

刘剋, 顾行发, 余涛, 等. 2011. 城市台站周边热岛效应和土地利用与覆被变化关系 [J]. 气候与环境研究, 16 (6): 707-716. Liu Ke, Gu Xingfa, Yu Tao, et al. 2011. Relationships between urban heat island effect and land use and land cover change around urban weather stations [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (6): 707-716.

城市台站周边热岛效应和土地利用与覆被变化关系

刘剋^{1,2,3} 顾行发^{1,2} 余涛^{1,2} 高志强⁴ 高炜⁵ 刘朝顺⁵

- 1 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101
- 2 国家航天局航天遥感论证中心, 北京 100101
- 3 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 400047
- 4 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101
- 5 华东师范大学环境遥感与数据同化联合实验室, 上海 200062

摘 要 以合肥市气象站为中心, 利用 1990~2006 年的 Landsat TM 影像, 获取不同半径圆形缓冲区范围内下垫面土地分类信息以及对应年份的气温年均值、极值、日定时数据资料, 分析了下垫面各土地类型及其变化和站点周边热岛效应的关系。分析得出: 城市热岛与建设用地有着最强正相关, 与林草地和耕地有着显著负相关, 与夜晚水体有着较强正相关。下垫面类型对城市热岛的影响随着每天的不同时刻而变化。4 种下垫面类型对城市热岛的影响范围上, 建设用地一般在 6 km 以内、林草地 4 km 以内、耕地在 4 km 时最显著, 水体则随着距离的增加, 其影响范围缓慢上升到 8 km。同时, 通过分析土地利用年变化和城市热岛效应变化的关系, 进一步验证了城市发展对城市热岛效应起着至关重要的作用。最高温和 14 时 (北京时间) 热岛强度年变化与土地利用年变化有着较强的相关性。另外, 迁站后热岛效应明显减弱。最后, 重点探讨了下垫面类型和热岛效应关系的可能原因。

关键词 城市气候 城市热岛 城市化 土地利用与覆被变化

文章编号 1006-9585 (2011) 06-0707-10 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Relationships between Urban Heat Island Effect and Land Use and Land Cover Change around Urban Weather Stations

LIU Ke^{1,2,3}, GU Xingfa^{1,2}, YU Tao^{1,2}, GAO Zhiqiang⁴, GAO Wei⁵, and LIU Chaoshun⁵

- 1 *State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Jointly Sponsored by Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences and Beijing Normal University, Beijing 100101*
- 2 *Center for National Spaceborne Demonstration, Beijing 100101*
- 3 *School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047*
- 4 *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*
- 5 *Key Laboratory of Geo-information Science of the Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062*

收稿日期 2010-01-10 收到, 2011-07-10 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展计划 2010CB950800, 国家科技支撑计划项目 2008BAC34B00, 国家航天遥感论证中心项目 Y0H0370034

作者简介 刘剋, 男, 1974 年出生, 博士, 从事城市气候、遥感、GIS 应用研究。E-mail: liuke1176@163.com

Abstract Based on the Landsat TM remote sensing images from 1990 to 2006, the relationship between different types of underlying surfaces and Urban Heat Island (UHI) by analyzing various underlying surfaces from different radius circular buffer zones (with Hefei Weather Station as their center) and their corresponding air temperatures (annual average temperature, maximum temperature, minimum temperature, and fixed time data). It is found that a very strong positive correlation between construction land and UHI and a negative correlation between woodland/grassland and UHI. There is a relatively strong positive correlation between water body and UHI at night. The influence of different types of underlying surfaces on UHI varies with different hours everyday. As far as range of influence is concerned, construction land is within 6 km; woodland/grassland is within 4 km; farmland influence reaches its peak at 4 km; influence of water body reaches 8 km slowly. At the same time, through analyzing the relationship between yearly Land Use and Land Cover Change (LUCC) and UHI, the authors give more evidence of the vital effect laid by city development on UHI. There is a relatively strong correlation between the maximum temperature and the annual variation of heat island intensity at 1400 LST and the yearly variation of LUCC. By the way, UHI decreases dramatically after the moving out of Hefei Weather Station. At last, the possible reasons for how the correlation between different underlying surfaces and UHI can be formed are discussed.

Key words urban climate, urban heat island, urbanization, land use and land cover change

1 引言

城市气候是在区域气候的背景上, 经过城市化后, 在人类活动的影响下, 而形成的一种局地气候(周淑贞和张超, 1985)。城市热岛既是最重要, 也是研究较多的一种城市气候现象(Oke et al., 1991), 其用于描述城市发展及人类活动对城市内部及其周边气温的影响(Magee et al., 1999)。城市热岛强度一般利用城市气温和周边乡村气温的差值获得, 我国一般利用城市台站和郊区台站观测气温差获取, 根据任国玉等(2005)的研究, 我国大部分城市台站气温观测记录, 都受到城市化的影响。在探讨城市化对气温的影响程度上, 一般以城市人口规模、城市不透水面积或城市建成区面积等结合气温数据进行; 也有利用遥感数据获取地表温度(Land Surface Temperature)或亮温进行。

对于城市热岛的研究, 争论最多的是城市热岛的成因以及各种影响因子的权重(Johnson et al., 1991)。同时, 利用气温观测点周边不同范围的城市下垫面状况, 来研究其对观测点气温的影响程度则进行的较少, Chandler(1976)根据伦敦夜晚特定路线气温观测记录和沿线城市建筑强度(建筑区面积和层数的乘积), 获取了城市气温受测点周围 500 m 半径范围内建筑密度影响的结论; Auer(1978)利用航空影像根据植被覆盖

