

DOI: 10.5846/stxb201310142477

徐双, 李飞雪, 张卢奔, 周磊. 长沙市热力景观空间格局演变分析. 生态学报, 2015, 35(11): 3743-3754.

Xu S, Li F X, Zhang L B, Zhou L. Spatiotemporal changes of thermal environment landscape pattern in Changsha. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(11): 3743-3754.

长沙市热力景观空间格局演变分析

徐 双, 李飞雪*, 张卢奔, 周 磊

江苏省地理信息技术重点实验室, 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023

摘要:城市热环境是城市生态环境效应研究的热点之一,其演变规律的研究为缓解城市热岛带来的负效应、促进城市可持续发展提供依据。以 2004 年和 2010 年 Landsat7 ETM+遥感影像数据和土地利用现状数据为数据源,在地表亮度温度反演的基础上,运用景观指数并结合 GIS 空间分析技术,采用移动窗口和梯度分析结合的方法,分析 2004—2010 年长沙市中心城区热环境的空间格局动态变化,通过分区统计法分析了不同热力景观等级下不同城市景观的空间格局变化,从景观尺度上阐明城市景观类型组成和空间格局与地表温度空间分异之间的关系。研究结果表明:2010 年热岛区域扩大且更加分散,面积比 2004 年增加 15.01km²,新增区域主要分布在金霞、岳麓和星沙的新兴工业园区;中心城区热力景观格局在景观水平上具有明显的空间分异特征,在从中心位置到偏北、偏东和偏南方向上,热力景观从市区向周边郊区呈现破碎化、多样性递增、形状复杂化,而从中心位置到偏西方向上与之相反;景观类型组成和空间布局对地表热环境产生不同影响,耕地、林地在热力景观内的优势度越大、分布越集中,地表降温效果越显著;反之,建设用地斑块越大、凝聚程度越高、形状越规整,地表温度越高,热岛效应显著。

关键词:热力景观;景观格局;移动窗口;长沙市中心城区

Spatiotemporal changes of thermal environment landscape pattern in Changsha

XU Shuang, LI Feixue*, ZHANG Luben, ZHOU Lei

Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Department of Geographical Information Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China

Abstract: The urban thermal environment has become the subject of considerable attention in the field of research into the eco-environmental effects of cities. Research into the laws governing the evolution of the urban thermal environment could contribute to the mitigation of the negative effects of the urban heat island (UHI) and promote the sustainable development of cities. This paper analyzed the spatiotemporal changes of the urban thermal landscape in Changsha, China. Four Enhanced Thematic Mapper Plus thermal images of the urban center of Changsha, taken in the same month in 2004 and 2010, were used to retrieve the brightness temperature, which was then classified into five temperature regions: low, sub-middle, middle, sub-high, and high. The landscape types of the urban center of Changsha in both 2004 and 2010 were classified based on land use data. Landscape metrics were used to quantify the spatiotemporal changes of the urban thermal landscape and the underlying surface pattern. By combining moving window and gradient analyses, the spatial changes of the urban thermal landscape pattern in Changsha from 2004 to 2010 were established and the evolution of the thermal landscape was analyzed from 16 directions. Zonal statistics were applied to investigate the changes of various urban landscape patterns under different thermal landscape ranks, which clarified the relationship between the spatial pattern and composition of the urban landscape and the spatial variation of surface temperature on a landscape scale. Based on this work, a number of conclusions were drawn. 1) Following the rapid urbanization of Changsha, the districts of the UHI expanded and became

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40901184);教育部博士点基金项目(20090091120028)

收稿日期:2013-10-14; 网络出版日期:2014-08-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: njulifeixue@163.com

increasingly decentralized. The area of the UHI increased by 15.01 km² in 2010 in comparison with 2004; the increase was largely distributed in new industrial parks such as Jinxia, Yuelu, and Xinsha. 2) There was an obvious spatial variation of thermal landscape pattern on the landscape scale in the center of Changsha. From the center to the north, east, and south, the Patch Density, Shannon's Diversity Index, and Perimeter-Area Fractal Dimension of the thermal landscape increased gradually, coupled with fluctuations of different amplitudes. In the other words, the thermal landscape has tended to become more fragmented and diversified, and the landscape shape has become more complex from the downtown area to the suburbs. However, the converse is true of the landscape pattern in the west. 3) Different shapes and spatial arrangements of landscape types exhibited different influences on the surface thermal environment; thus, the characteristics of the thermal landscape were changed. The greater the concentration of cropland and forested land in the thermal landscape, the more significant the surface cooling effect. Conversely, the higher surface temperatures were observed when the dominance of urban land was greater, degree of cohesion higher, and landscape shape simpler. Furthermore, the UHI effect of the study area is expected to become more remarkable. The changes of the underlying surface pattern exhibited remarkable influence on the local thermal environment and therefore, greater attention should be paid to the rational distribution of cropland and forested land in order to relieve the effects of the urban heat environment.

Key Words: thermal landscape; landscape pattern; moving window; Changsha urban center

“热岛效应”是指城市中的气温明显高于外围郊区的现象,它受城市景观类型(下垫面)及其格局的影响^[1]。在高速城市化进程的背景下,地表覆盖的变化导致城市温度特别是近地表温度不断上升,城市“热岛效应”愈加强烈,城市热环境成为主导整个城市环境的要素之一。城市热环境问题一直倍受关注,已成为生态学研究的一个热点问题^[1-5]。热力景观是分析城市热岛空间格局的一种新方法,许多学者从景观格局的角度对城市热环境进行分析:陈云浩^[6]等借鉴景观生态学的研究方法,提出“热力景观”的概念,分析了热力景观的动态变化和热力景观类型的组分转移过程;江学顶^[7]利用 MM5 模拟城市热岛,并借助景观生态学方法,对城市热岛数值模拟与遥感反演结果的空间格局特征进行了研究,分析了热力景观空间格局的日变化特征;贡璐^[8]等以乌鲁木齐市为典型研究区,基于 1987—2005 年间景观变化开展城市热岛效应时空变化分析,在地表温度反演和景观分类的基础上,通过划分温度景观类型,计算景观指数,构建温度景观评价体系;孟丹^[3]等利用 ASTER 数据进行地表温度反演,计算不同粒度下的景观格局指数,分析北京热力景观格局及其尺度效应;黄聚聪^[9]等以厦门市为研究对象,利用 1987—2007 年等时间间隔、同时相的 5 景 Landsat TM/ETM+ 遥感影像数据进行地表温度反演,在此基础上使用景观格局指数分析厦门城市热岛景观格局随城市化进程演变的趋势。上述研究主要集中于利用景观格局指数表征和描述城市热环境特征和变化方面,对地表温度与城市景观格局之间的关系,特别是景观类型的空间格局与组成特征对地表温度的影响,研究还比较少^[10-11]。

