

文章编号: 1000-0690(2001)03-0272-06

昆明城市发展对室内外平均气温影响的研究

张平¹, 李佑荣¹, 彭贵芬², 刘玉洪¹, 马友鑫¹, 王进欣³

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223; 2. 昆明市气象局, 云南 昆明 650034;
3. 徐州师范大学城环系, 江苏 徐州 221009)

摘要: 利用受城市扩大影响的昆明气象站室内外气温资料和未受城市影响的太华山气象站气温资料, 以及城市建成区面积和城市人口资料, 分析了昆明城市发展对室内外平均气温影响程度。由于城市面积扩大导致昆明的室内外气温均升高, 城市增温效应在 1~4 月较大, 5~12 月较小; 城市增温效应的主要影响因子在上半年是城市人口增加, 而在下半年则主要是城市建成区面积的扩大。另外, 城市增温效应与城市建成区面积、城市人口均有较好地相关关系。城市建成区面积增加对平均气温的影响较大; 而城市人口增加对平均室内气温的影响较大。

关键词: 城市化; 城市气候; 室内气温; 气温

中图分类号: P463.3 文献标识码: A

1 目的和意义

伴随着城市发展, 城市建成区面积扩大和城市人口增加, 使城市气候效应不断增强, 对生活在城市中的人们产生了影响, 已越来越受到人们的关注。目前国外城市气候的研究多集中于亚热带到温带的中高纬地区的发达国家, 低纬热带及发展中国家的研究很少^[1]。我国的城市气候的研究中, 利用长期观测资料对城市化导致的城市气候的研究也多限于上海、北京及沿海等大中城市^[1~6], 而西部低纬高原地区的研究较少, 仅在兰州和呼和浩特有研究^[7~8], 昆明地区仅用短期观测对城市内外的气候差异进行了探讨^[9~11]。

另一方面, 为更好地生活, 人们对建筑物内部的环境要求也越来越高, 为满足人们的需要, 建筑物内部环境也日益受到关注。其中, 室内的气温状况乃是衡量内部环境好坏的指标之一。在建筑领域较多的探讨了环境条件对居住环境的影响^[12~14], 但探讨伴随城市发展, 室内气温长期变化的研究尚不多见。

本文以昆明市为例, 利用受城市发展影响较大的昆明气象站的室内、外气温和处于森林公园中未受城市发展影响的太华山气象站的气温资料以及昆

明市城市化(建成区面积和城市人口)资料, 分析了伴随城市化进程平均室内气温和平均气温的变化特征, 及其与太华山气象站的差异; 并分析了城市增温效应与城市化的关系。其研究结果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; 还可为城市建筑的规划、设计等提供参考。

2 研究方法

2.1 研究地概况

昆明市的城市建成区面积 1959 年为 48.6 km²^[15], 1980 年为 70 km²^[15], 1980~1988 年为昆明城市建设发展较快时期之一, 城市建成区面积有较大变化; 其次是 1995 年后, 昆明城市的发展更加迅速, 城市建成区面积迅速增加, 1998 年达 132 km²^[16], 比 1980 年增加了近 1 倍。并且, 20 世纪 80 年代后, 建筑物的结构、高度、面积也发生很大变化, 从 4~5 层的楼房逐渐变为 10~20 层甚至更高的、建筑面积较高的高楼。

昆明市区城市人口数量的增加也十分迅猛, 1957 年为 84.54 万人^[15], 1980 年增加到 126.3 万人^[15], 1957~1980 年间城市人口的年均增长为 1.82 万人/a; 到 1998 年城市人口达 173.06 万人^[16],

收稿日期: 2000-05-15; 修订日期: 2000-10-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(59836250)资助。

作者简介: 张一平(1957-), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向是生态气候, 包括有城市气候、森林气象、农业气象。E-mail: yipingzh@xtbg.

