

城市热岛空间格局及其变化的图形信息特征分析

吴学伟^{1,2} 徐亚明¹ 龚文峰³

1 武汉大学测绘学院,湖北 武汉,430079
2 东北林业大学土木工程学院,黑龙江 哈尔滨,150040
3 黑龙江大学水利电力学院,黑龙江 哈尔滨,150086

摘 要:热岛效应是城市化进程中产生的特有环境问题。基于 Landsat TM/ETM+ (1989、2001、2007、2013 年)遥感影像完成哈尔滨地面亮温定量反演、标准化和等级划分等处理,并分析城市热岛空间分布特征和时空演变规律。基于地学信息图谱理论,定量分析 24 a 间热岛效应图谱信息变化特征,探究城市热岛格局的时空演变进程和形成机制,揭示城市化进程与热岛效应之间的响应关系。结果表明,随着哈尔滨城市化进程加速,4 级热岛效应呈递增趋势,面积比例分别为 4.36%、5.69%、6.29%和 7.12%,主要分布在道外区和铁路沿线地带;植被和水体区域的地面温度较低,其边缘温度更低;反复变化型面积最大,后期变化型面积最小,面积比例分别为 33.30%和 7.30%。地学信息图谱分析可为城市热岛效应随城市化演变趋势提供准确、丰富的信息,对全面分析城市热岛的形成和发展具有重要的意义。

关键词:多城市热岛效应;遥感影像;地面亮温;反演;哈尔滨
中图法分类号:P208; P237.9 **文献标志码:**A

城市化是世界各国发展的共同趋势,是人类文明和进步的标志^[1]。随着城市化进程的加快,城市人口大量增加,工业生产规模化集中^[2,3],致使区域土地利用方式发生改变,引发许多自然现象和生态过程的变化^[4],如城市热岛效应、水环境效应、大气环境效应、水土流失和区域生态安全^[5-9]等。其中热岛效应是城市化进程中所产生的特有环境问题,已经引起国内外科学家的广泛关注^[10,11],其时空格局特征已有大量相关研究,主要包括城市热岛效应与城市空间扩展^[12-14]、城市热岛热力景观演变特征^[15,16]以及土地利用特征下城市热岛效应格局^[2,17,18]研究等。

地学信息图谱是以地球空间信息认知理论为基础,以 RS、GIS、网络通信、虚拟现实、计算机制图技术为支撑发展起来的一种时空复合分析方法论^[19]。城市热岛效应空间格局是以时间为序列不断演化的特定地理图形^[20],表现出从“时间过程”“空间格局”到“时空动态”的不断演变过程。因此,地理信息图谱实现了在特定时空尺度下,对城市热岛效应“空间格局”与“时间过程”的复合分

析研究。目前利用热红外遥感图像研究城市热岛效应已有大量成果,但借助图谱信息技术研究热岛效应时空演变特征和形成机制比较少,基于图谱分析城市扩张与热岛效应的响应关系则更少。

哈尔滨市处于松花江中游,是我国重要的老工业城市^[21],也是东北地区城市化进程较快的区域。本文以哈尔滨市为研究对象,运用地学信息图谱理论,研究城市热岛效应特征实体的空间、过程和属性信息的时空演变,揭示 24 a 间城市化过程中城市热岛的时空演变规律、图谱信息变化特征、形成机制及其发展趋势,探究城市扩张与热岛效应间的响应关系,全面分析城市热岛的形成、发展机理^[22]。

1 热岛效应变化研究方法

1.1 研究区域

哈尔滨市(45°25'N~45°30'N,126°20'E~126°25'E)位于黑龙江省中南部,松嫩平原东部,交通发达,是东北亚经济区重要的铁路、公路和航

空运交通枢纽。2001 年实施跨越式发展战略举措,2004 年提出“北跃西扩、南延东优、中兴外联”空间发展策略,2007 年东优得到全面发展,城建规模扩大,城区建设由圈层蔓延轴向拓展,由紧凑团块走向分散组团。故 2001 年和 2007 年的数据具有一定代表性和示范意义,可用于探究城市热岛效应时空演变特征。

1.2 数据获取和预处理

本研究主要数据源为 1989 年 9 月 29 日、2001 年 9 月 12 日、2007 年 8 月 6 日和 2013 年 7 月 22 日的遥感影像 Landsat TM/ETM+ (轨道号为 118/28)。以 1:5 万地形图为地理参照,在 ERDAS IMAGINE 9.3 中选取地面控制点并采用双线性内插法完成 2013 年遥感影像的几何校正,总体误差控制在 1 个像元内,并以其为基准影像,利用 ERDAS IMAGINE 的 AutoSync 模块,完成另外 3 期影像自动匹配,并截取研究区范围。此外,还收集了部分土地利用、气象观测和高分辨率影像数据。