近年来,长沙市作为“中部崛起”的战略支撑点和“泛珠三角”区域的新兴增长极,经济社会发展突飞猛进,城市化进程快速推进,城市发展与生态环境之间的矛盾进一步加剧,土地利用与景观格局的变化导致的生态环境问题已成为长沙市社会经济可持续发展的障碍。本文将长沙作为热力景观变化研究的典型区域,基于两期不同年份相同月份的 Landsat ETM+ 数据反演地表亮度温度,借助 GIS 和 RS 技术,应用移动窗口和梯度分析方法分析热力景观空间格局的动态变化,详细分析从城市中心到边缘 16 个方向热力景观的演变,通过分区统计法分析了不同热力景观等级下不同城市景观的空间格局变化,从景观尺度上阐明城市景观类型空间格局和组成与地表温度空间分异之间的关系,旨在为城市规划、城市生态环境改善提供科学依据。

1 研究区概况

长沙市位于湖南省东部,东经 111°53'—114°15',北纬 27°51'—28°41'之间,土地总面积为 11819.46km²。2010 年全市常住人口 704.41 万人,城镇人口达到 476.89 万人。城市化发展迅速,建设用地由 2004 年的

407.22km²增加到 2010 年的 449.02km²,扩大了 42.20km²,土地利用发生巨大变化。本文主要研究长沙市中心城区,总面积 1146.45km²,其中主要包括耕地、林地、建设用地、水体等多种景观类型。

2 研究数据与方法

2.1 研究数据

遥感数据是 2004 年 9 月 16 日和 2010 年 9 月 17 日成像的 Landsat7 ETM+影像(UTM/WGS84),卫星轨道行列号为 123/40 和 123/41,卫星过境时间在 02 点 45 分左右。研究区内影像清晰,云层影响小,成像条件良好。由于 ETM+传感器本身因素的影响,遥感图像存在着条带噪音,采用多影像局部自适应回归分析模型方法进行去除,并进行相关预处理。利用研究区地形图对 ETM+图像进行几何校正,配准误差在 1 个像元以内。

以 2004 年和 2010 年长沙市中心城区 1:10000 的土地利用现状数据作为景观分类的基础数据。参考研究区特点,将研究区下垫面分为耕地、草地、林地、城市绿地、建设用地和水域 6 种类型(图 1)。各景观类型的面积百分比如表 1。

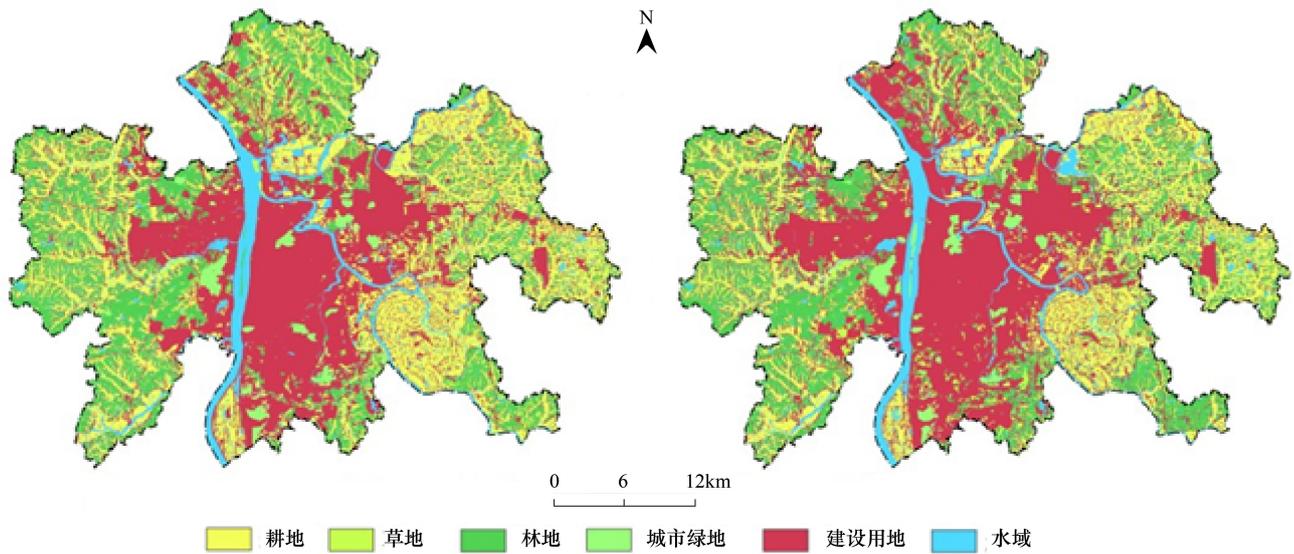


图 1 2004 年、2010 年景观类型分布图

Fig.1 The land use classification in 2004, 2010

表 1 景观类型面积百分比

Table 1 Percentage of landscape area

景观类型 Land use classification	2004 年	2010 年	2004—2010 年
耕地 Cropland/%	28.73	23.97	-4.76
草地 Grassland/%	2.58	2.80	0.22
林地 Forest/%	21.28	22.18	0.90
城市绿地 Urban green space/%	1.59	1.83	0.24
建设用地 Construction land/%	35.52	39.16	3.64
水域 Water/%	10.30	10.06	-0.24
总计 Total/%	100.00	100.00	0.00

2.2 研究方法

2.2.1 景观格局指数

景观格局指数是对景观格局的定量描述。本文在参照相关研究的基础上,结合本研究区域的特点及空间尺度,选取了既对景观结构变化敏感又能较全面反映景观格局特征的指数,用于定量描述研究区在城市化进

程中的热力景观格局变化。景观指数表达式及意义^[12-13]如表 2 所示。

表 2 景观格局指数
Table 2 Landscape metrics

景观指数 Landscape index	计算公式 Formula	生态涵义 Ecological significance
斑块密度 Patch Density	$PD = \frac{n_i}{A}$	反映了景观破碎程度, PD 值越大, 则斑块越小, 破碎化程度越高
最大斑块指数 Largest Patch Index	$LPI = \frac{\max_{j=1}^m(a_{ij})}{A}$	指景观类型中最大斑块面积占总面积的百分数, 是斑块水平上优势度的量度, 反映人类活动的方向和强弱
面积周长分 维度指数 Perimeter-Area Fractal Dimension	$PAFRAC = \frac{2 / [n_i \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\ln P_{ij} \times \ln A_{ij}) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \ln P_{ij} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \ln A_{ij}]}{n_i \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \ln P_{ij}^2 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \ln P_{ij}}$	表示景观类型的复杂程度, PAFRAC 越小, 说明景观形状越趋于正方形, 值越大, 说明景观的形状越卷绕
聚集度 Aggregation Index	$AI = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{g_{ii}}{g_{i \max}} \right) \times P_i \right] \times 100$	表示同类型斑块之间的凝聚程度, 当 AI 越小, 其凝聚程度越低, 反之越高
香农多样性指数 Shannon's Diversity Index	$SHDI = - \sum_{i=1}^n \ln P_i$	反映景观类型多样性大小, SHDI 值越大, 土地利用越丰富、破碎化程度越高, 其不定性的信息含量就越大