人口已是 1957 年的 2.1 倍; 1980~1998 年期间的城市人口年均增长为 2.59 万人/a; 后期的人口增长为前期的 1.42 倍。如果考虑到流动人口, 则昆明市的城市人口已突破 200 万人。

2.2 研究地点、使用资料和方法

昆明气象站(25°01' N, 102°41' E)原位于昆明郊外, 四周均是农地, 随着城市面积的扩大, 现已进入城郊接合部, 已被建筑物所包围, 周围的下垫面也有很大改变。如此的变化为分析研究城市化对城市气候的影响提供了较好的场所。太华山气象站(24°57' N, 102°37' E)与昆明气象站相距约 6km, 由于位于郊外森林公园中, 其观测环境基本上没有变化, 加之处于昆明气象站的上风方, 可以作为基准站。

本研究使用的资料为 1968 年~1998 年昆明气象站的气温、室内气温(气压表附温)和太华山气象站的气温(基准), 以及昆明市城市化(建成区面积和城市人口)资料。采用比较方法来探讨城市化对平均室内气温和平均气温的影响作用, 并对各月和年的平均室内气温和平均气温变化特征进行分析; 通过计算城市增温效应与城市化参数(建成区面积和城市人口)的二元回归关系, 探讨了城市化对城市增温效应的综合作用。

3 结果分析

3.1 气温的逐年变化趋势

从图 1 可见: 各站的年平均气温的变化均呈现上升趋势, 这与全球气温升高的变化趋势吻合。其中, 太华山气象站的年平均气温的变化较小, 而昆明气象站年平均室内气温变化最大。

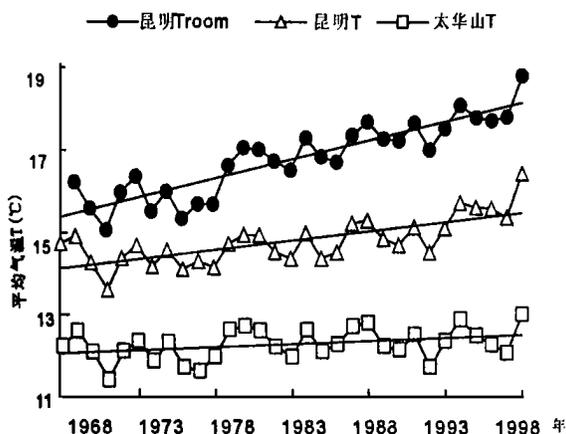


图 1 各站点年平均气温逐年变化

Fig. 1 Annual variation of mean air temperature in every station

通过求算各月平均气温变率(趋势线斜率, 表 1), 可见, 各月平均气温变率的变化趋势为昆明 $T_{room} >$ 昆明 $T >$ 太华山 T ; 不同月份之间的变化趋势为昆明 T_{room} 和昆明 T 的变率均是 11~4 月较大; 而 5~10 月较小; 但是太华山 T 的变率一年中都较小, 最大的 11 月仅为 0.047 °C/a, 在 3 月甚至为负值(-0.0085 °C/a)。昆明站年平均室内气温变率为 0.0937 °C/a, 约为太华山气象站年平均气温变率(0.0156 °C/a)的 6 倍。年平均气温变率为 0.0459 °C/a, 为太华山气象站平均气温变率的 2.94 倍。其中年平均气温的增温变率比 Cayan 在美国西南部几个城市的研究结果(0.024~0.038 °C/a)略高^[17]; 与荒川秀俊对日本各大城市 1949 年后的年均气温增温率(0.025~0.069 °C/a)的研究结果相近^[18]。

表 1 各站点的平均气温变率(°C/a)

