊朝阳气象站室内外气温和受城市发展影响较小的远郊密云站气温资料, 以及城市建成区面积和城市人口资料, 通过比较分析, 得出以下结果: 北京市近郊区由于城市面积扩大和人口增加, 导致了室内外气温均升高, 其中室内气温升高幅度大于室外气温, 冬半年大于夏半年; 不论是冬半年还是夏半年, 城市增温效应与城市人口均有较好地相关关系, 城市人口的增加对平均室内气温的影响较大。以上结果有助于深入探讨城市化对城市气候的影响机制, 并可为城市建筑的规划、设计提供参考。

关键词: 城市化; 城市气候; 气温

1 引言

城市区域由于表面的大部分已由植被变为由混凝土或沥青构成的不透水的路面和屋顶面、受不透水下垫面的独特热力特性的影响, 城市区域形成了特有的局地气候——城市气候。随着城市的发展和城市面积的扩大, 城市气候效应(城市热岛等)不断增强, 已对城市生活产生了影响。

城市中, 室内气温状况乃是衡量居住环境好坏的指标之一, 建筑领域已有较多的研究探讨了环境条件对居住的影响^[1~3]。在城市气候研究中, 城市发展对城市气候的主要影响因素——气温的研究较多^[4,5], 但是探讨伴随城市发展室内气温长期变化的研究尚不多见。

本文以北京市为例, 利用受城市化影响较大的北京近郊朝阳气象站的室内、外气温资料以及北京城市建成区面积和城市人口(非农业人口)资料, 与受城市发展影响相对较小的密云气象站的气温资料, 对比分析了伴随城市化进程, 城市气候和室内气温的变化特征及其与前期(1965~1969年平均)的差异(城市增温效应), 并分析了城市增温效应与城市人口的关系。其研究不仅为深入探讨城市发展对城市气候及室内气温的影响提供了一种新的尝试, 还为城市建筑的规划、设计等提供了参考。

2000-12-21 收到, 2001-03-20 收到修改稿

^{*} 国家自然科学基金资助项目 59836250

2 研究方法

2.1 研究地概况

北京市作为首都发展十分迅速,城市建成区面积 1951 年为 111.9 km^2 [6], 1980 年为 346 km^2 [7], 平均增长率为 $7.8 \text{ km}^2 \text{ a}^{-1}$; 1980~1988 年(图 1)北京市城市建设发展较快,城市建成区面积有较大变化;其次是 1991 年后城市的发展更加迅速,城市建成区面积迅速增加,1998 年达 488.3 km^2 [7], 是 1980 年的 1.4 倍,平均增长率为 $7.49 \text{ km}^2 \text{ a}^{-1}$ 。并且,20 世纪 80 年代后,建筑物的结构、高度也发生了很大变化,从 4~5 层的楼房逐渐变为 10~20 层甚至更高的高楼,建筑占地面积也不断扩大。

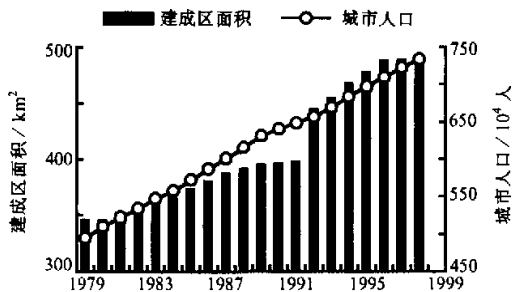


图 1 北京市城市建成面积和人口的年际变化

北京市区城市人口(非农业人口)数量的增加也十分迅猛,1951 年为 195.5 万人 [7], 1980 年增加到 510.4 万人, 1951~1980 年间城市人口的平均增长率为 10.36 万人/a ; 到 1998 年城市人口达 733.7 万人 [7], 人口已是 1951 年的 3.75 倍; 1980~1998 年期间的城市人口平均增长率为 11.75 万人/a ; 如果考虑到暂住(1998 年为 131.9 万人)和

流动人口,则北京市的城市人口已突破 1000 万人。

2.2 研究地点和使用资料

北京朝阳气象站 ($39^\circ 59' \text{N}$, $116^\circ 17' \text{E}$), 位于北京市近郊(东北方), 多年没有迁站, 原四周均是农田, 随着城市面积的扩大, 现已进入城郊结合部, 周围环境和下垫面都有很大改变。另外, 由于北京地区, 下午和傍晚多为偏南风 [5], 更加大了城市对朝阳气象站的影响。如此的环境为分析研究城市化对城市气候的影响提供了较好的场所。

