

南京市热岛效应变化时空特征及其与土地利用变化的关系

杨英宝¹, 苏伟忠^{2,3}, 江 南², 甄 峰⁴

(1 河海大学土木学院测绘工程系, 南京 210098;

2 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 3 中国科学院研究生院, 北京 100039;

4 南京大学 城市与区域规划系, 南京 210093)

摘要: 利用遥感数据和气象统计数据, 分析自 1985 年以来南京市热岛效应变化的时空特征及其与土地利用变化的关系。结果表明: 自 1985 年以来, 南京市热岛效应强度和范围在增长。南京市的年均温逐年上升, 与郊区六合县的温差呈上升趋势; 南京市建成区内 4 级热岛效应面积增加了 107.88 km²。热岛效应增长在空间上存在差异, 大厂 > 雨花台 > 市辖区 > 栖霞 > 浦口 > 江宁。南京市土地利用变化的结果使得热岛效应空间分布更广泛, 城镇居民点及工矿用地利用强度变化最大的地方即城市热岛效应增加最多的地方, 两者在空间上具有很好的吻合; 而和城镇居民点及工矿用地的扩展规模没有很好的空间相关性。

关键词: 城市热岛效应; 土地利用变化; 时空演变; 遥感

文章编号: 1000-0585(2007)05-0877-11

1 引言

随着我国城市化水平的提高, 城市用地规模的不断扩大, 土地利用方式、程度和性质的改变, 城市热岛、城市大气污染等负面环境效应因管理和决策不善而不断显现出来^[1~4]。城市热岛效应对城市气候、城市居民生活和健康、经济发展、大气污染等带来诸多负面影响。国际社会在积极研究治理和预防城市热岛问题的有效方法和措施^[5]; 我国曾在 20 世纪 80 年代对北京、天津、上海等大城市的热岛问题进行了研究^[6~9], 20 世纪 90 年代我国有关城市热岛效应的研究不多, 而 20 世纪 90 年代正是我国城市发展的快速时期, 城市热岛效应变化迅速, 因此研究该时期的城市热岛效应演变可为城市可持续发展提供一定的理论指导, 为我国城市规划和决策部门提供一定借鉴。

城市热岛研究主要表现在三个方面: 城市热岛的形态与结构、过程与变化、机制与模拟。关于城市热场分布的形态特征和动态变化, 国内外已开展了部分研究, 机制研究是目前城市热岛遥感研究的难点^[5]。很多研究表明, 土地利用变化是城市热岛效应形成、演变的主要因素^[10]。因为每种土地利用类型的热学特征、辐射特征、人为热不同, 表现为水泥、瓦片结构的建筑物、广场、居民地、桥面、道路等城市用地类型人为释放热量大、温度高, 而以土壤为主的裸地、植被以及水体等温度低, 因此, 随着城市的扩展, 土地利用

收稿日期: 2006-05-08; 修订日期: 2006-11-28

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40435013); 河海大学引进人才科研启动基金资助

作者简介: 杨英宝 (1976-), 女, 安徽桐城人, 博士。从事 RS、GIS 及其在城市中的应用研究。

E-mail: yingbaoyang@sohu.com

类型的变化,城市热岛效应会产生相应的变化。丁金才等从各土地类型在热岛范围内所占的面积比来衡量不同类型土地对上海城市热岛效应的贡献大小^[11]。Qihao Weng^[12]利用 Landsat TM 就珠江三角洲和广州市的土地利用变化对城市热场的影响进行了时空上的对比分析。李加洪从空间上定性分析了土地利用类型和温度分布的对应关系^[13]。以上研究对比分析了城市热岛效应与土地利用变化之间的时空关系,没有定量评价土地利用变化对城市热岛效应的影响。史培军等^[14]利用气候模型模拟了土地利用变化对城市气候的影响,但该研究没有探讨各土地利用变化影响城市热岛的机理。本文从土地利用变化影响城市热岛效应机理的角度出发探讨土地利用变化与城市热岛效应演变之间的关系。

2 研究区及研究方法

2.1 研究区概况

南京市是江苏省的政治、经济、文化中心,长江流域四大中心城市之一,华东地区重要的综合性工业生产基地和交通枢纽,全国四大“火炉城市”之一。南京市城市化水平较高,2000年底都市圈内的非农业人口已达271万人。从1986~2000年,城市规模不断扩大,建成区从原来的65km²扩展到2000年的194km²,年均增长率13.3%^[15]。本文以南京市市区为例,采用气象数据和遥感数据相结合的方法研究城市热岛自1985年以来时空演变特征、演变与土地利用变化在空间上的对应关系以及土地利用变化对城市热岛效应的影响机理及测度。

