

# 基于Landsat8的东莞市热环境变化动态<sup>\*</sup>

吴振彪<sup>1</sup> 黄练忠<sup>1</sup> 徐庆华<sup>1</sup> 沈德才<sup>2</sup>

(1. 东莞市大岭山森林公园, 广东 东莞 523000; 2. 东莞市林业科学研究所, 广东 东莞 523000)

**摘要** 基于 2014 年和 2017 年的 Landsat8 影像, 研究利用辐射传输方程反演了东莞市地表温度, 并应用景观指数和转移矩阵分析了东莞市 2014—2017 年热环境的变化动态。结果表明, 热强度指数大于 0.25 或小于等于 -0.25 的区域定为极温区, 符合东莞市实际情况; 东莞市相邻热环境区的地表温差从 2.94 °C 减至 2.77 °C, 热岛强度有所减弱; 高温区对热环境格局的影响平稳地趋向缩减; 各热环境区存在 15.7%~29.4% 面积变化, 其向中温区方向转化的趋势明显。

**关键词** Landsat8; 城市热环境; 转移矩阵; 景观指数

**中图分类号:** TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2018) 04-0064-06

## Study on the Dynamics of Dongguan's Thermal Environment Based on Landsat 8

WU Zhenbiao<sup>1</sup> HUANG Lianzhong<sup>1</sup> XU Qinghua<sup>1</sup> SHEN Decai<sup>2</sup>

(1. Dalingshan Forest Park Management Department, Dongguan, Guangdong 523000, China; 2. Dongguan Research Institute of Forestry, Dongguan, Guangdong 523000, China)

**Abstract** Based on the Landsat8 images in 2014 and 2017, the land surface temperature in Dongguan was inverted by Radiative Transfer Equation. The dynamics of thermal environment in Dongguan was analyzed by applying Landscape Metrics and Transfer Matrix. The results showed that the area with thermal intensity index greater than 0.25 or less than or equal to -0.25 was defined as the extreme temperature zone, which was in accordance with the actual situation in Dongguan. The surface temperature difference of adjacent thermal environment in Dongguan is reduced from 2.94 to 2.77 °C, which led to fewer heat island effects. Moreover, the effect of high temperature zone on the thermal environment pattern is steadily decreasing. There is 15.7%~29.4% area change in each thermal environment zone and the trend of conversion to the middle temperature zone is obviously.

**Key words** Landsat 8; urban thermal environment; transfer matrix; landscape metrics

城市热环境会干扰局部地区的气候、物候、大气污染和人体健康, 是影响城市发展和人类生存质量的重要因素。随着城市化进程的不断推进, 城市热环境的分布特征、形成及演变机制等问题成为学者研究的热点。徐涵秋等<sup>[1]</sup>基于 Landsat-

TM/ETM+ 影像通过对比热岛比例指数研究了厦门市城市热岛的空间分布及变化特征; 王建凯等<sup>[2]</sup>基于 MODIS 影像通过对比四季地表温度研究了北京市热岛强度及季节变化; 杨丽萍等<sup>[3]</sup>基于不同时相的 Landsat TM/TIRS 通过对比热力景观指数对

<sup>\*</sup> 基金项目: 东莞市森林生态效益监测网络体系建设研究 (2013B060500074)。

第一作者: 吴振彪 (1986—), 男, 工程师, 主要从事林业资源管理工作, E-mail: 541074951@qq.com。

通信作者: 沈德才 (1982—), 男, 高级工程师, 主要从事林业信息管理工作, E-mail: 58167438@qq.com。

西安市热力景观格局及其变化特征进行了探讨。

Landsat8 卫星于 2013 年 2 月 11 日成功发射, 代替 Landsat7 卫星, 为全球免费提供连续的生态环境观测数据, 其 TIRS 载荷可用于地表温度反演, 对城市热环境研究具有重大意义。本文基于相同月份的两期 Landsat8 影像为数据源, 应用景观指数和转移矩阵对东莞市热环境动态变化进行研究, 旨在探讨东莞市热环境的空间变化特征, 为缓解热岛效应和建设低碳健康的人居环境提供参考。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

东莞市位于广东省中南部, 珠江三角洲东北部, 地处北回归线以南, 属亚热带海洋性气候, 年均温度 23.3 °C<sup>[4]</sup>。近年来, 随着经济的高速发展, 工业化和城市化的进程日益加快, 土地开发强度达 46.7%, 环境变化率较大。