度进行土地分类, 分析了城市气温、辐射的异常; 张景哲等(1985)利用和 Chandler(1976)相似的气温观测方法, 基于遥感影像获取土地分类信息, 对北京市进行了冬、夏季昼夜热岛强度和下垫面比重的研究, 得到了 500 m 和 1500 m 影响范围的结论。本文以上述研究为基础, 以城市气象台站为中心, 利用时间跨度更长、下垫面信息更丰富的遥感影像, 获取不同缓冲区范围的下垫面土地利用信息, 探讨不同时间尺度、不同空间, 城市台站观测气温和郊区台站观测气温差值与不同土地利用类型及其变化之间的关系, 以便为城市热岛成因研究、气温订正及气象台站选址提供参考。

2 研究区域和方法

2.1 研究区概况

合肥市(32°N, 117°E)位于安徽省中部, 长江、淮河之间, 巢湖之畔的丘陵地带, 属暖温带向亚热带的过渡区域, 为亚热带湿润季风气候。2008 年, 市区建成区面积为 224 km², 常住人口 460 多万。

本文以合肥市属 4 个台站为研究对象(见图 1), 其中合肥站位于合肥市区西北, 肥西、肥东站位于其所属区县的边缘区域, 长丰站相对较远, 三者距离合肥站分别为 18、22、65 km。以合肥站为城市站代表, 以肥东、肥西、长丰站作为传

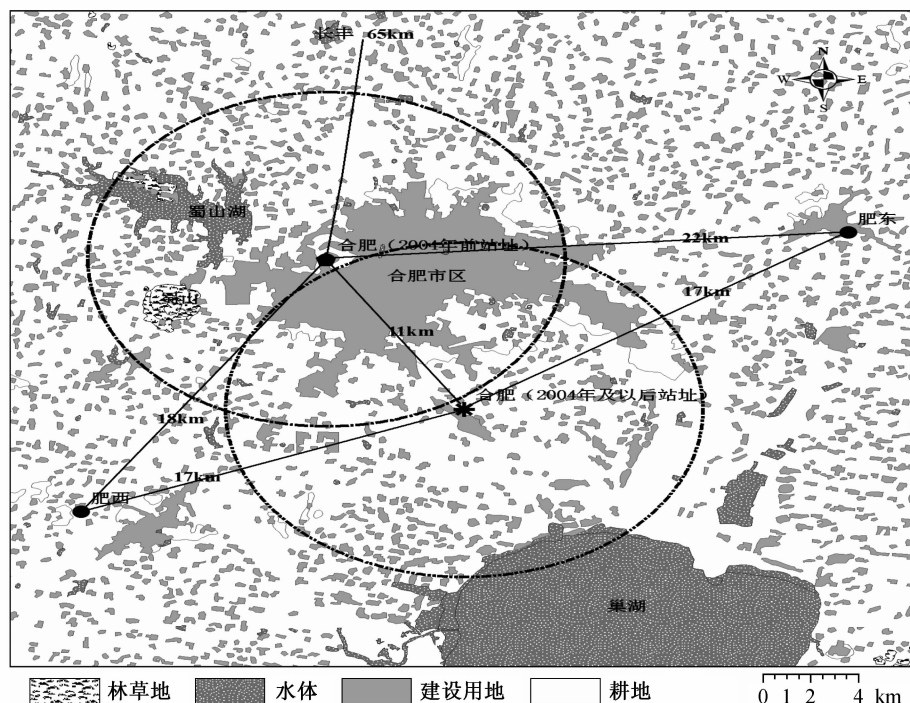


图1 合肥站区位及研究区土地利用概况 (背景为2000年土地利用状况, 圆半径为10 km)

Fig. 1 Location of Hefei weather station and the land use profile of research area (with a land use map in 2000, the radius is 10 km)

统意义上的乡村站。

2.2 数据来源和处理

所需数据由两部分组成：一是用于土地利用与覆被变化 (Land Use and land Cover Change, LUCC) 研究的遥感、数字高程和土地利用状况数据；二是常规气温观测数据。

首先，利用全球定位系统 (Global Positioning System, GPS) 精确测定合肥市气象站 2004 年 (迁站) 前后的位置，以合肥站为中心，基于和 GPS 测量统一的地理和投影坐标下，把 1990、1995、1999、2000、2001、2002、2003、2005、2006 年的 9 景 Landsat TM 1-7 波段影像，裁剪成以合肥站为中心的 10 km 影像。其次，结合合肥市数字高程模型 (Digital Elevate Model, DEM) 数据，采用分类精度较高的决策树方法 (刘勇洪等, 2005; 索玉霞和王正兴, 2008)，根据不同地物各波段的差异及归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 值，结合高程信息，把合肥市土地利用类型分为建设用地、耕地、林草地和水体 4 种类型。最后，基于 10 km 缓冲区分类的基础上，分别裁剪 2、4、6、8 km 缓冲范围，并统计 4 种土地利用类型在各自

缓冲区所占百分比 (其中 1990 年和 2005 年结果如图 2 所示)。另外，以中国科学院提供的 1993~1995 年 (简称 85)、1997~2000 年 (简称 95)、2003~2005 年 (简称 05) 土地分类数据提取合肥市主城区面积。

气象数据为 1990~2000 年 4 个台站，每日 4 个时次气温，以及年均温和极值。利用每日数据汇总成 4 个时次年均数据。

合肥市城区仅有一个气象观测站，即合肥站，其观测值代表了城市台站气温。本文利用合肥站和其他乡村台站的气温差来表示热岛强度 (ΔT_{u-r})，其计算公式为

$$\Delta T_{u-r} = T_{\text{hefei}} - (T_{\text{changfeng}} + T_{\text{feixi}} + T_{\text{feidong}}) / 3,$$

其中 T_{hefei} 、 $T_{\text{changfeng}}$ 、 T_{feixi} 、 T_{feidong} 分别代表合肥市、长丰、肥西和肥东 4 台站气温。

