

# 城市地表热环境与景观格局的关系 ——以深圳市为例

邹婧 曾辉<sup>†</sup>

北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院, 深圳 518055; <sup>†</sup> 通信作者, E-mail: zengh@pkusz.edu.cn

**摘要** 利用深圳市 2009 年 10 月的 TM 影像和土地利用数据, 通过地表温度反演、温度差异分区和叠图分析方法, 研究土地利用类型和结构与地表热环境分异特征之间的关系, 同时使用不同温度分区样地调查与景观格局分析方法, 探讨城市景观格局与地表热环境之间的关系。结果表明: 1) 不同温度分区的土地利用结构差异显著, 景观格局特征分异明显, 中温区景观的破碎化程度最高、形状最复杂, 冷岛区景观的异质性最低、形状简单聚集程度高; 2) 不同温度分区的景观格局特征与温度的相关关系也截然不同, 热岛区的景观整体格局指数与地表温度呈负相关, 在冷岛区为正相关关系; 3) 绿地、水域等土地利用类型的面积百分比及格局指数在冷、热岛区域与地表温度的相关关系差异显著, 并且对地表的降温效应显示明显的阈值特征。研究城市景观格局与地表温度的关系, 有助于深入理解土地利用格局对城市地表热环境的影响, 可以为城市景观格局优化、缓解热岛效应提供基础研究支持。

**关键词** 地表温度; 土地利用; 景观格局; 深圳市  
**中图分类号** K903

## Relationships between Urban Landscape Pattern and Land Surface Temperature: A Case Study of Shenzhen

ZOU Jing, ZENG Hui<sup>†</sup>

School of Urban Planning and Design, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055;

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: zengh@pkusz.edu.cn

**Abstract** Using the Landsat TM imagery and land use data of Shenzhen in Oct. 2009, this paper studied the relationship between land use structure and spatial differentiation of thermal environment, by land surface temperature (LST) retrieval, temperature zoning and overlay mapping. Besides, investigation of plots in three temperature partitions and analysis of landscape metrics were also used to study the relationship between landscape characteristics and LST. The results showed that, 1) there were significant variation in both land use structure and spatial pattern of different temperature partition. The landscape of mid-temperature partition was highly fragmented and patch shape was most complex. In cooling-island partition, heterogeneity of landscape was low and patch shape were relatively simple with an aggregated structure. 2) relationships between spatial pattern and LST also differed among the three partitions. The landscape-level configuration metrics were all significantly negatively correlated to LST in heat-island partition, however, they displayed a positive relationship in cool-island partition. 3) In greenspace and water area, several patch-level landscape metrics displayed an inconsistent relationship among three partitions, suggested there existed a threshold character in cooling effect of ecological land uses. Research on relationship between urban landscape pattern and LST can help us understand the influence of the land use pattern on surface thermal environment, and it also provide support for studies about optimization of landscape pattern to ease heat island effect.

**Key words** land surface temperature; land use; landscape pattern; Shenzhen city

深圳市科技创新委员会项目(ZDSY20120614145024623)资助

收稿日期: 2015-11-20; 修回日期: 2015-12-18; 网络出版日期: 2017-05-12

热岛效应指城市中的气温明显高于外围郊区的现象<sup>[1-3]</sup>。随着城市化进程加剧,热岛效应已成为严重影响居民健康和生活生产活动的气候问题,自19世纪英国气象学家 Howard 提出以来,国内外学者已针对这一问题进行了广泛研究。目前的普遍共识是,快速城市化地区的植被、农田等自然地表被建筑物和不透水地表取代,是造成热岛的重要原因<sup>[4-7]</sup>。已有大量研究证明了土地利用组成及其空间格局对温度的影响<sup>[8-11]</sup>,但多数研究集中在一种或少数几种土地利用/覆盖类型<sup>[12-17]</sup>,全面综合性的定量分析积累还显得不足。此外,土地利用格局对地表温度的影响受到城市自然地理条件和整体规划布局的限制,不同地区研究结果之间的吻合程度不高。例如,有研究表明上海市绿地景观的斑块密度与温度负相关,但在北京市则完全相反,为显著正相关关系<sup>[13,18]</sup>。

深圳市是中国城市化进程最迅速的地区之一,过去30年来迅速完成从传统农业地区向城市地区的转变,景观格局变化导致的生态环境问题日益严重。本文选择深圳市为研究对象,通过地表温度反演、温度差异分区和叠图分析方法,研究土地利用类型和结构与地表热环境分异特征之间的关系,同时使用不同温度分区样地调查与景观格局分析方法,探讨城市景观格局对地表热环境的影响,旨在总结城市景观格局特征与地表热环境之间相互关系的一般规律,为城市热环境管理提供科学支持。

