

文章编号:1004-8227(2010)08-0914-05

基于 RS 和 GIS 的武汉城市热岛效应 年代演变及其机理分析

梁益同, 陈正洪, 夏智宏

(武汉区域气候中心, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为了更客观地揭示“火炉”武汉的城市热岛效应, 利用 1987、1994、2005 年共 3 期 TM 影像数据, 在地理信息系统(GIS)的支持下, 反演并计算出武汉市城区不同年代的热岛强度、植被覆盖率、土地利用类型及城区面积。在对存在较大差异 3 期的热岛强度数据进行标准化处理的基础上, 分析了武汉城市热岛效应的现状及年代演变, 定量分析了城区热岛强度分布与土地利用类型、植被覆盖率的相关关系。结果表明: 武汉城区热岛效应十分明显, 特别是在工业区和商业区; 20 世纪 80 年代以来, 武汉热岛面积不断变大; 热岛强度与植被覆盖率呈负相关关系, 植被覆盖率每提高 10%, 热岛强度约下降 1.1℃; 不同土地利用类型对热岛贡献不同, 水体和植被区域可以缓解城市热岛效应, 而工商业用地、道路等则加剧热岛效应; 武汉市城区面积扩大、植被覆盖率降低、水域面积减少, 是导致热岛效应不断加剧的原因。

关键词: RS; GIS; 热岛效应; 年代演变; 植被覆盖率; 土地利用
文献标识码: A

随着世界性城市化、工业化进程的加快, 城市热岛效应越来越影响着城市生态环境和城市居民的日常生活, 引起了广泛的关注^[1~3]。常规的城市热岛效应监测和研究方法一般是通过在地面观测点的气温数据进行时空对比分析和模拟, 来获取城市热岛的分布和变化特征^[4~6]。常规方法的优势是对城市热岛效应的描述和揭示简单扼要, 但由于地面布点的限制, 其对城市热岛空间格局和内部特征的了解受到极大限制。20 世纪 80 年代以来, 采用地基和空基热成像技术遥感(RS)地面温度定义了另外一种“城市热岛”。虽然 RS 得到的“城市热岛”与传统上的气温“城市热岛”存在显著差别, 如 RS 得到的“城市热岛”在白天最强、空间变化率最大, 这与气温表征的“城市热岛”正相反^[7], 但二者在时空上的分布是相似的, 并且 RS 可以及时、客观、大面积地进行地表温度测定, 在描述城市热岛的时空分布具有常规方法不可比拟的优势, 许多学者纷纷利用 RS 技术开展有关城市热岛的研究工作^[8~12]。

武汉是全国著名的“火炉”城市之一, 气象资料

显示, 自 20 世纪 70 年代末以来气温一直保持着上升的趋势。根据最新研究, 城市热岛效应的贡献率达到 60.4%^[13]。陈正洪研究^[14]了夏季武汉市六渡桥地区气温比郊区高 2℃左右, 而且天气越是晴好, 热岛效应越强, 夜间城郊温差最大可达 6℃左右; 吴宜进^[15]等研究了武汉市城市热岛的形成机制; 方圣辉^[16]等和张穗^[17]等分别利用 LandSat 数据初步分析了武汉市城市热岛的基本特点, 认为热岛效应和下垫面有关; 陈正洪^[13]等对武汉市城市热岛的非对称性进行了研究, 指出武汉市平均最低温度的增幅大于平均最高温度的增幅。以上研究为人们认识武汉城市热岛效应打下了基础, 但由于资料的时间、空间连续性, 仍然不能完全描述武汉城市热岛的年代际变化。本文利用 3 期不同年代的 TM 影像数据, 在地理信息系统(GIS)的支持下, 反演并计算出武汉市城区不同年代的热岛强度、植被覆盖率、土地利用类型及城区面积, 定量地分析了武汉城市热岛强度与土地利用、植被覆盖率之间的关系, 旨在更客观地揭示武汉城市热岛效应的年代演变特征及机理。

