

文章编号: 1004-4965(2007)03-0293-07

昆明城市庭院气温垂直分布特征及不同下垫面 对其影响的研究

张会宁^{1,2}, 张一平², 何云玲^{2,3}, 周跃¹

(1. 昆明理工大学环境科学与工程学院, 云南 昆明 650093;
2. 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 云南 昆明 650223;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 以低纬度高原城市昆明市为对象, 利用城市庭院内 1 月(冬季)和 7 月(夏季)不同高度气温实测资料
和不同下垫面(球场、草地和屋顶)气温的实测资料, 分析了城市庭院气温垂直分布特征及不同下垫面对其的影
响。得出: 城市庭院气温垂直分布在不同时间(季节、昼夜)具有不同特征; 在后半夜和下午, 庭院气温垂直变
化程度大于时间变化; 而上午和前半夜时间变化程度大于垂直变化; 在冬季屋顶面对屋顶高度附近的庭院气温
具有较强的加热作用, 使得庭院气温在屋顶高度附近形成逆温, 导致垂直分布曲线发生改变; 混凝土结构的下
垫面, 对庭院近地层大气具有加热作用, 而草地则具有冷却作用, 其效应在冬季明显。

关 键 词: 城市庭院; 气温; 下垫面; 垂直分布; 昆明
中图分类号: P423 **文献标识码:** A

1 引 言

随着社会不断发展和城市化进程的加快, 人口急剧向城市集中, 导致城市规模不断扩大, 城市人口不断增加, 使得城市环境发生巨大的变化。自 1818 年 Howard^[1]通过观测、分析, 发现了伦敦城区气温高于其四周郊区气温, 提出了著名的“城市热岛”效应以来, 各国学者在不同城市对城市热岛开展了大量研究。在城市热岛效应的研究中, 城市热岛垂直分布特征一直是研究热点之一, Duckworth^[2]等在美国旧金山城区和近郊利用系留探空气球进行低空气温探测, 发现城市热岛所及高度约在 70~100 m, 在此高度之上, 城市上空气温要低于郊区, 提出了“交叉效应(Crossover effect)”概念。其后, 城市热岛效应的垂直结构研究得到了较大的进展^[3-10]。但是, 对城市热岛垂直分布研究多集中在较大尺度(水平范围在 300~1 000 m 间), 较小尺度的研究则是对城市街谷开

展研究^[11-16]; 对城市庭院的垂直气候特征的研究并不多见。

中国城市庭院的布局有别于欧美国家, 四周多为高大楼房, 中间留有空地, 地面为草坪、树木及混凝土结构的道路球场等, 这种布局导致庭院大气垂直结构将不同于欧美国家的街谷, 而此类型的城市庭院气候的垂直分布有什么特征和变化规律? 其形成机制是什么? 对城市热岛立体效应有什么贡献? 等等, 乃是深入研究我国城市气候形成机制所必须关注的焦点问题。在该领域, 张一平等^[17-18]通过观测, 分析了庭院小气候特征, 并且指出占城市表面积很大比率的屋顶面上, 温度和风速也存在城内外差异, 影响着城市热力状况。

本文选择位于昆明市城区内的中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部庭院为研究对象, 利用 1 月(冬季)和 7 月(夏季)的小气候垂直观测资料, 初步分析了城市庭院气温的垂直分布规律和不同下垫面对庭院气温垂直分布的影响。其结果可为深入研究城

收稿日期: 2006-02-17; 修订日期: 2006-05-18

基金项目: 云南省自然科学基金项目(2003D0071M); 国家自然科学基金重点项目(59836250)共同资助

作者简介: 张会宁(1980-), 男, 河北人, 硕士研究生, 主要研究方向: 生态气候。e-mail: zhanghn@xtbg.ac.cn

通讯作者: 张一平, 云南省昆明市学府路 88 号中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 电话: 0871-5160904。E-mail: yipingzh@xtbg.ac.cn

市庭院小气候形成机制及其对城市热岛效应的贡献,以及探讨城市热岛效应的形成机理和城市生活环境改善等方面提供科学依据和参考。

2 研究方法

2.1 研究地概况

昆明市地处低纬度(25°N , 103°E), 高海拔(1 892 m)地区。受地理位置和大气环流影响, 四季不分明, 而干季(11~4 月)、雨季(5~10 月)区别显著。

2003 年昆明的城市建成区面积已达 185 km^2 , 人口 224.22 万^[19]。近年来随着城市化进程加快, 城市区域各种建筑物和不同下垫面对城市气候的影响也日趋加重。

