

芜湖城市化发展对气象环境变化的影响

刘鸿飞^{1,2}, 李根¹, 景元书¹, 庞渤¹

(1. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏 南京 210044;

2. 安徽省铜陵市气象局, 安徽 铜陵 244100)

摘要: 利用 1970~2010 年芜湖市及邻县气象站气象观测数据、芜湖市城市化水平数据和 Landsat 卫星数据, 通过芜湖市土地覆盖类型及其面积的变化和芜湖市近 40 年的市县气温、城市热岛变化及气温日较差变化, 分析了近 40 年来芜湖市的城市化进程和城市化发展对各气象环境要素的影响。结果表明: 近 40 年时间内, 芜湖城市化发展的速度随着经济的大力发展的而明显加快, 并且随着芜湖城市化进程芜湖气温呈明显上升趋势, 在芜湖城市化进程对热岛效应的影响分析中发现, 平均温度和最低温度对城市热岛现象的贡献率要大于最高温度, 且夏季热岛强度变化的最快, 冬季最慢。在芜湖市近 40 年平均气温日较差周期变化的分析中发现, 春秋季节日较差随时间的推移呈上升趋势, 而夏冬季日较差随时间的推移呈下降趋势。

关键词: 气象环境; 城市化; 城市热岛; 土地利用; 芜湖

中图分类号: P463.3

The Influence of Urbanization Process on Climatic Environment Changes in Wuhu

Liu Hongfei^{1,2}, Li Gen¹, Jing Yuanshu¹, Pang Bo¹

(1. College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

2. Meteorological Bureau of Tongling, Tongling 244100, China)

Abstract: Using 1970-2010 weather observation data of Wuhu and nearly suburban county(city) weather stations, urbanization level data and Landsat satellite data, the author analysed the impact of urbanization on climate environment, through the changes of Wuhu land use/land cover and the temperature, heat island effect, diurnal temperature in nearly 40 years. The results show that the temperature increased significantly during 1970-2010 in Wuhu urban and rural areas with the urbanization process, and the urbanization is significantly accelerated with economic development. The contribution of mean and minimum temperature to the urban heat island was greater than the maximum values, the urban heat island in summer rose fastest and in winter rose slowest in the four seasons with time be found in the analysis of impact of urbanization on the heat island effect. The analysis of the changes of periodic in daily range of the annual mean temperature in the last 40 years in Wuhu showed that it increased with the time in spring and autumn, but decreased in summer and winter.

Key words: climatic environment; urbanization; heat island effect; land-use; Wuhu

0 引言

近年来, 由于城市化进程的加剧, 城市人口迅速递增, 城市建筑物大量增加。工业生产的大力发展和居民生活方式城市化的转变, 使得城市气象环境和生态环境的污染十分严重。随着城市化进程的发展所带来的对城市气象环境的影响也越来越严重, 研究城市化发展对气象环境的影响得到了越来越多的关注^[1-4]。Steve^[5]等研究了新加坡土地利用对其周围热岛效应的影响, 发现昼夜不同土地利用类型对热岛效应的贡献率不同。Baker^[6]等指出了城市化

基金项目: 国家自然科学基金项目(41175098); 江苏省“青蓝工程”与“六大人才高峰”资助项目; 江苏高校优势学科建设工程(PAPD)项目

作者简介: 刘鸿飞 (1980-), 女, 工程师, 主要从事应用气象研究

通信联系人: 景元书 (1968-), 男, 教授, 主要从事应用气象研究. E-mail: appmet@nuist.edu.cn

45 对美国某机场夜间最低气温和日平均气温的升高有显著贡献。陈春根^[7]、景元书等^[8]提出了城市规模发展和土地利用类型的变化对区域气温变化存在影响。Chung^[9]、李卓仑^[10]发现人口增长是造成城市最低气温上升的主要因素。曾侠^[11]、朱炎等^[12]研究发现经济活跃的地区城市热岛效应明显, 极端气候事件增多。赵宗慈^[13]、林学椿等^[14]、阮蔚琳^[15]发现大中城市的年平均气温增暖明显。如王文等^[16]、宋艳玲等^[17]分析了北京的城市热岛情况。郭丽香^[18]
50 利用对气温观测资料的对比分析, 说明城市化对气温增暖贡献显著。高峰等^[19]研究发现气温日较差是能够反映城市化对气候影响的合适指标。