2.2 研究方法

利用1985~2000年南京市市区和郊区六合县的年均温气象资料,分析南京市热岛效应强度变化的时间特征。通过1985年4月10日和2000年4月17日两景landsat TM 遥感图像反演的地表温度分析南京市自1985年以来热岛效应空间分布的变化,构建城市热岛效应指数 UHI (公式(1)) 综合反映1985~2000年热岛效应增长的空间差异。利用以上两景 TM 图像提取1985年和2000年的土地利用信息,分析南京市自1985~2000年土地利用的变化特征,在改进相对变化率模型基础上^[16]构建土地利用相对强度指数(公式(2)、(3))测度土地利用变化的空间差异。利用2002年3月 Landsat ETM+ 和同时期的资源二号卫星进行融合,得到空间分辨率为3米的图像提取南京市内部的土地利用类型,从每种土地利用类型的植被覆盖度 (NDVI)、土壤含水量 (TVDI)、人为热等方面探讨了土地利用变化对城市热岛效应影响的机理。根据每种土地利用的 NDVI、TVDI、LST 和人为热特征,把土地利用类型对城市热岛效应的影响进行分级,构建土地利用温度效应指数 (公式(4)) 评价南京市土地利用变化对热岛效应的影响及空间差异。

$$UHI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k ip_i \quad (1)$$

式中, n 为建成区内温度分类的等级个数; i 为温度分类的级别; k 为建成区内热岛效应的级别总数; p_i 为该级别热岛效应占研究区总面积的百分比。文中的 n 为4, k 为3。

$$R = \frac{(K_a - K_b) \times C_a}{K_a \times (C_b - C_a)} \quad (2)$$

$$K_i = R_i / A_i \quad (3)$$

式中, K_a 、 K_b 分别为局部区域某一土地利用类型研究期初及研究期末面积; C_a 、 C_b 分别代表全区某一土地利用类型研究期初及研究期末的面积。式3中 R_i 为局部区域 i 的

相对变化率; A_i 为局部区域 i 的总面积, 单位为 km^2 ; K_i 为局部区域 i 每平方公里内的相对变化强度。

$$L_{ti} = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \tag{4}$$

式中, L_t 为某区域 t 时期的土地利用温度效应指数; A_i 为区域内第 i 级土地利用类型对温度影响的等级; C_i 为区域内第 i 级土地利用面积百分比; n 为土地利用对温度影响总的分级数。

3 南京市热岛效应的时空变化

3.1 南京市热岛效应时间变化

遥感数据能细致分析城市热岛的平面展布、内部结构特征及其空间演变, 但只用几期遥感数据难以准确反映南京市近 20 年热岛强度变化的连续特征, 气象数据能弥补遥感数据的不足。文中对比分析了 1985~ 2000 年南京市内气象站(小校场)和郊区六合县的年均温及其温差的变化趋势, 以了解自 1985 年以来南京市热岛强度的时间变化特征(图 1)。

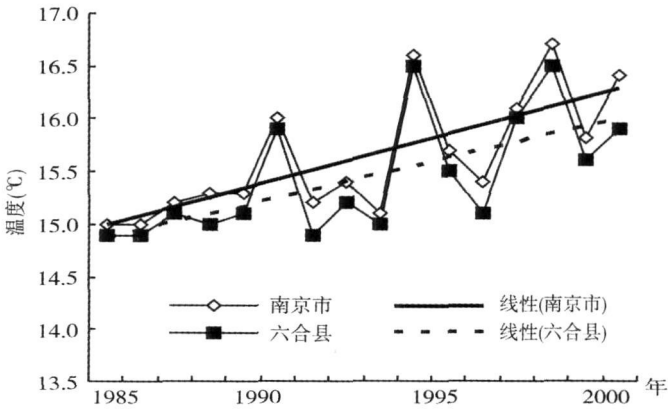


图 1 南京市和六合县 1985~ 2000 年温度变化曲线

Fig 1 The variable curve of temperature in Nanjing city and Liuhe county from 1985 to 2000

自 1985 年以来南京市的年均温呈现上升趋势, 六合县的年均温也呈现同位相上升, 但六合县温度一直低于城区, 且增温速率低于城区。这是由于受城市人为活动的影响, 南京市降温幅度比六合区小, 但升温幅度比六合区大的结果。两者温差呈整体上升趋势, 但不同年代温差有差异。为了分析南京市气温和六合温差的阶段性特征, 以五年间隔分析。1986~ 1990 年南京市年均温 15.36°C , 六合 15.2°C , 温差 0.16°C ; 1991~ 1995 年南京 15.60°C , 六合 15.42°C , 温差 0.18°C ; 1996~ 2000 年南京 16.08°C , 六合 15.82°C , 温差 0.262°C 。说明南京和六合的温差自 1985 年以来呈现增加趋势, 热岛效应强度逐渐增大。