式中, $i=1, 2, \dots, n$, 为景观类型序列号; $j=1, 2, \dots, m$, 为斑块序列号; n_i 是指景观类型为 i 的斑块总数; A 为景观总面积; a_{ij} 为某景观类型中的最大斑块面积; P_{ik} 是指景观类型为 i 的第 k 个斑块的周长; A_{ik} 是指景观类型为 i 的第 k 个斑块的面积; g_{ii} 为斑块类型 i 的同类相邻的象元数; $g_{i \max}$ 为斑块类型 i 的同类相邻的最大邻接数; P_i 为某类型 i 的面积占总面积的比例

2.2.2 温度反演

使用 ETM+热红外波段反演地表亮度温度, 对于有 2 个热波段的 ETM+, 采取高增益参数 62 波段, 该波段比较适合常规条件下的地表温度反演^[14-15]。为便于城市景观和地表亮度温度的叠加分析, 使地表亮度温度能在更加细微的尺度上反映研究区热岛格局特征, 对 ETM+ 6 波段重采样至 30 m 分辨率后进行温度反演^[16]。先用公式(1)将 DN 值转化为辐射亮度, 然后利用公式(2)将辐射亮度转化为亮度温度^[9, 17-18], 得到 2004 和 2010 年地表亮度温度分布图(图 2)。

$$L_\lambda = Gain_\lambda \times DN_\lambda - Bias_\lambda \tag{1}$$

$$T = K_2 / \ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right) \tag{2}$$

式中, L_λ 是辐射亮度, $Gain_\lambda$ 是转换函数的斜率, $Bias_\lambda$ 是截距, 可在 ETM+影像自带的元数据中获得 ($Gain_\lambda = 0.0372047$, $Bias_\lambda = 3.162795$)。 T 是亮度温度 (K), K_1 和 K_2 是定标常数, 对于 ETM+ 分别取值为 666.09 和 1282.71。

2.2.3 热力景观等级划分

考虑到两期遥感图像成像时刻的差异, 无法直接对两个图像反演得到的地表亮度温度直接进行对比, 采用极差标准化方法对亮度温度进行标准化处理^[19-20], 标准化处理公式为:

$$N_i = (T_i - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min}) \tag{3}$$

式中, N_i 表示第 i 个像元标准化后的值; T_i 表示第 i 个像元的绝对亮度温度值; T_{\min} 表示地面绝对亮度温度的最小值; T_{\max} 表示地面绝对亮度温度的最大值。

通过以上标准化处理后, 利用表现城市热岛效应分布特征能力较强的均值标准差法^[21-22]来划分等级

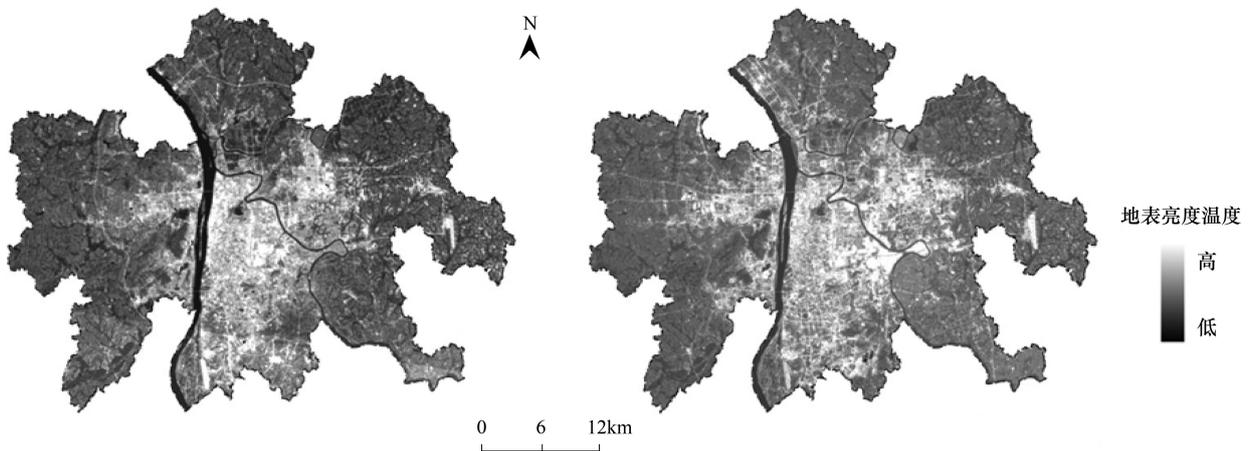


图2 2004年、2010年地表亮度温度分布图

Fig.2 The classification of surface brightness temperature in 2004, 2010

(表3),比较2004年和2010年的亮度温度等级在空间分布上的不同,从而研究长沙中心城区热力景观在这7a中的空间格局变化。热力景观共划分为5级,分别为低温区、次中温区、中温区、次高温区和高温区(图3)。热岛效应在城市建成区是普遍存在的,但真正构成环境问题的是具有较高强度和一定规模的高等级热力景观斑块,即高温区和次温区对热岛效应起主导作用^[23]。

表3 热力景观等级划分阈值表

Table 3 Thresholds used in the segmentation of thermal landscape

热力景观等级 Thermal landscape index	热力景观 Thermal landscape	亮度温度范围公式 Brightness temperature range formula	亮度温度范围 Brightness temperature range	
			2004	2010
1	低温区	$T_b < \mu - \text{std}$	$T_b < 0.2438$	$T_b < 0.2816$
2	次中温区	$\mu - \text{std} < T_b \leq \mu - 0.5\text{std}$	$0.2438 < T_b \leq 0.2920$	$0.2816 < T_b \leq 0.3202$
3	中温区	$\mu - 0.5\text{std} < T_b \leq \mu + 0.5\text{std}$	$0.2920 < T_b \leq 0.3884$	$0.3202 < T_b \leq 0.3976$
4	次高温区	$\mu + 0.5\text{std} < T_b \leq \mu + \text{std}$	$0.3884 < T_b \leq 0.4366$	$0.3976 < T_b \leq 0.4362$
5	高温区	$T_b > \mu + \text{std}$	$T_b > 0.4366$	$T_b > 0.4362$