Table 1 Mean air temperature in every station

月	昆明站室内气温	昆明站气温	太华山站气温
1	0.1113	0.0624	0.0264
2	0.1005	0.0549	0.0010
3	0.1180	0.0529	-0.0085
4	0.1370	0.0724	0.0149
5	0.0926	0.0242	0.0006
6	0.0854	0.0379	0.0248
7	0.0541	0.0171	0.0022
8	0.1001	0.0466	0.0236
9	0.0684	0.0318	0.0034
10	0.0738	0.0451	0.0238
11	0.0902	0.0568	0.0470
12	0.0804	0.0489	0.0276
年	0.0937	0.0459	0.0156

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 1968 年到 1998 年 30 年间的月气温增温值(气温变率 × 30)(图 2)。可见, 30 年间太华山气象站各月平均气温的增温幅度在 -0.255~1.14 °C/30a 之间, 除 3 月之外, 其余增温值均大于零。由于太华山站的周围环境基本上没有改变, 大多数月份增温值为正, 可以认为是受全球气候变暖的影响所至。

昆明站平均室内气温的增温幅度均大于昆明站和太华山站的平均气温, 其年变化为 12~4 月较大, 5~11 月稍小, 最大的 4 月可达 4.11 °C/30a; 而最小的 7 月也达 1.623 °C/30a。昆明站平均气温的增温

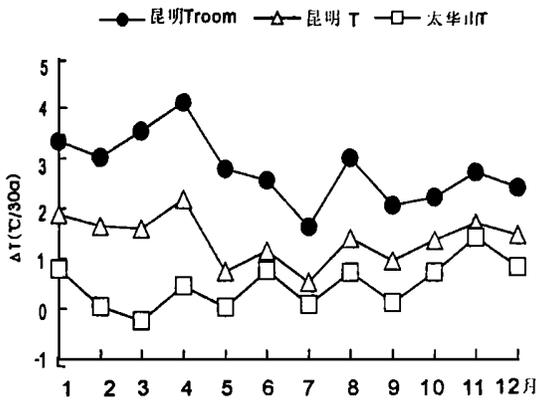


图 2 各站月平均气温增温值年变化

Fig. 2 Variation of the increment of mean air temperature in every station

幅度在 0.726~2.172 °C/30a 之间, 同样是 4 月最大 (2.2 °C/30a), 7 月最小 (0.5 °C/30a)。

计算求出消除气候的影响后城市发展导致的城市增温效应, 即求出昆明站的平均室内气温增温值、平均气温增温值与太华山站气温增温值的差值 (计算值)。另外, 还计算了实测温度的城市增温效应, 即计算出后 5 年 (1994~1998 年) 平均气温与前 5 年 (1968~1972 年) 平均气温的差值, 然后再求出昆明站与太华山站的实测增温值的差。

可见, 两种方法得到的结果在变化趋势上是一致的。不论是平均室内气温还是平均气温, 城市增温效应在 1~4 月较大, 5~12 月较小; 在相同月份, 平均室内气温的增温率均大于平均气温。在数值方面, 平均室内气温的差异较大; 干季较明显; 而平均气温的差异相对较小。

已有众多研究表明^[1-11, 17-19], 城市区域由于下垫面多为混凝土或沥青构成, 其热力特性与郊外的差异, 形成城市内的气温高于郊外 (城市热岛) 效应。在昆明地区由于受西南季风、低纬高原等因素的影响, 形成了干季 (11~4 月) 和雨季 (5~10 月) 分明的气候特征。在干季特别是 3~4 月, 晴天日数多, 加之处于低纬, 太阳高度较高, 昼间接受到的太阳辐射较强, 导致城市热岛效应显著, 同时也造成城市增温效应干季较强, 3~4 月更加显著, 平均室外气温的城市效应最大值 (图 3b) 为 1.8~2.2 °C/30a。

而周围环境气温的增加, 使由混凝土和砖瓦构成的建筑物内气温的城市增温效应更加突出, 平均室内气温的增温幅度大于室外气温 (图 3a), 大多数

月份在平均室外气温的 50% 以上; 在城市增温效应较大的 3~4 月, 平均室内气温的城市增温效应最大值可大于 3.0 °C/30a, 增温幅度之大, 令人惊讶。