本研究使用了 1965 年~1998 年朝阳气象站的气温和室内气温(气压表附温)资料, 密云气象站室外气温资料, 以及北京市城市人口和建成区面积资料(1979~1998 年)。采用对比方法来探讨城市化对城市室内、外气温的影响作用, 并计算了城市增温效应与城市人口的相关关系。由于北京朝阳气象站 1988 年后, 增加了采暖设施, 11~4 月的室内气温发生了突变, 所以, 本文将资料划分为冬半年(11~4 月)、夏半年(5~10 月)和年均 3 种情况, 对各平均气温(室内、外)的变化特征进行分析, 其中冬半年室内气温使用 1965~1987 年资料。

分析中的城市增温效应用以下方法计算:

(1) 消除大气候的影响: 即计算受城市发展影响较大的朝阳站的平均室内气温和平均气温与受城市发展影响相对较小的密云站气温差值;

(2) 城市增温效应: 用消除大气候影响后的差值序列中起始的 1965~1969 年平均值作为初始值, 计算出与该初始值的差值, 得到的时间系列即可认为是城市发展所造成

的增温效应。

3 结果分析

3.1 气温的年间变化

从图 2 可见，城内外冬半年和年的平均气温均为城内高于城外，室温高于气温，其随时间的变化均呈上升趋势，室内气温的变率大于气温。夏半年的平均气温虽然同样呈现城内高于城外，室内高于室外，室温的变率大于气温，但是平均室温 and 城内平均气温随时间气温升高，而城外的变化不明显，略有下降的趋势。

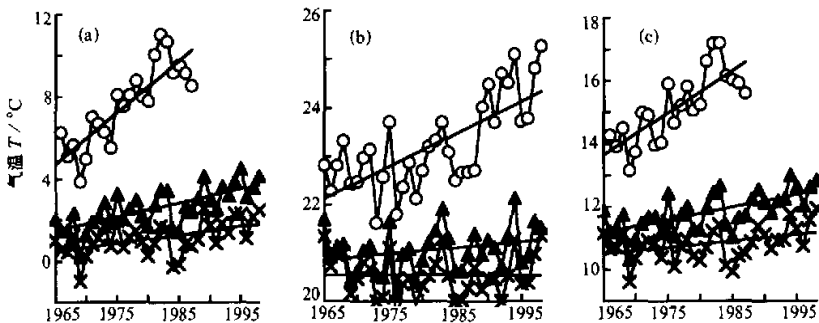


图 2 北京室内外平均气温逐年变化
(a) 11~4 月; (b) 5~10 月; (c) 年
○ 朝阳站平均室内气温; ▲ 朝阳站平均气温; × 密云站平均气温

通过计算平均气温变率（趋势线斜率，表 1），可见北京朝阳气象站平均室内气温变率大于平均气温，冬半年，夏半年，年的平均室内气温变率（ $^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ）分别为 0.2515、0.0664 和 0.1331，为平均气温变率 0.0690、0.0120、0.0405 的 2.7 倍、5.5 倍、3.3 倍。另外，平均室内外气温变率呈现出冬半年大于夏半年，平均室内气温冬半年为夏半年的 4.21 倍，平均气温为 5.76 倍。计算得到年平均气温的变率（ $0.0405^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ）比 Cayan 等^[8]在美国西南部几个城市的研究结果（0.024~0.038）略高，与荒川秀俊等^[9]对日本各大城市 1949 年后的年均气温增温率（0.025~0.069）的研究结果相近。

	表 1 城市内外平均气温变率			$^{\circ}\text{C a}^{-1}$
	冬半年	夏半年	年	
朝阳站平均室内气温	0.2515	0.0664	0.1331	
朝阳站平均气温	0.0690	0.0120	0.0405	
密云站平均气温	0.0421	-0.0007	0.0207	

表中密云站的气温变率可认为是北京地区大气候的变化情况，可见北京地区大气候的气温变率均比城内的平均气温变率要小。冬半年平均气温增加率为 0.0421；夏半年平均气温变率趋近于零，略有降温趋势（-0.007）；年平均气温变率为 0.0207。

3.2 城市增温效应

3.2.1 城市平均增温效应

根据表 1 的气温变率计算出 1965 年到 1998 年 33 年间（冬半年和年平均室内气温为 22 年）的气温增温值（表 2）。可见，朝阳站冬半年、夏半年和年平均室内气温的增温幅度分别为 5.53℃、2.19℃和 2.93℃，增温幅度之大，令人惊讶；平均气温的增温幅度分别为 2.28℃、0.40℃和 1.34℃。而密云站的平均气温的增温值分别为 0.93℃、-0.02℃和 0.68℃。由此可以计算出朝阳站 33 年来，由于城市发展而引起的城市气温增温效应（朝阳站-密云站）分别为 1.35℃、0.42℃和 0.66℃。