### 1.2 数据来源

文章所使用的遥感数据为存档 L1T 等级的 Landsat8 影像, 行列号为 122/44, 时间为 2014 年 10 月 15 日、2017 年 10 月 23 日, 云量均少于 0.2, 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台 (<http://www.gscloud.cn>)。数据成像质量较好, 研究区内晴朗无云, 大气可见度高。

## 2 研究方法

### 2.1 地表温度反演

目前, 对热红外波段的地表温度反演算法大致可分为单通道算法、多通道算法和劈窗算法三类。由于 TIRS 第 11 波段误差较大, 不宜采用劈窗算法来反演地表温度<sup>[5]</sup>, 单通道算法主要包含辐射传输方程、单窗算法和普适性单通道算法。本文通过 TIRS-Band10 波段利用辐射传输方程反演得到地表温度图, 其公式<sup>[6]</sup>如下:

$$L_{\lambda} = [\varepsilon B(T_s) + (1 - \varepsilon)L_{\downarrow}] \tau + L_{\uparrow}$$

式中,  $L_{\lambda}$  为热辐射亮度值,  $\varepsilon$  为地表比辐射率,  $B(T_s)$  为黑体热辐射亮度,  $T_s$  为地表温度,  $\tau$  为大气透射率,  $L_{\uparrow}$  为大气上行辐射亮度,  $L_{\downarrow}$  为大气下行辐射亮度。

$$\varepsilon = 0.004F_v + 0.986$$

式中,  $F_v$  为植被覆盖度。

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{B(T_s)} + 1\right)}$$

式中,  $K_1$ 、 $K_2$  为定标常量。对于 TIRS Band10,  $K_1 = 774.89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{sr})$ ,  $K_2 = 1321.08\text{K}$ 。

### 2.2 热环境划分

热环境研究侧重于分析下垫面温度相对强弱的空间分布特征, 无法通过直接对比地表温度衡量不同时间段地区的热环境差异。因此, 需对地表温度进行无量纲化处理, 处理后的数据对比衡量地区间的热环境差异, 参考孙飒梅等<sup>[7]</sup>数据无量纲化处理得到热强度指数图, 公式为:

$$\text{HI} = \frac{T - T_{\text{mean}}}{T_{\text{mean}}}$$

式中 HI 为 Hot-Index, 本文称之为热强度指数;  $T$  为地表温度;  $T_{\text{mean}}$  为以像元数量为权重的地表温度加权平均值。

热岛效应是某区域温度高于周围地区温度时所引发的热异常现象。因此, 可用热强度指数划分热环境, 区域热强度指数在中温区范围内, 不发生热岛效应, 大于中温区为热岛区, 小于中温区为绿岛区, 热强度指数与热岛效应强度程正相关。

参考沈德才等<sup>[8]</sup>作者的研究, 将东莞市热环境分为极强热岛区、强热岛区、热岛区、中温区、绿岛区、强绿岛区和极强绿岛区七个区域。为消除小面积异常热源的影响, 将热强度指数跨度大且变化幅度不大的区域设为极温区, 包括极强热岛区和极强绿岛区, 再将极温区外的热强度指数平均分为五等份, 从大到小为强热岛区、热岛区、中温区、绿岛区、强绿岛区。其中强热岛区和热岛区属高温区, 绿岛区和强绿岛区属低温区。

### 2.3 景观指数的确定

由于景观指数间具有相关性<sup>[9]</sup>, 本文从结构、空间分布与形状等方面利用 Fragstats4.2 软件在景观类型层面选取了 4 个景观指数 (表 1) 对东莞市的热环境格局进行动态分析。

### 2.4 转移矩阵

为对比分析 2014—2017 年热环境的变化动态, 构建热环境转移矩阵, 公式如下:

表 1 景观指数及意义  
Table1 Landscape index and significance

| 景观指数<br>Landscape index                       | 英文缩写<br>Abbreviation | 代表意义<br>Significance                                             |
|-----------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------|
| 优势度指数 Dominance Index                         | DI                   | 用于反映景观结构中景观类型支配景观的程度。                                            |
| 平均邻近指数<br>Proximity Index-Mean                | Prox_MN              | 用于反映同类景观斑块在空间分布上的相对位置关系，景观范围内无相同斑块类型存在时，其数值趋向 0；同类斑块的距离越近时，其值增大。 |
| 景观形状指数<br>Landscape Shape Index               | LSI                  | 用于反映斑块聚合或离散程度的量度，值越大，斑块越离散。                                      |
| 面积周长分维度指数<br>Perimeter Area Fractal Dimension | PAFRAC               | 用于反映景观类型的复杂程度，值越小，景观形状越趋于正方形；值越大，景观的形状越卷绕。                       |