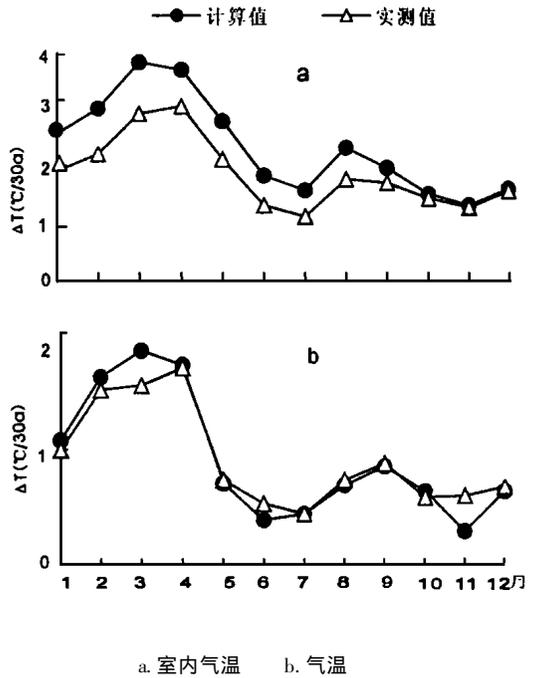


图 3 月平均气温城市温效逐年变化

Fig. 3 Variation of urban effect of air temperature in Kunming City a. Indoor air temp. b. Outdoors air temp.

昆明地区在 5 月中旬进入雨季, 雨季期间由于云雨天较多, 太阳辐射被云遮挡, 加之地处高原, 城市内外的气温差异减小; 而干季前期的 11~12 月, 太阳高度较低, 地面所受太阳辐射较小, 城市增温效应仍不明显; 由此导致 5~12 月城市增温效应的数值相对较小。

年平均气温的增温值和城市增温效应为, 太华山站年的增温幅度计算值和实测值均为 0.47 °C/30a, 即可以认为由于全球温暖化影响, 30 年间昆明地区年平均气温升高 0.47 °C。

30 年间昆明的年平均室内气温的增温幅度为 2.81 °C/30a (计算值, 下同); 年平均气温的增温幅度为 1.38 °C/30a; 而 30 年间由于城市化造成的增温幅度 (城市增温效应), 年平均室内气温大于平均气温, 年平均室内气温增温 2.34 °C/30a, 约为年平均气温增温值 (0.91 °C/30a) 的 2.57 倍。

3.2.2 城市增温效应的逐年变化

昆明城市扩大对昆明站年平均气温、年平均室内气温影响 (城市增温效应) 的逐年变化如图 4 所

示。

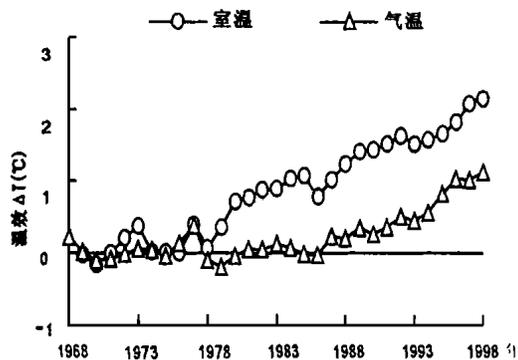


图 4 年平均气温城市温效逐年变化

Fig. 4 Annual variation of urban effect of annual mean air temperature in Kunming City

在 60~ 70 年代, 由于城市发展较缓, 城市增温效应对当时处于郊外的昆明气象站几乎没有影响(差值趋于零), 到了 80 年代初期, 伴随城市化的进程加快, 城区面积扩大, 城市增温效应开始对昆明气象站产生影响。

年平均室内气温的城市增温效应在 80 年代初期出现, 并呈现不断上升趋势, 到 1998 年达 2.1℃; 年平均气温的城市增温效应在 80 年代末期出现, 同样呈现不断上升趋势, 1998 年达 1.1℃。