3.2 南京市热岛效应空间变化

为了反映南京市内部热岛效应的变化, 通过 2002 年建成区界线对两期遥感影像进行蒙蔽, 裁出具有相同范围的南京市建成区的地表温度分布图, 然后统计分析 1985 和 2000 年郊区的平均地表温度, 以郊区平均地表温度为准, 对建成区的温度进行分级, 分级标准如下: 第 1 级: $T_c \leq T_j$; 第 2 级: $T_j < T_c \leq T_j + 2.5^{\circ}\text{C}$; 第 3 级: $T_j + 2.5^{\circ}\text{C} < T_c \leq T_j + 5^{\circ}\text{C}$; 第 4 级: $T_c > T_j + 5^{\circ}\text{C}$ 。其中 T_c 为城区地表温度; T_j 为郊区平均地表温度。

第 1 级为非热岛效应区, 第 2 级为弱热岛效应区, 第 3 级为中等热岛效应区, 第 4 级为强热岛效应区。两期的热岛效应分级如图版 2 图 2。

1 级非热岛效应区主要位于南京市城区内部的水域、绿地以及城郊结合部的部分园地、水田, 温度较低; 2 级热岛效应区主要位于城市近郊的耕地及农村居民地, 由于受城市化的影响, 城市近郊的耕地及居民地也比郊区的耕地和居民地的温度高; 3 级和 4 级热岛效应区为南京市建成区内部下垫面为水泥介质的用地。随着城市的发展, 城市周围的耕地、农村居民地以及城市内部部分水体和绿地逐渐为城市用地所代替, 因此建城区内的 1 级非热岛效应区和 2 级弱热岛效应范围逐渐减少, 而 3、4 级热岛效应范围不断扩大, 3 级范围的扩大是由于城市建成区在水平方向上的不断扩展造成的, 而 4 级热岛效应范围的扩大不只在于城市水平方向上的扩展, 更重要的是城市垂直方向上的扩展, 尤其是南京市老成区内, 可供新开发的土地较为紧张, 只能靠提高城市空间利用强度来解决城市空间的需求问题, 因此土地的利用强度越来越大, 人口密度越来越高, 以前是 3 级热岛效应地区由于人为热的增加以及“天穹角”的增大等原因升级为 4 级热岛效应区。

1985 年南京市热岛效应中心即四级热岛效应区有两个, 最大的分布在南京市的新街口、夫子庙及其以南地区, 但没有越过内秦淮河, 仍在老城区以内, 另一个热岛效应中心分布在南京火车站、汽车站附近, 沿建宁路、龙蟠路等道路呈线状分布。到了 2000 年, 南京市出现了以新街口为中心的三个强热岛效应中心, 其中两个大热岛效应中心和 1985 年的两个强热岛效应中心一致, 但范围都在原来的基础上有了进一步的扩展, 新街口附近的强热岛效应中心随着河西和江宁的开发, 热岛效应分布重心向西南方向偏移, 突破了老城区的界限, 内秦淮河以西和以南有大面积的热岛效应出现; 位于建宁路、龙蟠路沿线的热岛效应分布重心随着栖霞镇的开发建设向东北方向偏移; 第三大热岛效应中心位于大厂和浦口工业区, 1985 年这两个地区出现的热岛效应范围很小, 但到了 2000 年该热岛效应中心沿着长江呈带状分布。还增加了很多面积较小、分布分散的小热岛。

3.3 南京市热岛效应变化的空间差异

自 1985 年以来, 热岛效应面积共增加了 107.88km², 而 1 级非热岛效应区逐渐减少, 3、4 级热岛效应面积逐渐增大, 如表 1。

表 1 1985~ 2000 年热岛效应的面积变化 (km²)

Tab 1 Area variation of UHI from 1985 to 2000

年份	1 级	2 级	3 级	4 级	热岛总面积
1985	225.81	275.81	112.71	8.96	397.48
2000	117.82	278.30	177.26	49.58	505.14
2000~ 1985 差值	- 107.99	2.49	64.55	39.61	107.88

热岛效应空间的增长存在空间差异, 有的地方增长多, 有的地方增长少或呈现负增长。如表 2, 对于 1 级非热岛效应区, 减少最多的是建成区内的雨花台, 而市辖区 1 级热岛效应反而增加, 这是由于对于市辖区来说, 1 级非热岛效应区主要在市区内部的水体和绿地的范围, 随着南京市的发展, 城市的绿化面积不断增加, 因此 1 级非热岛效应区在市辖区内出现增加的趋势。对于 2 级弱热岛效应区, 市辖区减少得最多, 这是因为市辖区内 2 级热岛效应出现在其周围的居民点和部分耕地, 市辖区的城市建设用地的扩展主要靠侵占其周围的居民点和耕地, 而在其他郊区, 如栖霞、雨花台等城镇用地扩展主要是占用耕