表中 μ 为标准化后地表亮度温度的平均值;std 为标准化后地表亮度温度的标准差

2.2.4 移动窗口与梯度分析

从研究区中心到边缘每隔 300 m 进行空间取样,在 16 个方向上选取了 988 个样点进行梯度分析(图4),本文所选的中心是城区中心位置,也是地理位置上的中心。移动窗口可以从空间上较明确地展现城市热力景观格局动态变化的空间实现过程,能够更加深入分析城市热环境变化状况以及由此而引起的热力格局演变^[24-26]。移动窗口与梯度分析结合能更好利于城市空间格局动态变化的研究,同时较好地表示热力景观格局变化与城市化程度之间的关系^[27]。

移动窗口大小的选取会直接影响到热力景观指数的平滑效果,不同的移动窗口计算出来的景观指数所表述的景观成分的丰富度和成分也会不同。为了更好地研究热力景观格局梯度上的变化,确定最佳的移动窗口大小,基于研究数据的分辨率,对 300、600、900、1200m 和 1500m 的移动窗口进行了对比分析(图5)。通过曲线的平滑度和丰富度选出最佳的移动窗口的大小。移动窗口为 300、600m 和 900m 的景观格局指数平滑度不够,规律性不强,曲线变化波动较大;移动窗口为 1500m 的景观格局指数曲线丰富度较小,忽略了一些细节变化,不能很好地表示景观格局的变化规律;移动窗口为 1200m 的景观指数曲线平滑度和丰富度效果最好,计算出来的景观指数的变化特征能真实地反映研究区景观空间格局的变化。因此本文在研究景观格局梯度变化规律时选用的移动窗口大小为 1200m。

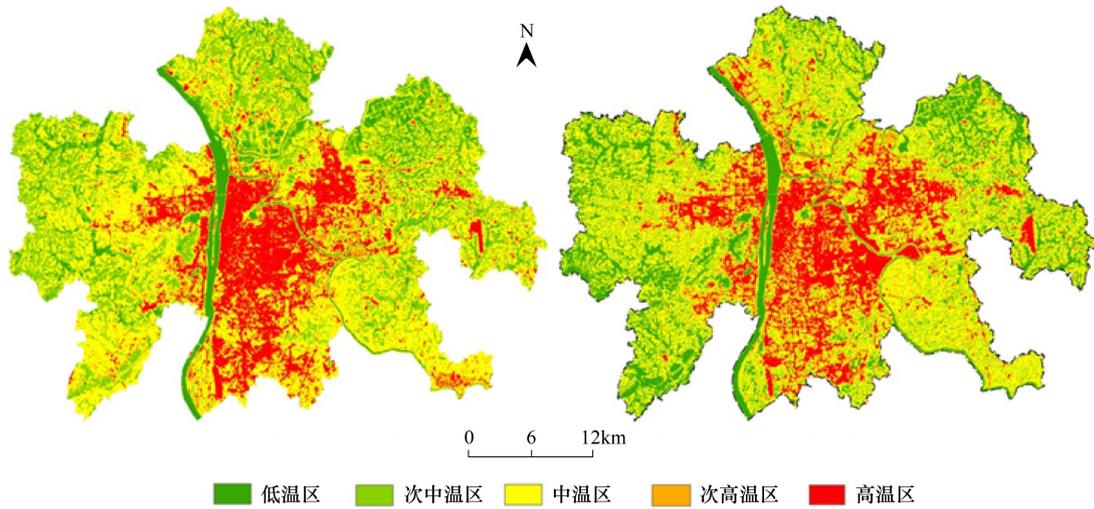


图3 2004年、2010年热力景观等级分布图

Fig.3 Thermal landscape in 2004、2010

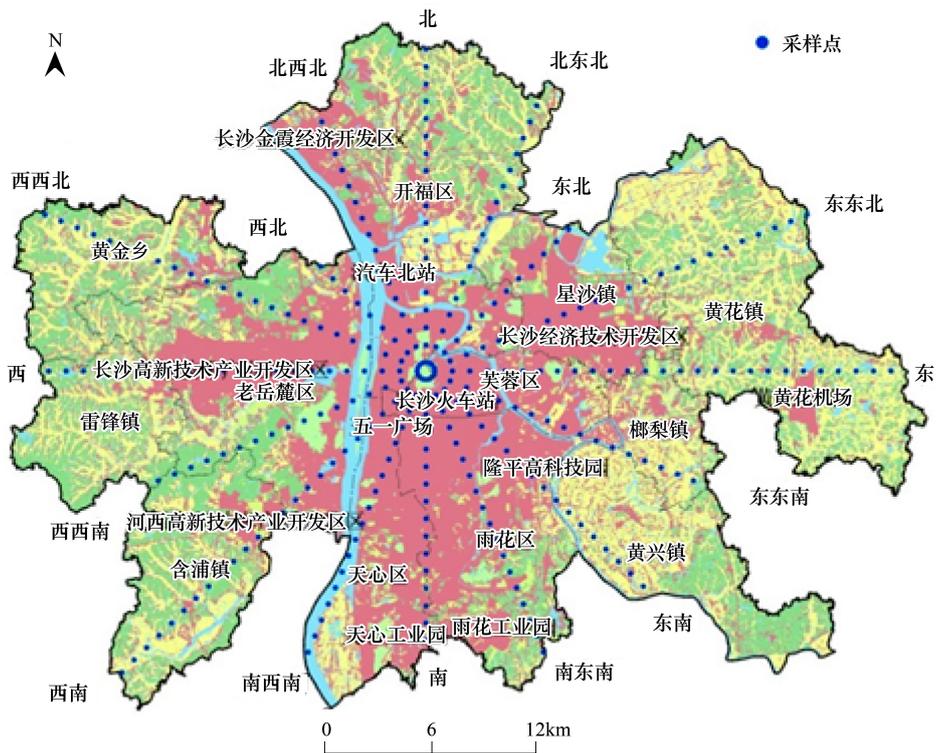


图4 样点分布图(底图为2010年景观类型图)

Fig.4 Distribution of samples(The background is land use in 2010)

3 结果与分析

3.1 热岛区域空间演变分析

近年来长沙城市化进程非常迅速,大量的耕地等自然地表被房屋、道路等人工建筑取代,建成区面积大幅度增加,下垫面性质发生了显著改变。这种变化改变了地表热特征,许多区域热岛效应发生明显变化(对热岛效应起主导作用是高温区和次高温区)。从2004—2010年长沙中心城区热岛区域分布变化(图6)可以看