2.2 观测方法及项目

观测地点为位于昆明城区西北部的中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部庭院内。分别在 2005 年 1 月 26~28 日和 2005 年 7 月 29~31 日进行了观测。垂直观测选用来悬挂布标广告用的气球, 将 2 通道自记温度计(TR-71 型, 日本 T & D 株式会社制造), 置于小型百叶箱内, 按距地面的不同高度(2005 年 1 月, 高度分别是 3、5、10、15、30 m; 2005 年 7 月, 高度分别是 3、5、10、20、30 m)悬挂在气球牵引绳上, 记录干、湿球温度, 每 5 min 记数 1 次, 连续观测 3 天。观测期间风速较小(1 月风速日均值为 0.93 m/s , 7 月风速日均值为 1.26 m/s), 风导致气球偏离垂直位置造成的误差较小, 未超出误差范围, 可忽略不计。

同时, 在庭院中央的篮球场(混凝土, 本论文中简称球场)、办公楼屋顶(高 14.5 m, 混凝土砖)和草地各设置一个观测点, 在 0.5 m 和 1.5 m 处设置了小百叶箱(内置 TR-71 自记温度计), 记录干、湿球温度。在各观测点还观测了总辐射(天空辐射表, 长春气象仪器厂制造); 净辐射(M-41, 日本 EKO 株式会社制造); 热流量(热量板, 中国预防医学科学院环境与卫生

工程研究所制造), 下垫面表面温度(505 型红外辐射温度计, 日本 MINOLTA 株式会社制造), 风速(FV-1 型微风仪, 长春气象仪器研究所制造), 风向和云量等, 观测为 1 次/h, 昼夜连续观测。

同时观测了办公楼的四个壁面的表温(505 型红外辐射温度计, 日本 MINOLTA 株式会社制造)和近旁(距墙面 0.5 m 处)气温(TR-71 自记温度计), 记录了距地面 0.5、1.5、6、10、14、17 m 处的干、湿球气温值, 观测同样为 1 次/h, 昼夜连续观测。

天气状况: 1 月的观测时段基本上为晴好天气, 7 月的观测时段基本上为多云天气(图 1), 均代表了昆明地区相应季节的基本天气状况。

从各观测点的遮蔽角(图 2)来看, 屋顶观测点的遮蔽角最小, 几乎未受到遮蔽; 草地观测点在院子中间的草坪上, 由于四周全是楼房, 遮蔽角要稍大于屋顶; 球场观测点的遮蔽角与草地类似。均比较客观地反映了城市的实际情况, 具有代表性。

本研究所用资料为 2005 年 1 月和 7 月由气球所测的庭院气温值及相应时段不同下垫面的气温值; 各整时数据为各整时前后 5 个数据(50, 55, 0, 5, 10 min 的气温值)的平均值, 再取 3 天的平均值。

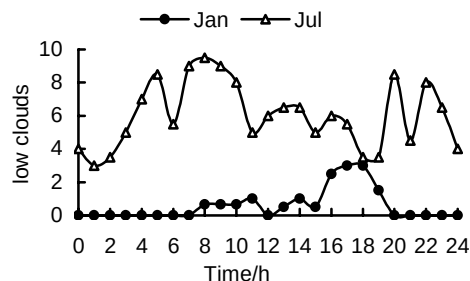


图 1 低云量的时间变化

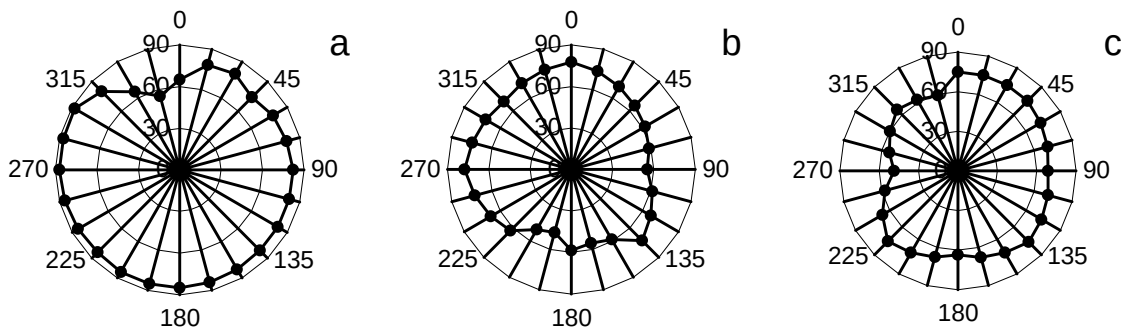


图 2 观测点遮蔽角 a. 屋顶; b. 草地; c. 球场。

3 结果与分析

3.1 庭院气温垂直分布变化规律

不同季节城市庭院气温垂直分布如图 3 所示,可见,不论是 1 月还是 7 月,庭院各高度气温均为昼间高,夜间低;但在不同季节,不同时刻、不同高度存在着明显的差异。