地。3 级热岛效应增长最快的是浦口, 4 级热岛效应增长最快的是栖霞, 市辖区其次, 最少的是浦口。

表 2 1985~ 2000 年热岛效应变化的空间差异

Tab 2 Variable difference of UHI in space from 1985 to 2000

类型		大厂	江宁	浦口	栖霞	雨花台	市辖区
1 级	1985	1 314	3 950	0 645	2 584	1 371	2 740
	2000	1 002	3 940	0 639	2 340	0 793	3 049
	2000~ 1985	- 0 312	- 0 010	- 0 006	- 0 244	- 0 578	0 308
2 级	1985	2 367	6 541	2 926	6 528	2 992	4 417
	2000	2 008	6 447	2 343	5 810	2 889	3 132
	2000~ 1985	- 0 359	- 0 106	- 0 583	- 0 718	- 0 102	- 1 285
3 级	1985	1 896	3 286	2 647	5 749	2 698	6 600
	2000	2 188	3 392	3 045	5 981	2 991	6 852
	2000~ 1985	0 291	0 106	0 398	0 232	0 293	0 252
4 级	1985	0 147	0 260	0 206	0 452	0 390	0 791
	2000	0 528	0 458	0 397	1 183	0 778	1 515
	2000~ 1985	0 380	0 198	0 191	0 730	0 388	0 724

以上分析了每个分区每个级别热岛效应增长的空间差异, 但这种分析方法无法反映出热岛效应总体的变化情况, 因此本文构建了城市热岛效应指数, 用该指数来综合反映 1985~ 2000 年热岛效应增长的总体特征及空间差异。经计算, 整个南京市 1985 年 UHI 为 0.202, 2000 年为 0.237, 说明热岛效应总体来说是逐渐增强的。从热岛效应指数变化的绝对值看, 变化最大的是大厂, 其次雨花台, 热岛效应增长顺序: 大厂> 雨花台> 市辖区> 栖霞> 浦口> 江宁 (表 3)。

表 3 1985~ 2000 年南京市热岛效应总体变化及空间差异

Tab 3 General variation and space difference of UHI from 1985 to 2000

	大厂	江宁	浦口	栖霞	雨花台	市辖区	整个区域
2000	0 764	0 088	0 105	0 474	0 581	0 721	0 237
1985	0 526	0 080	0 088	0 436	0 491	0 561	0 202
变化	0 238	0 008	0 018	0 038	0 160	0 060	0 035

4 南京市土地利用变化对城市热岛效应的影响

4.1 土地利用变化对热岛效应演变影响机理

土地利用/ 覆被变化对下垫面介质的改变最终表现为植被、土壤含水量以及人为热的改变^[17]。本文采用归一化植被指数 $NDVI$ 分析土地利用的植被覆盖度, 温度/ 植被旱情指数 $TVDI$ (Temperature-Vegetation Dryness Index) 模型^[18] 分析土地利用类型的含水量特征。人为热包括生产和生活人为热。生活人为热可通过人口密度、建筑物密度反映, 密度越大的地方产生相对多的人为热^[8]。生产人为热主要是工业释放, 因此和工业用地的分布密切相关。

4.1.1 各种土地利用类型的 $NDVI$ 、 $TVDI$ 和 LST 特征 本次研究通过 2000 年 Landsat TM 数据分别提取了南京市 2000 年的土地利用类型、 $NDVI$ 、 $TVDI$ 、 LST 等专题信息,

利用土地利用类型图和各种 NDVI、TVDI 和 LST 专题图进行叠加,统计每种土地利用类型的 NDVI、TVDI、LST 特征(表 4)。

表 4 土地利用类型的 LST、NDVI、TVDI 特征

Tab 4 LST, NDVI and TVDI of all kinds of land use

LUCC 类型	LST 平均值 (℃)	NDVI 平均值	TVDI
水田	21.447	0.524	0.581
旱地	24.417	0.515	0.653
林地	23.182	0.574	0.818
草地	23.379	0.474	0.711
城市及工矿用地	25.918	0.376	0.866
农村居民点	24.663	0.446	0.787
水体	23.240	0.344	0
其他用地	24.290	0.439	0.751

不同土地利用类型,有不同的水分和植被覆盖状况,在以 NDVI+LST 为主轴构成的二维空间中呈现出较好的分异规律(图 3)。城市用地的 LST 高,而它们的 NDVI、TVDI 小,分布在 NDVI+LST 散点图的右下角;耕地、林地、草地的 LST 低,但其 NDVI 和 TVDI 高,分布在散点图的右上角,由于南京市的耕地