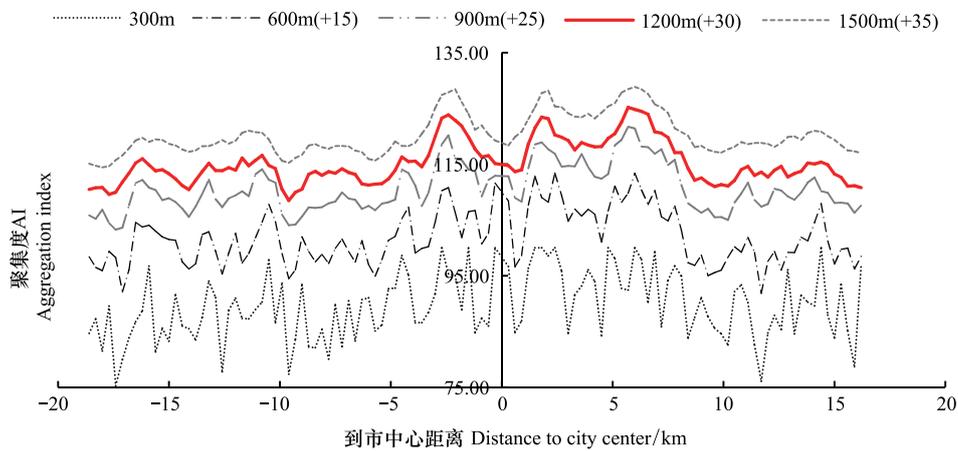


图 5 不同移动窗口下的聚集度指数

Fig.5 Value of AI in different moving windows

出,热岛区域扩大并且更加分散,热岛区域面积约由 2004 年的 301.61km²增大至 2010 年的 316.62km²,热岛区域面积增加了 15.01km²。热岛区域随着公路交通网成线状扩展,在新建开发区呈面状扩展且热中心均位于工业区以及密集的居民点。新增的热岛区域主要集中于开福区的金霞经济开发区、岳麓区的高新技术产业开发区以及星沙的经济技术开发区,这在一定程度上表明新兴工业园区对热力分布的贡献较大。

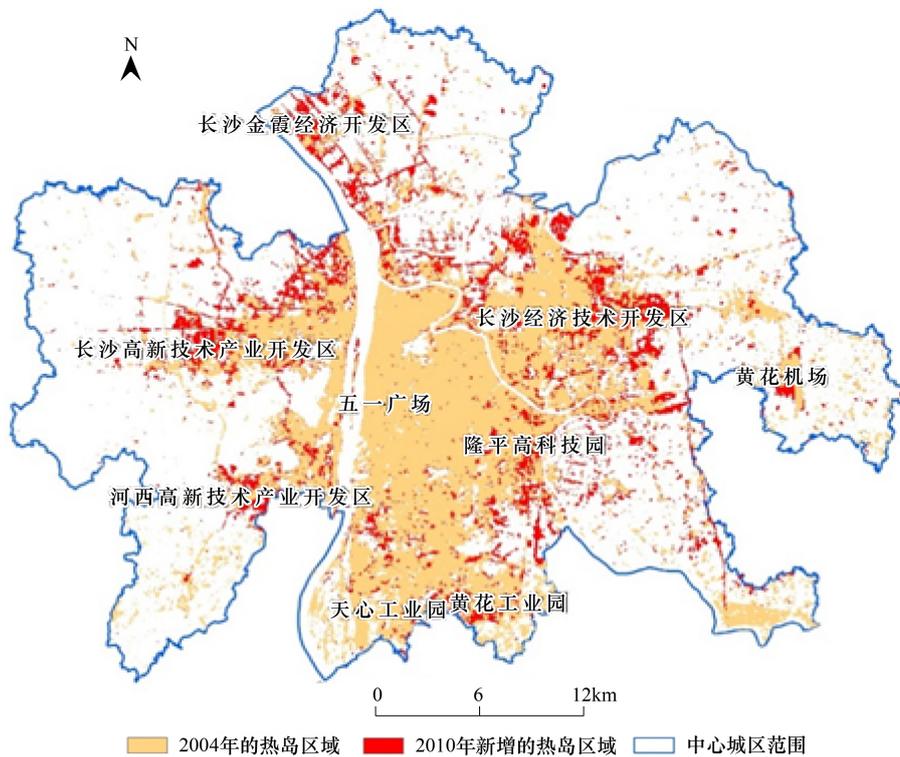


图 6 热岛区域分布变化

Fig.6 Changes in the distribution of heat island

2004 年和 2010 年建设用地在高温区的比例达到 70.12% 和 72.66%, 占据绝对的主导地位。这显示了城镇建设对城市热量的巨大贡献,也充分反映了城市热量分布对建设用地扩张的响应。这一变化趋势与 7a 来长沙城市扩展中地表景观的变化相对应,城市化过程中建筑景观数量的增加,建设密度的加大,水体、绿地面积的缩小,使得城市热岛效应作用范围扩大,总体作用强度提高。

3.2 基于移动窗口的热力景观格局梯度分析

通过移动窗口在景观水平上对热力景观进行了 16 个方向上的梯度分析,得到热力景观的斑块密度、香农多样性指数和面积周长分维度指数的梯度变化情况,如图 7 所示。从时间上来看,2004—2010 年中心城区热力景观斑块密度、香农多样性指数和面积周长分维度状指数均增大,研究区内各个方向上热力景观破碎程度呈递增的趋势,热力景观类型趋于多元化、结构也趋于复杂化。2004 年以后长沙中心城区景观类型破碎化,地表热力性质复杂化,加大了对热力景观格局的破坏作用,使热力景观的异质性增加。

3.2.1 景观指数变化趋势梯度分析

长沙市中心城区热力景观格局在空间上有明显的梯度变化。由 16 个方向上景观指数的梯度变化可以看出,在从中心位置到偏北(北西北、北、北东北)、偏东(东北、东、东东南)和偏南(东南、南东南、南、南西南)方向上热力景观斑块密度、香农多样性指数和面积周长分维度状指数呈现递增的趋势,并伴有不同幅度的波动,热力景观由市区向周边郊区呈现破碎化、多样性递增、形状复杂化,这些方向上温度差异大,热力景观分布复杂。不同景观类型对城市热环境的贡献不同,在这些方向上地表景观类型分布比较复杂,在市区主要以建设用地为主,温度较高,热力景观较单一,而在郊区农村居民点、耕地、林地和草地交错分布,热力景观的异质性增加。而从中心位置到偏西(西南、西西北)方向上热力景观指数呈递减的趋势,热力景观分布相对整齐、形状较规则。偏西方向上近市区的部分水体(湘江)与陆面热力特性差异大,导致较为单一的地表热力格局被打破,热力景观破碎化,形状不规则,斑块密度、香农多样性指数和面积周长分维度状指数很高。在郊区以林地和耕地为主,且集中连片,地表景观类型分布比较规整,地物热力特性也较接近,在热力景观格局上表现为斑块密度、香农多样性指数和面积周长分维度状指数值较低。

