

# 城市发展对室内外气温影响初探

张一平<sup>1</sup>, 李佑荣<sup>1</sup>, 彭贵芬<sup>2</sup>, 刘玉洪<sup>1</sup>, 马友鑫<sup>1</sup>, 王进欣<sup>1</sup>

(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)

**摘要:** 本文以昆明市为研究对象。昆明地区受全球气候变暖影响年平均气温约升高 0.47℃/a; 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; 在相同月份, 平均室内气温的增温率均大于平均气温; 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:** X16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-947x (200) 增-0030-05

## 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, 城市气候效应也不断增强, 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。

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建成区面积和城市人口的关系。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 48.6km<sup>2</sup>[1], 1980 年为 70km<sup>2</sup>[1], 在十年动乱之后, 1980~1988 年(图 1)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 132km<sup>2</sup>[2], 比 1980 年增加了近 1 倍。并且, 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

渐向 10~20 层甚至更高的、建筑面积较大高楼转变。

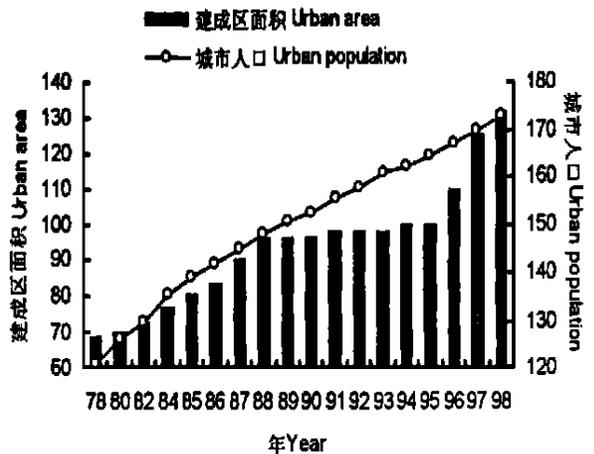


图 1 昆明市城市建成区面积和城市人口的逐年变化

昆明市城市人口数量的增加也十分迅猛, 1957 年为 84.54 万人<sup>[1]</sup>, 1980 年增加到 126.3 万人<sup>[1]</sup>, 1957~1980 年间城市人口的年均增长率为 1.82 万人/a; 到 1998 年城市人口达 173.06 万人<sup>[2]</sup>, 已是 1957 年的 2.1 倍; 1980~1998 年期间的城市人口年均增长率为 2.59 万人/a; 后期的人口增长率为前期的 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,

收稿日期: 2000-04-13

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, 男, 1957 年 7 月生, 博士, 研究员, 已在国内外发表论文 50 余篇。

由于位处郊外森林公园中，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），以及昆明市城市建成区面积资料。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，并求算了城市增温效应与城市建成区面积的相关关系。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；并通过计算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，探讨了城市建成区面积和城市人口对城市增温效应的综合作用。

城市增温效应用以下方法求算：

- (1) 消除大气候的影响：即求算昆明站的平均室内气温和平均气温与太华山站气温差值；
- (2) 求城市增温效应：用消除大气候影响后的差值序列中起始的 1968~ 1972 年的平均值作为初始值，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 气温的逐年变化趋势

从图 2 可见：各站年平均气温的变化均是呈现上升趋势，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。

表 1 各站点的平均气温变率 (°C/a)

|    | 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  |

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趋势为昆明平均室内气温 > 昆明平均气温 > 太华山平均气温；不同月份之间的变化趋势为昆明站平均室内气温和平均气温的变率均是 11~ 4 月较大（室温 0.085~

0.137°C/a；气温 0.048~ 0.072°C/a）；而 5~ 10 月较小（室温 0.054~ 0.100°C/a；气温 0.017~ 0.047°C/a）；但是太华山站的平均气温变率一年中都较小，11 月最大（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，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 Cayon 在美国西南部几个城市的研究结果（0.024~ 0.38°C/a）略高<sup>[3]</sup>；与荒川秀俊对日本各大城市 1949 年后的年均气温增温率（0.0250.069°C/a）的研究结果相近<sup>[4]</sup>。