大多是水田,土壤含水量大,分布在散点图的最左上角;而水体温度最低,NDVI 和 TVDI 也小,分布在散点图的左下角,总体的分布呈一个三角形(图 3)。

对于某一区域而言,随着城市化的进行,大量的耕地、林地等 NDVI 高、LST 小、TVDI 大的用地类型向 NDVI 小、LST 高和 TVDI 小的的用地类型转化,使该区域土地利用类型在 LST-NDVI 特征空间中的分布逐渐向干边、高温的方向移动,即向图 3 的右上方向偏移,导致区域的温度逐渐升高。

4.1.2 土地利用类型的人为热 为了定量分析人口与热岛强度的关系,利用南京市内 122 个住宅小区的人口总数、人口密度和热岛强度的数据探讨人口与热岛强度的关系。经回归统计分析,人口密度对数和热岛强度的相关性很大。他们存在如下关系:

$$\Delta T = 1.632 \log P - 2.389$$

P 即人口密度,ΔT 为热岛强度,两者的相关系数为 0.8。但人口总数以及人口总数的对数和热岛强度的相关性较小,只有 0.12。因此城市热岛强度和人口密度相关性较大,人口密度越大的地方,释放的生活人为热越多,热岛效应强度越大。

为了分析工业热源对城市热岛效应形成的贡献大小,利用 2002 年 3 月 10 日的中国资源二号卫星和 2002 年 3 月 30 日的 Landsat ETM+ 可见光波段进行空间分辨率融合,融合后的分辨率为 3m,用来提取南京市 2002 年的土地利用类型,ETM+ 热红外波段反演南

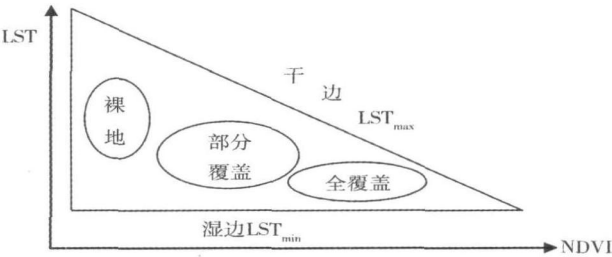


图 3 简化的 NDVI+LST 特征空间 (Sandholt, 2002)
Fig 3 The simplified feature space of NDVI+LST
(Sandholt, 2002)

京市的地表温度。利用温度图和土地利用类型图进行叠加分析,结果表明南京市工业用地的平均温度最高,标准差也最大;城市用地、道路广场用地的平均温度低于工业用地;耕地、林地、草地和水体等自然、半自然景观的地表平均温度都低于人工景观(表 5)。为了定量表示工业热源对南京市高温形成的影响,对南京市城区内温度高于郊区平均温度两个标准差的的高温区进行统计,结果表明高温区面

表 5 各种土地利用类型的温度

Tab 5 The LST of all kinds of land use/ land cover		
土地利用类型	LST 平均值 (℃)	LST 标准差
耕地	17.058	0.672
林地	16.851	0.610
草地	17.041	0.621
城市建设用地	18.668	0.734
工业用地	19.043	1.012
道路广场用地	18.324	0.728
农村居住用地	17.469	0.546
水体	15.189	0.394
其他用地	17.719	0.442

积共 3148.58hm²,工业用地占了 1385.80hm²,占总高温区面积的 44.01%;其次是居住用地,623.46hm²,占 19.80%,而草地、水体、耕地和林地占的比例都很小,分别为 0.79%、1.01%、0.53%、0.41%。南京的工业用地对热岛形成的贡献率最大,这是由于南京市工业性质偏重重工业造成的,南京是华东地区重要的综合性工业生产基地,以石油、化工为主,都是高耗能、释放人为热较多的工业。

4.2 土地利用变化对城市热岛效应影响测度

4.2.1 土地利用变化及空间差异 1985~2000 年,南京市耕地减少了 16739.82hm²,绿地减少了 585.74hm²,水体减少了 16.88hm²,未利用地减少了 6.0hm²,但城镇工矿用地和乡村居民点用地却分别增加了 10244.50hm²和 7004.81hm²。南京市土地利用变化的主要特征表现为耕地流向城镇工矿、乡村居民点用地,且城市热岛效应的形成和城市用地扩展密切相关,因此只分析南京市耕地和城镇工矿居民点用地两种土地类型变化的空间差异。文中从土地利用变化幅度和变化强度两个方面说明空间差异。从变化幅度看,城镇工矿用地增加幅度最大的是江宁区,其次是市辖区,最少的是大厂区;耕地减少最多的是江宁,见表 6。从变化强度指数分析,变化强度最大的城镇工矿用地发生在大厂区,其次是雨花区,然后是市辖区,最小的是江宁区,该用地类型虽然在江宁区变化幅度最大,但江宁区的总面积 1603.615km²,是各个分区中面积最大的,对耕地来说,变化强度最大的是市辖区,其变化强度指数几乎是变化强度最小的江宁区的 154.6 倍,市辖区内的耕地几乎全部转化为城镇工矿乡村居民点用地。