在 1 月(图 3a),庭院气温垂直变化在后半夜到清晨的 1~8 时和下午到傍晚的 13~20 时,气温垂直变化较大,而时间变化较小;在观测高度范围内,在 1~8 时,随着高度的增加气温逐渐升高,呈现逆温分布,在高度 20~25 m 处出现气温的高值区域,其上则随着高度增高气温逐渐降低。在 13~20 时情况则相反,在观测高度范围内,从地面开始,随着高度的增加,气温逐渐降低,在约 22 m 处出现低温区域,其上随着高度增加气温逐渐升高。

而在上午(9~12 时)和前半夜(21~24 时),气温垂直变化不明显,时间变化较大。在上午气温随时间变化而升高,而在前半夜气温是随着时间的变化而降低的。但变化强度绝对值为上午高于前半夜。

从图 3a 还可看出,近地层是气温变化最为剧烈区域。气温最高值区域(13~15 时)和最低值区域(6~9 时)均出现于 5 m 高度以下。

7 月,庭院各高度气温总体高于 1 月(图 3b),但垂直分布的变化规律与 1 月类似,庭院气温时空分布同样可分为四个时段。在后半夜(0~7 时)和午后(12~19 时)气温垂直变化较大;时间变化较缓和;后半夜 15 m 处以下气温呈现逆温分布,之上则随着高度增高气温逐渐升高;午后情况则相反,从地面开始,随着高度的增加,气温逐渐升高,在约 25 m 处出现最低点,之上随着高度增加气温略有降低。上午(8~11 时)和前半夜(20~23 时)垂直变化较小,时间变化显著。在上午气温随时间增加而升高,而在前半夜气温是随着时间的变化而降低的且气温随时间变化强度较大。庭院气温的高值区域和低值区域同样出现在近地层(<5 m)。

从图 4 可以更清楚地看出,城市庭院内近地层和屋顶面高度附近的气温具有相似的日变化规律,清晨 6 时左右气温出现最低值,午后 15 时出现最高值;但是近地层的气温日变幅要明显大于屋顶面高度附近气温。在冬季的 1 月(图 4a)上午 1.5 m 处的气温大于 15 m 处的气温,最大温差可达 2.4 °C(10 时),而夜间总体上 1.5 m 处的气温低于 15 m 处,最大差值

为 -1.9 °C(2 时)。而夏季的 7 月 1.5 m 处的气温总是大于 20 m 处的气温;昼间的差值大于夜间,最大温差为 2.7 °C(11 时),夜间的差异较小,最小温差为 0.4 °C(5 时)。