3 结果分析

3.1 合肥市气象站周边下垫面变化

合肥市气象站位于合肥市区西北，居合肥市边缘区域，距西北方蜀山湖 4 km 左右，距西南方蜀山公园 6 km 左右。以 85、95、05 土地分类状

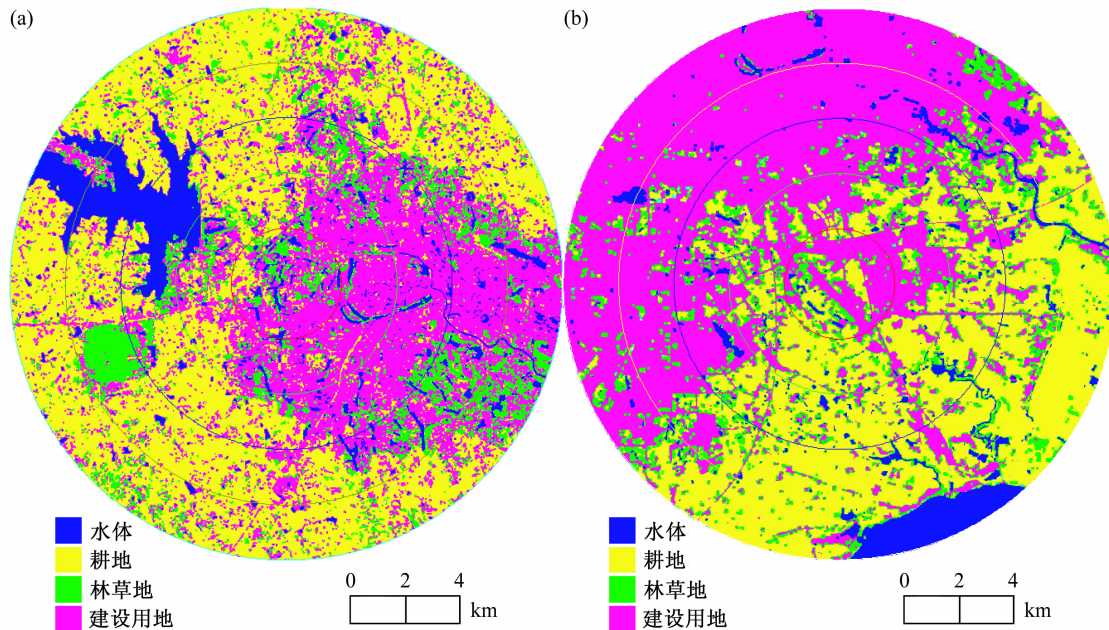


图2 (a) 1990 年和 (b) 2005 年土地利用分类结果及缓冲区范围

Fig. 2 The land use classification result in (a) 1990 and (b) 2005 and the region of buffer area

况, 获取合肥市的主城区面积分别为 65 km^2 、 97 km^2 、 160 km^2 。从 2000~2005 年, 合肥市发展迅速, 其中以东部靠近肥东、西部靠近肥西, 及往巢湖方向为主, 合肥市气象站恰好处于城市发展的反方向, 故发展上略微滞后于主城区的其他区域。到 2004 年, 合肥站搬迁到主城区南部的机场附近, 其西北 3 km 为主城区, 往南 8 km 为巢湖。

根据 1990~2006 年土地分类结果 (图 3) 得出, 站点周边的发展以 2002 年为明显界限, 2002 年前, 站点周边建筑用地基本上保持动态平衡, 到 2002 年, 6 km 范围内发展速度明显加快, 2003 年 10 km 范围内建设用地都有显著增加, 4 km 范围内建设用地比例达到 80% 以上, 即气象站基本上全部被城镇包围。2004 年后, 合肥站搬迁到机场附近, 其建设用地急速减少, 在 6 km 范围内, 尚不及 1990 年站点周边建设用地面积, 土地类型比例、所处方位也和 2004 年前明显不同。

在其他各项用地的变化上, 1990~2003 年, 耕地的减少恰好和建设用地的增加成正比; 合肥市站周边林草地主要集中在淝河附近几大公园、蜀山公园、蜀山湖周边、市区内行道树以及零星散落的林草地。公园绿地相对稳定, 行道树和其他林草地则变动较大, 在 8~10 km 范围内, 林草

地保持小幅度的波动, 而在 2~4 km 范围, 则变动稍大。需要说明的是, 草地的比例一直很少。水体和林草地相似, 较大范围内, 水体比例保持在 8%~9%, 也比较稳定, 主要和蜀山湖水体比较稳定有关。合肥市站搬迁到南部机场后, 水体比例有所下降, 并且主要是巢湖水体, 其他零星水体较以前明显减少。总体看来, 小范围内水体变动较大。

3.2 热岛强度和下垫面关系分析

3.2.1 基于年均值、极值热岛强度和下垫面关系分析

利用 1990~2006 年分类结果, 进行了各用地比例和气温均值、极值时热岛效应的相关分析 (见表 1)。

建设用地对热岛的影响最强, 但范围有限, 距离不超过 6 km, 并且对均值、极值时的影响程度不同, 影响最强的是最高温时的热岛效应, 2、4、6 km 的相关系数分别为 0.93、0.80、0.89; 其次为平均值, 对最低温影响较弱, 并且影响范围较小。

