

# 香港城市与郊区气候差异分析

胡文志 梁延刚 雷惠雯 李子祥

(香港天文台, 中国香港)

**提 要:** 香港天文台近年的研究显示, 香港的气温上升是由温室效应增强所导致的全球变暖及本地高密度城市发展的共同影响。除温度外, 香港因受城市化影响, 相对湿度在城市与郊区之间亦有很明显的差异。

选取 1989—2006 年较能代表香港市区与郊区情况的气象站每小时气温和相对湿度数据, 初步比较了香港市郊温度和相对湿度差异的日变化和季节变化, 并试图分析这些差异变化与城市化影响的关系。结果显示郊区的气温变化幅度比市区大、变化也较突然, 市区晚间至清晨气温较郊区为高; 日间情况大致逆转, 但气温差别幅度不及晚间。一年之中, 城市化效应在冬季最为显著, 春季则最不明显。市郊相对湿度的差异同样很明显。晚间至清晨市区相对湿度较郊区为低, 日间相反。

**关键词:** 城市化效应 气温 相对湿度

## A Study on the Difference Between Urban and Rural Climate in Hong Kong

M. C. Wu Y. K. Leung W. M. Lui T. C. Lee

(Hong Kong Observatory)

**Abstract:** Recent studies carried out by the Hong Kong Observatory show that the rising trends of air temperature in Hong Kong are influenced by both the global warming due to enhanced greenhouse effect and the high density urban development in Hong Kong. Apart from temperature, urbanization also brings about obvious differences between the urban and rural areas in respect of relative humidity.

The scope of the present study includes the selection of representative urban and rural meteorological stations in Hong Kong so that the temperature difference between those chosen urban and rural stations can be utilized to quantify the effect of urbanization. By making use of some 20 years' hourly temperatures and relative humidity data, this study preliminarily

compared the diurnal variations and seasonal variations of the differences in temperatures and relative humidity between urban and rural stations, and try to analyze the relationship between these differences and urbanization.

**Key Words:** urbanization effect air temperature relative humidity

## 引 言

随着一个地区不断发展,城市人口和建筑物持续增长,人为地对城市下垫面造成极大的转变,人类活动对城市气候的影响亦变得愈来愈明显。受城市化影响,市区平均气温会明显比郊区高<sup>[1-4]</sup>。作为城市化效应在气温上的反映,局地市区增温的现象通常称为“城市热岛效应”<sup>[5]</sup>,它不但是“城市化效应”引起局地气候变化最明显的表征<sup>[6]</sup>,亦对人类舒适度、健康及利益有着重要的影响<sup>[7]</sup>。因此,城市化效应对气候变化的影响已是一个人们十分关注的问题<sup>[8]</sup>。事实上,现代城市设计<sup>[9-10]</sup>和供电量预报<sup>[11]</sup>亦考虑城市化效应的影响。

香港总面积只有约一千多平方公里,但人口密度却非常高,平均每平方公里居住超过 6000 人,商业经济活动频繁,高楼大厦林立,本地气候受城市化影响显著。香港天文

台近年的研究显示,香港市区气温上升速度高于郊区<sup>[8]</sup>,高密度城市发展是市区气温上升趋势较快的一个因素<sup>[12-13]</sup>。其实除温度外,香港因受城市化影响,其它气象要素在城市与郊区之间亦可能存在差异<sup>[14-15]</sup>。

本文旨在了解城市化效应对香港气候的影响,即香港市区与郊区气候差异的特征。本文研究范围包括如何选取较能代表香港市区与郊区情况的气象站,以便利用市区与郊区气温差来量化城市化效应的强度。本文利用过去约 20 年的数据,初步比较香港市区与郊区气温和相对湿度差异的特征,并试图分析这些差异与城市化效应的关系。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据

本文所用资料主要是来自天文台总部和打鼓岭气象站(见表 1)由 1989—2006 年的每小时地面观测。

表 1 一些气象站分布及资料(平均数值是以 1989—2006 年为参考)

气象站 (缩写)	站高度 <sup>*</sup> /m	平均 气温 /°C	平均 日变化 /°C
天文台总部(HKO)	33.8	23.4	4.1
打鼓岭 (TKL)	14.7	22.6	7.5
流浮山 (LFS)	31.4	22.7	6.1
黄竹坑 (HKS)	5.0	23.2	5.1
沙田 (SHA)	5.5	22.9	5.8
屯门 (TM)	62.6	23.2	5.2