由以上分析可知, 城市化对平均室内温度的影响程度要大于平均气温, 并且开始产生影响的时间也是平均室内气温早于平均气温。

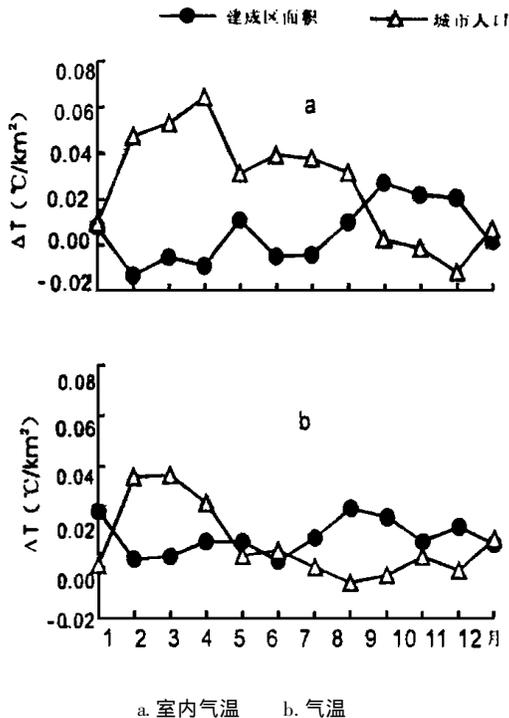
3.3 城市增温效应与城市发展的关系

为探讨城市建成区面积扩大和城市人口增加对城市增温效应的综合作用, 计算了各月城市增温效应(ΔT)与城市建成区面积(S)以及城市人口(R)的二元回归关系式($\Delta T = b_1S + b_2R + b_0$)。其回归系数 b_1, b_2 可以作为城市建成区面积和城市人口增加所导致的城市增温效应的增温率, 其变化如图 5 所示。

总的来看, 城市建成区面积和城市人口对城市增温效应的影响程度是不同的。不论是平均室内气温还是平均气温, 城市建成区面积增加导致的平均气温的增温率与城市人口增加造成的增温率呈现相反的变化趋势, 城市建成区面积的增温率由小到大, 而城市人口的增温率则由大到小, 即城市建成区面积增温率小时, 则城市人口增温率大; 反之亦然。

对于月平均室内气温(图 5a), 在 12~ 8 月城市

建成区面积的增温率较小($-0.0130 \sim 0.0111 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km}^2$), 以 2 月最小($-0.0130 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km}^2$); 并且有的月份 $b_1 < 0$, 显示了城市建成区面积增大, 反而导致平均室内气温降低。这可能是由于伴随城市建成区面积增加, 建筑物高度也不断增高, 使得室内的光照等受到影响, 导致平均室内气温微降。9~ 11 月, 城市建成区面积的增温率略有增加($0.0207 \sim 0.0274 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km}^2$), 最大值出现在 9 月($0.0274 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km}^2$)。城市人口的增温率在 2~ 8 月较大($0.0313 \sim 0.0646 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{万人}$), 最大值在 4 月($0.0646 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{万人}$), 即随着城市人口增加, 人为热增多, 使得平均室内气温升高, 城市人口的对城市增温效应的作用增强; 而在 9~ 12 月城市人口的增温率大幅度下降, 变化幅度为 $-0.0117 \sim 0.0098 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{万人}$, 比 2~ 8 月小了 1 个数量级, 最小值为 11 月($-0.0117 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{万人}$)。



a. 室内气温 b. 气温
图 5 月平均气温城市增温率年变化
Fig. 5 Variation of ratio of urban effect of mean air temperature in Kunming City
a. Indoor air temp. b. Outdoors air temp.