综上, 城市化发展对城市热岛效应的影响越来越显著, 城市化发展对气候环境变化的影响研究也得到人们越来越多的关注。分析城市化发展对气候环境变化的影响因子及时空变化特征对预测评估城市热岛效应影响并提出相应治理对策具有较为深远的意义。

55

1 研究区域及研究资料

1.1 研究区概况

芜湖市位于安徽省东南部, 地处长江下游南岸, 中心地理座标为东经 119°21 分、北纬 31°20 分。属亚热带湿润季风气候。光照充足, 雨量充沛, 四季分明。年平均气温 15-16℃, 日照时数 2000 小时左右, 年降雨量 1200 毫米, 无霜期每年达 219-240 天。

60

1.2 研究数据

(1) 气象数据

从安徽省气候中心获取了芜湖市及繁昌县、芜湖县 1970~2010 年的气温、风速, 总云量、低云量、气压、日照时数、日照百分率和相对湿度的资料。芜湖市气象观测站(台站号为 58334)位于 117° 47' E, 30° 58' N, 海拔 9.5m; 芜湖县气象观测站(台站号为 58338)位于 118° 35' E, 31° 09' N, 海拔 17.1m, 位于县城东郊, 占地 15.9 亩, 是国家基本站; 繁昌县气象观测站(台站号为 58337)位于 118° 11' E, 31° 05' N, 海拔 30.8m。三个观测站的气象资料具有连续性、完整性和代表性。

65

(2) 城市化水平数据

70 城市化水平数据来源于安徽统计年鉴^[20], 中国城市统计年鉴、中国区域经济统计年鉴(统计年鉴数据库)^[21], 具体包含: 人口指标: 年末总人口、非农业人口; 经济指标: 国内生产总值、人均生产总值。

(3) 遥感数据

75 从美国马里兰大学获得 3 景研究区高分辨率遥感影像, 分别为 1988 年的 Landsat TM 影像、2001 年和 2007 年的 Landsat ETM+影像, 包含 7 个波段, 空间分辨率为 30M。用来比较芜湖市近 40 年间的城市发展情况。

2 芜湖城市化进程分析

2.1 城市化进程现状

(1) 人口城市化

80 芜湖市非农人口从 1983 年-2009 年间一直处于增长的趋势, 非农人口数分别从 1983 年

的 55.01 万人增长到 2009 年的 113.1 万人(图 1)。1983 年-2001 年间, 非农人口比重从 27.1% 增长到 34.5%, 增长率为 27.2%, 2002-2009 年间非农人口比重增长速度更快, 从 35.2% 增长到 49.2%, 增长率为 39.8%。

85 (2) 经济城市化

芜湖市是长江沿江发展轴的节点核心城市, 地处安徽省南北两翼之间, 拥有丰富的港口资源, 在安徽省具有举足轻重的地位。特别是近几年芜湖坚持实施工业和现代服务业的双轮驱动战略, 发展一些战略性新兴产业, 经济发展势头迅猛。

1988-2009 年来人均生产总值的变化情况如图 1, 人均 GDP 在这 22 年间呈指数增长趋势, 1983 年-1998 年人均 GDP 的年平均增长率达到了 22.04%。2000 年-2009 年呈现出更加迅猛的增长势头, 年平均增长率达到了 32.43%。

(3) 生活方式城市化

芜湖市生活方式的各项指标都基本上呈上升趋势。其中生活用电量和工业用电量都逐年增加, 从 2003-2009 年间工业用电量的年增长率为 35.2%, 而生活用电量的年增长率为 21%, 可见, 芜湖市作为工业城市其工业用电量的增长率远大于居民生活用电量 1990-2006 年间, 供水总量从 18326 万吨增长到 24128 万吨。民用汽车拥有量从 1999 年的 20717 辆增长至 2009 年的 99588 辆, 年平均增长率为 34.6%。

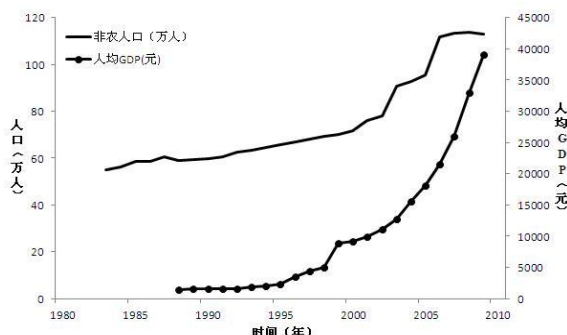


图 1 芜湖市人口和人均 GDP 变化

100 Fig.1 The change characteristics of Wuhu population and per capita GDP

由此可见, 芜湖市近三十年来的城市化进程高速发展, 非农人口的快速增加可以看出芜湖的城市规模正在迅速增大, 同时非农人口的大幅度增加也显示了芜湖市大力发展经济下的劳动力需求大量增加。根据中国区域经济统计年鉴^[21]可以看出芜湖市的工业和现代服务业的发展势头尤为迅猛, 使得芜湖市的经济快速发展, 人均 GDP 不断增加。