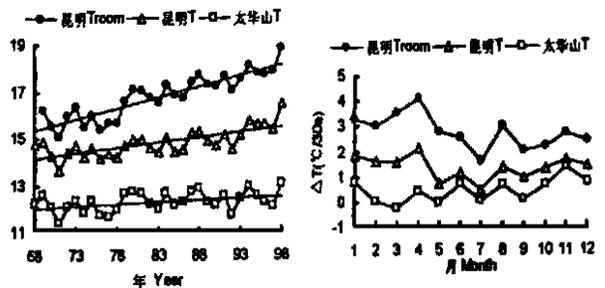


图 2 各站点的年平均气温逐年变化 图 3 各站平均气温增温值的年变化

#### 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 年间的气温增温值（气温变率 × 30）（图 3）。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致。

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）。

为了消除大气候的影响，得出城市发展导致的城市增温效应，分别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。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。其结果如图 4 所示。

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。所以可以认为用趋势斜率的计算方法是可行的。

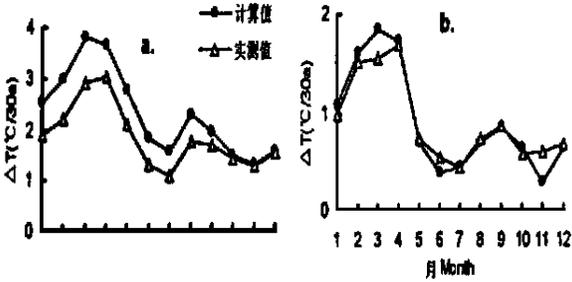


图 4 昆明城市增温效应的年变化  
a. 室内气温 b. 气温

从图 4a 来看，平均室内气温的城市增温效应计算值在 3 月最大 (3.8°C/30a)，实测值在 4 月最大 (3.0°C/30a)，增温幅度之大，令人惊讶。5~ 12 月城市增温效应的数值较小，变化幅度为 1.3~ 2.8°C/30a (计算值) 或 1.1~ 2.1°C/30a (实测值)。

平均气温的城市增温效应 (图 4b)，同样是计算值在 3 月最大 (2.2°C/30a)，实测值在 4 月最大 (1.8°C/30a)，大多数月增温幅度在平均室内气温的 50% 以下。

年平均气温的增温值和城市增温效应如表 2 所示。可见，太华山站的年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。

表 2 各站点的年平均增温值和城市增温效应 (°C/30a)

| 项目              | 计算值  | 实测值  |
|-----------------|------|------|
| 昆明站室内气温         | 2.81 | 2.35 |
| 昆明站气温           | 1.38 | 1.39 |
| 太华山站气温          | 0.47 | 0.47 |
| 昆明站室内气温与太华山站气温差 | 2.34 | 1.88 |
| 昆明站气温与太华山站气温差   | 0.91 | 0.92 |

由以上分析可知，12~ 4 月的温度年变率、增温幅度和城市增温效应的数值均较大，而 5~ 11 月较小。其原因可能是由于昆明地区 12~ 4 月处于干季，晴天较多，导致城市的增温效应较大；而 5~ 11 月为雨季或雨季后期，阴雨天较多，而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，将昆明站平均气温、平均室内气温减去太华山站平均气温；然后用 1968~ 1972 年 5 年的平均值为前期基准值，求算各年与基准值的差，得出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 (图 5)。

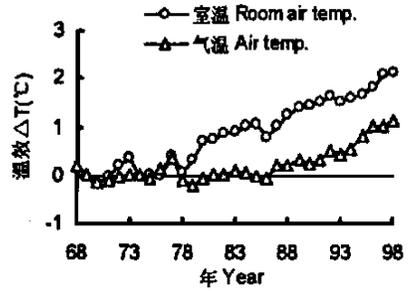


图 5 昆明城市年均温增温效应的年变化

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 (图 1)，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°C；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°C。

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

#### 3.3.1 城市增温效应与城市建成区面积和城市人口的关系

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建成区面积和城市人口为指标，分别求算了昆明年平均室内外气温的城市增温效应与城市建成区面积，以及与城市人口的单相关 (图 6)，考虑到城市增温效应在 80 年代初

开始影响到昆明站, 所以使用资料为 1978~ 1998 年。从图 6 可见, 城市增温效应与城市建成区面积, 以及与城市人口均有较好地相关关系, 并且均呈现正相关, 显示了随着城市面积扩大, 城市人口增加, 城市增温效应也增强。