1.3 地面亮温的反演

基于 Landsat TM/ETM+ 的 6 波段的反演过程为:首先将 DN(Digital Number)值转化为辐射亮度,然后利用式(2)将辐射亮度转化为亮度温度,其温度的定量计算为^[23]:

$$L_b(TM) = L_{min}(TM) + [(L_{max} - L_{min})/255] \cdot DN \quad (1)$$

$$T_b = K_2 / \ln(K_1 / L_b + 1) - 273.15 \quad (2)$$

式中, T_b 为温度(℃); K_1 、 K_2 为标定常数。地面亮温受影像接收日期、大气、地表点源排放等因素的影响,根据气象部门提供的监测数据,剔除高温点源排放造成的亮温异常值^[24]。

地面亮温与真实地表温度存在一定差距,利用式(3),将地面亮温经过比辐射率纠正转成地表温度 LST^[22,25]:

$$LST = \frac{T_b}{1 + (\lambda T_b / \rho) \ln \epsilon} \quad (3)$$

式中, λ 为 Landsat TM 6 波段的中心波长; $\rho = h \times c / \sigma = 1.438 \times 10^{-2} \text{ mK}$; σ 为斯特藩-波耳兹曼常数,其值为 $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$; h 为普朗克常数,其值为 $6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$; c 为光速; ϵ 为地表发射率。

对于城区而言,其下垫面性质较为复杂,且 Landsat TM6 分辨率像元大多数为混合像元,故 ϵ 也较为复杂,且难以测定。Van^[26] 通过实地测量一系列自然地表的热红外(8~14 μm)比辐射率和归一化植被指数(normalized difference veg-

etation index, NDVI)后发现,经过对数转换以后 ϵ 和 NDVI 之间存在着良好的相关性,且相关系数为 0.94^[26],并提出如下经验公式^[27]:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{TM4} - \text{TM3}}{\text{TM4} + \text{TM3}} \quad (4)$$

$$\epsilon = 1.009\ 4 + 0.047 \ln(\text{NDVI}) \quad (5)$$

式中, TM3 和 TM4 分别为红色波段和近红外波段的反射率。根据相关研究,本文将水域比辐射率定为 0.992 5^[28],基于 ERDAS 建模,将式(5)代入式(3),定量反演地面温度,反演精度在 2℃左右^[29]。

1.4 相对温度指数的生成

城市热岛效应主要利用气温的相对性来研究下垫面的亮温空间分布特征^[24],难以用绝对地温值来直接比较,根据式(6)对地面温度标准化处理,分布范围统一到[0,1]^[30],以揭示地温空间格局分布特征,并基于密度分割等技术完成热岛效应等级划分:

$$N_i = \frac{\text{LST}_i - \text{LST}_{\min}}{\text{LST}_{\max} - \text{LST}_{\min}} \quad (6)$$

式中, N_i 表示从第 i 个像元标准化后的值; LST_i 为第 i 个像元地表温度; $\text{LST}_{\min}$ 和 $\text{LST}_{\max}$ 分别为最小值和最大值,采用 Natural Breaks (Jenks) 划分 1 级非热岛效应区、2 级弱热岛效应区、3 级中等热岛效应区和 4 级强热岛效应区。

1.5 热岛效应变化图谱信息

以时间序列为轴,基于 ArcGIS 9.3 完成地温等级数据叠加运算,合成空间-属性-过程一体化信息图谱单元将变化类型分为^[31]6 类:①前期变化型:只在 1989~2001 年变化;②后期变化型:只在 2007~2013 年变化;③中间过渡型:2001~2007 年仅发生一次变化;④反复变化型:在 1989~2013 年至少发生两种变化,1989 年和 2013 年相同;⑤持续变化型:在 1989~2013 年持续发生变化;⑥稳定型:在 1989~2013 年没有发生变化。图谱的计算公式为:

$$Y = G_1 \times 10^{n-1} + G_2 \times 10^{n-2} + \dots + G_n \times 10^{n-n} \quad (7)$$

式中, Y 为地温等级代码计算合成的 4 位编码的时空复合体数据; n 为参与计算影像时期数目; $G_1, G_2, \dots, G_n$ 为不同时期的热岛效应等级单元。

1.6 土地利用定量提取

结合土地利用现状,利用 ERDAS IMAGINE 软件 AOI(Area of Interest)选择代表训练区,基于最大似然法完成 4 期遥感数据土地利用分类,选用部分高分辨率影像和 Google Maps 对分类

结果进行精度验证,Kappa 系数均大于 0.8。

2 结果与分析

2.1 哈尔滨热岛效应空间分布特征

由图 1 和表 1 可知,非热岛效应区(1 级)对应地物为大型森林公园(大面积绿地)、大片水田、水域及湿地等。其面积比例在 24 a 间分别为 21.88%、14.37%、27.11%和 28.49%,呈现先减小