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{17} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{71} & \cdots & s_{77} \end{bmatrix}$$

式中， $S_{ij}$  为 2014 年到 2017 年热环境  $i$  区转移为热环境  $j$  区的面积占热环境  $i$  区面积的比例，该对角线上的 7 个元素代表该时段内保持不变部分的面积占原热环境区面积的比例。

3 结果与分析

3.1 热强度指数空间分布

通过统计热强度指数图的像元数量，分析其空间分布特征。由图 1 可知，2014 年、2017 年的热强度指数大于 0.25 的区间跨度分别为 0.20 和 0.24，区间跨度大，像元数量均在 2 000 个内，数量分布极少；2014 年、2017 年的热强度指数小于 -0.25 的区间跨度分别为 0.25 和 0.46，区间跨度大，像元数量均在 2 500 个内，数量分布极少。

由于发电厂、造纸厂等极少数占地面积庞大

的企业排放大量热能、农民焚烧农作物等导致地物表面温度极高，银瓶山部分地势较高的背阳区植物茂盛导致地表温度极低，但在 TIRS 载荷分辨率为 100 m 的中大尺度影像中，其像元数量极少，对东莞市整体热环境影响较少，应归类为变化活跃的极温区（极强热岛区、极强绿岛区）。

因此，7 个热环境区对应的热强度指数如下：极强热岛区（ $HI > 0.25$ ）、强热岛区（ $0.25 \geq HI > 0.15$ ）、热岛区（ $0.15 \geq HI > 0.05$ ）、中温区（ $0.05 \geq HI > -0.05$ ）、绿岛区（ $-0.05 \geq HI > -0.15$ ）、强绿岛区（ $-0.15 \geq HI > -0.25$ ）、极强绿岛区（ $HI \leq -0.25$ ）。

3.2 热环境区对应的地表温度

由表 2 可知，2014 年各个热环境区对应的地表温度为强热岛区（36.69~33.75 ℃）、热岛区（33.75~30.82 ℃）、中温区（30.82~27.88 ℃）、绿岛区（27.88~24.95 ℃）、强绿岛区（24.95~22.01 ℃）；2017 年的为强热岛区（34.63~31.86 ℃）、热岛区（31.86~29.09 ℃）、中温区（29.09~26.32 ℃）、绿岛区

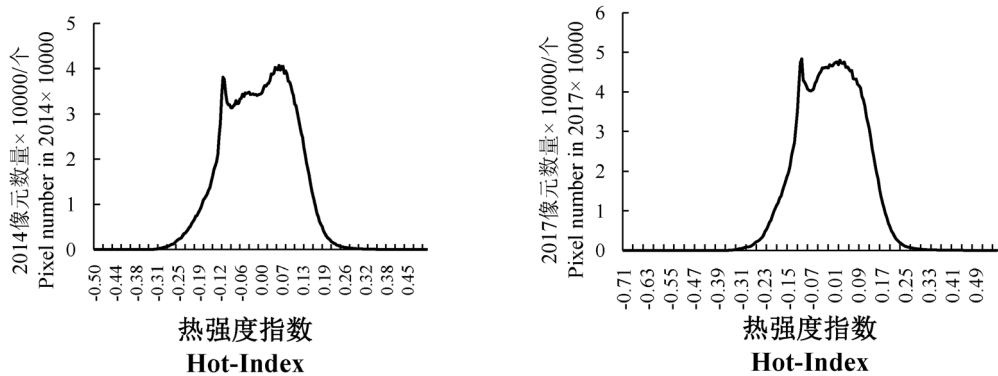


图 1 2014、2017 年东莞市热强度指数图像元数量统计图  
Fig1 Statistical graph of pixel counts on Hot-Index image of Dongguan City in 2014、2017

表 2 2014–2017 东莞市热强度指数与地表温度  
Table2 Hot-index and land surface temperature of Dongguan in 2014–2017

| 热强度指数<br>Hot-index | 2014 年地表温度<br>Land surface temperature in 2014/℃ | 2017 年地表温度<br>Land surface temperature in 2017/℃ |
|--------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 0.25               | 36.69                                            | 34.63                                            |
| 0.15               | 33.75                                            | 31.86                                            |
| 0.05               | 30.82                                            | 29.09                                            |
| -0.05              | 27.88                                            | 26.32                                            |
| -0.15              | 24.95                                            | 23.55                                            |
| -0.25              | 22.01                                            | 20.78                                            |