表 2 室内外气温的增温值

℃

		冬半年	夏半年	年
计算值	朝阳平均室内气温	5.53	2.19	2.93
	朝阳站平均气温	2.28	0.40	1.34
	密云站平均气温	0.93	-0.02	0.68
	朝阳站气温-密云站气温	1.35	0.42	0.66
实测值	朝阳站平均室内气温	4.20	1.81	2.11
	朝阳站平均气温	2.34	0.33	1.34
	密云站平均气温	1.62	0.03	0.83
	朝阳站气温-密云站气温	0.72	0.30	0.51

进一步计算实测的增温值，即后 5 年（1994~1998 年，室温冬半年和年平均为 1983~1987 年）的平均气温与前 5 年（1965~1969 年）平均气温的差值，可见实测值呈现同样规律：增温值均是平均室内气温大于平均气温，干季大于雨季，仅在数值上略有差异。实测得到 33 年城市气温的增温效应分别为 0.72℃、0.30℃、0.51℃。

由此可知，由于城市化造成的增温幅度，平均室内气温大于平均气温，冬半年大于夏半年。干季的温度年变率和增温幅度均较大，其原因可能是由于冬半年气温较低，城市的增温效应较大；而夏半年气温较高，降水较多，减缓了城市的增温效应。

3.2.2 城市增温效应的逐年变化

进一步探讨城市增温效应的逐年变化。为了消除全球增暖趋势的影响，将朝阳站平

均气温、平均室内气温减去密云站平均气温；然后用 1965~1969 年 5 年的平均值为前期基准值，计算各年与基准值的差，得出北京城市扩大对北京朝阳站平均气温、平均室内气温影响（城市增温效应）的逐年变化（图 3）。

由于城市发展，处于城市热岛陡崖（cliff）区域^[10]的朝阳气象站受城市影响越来越大，增温效应越来越强（图

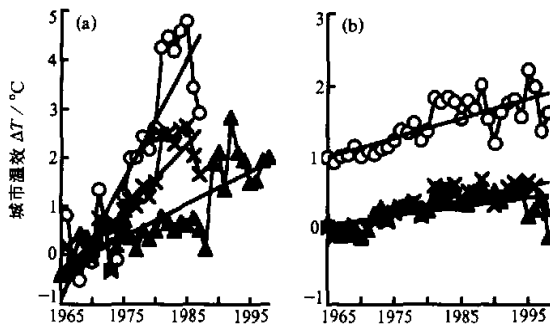


图 3 北京室内外平均城市温效的逐年变化

(a) 室内气温；(b) 室外气温
○11~4 月；▲5~10 月；×年

3)。从图中可见,平均室内气温的增温幅度均大于平均气温;特别是冬半年(图 3a),由于气温低,晴好天气较多,加之城市面积的扩大(图 1)使得平均室内气温与平均气温的城市效应差异增大。夏半年由于北京气温高,雨水较多,城市增温效应受到减缓,平均室内气温的城市温效直到 20 世纪 80 年代后期,才明显出现(图 3b),平均气温的城市增温效应均不明显。由于冬半年和夏半年的综合作用,年平均室内气温的城市增温效应大于平均气温,呈现不断上升趋势。

由以上分析可知,城市化对室内平均温度的影响程度要大于平均气温;城市增温效应应在冬半年大于夏半年。

3.3 城市增温效应与城市发展的关系

为了探讨城市增温效应与城市发展的关系,选取了代表城市发展标志的城市人口为指标,分别计算了城市增温效应 (ΔT) 与城市人口 (R) 的回归关系式 ($\Delta T = b_1 R + b_0$) (图 4),回归系数见表 3。

可见,不论是冬半年还是夏半年,城市增温效应与城市人口均有较好地正相关关系(均通过 0.01 显著性水平),显示了随着城市人口增加,城市增温效应也增强。冬半年影响较大,城市人口对平均室外气温的影响率(b_1)为 0.0243℃/万人,为夏半年(0.0061℃/万人)的 3.98 倍,而年均温差的影响值为 0.0135℃/万人。