后增大的趋势。减少区域主要为松花江北岸湿地,由于政府推行“北跃”政策,加大对松花江北岸的开发利用,致使大量湿地被侵占,局部区域土地利用不合理。增加区域主要分布在郊区和松花江沿岸,2006 年哈尔滨市政府实施松花江沿岸原生态的“万顷松江湿地,百里生态长廊”方案,增加松花江水域和沿岸湿地面积,很大程度上缓解了城市热岛效应,在 2013 年分布图中体现得非常直观,这与当地政府的湿地保护意识密切相关。

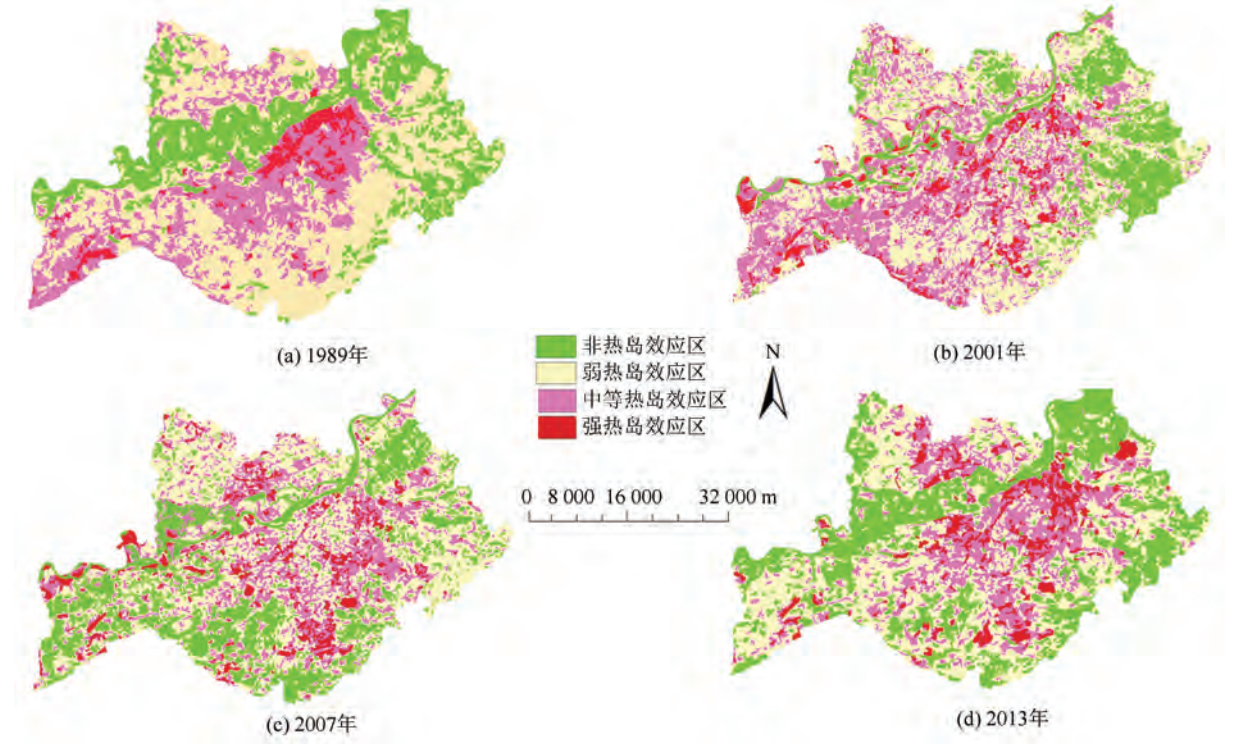


图 1 研究区域热岛效应等级分布图
Fig.1 The Classification Distribution of the Heat Island Effects in Study Region

表 1 研究区域城市热岛级别统计数据

Tab.1 The Statistics Data of Heat Island Effect Classification

城市热岛 效应级别	1989 年		2001 年		2007 年		2013 年	
	面积/km ²	占比	面积/km ²	占比	面积/km ²	占比	面积/km ²	占比
1 级	353.35	21.88	231.94	14.37	437.56	27.11	459.89	28.49
2 级	781.19	48.40	721.09	44.67	682.07	42.26	679.84	42.12
3 级	409.33	25.36	569.33	35.27	392.83	24.34	359.44	22.27
4 级	70.30	4.36	91.81	5.69	101.71	6.29	115.00	7.12
总计	1 614.17	100	1 614.17	100	1 614.17	100	1 614.17	100

弱热岛效应区(2 级)面积比例分别为 48.4%、44.67%、42.26%和 42.12%,呈现递减趋势。土地类型大部分为郊区的农用地,土地结构单一,植被覆盖相对高且受城市化进程影响小,但空间分布特征在 20 a 间发生一定变化:2001、2007、2013 年市区内有一定量分布,2001 年和 2013 年都呈现分散状况,而 2007 年呈现聚集状态,并形成一定连续块状区域。