## 1 研究区概况

深圳市位于广东省中南部海滨,陆域总面积为2020 km<sup>2</sup>,呈狭长形。区域内地形复杂,地势东南高、西北低,地貌类型多样,丘陵面积最大,平原次之。研究区属亚热带海洋性季风气候,终年温和暖湿、雨量充沛。日照时间长,平均年日照时数为2120.5小时。气候四季变化不分明,夏长冬短。自设立经济特区以来,深圳经济高速发展,市域范围已扩张至龙华、龙岗、大鹏等共10个区域,大量自然和农业用地转化为城市建设用地,土地利用变化剧烈,城市热岛效应显著。

## 2 研究材料与方法

### 2.1 数据来源

本研究选取2009年10月无云的Landsat 5 TM遥感影像作为热环境分析的基础数据。TM影像的

热红外波段空间分辨率为120 m,重采样至30 m。土地利用数据来自深圳市国土局的土地利用详查与土地利用变更调查。在对原始影像进行辐射校正、行政裁裁剪等预处理后,赋予统一的地理坐标。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 温度反演

##### 1) 地表亮温反演。

通过辐射定标公式将TM数据热红外波段的DN值转换为辐射亮度 $L_\lambda$ ,定标系数由数据元文件可得。将所得热辐射亮度 $L_\lambda$ 通过下式转化为像元亮度温度:

$$T_6 = \frac{K_2}{\ln\left(1 + \frac{K_1}{L_\lambda}\right)},$$

其中, $T_6$ 为亮度温度(K), $K_1$ 和 $K_2$ 为常量( $K_1=607.76$  W/(m<sup>2</sup>·sr·μm), $K_2=1260.56$  K)。

##### 2) 地表温度反演。

地表温度采用Artis算法进行反演:

$$T = \frac{T_6}{1 + (\lambda T_6 / A) \ln \varepsilon},$$

$T$ 为地表温度(K); $\lambda$ 为热红外波段的中心波长,取11.457 μm; $A$ 为Planck常数与光速之积,再除以Boltzmann常数( $A=hc/\rho=1.438\times10^{-2}$  m·K); $\varepsilon$ 为基于NDVI值得到的地表比辐射率。

由于城市下垫面复杂,地表比辐射率的计算极为关键。根据前人经验,当NDVI值在0.157~0.727之间时,采用Van de Griend等<sup>[19]</sup>基于自然地表实测总结的经验公式计算。对于NDVI小于0.157的像元,将其比辐射率定为0.923<sup>[20]</sup>。根据Musuda等<sup>[21]</sup>的研究,将水面比辐射率定为0.9925。

#### 2.2.2 地表温度分区与样点采集

采用密度分割法<sup>[22-23]</sup>将城市地表温度分成热岛区、中温区、冷岛区。具体分级标准如表1所示。其中,LST表示温度区的取值范围, $\overline{LST}$ 为地

表1 地表温度划分标准  
Table 1 Grades of the land surface temperature

温度范围	温度等级	面积比例/%
$LST < \overline{LST} - SD$	冷岛区	15.43
$\overline{LST} + SD \leq LST \leq \overline{LST} + SD$	中温区	66.73
$LST > \overline{LST} + SD$	热岛区	17.84

表平均温度。SD 为地表温度的标准差。

在热岛区、中温区、冷岛区内分别随机选择 30 个点,以每个点为中心做 900 m × 900 m 的矩形缓冲区,保证每个缓冲区都包括在相应的温度分区内。选择 900 m 为边长(因为它是温度像元和土地利用像元的整数倍,同时样方的面积大小也是深圳城市规划法定图则的尺度),以保证研究结论适宜应用在实际的规划实践中。

### 2.2.3 土地利用重分类

根据土地利用类型的使用功能及其地表理化性质,将原土地调查数据重新分为绿地、工矿仓储用地、居住用地、公共设施用地、交通运输用地、水域及水利设施用地和其他用地七大类(表 2)。

### 2.2.4 景观格局分析

景观格局包含土地利用结构组成和空间配置。景观格局指数通过分形几何法将景观格局定量化,使用 FRAGSTATS 软件即可获得高度浓缩的格局信息。基于数量特征、形状特征和结构特征 3 个方面,本研究选择景观和斑块类型水平的 6 个指数进行土地利用格局的计算:景观百分比(PLAND)、斑块密度(PD)、边界密度(ED)、景观形状指数(LSI)、分维数(FRAC\_AM)、香农多样性(SHDI)。景观格局指数的含义见表 3。

### 2.2.5 统计分析

利用 SPSS 软件的 Pearson 相关性分析模块,分析温度分区内样方的景观格局指数与地表温度的相关关系。样方地表温度由内部包含的温度像元的平均值表示,景观格局指数则通过 Fragstats 4.1 软件计算所得。为方便比较,将计算得到的景观格局指数进行量纲归一化。