\* 测量气温仪器的高度与气象站高度略有不同

## 1.2 方法

### 1.2.1 城市化效应强度的定义

在研究城市化效应的范畴里,市区站与郊区站的气温差可被用来量化城市化效应的强度<sup>[16]</sup>。市区与郊区气温差( $T_{u-r}$ )的定义是:

$$T_{u-r} \equiv T_u - T_r$$

而  $T_u$  及  $T_r$  分别为市区及郊区站气温,  $T_{u-r}$  为正(负)值时代表市区气温较郊区为高(低)。受城市化影响,市区平均气温会明显较郊区为高。即平均  $T_{u-r}$  为正值,平均  $T_{u-r}$  值愈大表示该城市的城市化效应愈强。

尽管市区与郊区气温差有时候因未能找出合适的郊区站而不宜使用<sup>[17]</sup>,这方法仍是现时研究城市化效应最常用的方法之一<sup>[18-20]</sup>。因此,本文亦利用市区与郊区(之后简略为市-郊)的气温差来代表城市化效应的强度。

### 1.2.2 市区站与郊区站的选取

选取恰当的市区及郊区站是研究城市化效应最关键的部分<sup>[21]</sup>。在香港,可选取天文台总部(HKO)为市区站,它的年平均气温是表 1 各站中最高。在郊区站方面,在过往的研究<sup>[11]</sup>打鼓岭(TKL)和流浮山(LFS)都被视为郊区站。不过,气象站附近的环境近数年有所改变,而 TKL 的周围环境则没有显著的变化<sup>[13]</sup>。离岛站例如长洲和横澜岛的气温均受较复杂的近岸海水温度变化所调节,因此没有被选为郊区站<sup>[17]</sup>。

明显的市郊气温差异是选取合适郊区站的其中一个主要考虑因素(参见 Kim and Baik<sup>[22]</sup>2002)。HKO 站与一些气象站的气温差的日变化(见图 1)显示 LFS 与其它三个镇站(沙田 SHA、屯门 TM、黄竹坑 HKS)的变化相似,但与 TKL 站的显然不同。TKL 站的年平均日变化和年平均气温分别是各站中最高和最低。相对 LFS,TKL 与 HKO 站的气温差异亦较明显。若不考虑地理位置的影响,这都

反映 TKL 站较 LFS 具有郊区站的特点。因此,本文参照<sup>[13]</sup>选取 TKL 为郊区站。

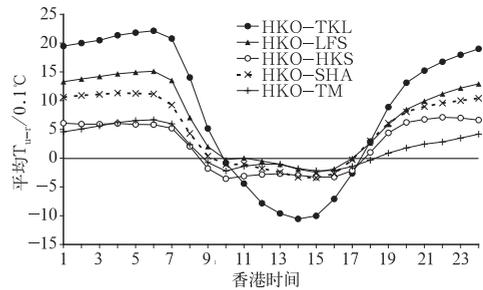


图 1 天文台总部与一些气象站气温差的日变化(有关各站资料见表 1)

总结以上讨论, HKO 与 TKL 分别代表市区站及郊区站, 两站水平距离约 25 公里, 大致符合定义市区站及郊区站相距在 30 公里到 100 公里的准则<sup>[23]</sup>。此外, HKO 与 TKL 两站地面高度相差不算十分大(只约 17 米), 故考虑城市化效应时我们将不对两站气温数据作出如<sup>[20]</sup>般的高度调整。

我们首先分析  $T_{u-r}$  的日际及月际变化特征, 然后探讨若干气象和天文参数与  $T_{u-r}$  的月际变化关系。接着, 我们会讨论城市化效应在相对湿度和风速上的特征。最后, 我们亦会对一些出现极大日最高  $T_{u-r}$  日子的气象条件进行分析及个案研究。在本文讨论里, 如无特别注明, 所有平均数值是以 1989—2006 年为参考; 另外,  $T_{u-r}$  一般指的是每小时的  $T_{u-r}$ 。

## 2 结果

### 2.1 市-郊气温差的日变化

图 2 比较市区与郊区的每小时气温变化及差别。可见, 虽然市区日平均气温较郊区为高, 市区日间(10 至 17 时)的气温却比郊区低(因此出现负值, 见图 2c)。英国伦敦也出现类似的情况(即市区日间气温比郊区低), 这可能与市区稠密的高楼大厦遮挡阳光直接照射地

面加热有关<sup>[24]</sup>。另外, Oke<sup>[1]</sup> (1982) 则指出造成市区日间较凉的原因亦包括城市建筑表面有较大的热容量和热传导<sup>[24]</sup>, 使市区在日出后的增温较郊区慢(图 2b)。