中等热岛效应区(3 级)处于 2 级和强热岛效应区(4 级)的过渡地带,主要是位于城区内低密度建筑物群区、近郊大规模城镇及郊区植被覆盖较少的旱地。24 a 间面积比例分别为 25.36%、35.27%、24.34%和 22.27%,呈现先增加后减少的趋势。1989~2001 年增加区域主要位于近郊及其主要道路沿线附近的较大规模乡镇,随着城市化进程加速,城市规模不断扩大且向四周延展,

近郊的耕地、湿地及其他自然植被被人工建筑物取代,近郊热岛效应有所加强,分布格局由集中趋向分散;2007~2013 年新增加部分主要为市区内棚户改造区,源于其绿地建设滞后于城市化进程。

4 级主要位于新开发楼盘区及以厂房为主的新型工业园区和经济开发区,铁路沿线地带以及人口和建筑物相对密集的商业区。松花江沿岸裸沙地带是一个重要分布区,1989~2013 年间,其空间分布形态由一个连续的带状分布区逐步转变为不连续的块状区域,且城区内已明显由集中趋向分散,基本上覆盖整个城区范围,面积比例呈递增趋势。2001 年分散区域主要位于哈尔滨太平国际机场和哈南香坊工业园区等地区。哈南香坊工业园区热岛效应源于哈尔滨市“南拓”政策,在城区不断向外扩张和蔓延的同时,也导致热岛效应范围扩大,热岛强度增加。太平国际机场的扩建则表明城市大型交通枢纽区容易形成较强的热岛效应。2007~2013 年新增加部分主要为平房区工业产区和松北新城区。在“北跃西扩、南延东优、中兴外联”城市空间发展策略的指导下,哈尔滨市政广场和松北新区等从无到有快速扩建,以不透水面层为主体的人文景观代替自然和半自然景观,并使得该区域部分村镇快速发展并演变为初具规模的小城镇和工业重镇,呈现出多个热岛中心特征^[32],形成新的热岛格局。

2.2 城市热岛效应图谱转换分析

本文基于 ArcGIS 获取研究区城市热岛图谱信息特征(图 2),结合土地利用现状(图 3),运用地学信息图谱理论,分析城市热岛特征的空间格局和时间过程,揭示图谱信息变化特征和形成机制,探究热岛等级转换生态过程等问题,探明城市扩张与热岛效应的响应关系和内部机制问题。

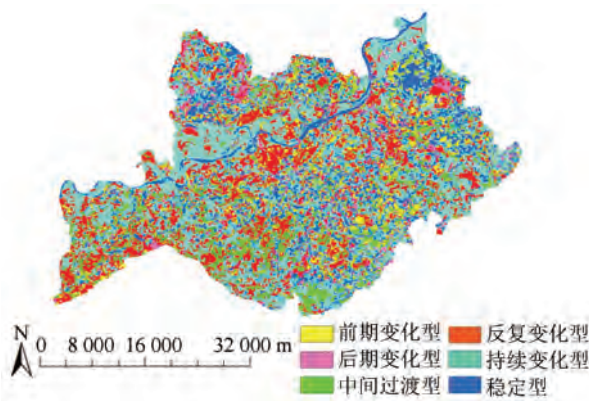


图 2 研究区域热岛效应图谱分析图

Fig.2 The TUPU Analysis of the Heat Island Effects

根据热岛效应图谱变化类型分类,分析各变

化类型面积分布,见表 2。

1)反复变化型单元所占的面积最大,占总面积的 33.30%,面积最大图谱模式为“强热岛区→中等热岛区→弱热岛区→强热岛区”,面积为 70.13 km²。该图谱类型主要发生于人口相对密集的道外老城区,随着棚户区改造和热源工厂的减少和搬迁,热岛效应得到一定程度的缓解,生态环境有所改善。但在对老城区的改造和扩建过程中,往往重开发而轻绿化,在其成为新的人口密集住宅区和商业区的同时,也使其成为新的局部热源区。哈尔滨市政府的应对措施为,注重墙体和楼体等的垂直绿化^[24],实现城市绿化由平面趋向立体化的延伸,用“绿岛”来代替“热岛”^[3]。此外,“强热岛区→非热岛区→弱热岛区→强热岛区”是反复变化型的第二大面积图谱,主要发生于近郊的新建城区和工业园区,随着城市建设规模扩张,市区内的土地已经不能满足城市发展需要,致使该地带的自然和半自然景观被高密度的人工建筑物取代,城市化进程加速自然环境演变,促使近郊呈现条带状和低密度蔓延的外延扩张模式,进而形成新的强度较大的热岛源。松北区和平房区新兴工业园区就是非常典型的例子,这与 2001 年以后振兴东北老工业基地等经济政策及哈尔滨城市建设等有直接关系^[34]。