表 6 1985~2000 年南京市土地利用变化幅度和变化强度的空间差异

Tab 6 Space difference of land use change range and intensity from 1985 to 2000						
区域名称	城镇工矿变化幅度	乡村居民点变化幅度	耕地变化幅度	城镇工矿用地变化强度	乡村居民点变化强度	耕地变化强度
大厂区	+ 7.264	+ 0.333	- 7.534	+ 0.0073	+ 0.0025	- 0.0274
江宁区	+ 29.422	+ 19.104	- 46.843	+ 0.0009	+ 0.0004	- 0.0003
浦口区	+ 9.965	+ 31.446	- 41.654	+ 0.0012	+ 0.0014	- 0.0010
栖霞区	+ 20.972	+ 16.055	- 35.010	+ 0.0030	+ 0.0056	- 0.0049
市辖区	+ 22.807	+ 1.000	- 22.666	+ 0.0043	+ 0.0117	- 0.0464
雨花区	+ 12.017	+ 3.460	- 14.190	+ 0.0059	+ 0.0061	- 0.0096

注：表中“+”表示增加,“-”表示减少

对比表 3 和表 6, 城市热岛效应增长的快慢和城镇居民点及工矿用地利用强度变化的大小在空间上具有很好的一致性, 而和城镇居民点及工矿用地的扩展规模在空间没有很好的相关性。

4 2 2 土地利用变化对城市热岛效应影响测度 土地利用的温度效应指数反映的是区域多种土地利用类型变化对地表温度的影响, 利用该指数虽然不能直接得出土地利用变化导致热岛效应变化的数量, 但能间接反映土地利用变化对城市热岛效应的影响大小及空间上的差异。应用温度效应指数的关键在于土地利用对地表温度影响程度的分级设定。

文中采用的处理方法是按土地利用类型来分级, 将土地利用类型整合为未利用地、林草用地、水体用地、农业用地和城乡居民点工矿用地等 5 级。并分别将分级指数设定为 1、2、3、4、5。分级设定的依据是上面分析的各种土地利用类型的 NDVI、TVDI、人为热和 LST 特征, NDVI、TVDI 越小, 人为热越多, LST 越高的土地利用类型, 对城市热岛效应的贡献越大, 级别越高; 否则, 贡献越小, 级别越低。土地利用的温度效应变化指数是研究期末的指数减去研究期初的指数绝对值, 该值越大, 表示该区域的土地利用结构变化对城市热岛效应的影响程度越大。

表 7 土地利用温度效应指数及其变化空间差异

Tab 7 Spatial difference and change of temperature effect index of land use

分区	L ₂₀₀₀	L ₁₉₈₅	ΔL
大厂区	3 357	3. 091	0. 266
江宁区	2 734	2. 701	0. 033
浦口区	2 804	2. 758	0. 047
栖霞区	2 868	2. 766	0. 102
市辖区	3 331	3. 183	0. 148
雨花区	2 913	2. 717	0. 195
全区	2 984	2. 869	0. 115

如表 7, 1985 年整个南京市温度效应指数是 2. 869, 到 2000 年为 2. 984, 说明 1985~2000 年土地利用变化的结果使得南京市热岛效应呈现增加趋势。1985 年、2000 年南京市土地利用温度效应指数及其变化存在空间上的分布差异, 1985 年土地利用温度效应指数最大的在市辖区, 其次是大厂区, 而到了 2000 年, 温度效应指数最大的发生在大厂区, 其次才是市辖区。但从土地利用温度效应的变化指数看, 变化的顺序是大厂区> 雨花台> 市辖区> 栖霞区> 浦口区> 江宁区。对照表 6 和表 7, 发现土地利用变化对城市热岛效应的影响取决于城镇居民点及工矿用地的变化强度, 城镇居民点及工矿用地利用强度变化越大的地区, 城市热岛效应增长越快。

5 结论与讨论

(1) 自 1985 年以来南京市热岛效应强度呈现上升趋势, 热岛效应范围不断扩大。建成区内热岛效应面积增加了 107. 88km², 4 级强热岛中心 1985 年有两个, 最大的分布在南京市的新街口、夫子庙及其以南地区, 另一个分布在南京火车站、汽车站附近, 沿建宁路、龙蟠路等道路呈线状分布; 2000 年, 出现了以新街口为中心的三个 4 级强热岛中心,

其中两个热岛中心和 1985 年的一致, 但范围都在原来的基础上有了进一步的扩展, 新出现的热岛中心位于大厂和浦口工业区, 沿着长江呈带状分布。热岛效应增长在空间上存在差异: 大厂> 雨花台> 市辖区> 栖霞> 浦口> 江宁。