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用结构与地表热环境特征

对比土地利用分布图(图 1)和温度分区图(图 2)发现,深圳市的高温斑块主要集中在城市的港口码头和工业园区,其中赤湾码头、妈湾码头、蛇口码头<sup>[23]</sup>以及盐田港、前海填海区 and 宝安国际机场地区的高温斑块聚集度高,是集中的热岛区域。同时,特区外的工业园区,如沙井、松岗、公明、平湖等,高温斑块自热中心呈面状扩张,孔隙度较高,形成中心聚集、周边破碎的热岛格局。低温斑块主要分布在城市的生态用地区域,羊台山、塘朗山、梧桐山、七娘山以及深圳水库、西丽水库、南山西部海滨、红树林湿地等生态斑块的核心区域,构成城市的冷岛。中温斑块分布较广,如居住区、公共服务设施用地、人工绿地和羊台山、梧桐山等生态斑块

表 2 土地利用类型划分标准  
Table 2 Reclassification of land uses

土地利用类型	土地调查数据一级分类	包含内容
绿地	耕地	水田、水浇地、旱地
	园地	果园、茶园、其他园地
	林地	有林地、灌木林地、其他林地
	草地	天然牧草地、人工牧草地、其他草地
	公共管理与公共服务用地	公园与绿地、风景名胜设施用地
工矿仓储用地	工矿仓储用地	工业用地、采矿用地、仓储用地
居住用地	住宅用地	城镇住宅用地、农村宅基地
公共设施用地	公共管理与公共服务用地	机关团体用地、新闻出版用地、科教用地、医卫慈善用地、文体娱乐用地、公共设施用地
	商服用地	批发零售用地、住宿餐饮用地、商务金融用地、其他商服用地
交通运输用地	交通运输用地	铁路用地、公路用地、街巷用地、农村道路、机场用地、港口码头用地、管道运输用地
水域及水利设施用地	水域及水利设施用地	河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、沿海滩涂、内陆滩涂、沟渠、水工建筑用地、冰川及永久积雪
其他用地	特殊用地	军事设施用地、使领馆用地、监教场所用地、宗教场地、殡葬用地
	其他土地	空闲地、设施农用地、田坎、盐碱地、沼泽地、沙地、裸地

表 3 景观格局指数  
Table 3 List of landscape metrics used in this study

景观格局指数	计算公式	生态含义	水平
PLAND 景观百分比	$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$	斑块所占景观面积比例	斑块类型
PD 斑块密度	$PD = \frac{N}{A} (10000) (100)$	斑块总数与景观面积的比例	斑块类型, 景观
ED 边界密度	$ED = \frac{E}{A} (10000)$	所有斑块边界的长度之和与景观面积的比例	斑块类型, 景观
LSI 景观形状指数	$LSI = \frac{E}{\min E}$	斑块边界之和除以最小斑块边界长度	斑块类型, 景观
FRAC_AM 分维数	$FRAC\_AM = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{2 \ln(0.25 P_{ij})}{\ln(a_{ij})} \left( \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$	基于欧式几何的面积加权平均斑块分维数	斑块类型, 景观
SHDI 香农多样性	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$	描述斑块类型多样性的指数	景观

的外围区。以上研究结果表明,大面积的不透水地表(如港口码头和工矿仓储用地)容易形成聚集的热岛。由于工业用地与居住区镶嵌分布,因此工业园区热岛格局相对破碎。特区内尽管建设用地占比大,但以居住区和公共设施为主,所以未形成明显热岛。

统计各类土地利用类型的温度特征,结果如图 3 所示。地表平均温度最低的是水域(23.31℃),其次为绿地(23.67℃)。温度最高的是工矿仓储用地,均温达到 27.97℃,紧跟其后是交通运输用地(27.29℃)。居住和公共设施用地虽然也为建设用地,但温度未及工矿仓储和交通用地,这是由于居住和公共设施用地内部的植被较之丰富,能在一定程度上发挥降温作用,同时,工矿仓储和交通用地内有大量的人为热量释放,也进一步加剧温度升高<sup>[24]</sup>。比较各土地利用类型的标准差发现,水域最大,为 2.32℃。居住用地最小,为 1.11℃。表明水域的温度像元温差较大,离散程度较高,易受周边环境的影响。这与周雅星等<sup>[25]</sup>关于土地利用的温度变异情况的研究结果一致。

统计冷岛区、中温区、热岛区的土地利用构成,结果如图 4 所示。冷岛区绿地占 73.26%,水域占 23.98%,两者共占冷岛区面积的 97.24%。中温区绿地减少至 49.2%,水域减至 6.4%,居住用地、

公共设施用地、交通用地和工矿仓储用地各占 11.3%, 5.3%, 10.3%和 9.4%。热岛区绿地和水域分别只占 3.2%和 2.4%,土地利用以工矿仓储用地和交通用地为主,分别占 45.8%和 21.5%,居住用地占 10.8%,公共设施用地占 8.5%,其他用地占 7.5%,与中温区情况基本上一致。