105 但是由于近年来城市人口密集, 人为热的不断增加会影响城市气温。并且人们工作生活中说产生的污染及温室气体排放的增加形成覆盖在城市上空的“尘罩”与“气罩”, 加重了城市热岛变化的强度^[22]。通过转变生活方式来减缓由其带来的城市化对城市热岛的影响是人们越来越关注的问题。

2.2 土地覆盖变化

110 针对研究区域地物类型特点制定分类系统, 采用监督分类中的最大似然法分类对芜湖市的 ETM+ 影像进行分类, 将土地利用/覆盖类型分为水体(包括河流和基塘)、农田、裸地、林地、城镇 5 类(图 2), 其中, 蓝色代表水体, 黄色代表农田, 橙色代表裸地, 绿色代表林地, 红色代表城镇。3 幅图像的总分类精度分别为 96.72%、98.75%、97.69%, Kappa 系数分别为 0.9539、0.9826、0.9713。

115

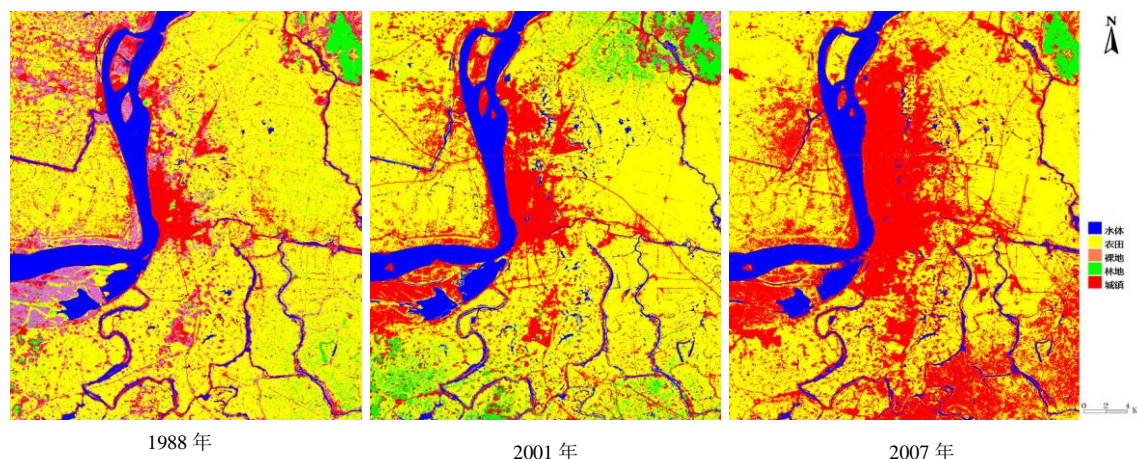


图2 芜湖市土地覆盖类型图

Fig.2 The Wuhu land cover types map(a.1988,b.2001,c.2007)

芜湖市土地利用分布特征由图 2(a)-(c)可以看出,比较醒目的蓝色狭长状水体为长江, 芜湖市位于长江下游南岸, 由时间序列顺序来看, 在 1989 年-2007 年间, 代表城镇的红色区域面积不断扩大, 而代表林地的绿色和代表农田的黄色区域面积是逐渐减小的, 说明芜湖市的城市化进程是非常迅速的。