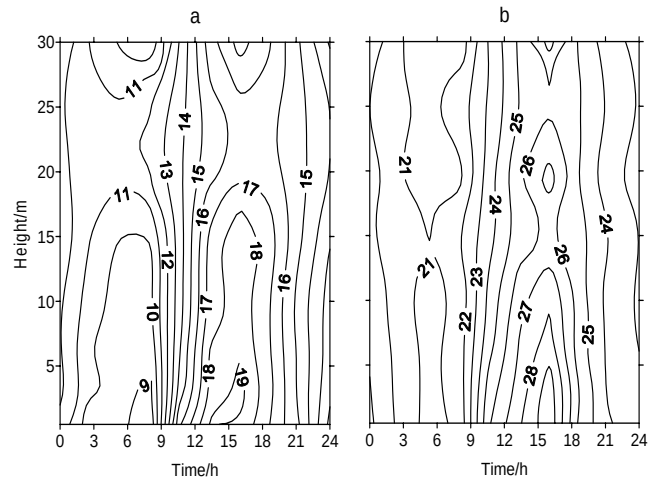


图 3 庭院气温的时空分布(°C) a. 1 月; b. 7 月。

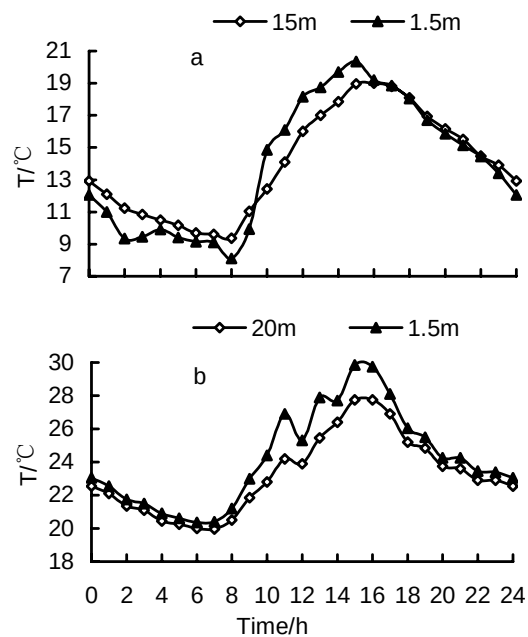


图 4 城市庭院上不同高度的平均气温日变化 a. 1 月; b. 7 月。

进一步分析不同季节昼间(1 月: 8~18 时; 7 月: 8~19 时)、夜间(1 月: 19~7 时; 7 月: 20~7 时)及日平均气温垂直分布特征(图 5)。可见,在冬季 1 月(图 5a),庭院昼间平均气温垂直分布总体上呈现随高度增加而减小的趋势,但在 10~15 m 处出现逆温现象;夜间平均气温 15 m 以下随着高度的增加而增加的趋势,呈现较显著的逆温现象;从日平均气温看来,垂直变化趋势介于昼、夜之间。

夏季 7 月(图 5b)的变化趋势与 1 月有所不同,昼、夜和日平均气温的垂直变化均呈现随高度增加而降

低趋势,在昼间这种趋势最为显著,夜间较缓。

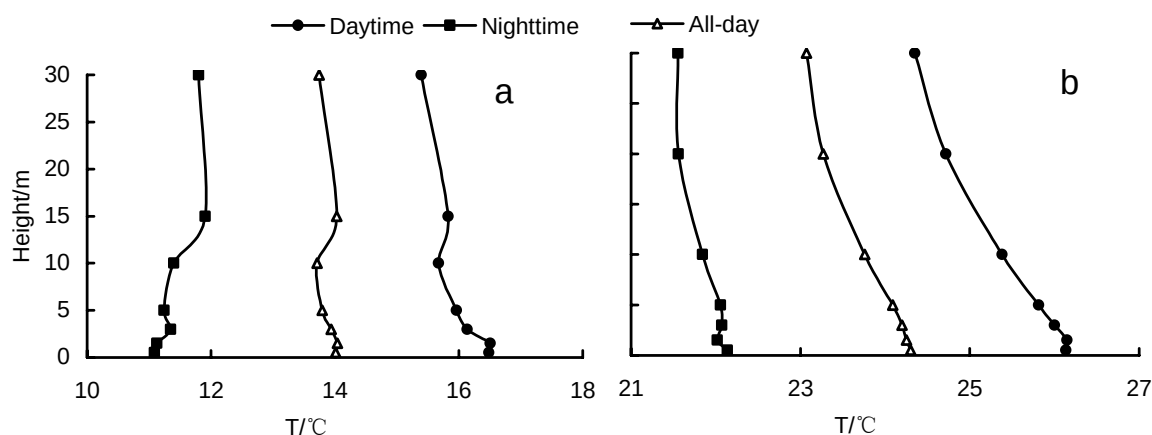


图 5 城市庭院气温垂直分布 a. 1 月; b. 7 月。

3.2 不同季节不同下垫面对庭院气温的影响

3.2.1 城市庭院各高度气温与不同下垫面气温差时空分布特征

城市庭院各高度气温与各下垫面 1.5 m 气温温差的时空分布如图 6 所示。可见,在 1 月(图 6a),庭院气温与球场 1.5 m 气温相比(图 6a1),昼间(8~20 时)庭院各高度的气温总体上低于球场 1.5 m 气温($\Delta T < 0^\circ\text{C}$),最大温差出现在 12 时左右 30 m ($\Delta T = -2.5^\circ\text{C}$);夜间(20~次日 7 时),庭院各高度气温高于球场 1.5 m 气温($\Delta T > 0^\circ\text{C}$),但差值较小。庭院各高度气温与草地 1.5 m 气温的温差(图 6a2)正值区多出现在 5 m 高度以上,主要出现在 10~18 时之间,以 13 时 30 m 最为显著($\Delta T = -1.0^\circ\text{C}$);而在其余时间,庭院各高度气温均高于草地 1.5 m 气温($\Delta T > 0^\circ\text{C}$),在 0 时 12~30 m 出现最大值($\Delta T = 1.5^\circ\text{C}$)。庭院各高度气温与屋顶 1.5 m 气温的温差(图 6a3)值较小,多在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 之间。