收稿日期: 2009-07-14; 修回日期: 2009-09-13

基金项目: 华中区域气象中心科技发展基金重点项目(QY-Z-200807)、湖北省气象局科技发展基金重点项目(2009Z02)和华中区域气象中心科技创新团队共同资助。

作者简介: 梁益同(1966~), 湖北省武汉人, 高级工程师, 主要从事卫星遥感应用方面研究。E-mail: yitong2007@hotmail.com

1 研究区自然状况简介

武汉市位于长江中游与汉水交汇处, 江汉平原东部, 地理位置为东经 $113^{\circ}4' \sim 115^{\circ}5'$, 北纬 $29^{\circ}58' \sim 31^{\circ}22'$ 。武汉属北亚热带季风性(湿润)气候, 具有常年雨量丰沛、热量充足、四季分明等特点, 年平均气温 $15.8 \sim 17.5^{\circ}\text{C}$ 。

由于数据覆盖范围限制, 研究区域范围只选择武汉市中心城区和近城区, 包括江岸、江汉、硚口、汉阳、武昌、青山、洪山和东西湖等行政区(图 1)。



图 1 研究区域的行政区分布

Fig. 1 Districts of the Research Region

2 资料和方法

2.1 资料

采用不同年代的覆盖研究区域的 3 期 TM 影像数据, 分辨率均为 30 m, 时间分别是 1987 年 9 月 26 日、1994 年 9 月 17 日和 2005 年 10 月 8 日(以下分别简称 1987 年、1994 年和 2005 年), 用于植被指数信息提取、土地利用分类、地表温度反演; 由国家气象信息中心提供的 1:50 000 基础地理信息, 用于 TM 影像进行校正、剪裁和分类检验; 2005 年武汉市地图, 用于辅助解译。

以上数据处理和分析基于 ARCGIS9.0 和 ENVI4.2 软件进行。

2.2 方法

2.2.1 植被覆盖率的计算

植被覆盖率的估算有多种方法^[18], 选用中国科学院地理科学与资源研究所张仁华提出的基于植被指数法计算植被覆盖率的公式^[19]:

$$VC = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s) \quad (1)$$

式中: $NDVI$ 为所求像元的归一化植被指数, $NDVI_v$ 和 $NDVI_s$ 分别为纯植被和纯土壤的植被指数。一般地, 可以通过计算监测区 $NDVI$ 的最大和最小值近似作为 $NDVI_v$ 和 $NDVI_s$, 这里, $NDVI_v$ 和 $NDVI_s$ 分别取 0.7 和 0.05。NDVI 算法如下:

$$NDVI = (ND_{TM4} - DN_{TM3}) / (DN_{TM4} + DN_{TM3}) \quad (2)$$

其中 DN_{TM3} 和 DN_{TM4} 分别为 TM 第 3(可见光)和第 4(近红外)波段的计数值。

2.2.2 土地利用分类和城区面积计算

对不同年代的 TM 影像进行土地利用分类, 分为水体、林地、草地、居民地、道路、未利用地、工业及商业用地共 7 种类型。首先利用最大似然监督分类法进行分类, 然后通过人机交互目视解译方法, 采取屏幕勾画对分类结果进行订正。

《城市规划基本术语标准》对城市建成区的概念规定为: 城市行政区内实际已成片开发建设、市政公用设施和公共设施基本具备的地区。本文通过人机交互目视解译方法, 对武汉城市集中连片区域进行屏幕勾画, 获取不同时期建成区的空间信息和属性信息, 然后统计面积。

2.2.3 地表温度反演

采取基于影像的反演算法(Image-based Method, 简称 IB 算法)反演地表温度^[20]。

2.2.4 热岛强度的计算

城区某点的热岛强度一般用该点温度与郊区温度的差来表示。用影像各格点的地表温度减去监测区域内的最低地表温度可获得热岛强度分布数据。

2.2.5 不同时期热岛强度标准化处理

分析发现, 3 期 TM 数据所获得的热岛强度数据存在较大差异。2005 年热岛强度较少, 最高值不到 10°C , 中心城区大部分在 $6 \sim 9^{\circ}\text{C}$, 1994 年热岛强度最大值为 12°C , 中心城区大部分在 8°C 以上, 而 1987 年热岛强度较大, 最高达 20°C , 而且中心城区大部分在 15°C 以上。究其原因, 一是 3 期影像形成时的天气背景不同, 二是不同年代的卫星传感器不同。由于存在差异, 为了比较城市热岛年代演变, 必须对不同时期的热岛强度数据进行标准化处理。