3.2.2 不同方向上景观指数变异情况分析

3 个景观指数在距中心位置 3 km 左右都出现了最低值,主要是这些地方是老城区,建设用地较为密集,车流和人流较大,附近地表温度均较高,优势景观是高温区,相邻地类的热力性质差异小,热力景观形状规则,因此热力景观的斑块密度、香农多样性指数和面积周长分维度状指数偏小;在正东方向距中心位置 15—20 km、西西北方向 8—10 km 和北西北方向 10—15 km 的位置,2010 年斑块密度比 2004 年大幅度增加,最大达到 30 左右,表明这些方向上热力景观变化较大,呈破碎化趋势。正东、西西北和北西北方向主要是星沙经济技术开发区、河西高新技术产业开发区和金霞经济开发区区域,是长沙市城市扩展的主要方向,近年来这些区域城市化进程加速,周边环境的许多耕地被建设用地占用,建设用地导致这些区域热量增加,热力性质差异增大,使热力景观破碎化;香农多样性指数在中心位置出现高于 1.5 的峰值,主要是中心位置位于年嘉湖附近,是长沙市重要旅游景点,建设用地、城市绿地和水域交错分布,地表温度变化大,热力景观多样化;2004—2010 年面积周长分维度状指数差异不大,变化基本保持在 0.1 以内。在距中心位置 2 km 附近出现低于 1.1 谷值,这些采样点主要落在湘江、捞刀河和浏阳河等水域上,水面温度分布较均匀,热力景观形状规则,面积周长分维度状指数小。

不同景观类型的组成与布局,对城市热环境产生不同的贡献,热力特性的差异致使地表温度的变化,热力景观的特征也随之产生变化。规则整齐的热力景观下一般覆盖着较均一的景观类型,而复杂交错的景观类型,由于热力性质的差异会导致热力景观破碎化、复杂化。可以看出,热力景观格局指数的变化较好地反映景观类型的变化,城市景观类型与地表温度空间分异存在密切关系。

3.3 景观类型空间格局特征与热环境变化关系分析

长沙市中心城区景观类型以耕地、林地和建设用地为主,占整个研究区面积的 80%以上。为了研究景观类型的空间分布特征与地表温度的关系,提取不同热力景观下的耕地、林地和建设用地景观格局指数进行对比,分析景观类型空间分布与地表热环境之间的关系^[2]。图 8 展现了耕地、林地和建设用地的景观格局指数在不同热力景观中的空间格局变化。

3.3.1 不同景观类型同一格局指数变化

2004 年和 2010 年耕地、林地和建设用地斑块密度和面积周长分维度指数在 5 个热力景观中的变化趋势

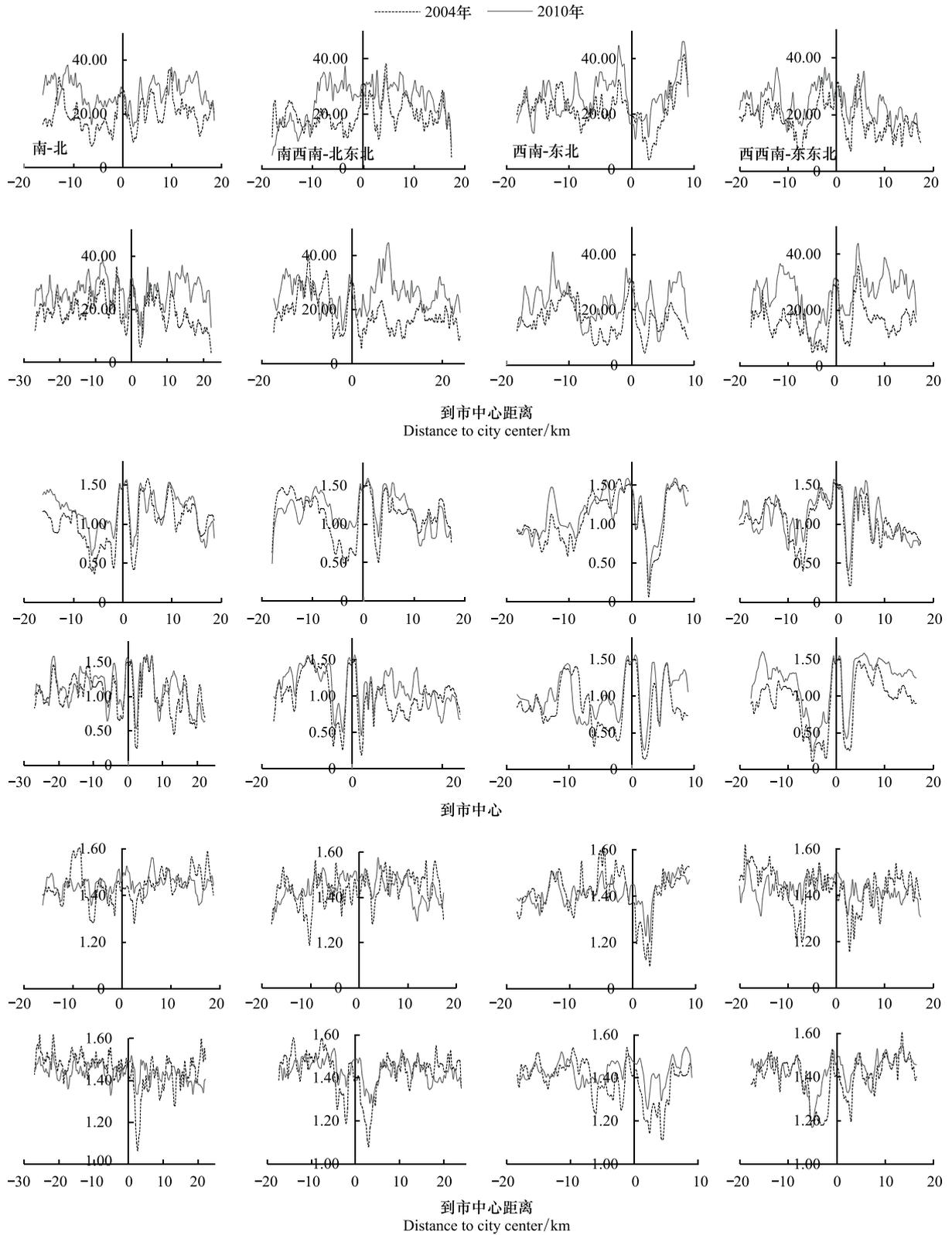


图 7 16 个方向上斑块密度、香农多样性指数、面积周长分维度指数的梯度变化

Fig.7 Gradient changes of PD,SHDI,PAFRAC in 16 directions

PD 斑块密度 Patch Density; SHDI 香农多样性指数 Shannon's Diversity Index;PAFRAC 面积周长分维度指数 Perimeter-Area Fractal Dimension