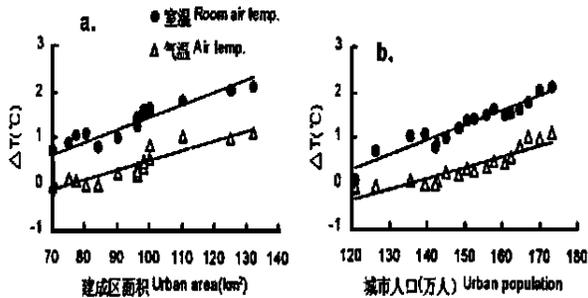


图 6 昆明城市增温效应与城市化的相关  
a. 城市建成区面积 b. 城市人口

### 3.3.2 城市建成区面积和城市人口对城市增温效应的综合作用

为进一步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 ( $\Delta T$ ) 与城市建成区面积 ( $S$ ) 以及城市人口 ( $R$ ) 的二元回归关系式 ( $\Delta T = b_1 S + b_2 R + b_0$ )。由于回归系数  $b_1$ ,  $b_2$  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 7 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, 则城市人口增温率大; 反之亦然。

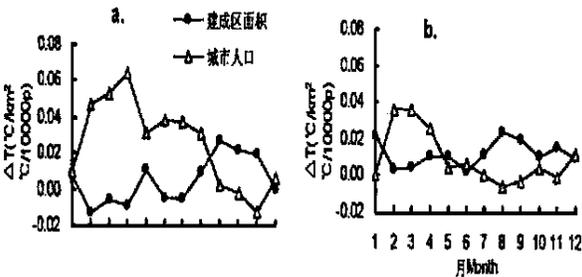


图 7 平均气温城市增温率的年变化

对于平均室内气温 (图 7a), 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。在 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 ( $-0.0117 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{万人}$ )。

对于平均气温来说 (图 7b), 城市建成区面积和城市人口增温率的变化趋势与平均室内气温相似, 在 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, 均对平均气温有增温效应。城市人口的增温率在 2~ 4 月较大 ( $0.0257 \sim 0.0364 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{万人}$ ), 最大值在 3 月 ( $0.0364 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{万人}$ ), 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 ( $-0.0058 \sim -0.0114 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{万人}$ ), 最小值出现在 8 月 ( $-0.0058 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{万人}$ )。

比较图 7a, 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贡献较小, 其中平均气温均为正值, 平均室内气温有多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。

可见,城市建成区面积增加造成的增温率 (b<sub>1</sub>),年平均室内气温为 0.0054℃/km<sup>2</sup>,年平均气温增温率为 0.0120℃/km<sup>2</sup>,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<sub>2</sub>),年平均室内气温为 0.0259℃/万人,平均气温增温率为 0.0098℃/万人,仅为平均室内气温增温率的 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。

#### 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不论是平均室内气温还是平均气温,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 1km<sup>2</sup>,年平均室内气温将升高 0.0054℃;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 0.0259℃;年平均气温升高 0.0098℃。

(5) 本研究不仅探讨了城市发展对气温的影响,而且分析了城市发展对室内气温的影响,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] 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.
- [2] 云南省统计局编. 云南统计年鉴 (1998) [M]. 北京: 中国统计出版社, 1999: 395-397.
- [3] Cayan, D.R., et al., Urban influences on surface temperature in the Southwestem United States during recent decades [J]. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1984, 23: 1520-1530
- [4] 荒川秀俊, 相马清二, 缙敬一郎など [J]. 日本の大都市における气温と湿度の经年变化. 天气, 1970, 17: 239-241.
- [5] Oke, T.R., Inadvertent modification of the city atmosphere and the prospects for pianned urban climate, Proc. Symp Meteorology Related to urban and regional land planning, Asheville, N.C., world Meteorology, Organiz, Cereva, 1976, 151-175.

### Effect of Urban Development to Indoor and Outdoor Temperature

Zhang Yiping<sup>1</sup>; Li Yourong<sup>1</sup>; Peng Guifen<sup>2</sup>; Liu Yuhong<sup>1</sup>; Ma Zhixin<sup>1</sup>; Wang Jimin<sup>1</sup>

( 1. Xishuangbanna Tropical Botanic Garden of China Academy of Sciences, Kunming Yunnan 650223;

2. Kunming Meteorology Bureau, Kunming 650034)

**Abstract:** Influenced by the warming up of the global temperature, the annual average temperature of Kunming rises 0.47℃/a. The expansion of urban areas causes the rise of both indoor and outdoor temperaeure. The effect reaches its maximum between January and April and the minimum between May and December. In the same month, the rise rate of average indoor temperature is higher than the average tmeperature. The urban temperature rise closely is related to the urban coverage, which affects the average temperature the most and the urban population, which affects the average indoor temperature the most.

**Key words:** urbanization; urban meteorology; indoor temperature; temperature