热岛强度标准化处理的思路是: 假设把 1987 或 1994 年的武汉市置于 2005 年的天气背景下, 用 2005 年的卫星测量, 所得的热岛强度与原来的有什么关系呢? 不难想象, 原来热岛强度大的地方, 现在也应该大, 原来小的地方, 现在也应该小, 即二者的空间分布应该是相似的。基于这个思路, 以 2005 年

热岛强度数据作为标准,对 1987 和 2004 年热岛强度数据进行标准化。为此,将 3 期热岛强度数据多波段组合,选取包含不同土地利用类型的多个像元(注意:被选中像元的土地利用类型在 3 期影像中应保持不变的),提取像元不同时期的热岛强度。

将 1987 年的热岛强度数据与 2005 年的进行相关性分析,得

$$y = -0.0276x_1^2 + 0.8401x_1 - 0.8167 \quad (3)$$

式中: y 为 2005 年热岛强度; x_1 为 1987 年热岛强度;样本数 $N=560$;复相关系数 $R=0.766$,相关性检验信度达 0.001 以上显著水平。

将 1994 年热岛强度数据与 2005 年的进行相关性分析,得

$$y = -0.0521x_2^2 + 1.3206x_2 - 0.3387 \quad (4)$$

式中: y 为 2005 年热岛强度; x_2 为 1994 年热岛

强度;样本数 $N=560$;复相关系数 $R=0.772$,相关性检验信度达 0.001 以上显著水平。

将 1987 年和 1994 年各像元热岛强度分别按(3)、(4)式进行转换,获得该年份的热岛强度分布标准化(以 2005 年为标准)数据。

2.2.5 热岛强度等级的划分

利用密度分割等技术手段对标准化后的热岛强度分布进行等级划分。根据研究的需要,将热岛强度从低到高划分为 5 个等级,分别为 1 级(2℃以下)、2 级(2~4℃)、3 级(4~6℃)、4 级(6~8℃)和 5 级(8℃以上),武汉市不同时期的热岛强度等级分布见图 2,其中第 4 和 5 等级热岛强度值较高,其空间分布与武汉城区布局比较一致,形成了武汉市热岛区域,本文主要分析 4 和 5 级热岛强度空间分布年代间的变化。