3 芜湖城市化对气象环境的影响分析

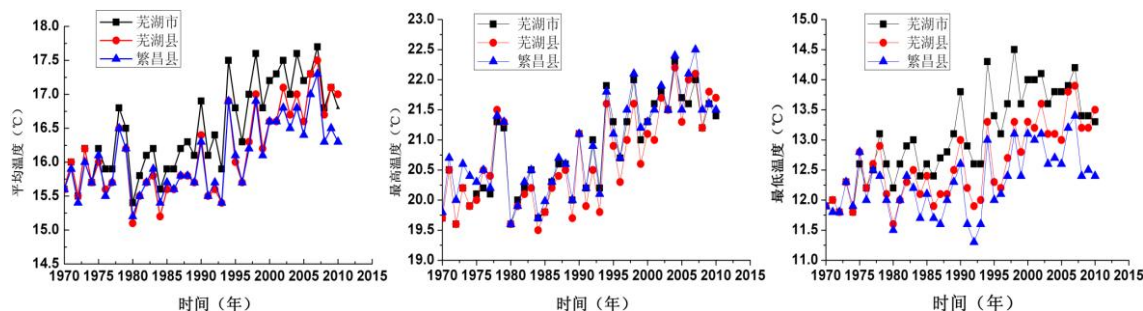
3.1 芜湖市县温度的变化

125 (1) 平均温度

芜湖市、芜湖县及繁昌县三站 1970-2010 年间的平均温度变化见图 3, 从图 3 可以看出, 1970-2010 年间, 市县温度都有一个明显的增长趋势, 芜湖市的平均温度从 1970 年的 15.6℃ 增长至 2010 年的 16.8℃, 芜湖县的平均温度从 1970 年的 15.6℃ 增长至 2010 年的 17℃, 繁昌县的平均温度从 1970 年的 15.6℃ 增长至 2010 年的 16.3℃。这 41 年间芜湖市、芜湖县、繁昌县平均温度的最大值均出现在 2007 年, 分别为 17.7℃, 17.5℃ 和 17.3℃。1970-2008 年间, 芜湖市的平均温度始终高于其它两个县站的平均温度。2009-2010 年芜湖县温度反超芜湖市的温度。三站温度 41 年间均呈上升趋势, 特别是 1990 年以后, 增暖趋势更加显著。且市站与县站的温差有个增大的过程。

(2) 最高最低温度的变化

135 下图是 1970-2010 年间三站的最高和最低温度的年变化, 可以看出, 最高和最低温度在这 41 年间的年际变化特征也是呈上升趋势, 三站的最高温度分别从 1970 年的 19.7℃、19.7℃、19.8℃ 增长至 2010 年的 21.4℃、21.7℃ 和 21.5℃。这 41 年间芜湖市、芜湖县、繁昌县的最高温度的最大值分别出现在 2004 年 (22.3℃), 2004 年 (22.2℃) 和 2007 年 (22.5℃)。其中, 三站的最低温度的变化趋势 (图 3) 与平均温度类似, 最高气温差值也是增大的过程。与平均温度和最低温度不同的是, 在这 40 年间最高温度的温差并没有一个明显的增大过程 (图 3), 而是曲线变化趋势大致相同, 甚至有许多重合点。



145

图3 1970-2010年芜湖市、芜湖县及繁昌县三站气温比较

Fig.3 Comparison of three stations temperature

(a. annual mean temperature, b. annual maximum temperature, c. annual minimum temperature)

3.2 芜湖市热岛强度的变化

3.2.1 热岛强度的年变化

150

图4给出了芜湖市年平均温差、最高温差和最低温差对热岛强度的影响。可以看出, 1970-2005年间三种温度的差值都呈递增趋势, 而2005年以后温差有个回落甚至递减的过程。这说明飞快发展经济的同时城市化热岛效应也日趋明显。近些年来, 城市在发展中也越来越注重人与环境的和谐发展, 试图寻找一些减缓和应对城市热岛效应的方式方法。年平均、最高、最低气温的线性增温速率分别为 $0.109^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.029^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.205^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 说明了平均温度和最低温度对城市热岛现象的贡献率要大于最高温度的贡献率, 城市热环境的升温主要体现在低值气温的增强, 而高值气温变化不大。

155

3.2.2 热岛强度的周期变化

城市热岛效应在各个季节的变化存在着一定的差异, 图4是1970-2010年平均气温温差、最高最低气温温差的四季变化, 在一定程度上反映了四个季节热岛强度随年代的改变。

160

(1) 平均温差

平均温度春、夏、秋、冬四季的线性增温速率分别为: $0.105^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.132^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.123^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.066^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。于平均温度近40年来夏季的热岛强度升高最快, 由70年代的 0°C 无热岛发展到如今的 0.6°C 以上夏季热岛, 而其它季节的热岛强度的变化则没有夏季那么明显。冬季热岛强度甚至在70年代到90年代出现减弱的过程。