7 月(图 6b)庭院各高度气温与球场 1.5 m 气温相比(图 6b1),除去近地面部分时刻庭院气温高于球场 1.5 m 气温外,均低于球场 1.5 m 气温,并且随着高度增加,差值增大;且昼间差异显著,高差值区($\Delta T < -2.0^\circ\text{C}$)出现在 10~15 时 25~30 m 处。庭院各高度气温与草地 1.5 m 气温差值(图 6b2),温差 0°C 线呈现 V 字型分布,庭院大气低层气温多高于草地 1.5 m 气温($\Delta T > 0^\circ\text{C}$),且以夜间显著,而庭院高层大气气温低于草地 1.5 m 气温,差异以昼间显著,且绝对值大于夜间,最大温差区域($\Delta T < -2.0^\circ\text{C}$)出现在中午 13 时 30 m 处。庭院各高度气温与屋顶 1.5 m 气温差的时空分布特征(图 6c)与庭院各高度气温与草地 1.5 m

气温差的时空分布特征相似,但昼间负值区域较大。

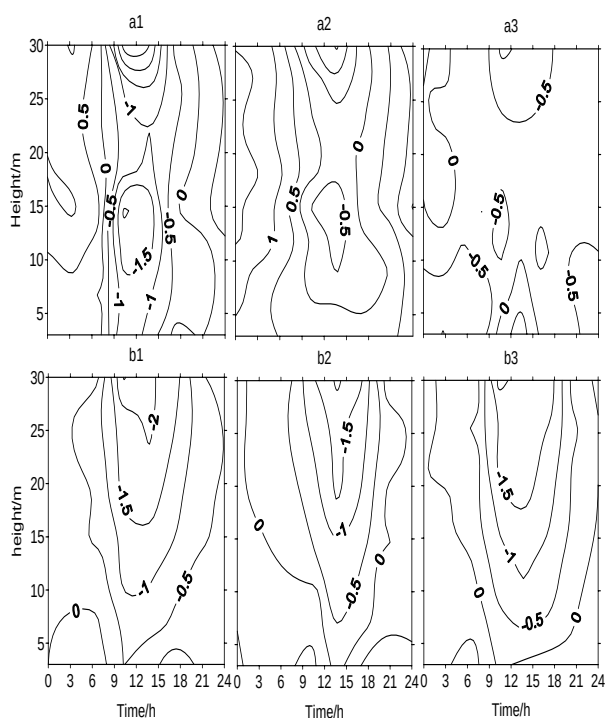


图 6 城市庭院气温与不同下垫面气温差的时空分布 a. 2005 年 1 月; b. 2005 年 7 月。1. 球场; 2. 草地; 3. 屋顶。

3.2.2 城市庭院平均气温与不同下垫面平均气温差垂直分布

从城市庭院各高度平均气温与各下垫面 1.5 m 平均气温差值垂直分布图(图 7、图 8)中可见,由于 1 月庭院气温垂直分布有逆温特征(图 5a),导致其与各下垫面 1.5 m 气温垂直分布呈现反 S 型分布。与球场

比较(图 7a), 昼间, 城市庭院各高度平均气温均低于球场 1.5 m 平均气温($\Delta T < 0^\circ\text{C}$), 温差绝对值较大($|\Delta T| > 0.5^\circ\text{C}$); 夜间, 在 10 m 高度以下的庭院平均气温低于球场 1.5 m 平均气温, 而距地面较高高度($H > 10\text{ m}$)的平均气温要高于球场 1.5 m 平均气温($\Delta T > 0^\circ\text{C}$); 温差绝对值较小($|\Delta T| < 0.5^\circ\text{C}$); 日平均气温差值介于昼间和夜间温差之间, 温差绝对值也较小($|\Delta T| < 0.5^\circ\text{C}$); 值得注意的是, 昼、夜温差的差异在近地层较小; 高层较大, 气温差值线呈“V”型分布, 显示了庭院低层的气温主要受球场的影响, 造成了昼、夜庭院近地层的气温差异较小。

庭院各高度平均气温与草地 1.5 m 平均气温差值垂直分布特征(图 7b)同其与球场 1.5 m 温差垂直分布相似; 但是与之不同在昼间温差绝对值较小; 夜间温差绝对值较大。

从庭院各高度平均气温与屋顶 1.5 m 平均气温差值垂直分布(图 7c)来看, 昼间、夜间和全天, 城市庭

院各高度的平均气温均要低于屋顶 1.5 m 平均气温($\Delta T < 0^\circ\text{C}$); 夜间低层($H < 15\text{ m}$)的温差绝对值较大, 昼间各层和夜间高层的温差绝对值总体较小($|\Delta T| < 0.5^\circ\text{C}$); 造成昼、夜间温差在低层较大。高层较小, 气温差值曲线呈“A”型分布, 显示了庭院高层的气温受屋顶的影响较大。导致昼夜庭院高层气温与屋顶 1.5 m 气温的温差较小。