(2) 南京市土地利用/覆被变化速度较快, 变化的主要特征是耕地、林地、水体等自然景观向城市用地等人工景观转变。土地利用/覆被变化导致的植被覆盖度、土壤含水量、人为热等方面的改变是土地利用/覆被变化对城市热岛效应影响的主要原因。南京市土地利用变化的结果使得热岛效应空间分布更广泛, 土地利用变化对城市热岛效应的影响取决于城镇居民点及工矿用地的变化强度, 强度变化越大的地区, 城市热岛效应增长越快, 两者在空间上具有很好的吻合, 而和城镇居民点及工矿用地的扩展规模在空间上没有很好的相关性。

城市热岛效应是由多种因素共同作用的结果, 如何在众多的因素中分离出土地利用变化对城市热岛效应的影响是分析土地利用变化对其影响的关键。文中只从土地利用变化与热岛效应变化的空间关系进行了对比分析, 构建了土地利用温度效应指数相对评价了土地应用变化对城市热岛效应的影响, 今后的研究重点是遥感与城市气候模型结合起来研究土地利用变化对城市热岛效应演化的影响, 这也是城市热岛效应研究的发展趋势。

参考文献:

- [1] 陈述彭. 城市化与城市地理信息系统. 北京: 科学出版社, 1999
- [2] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制及时序规律性分析. 地理研究, 2003, 22(2): 1~ 101
- [3] 何剑锋, 庄大方. 长江三角洲时空动态格局及其环境效应. 地理研究, 2006, 25(3): 388~ 396
- [4] 任春艳, 吴殿廷, 董锁成. 西北地区城市化对城市气候环境的影响. 地理研究, 2006, 25(2): 233~ 241
- [5] 陈云浩, 李京, 李晓兵. 城市空间热环境遥感分析. 北京: 科学出版社, 2004
- [6] 孙奕敏, 李檬, 解以杨, 等. 天津市区热岛效应温度场的特征和红外遥感技术的应用. 中国环境科学, 1984, 4(2): 34~ 41
- [7] 周明煜. 北京地区热岛效应和热岛效应环流特征. 环境科学, 1980, 1(5): 44~ 48
- [8] 周淑贞, 张超. 上海城市热岛效应. 地理学报, 1991, 46(2): 207~ 212
- [9] 王传琛, 刘际松. 杭州城市气候. 地理学报, 1982, 37(2): 164~ 173
- [10] 苏伟忠, 杨英宝, 杨桂山. 南京市热场分布特征及其与土地利用/覆被关系研究. 地理科学, 2006, 25(6): 697~ 703
- [11] 丁金才, 张志凯, 奚红, 等. 上海地区盛夏高温分布和热岛效应的初步研究. 大气科学, 2002, 26(3): 412~ 420
- [12] Weng, Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22: 1999~ 2014
- [13] LI Jia-hong. Study of Relation between Land cover Conditions and Temperature Based on Landsat/TM Data. Remote Sensing Technology and Application, 1998, 13(1): 18~ 28
- [14] 史培军, 宫鹏. 土地利用/覆被变化研究的方法与实践. 北京: 科学技术出版社, 2002
- [15] 国家统计局. 南京统计年鉴 2001. 北京: 中国统计出版社, 2001
- [16] 朱会义, 李秀彬, 何书金, 等. 环渤海地区土地利用的时空变化分析. 地理学报, 2001, 56(3): 253~ 260
- [17] 杨英宝. 南京市城市热岛效应的遥感图像分析与应用研究. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 2005
- [18] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. Remote Sensing Environment, 2002, 79(2): 213~ 214

Spatial-temporal characteristics of urban heat island effect change of Nanjing city and its relation with land use change

YANG Ying-bao¹, SU Wei-zhong^{2, 3}, JIANG Nan², ZHEN Feng⁴

(1 Department of Geomatics of Hohai University, Nanjing 210098, China;

2 Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China;