合肥市周边被大量农田包围, 耕地一般为“一年两熟”耕作模式。分析结果表明: 城市周边的耕地具有较明显的降温作用, 其对台站气温的

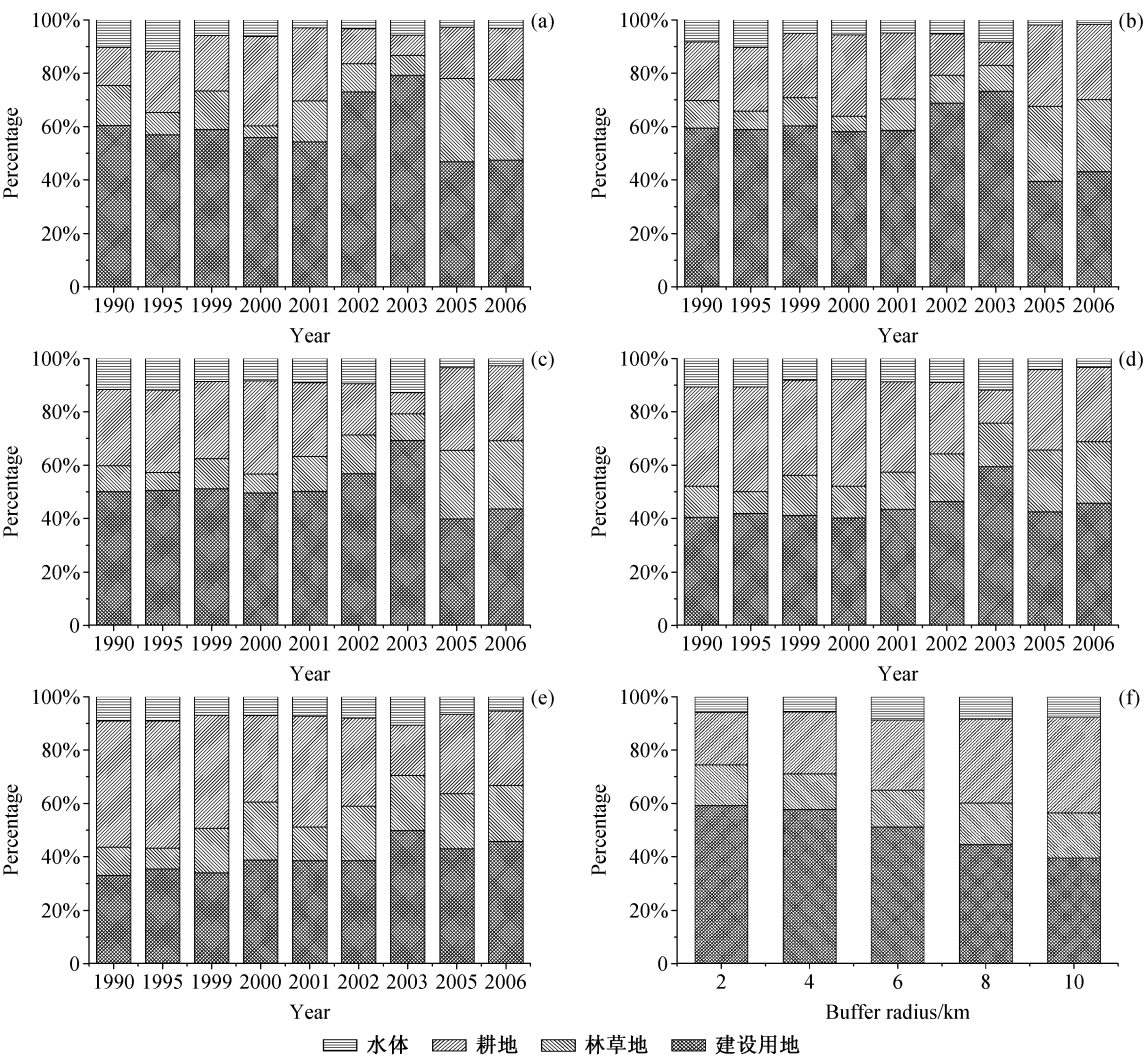


图3 (a) 2 km、(b) 4 km、(c) 6 km、(d) 8 km、(e) 10 km 缓冲区范围内土地利用状况和 (f) 9 年的平均状况
Fig. 3 The percentages of land use for (a) 2-km, (b) 4-km, (c) 6-km, (d) 8-km, (e) 10-km buffer radiuses and (f) the 9-year average land use

表 1 不同缓冲区下各土地类型面积比和热岛效应相关系数
Table 1 The correlation coefficients between the percentage of land type and Urban Heat Island (UHI) effect

缓冲区半 径/km	建设用地			耕地			林地			水体		
	ΔT_{mean}	ΔT_{max}	ΔT_{min}	ΔT_{mean}	ΔT_{max}	ΔT_{min}	ΔT_{mean}	ΔT_{max}	ΔT_{min}	ΔT_{mean}	ΔT_{max}	ΔT_{min}
2	0.86	0.93	0.61	-0.34	-0.52	-0.16	-0.71	-0.63	-0.70	0.07	0	0.40
4	0.86	0.80	0.71	-0.74	-0.82	-0.54	-0.64	-0.47	-0.69	0.47	0.40	0.68
6	0.75	0.89	0.53	-0.63	-0.82	-0.36	-0.52	-0.40	-0.61	0.64	0.55	0.70
8	0.39	0.72	0.13	-0.31	-0.65	0.02	-0.32	-0.09	-0.58	0.65	0.58	0.69
10	-0.05	0.38	-0.32	-0.09	-0.53	0.30	0.04	0.38	-0.39	0.57	0.67	0.57

注： ΔT_{mean} 、 ΔT_{max} 、 ΔT_{min} 分别为基于气温均值、最高值、最低值的热岛效应。

影响强度较建设用地弱，影响范围也较小，对最低温的影响不显著，而对最高温有较强的负相关，最大负相关出现在 4 km 缓冲区附近。
林草地在对热岛的影响上，随着距离的增加

而减弱，影响的范围大体在 4 km 以内。林草地和耕地虽然都起降温作用，但耕地对最高温的差异较敏感，林草地则最不敏感。在影响范围上，二者也不相同，耕地在 4 km 最大，林草地则距离越