165

(2) 最高温差

最高温度其春、夏、秋、冬四季的线性增温速率分别为: $0.002^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.039^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.052^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.024^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。秋季最高气温的线性增温速率通过了0.05的显著性检验, 春、夏、冬三个季节最高气温的线性增温速率均未通过0.05的显著性检验。可见, 近40年来, 最高气温的变化并不明显, 夏季的极端高值气温并未由于城市环境影响而提高至显著水平, 高值气温增强的年变化为秋季相对其他季节较为明显, 夏季次之, 春季最弱。

170

(3) 最低温差

最低温度春、夏、秋、冬四季的线性增温速率分别为: $0.231^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.243^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.212^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.149^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。可见, 城市环境的改变同样影响到了最低气温。对于最低气温, 近40年来, 同样是夏季的热岛强度升高的最快, 由70年代的 0°C 无热岛发展到近些年的 0.8°C 以上, 而其它季节的热岛强度的变化则没有夏季那么明显。冬季热岛变化仍旧是最不明显。

175

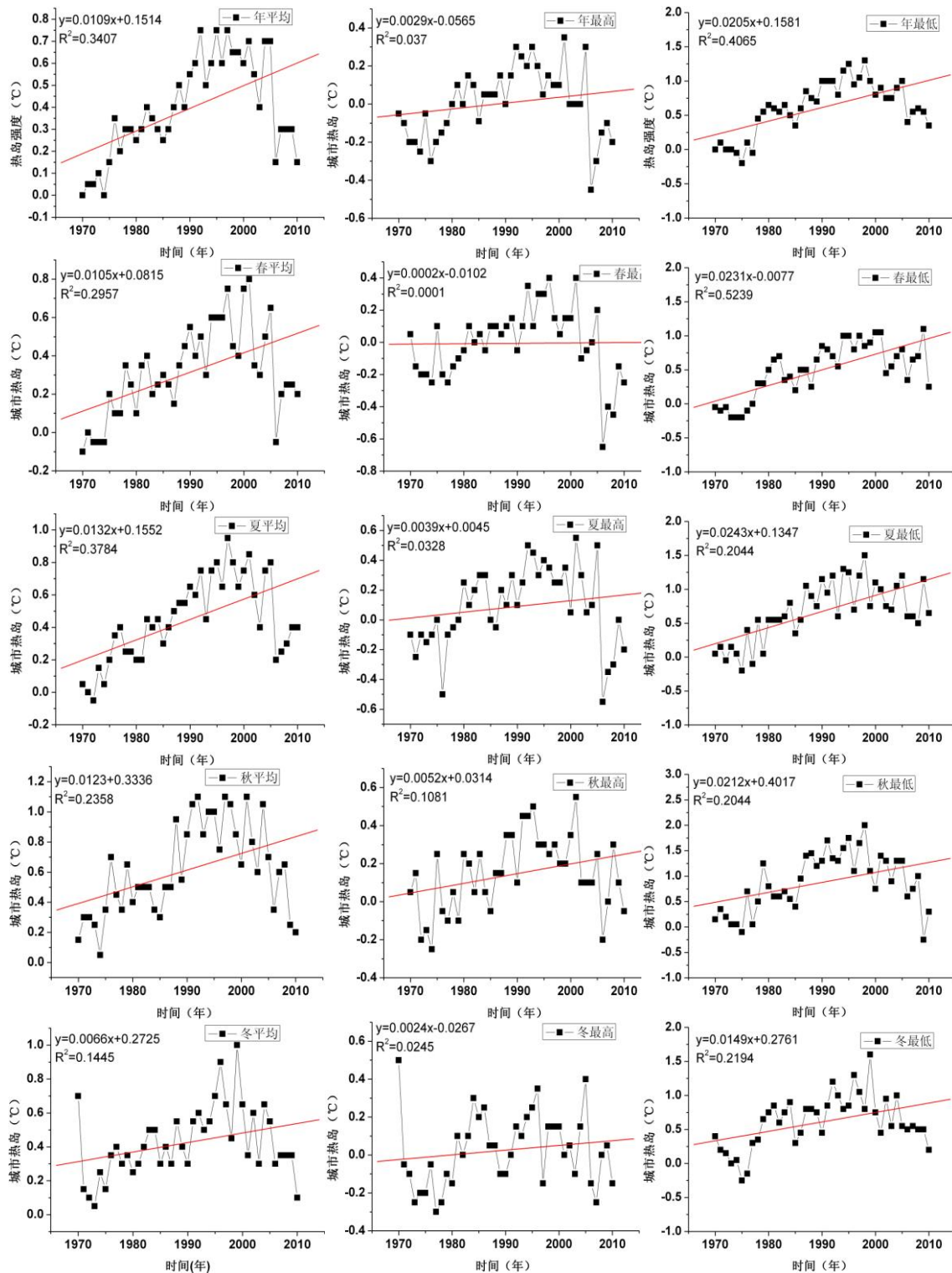


图4 气温年变化及四季变化对热岛强度的影响

Fig. 4 The influence of heat island intensity by air temperature change

180 3.3 芜湖市气温日较差变化

气温日较差亦称气温日振幅，是一日内气温观测记录的最大值与最小值之差，其大小和季节、地区纬度、下垫面性质及天气状况有关，可较好的反映区域性温度的变化幅度，对气候环境和生存环境的变化研究具有重要的参考意义。

下图给出了日较差的周期性变化，图5是芜湖市日较差在春、夏、秋、冬四季的变化趋

185 势图，四季中春季和秋季的日较差随时间推移呈上升趋势，而夏季和冬季日较差随时间的推移呈下降趋势，其中，仅春季拟合方程系数通过了 0.05 的显著性检验，其它季节均未通过显著性检验。

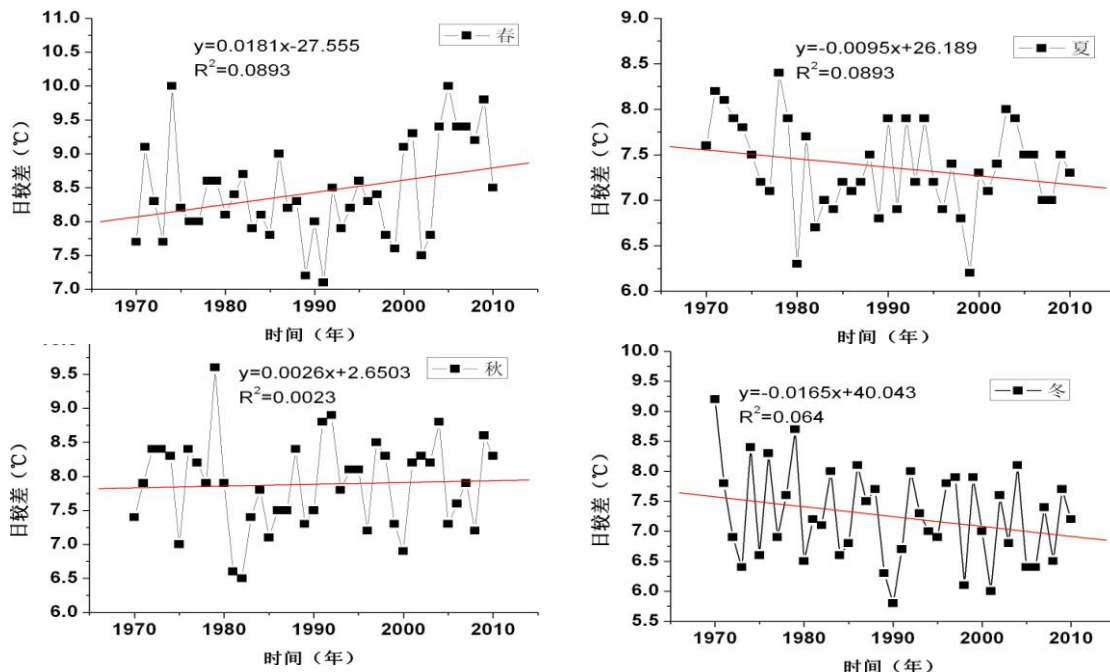


图 5 芜湖市日较差四季变化

190 Fig. 5 Daily range of the changing seasons in Wuhu

即 41 年来，春季和秋季日较差分别以 0.181℃/10a 和 0.026℃/10a 的速度上升，夏季和冬季日较差分别以 -0.095℃/10a 和 -0.165℃/10a 的速度下降。其中，仅春季的线性增温速率通过了 0.05 的显著性检验。此外，春季和秋季日较差上升幅度较大的时期以及夏季和冬季日较差下降幅度较大的时期均不在同一时期。在日较差上升幅度比较中，春季是在 2002-2009 年，秋季是在 1975-1980 年，日较差下降幅度比较中，夏季是在 1978-1984 年，冬季是在 1986-1990 年。