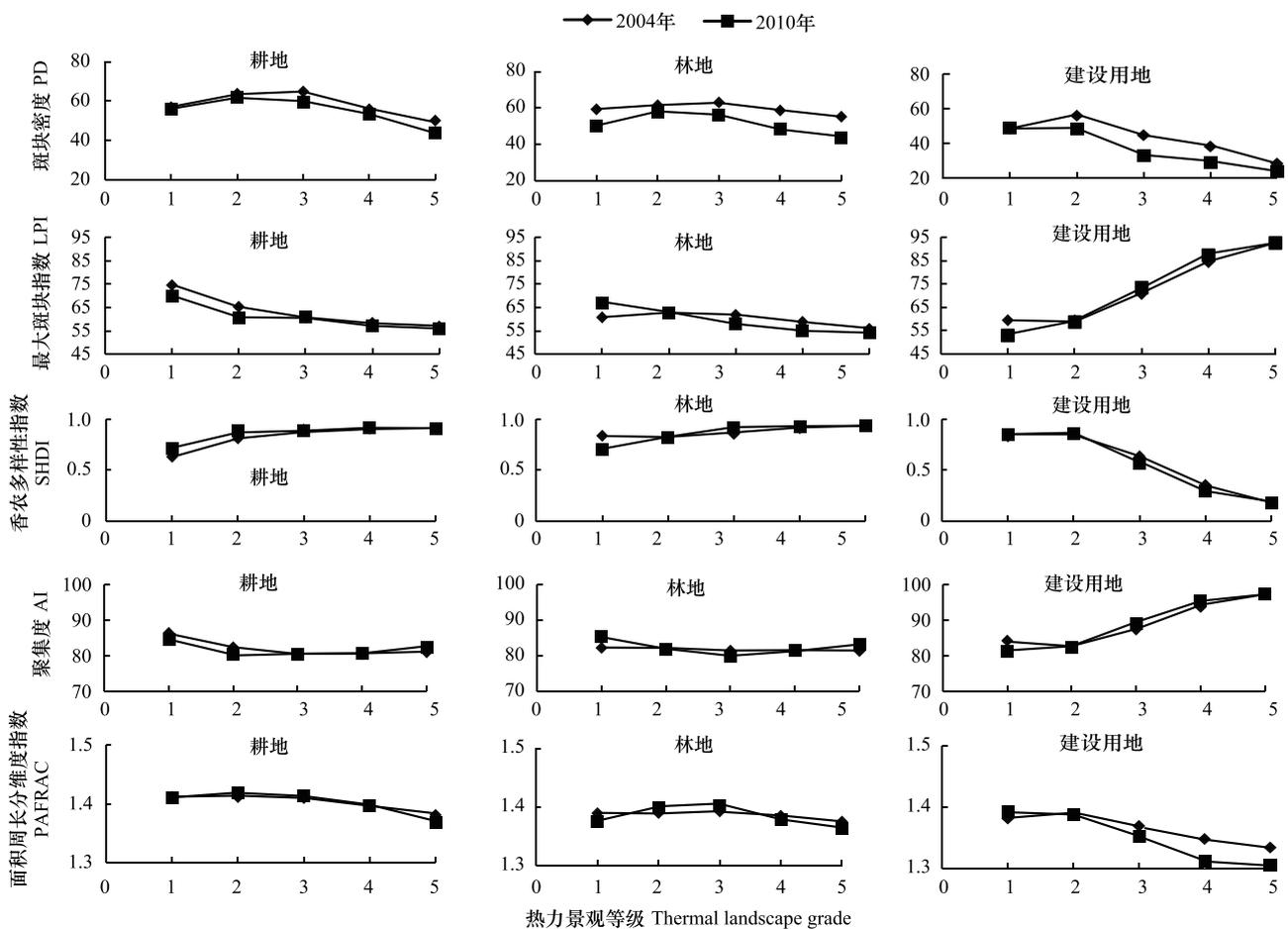


图8 在不同热力景观等级下景观类型的景观格局指数变化

Fig.8 Changes of landscape metrics of land use under different thermal landscape grade

一致。随着地表温度的升高斑块密度先变大,在中温区(次中温区)达到最大值,然后不断减小,在高温区达到最小。聚集度的变化趋势与斑块密度恰好相反。斑块密度和面积周长分维度指数在中温区(次中温区)达到最大值、聚集度达到最小值,表现了中温区和次中温区景观类型的复杂性、异质性和离散性,在这两个热力景观等级区域中多个城市景观类型纵横交错,景观形状破碎、分布复杂。耕地和林地的最大斑块指数随着温度的升高不断减小,建设用地与之相反。耕地和林地的优势度越大地表温度越低,建设用地斑块越大地表温度越高。3个景观类型的香农多样性指数变化趋势与它们的最大斑块指数相反,耕地和林地占景观类型的比例越少,建设用地比例越多,对应地表温度越高。耕地、林地和研究区内的空间分布越集中,则地表降温效果越显著。

3.3.2 景观类型空间格局与热环境变化

图8中耕地、林地在低温区最大斑块指数和聚集度达到最大值、香农多样性指数为最小值,在低温区中耕地和林地景观面积较大、凝聚程度高,则降温作用显著。而在高温区最大斑块指数达到最小值、香农多样性指数达到最大值,说明耕地、林地不同热力景观下景观优势度越低和占景观类型的面积比例越少,降温效应会出现退降,地表温度越高。

建设用地斑块密度、香农多样性指数和面积周长分维度指数的曲线变化趋势相似,都是从低温区到次中温区增大到最大值,然后不断减小,在高温区达到最小。而最大斑块指数和聚集度变化趋势恰好与之相反,是先减小再增大到最大值。说明在次中温区建设用地斑块破碎化、形状复杂化并呈离散分布,在高温区建设用地凝聚力最强,斑块间的连通性最好,形状规则。长沙中心城区统一规划,建设用地主要集中在市中心,在远

郊区零星分布着一些农村居民点,而次中温区主要分布在郊区,高温区主要集中于市中心,说明地表温度与建设用地的分布密切相关。在不同热力景观等级下建设用地景观指数的分布规律表明建设用地优势度越明显、凝聚程度越高、景观形状越趋于正方形,地表温度越高,热岛效应愈显著。