以上结果表明,生态用地的减少和建设用地的增加是造成城市温度上升的原因。其中绿地、水域、工矿仓储用地和交通用地这四类土地利用类型在各温度分区的差异最大,对深圳市的热环境格局有重要影响。

3.2 温度分区的景观格局特征

为研究 3 个温度分区的景观格局特征,将各温度分区内样本的景观格局指数归一化处理后进行对比分析,结果如图 5 所示。除分维数(FRAC\_AM)在各个温度区间的变化不大外,其余景观指数都呈现出一定的差异。绿地和水域的斑块密度(PD)、边界密度(ED)以及景观形状指数(LSI)在温度分区的变化差异表现出一致性,斑块密度指数(PD)为中温区>热岛区>冷岛区,边界密度指数(ED)为中温区>冷岛区>热岛区,景观形状指数(LSI)为中温区>热岛区>冷岛区。说明绿地和水域这两类生态用地在冷岛区的景观百分比(即面积)最大,以聚集度高、形状规整的大斑块为主。中温区的生态斑块形状最

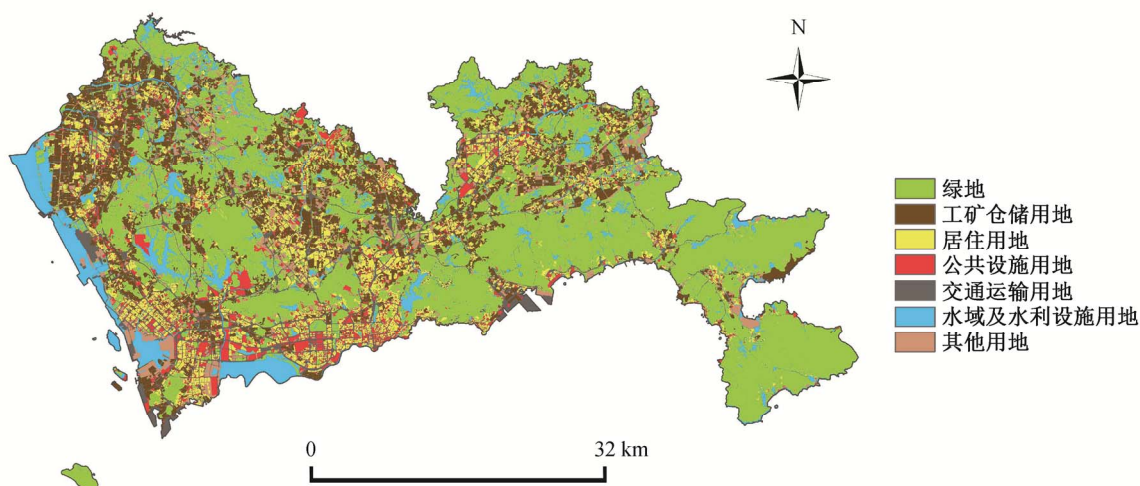


图 1 深圳市土地利用分布  
Fig. 1 Spatial distribution of land uses in Shenzhen

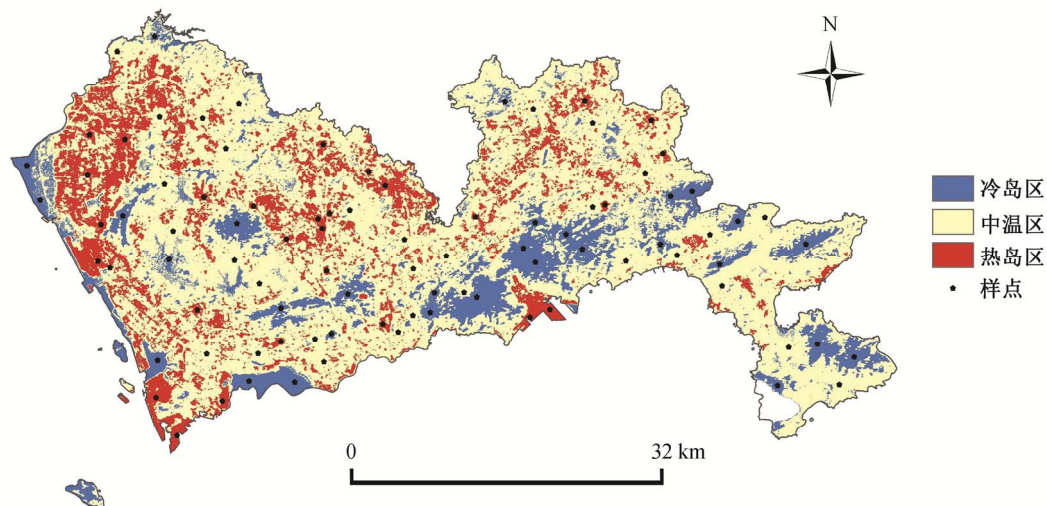


图 2 深圳市地表温度分区及样点分布  
Fig. 2 Spatial distribution of temperature partitions and sampled points in Shenzhen city