近, 负相关越强。

城市化会导致城市温差的减小, 也就是造成城市最低气温的增高和最高气温的降低, 并且会形成城市热岛夜晚强、白天弱的现象。而城市水体, 在冬季和夜晚起着保温的作用, 夏季、白天起着降温的作用(周淑贞和张超, 1985), 其所造成的影响恰好和城市热岛效应相符。因此, 二者之间在一定的范围和天气条件下, 应该是正相关的关系。通过我们的研究, 验证了这一推论, 影响范围在 8 km 左右最大, 并且对城市最低温时的热岛效应影响稍高。

3.2.2 基于日定时气温年均值热岛强度和下垫面关系分析

对于热岛效应日变化特征, 谢庄等(2006)进行的北京城市热岛效应的昼夜变化特征分析表明: 北京热岛日变化从 17 时(北京时间, 下同)开始城郊气温差开始变大, 22 时至次日 05 时处在高值期, 05 时左右达到极值。季崇萍等(2006)利用每日 4 个时次的观测气温, 进行了北京城市化进程对城市热岛的影响研究, 结果表明: 02 时热岛效应最强, 14 时最弱。根据合肥市 4 个气象站日定时气温进行年平均, 分析了 1990~2006 年来, 合肥市 4 个时次的热岛状况。从图 4 可见, 2000 年前, 合肥市热岛以 20 时为最高, 其次为 02 时; 2000~2003 年, 以 02 时为最高, 2004 年开始, 合肥站搬迁到机场附近, 热岛效应迅速降低。日定时年均热岛强度和下垫面类型的关系的相关性结果见图 5。

不同时段、不同下垫面类型, 对热岛影响程

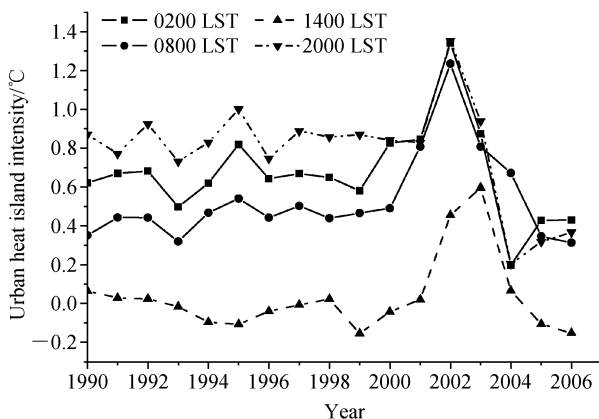


图 4 1990~2006 年合肥市 4 个时次年均热岛效应

Fig. 4 Annual UHI at four times in Hefei from 1990 to 2006

度和范围也不同。建设用地对热岛日变化的影响, 在 4 km 以内都较显著, 其中以 14 时最明显; 2~8 km, 建设用地和热岛强度的相关系数平均为 0.84。但随着距离的增加, 建设用地对城市热岛的影响迅速降低, 以 20 时下降最快, 和均值及极值时的结论相同。另外, 建设用地的影响在 6 km 缓冲区内, 都较其他用地类型显著。

耕地对热岛日变化的影响, 以 14 时为最显著的负相关。由此可见, 耕地对城市气温在 14 时起着很重要的降温作用。在热岛日变化中, 耕地对城市热岛的影响程度由强到弱为 14 时、08 时、02 时、20 时。

林草地对热岛的影响, 在 20 时呈现最强的负相关, 02 时、08 时、14 时依次减弱。其中在 08 时和 14 时, 其影响强弱恰好和耕地相反, 特别是超过 4 km 缓冲区后, 林草地对热岛的影响, 在 08 时和 14 时几乎没有。

水体是热容量最大的下垫面, 相对其它下垫面类型, 增温和降温都较慢。根据周淑贞和张超(1985)对上海夏季的水面及附近测站(未确定其下垫面类型)的观测结果, 显示二者在 01 时、07 时温差最小, 13 时、19 时温差最大, 水体温度较附近测站低。而黄良美等(2007)对南京 4 种下垫面 7~9 月的日变化进行分析后得出: 白天气温呈由弱到强依次为林地、水体、草地、水泥地; 而夜晚则相反, 晚上林地与水体有轻微的保暖效应, 晴好无风天气时这种效应更明显。从图 5 的结论可以进一步得出: 城市热岛和水体关联性最强的是 20 时, 明显超出其它时段的相关性。

3.3 LUCC 和热岛年变化关系

合肥市 1990、2000、2005 年国民生产总值分别为 58、325、854 亿元, 15 年增长了 14 倍; 同时, 1990、1997、2003 年合肥市的建成区面积分别为 65、97、160 km², 13 年增长了近 2 倍, 城市的拓展和经济的迅猛发展相呼应, 造成了城市及周边各项用地之间的比例变化, 伴随而来的是热岛强度的迅速增高。下面探讨各缓冲区下垫面年变化和热岛强度年变化的关系。以年均温、极值和日定时年均温为研究对象, 以 ΔT_{UHI} 表示热岛强度年变化, 其含义为下一个年份热岛强度减去当年热岛强度。