对于平均气温来说(图 5b), 城市建成区面积和城市人口的增温率的变化趋势与平均室内气温相似, 2~ 6 月城市建成区面积的增温率较小($0.0025 \sim 0.0103 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km}^2$), 最小值($0.0025 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km}^2$) 出现在 6 月; 在 7~ 1 月增温效应有所增大($0.0119 \sim 0.0235 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km}^2$), 其中 8 月为最大($0.0235 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km}^2$); 另外

与平均室内气温有所不同,平均气温的城市建成区面积的增温率均为正值,显示了不论在那个月,随着城市建成区面积的扩大,对平均气温都有增温效应。城市人口的增温率在 2~ 4 月较大(0.025 7~ 0.036 4℃/万人),最大值在 3 月(0.036 4℃/万人),显示了在 2~ 4 月,城市人口的增加对城市增温效应的贡献较大;而 5~ 1 月增温率减小,甚至出现负值(- 0.005 8~ 0.011 4℃/万人),最小值出现在 8 月(- 0.005 8℃/万人)。

比较图 5a, b 可见,城市建成区面积增加对平均室内气温和平均气温的增温效应的贡献均在下半年较大,对平均气温的增温效应稍小;而在上半年城市建成区面积的贡献较小,其中平均气温均为正值,平均室内气温有几个月份增温率小于零。城市人口增加对平均室内气温和平均气温的增温效应的贡献主要在上半年,特别是在晴天较多的 2~ 4 月增温效应较大;增温率平均室内气温大于平均气温,最大值相差接近 1 倍;影响时期也是平均室内气温(2~ 8 月)

长于平均气温(2~ 4 月);而在阴雨天气较多的下半年城市人口对城市增温效应的贡献,不论是平均室内气温还是平均气温均较小,甚至出现负效应。

由以上分析可知,城市增温效应的主要影响因子在上半年是城市人口增加;而在下半年则主要是城市建成区面积的扩大。

另外,计算了年平均室内气温和年平均气温的城市增温效应与城市建成区面积和城市人口的二元回归关系,其系数见表 2。可见城市建成区面积增加造成的增温率(b_1),年平均室内气温为 0.005 4℃/km²,年平均气温增温率为 0.012 0℃/km²,为平均室内气温增温率的 2.2 倍;城市人口增加导致的增温率(b_2),年平均室内气温为 0.025 9℃/万人,平均气温增温率为 0.009 8℃/万人,仅为平均室内气温的增温率的 37.8%。以上结果显示了城市化对年平均城市增温效应的综合作用中,城市建成区面积增加对年平均气温的影响较大;而城市人口增加对年平均室内气温的影响较大。

表 2 城市增温效应与城市建成区面积和城市人口的回归关系系数

Table 2 Coefficient of recursive relation of urban effect of air temperature to urban area and urban population in Kunming City

平均室内气温				平均气温			
b_1	b_2	b_0	R	b_1	R_2	b_0	R
0.005 3	0.026 0	- 3.077 5	0.960 8*	0.012 0	0.009 8	0.054 4	0.936 9*

* 通过 F 0.05 检验

4 小 结

(1) 由于全球温暖化的影响,昆明地区年平均气温升高 0.47℃/30a。

(2) 昆明地区由于城市发展导致的城市增温效应(室内外气温),均在 1~ 4 月较大,5~ 12 月较小;在相同月份,平均室内气温的增温率均大于平均气温;而且开始产生影响的时间也早于平均气温。

(3) 昆明地区由于城市发展导致的城市增温效应的主要影响因子在上半年是城市人口增加;而在下半年则主要是城市建成区面积的扩大。

(4) 昆明城市增温效应与城市建成区面积、城市人口均有较好地相关关系。城市建成区面积增加对年平均气温的影响较大;而城市人口增加对年平均室内气温的影响较大;城市建成区面积每增加 1km²,年平均室内气温将升高 0.005 4℃;年平均气温升高 0.012℃。而城市人口增加 1 万人,年平均室内气温升高 0.025 9℃;年平均气温升高 0.009 8℃。

参考文献:

[1] 周淑贞,束炯编著.城市气候学[M].北京:气象出版社,1994. 244~ 334.