3.4 温度及日较差变化的城市化影响和城市化影响贡献率

从图6中可以看出芜湖市城市化发展对其四个季节的平均、最高和最低温度的影响情况。在四个季节的最低气温序列中，城市化影响和城市化影响贡献率均为较大正值，平均气温序列中的城市化影响和城市化贡献率仅次于最低气温序列，这表明城市热岛效应引起台站附近四季最低和平均气温明显上升，而对最高气温的影响不大。这与前述内容相一致。此外，城市化影响和贡献率均以夏季为最大，冬季最小。表明夏季记录的增温主要是由城市化影响造成的。通过城市化影响贡献率的分析得出，在季节平均日较差变化趋势中，城市化的影响在四季均为负值，即城市化致使所有季节平均日较差趋向减小，四季年平均气温日较差与城市化的影响呈负相关，其中春、夏、秋季的城市化影响达到-100%。

210

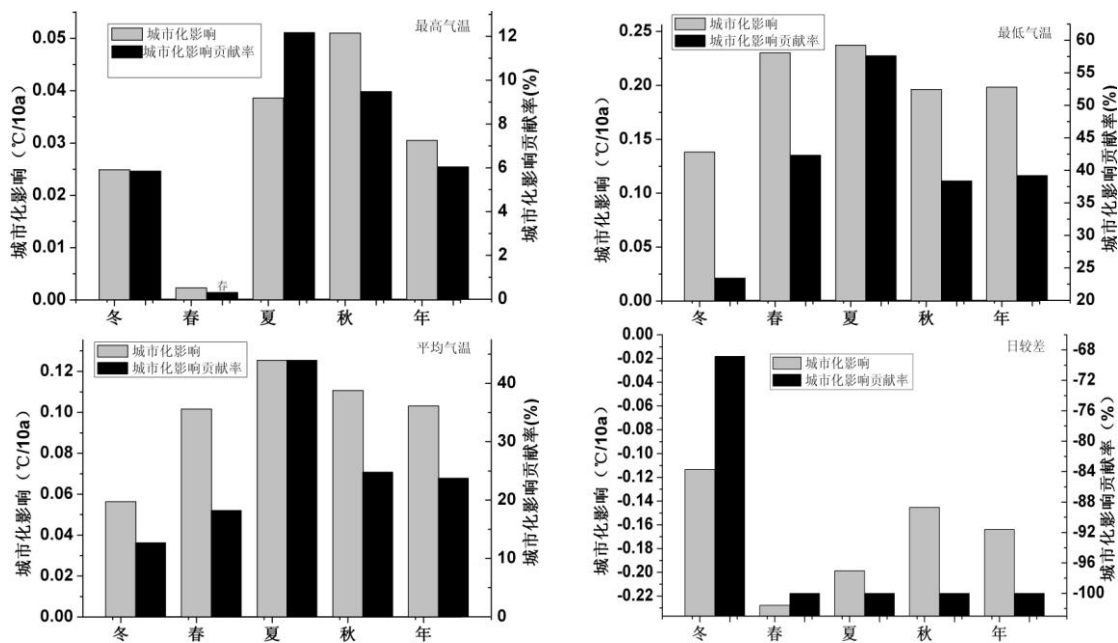


图6 1970-2010年芜湖市四季及年平均最高气温(a)最低气温(b)平均气温(c)日较差(d)序列的城市化影响和城市化影响贡献率

215

Fig.6 Effects of urbanization and urban influence contribution rate of temperature series in Wuhu city in 1970-2010

芜湖市 41 年间平均气温日较差的周期变化比较分析说明，春季和秋季日较差随时间的推移呈上升趋势，而夏季和冬季日较差随时间的推移呈下降趋势。在四个季节的最低气温序列中，城市化影响和城市化影响贡献率均为较大正值，平均气温序列中的城市化影响和城市化贡献率仅次于最低气温序列

220

4 结论

本文通过对 1970-2010 年间芜湖市县站点的平均气温、最高和最低气温及芜湖市自身日较差的分析比较，定量的估算了城市热岛效应对这三种气温变化影响以及影响的季节性差异。利用最大似然法对芜湖市具有代表性几个年份的 ETM+影像资料进行了分类，分析了城市化发展对气象环境要素变化的影响，主要结论归纳如下：

225

(1) 芜湖市市的平均温度、最高及最低温度在 1970-2010 年间均呈明显的上升趋势，特别是 90 年代以后有个陡然上升的过程。对平均温差和极值温差的周期性变化研究发现，平均温度和最低温度对城市热岛现象的贡献率要大于最高温度的贡献率。城市热岛随年代的改变过程中，四个季节里夏季热岛强度升高的最快，冬季热岛强度变化最慢。

