

杨元建, 石涛, 荀尚培, 等. 基于遥感资料研究合肥城市化对气温的影响[J]. 气象, 2011, 37(11): 1423-1430.

基于遥感资料研究合肥城市化对气温的影响^{* 1}

杨元建^{1,2} 石 涛³ 荀尚培¹ 唐为安⁴ 张宏群¹ 张爱民^{1,3}

1 安徽省气象科学研究所, 合肥 230031

2 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

3 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036

4 安徽省气候中心, 合肥 230031

提 要: 为了探讨城市化进程对城市区域气温的影响程度, 利用高分辨陆地卫星影像结合 GIS 技术揭示了近 30 年合肥城市化进程及其对气象观测场周边土地利用/覆盖变化(LUCC)的影响过程; 进一步分析了 1970—2008 年合肥气象站与其周边的肥西和肥东气象站观测的年平均、最高和最低 3 项气温的动态变化特征, 并最终建立了合肥气象观测场周边 LUCC 与气温的关系模型。结果表明, 近 30 年来, 合肥建成面积在不断扩大, 从而导致了气象观测“进城”而先后进行搬迁的现象, 继而产生了气温序列的非均一性。1979—2003 年期间, 合肥观测场由于受到城市扩张影响显著, 合肥站 3 项气温的增温速率均明显大于肥西和肥东 3 项气温增温速率。合肥观测场周边半径为 4 km 缓冲区 LUCC 对平均气温和最低气温的变化有显著影响。建成面积的增加对平均气温、最低气温有正贡献; 而耕地、植被、水体的增加却对平均气温、最低气温存在负贡献。

关键词: 城市化, 热岛效应, 遥感, 气温, 观测环境

Impact of Hefei Urbanization on Temperature Observation Based on Remote Sensing Data

YANG Yuanjian^{1,2} SHI Tao³ XUN Shangpei¹ TANG Weian⁴
ZHANG Hongqun¹ ZHANG Aimin^{1,3}

1 Anhui Institute of Meteorological Sciences, Hefei 230031

2 LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3 Resource and Environment College, Anhui Agricultural University, Hefei 230036

4 Anhui Climate Centre, Hefei 230031

Abstract: Based on the data from Hefei and its surrounding sites and MSS, TM and ETM data of Hefei City, and GIS technology, the land use/cover change (LUCC) situations of buffer areas, which are apart 1, 2.5, 4 km from Hefei observation field and 20 km from Hefei urban areas, were extracted. Variations of annual average, maximum and minimum temperatures (T_{ave} , T_{max} and T_{min}) were analyzed in Hefei and its surrounding sites, respectively. Furthermore, the regression model between LUCC of Hefei observation field and temperature was established, and a sensitivity analysis was also made. The results have shown that in recent 40 years, the urban area of Hefei has been expanding, thus leading to the site entering into city. Due to this, Hefei Site moved to the suburbs in 1979 and 2004, respectively. After that the temperature difference between Hefei and its surrounding sites became smaller. Because of Hefei Site entering into city, increasing rates of three temperatures in Hefei Site were significantly higher than those in its surrounding sites, and the differences of T_{ave} , T_{max} and T_{min} between Hefei and its surrounding sites became

* 科技部科技基础性工作专项(2007FY110700)和安徽省国际科技合作计划项目(07080703005)共同资助

2011 年 3 月 27 日收稿; 2011 年 5 月 26 日收修定稿

第一作者: 杨元建, 主要从事卫星遥感与气候环境变化研究. Email: yyj1985@mail.ustc.edu.cn

通讯作者: 荀尚培. Email: xunsp@sohu.com

bigger. The regression model between LUCC and the temperature in different buffers area showed that impacts of LUCC on T_{ave} , T_{max} and T_{min} were not sensitive in Hefei observation field's 1 and 2.5 km buffer areas. Similarly, impacts of LUCC on T_{max} were not sensitive in Hefei observation field's 4 km buffer area, while impacts of LUCC on T_{ave} and T_{min} were significant. Specifically, the increased building areas had a positive contribution to T_{ave} and T_{min} in Hefei observation field's 4 km buffer area; Oppositely, the increased farmland, vegetation, water body areas had a negative effect on T_{ave} and T_{min} .

Key words: urbanization, heat island effect, remote sensing, temperature, observation environment

引 言

全球气候变暖已成为国际社会关注的重大问题,我国学者对中国近几十年的气候变化做了大量研究工作,发现中国气候变化的区域性差异显著^[1-7]。任国玉等^[5]指出,中国 20 世纪气候增暖的原因目前还不能给出明确回答,一些迹象表明人类活动可能已经对中国的地面气温变化产生影响。石春娥等^[8]据 2002 年夏季高温期间合肥市城市小气候考察的资料分析得出,合肥市气温的日变化,主要与城市各地下垫面性质及人为热源不同有关。唐国利等^[9]对近 44 年南京温度变化的特征及其可能原因分析得出,由于不同类型城市间温度变化差异的复杂特点及其所反映出的城市化影响的复杂性,在研究温度变化和考虑城市化的影响时,不仅要考虑大城市,还应该充分注意中、小城市的发展所带来的影响。胡文志等^[10]指出根据香港天文台近年的研究显示,香港的气温上升受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,其中城市化对香港城郊气候差异有显著影响。王建鹏等^[11]对西安地区气温的年代际变化及其受城市化进程的影响研究表明,城市房屋竣工面积、市区总人口、公共汽车数量等城市化指数与气温空间距平之间有着较为密切的正线性相关关系。城市化是西安城区在冬季(1989—1995 年)、夏季(1987—1995 年)频繁发生突变式增温的主要因素。可见,城镇化进程及其伴随的城市热岛与气温变化密切相关。