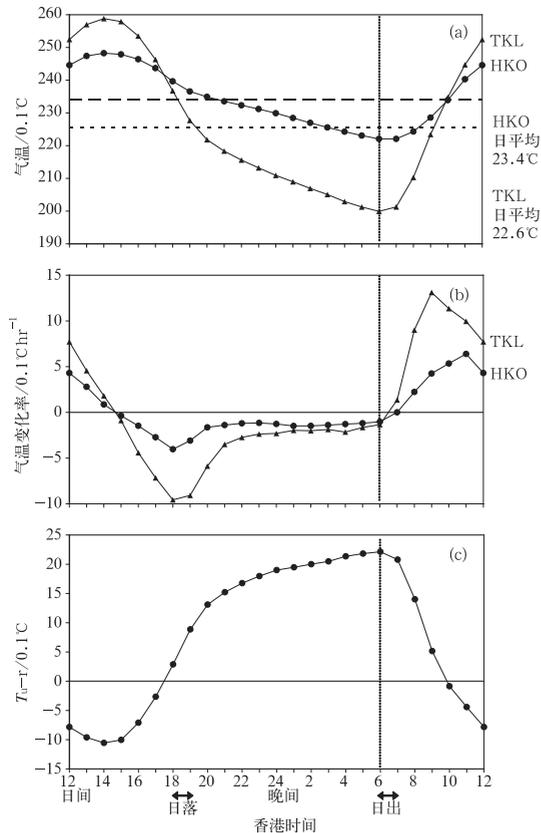


图 2 天文台总部(HKO)与打鼓岭(TKL)的平均(a)气温日变化,(b)气温变化率(c)及气温差( $T_{u-r}$ )日变化。

约在 18 时开始, 市区的气温高于郊区 ( $T_{u-r}$  由负值转为正值), 而这时候的郊区降温率则达至最大, 市-郊降温差别亦十分明显 (超过  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ )。随后, 虽然  $T_{u-r}$  持续上升, 但随着市-郊降温差别愈来愈少,  $T_{u-r}$  的上升速度在 21 时开始明显减少, 到早上 6 时  $T_{u-r}$  达至全日最高值。比较图 2b 和 2c 可看到,  $T_{u-r}$  的日最高值的出现时间与郊区及市区降温率相等的时间大致吻合。这是由于  $T_{u-r} = T_u - T_r$ , 故此有

$$\frac{\partial T_{u-r}}{\partial t} \equiv \frac{\partial T_u}{\partial t} - \frac{\partial T_r}{\partial t},$$

$$\text{若 } \frac{\partial T_{u-r}}{\partial t} = 0, \text{ 则 } \frac{\partial T_u}{\partial t} = \frac{\partial T_r}{\partial t}$$

因此  $T_{u-r}$  日最高值 (或峰值) 的出现时间一般与郊区及市区降温率相等的时间相同。

谢庄等<sup>[26]</sup> 的研究亦显示北京的情况与香港相同, 峰值  $T_{u-r}$  同样出现在接近日出的时间 (即清晨 6 至 7 时)。但 Weng and Yang<sup>[27]</sup> (2004) 则指出广州市日最高  $T_{u-r}$  一般出现在晚上 21 时 (即日落后数小时), 然后  $T_{u-r}$  逐渐下降。广州市的情况可按照 Haeger-Eugennesson 等<sup>[28]</sup> (1999) 提出的概念模型解释: 市区晚间气温比郊区高基本上是与市区较大的热能容量和郊区夜间较大的辐射冷却有关, 然而一个由市-郊温差引发造成的局地环流将可以对两地之间温差产生调节作用, 可能导致出现市区降温略高于郊区的情况, 最终导致  $T_{u-r}$  在晚间 (峰值出现后) 出现下降或不持续上升的情况。

先前已讨论过, 香港市区晚间至早上 6 时前的降温一直是低于郊区, 在这段时间  $T_{u-r}$  持续上升, 情形与 Haeger-Eugennesson 等<sup>[28]</sup> (1999) 的概念模型有所不同, 部份原因可能是香港市区人为因素的热释放量颇大; 另外, 香港市区建筑物高而天空视域因子<sup>[29]</sup> 小, 亦限制了市区晚间的辐射冷却<sup>[30]</sup>。然而值得注意的是,  $T_{u-r}$  的上升速度在 20 至 21 时后明显较之前为慢, 出现不同阶段的  $T_{u-r}$  上升变化。