2)持续变化型的面积为 347.93 km²,占总面积的 21.55%,且“中等热岛区→弱热岛区→中等热岛区→强热岛区”是其面积最大变化模式,集中分布于城市近郊、道路沿线规模较大的城镇、工业园区和经济技术开发区等区域。城市化进程加速容易导致城镇扩张或向工业区扩展^[34],在城市周围形成卫星城镇和新热岛中心,致使其热岛范围扩大且强度增强,朝着高等级热岛效应“群簇”的方向发展。这与城市化进程速度、人类活动的干扰强度和经济发展程度直接相关。如果不采取措施加以控制,区域生态环境将进一步恶化,成为城市热环境改善的制约因素。此类持续变化型在一定程度上表明该区域土地利用类型间的转换相对频繁,区域生态环境与经济发展之间的矛盾相对突出,以哈南工业新城、松北科技创新城和哈西新区等为代表。基于此,今后除了维护好现存森林公园外,还要加大力度改造和建设新的森林公园,大力发展垂直绿化来增加绿化总量,借助于城市森林缓解城市热岛效应的影响。

3)稳定型图谱占总面积 17.02%,且“弱热岛区→弱热岛区→弱热岛区→弱热岛区”是其最大的面积变化模式,面积为 131.70 km²。稳定型图

谱所对应的土地利用类型主要为农业用地和水域。农业用地远离城区,受城市化进程影响较小,土地利用结构简单且稳定性较强。

4)中间过渡性和后期变化型的面积分别为 11.11 km²和 7.30 km²,对应的最大面积图谱分别为“弱热岛区→弱热岛区→非热岛区→非热岛区”和“弱热岛区→弱热岛区→弱热岛区→非热岛区”。中间过渡性和后期变化型主要位于郊区耕地地域。从野外调查中发现,在经济利益的驱使下,2010 年后部分旱田转变为水田,使得水田在

大范围旱田中形成小的冷岛,致使部分区域的热岛级别降低,农业措施调整致使局部热岛效应发生转变,但土地利用性质并未改变。

5)前期变化型的面积为 156.97 km²,“中等热岛区→弱热岛区→弱热岛区→弱热岛区”是其最大面积图谱,主要发生于老城区棚户区拆迁改造和热源工厂搬迁等地带,当地政府对老城区改造的同时,加大了绿化空间的布局,通过修建和改造森林公园,调节、缓解和缩减局部区域热岛效应。

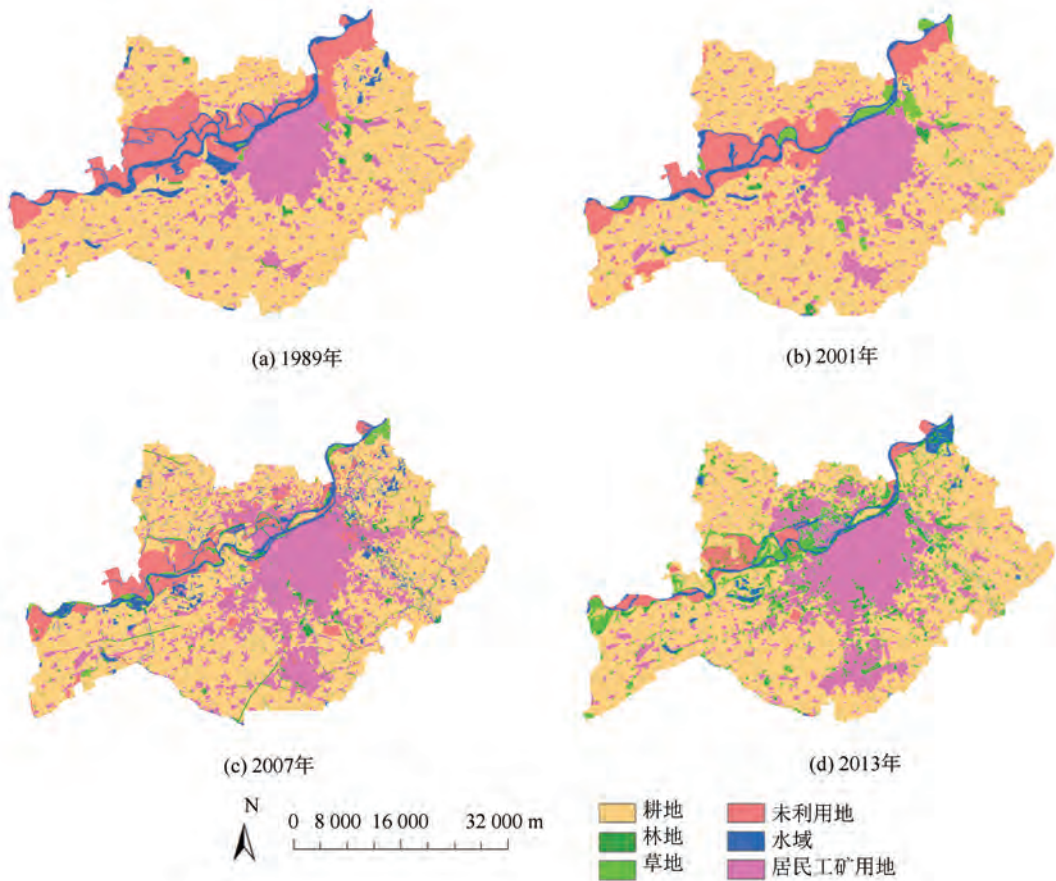


图 3 研究区域 1989、2001、2007 和 2013 年的土地利用现状图
Fig.3 Land Use Maps of Study Region in 1989, 2001, 2007 and 2013