目前,国内外关于城市热岛对温度的影响研究存在两种截然相反的观点:(1)认为大尺度气候变暖趋势不受城市化影响^[12-14];(2)人口在 100 万以上的大城市热岛效应对气温序列影响显著^[7,15-19],由于全球变暖和城市热岛的累积效应,城市密集区夏季温度升高速度明显高于边远地区,加大了发生高温

热浪的风险^[20-21]。土地利用/覆盖变化(Land Use/Cover Change,LUCC)是快速城市化发展的重要表现形式,而快速城市化导致的城市热岛效应对气温的影响已引起人们广泛关注^[15,22-23]。随着近 30 年来计算机、遥感(Remote Sensing, RS)、地理信息系统(Geography Information System, GIS)和大气探测等技术的高速发展,LUCC 等地表过程研究的效率和质量得到极大的提高^[24-29],定量研究 LUCC 和区域气候变化的关系成为可能^[24-25]。利用遥感(主要是高分辨率的卫星遥感影像数据)和 GIS 技术研究气候变化成为当前全球变化研究的主要技术途径之一^[30]。

本文以合肥地区气温变化为主进行分析,结合 LUCC 遥感影响和 GIS 技术系统地、定量地研究合肥市 LUCC 对气温观测的影响及敏感程度,借此提高人们对气象观测环境的保护意识以及对 LUCC 和区域、城市气候变化特征关系的理解和认识。

1 资料方法

1.1 资料来源

1.1.1 卫星影像数据

陆地卫星影像是美国陆地卫星对地观测所获取的遥感数据的统称。按星载传感器分为返束光导管摄像机(RBV)影像、多波段扫描仪(MSS)影像和专题制图仪(TM/ETM)影像三种。陆地卫星 1~2 号 MSS 影像有 4 个波段,其波谱范围分别为 0.5~0.6 μm ,0.6~0.7 μm ,0.7~0.8 μm 以及 0.8~1.1 μm ,分辨率 80 m。陆地卫星 3 号 MSS 影像新增一个 10.4~12.6 μm 热红外波段,分辨率 240 m。TM 影像(主题成像传感器)是指美国陆地卫星 4~5 号专题制图仪(thematic mapper)所获取的多波段扫描影像,光谱分辨率高,有 7 个波段,时间分辨率为

16 天,空间分辨率约 30 m(其中第六波段 120 m),TM 的 7 个波段是专门为不同的用途设计的(详见表 1)。ETM 是美国 Landsat7 卫星增强型主题成像传感器,主要有 8 个波段(7 个多光谱和 1 个全色波段 pan 波段),pan 波段具有 15 m 的分辨率,扫描带宽 185 km,重复周期为 16 天。

表 1 TM 的主要波段范围及用途
Table 1 Use of the TM main bands

波段范围/ μm	波段设计用途
(1) 0.45~0.52	海岸带监测制图,土壤与植被监测
(2) 0.52~0.60	植被监测、水体污染
(3) 0.63~0.69	区分土壤边界和地质体的边界及不同植物种类对叶绿素的吸收
(4) 0.76~0.90	植被探测、生物量调查和水体轮廓绘制
(5) 1.55~1.75	庄稼缺水探测和作物长势分析及云、雪的区分
(6) 10.4~12.5	植物热强及其他地表热强的监测
(7) 2.08~2.35	地质及其他热液监测制图

本文选取 1979 年以来的 MSS, TM 和 ETM 卫星影像资料,整理出合肥地区的多期遥感数据:MSS 数据、TM 数据和 ETM 数据。

1.1.2 台站数据

选取合肥站、肥西站和肥东站的气温作为研究对象,主要包括 1970—2008 年共 39 年的基本气温(包括平均气温、最高气温和最低气温)数据,还包括其间的气象台站的搬迁历史数据,需注意的是 3 个台站的气温数据均未经过均一化订正。

1.2 数据处理方法

1.2.1 卫星数据解译和 LUCC 的提取方法

以国家 1:50000 基础地理信息数据中的数字高程模型(DEM)、水系等数据对选取的合肥地区待解译的卫星影像进行精确配准(图 1),采用监督分类和目视判读相结合的方法对卫星影像进行解译,并赋土地利用/覆盖属性值。再以气象站为中心生成 1, 2.5 和 4 km 和合肥城区 20 km 的缓冲区(buffer)矢量数据,然后用 buffer 数据切割解译后的土地利用/覆盖矢量数据,得到各站点不同时相的不同 buffer 的土地利用/覆盖的矢量数据,计算各土地利用/覆盖类型的面积,再由这些数据提取各站点不同时间段的 LUCC 数据。