市区和郊区在日出后出现升温,  $T_{u-r}$  亦开始迅速下降, 约至早上 10 时, 郊区气温开始高于市区,  $T_{u-r}$  由正值转为负值。总的来说  $T_{u-r}$  为正值的时间超过 16 小时 (即占全日的时间之 2/3), 因此市区日平均气温高于郊区。到 14 时  $T_{u-r}$  达至全日最低值 (负值), 与广州市的情况相同 (见文献<sup>[27]</sup>)。

从图 2b 可看到, 郊区的升温明显比市区

快且幅度大。事实上,市-郊日间的最大升温差别比晚间的最大降温差别还要大,市-郊升温差别可以超过  $0.8^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ 。市区日间最高升温率约在 11 时出现,而郊区日间最高升温率则在 9 时出现,较市区早 2 小时。

总的来说,香港市区晚间至清晨气温较郊区为高,日间情况逆转,但市-郊气温差别幅度晚间明显较日间大。不论日间或晚间,郊区的气温变化幅度比市区大、变化也较快,清楚反映市区热容量较大的特性。

### 2.2 市-郊气温差的季节变化

从图 3a 可见  $T_{u-r}$  的日变化在不同季节或月份基本上是一致,即日间一般为负值而晚间为正值,不过,冬季  $T_{u-r}$  出现正(负)值的时间比夏季长(短)。一年之中,晚间  $T_{u-r}$  最不明显的季节是春季。冬季(特别是 12 月)晚间  $T_{u-r}$  则是非常显著,情况与广州市<sup>[27]</sup>、上海<sup>[31]</sup> 及北京市<sup>[26]</sup> 相同, Hua 等<sup>[21]</sup> (2007) 亦指出中国大部分大城市的最高  $T_{u-r}$  值多出现在冬季。另外,韩国首尔的情况亦相似<sup>[21]</sup>。Oke 等<sup>[32]</sup> (1991) 解释这可能因为人为因素热释放量的影响在冬季变得更为重要。事实上,研究显示在(亚)热带地区,最高的  $T_{u-r}$  一般都出现在旱季(香港即是冬季),原因与郊区土地表面的土壤水气特征在雨季会有较明显的变化有关<sup>[33]</sup>。

但伦敦市区晚间  $T_{u-r}$  值在夏季才是四季中最大(如 Wilby<sup>[34]</sup> 2003),而新加坡商业中心(市区)晚间平均最高  $T_{u-r}$  值同样出现在平均气温较高的 6 至 8 月<sup>[19]</sup>,说明不同地区因不同地理及气候环境可以有不同结果。另一方面,王喜全等<sup>[35]</sup> (2006) 发现北京市(根据 2002 年资料)的最高  $T_{u-r}$  值出现在夏季,与过去一些研究的结果不同,他们的解释是因为近年北京市区夏季普遍使用室内空调,大大增加夏季晚间人为热送放量所致。因此,  $T_{u-r}$  的季节变化也可随社会环境变化

改变,在不同时期有不同结果。

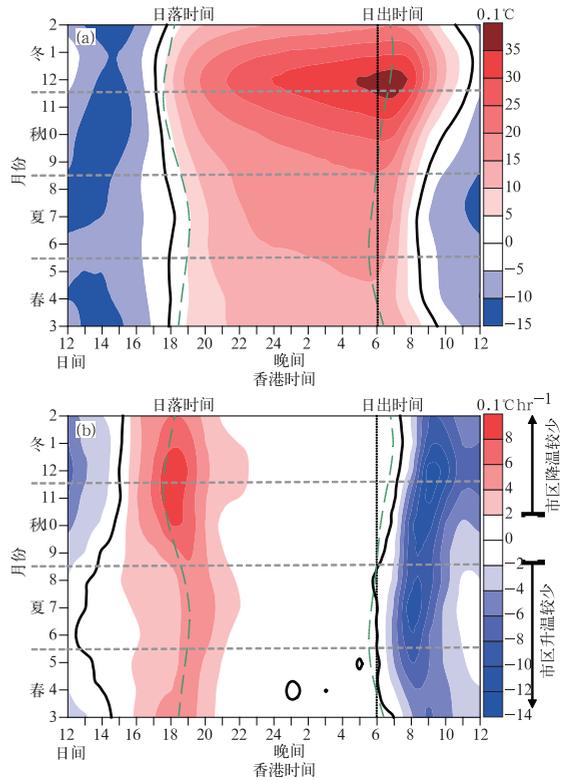


图 3 (a) 天文总部与打鼓岭气温差 (即  $T_{u-r}$ ) 的逐小时月际变化  
(b) 天文总部与打鼓岭气温变化率差 (天文台总部减打鼓岭) 的逐小时月际变化  
深黑色线为“0”线,虚线代表日落或日出的时间