230

(2) 在芜湖市 41 年间平均气温日较差周期变化的分析中，春季和秋季日较差随时间的推移呈上升趋势，而夏季和冬季日较差随时间的推移呈下降趋势。在四个季节的最低气温序列中，城市化影响和城市化影响贡献率均为较大正值，平均气温序列中的城市化影响和城市化贡献率仅次于最低气温序列。通过城市化影响贡献率的分析得出，在各季平均日较差变化趋势中，城市化致使所有季节平均日较差趋向减小，即四季年平均气温日较差与城市化的影响呈负相关，其中春、夏、秋季的城市化影响达到-100%。

235

240 [参考文献] (References)

- [1] 周淑贞, 束炯. 城市气候学[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [2] 张景哲, 刘启明. 北京市城市气温与下垫面结构关系的时相变化[J]. 地理学报, 1988, 43 (2): 159-168.
- [3] JF He, JY Liu, DF Zhang, et al. Assessing the effect of land use/land cover change on the change of urban heat island intensity[J]. Theor Appl Climatol, 2007; 90, 217-226.
- 245 [4] 邱新法, 顾丽华, 曾燕, 等. 南京城市热岛效应研究[J]. 气候与环境研究, 2008, 13 (6): 807-814.
- [5] Steve K J, Wong N H, Emlyn H, et al. The influence of land use on the urban heat island in Singapore[J]. Habitat international, 2007, 31(2): 232-242.
- [6] Baker L A, Anthony J, Brazel, et al. Urbanization and warming of Phoenix (Arizona, USA): Impacts, feedbacks and mitigation[J]. Urban Ecosystems, 2002, 6: 183-203.
- 250 [7] 陈春根, 史军. 长江三角洲地区人类活动与气候环境变化[J]. 干旱气象, 2008, 26 (1): 28-34.
- [8] 景元书, 张惠君. 南京城市化进程及其温室效应研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (18): 8614-8615, 8690.
- [9] Chung U, Jaeyeon C, Jin I Yun. Urbanization effect on the observed change in mean monthly temperatures between 1951-1980 and 1971-2000 in Korea[J]. Climate Change, 2004, 66: 127-136.
- 255 [10] 李卓仑, 王乃昂, 轧靖, 等. 近 40 年兰州城市气候季节性变化与城市发展[J]. 高原气象, 2007, 26 (3): 20-23.
- [11] 曾侠, 钱光明, 潘蔚娟. 珠江三角洲城市群城市热岛效应初步研究[J]. 气象, 2004, 30 (10): 12-15.
- [12] 朱焱, 杨金彪, 朱莲芳, 等. 苏州城市化进程与城市气候变化关系研究[J]. 气象科学, 2012, 32 (3): 317-324.
- 260 [13] 赵宗慈. 近 39 年来中国的气温变化与城市化影响[J]. 气象, 1991, 17 (4): 14-17.
- [14] 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应[J]. 地球物理学报, 2005, 48 (1): 40-45.
- [15] 阮蔚琳, 钱永甫, 程永根. 无锡市气温变化特征和城市化的影响分析[J]. 气象科学, 2006, 26 (1): 66-73.
- [16] 王文, 张薇, 蔡晓军. 近 50a 来北京市气温和降水的变化[J]. 干旱气象, 2009, 27 (4): 350-353.
- 265 [17] 宋艳玲, 董文杰, 张尚印, 等. 北京市城郊气候要素对比研究[J]. 干旱气象, 2003, 21 (3): 63-68.
- [18] 郭丽香, 章新平, 吴华武, 等. 城市化对湖南长沙气温的影响[J]. 干旱气象, 2012, 30 (3): 380-386.
- [19] 高峰, 戴新刚, 李斌, 等. 东北平原腹地城市化与城市热岛的可能驱动因子[J]. 气候与环境研究, 2012, 17 (3): 353-364.
- [20] 安徽省统计局. 安徽省统计年鉴[M]. 安徽: 中国统计出版社, 1970-2010.
- 270 [21] 芜湖市统计局. 芜湖市国民经济和社会发展统计公报[R]. 芜湖: 芜湖市统计局, 1970-2010.
- [22] 康文星, 吴耀兴, 何介南, 等. 城市热岛效应的研究进展[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31 (1): 70-76.