1.2.2 LUCC 与气温观测的模型构建方法

通过多元逐步线性回归来分析,得到不同土地利用类型的构成比例和温度变化的关系模型。首先,假设气温和站点周围的土地类型比例是线性关

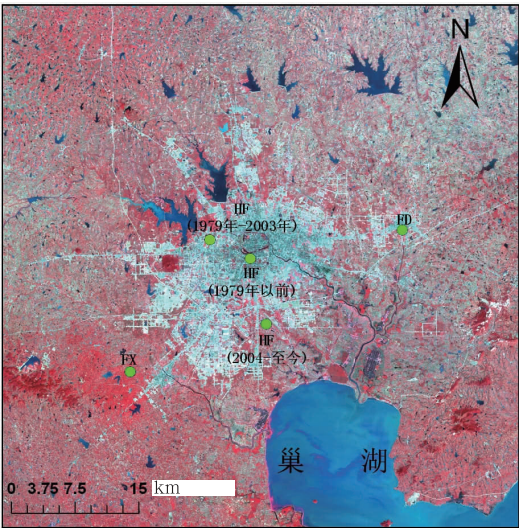


图 1 2007 年 10 月 5 日 TM 的 4,3 和 2 波段合成的假彩色图,以及合肥(HF)、肥西(FX)、肥东(FD)观测场(以圆圈表示)的分布
Fig.1 The pseudo-color map made up of bands 4,3 and 2 TM synthesis on October 5, 2007
Circles indicate Hefei (HF), Feixi (FX) and Feidong (FD) observation fields

系。气象站点周围的土地类型分为耕地、植被(林地和草地)、水体、城建区(主要包括工交建设、居民点等用地)等 4 大类型,然后分别计算各土地覆盖类型面积所占选取缓冲区面积的百分比,耕地、植被(林地和草地)、水体、建成区的面积百分比分别用 P_C (percentage of cropland), P_V (percentage of vegetable), P_W (percentage of water) 和 P_U (percentage of urban) 来表示。建立气温(T)和 LUCC 的线性模型,如下:

$$T = a + b_1 P_C + b_2 P_V + b_3 P_W + b_4 P_U \tag{1}$$

式中, a 为常数, b_1, b_2, b_3 和 b_4 分别是 4 种不同土地类型比例的系数。

1.2.3 气温变化趋势分析方法

选取平均气温、最高气温、最低气温 3 个气温要素,针对近 40 年(1970—2008 年)合肥站、肥西站、肥东站的气温要素进行线性趋势分析:

$$Y_i = a_0 + a_1 t_i \tag{2}$$

式中, Y_i 为气象要素, a_0 为常数项, t_i 为时间年份, a_1 为线性趋势系数,把 $a_1 \times 10$ 称为气象要素每 10 年的倾向率,单位为: $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。根据陈正洪等^[31]的研究,热岛增温速率=城郊气温变化倾向率之差 $[^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}]$,该值 <0 时为冷岛效应。

2 结果和分析

2.1 合肥城市化进程

图 2 给出了合肥市年平均气温距平、非农业人口以及建成区面积的变化。城市的建成区和城区人口的变化也是城市化的一个指标^[30,32],可以看出,近 40 年来,合肥市的非农业人口以及建成区面积^[33]呈现出一个快速的线性增加趋势。而近 40 年合肥市的年平均气温变化总体也呈现上升趋势,但不同的是年平均气温的阶段波动性较大,大致可以分为 3 个阶段,1980 年以前是一个快速增温阶段,1980—1993 年呈现出一个相对稳定阶段,1993 年以后呈显著增温阶段,其中 2003 年以后气温又呈现下降趋势。总的来说,近 40 年合肥城市建成区面积、城区人口与气温距平的变化(如图 2)显示,三者的变化趋势具有一定的一致性,说明气温变化与城市化的发展还是具有密切的关系。

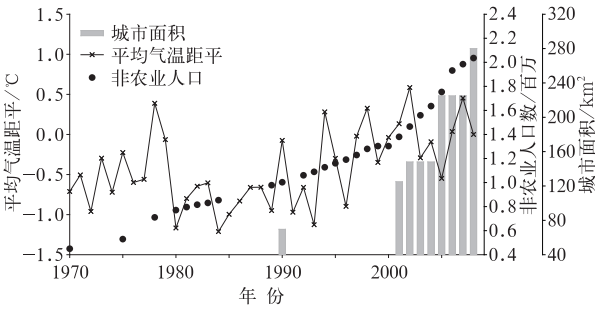


图 2 合肥市年平均气温距平、非农业人口以及建成区面积的变化,其中气温数据未经过均一化订正
Fig. 2 The variations of annual average temperature anomalies, non-agricultural population and urban area from 1970 to 2008, and the temperature series are inhomogeneous in the present work