7 月城市庭院各高度平均气温与各下垫面 1.5 m 气温的差值垂直分布(图 8)与 1 月有较大差异, 总体上庭院各高度的平均气温, 无论在昼间、夜间还是全天均低于各下垫面 1.5 m 平均气温; 在地面附近, 温差较小($|\Delta T| < 0.5^\circ\text{C}$); 昼间温差大于夜间; 随高度增加, 温差增减增大, 并且昼间温差高度变率大于夜间, 导致温差昼夜差异在近地层较小; 高层较大。显示了庭院近地层气温受下垫面的影响显著, 而屋顶面的影响小于 1 月。

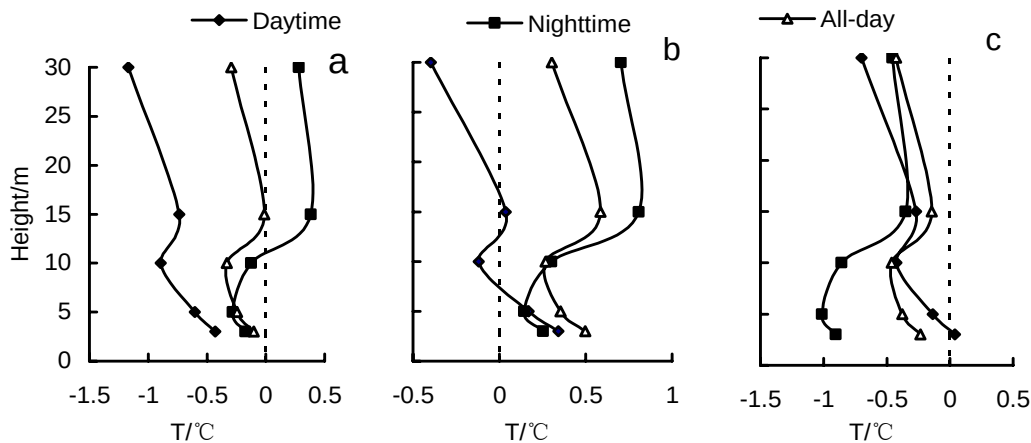


图 7 1 月城市庭院气温与不同下垫面气温差值的垂直分布

a. 屋顶; b. 草地; c. 球场。

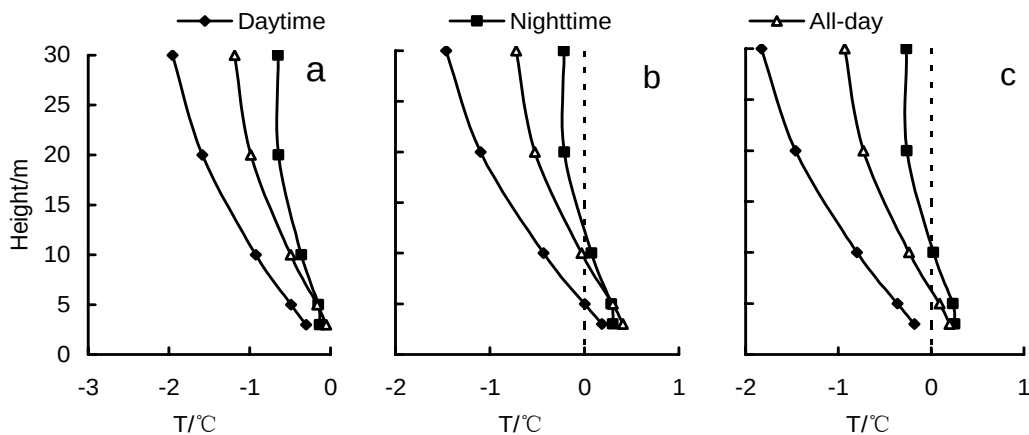


图 8 同图 7, 但为 7 月

具体来看, 庭院各高度平均气温均低于球场 1.5 m 气温(图 8a), 显示了 7 月混凝土结构的球场较强热力效应。庭院各高度平均气温在地面较近处均高于草地 1.5 m 平均气温(图 8b), 高层则低于草地 1.5 m 平均气温, 显示了 7 月草地的降温效应。同屋顶相比(图 8c), 庭院各高度昼间平均气温均低于屋顶 1.5 m 平均气温; 夜间各高度平均气温在低层高于屋顶 1.5 m 平均气温, 而高层低于屋顶面 1.5 m 平均气温。