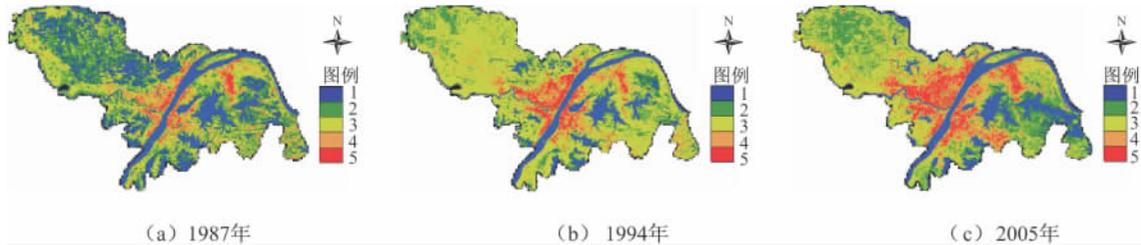


图 2 不同年份的热岛强度等级分布卫星遥感反演

Fig. 2 Grade Distribution of Heat Island Intensity in Different Year

3 结果与分析

3.1 武汉城市热岛现状

由 2005 年武汉市热岛强度等级分布(图 2c)并对照 2005 年武汉市地图分析发现,武汉市热岛几乎集中在城区,并且武汉三镇的热岛分布形状各不相同,与其自然的地理环境分布有着密切的关系。汉口城区由于湖泊少、植被覆盖率低,热岛分布倒三角形或片状,其中有多处 5 级热岛;江汉区和江岸区的商业繁华地带如汉正街周边和江汉路至武胜路一带的商业区、汉口火车站周边地带、解放大道和轻轨交通 1 号周边地带、古田一路至古田三路的工业区(古田产业新区)以及古田四路至汉西一带的古田商贸中心、吴家山一带;武昌城区地处长江南岸,南湖以北,东湖位于其中,且水域面积较大,因此热岛分布呈“C”字形,5 级热岛主要有:青山区武汉钢铁集团厂区、徐东商贸中心、中南路至武昌火车站一带、紫阳路和白沙州大道一带、武珞路和珞瑜路沿线一带、光谷广场周围一带地区;汉阳城区由于主城区面积

较小,北面是汉江,南面大小湖泊较多,因此其热岛分布的范围比上述两城区要小,呈“7”字形,5 级热岛主要分布在两江岸边的汉阳大道和鹦鹉大道一带。

3.2 武汉城市热岛年代演变

分析不同时期的热岛强度等级分布(图 2)发现,随着年代推移,武汉热岛面积不断增长。从增长的分布格局来看,武汉市城市热岛的空间增长表现为以沿江地带为中心,以西北和东南两个方向为主向外扩展。1987 年,5 级热岛主要分布在江汉区、江岸区、武昌区、汉阳区 4 区的沿江地带,中南路到武昌火车站一带、青山区武钢厂一带,东西湖区、硚口区和洪山区基本无强热岛;1994 年,沿江地带的热岛效应进一步变强,向岸边纵深发展,同时硚口区古田路一带也出现 5 级热岛;2005 年,5 级热岛已基本覆盖江汉区、江岸区、武昌区、硚口区和青山区,洪山区光谷广场周边地带、东西湖区吴家山一带也开始出现 5 级热岛,青山区和武昌区的热岛基本连为一体。

3.3 武汉市热岛效应机理分析

3.3.1 热岛强度和土地利用类型的关系

分析发现,热岛强度的高低与其土地利用类型

密切相关。利用 3 期标准化后的热岛强度分布数据计算不同土地利用类型的平均热岛强度,并绘制出不同土地利用类型的热岛强度曲线图(图 3),可以看出,不同土地利用类型的热岛强度不同,水体热岛强度最低,林地、草地、居民地、道路、未利用地和工业用地依次增加。这是因为水体比热较大,虽然水体吸收太阳辐射较多,但不易增温,成为城市中的低温区。植被的遮挡和蒸腾作用,可有效缓解地面升温;道路、未利用地和工业用地由于其下垫面多为钢筋混凝土、砖石和沥青等,它们吸热放热迅速,导致该地区的温度明显高于周边地区,是热岛形成的主要因素。

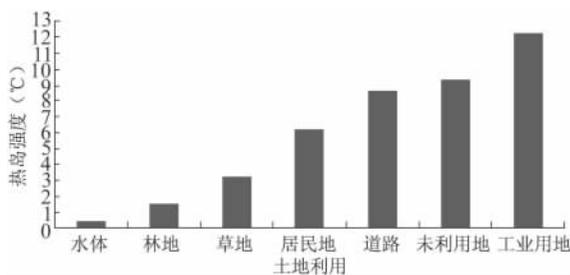


图 3 不同土地利用类型的平均热岛强度

Fig. 3 Average Heat Island Intensity of Different Land Use Type

3.3.2 热岛强度和植被覆盖率的关系

将热岛强度分布和植被覆盖率分布进行波段组合,可以定量分析热岛强度和植被覆盖率的关系。在 3 期标准化后的热岛强度组合图像选取像元共 663 个,提取其热岛强度和植被覆盖率值数据,绘制出二者的统计关系曲线图(图 4)。由图可见,随着植被覆盖率的升高,热岛强度逐渐下降,热岛强度与植被覆盖率呈负相关关系。进一步计算发现,植被覆盖率每提高 10%,热岛强度约下降 1.1°C。