此外,也清楚看到  $T_{u-r}$  与日出日落时间的季节变化关系。例如,随着日出时间(图 3a 虚线)的改变,一天中出现峰值  $T_{u-r}$  的时间在冬季较夏季迟;而早上  $T_{u-r}$  出现正负交替的时间夏季亦较冬季早(夏季在上午 9 时而冬季在上午 11 时)。

图 3b 分析气温变化率的市-郊差别,可看到秋冬季在日落后的市-郊降温变化率差别明显较之春夏季显著,而日出后的市-郊升温差别在春季(特别是 4 月)则较之其它季节小。在 2.1. 中曾讨论过出现日最高正值  $T_{u-r}$  的时间与市-郊气温变化率差别的关系,同理,出现日最低负值  $T_{u-r}$  的时间亦有类似关系。如此,图 3b 中接近 14 时及接近 6 时

的深黑色线(代表市-郊气温变化率差别为 0)分别可表示出现日最高正值  $T_{u-r}$  及日最低负值  $T_{u-r}$  的时间。可见出现日最低负值  $T_{u-r}$  及日最高正值  $T_{u-r}$  的时间在夏季都较冬季早,但出现日最低  $T_{u-r}$  负值的时间差别更为明显。此外,从图 3b 同样清楚看到日最高  $T_{u-r}$  正值(即峰值  $T_{u-r}$ )与日出时间季节变化的一致性。

表 2 列出各月份不同  $T_{u-r}$  参数的统计资料。在 1989—2006 年间香港年平均  $T_{u-r}$  是  $0.8^{\circ}\text{C}$ 。根据 Liu 等<sup>[20]</sup>(2007)的研究,北京地区 1977—2000 年间的年平均  $T_{u-r}$  值约介于  $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。至于广州地区,从 Weng<sup>[27]</sup>(2004)的月平均  $T_{u-r}$  数据可推算 1985—2000 年间的年平均  $T_{u-r}$  值约为  $0.2\sim 0.3^{\circ}\text{C}$ 。另外,西班牙南部城市格拉纳达(Granada)的多年平均  $T_{u-r}$  是  $2^{\circ}\text{C}$ <sup>[36]</sup>。需要注意的是  $T_{u-r}$  可能受市区站与郊区站选取

$T_{u-r}$  值仅作参考,不能客观比较不同地区城市化效应的强弱。但普遍也发现高纬度地区(温带)的  $T_{u-r}$  一般会较低纬度地区(热带)为高<sup>[32]</sup>。

从表 2 亦可看到,出现日最高  $T_{u-r}$  值的时间夏季多在 6 时而冬季则多在 7 时,结果与图 3 显示的无异。年平均日最高  $T_{u-r}$  为  $2.8^{\circ}\text{C}$ ,是年平均  $T_{u-r}$  值( $0.8^{\circ}\text{C}$ )的 3 倍多。全年绝对日最高  $T_{u-r}$  超过  $10^{\circ}\text{C}$ 。最后,可以看到春季的日平均  $T_{u-r}$  及平均日最高  $T_{u-r}$  都是全年最低,分别少于  $0.5^{\circ}\text{C}$  及接近  $2^{\circ}\text{C}$ ,但夏季绝对日最高  $T_{u-r}$  则比春季为高。

### 2.3 极端日最高 $T_{u-r}$ 值分析

表 3 列出在 1989—2006 年间录得的前 10 位最大日最高  $T_{u-r}$  值的日期及该 10 天录得日最高  $T_{u-r}$  值时市区和郊区的相关气象观测数据。从表 3 可见,前 10 位的排名均出现在冬季 12 月或 1 月,并集中于早上 5 至 8 时之间,与 2.1 和 2.2 节的讨论一致。在气象观测方面,这些个案有以下共同点:

- (1) 天晴,云量为 2 okta 或以下;
- (2) 大气稳定, $K$ -指数都是负数<sup>[37]</sup>;
- (3) 吹轻微北或东北风,风速在  $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  或以下;
- (4) 日最高  $T_{u-r}$  超过  $10^{\circ}\text{C}$ 。

详细分析这 10 天的天气形势显示,这些个案全是在东北季风抵达华南沿岸数天后季候风缓和期间出现。在这种天气背景下,大气稳定及风力微弱,加上云量稀少,有利晚间的辐射冷却使气温下降。而空旷的郊区,辐射冷却的效率远较位于高密度发展的市区中的高,再加上在大气稳定和风力微弱的情况下,不同地区的气团较难混合,形成郊区与市区出现很大温差。