复杂, 破碎化程度最高。热岛区的生态斑块极少, 且多为人工绿地, 具有斑块面积小、边界单一的特点。

同样地, 居住用地和公共设施用地的斑块密度(PD)、边界密度(ED)、景观形状指数(LSI)在温度分区的变化情况也表现一致。斑块密度指数(PD)为中温区>热岛区>冷岛区, 边界密度指数(ED)为中温区>热岛区>冷岛区, 景观形状指数(LSI)为中温区>热岛区>冷岛区。值得注意的是, 以上指数在中温区与热岛区的值极为接近, 表明居住用地和公共设施用地在中温区与热岛区的孔隙度和破碎化程度相近, 这两类斑块的景观格局并不是造成热岛区高温的原因。由于其他用地的特殊用地性质, 从景观格

局指数的变化上并未看出明显的变化趋势。

工矿仓储用地由于冷岛区的样本量少因此不对冷岛区进行比较分析。其景观百分比(PLAND)、斑块密度(PD)、边界密度(ED)、景观形状指数(LSI)均为热岛区>中温区。结果说明, 热岛区的工矿仓储用地斑块形状复杂, 但由于热岛区的景观百分比远高于中温区, 因此不能依照斑块密度和边界密度来判断工矿仓储用地在热岛区和中温区的破碎化程度。交通用地的斑块密度(PD)、边界密度(ED)和景观形状指数(LSI)的差异均为中温区>冷岛区>热岛区, 其中边界密度和景观形状指数在中温区与冷岛区的值较接近, 这是由道路的固定形态导致。中温

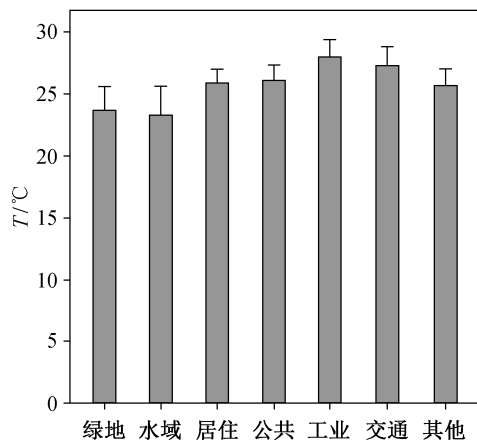


图3 土地利用均温

Fig. 3 Mean LST of each land use type

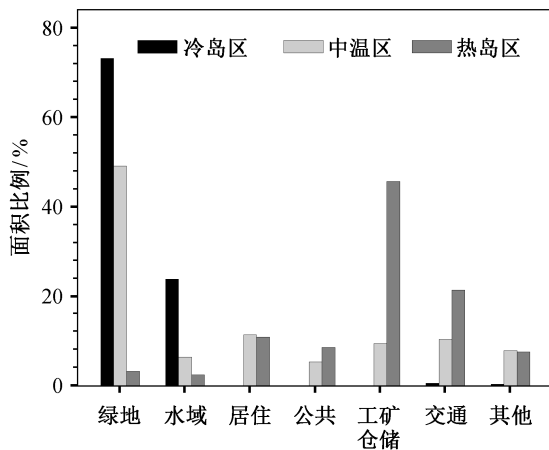


图4 不同温度分区的土地利用组成

Fig. 4 Proportional area of land uses in each temperature partition

区的斑块密度最高,说明中温区路网最密,而热岛区内部的多个大型港口码头在整体上降低了交通用地的斑块密度,其形状也更规整。

景观整体指数,斑块密度(PD)、边界密度(ED)、景观形状指数(LSI)在温度区间的分布情况均为中温区>热岛区>冷岛区,香农多样性指数在热岛区与中温区的值几乎相同,并远远大于冷岛区。以上结果说明,冷岛区景观以生态斑块为主,类型丰富度远远低于中温区和热岛区,景观格局具有斑块大、形状简单、聚集程度高的特点。中温区与热岛区虽然景观丰富度相近,但中温区景观的镶嵌度更高,斑块形状更复杂,破碎化程度更高。

### 3.3 景观格局特征与地表温度的相关关系

表4显示,冷岛区整体格局指数中的斑块密度、边界密度、景观形状指数、分维数和香农多样

性均与地表温度正相关,与地表均温显著正相关的斑块类型指数有绿地的边界密度、分维数以及水域的斑块密度、边界密度、景观形状指数和分维数,只有水域的景观百分比与温度负相关。这说明在冷岛区内,地表均温与总体景观格局的异质性和破碎化程度呈显著正相关效应,同时绿地和水域作为冷岛区的优势景观,形状简单、聚集度高的大面积斑块更利于冷岛效应的形成<sup>[26]</sup>。然而,与以往研究结果<sup>[27]</sup>不同的是,绿地的景观百分比并未呈现相关性。这是因为冷岛区绿地面积占比很大,某些样方几乎全由生态核心区的绿地组成,绿地面积带来的降温作用接近阈值<sup>[28]</sup>,因此景观百分比与温度的相关性并不显著。