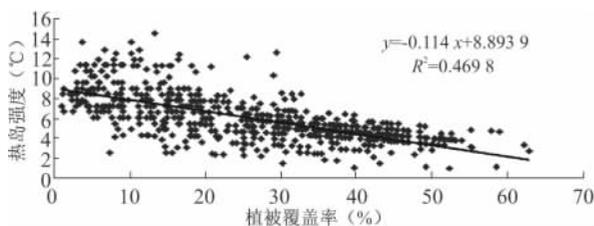


图 4 热岛强度和植被覆盖率的关系

Fig. 4 Correlation of Heat Island Intensity with Vegetation Fraction

3.3.3 武汉市热岛演变机理分析

从上世纪 80 年代开始,随着城市化进程的加快,武汉市城区面积不断扩大,不少湖泊被填埋造成

水域面积不断减少,一些林地、草地被改成工商业用地致使城区植被覆盖率逐步降低。由于水体、绿地等易降温的土地利用类型面积不断减少,道路、工商业用地等易增温的土地利用类型面积不断扩大,导致城市热岛不断加剧。统计武汉市不同年份的 5 级热岛面积、城区面积、水域面积和植被覆盖率(表 1)显示,武汉市城区面积和植被覆盖率均有较大变化,城区面积从 1987 年的 150 km² 增加到 2005 年的 400 km²,植被覆盖率则从 1987 年的 37.3% 下降到 2005 年的 24.6%;水域面积减少虽然不是很明显,但分析影像发现,城区中水域面积减少幅度较大,以南湖为例,1987 年约 15.3 km²,1994 年为 12.8 km²,2005 年则减少为约 8.3 km²。上述分析说明,城区面积增加、水域面积减少、植被覆盖率降低,是武汉市城市热岛效应不断加剧的原因。

表 1 不同年份武汉市热岛面积、城区面积、水域面积和植被覆盖率

Tab. 1 Heat Island Area, Urban Land Area, Water Area and Vegetation Fraction in Different Years

年份	城区面积 (km ²)	水域面积 (km ²)	植被覆盖率 (%)	5 级热岛面积 (km ²)
1987	150	269	37.3	35
1994	250	257	28.9	68
2005	400	231	24.6	132

4 结论与讨论

城市热岛效应主要是随着城市化进程的加快而凸现出来的,是多个因素相互作用的结果,包括土地利用类型、人为热、大气环流、大气污染和地形等因素。利用 1987、1994、2005 年共 3 期 TM 影像数据,在 GIS 的支持下,反演并计算出武汉市城区不同年代的热岛强度、植被覆盖率、土地利用类型及城区面积,定量分析了城区热岛强度分布与土地利用类型、植被覆盖率的相关关系,得出以下结论:

(1) 武汉城区热岛效应十分明显,强热岛出现在工业区和商业区,20 世纪 80 年代以来,武汉市热岛面积不断变大。

(2) 热岛强度与植被覆盖率呈负相关关系。初步计算表明,植被覆盖率每提高 10%,热岛强度约下降 1.1°C。

(3) 不同土地利用类型对热岛贡献不同,水体和植被区域可以缓解城市热岛效应,而工商业用地、道路等则加剧热岛效应。

(4) 城区扩大、植被覆盖率下降、水域面积减少

是武汉市热岛加剧的主要原因。2005 年武汉市城区面积比 1987 年扩大了近 3 倍, 植被覆盖率从 37.3% 降低到 24.6%, 水域面积从 269 km² 减少到 231 km², 5 级热岛面积则从 35 km² 增加到 132 km²。

参考文献:

- [1] 宋艳玲, 张尚印. 北京市近 40 年城市热岛效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(4): 126~129.
- [2] NYUK H W, CHEN Y. Study of green areas and urban heat island in a tropical city[J]. Habitat International, 2005(29): 547~558.
- [3] 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(5): 627~636.
- [4] 丁金才, 张志凯, 吴 红, 等. 上海地区盛夏高温分布和热岛效应的初步研究[J]. 大气科学, 2002, 26(3): 412~420.
- [5] 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.
- [6] 李国栋, 王乃昂, 张俊华, 等. 兰州市城区夏季热场分布与热岛效应研究[J]. 地理科学, 2008, 28(5): 710~714.
- [7] NICOL J E. High resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: A satellite-based study[J]. Journal of Applied Meteorology, 1996, 35: 135~136.
- [8] 周红妹, 周成虎, 葛伟强. 基于遥感和 GIS 的城市热场分布规律研究[J]. 地理学报, 2001, 56(2): 189~197.
- [9] 胡华浪, 陈云浩, 宫阿都. 城市热岛的遥感研究进展[J]. 国土资源遥感, 2005, 6(9): 5~9.
- [10] 郭 红, 龚文峰, 李 雁, 等. 哈尔滨市热岛效应与植被的关系——基于 RS 和 GIS 的定量研究[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(2): 22~26.
- [11] 赵云升, 杜 嘉, 宋开山, 等. 基于卫星遥感的夏季长春市城区热场分析[J]. 地理科学, 2006, 26(1): 69~74.
- [12] 王文杰, 申文明, 刘晓曼, 等. 基于遥感的北京市城市化发展与城市热岛效应变化关系研究[J]. 环境科学研究, 2006, 2(3): 55~59.
- [13] 陈正洪, 王海军, 任国玉. 武汉市城市热岛强度的非对称性变化[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(5): 282~286.
- [14] 陈正洪. 汉口盛夏热岛效应的统计分析及应用[C]//湖北省自然灾害综合防御对策论文集. 北京: 地震出版社, 1990: 86~88.
- [15] 吴宜进, 王万里, 邱爱武, 等. 武汉市热岛的主要形成机制[J]. 中南民族学院学报(自然科学版), 1996, 17(4): 75~78.
- [16] 方圣辉, 刘俊怡. 利用 Landsat 数据对武汉城市进行热岛效应分析[J]. 测绘信息与工程, 2005, 30(2): 1~2.
- [17] 张 穗, 何报寅, 杜 耘. 武汉市城区热岛效应的遥感研究[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(5): 45~49.
- [18] 陈 晋, 陈云浩, 何春阳, 等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J]. 遥感学报, 2001, 5(6): 416~422.
- [19] 张仁华. 实验遥感模型及地面基础[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 87~110.
- [20] 丁 凤, 徐涵秋. 基于 Landsat TM 的 3 种地表温度反演算法比较分析[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2008, 24(1): 91~96.

DECADES CHANGE AND MECHANISM OF THE URBAN HEAT ISLAND EFFECT IN WUHAN BASED ON RS AND GIS

LIANG Yi-tong, CHEN Zheng-hong, XIA Zhi-hong

(Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to reveal the urban heat island effect in Wuhan which is well-known as “stove”, urban heat island intensity, vegetation fraction, land use type and the city zone area were retrieved and computed using 3 periods (1987, 1994, 2005) of TM image data with the support of GIS (geographical information system). Based on the standard processing of the obviously different heat island intensity data in 3 periods, the present situation and evolvement of urban heat island effect in Wuhan were analyzed, the correlation of urban heat island intensity with land use type and vegetation fraction was also quantitatively analyzed. The result indicates that urban heat island effect in Wuhan is very obvious, especially in the industrial park and shopping centre. Since 1980s, the area of Wuhan heat island continuously expands. There is a negative correlation between urban heat island intensity and vegetation fraction, and the growth of 10% in the vegetation fraction will bring about nearly 1.1°C decline in the heat island intensity. Contributions to heat island of different land use type are varied. Water body and vegetation could ease urban heat island effect, while industrial park, shopping centre and road could aggravate heat island effect. Increase of city zone area, decrease of water area and drop of vegetation fraction could result in the aggravation of Wuhan urban heat island effect.

Key words: RS; GIS; heat island effect; decades change; vegetation fraction; land use