4 结论与讨论

本文将长沙市作为热力景观变化研究的典型区域,以 2004 年和 2010 年相同月份 Landsat7 ETM+遥感影像数据和土地利用现状数据为数据源,在地表亮度温度反演的基础上,运用景观指数并结合 GIS 空间分析理论与技术,应用移动窗口和梯度分析方法对 2004 年和 2010 年长沙市中心城区热力景观空间格局的动态变化进行了研究,并分析了城市景观类型组成和格局差异与地表温度空间分异之间的关系,得到如下结论:

(1)热岛区域扩大并且更加分散,热岛区域面积约由 2004 年的 301.61km²增大至 2010 年的 316.62km²,热岛区域面积增加了 15.01km²。新增的热岛区域主要集中于开福区的金霞经济开发区、岳麓区的高新技术产业开发区以及星沙的经济技术开发区,表明新兴工业园区对热力分布的贡献较大。

(2)长沙中心城区热力景观格局在景观水平上具有明显的空间分异特征,在从中心位置到偏北、偏东和偏南方向上,热力景观从市区向周边郊区呈现破碎化、多样化、形状复杂化,而从中心位置到偏西方向上与之相反。规则整齐的热力景观下一般覆盖着较均一的景观类型,而复杂交错的景观类型,由于热力性质的差异会导致热力景观破碎化、复杂化,热力景观格局指数的变化较好地反映景观类型的变化。

(3)地表景观类型的组成与布局的不同,对城市热环境产生的贡献不同,导致地表温度的变化,热力景观的特征也随之产生变化。耕地、林地在研究区内的景观优势度越高、空间分布越集中,降温效果越显著;反之,建设用地优势度越明显、凝聚程度越高、景观形状越规则,地表温度越高,热岛效应显著。表明景观类型空间格局演变对热环境变化具有重要的影响作用。

利用景观指数分析城市热力景观格局变化特征是近年来的研究热点。本文对不同热力景观下景观类型的空间格局特征进行分析,研究结论可为城市规划、城市生态环境改善提供参考。本研究已经初步得出一些相关的结论,未来将继续深入研究热力景观特别是热岛景观随城市化演变的趋势,为热岛效应减缓措施提供理论依据,从而为改善城市生态环境、促进城市可持续发展和建设宜居城市提供决策支持。

参考文献 (References):

- [1] Weng Q H, Liu H, Lu D S. Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in city of Indianapolis, United States. *Urban Ecosystems*, 2007, 10: 203-219.
- [2] Zhang YS, Odeh I O A, E Ramadan E. Assessment of land surface temperature in relation to landscape metrics and fractional vegetation cover in an urban/-peri-urban region using Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 2013, 34(1): 168-189.
- [3] 孟丹, 李小娟, 宫辉力, 赵文吉. 北京地区热力景观格局及典型城市景观的热环境效应. *生态学报*, 2010, 30(13): 3491-3500.
- [4] Liu, H, Weng Q H. Seasonal variations in the relationship between landscape pattern and land surface temperature in Indianapolis, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, 144(1/3): 199-219.
- [5] Weng Q H. *Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications*. McGraw-Hill Professional Press, 2009: 215-218.
- [6] 陈云浩, 李晓兵, 史培军, 何春阳. 上海城市热环境的空间格局分析. *地理科学*, 2002, 22(3): 317-323.
- [7] 贡璐, 吕光辉. 基于景观的干旱区城市热岛效应变化研究——以乌鲁木齐市为例. *中国沙漠*, 2009, 29(5): 982-988.
- [8] 黄聚聪, 赵小锋, 唐立娜, 邱全毅. 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. *生态学报*, 2012, 32(2): 622-631.
- [9] 王敏, 孟浩, 白杨, 苏敬华, 沙晨燕, 张敏. 上海市土地利用空间格局与地表温度关系研究. *生态环境学报*, 2013, 22(2): 343-350.
- [10] 陈爱莲, 孙然好, 陈利顶. 基于景观格局的城市热岛研究进展. *生态学报*, 2012, 32(14): 4553-4565.
- [11] 陈爱莲, 孙然好, 陈利顶. 传统景观格局指数在城市热岛效应评价中的适用性. *应用生态学报*, 2012, 23(8): 2077-2086.
- [12] 邬建国. *景观生态学——格局、过程、尺度与等级(第二版)*. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [13] Wu J G. *Landscape Ecology—Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007: 112-115.
- [14] Xian G, Crane M. An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data.

Remote Sensing of Environment, 2006, 104:147-156.

- [15] 刘春国, 卢晓峰, 高松峰. Landsat-7 ETM+ 热红外波段高低增益状态数据反演亮度温度比较研究. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2011, 30(5): 561-566.
- [16] 郭冠华, 陈颖彪, 魏建兵, 吴志峰, 容晓臻. 粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响. 生态学报, 2012, 32(12): 3764-3772.
- [17] 周亮. 北京城市化过程中的景观格局演变及热岛效应研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [18] 祝善友, 张桂欣, 刘莹. 苏州下垫面格局演变及其局地热环境效应. 地理科学, 2012, 32(7): 859-866.
- [19] 苏雅丽, 张艳芳. 基于 Landsat TM/ETM+ 的西安市城市热岛效应时空演变. 水土保持通报, 2011, 31(5): 230-234.
- [20] 孟丹, 王明玉, 李小娟, 宫辉力. 京沪穗三地近十年夜间热力景观格局演变对比研究. 生态学报, 2013, 33(5): 1545-1558.
- [21] 陈松林, 王天星. 等间距法和均值标准差法界定城市热岛的对比研究. 地球信息科学学报, 2009, 11(2): 145-150.
- [22] 王天星, 陈松林, 阎广建. 地表参数反演及城市热岛时空演变分析. 地理科学, 2009, 29(5): 697-702.
- [23] 黄聚聪, 赵小锋, 唐立娜, 邱全毅. 城市热力景观格局季节变化特征分析及其应用. 生态环境学报, 2011, 20(2): 304-310.
- [24] 周红妹, 周成虎, 葛伟强, 丁金才. 基于遥感和 GIS 的城市热场分布规律研究. 地理学报, 2001, 56(2): 189-197.
- [25] Kong FH, Nobukazu N, Yin H W, Akira K. Spatial gradient analysis of urban green spaces combined with landscape metrics in Jinan City of China. Chinese Geographical Science, 2005, 15(3): 254-261.
- [26] Kong FH, Nobukazu N. Spatial-temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China. Landscape and Urban Planning, 2006, 78(3): 147-164.
- [27] 何丽丽. 长株潭城市群核心区景观空间演变过程定量分析 [D]. 长沙: 中南大学, 2012.