4 讨论与小结

城市的大气环境因素影响着人类的日常生活及人体健康^[20-21]。同时城市热岛效应已经成为人们所关注的问题^[22-23], 但是, 不同下垫面影响城市小气候的过程机理研究较少。本文通过对昆明不同季节的典型天气的实地观测, 分析了城市庭院气温垂直分布的时空变化规律, 并且与同时刻不同下垫面气温进行了比较, 发现: 城市庭院气温随季节、昼夜、空间位置的不同而变化显著。在后半夜和下午庭院气温垂直变化趋势明显, 时间变化较小; 而上午和前半夜垂直变化较小, 时间变化较大(图 1)。1 月在屋顶面高度, 后半夜, 庭院气温出现高温区域, 而在午后出现低温区域; 7 月该现象较弱。另外值得注意的是, 1 月, 屋顶面对其高度附近的大气有较强的热力作用, 导致屋顶面附近高度的庭院气温呈现弱逆温分布, 庭院气温垂直分布曲线呈现反 S 分布(图 5); 而 7 月无该现象出现, 显示了屋顶面热力作用主要体现在冬季, 进一步证实了城市屋顶面是不可忽视的第二热力作用面^[18, 24-26]的观点。

庭院中不同下垫面对庭院气温垂直分布特征具有不同的热力贡献, 混凝土结构的球场, 在 1 月球场对庭院气温昼间具有加热效应, 而夜间具有耗热作

用; 其效应在近地层明显, 导致庭院近地层的气温昼夜差异较小(图 7a)。而草地在昼间对庭院大气具有热汇效应(图 7b), 夜间近地层也具有相似功效, 同样其效应对近地层较强, 导致庭院近地层气温昼夜差异较小。屋顶面则主要影响庭院屋顶高度附近的大气, 使得 1 月 15~30 m 高度的气温差值的昼夜差异减小(图 7c)。而在 7 月, 球场对庭院大气主要为热源效应, 并且对近地层效应明显(图 8a), 草地则对庭院近地层气温有冷却作用(图 8b); 屋顶面对其附近高度的庭院大气同样呈现加热作用(图 8c), 但其效应不如 1 月明显, 未对庭院气温垂直分布造成明显影响。

通过以上分析, 可以得出如下结论:

(1) 城市庭院垂直分布在不同时间(季节、昼夜)具有不同的分布特征;

(2) 庭院气温的时空变化, 在后半夜和下午垂直变化显著, 时间变化较弱; 而上午和前半夜时间变化较强, 垂直变化较弱;

(3) 冬季建筑物屋顶对屋顶面高度附近的庭院气温有较强的加热作用, 在屋顶面高度附近形成逆温, 导致垂直分布曲线发生改变;

(4) 混凝土结构的下垫面(如球场), 对庭院近地层大气具有加热作用, 而草地则具有冷却作用, 其效应在冬季明显。

由于构成城市的庭院其大小、规模、结构都具有多样性, 由于人力、物力、财力等各方面条件的限制, 本研究仅选取了一个庭院, 所以其结果还需要更多的观测研究来支持。

致 谢: 中国科学院西双版纳热带植物园的刘玉洪老师和研究生窦军霞、宋富强、赵双菊、王馨、刘洋、宋清海、杨振、高进波、林华、李成春、吴毅以及昆明理工大学的杨顺才、徐梦春等同学参加了观测, 在此表示感谢。

参 考 文 献:

- [1] HOWARD L. The Climate of London[M]. London, 1818: 1.
- [2] DUCKWORTH F S, SANDBERG J S. The effect of cities upon horizontal and vertical temperature gradients[J]. Bulletin of American Meteorological Society, 1954, 35: 198-207.
- [3] BORNSTEIN R D. Observations of the urban heat island effect in New York city[J]. Journal of Applied Meteorology, 1968, 7(4): 575-582.
- [4] OKE T R, EAST C. The urban boundary layer in Montreal[J]. Boundary Layer Meteorol, 1971, 1(4): 411-437.
- [5] OKE T R. The energetic basis of the urban heat island[J]. Quart J R Met Soc. 1982, 108(455): 1-24.