2.2 卫星遥感数据所示的合肥城市化进程及观测站周围的土地利用变化

合肥城市化的加快发展,必然导致土地利用/覆盖发生巨大变化^[28]。图 3 给出了合肥市中心周边 20 km 缓冲区范围内的土地利用/覆盖类型变化分

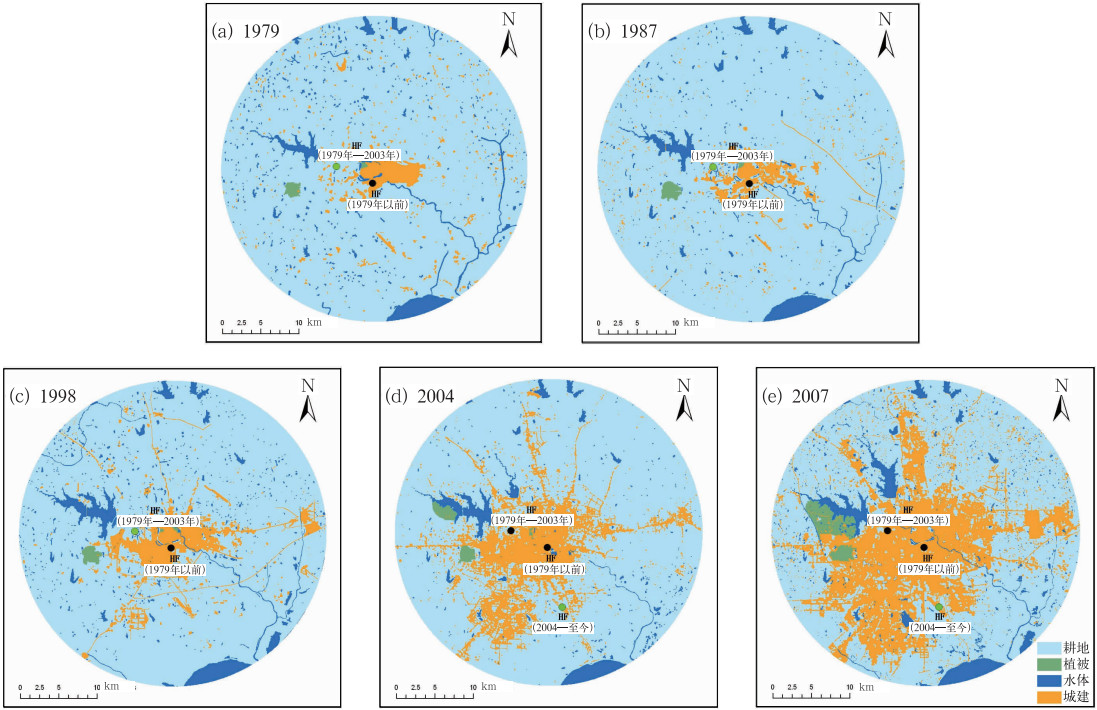


图 3 合肥市 20 km 缓冲区内土地利用/覆盖类型分布,以及合肥观测场的分布
(a)1979,(b)1987,(c)1998,(d)2004,(e)2007

Fig. 3 Land use/cover type distributions of buffer area apart 20 km from Hefei urban area in (a) 1979, (b) 1987, (c) 1998, (d) 2004 and (e) 2007
Solid circles indicate the position of Hefei observation fields (HF)

布。近 40 年,合肥市中心 20 km 范围内的土地覆盖类型发生了明显变化,城区面积在不断扩大,2007 年合肥市 20 km 范围内的建成区面积约是 1979 年的 10 倍。可见,1979—2007 年期间,合肥地区的城市建设用地及交通用地在不断急剧地增多,从而致使土地利用类型由农业耕地型向建设用地型发展。而早先的林地、草地、水域和未利用土地等土地利用类型在逐渐减少。上述结果必然会导致气象观测场的“进城”现象。合肥站的台站搬迁历史数据表明,1970—2007 年受城市扩张的影响,合肥观测站共进行了 2 次搬迁(表 2)。

表 2 1970—2007 合肥观测场位置的变迁

Table 2 The position of Hefei observation field during 1970—2007

年 份	观测场所在地理位置
1970—1978 年	合肥市芜湖路 120 号,期间均处于市区
1979 年	搬迁至合肥市西郊巫大岗,当时处于郊外
2004 年	搬迁至合肥市南郊骆岗,当时处于郊外

在评价热岛效应强度的研究中,以往的研究通常是以人口数来区分城市和农村站点,这种判别方

式有着很大的局限性,即对于站点是否位于城市内部,以及站点周边的自然状况、下垫面的特性等均未加以考虑。本文利用卫星遥感土地利用变化和土地利用动态数据,对合肥气象站点的下垫面进行了判别(图略),充分考虑了站点的下垫面的物理特征,使得城市站点的判定更为可信。具体地,从表 2 可以看出,1970—1978 年合肥观测场已经进入城市内部。因此,1979 年合肥台站搬迁至西郊的巫大岗,当时属于郊外(图 3 和图 4)。随着时间的推移,观测场周围 1,2.5 和 4 km 缓冲区内的居民点和工交用地在不断增多,至 1998 年合肥的城市扩建已经影响到观测场(图 3 和图 4),缓冲区内的耕地等面积显著减少。于是,2004 年又搬迁至南郊骆岗机场,时处郊外。对比 1998 年,此时观测场周围的建成区面积比例减少了,而 3 年之后建成区面积又扩大了。综上所述,分析城市化对气温观测的影响时,需充分考虑观测场周围的土地利用/覆盖类型的变化,才能较好地识别出真正受到城市热岛效应影响的站点。