(26.32~23.55℃)、强绿岛区(23.55~20.78℃)。

可以推断出,2014—2017年,东莞市相邻热环境区的地表温度差从2.94℃减至2.77℃,热岛区与绿岛区的地表温度差从5.87℃减至5.54℃,强热岛区与强绿岛区的地表温度差从11.74℃减至11.08℃,地表温度差异均有所减小。热岛的强弱是由温度差异大小来衡量的。因此,与2014年相比,2017年东莞市的热岛强度有所减弱。

3.3 热环境空间分布特征

由图2可知,2014年东莞市的强热岛区和强绿岛区分布不均匀。强热岛区集中在水乡新城片区入海口处,滨海片区的中轴线两侧,城区片区东西边界处及东南临深片区与东南部,是经济快速发展的密集地区。强绿岛区集中分布在银瓶山、大岭山、黄牛埔、大屏嶂等森林公园地区,而在河流、水库中无分布;由图3可知,2014—2017年,东莞市热环境变化以小而密的斑块组成,无大面积的热环境变化。而且,热环境变化地区差异明显,松山湖片区中轴线以西地区,以降温斑块为主。中轴线以东,尤其是东南临深片区东南部及东部产业园周边,以升温斑块为主。

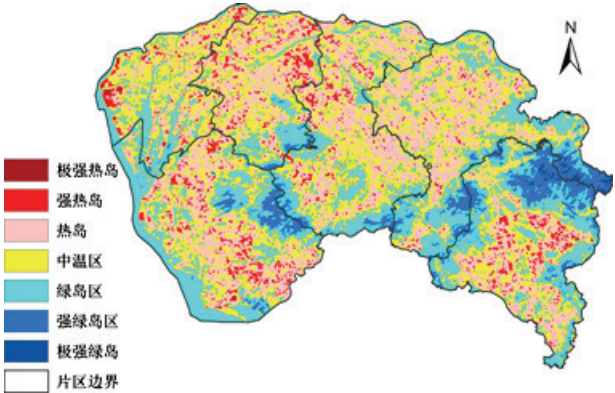


图 2 2014 年东莞市热环境  
Fig2 Urban thermal environment diagram of Dongguan 2014

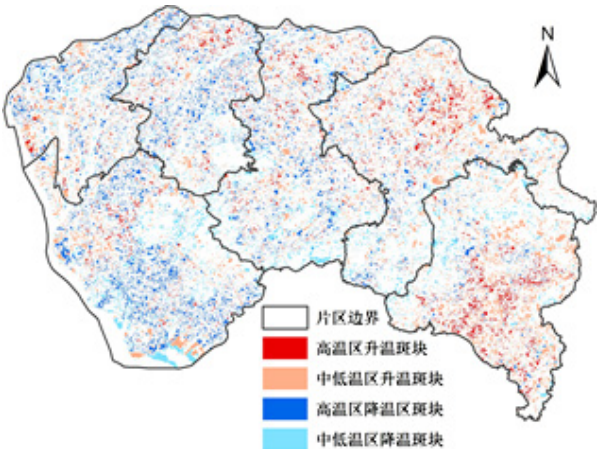


图 3 2014—2017 热环境变化  
Fig3 Urban thermal environment variation  
diagram in 2014-2017

3.4 热环境格局变化特征

由表3可知,2014年和2017年热岛区、中温区、绿岛区的DI值均较大,表明了3个热环境区是东莞市起主导作用的热环境区;热岛区和强绿岛区的PROX\_MN值显明减小,表明了热岛区和强绿岛区斑块的边界向内收缩,斑块间的距离变大,导致热岛区和强绿岛区对东莞市热环境格局影响范围减少。与之相反,绿岛区PROX\_MN值显明增大,表明了绿岛区斑块的边界向外扩展,斑块间的距离变小,连接性越来越好,导致其对东莞市热环境格局影响范围扩大趋势明显;强热岛区和热岛区的LSI值增幅明显,表明了该区域斑块趋向离散,斑块集聚影响效力减弱,导致其对整个热环境格局的影响变小。各区的PAFRAC值变化较小,表明了各区在形状上没有出现剧烈的变化,其景观变化比较平稳。