- [6] GODOWITCH J M, CHING J K S, CLARKE J E. Evolution of the nocturnal inversion layer at an urban and nonurban location[J]. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1985, 24(8): 791-804.
- [7] UNO I, WAKAMATSU S, UEDA H, et al. An observational study of the structure of the nocturnal urban boundary layer[J]. *Boundary Layer Meteorology*, 1988, 45: 59-82.
- [8] 焦敦基, 傅哲民, 张锦秀, 等. 上海的城市热岛[J]. *上海环境科学*, 1991, 10(4): 34-36.
- [9] KLYSIK K, FORTUNIAK K. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź, Poland[J]. *Atmos Environ*, 1999, 33(24): 3 885-3 895.
- [10] 张一平, 何云玲, 马友鑫, 等. 昆明城市热岛效应立体分布特征[J]. *高原气象*, 2002, 21(6): 604-609.
- [11] NAKAMURA Y, OKE T R. Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon[J]. *Atmos Environ*, 1988, 22(12): 2 691-2 700.
- [12] ELIASSON I. Urban geometry, surface temperature and air temperature[J]. *Energy and Buildings*. 1991, 16(2): 144-145.
- [13] HANNA Swaid. The role of radiative-convective interaction in creating the microclimate of urban street canyons[J]. *Boundary-Layer Meteorology*, 1993, 64: 231-259.
- [14] 桑建国, 刘辉志, 王保民, 等. 街谷环流和热力结构的数值模拟[J]. *应用气象学报*, 2002, 13(1): 69—81.
- [15] LIU Huizh, LIANG Bi, ZHU Fengron. A laboratory model for the flow in urban street canyons induced by bottom heating[J]. *Advances in atmospheric sciences*, 2003, 20(4): 554-564.
- [16] 刘翥劫. 株洲城市街区夏日温度分布与街道特征关系的研究[J]. *湖南林业科技*, 2005, 32(2): 11-13.
- [17] 张一平, 李佑荣, 刘玉洪, 等. 城市庭院小气候特征季节变化初探[J]. *高原气象*, 2002, 21(4): 381-388.
- [18] 张一平, 彭贵芬, 张庆平. 城内外屋顶面附近风·温特征的初步分析[J]. *气象科学*, 1998, 18(1): 56-62.
- [19] 云南省统计局. 云南统计年鉴(2004)[R]. 北京: 中国统计出版社, 2004: 706.
- [20] 纪忠萍, 林钢, 李晓娟, 等. 2003 年广东省夏季的异常高温天气及气候背景[J]. *热带气象学报*, 2005, 21(2): 207-216.
- [21] 冯业荣, 朱科伦, 纪忠萍, 等. 广州大气环境因素与 SARS 疫情短期变化关系的研究[J]. *热带气象学报*, 2005, 21(2): 191-198.
- [22] 邓莲堂, 束炯, 李朝颐. 上海城市热岛的变化特征分析[J]. *热带气象学报*, 2001, 17(3): 273-280.
- [23] 范绍佳, 董娟, 郭璐璐, 等. 城市发展对广州温度场影响的分析[J]. *热带气象学报*, 2005, 21(6): 623-627.
- [24] 张一平. 都市气候的立体构造に与える屋上面の役割に関する研究[D]. 日本广岛大学综合科学部, 1995: 86.
- [25] 张一平, 福冈义隆, 高桥日出男. 都市域における屋頂面上気層の风速・气温鉛直分布特征と熱流輸送について[J]. 广岛大学综合科学部纪要Ⅳ, 1996, 22: 81-92.
- [26] 张一平, 彭贵芬, 张庆平. 城市区域屋顶上与地上的风速和温度特征分析[J]. *地理科学*, 1998, 18(1): 45-51.

VERTICAL DISTRIBUTIONS CHARACTERISTICS OF AIR TEMPERATURE OF THE ATMOSPHERE OVER THE COURTYARD AND INFLUENCES OF DIFFERENT UNDERLYING SURFACE IN KUNMING CITY

ZHANG Hui-ning^{1,2}, ZHANG Yi-ping², HE Yun-ling^{2,3}, ZHOU Yue¹

(1. Kunming University of Science and Technology, Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming 650093, China; 2. Xishuangbanna Tropical Botanic Garden, the Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; 3. Graduate School of the Chinese Academic Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The study investigated the spatial-temporal distributions characteristics of air temperature over the courtyard and influences of different underlying surface, using observational data of air temperature in January and July in Kunming, a city located in low latitude plateau. Results indicate that the vertical variations of air temperature show the differences that exist in different seasons and different hours of a day. The vertical variation of air temperature is more obvious in early morning and in the afternoon, while the temporal variation is more evident in midnight and in the morning. In winter air temperature inversion appears at the rooftop height because the rooftop acts as a heat source to nearby air. Concrete underlying surface emits heat while lawn underlying surface absorbs heat, and these effects are obvious in winter.

Key words: city courtyard, air temperature, underlying surface, vertical distribution, Kunming