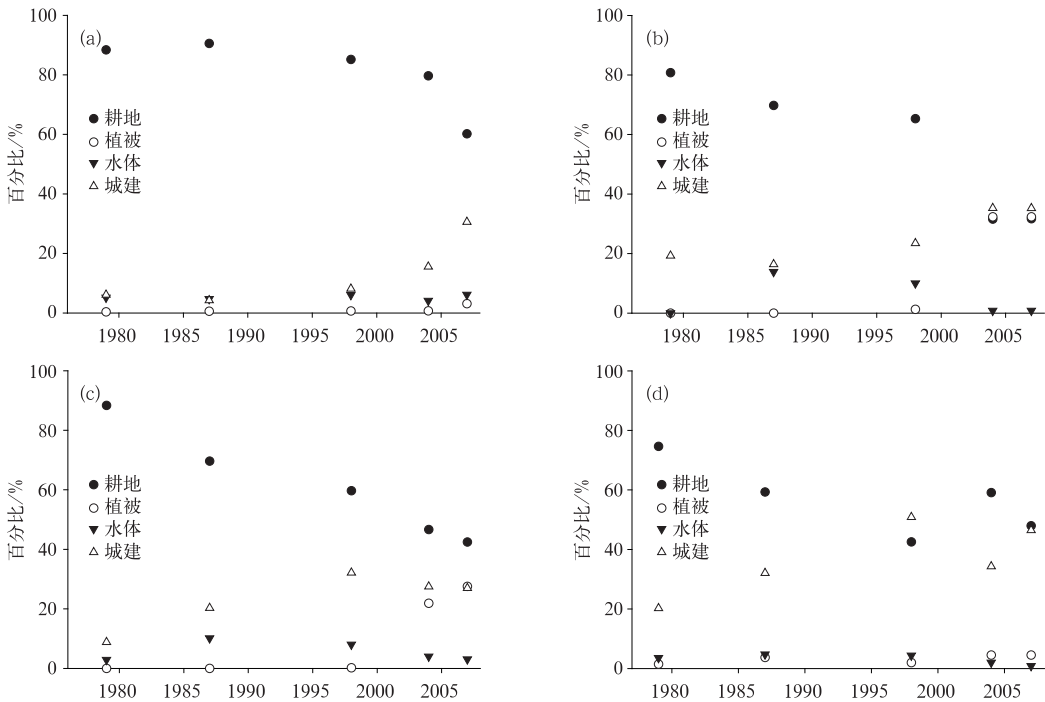


图 4 近 30 年来(a)合肥城区 20 km 半径范围内以及观测场周围分别以 1 km(b)、2.5 km(c)和 4 km(d)为半径的范围内各土地利用/覆盖类型占各缓冲区总面积的百分比

Fig. 4 Land use/cover type area proportions of (a) 20 km-radius buffer area in Hefei City, and (b) 1 km-radius, (c) 2.5 km-radius and (d) 4 km-radius buffer areas around Hefei observation fields during 1979—2007

2.3 合肥站和肥西站、肥东站的气温比较研究

图 5a~5c 分别是 1970—2008 年合肥站、肥西站以及肥东站的年平均气温、最低气温和最高气温的变化曲线。图 5d~5f 分别是合肥站与肥西站、肥东站的年平均气温、最低气温和最高气温的差值变化曲线。表 3 是 1970—2008 和 1979—2003 年合肥站、肥西站、肥东站的年平均气温、最低气温和最高气温的倾向率。根据表 3 计算的合肥站相对于肥西、肥东站的热岛增温速率见表 4。

可以看出：(1)在 1970—2008 年间，合肥与周边站点的年平均气温、最高气温、最低气温总体上均呈显著增加趋势，且年际波动变化一致。(2)1970—2008 年间，合肥站年平均气温、最低气温的增温速率明显大于肥西、肥东站；但合肥站年最高气温的增温速率却小于肥西和肥东站最高气温的增温速率。(3)1979—2003 年间，合肥站 3 项气温的增温速率均明显大于肥西和肥东站 3 项气温增温速率。(4)合肥站 1979—2003 年相对 1970—2008 年期间的 3 项气温增温速率要大很多；而对于肥西站和肥东站而言，1979—2003 相对 1970—2008 年期间的 3 项

气温增温速率则相对较小。(5)在 1970—2008 年间，合肥站与肥西站、肥东站的年平均气温、最低气温的差值呈显著增大趋势，而城郊最高气温的差值却呈减小趋势。(6)1979 和 2004 年是城郊气温温差变化较为显著的转折点，城郊温差由大转小，正对应着合肥台站搬迁的年份。可见，台站搬迁和城市化造成了合肥站气温的非均一性，这与已有的一些研究结论较为一致^[34,35]。