[2] 周淑贞.上海近数十年城市发展对气候的影响[J].华东师范大学学报(自然科学版),1990,4(4): 64~ 73.

[3] 周淑贞.上海城市发展对气温的影响[J].地理学报,1983,38(4): 397~ 405.

[4] 陈沈斌,潘莉卿.城市化对平均平均气温的影响[J].地理学报,1997,52(1): 27~ 36.

[5] 北京市气象局气候资料室编著.北京城市气候[M].北京:气象出版社,1992. 110~ 120.

[6] 葛向东,赵咏梅.城市化对上海的增温效应[J].云南地理环境研究,1999,11(1): 44~ 50.

[7] 白虎志,张焕儒,张存洁.兰州城市发展对局地气候的影响[J].高原气象,1997,16(4): 410~ 416.

[8] 邱瑞琦,薛起刚.呼和浩特城市气候特征[J].气象,1997,23(1): 32~ 35.

[9] 张一平,彭贵芬,张庆平.城市区域屋顶与地上的风速和温度特征分析[J].地理科学,1998,18(1): 45~ 52.

[10] 张一平,彭贵芬,李玉麟.低纬高原城市昆明的气候特征[J].

- 高原气象, 1997, 16(3): 319~ 324.
- [11] 黄逸生, 王霞斐, 陈明森等. 昆明城市热岛及大气质量探测报告. 滇池地区生态环境与经济综合考察报告[C]. 昆明: 云南科技出版社, 1988. 131~ 149.
- [12] L. 巴赫基著, 傅忠诚等译. 房间的热微气候[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985. 218~ 280.
- [13] B. 吉沃尼著, 陈士麟译. 人·气候·建筑[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1982. 189~ 220.
- [14] 陈启高编著. 建筑热物理基础[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1991. 1~ 40.
- [15] 昆明市规划设计研究院. 昆明市城市规划[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1995. 7~ 22.
- [16] 云南省统计局编. 云南统计年鉴(1998) [Z]. 北京: 中国统计出版社, 1999. 395~ 397.
- [17] Cayan, D. R. and Douglas A. V. . Urban influences on surface temperature in the Southwestern United States during recent decades[J]. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1984, 23: 1520~ 1530.
- [18] 荒川秀俊, 相马清二, 缙敬一郎など. 日本の大都市における气温と湿度の经年变化[J]. 天气, 1970, 17: 239~ 241.
- [19] Oke, T. R. . Inadvertent modification of the city atmosphere and the prospects for planned urban climate[M]. Proc. Symp. Meteorology Related to urban and regional land planning, Asheville, N. C. , World Meteorology, Organiz , Geneva, 1976. 151~ 175.

A Study on Effects of Urbanization on the Mean Indoor and Outdoors Air Temperature of Kunming City

ZHANG Yi-ping¹, LI You-rong¹, PENG Gu-fen², LIU Yi-hong¹, MA You-xin¹, WANG Ji-xing³

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS, Kunming, Yunnan 650223; 2. Kunming Meteorological Bureau, Kunming, Yunnan 650034; 3. Xuzhou Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221009)

Abstract: The data roots in the observation of air temperature that those have been effected by city expansion in Kunming City weather station and have been un-effected by urbanization in Taihua Mountain station. The results indicate that with Kunming City area expanding, the indoor and outdoors air temperature rises, the effect is bigger in Jan. to Apr. and that is lesser in May to Dec. The correlativity between effecton of city temperature increasing and urban area and urban population is considerable. Urban area increasing has considerable effect on the average air temperature; while urban population increasing obviously affects average air temperature of indoor. This result will reference on studying fundamentals about urbanization effect on urban climate and city planning.

Key words: Urbanization; Urban climate; Indoor air temperature; Air temperature