表 2 研究区热岛效应变化图谱分析

Tab.2 TUPU Analysis of Heat Island Effects Change in Study Region				
图谱变化类型	面积	占总面积	最大面积	最大面积图谱
	/km ²	比例/%	图谱类型	面积/km ²
前期变化型	156.97	9.72	3-2-2-2	43.65
后期变化型	117.81	7.30	2-2-2-1	36.87
中间过渡型	179.26	11.11	2-2-1-1	65.04
反复变化型	537.47	33.30	4-3-2-4	70.13
持续变化型	347.93	21.55	3-2-3-4	22.97
稳定型	274.73	17.02	2-2-2-2	131.70

3 结 语

本文以 Landsat TM/ETM+ (1989、2001、2007 和 2013 年)时间序列遥感影像为数据源,基于地学信息图谱理论,定量分析 24 a 间热岛效应的图谱信息变化特征,探究城市热岛格局空间分布、时空演变特征和形成机制,结论如下。

1)2 级和 4 级热岛效应所占面积比例分别为最大和最小,2 级呈现递减趋势,4 级呈现递增趋势,1 级和 3 级变化相对复杂,呈现先减少后增加和先增加后减少的变化趋势。

2)4 级空间分布形态由一个连续的带状分布区逐步转变为不连续的块状区域,城区内由集中趋向分散,基本上覆盖整个城区范围,形状趋向复杂,城市空间格局扩展与热岛扩展趋势具有一定的时空一致性。

3)反复变化型的面积最大,面积比例为 33.30%,且面积最大图谱模式为“强热岛区→中等热岛区→弱热岛区→强热岛区”;后期变化型面积最小,为 7.30 km²,最大面积图谱为“弱热岛区→弱热岛区→弱热岛区→非热岛区”。

4)利用地学信息图谱理论分析热岛区域变化的空间、过程和属性变化特征,是一个新的研究领域,可为城市热环境质量评价和热源调查提供准确、丰富信息,对今后哈尔滨“3 个适宜”城市长远规划和环境建设具有重要意义。

致谢:感谢中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)提供部分土地利用数据。

参 考 文 献

[1] Li Bingcheng. Problems of Municipal Ecological Environment and the Sustainable Development in China[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(2): 1-6(李秉成. 中国城市生态环境问题及可持续发展[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(2): 1-6)

[2] Zhang Hao, Qi Zhifang, Ye Xinyue, et al. Analysis of Land Use and Cover Change, Population Shift, and Their Effects on Spatio-Temporal Patterns of Urban Heat Islands in Metropolitan Shanghai, China[J]. *Applied Geography*, 2013, 44: 121-133

[3] Chen Liding, Sun Ranhao, Liu Hailian. Eco-Environmental Effects of Urban Landscape Pattern Changes: Progresses, Problems, and Perspectives [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(4): 1 042-

1 050(陈利顶, 孙然好, 刘海莲. 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1 042-1 050)

[4] Feng Huihui, Zhao Xiaofeng, Chen Feng, et al. Using Land Use Change Trajectories to Quantify the Effects of Urbanization on Urban Heat Island[J]. *Advances in Space Research*, 2014, 5: 463-473

[5] Suriya S, Mudgal B V. Impact of Urbanization on Flooding: The Thirusoolam and Sub-Watershed - A Case Study[J]. *Journal of Hydrology*, 2012(412-413): 210-219

[6] Lovell S T, Johnston D M. Creating Multifunctional Land Scapes: How can the Field of Ecology Inform the Design of the Landscape[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(4): 212-220

[7] Chen Liding, Qi Xin, Li Fen, et al. Disturbances of Urbanization to River Course System and Related Ecological Restoration Principles and Approaches [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(4): 805-811(陈利顶, 齐鑫, 李芬, 等. 城市化过程对河道系统的干扰与生态修复原则和方法[J]. 生态学杂志, 2010, 29(4): 805-811)

[8] Nuissl H, Haase D, Lanzendorf M, et al. Environmental Impact Assessment of Urban Land Use Transitions: A Context-sensitive Approach[J]. *Land Use Policy*, 2009, 26(2): 414-424

[9] Nagase A, Dunnett N. Amount of Water Runoff from Different Vegetation Types on Extensive Green Roofs: Effects of Plant Species, Diversity and Plant Structure[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 104(3/4): 356-363

[10] Peng Shaolin, Zhou Kai, Ye Youhua, et al. Research Progress in Urban Heat Island[J]. *Ecological Environment*, 2005, 14(4): 574-579(彭少麟, 周凯, 叶有华, 等. 城市热岛效应研究进展[J]. 生态环境, 2005, 14(4): 574-579)