表 2 不同  $T_{u-r}$  参数的统计数据

月份	绝对日最高 $T_{u-r}$	平均日最高 $T_{u-r}^2$ (出现最多时间) <sup>3</sup>	上午 6 时平均 $T_{u-r}$	日平均 $T_{u-r}$	
春	3	8.9	2.0(7)	1.3	0.4
	4	6.8	1.9(7)	1.4	0.3
	5	5.6	2.1(7)	1.6	0.4
	6	4.7	2.3(6)	1.8	0.5
夏	7	4.9	2.5(6)	1.9	0.5
	8	4.5	2.5(6)	1.9	0.6
	9	6.5	2.7(6)	2.1	0.7
秋	10	7.9	3.2(6)	2.6	1.0
	11	10.3	3.8(7)	3.2	1.4
	12	11.5	4.4(7)	3.7	1.8
冬	1	11.0	3.6(7)	2.9	1.4
	2	9.1	2.5(7)	1.9	0.7
年	11.5	2.8(6)	2.2	0.8	

批注:1. 只考虑早上 5 至 7 时的数据,亦不包括有雨量记录的日子; 2. 计算不包括日最高  $T_{u-r}$  为负值的数据; 3. 以出现日最高  $T_{u-r}$  的时间的众数代表

及统计年期的影响,所以上述地区的年平均

表 3 1989 至 2006 年间前 10 位最大日最高  $T_{u-r}$  值的出现日期及当时在天文台总部和打鼓岭的气象观测数据

出现日期时间(年月日时)	天文台总部(HKO)					打鼓岭(TKL)				京士柏	$T_{u-r}$ /°C
	气温 /°C	风向 /°	风速 /m·s <sup>-1</sup>	雨量 /mm	云量 /Okta	气温 /°C	风向 /°	风速 /m·s <sup>-1</sup>	雨量 /mm	上午 8 时 K-指数	
2001122406	12.8	70	0.5	0	1	1.3	微风	0.2	N/A	-43	11.5
1995123107	12.7	60	0.5	0	2	1.4	0	0	0	-21	11.3
1996010108	14.5	30	0.5	0	0	3.2	0	0	0	-38	11.3
1996010307	16	230	0.5	0	0	5	微风	0.1	0	-4.1	11
1993122608	14.2	270	0.5	0	0	3.3	240	0.2	0	-69	10.9
1989120507	16.7	90	0.5	0	0	6.2	310	0.4	0	-30	10.5
2005122305	12.1	360	0.1	0	0	1.6	微风	0.1	0	-47	10.5
1993013106	12.9	110	2	0	0	2.5	360	0.1	N/A	-64	10.4
1996010207	15	60	0.5	0	1	4.6	0	0	0	-28	10.4
1999122606	12.4	70	2	0	0	2	微风	0.1	0	-64	10.4

N/A-没有数据

### 2.4 城市化对相对湿度的影响

很多研究都指出(如 Liu 等<sup>[20]</sup>2007),因受城市化影响(例如市区表面的土壤湿气比郊区为少),市区的日平均相对湿度应会比郊区低,但 WMO<sup>[35]</sup>(1974)曾指出市-郊差异可能不甚显著,亦有文献提出相反的论证。市区站的日平均相对湿度与温度露点差都较郊区站高,原因可能与地理位置相对郊区站更为接近海港有关。事实上市区及郊区在 10 时及 18 时的平均气温接近,但前者的平均相对湿度较后者大(图 4a)。

在一般情况下,相对湿度会随着气温日变化的上升或下降而减少或增加(图 4a)。总的而言,市-郊相对湿度差别的日变化很明显,晚间至清晨市区相对湿度较郊区为低,日间相反(图 4b),与气温差别的变化大致吻合。

根据 Kim 等<sup>[22]</sup>(2002)的分析,市-郊相对湿度差与城市化效应的强度(或  $T_{u-r}$ )存在负相关。图 5 是市-郊每小时相对湿度差和市-郊每小时气温差(即  $T_{u-r}$ )的相关分析。可以看到,市-郊相对湿度差与  $T_{u-r}$  在晚间 22 时开始至翌日上午 9 时明显存在负相关,其相关系数达 5% 显著水平,表明城市化效应对相对湿度确实存在影响,当  $T_{u-r}$  增加时,市-郊相对湿度差减小(即晚间负值差