中温区的景观整体格局指数中,香农多样性与温度正相关,说明在绿地面积占比达49.2%的中温区内,以绿地为主的局地景观的温度低于用地类型(尤其是建设用地)分布均匀的局地景观。斑块类型指数中,绿地的景观百分比、边界密度、分维数以及水域的边界密度与地表温度负相关。同时,居住用地的边界密度、形状指数,公共设施用地的边界密度以及交通用地的分维数也与地表温度负相关。与温度正相关的景观类型指数为居住用地景观百分比、公共设施用地景观百分比和交通用地景观百分比。以上结果说明,在中温区内,无论是生态用地,还是建设用地,增加用地斑块的边界长度和形状复杂度,都有利于温度的降低。由于中温区的生态用地主要分布在城市人工绿地和基本生态控制线的外围区,因此增加生态用地与建设用地的接触边界更有利于发挥降温作用<sup>[29]</sup>。

热岛区的斑块密度、边界密度、形状指数、分维数、香农多样性等景观整体指数与地表温度都一致地表现为显著负相关。由于热岛区内以地温最高的工矿仓储用地和交通用地为主(面积共占67.3%),聚集的工矿仓储和交通用地极易形成区域热岛中心,因此增加总体景观的异质性和镶嵌程度,有利于不同热力性质斑块之间的热传递,可以起到降低温度的作用<sup>[30]</sup>。在斑块类型指数中,与地表温度正相关的有工矿仓储用地的景观百分比和交通用地的景观百分比。与地温负相关的指数为绿地的景观百分比和边界密度、水域的景观百分比和斑块密度、工矿仓储用地的边界密度、交通用地分维数等。该相关关系与中温区类似,说明增加热岛区内绿地和水域与高温斑块的接触边界,能降低环境温度。