[11] Yusuf A, Yusuf B P, Mohammed O I. Spatio-Temporal Assessment of Urban Heat Island Effects in Kuala Lumpur Metropolitan City Using Landsat Images[J]. *J Indian Soc Remote Sens*, 2014, 42(4): 829-837

[12] Xu Hanqiu, Chen Benqing. A Study on Urban Heat Island and its Spatial Relationship with Urban Xpansion: Xiamen, SE China [J]. *Urban Studies*, 2004, 11(2): 65-70(徐涵秋, 陈本清. 城市热岛与城市空间发展的关系探讨-以厦门市为例[J]. 城市生态与环境, 2004, 11(2): 65-70)

[13] Zhou Hongmei, Gao Yang, Ge Weiqiang, et al. The Research on the Relationship Between the Urban Expansion and the Change of the Urban Heat Island Distribution in Shanghai Area[J]. *Ecology and En-*

- vironment, 2008, 17(1): 163-168(周红妹, 高阳, 葛伟强, 等.城市扩展与热岛空间分布变化关系研究—以上海为例[J].生态环境, 2008, 17(1): 163-168)
- [14] Xia Rui, Li Yunmei, Wang Qiao, et al. Urban Expansion in Wuxi City and Heat Island Response by RS Analysis[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2009, 11(5): 677-683(夏骞, 李云梅, 王桥, 等.无锡市城市扩张与热岛响应的遥感分析[J].地球信息科学学报, 2009, 11(5): 677-683)
- [15] Meng Dan, Li Xiaojuan, Gong Huili, et al. The Thermal Environment Landscape Pattern and Typical Urban Landscapes Effect Linked with Thermal Environment in Beijing[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(13): 3 491-3 500(孟丹, 李小娟, 宫辉力, 等.北京地区热力景观格局及典型城市景观的热环境效应[J].生态学报, 2010, 30(13): 3 491-3 500)
- [16] Huang Jucong, Zhao Xiaofeng, Tang Lina, et al. Analysis on Spatio-Temporal Changes of Urban Thermal Landscape Pattern in the Context of Urbanisation: A Case Study of Xiamen City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(2): 622-631(黄聚聪, 赵小锋, 唐立娜, 等.城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征—以厦门市为例[J].生态学报, 2012, 32(2): 622-631)
- [17] Yusuf Y A, Pradhan B, Idrees M O. Spatio-Temporal Assessment of Urban Heat Island Effects in Kuala Lumpur Metropolitan City Using Landsat Images[J]. *J Indian Soc Remote Sens*, 2014, 42(4): 829-837
- [18] Feng Huihui, Zhao Xiaofeng, Chen Feng, et al. Using Land Use Change Trajectories to Quantify the Effects of Urbanization on Urban Heat Island[J]. *Advances in Space Research*, 2014, 53: 463-473
- [19] Chen Shupeng, Yue Tianxiang, Li Huiguo. Studies on Geo-Informatic Tupu and its Application[J]. *Geographical Research*, 2000, 19(4): 338-342(陈述彭, 岳天祥, 励惠国.地学信息图谱研究及其应用[J].地理研究, 2000, 19(4): 338-342)
- [20] Liu Xiangnan, Xu Hongmei, Huang Fang. Study on Graphic Information Characteristics of Land Use Spatial Pattern and its Change[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(1): 79-84(刘湘南, 许红梅, 黄方.土地利用空间格局及其变化的图形信息特征分析[J].地理科学, 2002, 22(1): 79-84)
- [21] Weng Q. A Remote Sensing-GIS Evaluation of Urban Expansion and its Impact on Surface Temperature in the Zhujiang Delta, China[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22: 1 999-2 014
- [22] Xu Hanqiu, Analysis on Urban Heat Island Effect Based on the Dynamics of Urban Surface[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(14): 3 890-3 901(徐涵秋.基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析[J].生态学报, 2011, 31(14): 3 890-3 901)
- [23] NASA. Science Data Users Handbook[EB/OL]. <http://www.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook-toc.html>, 1998-01-06/2005-09-20(美国宇航局·科学日期用户手册[EB/OL]. <http://www.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook-toc.html>, 1998-01-06/2005-09-20)
- [24] Zhao Lili, Zhao Yunsheng, Dong Guihua. Study of Urban Heat Island Effect Monitoring Technology Based on ETM+ Remote Sensing Image[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2006, 22(3): 59-62(赵丽丽, 赵云升, 董贵华.基于 ETM+遥感影像的城市热岛效应监测技术研究[J].中国环境监测, 2006, 22(3): 59-62)
- [25] Hardin P J, Jensen R R. The Effect of Urban Leaf Area on Summertime Urban Surface Kinetic Temperatures: A Terre Haute Case Study[J]. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2007, 6(2): 63-72
- [26] Yue Wenzhe, Xu Jianhua, Xu Lihua. An Analysis on Eco-Environmental Effect of Urban Land Use Based on Remote Sensing Images: A Case Study of Urban Thermal Environment and NDVI[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1 450-1 460(岳文泽, 徐建华, 徐丽华.基于遥感影像的城市土地利用生态环境效应研究—以城市热环境和植被指数为例[J].生态学报, 2006, 26(5): 1 450-1 460)
- [27] Van De Griend A, Owe M. On the Relationship Between Thermal Emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for Nature Surfaces[J]. *Int. J. Remotesensing*, 1993, 14(6): 1 119-1 131
- [28] Masuda K, Takashima T, Takayama Y. Emissivity of Pure and Sea Waters for the Model Sea Surface in the Infrared Window Region[J]. *Remote Sensing of the Environment*, 1988(24): 313-332
- [29] Qin Zhihao, Li Wenjuan, Xu Bin, et al. Land Satellite TM6 Band Range Inland than the Stimated Rate of Radiation[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2004(3): 28-32(覃志豪, 李文娟, 徐斌, 等.陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J].国土资源遥感, 2004(3): 28-32)
- [30] Xu Hanqiu, Chen Benqing. An Image Processing Technique for the Study of Urban Heat Island Changes Using Different Seasonal Remote Sensing Data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2003, 18(3): 129-133(徐涵秋, 陈本清.不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J].遥感技术与应用, 2003, 18(3): 129-133)
- [31] Gong Wenfeng, Yuan li, Fan Wenyi. Analysis on Land Use Pattern Changes in Harbin Based on Terrain Gradient[J]. *Transactions of the Chinese Socie-*