热岛强度高并非代表其年变化就大, 基于此,

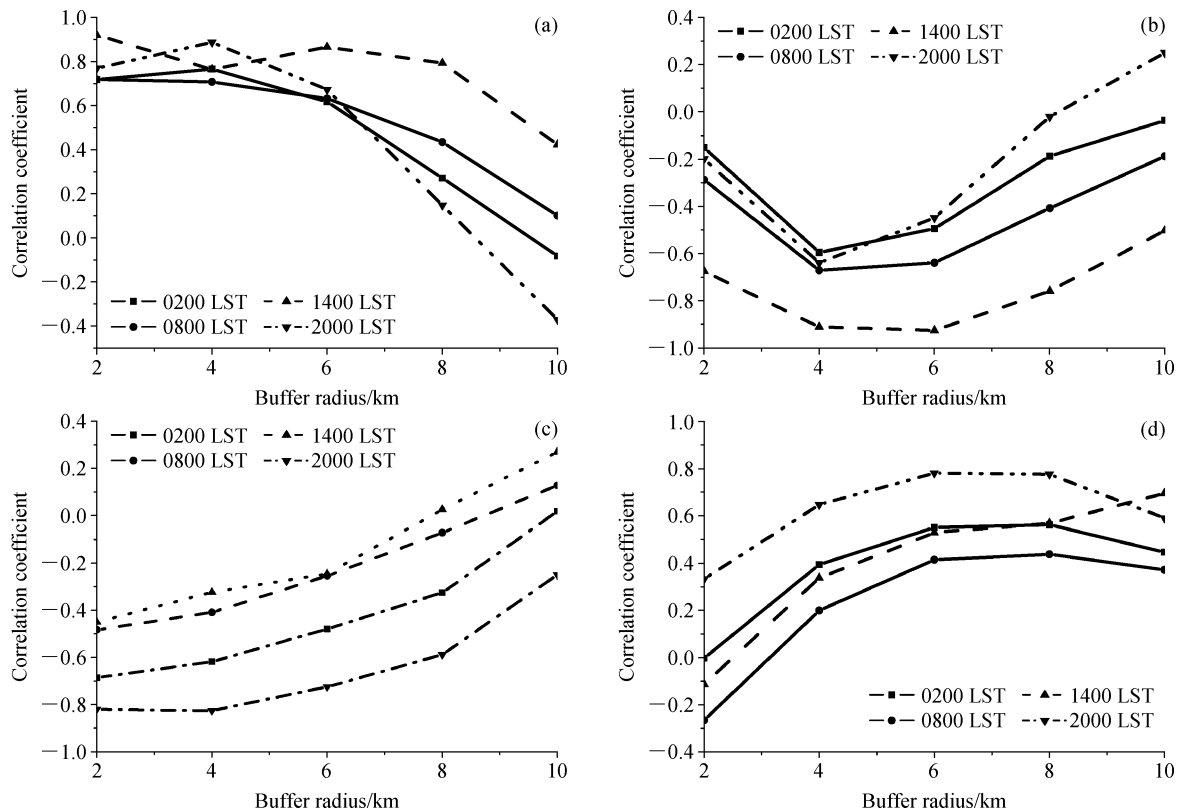


图5 各缓冲区内下垫面类型和日定时热岛相关性分析

Fig. 5 The correlation coefficient between underlying surface types and daily fixed-hour UHI in every buffer area

我们分析了各半径缓冲下, 年均值、极值和日定时各自热岛强度的年变化和土地利用年变化之间的相关性。

1990~2001年, 合肥经济快速增长, 城市规模逐渐扩大, 但根据9年缓冲区结果可见, 这些都没有在合肥站周围明显地体现出来, 主要原因归结为合肥站位于合肥市区西北, 不属于其发展的主方向。因此, 这12年里, 合肥站周边各项用地处于缓慢的变动期, 在10 km范围内, 仅有部分城镇用地的增长(接近6%)和耕地的减少(稍高于6%), 以及林草地和水体的2%左右的小幅度增减。对应到热岛的年变化上, 年均值热岛强度在 0.52°C 、20时热岛强度在 0.88°C , 均仅有 0.1°C 左右波动, 和站点周边城市发展基本一致。

热岛效应年变化最大值出现在2001~2002年(见表2), ΔT_{UHI} 平均在 0.5°C 左右, 相应地, 也是土地利用变化最剧烈的年度(见表3), 主要集中在气象站周围6 km范围内, 以耕地的减少和建设用地的增加为主要特点, 到10 km左右则变动

较少, 并且有林地增加的现象, 这和合肥站处于城市边缘有着密切关系。

2004年合肥市迁站前后(2003年和2005年)对比, 土地利用的变化更为剧烈(见表3), 新的站点周边建设用地显著减少, 耕地、林草地大量增加, 相应地, 热岛强度明显降低, 平均降幅达 0.5°C 以上。可见, 异地比较也得出了耕地、林地的增加、建设用地的减少对热岛的显著减弱作用。

热岛强度年变化中, 以6 km以内为研究对象, 对下垫面年变化最敏感的是最高温热岛强度, 日定时气温中的14时, 也有很强的相关性(如表4所示)。建设用地、林草地和最高温热岛、14时热岛的年变化相关性都在0.6左右, 而平均值、最低温以及日定时其他时刻热岛年变化和下垫面变化关系均不显著, 相关系数都在0.5以下。

从表4可以得出, 归结到各项用地上, 建设用地的增加显著增强了城市的热岛效应, 越靠近气象站, 这种作用越明显; 林草地和耕地均与最

表 2 2001~2002 年及 2003~2005 年热岛强度对比
Table 2 UHI intensity changes during 2001 - 2002 and 2003 - 2005 °C

时间	$\Delta T_{UHI\text{mean}}$	$\Delta T_{UHI\text{max}}$	$\Delta T_{UHI\text{min}}$	ΔT_{UHI02}	ΔT_{UHI08}	ΔT_{UHI14}	ΔT_{UHI20}
2001~2002 年	0.57	0.50	0.56	0.50	0.43	0.44	0.53
2003~2005 年	-0.57	-0.64	-0.51	-0.44	-0.46	-0.70	-0.62

注: $\Delta T_{UHI\text{mean}}$ 、 $\Delta T_{UHI\text{max}}$ 、 $\Delta T_{UHI\text{min}}$ 、 ΔT_{UHI02} 、 ΔT_{UHI08} 、 ΔT_{UHI14} 、 ΔT_{UHI20} 分别为基于气温均值、最高值、最低值, 02 时、08 时、14 时、20 时的热岛强度年差值。