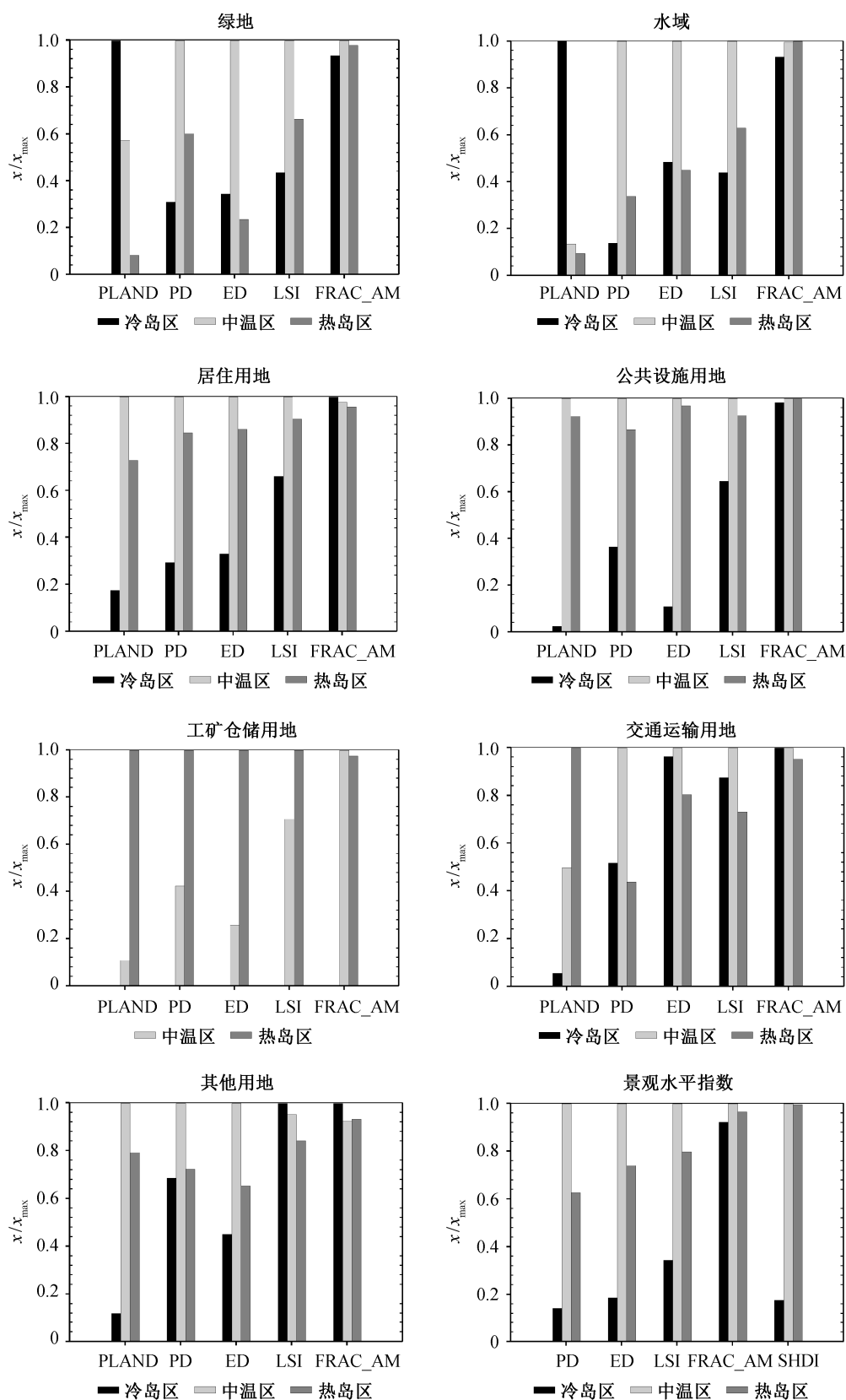


图 5 不同温度分区的景观格局指数变化

Fig. 5 Variations of landscape metrics in different temperature partitions

表 4 不同温度分区的景观格局与地表温度的关系

Table 4 Pearson correlation coefficients between landscape metrics and LST in different temperature partitions

土地利用	景观格局指数	冷岛区	中温区	热岛区
绿地	PLAND	-0.03	-0.77**	-0.50*
	PD	0.24	0.05	-0.35
	ED	0.41*	-0.47**	-0.53*
	LSI	0.36	-0.23	-0.23
	FRAC_AM	0.42*	-0.41*	0.21
水域及水利设施用地	PLAND	-0.78**	-0.33	-0.51*
	PD	0.53*	-0.04	-0.49*
	ED	0.55*	-0.40*	-0.46
	LSI	0.51*	-0.24	0.04
	FRAC_AM	0.53*	-0.16	0.43
居住用地	PLAND	0.17	0.54**	-0.01
	PD	-0.16	0.18	-0.08
	ED	-0.17	-0.42**	-0.02
	LSI	-0.21	-0.38*	-0.03
	FRAC_AM	0.02	0.03	0.11
公共设施用地	PLAND	0.15	0.44*	-0.05
	PD	0.01	0.31	-0.21
	ED	0.22	-0.66**	-0.26
	LSI	0.11	-0.41	-0.28
	FRAC_AM	0.06	-0.06	-0.17
工矿仓储用地	PLAND		0.19	0.40*
	PD		0.09	-0.33
	ED		0.17	-0.27*
	LSI		0.16	-0.14
	FRAC_AM		0.08	-0.26
交通运输用地	PLAND	0.09	0.65**	0.44*
	PD	-0.01	-0.20	-0.03
	ED	-0.21	0.38	-0.23
	LSI	-0.08	-0.36	-0.29
	FRAC_AM	0.02	-0.40*	-0.39*
其他用地	PLAND	-0.38	0.15	0.05
	PD	-0.27	0.01	-0.27
	ED	-0.34	0.09	-0.16
	LSI	-0.30	-0.02	0.29
	FRAC_AM	0.20	-0.16	-0.10
景观格局水平	PD	0.56**	-0.01	-0.47**
	ED	0.55**	0.10	-0.48**
	LSI	0.55**	0.09	-0.45*
	FRAC_AM	0.59**	-0.35	-0.49**
	SHDI	0.52**	0.56**	-0.72**

注: \* $p<0.05$ ; \*\* $p<0.01$ 。

## 4 结论

本文以深圳市为例, 基于 TM 遥感影像和土地利用数据, 在地表温度反演的基础上, 运用景观格局指数和 GIS 空间分析方法, 对深圳市土地利用格局与热环境的空间分布进行分析, 得到如下结论。

1) 不同类型景观的热力性质和地表均温不同。工矿仓储用地和交通用地的地表均温最高, 为热岛区的主要用地类型; 绿地和水域的地表均温最低, 是冷岛区的主要用地类型。

2) 土地利用结构配置的空间分异是城市热环境空间分异重要影响因素。城市热岛主要集聚在机场、码头和工业园区, 城市冷岛主要在生态控制线的核心区域, 中温区则为原特区和生态控制线的外围区域, 且各个温度分区内部的景观格局特征差异显著。

3) 景观格局与地表温度的关系在不同温度区之间表现出明显的分异特征。绿地景观百分比在中温区与热岛区都与地表温度显著负相关, 在面积占比最大的冷岛区却未表现出相关性。同样, 多个景观格局指数与地表温度的相关性, 在不同温度分区呈现完全相反的相关关系, 表明景观格局影响地表温度的内在机制极为复杂。