结合 2.2 节可以看出，1979—2003 年期间，3 个站点均没有搬迁过，由于这 3 个气象站都处于同一气候区，气候变化在小区域的变化应当是同步的。相比之下，合肥站气温上升的趋势大于周围其他气象站，主要是由于合肥站受到城市范围扩大的影响，其周围环境发生变化(图 4)而形成的城市热岛效应，从而致使增温速率较大(表 4)。而在整个 1970—2008 年合肥相对于肥西、肥东的热岛增温速率比 1979—2003 年小，主要是因为 1970—1978 年间，合肥观测场已经处于市区，呈现出较明显的热岛现象，但 2004 年合肥观测站又搬迁至郊区，加之近年来合肥城区扩张也逐渐向肥西、肥东观测场靠近(图 1)，所以导致合肥站近 40 年相对热岛增温速率较小。

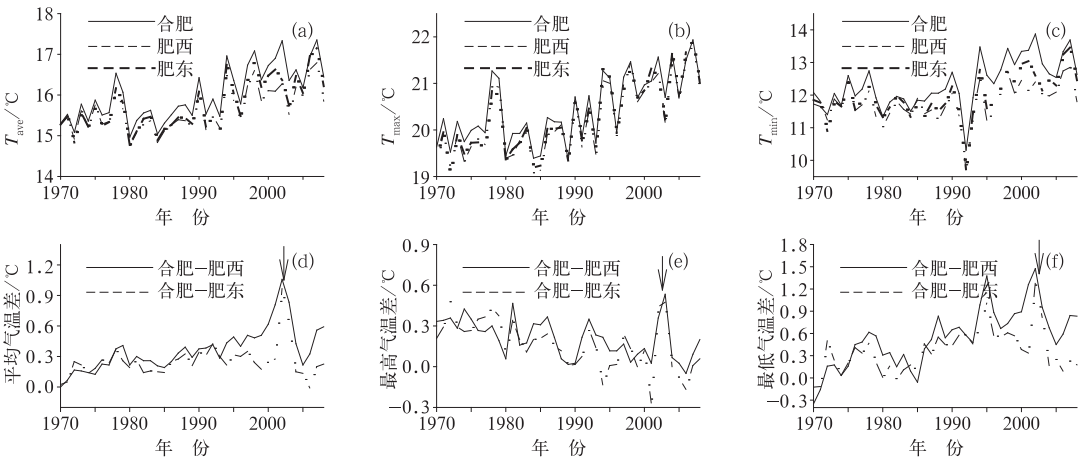


图 5 1970—2008 年间合肥及其周边站点的(a)年平均气温(T_{ave})、(b)年最高气温(T_{max})和(c)年最低气温(T_{min})的时间变化,以及城郊(d)年平均气温差、(e)年最高气温差和(f)年最低气温差的时间变化
Fig. 5 Variations of annual (a) average temperature (T_{ave}), (b) maximum temperature (T_{max}) and (c) minimum temperature (T_{min}) in Hefei and its surrounding sites, respectively; and variations of the difference of (d) T_{ave} , (e) T_{max} and (f) T_{min} between Hefei and its surrounding sites, respectively

表 3 不同时段年平均气温、最高气温、最低气温的倾向率[单位: $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$]
Table 3 The linear trends [unit: $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$] of three annual temperatures in different time periods

时段	合肥站气温倾向率			肥西站气温倾向率			肥东站气温倾向率		
	T_{ave}^{tre}	T_{max}^{tre}	T_{min}^{tre}	T_{ave}^{tre}	T_{max}^{tre}	T_{min}^{tre}	T_{ave}^{tre}	T_{max}^{tre}	T_{min}^{tre}
1970—2008 年	0.43	0.42	0.43	0.29	0.48	0.17	0.39	0.51	0.32
1979—2003 年	0.70	0.57	0.79	0.26	0.45	0.14	0.36	0.48	0.27

注: T_{ave}^{tre} , T_{max}^{tre} 和 T_{min}^{tre} 分别代表年平均气温、年最高气温、年最低气温的倾向率

表 4 不同时段合肥热岛增温速率[单位:℃·(10 a)⁻¹]统计
Table 4 Temperature increasing rates [unit:℃·(10 a)⁻¹] of heat island
of Hefei in different time periods

时段	合肥相对于肥西的热岛增温速率			合肥相对于肥东的热岛增温速率		
	δT_{ave}^{Tre}	δT_{max}^{Tre}	δT_{min}^{Tre}	δT_{ave}^{Tre}	δT_{max}^{Tre}	δT_{min}^{Tre}
1970—2008 年	0.14	-0.06	0.26	0.04	-0.09	0.11
1979—2003 年	0.44	0.12	0.65	0.34	0.09	0.52

注: δT_{ave}^{Tre} 、 δT_{max}^{Tre} 和 δT_{min}^{Tre} 分别代表城郊年平均气温、年最高气温、年最低气温增温速率的差值