3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

4 Department of Urban and Regional Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: How to analyze the change of urban heat island effect (UHIE) and its quantitative relations with land use is one of the difficult problems in the study of the formation mechanisms of its driving forces. This paper analyzes spatial-temporal characteristics of UHIE intensity and scope change of Nanjing city and its relations with land use change using remote sensing and meteorological data. The results indicate that both scope and intensity of UHIE have been increasing since 1985. Viewing from the change of intensity, the changing tendency of annual mean temperature has been going up but the changing tendency of Nanjing city is different from its suburban county of Liuhe, being 0.16°C during 1986~1990, 0.18°C during 1991~1995 and 0.262°C during 1996~2000. From the change of scope, the scope of four-level UHIE in Nanjing built-up area has added 107.88 km² since 1985. There were two core districts of UHIE in 1985, the biggest one was distributed in Xinjiekou, Fuzimiao and places south of it, the other was in the vicinity of railway station and bus station in Nanjing city. There were three intense UHIE centers in 2000, two of which were in the same positions of the major two in 1985, but their scope increased compared with the former ones. The other one was in the industrial district of Dachang and Pukou. The index of UHIE is used to probe into the spatial difference of UHIE evolution during 1985~2000, the six districts are in the order of Dachang>Yuhua>Shixia>Qixia>Pukou>Jiangning. The major characteristic of land use in Nanjing city is the conversion of natural landscape such as cultivated land, greenbelt and water to man-made landscape. The change of vegetation cover, soil moisture and artificial heat because of land use change is the main reasons of the effect of land use change on urban heat island. According to NDVI, TVDI, artificial heat and LST of every kind of land use, the temperature effect index is provided to evaluate the effect of land use change on urban heat island. The results indicate that land use change in Nanjing city leads to more extensive and intensive urban heat island. The region where urban construction land expands most quickly is also where the urban heat island increases most quickly and the expansion of urban construction land doesn't accord with the increase of urban heat island in space.

Key words: urban heat island effect; land use change; spatial and temporal evolution; remote sensing

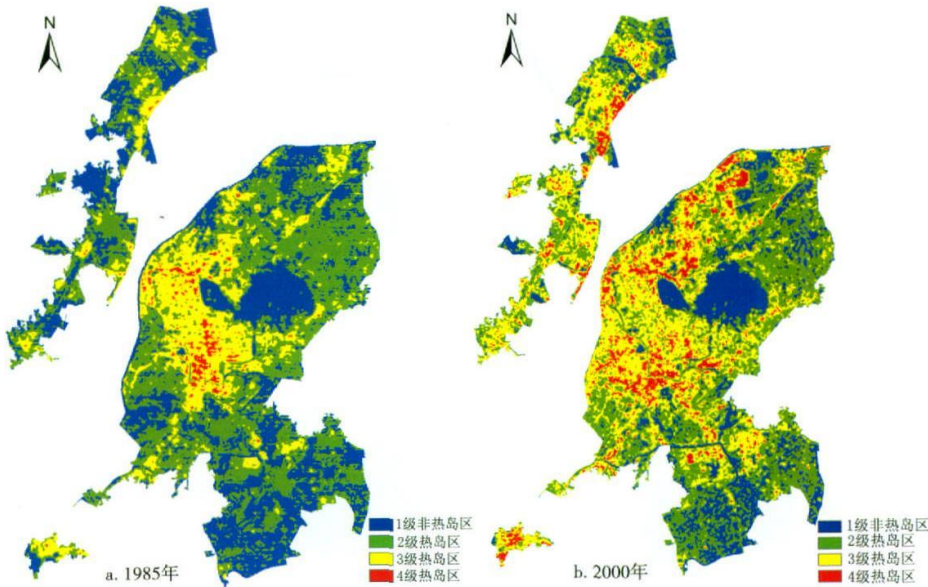


图 2 南京市建成区热岛效应分级(a.1985 年; b.2000 年)

Fig.2 Urban heat island grade of build-up area in Nanjing, a.1985; b.2000

周梦维 等：典型喀斯特石漠化小流域景观的空间因子分析——以贵州清镇王家寨小流域为例

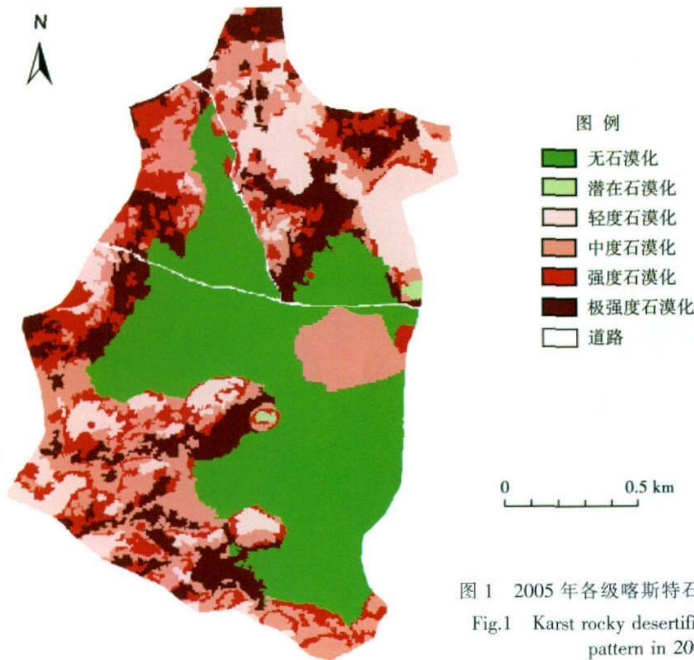


图 1 2005 年各级喀斯特石漠化景观分布图

Fig.1 Karst rocky desertification landscape pattern in 2005