表 3 2001~2002 年及 2003~2005 年土地利用状况对比
Table 3 A comparative analysis of land use between 2001 - 2002 and 2003 - 2005

缓冲区 半径/km	建设用地/ km ²		耕地/ km ²		林地/ km ²		水体/ km ²	
	2001~2002 年	2003~2005 年	2001~2002 年	2003~2005 年	2001~2002 年	2003~2005 年	2001~2002 年	2003~2005 年
2	18.75	-32.44	-14.34	11.69	-4.77	23.77	0.36	-3.02
4	10.13	-33.66	-9.14	21.82	-1.27	18.32	0.27	-6.47
6	6.61	-29.35	-8.35	23.07	1.44	15.66	0.31	-9.39
8	2.90	-16.85	-7.01	17.95	3.86	6.70	0.25	-7.81
10	-0.07	-6.83	-8.57	10.90	7.88	0.02	0.76	-4.09

表 4 最高温、14 时热岛强度年变化和下垫面变化相关系数
Table 4 The correlation coefficients between changes of underlying surface and UHI intensity of maximum temperature, and temperature at 1400 LST

缓冲区 半径/km	建设用地		耕地		林地		水体	
	$\Delta T_{UHI\text{max}}$	ΔT_{UHI14}	$\Delta T_{UHI\text{max}}$	ΔT_{UHI14}	$\Delta T_{UHI\text{max}}$	ΔT_{UHI14}	$\Delta T_{UHI\text{max}}$	ΔT_{UHI14}
2	0.91	0.96	-0.51	-0.70	-0.86	-0.72	0.50	0.36
4	0.85	0.92	-0.72	-0.88	-0.84	-0.75	0.62	0.63
6	0.81	0.87	-0.69	-0.85	-0.76	-0.67	0.70	0.82
8	0.68	0.78	-0.66	-0.81	-0.35	-0.30	0.70	0.82
10	0.57	0.56	-0.85	-0.69	0.54	0.28	0.70	0.79

高温热岛有着较强的负相关; 水体和最高温热岛年变化也有着正相关关系。

对热岛年变化影响范围上, 各项用地也不尽相同, 建设用地在 6 km 范围内, 相关系数在 0.8 以上, 在 4 km 范围内, 耕地与林草地均对热岛有较强的抑制作用; 水体随着距离的增加, 一直到 8 km 左右, 与热岛强度年变化的正相关缓慢地增强。

4 结论和讨论

城市热岛变化既和城市内部特征, 例如: 城市规模、建筑物密度、土地利用类型分布有关, 也会受到城市外部环境的影响, 比如气候、盛行天气和季节变化。Oke (1982)、Oke et al. (1991) 汇总了对于城市热岛的可能影响因素: 1) “城市

峡谷”减弱了长波辐射的损失, 并使短波辐射多次反射, 削弱了下垫面的反照率; 2) 城市下垫面的热属性, 增加了其对感热的存储; 3) 人为热; 4) 城市的“温室效应”; 5) 城市不透水面使得城市波文比 (Bowen ratio) 较大; 6) 城市内较弱的湍流交换。

利用常规观测气温及计算数据所进行的热岛研究, 必须要考虑上述因素的影响, 下面就 4 种下垫面类型和气象站周围热岛效应的关系, 分别做一分析:

(1) 本文所提及的建设用地中, 不但有“城市峡谷”的几何特性, 而且其中不透水面远高于乡村区域, 其粗糙而又特殊的下垫面几何特征, 较低的反射率及较高的热储量, 较强的导热性, 使得其和热岛有最强的相关性。在每日热岛的变化上, 热岛最强的是 20 时和 02 时, 主要归结于

城市下垫面较郊区多 2 倍的热储量和更快的导热率。在晴好天气下,使得白天储存的大量热量,在日落后不断通过地气交换方式输送给近地空气,而此时的郊区甚至可能呈现出近地逆温层,因此,热岛强度在这些时段最为强烈。同时,研究发现,气象观测气温所受下垫面的影响范围,综合起来说以气象站 4 km 范围最强烈,6 km 仍有较强的影响,再往外则迅速降低。

(2) 城市林草地和热岛的关系:刘梦飞(1988)根据北京 200 多个观测点 1981 年和 1982 年气温观测数据,进行城市绿化覆盖率与气温的关系研究后指出:绿化覆盖率与气温呈较密切的负相关,夜间城市绿地的降温作用表现得更强烈。而本文的研究也证实了热岛强度和林草地的负相关关系。在日变化上,20 时有显著的负相关。此时是热岛强度为最强烈时刻的开始。分析认为,林草地有着和乡村下垫面相似的热量变化特征:白天,城乡之间温差较小,也可以说,城市林草地和周围建筑物也有着较小的温差;而夜晚,城乡温差加大、热岛增强,和乡村类似的城市区域的林草地,就会起着显著降低热岛的作用,因此,这时热岛和林草地表现出最强的负相关。同时,在对气象站的观测气温影响上,距离越近,影响也越强,一般在 4 km 以内较为显著。

(3) 对于耕地和热岛之间的关系,合肥恰好处于旱地和水田的交界地区,其北部为旱地,南部则有水田,一部分菜地混杂其中,耕地主要分布在城市周边,在热岛的日变化上,和 14 时热岛最弱的时候体现出最明显的负相关。在对气象站的观测气温影响范围上,也和林草地类似,其在 4 km 时,体现出最强负相关性。