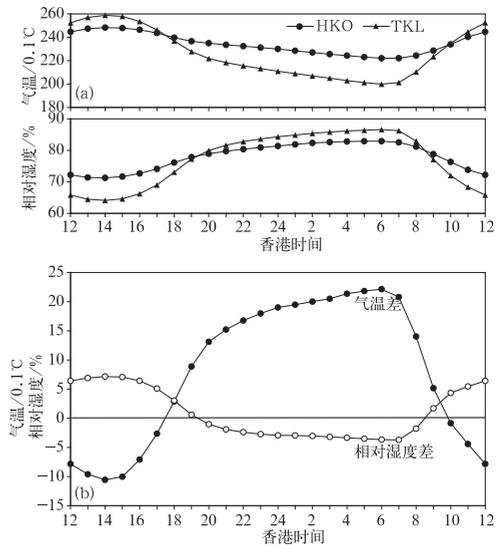


图 4 天文总部(HKO)及打鼓岭(TKL)的气温和相对湿度日变化(a)及其差异(b)

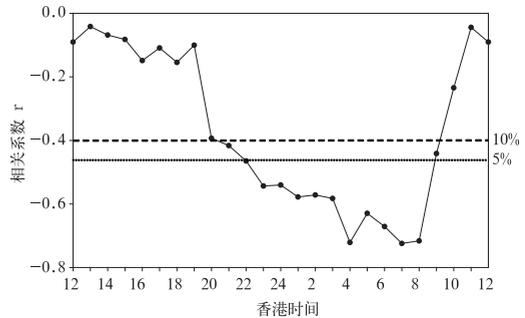


图 5 市区与郊区相对湿度差与市-郊气温差(即  $T_{u-r}$ )的相关分析

相关分析是根据 1989—2006 年间逐年平均资料计算  
横向虚线及点线分别表示 10%及 5%显著水平

别更大),结论与 Liu 等.<sup>[20]</sup>(2007)一致。有关城市化效应影响相对湿度的物理机制可参考文献[22]。

### 3 结论和讨论

本文分别选取天文台总部及打鼓岭代表香港市区站及郊区站,初步分析受城市化影响下市区与郊区气候的差异,并利用市区与郊区气温差来反映城市化效应的强度。

结果显示郊区的气温变化幅度比市区大,变化也较突然。市区晚间至清晨气温较郊区为高;日间情况大致逆转,但气温差别幅度不及晚间。一年之中,城市化效应在冬季最为显著,春季则最不明显。

城市化影响在相对湿度的日变化同样很明显。晚间至清晨市区相对湿度较郊区为低,日间相反。相关分析显示市区与郊区晚间相对湿度差异与城市化效应强有关。

**致谢:**非常感谢两位评审专家对本文的宝贵意见和建议

### 参考文献

- [1] Oke, T. R. . The energetic basis of the urban heat island[J]. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* , 1982, 108, 1-24.
- [2] Yagüe, C. , E. Zurita, and A. Martinez. Statistical analysis of the urban heat island[J]. *Atmos. Envir.* , 1991, 25(B): 327-332.
- [3] 郑艳,潘家华,吴向阳.影响北京城市增温的主要社会经济因子分析[J].*气候变化研究进展*,2006, 2:188-192.
- [4] Lo, J. C. F. , A. K. H. Lau, P. Chen et al. , Urban modification in a mesoscale model and the effects on the local circulation in the Pearl River Delta region[J]. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* , 2007, 46:457-476.
- [5] Ezber, Y. , O. L. Sen, T. Kindap et al. , Climatic effects of urbanization in Istanbul: a statistical and modeling analysis[J]. *Int. J. Climatol.* , 2007, 27: 667-679.
- [6] González, J. E. Urban heat islands developing in coastal tropical cities[J]. *EOS trans.* , 2005, 86(42):397-412.
- [7] Sue, G. . Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming[J]. *The Geographical Journal*, 2007, 173(1): 83-88.
- [8] Lam, C. Y. On the Climate Changes brought about by Urban living[J]. *Bull. HK. Meteorol. Soc.* , 2006, 16: 15-27.
- [9] Giridharan, R. , S. S. Y. Lau, et al. Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong, *Building and Environment*, 2007, 42:3669-3684.
- [10] Hacker, J. N. , S. E. Belcher, et al. Climate scenarios for urban design: A case study of the London Urban Heat Island[C]. *International Conference on Climate Change*, 2007, 12.
- [11] 陈正洪,胡江林,张德山,等. 城市热岛强度订正与供电量预报[J].*气象*,2005, 31(1):69-71.
- [12] Leung, Y. K. , K. H. Yeung, E. W. L. Ginn et al. , *Climate Change in Hong Kong*. Hong Kong Observatory Technical Note, 2004, 107:41.
- [13] Leung, Y. K. , M. C. Wu, K. K. Yeung, et al. , Temperature Projections for Hong Kong in the 21st century based on IPCC—2007 Assessment Report, *Bull. HK. Meteorol. Soc.* , 2007, 17, HKO Reprint 764.
- [14] 梁延刚,李子祥,梁荣武,等. 香港分区雨量的长期趋势分析,2004, HKO Reprint No. 536.
- [15] Mok, H. Y. , Y. K. Leung, T. C. Lee, et al. Regional rainfall characteristics of Hong Kong over the past 50 years, HKO Reprint. 2006, 646: 14.
- [16] Arnfield A. J. Two Decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island[J]. *Int. J. Climatol.* , 2003, 23: 1-26.
- [17] Zhou, L. , R. E. Dickinson, et al. Evidence for a significant urbanization effect on Climate in China [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2004, 101: 9540-9544.
- [18] Sakakibara, Y. , K. Owa. Urban-rural temperature differences in coastal cities: Influence of rural sites [J]. *Int. J. Climatol.* , 2005, 25:811-820.
- [19] Chow, W. T. L. , M. Roth. Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore[J]. *Int. J. Climatol.* , 2006, 26:2243-2260.