由于城镇、工业以及交通等建筑面积的不断扩
大,直接导致观测场周围的土地利用/覆盖变化,改
变了下垫面环境,影响下垫面的热量平衡、地表反射
率、地表反照率、粗糙度以及植被覆盖比例,进而引
起地表热量辐射、地表温度、地表蒸散量、湿度、风
速、气温以及降水变化,其结果是引起区域性气候的
变化。一旦气象观测场“进城”,其观测参量必然反
映出很强的区域性,即呈现出城市热岛效应。根据
任国玉等^[35]的研究结果,如果在以观测场为中心、
半径为 2 km 的缓冲区范围内,人工建筑面积占缓
冲区面积(12 km²)的比例超过 33%,则观测场就会
受城市化带来的热岛效应影响。城市热岛效应在气
温上的表现与气象观测场的“进城”与否密切相关,
为了获取更真实的气温,这就需要人们对观测场周
围环境加强重点保护。

2.4 合肥观测场不同缓冲区内 LUCC 对气温观测
影响的显著性分析

对观测场周围的环境进行保护,需要对不同缓
冲区内的 LUCC 与气温变化关系进行分析,找出影
响气温的敏感因子。利用合肥观测场 1979,1987,
1998,2004 和 2007 年不同缓冲区内土地覆盖类
型百分比与 3 项气温数据,通过公式(1)进行多元逐
步线性回归分析建立合肥观测场 LUCC 与气温的
回归方程。结果发现,最高气温与观测站周围 1,
2.5 和 4 km 缓冲区内 LUCC 的回归方程均没通过
一定的显著性检验($\alpha>0.1$)。类似的,平均气温、最
低气温和观测站周围 1 和 2.5 km 缓冲区内 LUCC
的回归方程也均没通过一定的显著性检验($\alpha>$
0.1)。不同的是,平均气温、最低气温和观测站周围
4 km 缓冲区内 LUCC 的回归方程均通过了一定的
显著性检验,回归方程分别如下:

$$T_{ave} = 16.71 - 15.088P_V -$$
$$30.366P_W + 3.757P_U, \alpha = 0.03 \quad (3)$$

$$T_{min} = 11.389 - 3.179P_V -$$
$$20.207P_W + 5.699P_U, \alpha = 0.07 \quad (4)$$

此外,观测场 4 km 缓冲区的 P_C 和 P_W 的相关

系数为 -0.994,呈现出共线性。上述结果表明,
4 km 缓冲区的 LUCC 对平均气温和最低气温的变
化影响显著。具体地,城市建成区面积的增加对平
均气温、最低气温有正贡献;而耕地、植被、水体的
增加对平均气温、最低气温存在负贡献[式(3)和式
(4)]。由 2.3 节可知,合肥相对于肥西、肥东的年最
高气温差值不大,因此最高气温的变化对于 LUCC
的响应不明显。可见,气象观测 4 km(或大于 4
km)缓冲区内的 LUCC 对气温影响较大,这将可能
对我们保护气象观测环境提供一个标准导向,并且
具有重要的指导意义。

3 结论与讨论

基于 MSS, TM 和 ETM 多期合肥影像数据,利
用 GIS 技术提取了近 30 年来合肥观测场周边半径
为 1, 2.5 和 4 km 以及合肥市区半径为 20 km 的缓
冲区内 LUCC 信息。结合 1970—2008 年合肥、肥
西和肥东 3 站的年平均气温、最低气温和最高气温
对比分析,对近 30 年合肥市 LUCC 对气温变化影
响做了动态变化和显著性研究。具体结论如下:

(1) 近 40 年来,合肥城市建成区面积在不断扩
大,2007 年合肥市区 20 km 范围内的建成区面积约
是 1979 年的 10 倍,城市乡村建设用地及交通用地
在不断急剧地增多,致使土地利用类型由农业耕地
型向建设用地型发展,从而导致了气象观测场“进
城”的现象。

(2) 1970—2008 年间,合肥、肥西和肥东 3 站的
年平均气温、最高气温、最低气温总体上均显著增
加趋势,且年际波动变化一致。其中,1979 和 2004
年两年由于合肥观测场“进城”而搬迁至郊区,导致
合肥站气温序列产生了非均一性,且城郊气温温差
明显变小。可见,观测场周围的 LUCC 与气温观测
密切相关。

(3) 1979—2003 年期间,上述 3 个站点均没有
搬迁过。而合肥观测场由于受到城市扩张影响显
著,导致合肥站 3 项气温的增温速率均明显大于肥

西和肥东 3 项气温增温速率,合肥相对于肥西、肥东的热岛增温速率较大,且城郊温差也较大。

(4) 不同缓冲区 LUCC 与气温的回归模型表明,合肥观测场 1 和 2.5 km 的缓冲区 LUCC 对 3 项气温变化影响影响不显著。4 km 的缓冲区 LUCC 对平均气温和最低气温的变化则影响显著。具体地,建成面积的增加对平均气温、最低气温有正贡献;而耕地、植被、水体的增加对平均气温、最低气温存在负贡献。可见,以气象观测场为中心半径为 4 km(或大于 4 km)缓冲区内的 LUCC 对气温影响较大,这可能对我们保护气象观测环境以及作为气候台站网选取和建设有着重要的参考和指导意义。