ty of Agricultural Engineering (*Transactions of the CSAE*), 2013, 29(2): 250-259(龚文峰,袁力,范文义.基于地形梯度的哈尔滨市土地利用格局变化分析[J].农业工程学报,2013,29(2):250-259)

[32] Jiang Xueding, Xia Beicheng, Guo Li. Research on Urban Heat Island and its Environmental Effects of Rapidly Urbanized Regions [J]. *Ecologic Science*, 2006, 25(2):171-175(江学顶,夏北成,郭砾.快速城市化区域城市热岛及其环境效应研究[J].生态科学,2006, 25(2):171-175)

[33] Gong Wenfeng , Yuan Li, Fan Wenyi. Dynamic Change and Prediction of Land Use in Harbin City Based on CA-Markov Model[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(14):216-222(龚文峰,袁力,范文义.基于 CA-Markov 的哈尔滨市土地利用变化及预测[J].农业工程学报,2012,28(14):216-222)

[34] Xu Hanqiu. Assessment of Urbanization Basing on City Spatial Analysis in a Region[J]. *Urban Studies*, 2002 ,9(4):33-41(徐涵秋.基于城镇空间区域扩展分析的城市化进程评估[J].城市发展研究,2002,9(4):33-41)

Graphical Information Characteristics of
Urban Heat Island Spatial Pattern and its Change

WU Xuewei^{1,2} XU Yaming¹ GONG Wenfeng³

1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China
2 College of Civil Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China
3 College of Hydraulic and Electrical Engineering, Heilongjiang University, Harbin 150086, China

Abstract: Nowadays, world urbanization accelerates greatly and caused some environment problems, including the urban heat island (UHI) effect, especially in developing countries. Taking Harbin city as an example, using four Landsat remote sensing images (1989, 2007 and 2013 by TM sensors , 2001 by ETM+ sensor), based on RS and GIS, the land surface temperature (LST) was inverted, which was normalized, classified and figured out, while the spatial distribution characteristics and spatio-temporal change law of LST were analyzed. Using geography graphic information theory, the change characteristics of space, procedure and attribute of UHI were quantitatively analyzed, to explore the response relationship between urban expanding and UHI. The results showed that: with the expanding urban area of Harbin city, the fourth grade UHI effect was growing, which were taken accounted for 4.36%, 5.69%, 6.29% and 7.12% in area proportion, respectively. Meanwhile, they were mainly located in Daowai district and railway regions. The region of vegetation and water body had the lower LST, even much lower on the edge of that region. The continual change map has the largest area, while the least proportion area was the anaphasic change map, which accounted for the proportion of 33.30% and 7.30%, respectively .Meanwhile ,during the process of the urbanization and urban expansion, using geography graphic information theory can provide accurate and enough information for monitoring and estimating urban heat island effects.

Key words: urban heat island effects; RS image; ground brightness temperature; inversion; Harbin

First author: WU Xuewei, PhD candidate, associate professor, specializes in the theories and methods of eco-environment monitoring and assessment. E-mail: wuxuewei@163.com

Corresponding author: GONG Wenfeng, PhD, professor. E-mail: gwf101@163.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41301027; Natural Science Foundation of Heilongjiang Province, Nos. D201410, QC2014C040; Natural Science Foundation of Heilongjiang Province Department Education Commission, No. 12531513.