- [20] Liu, W., C. Ji, J. Zhong, X. Jiang, et al. Temporal characteristics of Beijing urban heat island[J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 2007, 87:213-221.
- [21] Hua, L. J., Z. G. Ma, and W. D. Guo. The impact of urbanization on air temperature across China [J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 2007, DOI 10.1007/s00704-007-0339-8.
- [22] Kim, Y. H., J. J. Baik. Maximum urban heat island intensity in Seoul [J]. *J. Appl. Meteorol.*, 2002, 41:651-659.
- [23] Karl, T. R., Diaz, H. F., Kukla, G. Urbanization: its detection and effect in the United States climate record[J]. *J. Climate*, 1988, 11:1099-1123.
- [24] Mayor of London. London's urban heat island: A summary for Decision Makers. Greater London Authority, 2006. (available from [http://www.london.gov.uk/mayor/environment/climate\\_change/](http://www.london.gov.uk/mayor/environment/climate_change/))
- [25] Bornstein, R. D. Observations of the Urban Heat Island Effect in New York City[J]. *J. Applied Meteorol.*, 1968, 7:575-582.
- [26] 谢庄,崔继良,陈大刚,等. 北京城市热岛效应的变化特征分析[J]. *气候与环境研究*, 2006, 11:69-75.
- [27] Weng, Q., and S. Yang. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city [J]. *J. Envir. Manag.*, 2004, 70:145-156.
- [28] Haeger-Eugennesson, H., and B. Holmer. Advection caused by the urban heat island circulation as a regulating factor on the nocturnal urban heat island [J]. *Int. J. Climatol.*, 1999, 19:975-988.
- [29] Giridharan, R., S. Ganesan and S. S. Y. Lau. Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong[J]. *Energy and Buildings*, 2004, 36: 525-534.
- [30] Peterson, T. C. Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found[J]. *J. Climate*, 2003, 16:2941-2959.
- [31] Chen, L. X., W. Q. Zhu, X. J. Zhou, et al. Characteristics of the Heat Island Effect in Shanghai and its possible mechanism[J]. *Advances Atmos. Sci.*, 2003, 20(6): 991-1001.
- [32] Oke, T. R., Johnson GT, Steyn DG, et al. Simulation of surface urban heat islands under 'idea' conditions at night, Part 2: diagnosis of causation [J]. *Bound-layer Meteorol.* 1991, 56:339-358.
- [33] Roth, M. Review of urban climate research in (sub)tropical regions[J]. *Int. J. Climatol.*, 2007, 27:1859-1873.
- [34] Wilby, R. Past and projected trends in London's urban heat island[J]. *Weather*, 2003, 58:251-260.
- [35] 王喜全,王自发,郭虎. 北京“城市热岛”效应现状及特征[J]. *气候与环境研究*, 2006, 11:627-636.
- [36] Montavez, J. P., A. Rodriguez, and J. I. Jimenez. A study of urban heat island of Granda[J]. *Int. J. Climatol.*, 2000, 20:899-911.
- [37] World Meteorological Organization. Review of Urban Climatology 1968-1973[EB]. WMO Technical Note 134, 1974, 132.
- [38] George, J. J. *Weather Forecasting for Aeronautic*. Academic Press, 1960, 673.