致谢:感谢中国科学技术大学地球和空间科学学院孙亮博士对本文提出的宝贵意见。

参考文献

- [1] 王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究[J]. 气象学报, 1994, 52(3): 261-273.
- [2] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19-26.
- [3] 屠其璞,邓自旺,周晓兰. 中国气温异常的区域特征研究[J]. 气象学报, 2000, 58(3): 288-296.
- [4] 陈隆勋,周秀骥,李维亮,等. 中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制[J]. 气象学报, 2004, 62(5): 634-646.
- [5] 任国玉,徐铭志,初子莹. 近 54 年中国地面气温变化[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 717-727.
- [6] 任国玉,初子莹,周雅清,等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701-716.
- [7] 司鹏,李庆祥,李伟. 城市化进程对中国东北部气温增暖的贡献检测[J]. 气象, 2010, 36(2): 13-21.
- [8] 石春娥,王兴荣,吴必文,等. 合肥市夏季热岛特征研究[J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(5): 672-678.
- [9] 唐国利,丁一汇. 近 44 年南京温度变化的特征及其可能原因的分析[J]. 大气科学, 2006, 30(1): 56-68.
- [10] 胡文志,梁延刚,雷惠雯,等. 香港城市与郊区气候差异分析[J]. 气象, 2009, 35(2): 71-79.
- [11] 王建鹏,孙继松,杜继稳,等. 西安地区气温的年代际变化及其受城市化进程的影响[J]. 气候与环境研究, 2009, 14(4): 434-444.
- [12] Peterson T C. Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found[J]. Journal of Climate, 2003, 16(18): 2941-2959.
- [13] Parker D E. A demonstration that large-scale warming is not urban[J]. Journal of Climate, 2004, 19(12): 2882-2895.
- [14] Parker D E. Large-scale warming is not urban[J]. Nature, 2004, 432: 290-290.
- [15] Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate[J]. Nature, 2003, 423: 528-531.
- [16] Li Q, Zhang H, Liu X, et al. Urban heat island effect on annual mean temperature during the last 50 years in China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2004, 79(34): 165-174.
- [17] Zhou L M, Dickinson R E, Tian Y H, et al. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China[J]. PNAS, 2004, 101(26): 9540-9544.
- [18] Ren G Y, Zhou Y Q, Chu Z Y, et al. Urbanization effects on observed surface air temperature trends in North China[J]. Journal of Climate, 2008, 21: 1333-1348, DOI: 10.1175/2007JCLI1348.
- [19] Kalnay E, Cai M, Li H, et al. Estimation of the impact of land-surface forcings on temperature trends in eastern United States[J]. J Geophys Res, 2006, 111(D06106): 1-13.
- [20] Patz J A, Campbell-Lendrum D, Holloway T, et al. Impact of regional climate change on human health[J]. Nature, 2005, 438, 310-317.
- [21] 王艳姣,张培群,董文杰,等. 基于 MODIS 数据的重庆市地表热环境效应研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(3): 98-103.
- [22] Gallo K P, Easterling D R, Peterson T C. The influence of land use/land cover on climatological values of the diurnal temperature range[J]. J Clim, 1996, 9(11): 2941-2944.
- [23] 任国玉. 我们未来的气候: 人类的干预有多大? [J]. 气象, 2003, 29(3): 3-7.
- [24] Gallo K P, Owen T W. Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias[J]. J Appl Meteorol, 1999, 38(6): 806-813.
- [25] Gallo K P, Owen T W, Easterling D R, et al. Temperature trends of the US historical climatology network based on satellite-designated land use/land cover[J]. J Clim, 1999, 12(5): 1344-1348.
- [26] Wang K, Wang J, Wang P, et al. Influences of urbanization on surface characteristics as derived from the Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer: A case study for the Beijing metropolitan area[J]. J Geophys Res, 2007, 112, D22S06, doi:10.1029/2006JD007997.
- [27] 李书严,陈洪滨,李伟. 城市化对北京地区气候的影响[J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1102-1110.
- [28] 杨元建,石涛,张宏群,等. 基于遥感的合肥土地利用动态变化及其成因分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(8): 454-459.
- [29] 石涛,杨元建,张爱民,等. 基于 TM 和 GIS 的合肥市热环境研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 156-162.
- [30] 邵全琴,孙朝阳,刘继远,等. 中国城市扩展对气温观测的影响及其高估程度[J]. 地理学报, 2009, 64(11): 1292-1302.
- [31] 陈正洪,王海军,任国玉,等. 湖北省城市热岛强度变化对区域序列的影响[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 771-779.
- [32] 高红燕,蔡新玲,贺皓,等. 西安城市化对气温变化趋势的影响[J]. 地理学报, 2009, 64(9): 1093-1102.
- [33] 安徽省统计局. 安徽统计年鉴(1962—2008)[M]. 北京: 中国统计出版社, 1970-2008.
- [34] 张智,林莉,梁培,等. 宁夏年气温资料的均一性检验研究[J]. 气象, 2009, 35(10): 79-83.
- [35] 任国玉,张爱英,初子莹,等. 我国地面气温参考站点遴选的依据、原则和方法[J]. 气象科技, 2010, 38(1): 78-85.