4) 可以根据城市土地利用类型和结构的热环境效应以及景观格局与热环境之间的关联关系, 制定合理的城市土地利用结构和空间配置规划, 以期合理地调控城市冷岛、中温、热岛 3 种不同区域的面积比重和空间配置格局, 有效地缓解城市的热岛效应。

## 参考文献

- [1] 张金区. 珠江三角洲地区地表热环境的遥感探测及时空演化研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2006
- [2] Howard L. Climate of London deduced from metrological observations (vol. 1). 3rd ed. London: Harvey and Dorton Press, 1833: 348
- [3] 白杨, 王晓云, 姜海梅, 等. 城市热岛效应研究进展. 气象与环境学报, 2013, 29(2): 101-106
- [4] 韦春竹, 孟庆岩, 郑文锋, 等. 广州市地表温度反演与土地利用覆盖变化关系研究. 遥感技术与应用, 2013, 28(6): 955-963
- [5] 徐永明, 刘勇洪. 基于 TM 影像的北京市热环境及其与不透水面的关系研究. 生态环境学报, 2013,



- 22(4): 639–643
- [6] 徐涵秋. 基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析. 生态学报, 2011, 31(14): 3890–3901
- [7] Lu D, Song K, Zang S, et al. The effect of urban expansion on urban surface temperature in Shenyang, China: an analysis with landsat imagery. *Environmental Modeling & Assessment*, 2015, 20(3): 197–210
- [8] 牟雪洁, 赵昕奕. 珠三角地区地表温度与土地利用类型关系. 地理研究, 2012, 31(9): 1589–1597
- [9] 孙芹芹, 吴志峰, 谭建军. 不同土地利用类型的城市热环境效应研究: 以广州市为例. 国土资源遥感, 2010, 22(4): 67–70
- [10] 王敏, 孟浩, 白杨, 等. 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
- [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, 28(8): 2077–2086
- [12] Connors J P, Galletti C S, Chow W T L. Landscape configuration and urban heat island effects: assessing the relationship between landscape characteristics and land surface temperature in Phoenix, Arizona. *Landscape Ecology*, 2013, 28(2): 271–283
- [13] Li X, Zhou W, Ouyang Z, et al. Spatial pattern of greenspace affects land surface temperature: evidence from the heavily urbanized Beijing metropolitan area, China. *Landscape Ecology*, 2012, 27(6): 887–898
- [14] 岳文泽, 徐丽华. 城市典型水域景观的热环境效应. 生态学报, 2013, 33(6): 1852–1859
- [15] 陈爱莲, 孙然好, 陈利顶. 绿地格局对城市地表热环境的调节功能. 生态学报, 2013, 33(8): 2372–2380
- [16] Asgarian A, Amiri B J, Sakieh Y. Assessing the effect of green cover spatial patterns on urban land surface temperature using landscape metrics approach. *Urban Ecosystems*, 2014, 18(1): 209–222
- [17] Yang B, Meng F, Ke X, et al. The impact analysis of water body landscape pattern on urban heat island: a case study of Wuhan City. *Advances in Meteorology*, 2015(2): 1–7
- [18] Li J, Song C, Cao L, et al. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: a case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(12): 3249–3263
- [19] Van de Griend A A, Owe M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, 14(6): 1119–1131
- [20] 宫阿都, 江樟焰, 李京, 等. 基于 Landsat TM 图像的北京城市地表温度遥感反演研究. 遥感信息, 2005 (3): 18–20
- [21] Masuda K, Takashima T, Takayama Y. Emissivity of pure and sea waters for the model sea surface in the infrared window regions. *Remote Sensing of Environment*, 1988, 24(2): 313–329
- [22] 贾海峰, 刘雪华. 环境遥感原理与应用. 北京: 清华大学出版社, 2006
- [23] 陈婉, 李林军, 李宏永, 等. 深圳市蛇口半岛人工填海及其城市热岛效应分析. 生态环境学报, 2013, 22(1): 157–163
- [24] 岳文泽, 徐丽华. 城市土地利用类型及格局的热环境效应研究. 地理科学, 2007, 27(2): 243–248
- [25] 周雅星, 刘茂松, 徐驰, 等. 南京市市域热场分布与景观格局的关联分析. 生态学杂志, 2014, 33(8): 2199–2206
- [26] Zhibin R, Haifeng Z, Xingyuan H, et al. Estimation of the relationship between urban vegetation configuration and land surface temperature with remote sensing. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2015, 43(1): 89–100
- [27] Li X, Zhou W, Ouyang Z. Relationship between land surface temperature and spatial pattern of greenspace: what are the effects of spatial resolution?. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 114: 1–8
- [28] 王刚, 管东生. 植被覆盖度和归一化湿度指数对热力景观格局的影响——以广州为例. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2429–2436
- [29] Zhou W, Huang G, Cadenasso M L. Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 102(1): 54–63
- [30] Zheng B, Myint S W, Fan C. Spatial configuration of anthropogenic land cover impacts on urban warming. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 130: 104–111