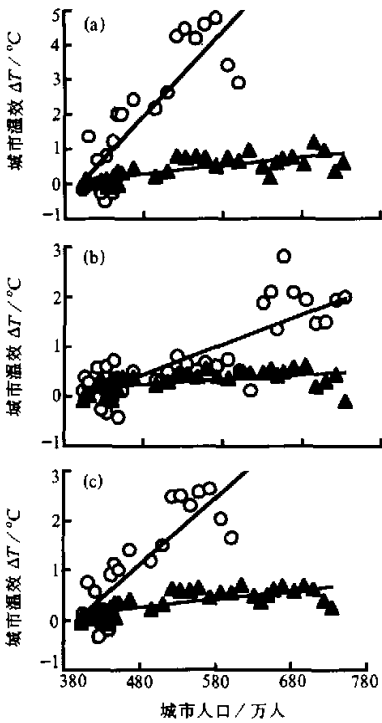


图 4 北京室内外城市温效与城市人口的相关
(a) 11~4 月; (b) 5~10 月; (c) 年
○朝阳站平均室内气温; ▲朝阳站平均气温

表 3 城市增温效应与城市人口的回归关系式系数

	气温			室温		
	b_1	b_0	r	b_1	b_0	r
11~4 月	0.0243	-9.693	0.862 *	0.0023	-0.833	0.732 *
5~10 月	0.0061	-2.493	0.817 *	0.0010	-0.243	0.515 *
年	0.0135	-5.343	0.860 *	0.0017	-0.538	0.727 *

* 通过 $r_{0.01}$ 显著性水平

4 小结

(1) 由于城市化导致了北京城区室内外气温均有增温效应, 33 年实测的冬半年、夏半年、年平均气温变化值分别为: 平均室温升值 4.20℃、1.81℃、2.11℃; 平均气

温升值 2.34°C 、 0.33°C 、 1.34°C ；而城外的气温变率为： 1.62°C 、 0.03°C 、 0.83°C ；城市气温的增温效应为： 0.72°C 、 0.30°C 、 0.51°C 。

(2) 城市化导致的城市增温效应对室内平均温度的影响要大于平均气温，且冬半年要大于夏半年。

(3) 不论是冬半年还是夏半年，城市增温效应与城市人口均呈现正相关关系。城市人口增加对平均室内气温的影响较大，对冬半年的影响大于夏半年。

(4) 本研究不仅探讨了城市化对气温的影响，而且分析了城市化对室内气温的影响，此乃对城市发展与城市气候相互关系研究的一种新尝试。其结果不仅有助于深入探讨城市化对城市气候的影响机制，还可为城市规划、建筑物设计以及城市节能等方面提供参考。

参 考 文 献

- 1 L.巴林基著，傅忠诚等译，房间的热微气候，北京：中国建筑工业出版社，1985，218~280。
- 2 B.吉沃尼著，陈士麟译，人·气候·建筑，北京：中国建筑工业出版社，1982，189~220。
- 3 陈启高编著，建筑热物理基础，西安：西安交通大学出版社，1991，1~40。
- 4 周淑贞，束炯编著，城市气候学，北京：气象出版社，1994，244~334。
- 5 北京市气象局气候资料室编著，北京城市气候，北京：气象出版社，1992，95~120。
- 6 薛凤旋著，北京—由传统国都到社会主义首都，香港：香港大学出版社，1996，99~130。
- 7 北京统计局，北京统计年鉴，1980~1999，北京：统计出版社，1980~1999。
- 8 Cayan, D. R., and A. V. Douglas, Urban influences on surface temperature in the Southwestern United States during recent decades, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1984, **23**, 1520~1530.
- 9 荒川秀俊，相马清二，堤敏一郎など，日本の大都市における気温と湿度の経年変化，*天気*，1970，**17**，239~241。
- 10 Oke, T. R., Inadvertent modification of the city atmosphere and the prospects for planned urban climate, Proc. Symp. Meteorology Related to Urban and Regional Land Planning, Asheville, N. C., World Meteorology Organization, Geneva, 1976, 151~175.

A Study About Urbanization Effect on the Indoor and Outdoor Air Temperature of Beijing City

Zhang Yiping¹⁾, Zhang Deshang²⁾, Li Yourong¹⁾,
Ma Youxin¹⁾ and Liu Yuhong¹⁾

1)(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223)

2)(Beijing Specialty Meteorological Station, Beijing 100089)

Abstract The data roots in the observation of air temperature that those have been effected by city expansion in Beijing city weather station. The result indicate that because Beijing city area expanding and urban population increase, the indoor and outdoor air temperature rises, the range-ability of indoor air temperature go beyond outdoor, Nov. to Apr. exceeded May to Oct.; The correlativity between effect of city temperature increasing and urban area and urban population is considerable. Urban area and urban population increasing and have considerable effect on the average indoor air temperature. This result will reference on studying fundamentals about urbanization effect on urban climate and city planning.

Key words: urbanization; urban climate; air temperature