(4) 水体作为热容量最大的一类下垫面,傅抱璞(1997)对我国 26 个湖泊、水库和河流的实际观测资料得出:冬季不封冻的浅水域大湖泊,最低气温高陆地 1 °C,最高气温低 0.5~0.7 °C;夏季,浅水域在湿润地区(特别是水稻田地区)平均气温较陆地增高 0.13~0.15 °C,最低气温增高更多,最高气温降低 1 °C 左右。张景哲等(1985)也得出了未封冻的城市水体在冬季夜晚有轻微的保暖作用。János(2000)对匈牙利的 Szegeged 城的研究表明,小区域城市水体表面对热岛强度的影响可以忽略,但利用临近水体的测站获取

的气温变化和水面上观测气温的变化结果并不相同。总体上来说,水体会在夜晚的一定时间内起着增温的作用,本文的研究也证明了该结论。

总之,以气象站为核心,进行不同范围下垫面类型比例和以台站为中心的热岛效应的关系研究表明:在台站观测气温受到城市化的影响幅度上,建设用地有着最强的正相关,其影响在所有土地类型中最大;城市绿地,包括林草地和耕地有着明显的负相关;水体和 20 时热岛效应有着较强的正相关。在影响范围上,4 类下垫面也不尽相同。另外,城市热岛效应是一个综合作用的结果,本文的研究只是从下垫面的角度,忽略其他因素所得的结果,结合其他影响因素的研究,还需要进一步加强。

参考文献 (References)

- Auer A H. 1978. Correlation of land use and cover with meteorological anomalies [J]. *J. Appl. Meteor.*, 17 (5): 636-643.
- Chandler T J. 1976. Urban climatology and its relevance to urban design [J]. *WMO Tech.*, 149: 438.
- 傅抱璞. 1997. 我国不同自然条件下的水域气候效应 [J]. *地理学报*, 52 (3): 246-253.
- Fu Baopu. 1997. The climatic effects of water in different natural conditions [J]. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 52 (3): 246-253.
- 黄良美, 黄海霞, 项东云, 等. 2007. 南京市四种下垫面气温日变化规律及城市热岛效应 [J]. *生态环境*, 16 (5): 1411-1420.
- Huang Liangmei, Huang Haixia, Xiang Dongyun, et al. 2007. The diurnal change of air temperature in four types of land cover and urban heat island effect in Nanjing, China [J]. *Ecology and Environment* (in Chinese), 16 (5): 1411-1420.
- János U. 2000. Urban heat island development affected by urban surface factors [J]. *Quart. J. Hungarian Meteor. Service*, 104 (4): 253-268.
- 季崇萍, 刘伟东, 轩春怡. 2006. 北京城市化进程对城市热岛的影响研究 [J]. *地球物理学报*, 49 (1): 69-77.
- Ji Chongping, Liu Weidong, Xuan Chunyi. 2006. Impact of urban growth on the heat island in Beijing [J]. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 49 (1): 69-75.
- Johnson G T, Oke T R, Lyons T J, et al. 1991. Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night. Part 1: Theory and tests against field data [J]. *Bound.-Layer Meteor.*, 56 (3): 275-294.
- 刘梦飞. 1988. 城市绿化覆盖率与气温的关系 [J]. *城市规划*, 3 (19): 59-60.
- Liu Mengfei. 1988. The relationship between urban green coverage and air temperature [J]. *City Planning Review* (in Chinese), 3 (19): 59-60.

- 刘勇洪, 牛铮, 王长耀. 2005. 基于 MODIS 数据的决策树分类方法研究与应用 [J]. 遥感学报, 9 (4): 405 - 412. Liu Yonghong, Niu Zheng, Wang Changyao. 2005. Research and application of the decision tree classification using MODIS data [J]. Journal of Remote Sensing (in Chinese), 9 (4): 405 - 412.
- Magee N, Curtis J, Wendler G. 1999. The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska [J]. Theor. Appl. Climatol., 64 (1-2): 39 - 47.
- Oke T R. 1982. The energetic basis of the urban heat island [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 108 (455): 1 - 24.
- Oke T R, Johnson G T, Steyn D G, et al. 1991. Simulation of surface urban heat islands under ideal conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation [J]. Bound.-Layer Meteor., 56 (3): 339 - 358.
- 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 2005. 中国气温变化研究最新进展 [J]. 气候与环境研究, 10 (4): 701 - 716. Ren Guoyu, Chu Ziyang, Zhou Yaqing, et al. 2005. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 701 - 716.
- 索玉霞, 王正兴. 2008. 基于决策树和 MODIS 植被指数时间序列的中亚土地覆盖分类 [J]. 世界地理研究, 17 (3): 126 - 130.
- Suo Yuxia, Wang Zhengxing. 2008. Land cover classification of middle Asia based on decision tree and MODIS vegetation index time series [J]. World Regional Study (in Chinese), 17 (3): 126 - 130.
- 谢庄, 崔继良, 陈大刚, 等. 2006. 北京城市热岛效应的昼夜变化特征分析 [J]. 气候与环境研究, 11 (1): 69 - 75. Xie Zhuang, Cui Jiliang, Chen Dagang, et al. 2006. The annual seasonal and monthly characteristics of diurnal variation of urban heat island intensity in Beijing [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (1): 69 - 75.
- 张景哲, 周一星, 刘继韩. 1985. 北京城市气温与下垫面结构关系的分析 [C] // 中国地理学会. 城市气候与城市规划. 北京: 科学出版社. 1 - 10. Zhang Jingzhe, Zhou Yixing, Liu Jihan. 1985. An analysis of the relationship between Beijing urban temperature and underlying surface structure [C] // Geographical Society of China. Urban Climate and Urban Plan (in Chinese). Beijing: Science Press, 1 - 10.
- 周淑贞, 张超. 1985. 城市气候学导论 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 120 - 121. Zhou Shuzhen, Zhang Chao. 1985. Introduction to Urban Climatology [M] (in Chinese). Shanghai: East China Normal University Press, 120 - 121.