因此,从上述景观指数的变化得知,东莞市高温区对热环境格局的影响平稳地趋向缩减。

表 3 2014–2017 景观指数  
Table3 Value of Landscape index in 2014–2017

| 区域<br>Zone                | DI    |       | PROX_MN  |          | LSI   |       | PAFRAC |      |
|---------------------------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|--------|------|
|                           | 2014  | 2017  | 2014     | 2017     | 2014  | 2017  | 2014   | 2017 |
| 极强热岛 Extreme heat island  | 1.46  | 2.28  | 0.71     | 0.66     | 15.96 | 20.12 | 1.05   | 1.04 |
| 强热岛 Super heat island     | 13.83 | 14.85 | 10.58    | 15.23    | 57.13 | 61.57 | 1.11   | 1.12 |
| 热岛 Heat island            | 21.86 | 20.73 | 5042.49  | 3261.83  | 75.99 | 81.96 | 1.31   | 1.31 |
| 中温区 Medium zone           | 25.56 | 24.89 | 25446.30 | 26786.75 | 88.51 | 85.29 | 1.37   | 1.36 |
| 绿岛 Green island           | 21.32 | 21.37 | 778.58   | 1339.72  | 51.90 | 51.16 | 1.22   | 1.23 |
| 强绿岛 Super green island    | 4.98  | 5.16  | 567.84   | 331.54   | 22.42 | 23.35 | 1.18   | 1.19 |
| 极强绿岛 Extreme green island | 0.54  | 0.58  | 35.71    | 25.90    | 9.59  | 9.88  | 1.09   | 1.11 |

表 4 2014–2017 年东莞市热环境转移矩阵  
Table 4 Transfer matrix of urban thermal environment in Dongguan 2014–2017 %

| 区域<br>Zone                 | 极强热岛区<br>Extreme heat island | 强热区<br>Super heat island | 热岛区<br>Heat island | 中温区<br>Medium zone | 绿岛区<br>Green island | 强绿岛区<br>Super green island | 极强绿岛区<br>Extreme green island |
|----------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 极强热岛区 Extreme heat island  | 70.6                         | 3.0                      | 0.1                | 0.0                | 0.0                 | 0.0                        | 0.0                           |
| 强热岛区 Super heat island     | 26.7                         | 71.6                     | 7.9                | 0.2                | 0.0                 | 0.0                        | 0.0                           |
| 热岛区 Heat island            | 2.5                          | 24.5                     | 77.8               | 10.1               | 0.3                 | 0.1                        | 0.0                           |
| 中温区 Medium zone            | 0.3                          | 0.8                      | 14.0               | 80.6               | 11.6                | 0.8                        | 0.2                           |
| 绿岛区 Green island           | 0.0                          | 0.1                      | 0.1                | 9.0                | 84.3                | 13.5                       | 0.6                           |
| 强绿岛区 Super green island    | 0.0                          | 0.0                      | 0.0                | 0.1                | 3.8                 | 83.8                       | 17.0                          |
| 极强绿岛区 Extreme green island | 0.0                          | 0.0                      | 0.0                | 0.0                | 0.0                 | 1.8                        | 82.2                          |

3.5 热环境转移矩阵

由表 4 可知，2014—2017 年东莞市热环境区存在 15.7%~29.4% 面积变化。其中极强热岛区 70.6% 面积保持不变，26.7% 转化为强热岛区，强热岛区 71.6% 面积保持不变，24.5% 面积转化为热岛区；热岛区 77.8% 面积保持不变，14% 面积转化为中温区；中温区 80.6% 面积保持不变，10.1% 面积转化热岛区，9.0% 面积转化为绿岛区；绿岛区 84.3% 面积保持不变，11.6% 面积转化为中温区；强绿岛区 83.8% 面积保持不变，13.5% 面积转化为绿岛区；极强绿岛区 82.2% 面积保持不变，

17.0% 面积转化为强绿岛区。  
东莞市高温区梯度下降和低温区梯度上升趋势明显，表明了东莞市热环境向中温区平稳地转化，热环境差异趋向平缓。

4 讨论

由于热环境的划分标准不同，2014 年热岛区、中温区和绿岛区的优势度指数数值与沈德才等<sup>[4]</sup>研究存在差异，但与其热岛区、中温区和绿岛区在东莞市优势度指数较高的结果相似。根据热强度指数的跨度与变化幅度确定极温度区，规

避异常元像对热强度指数图像的影响,符合实际情况。

从转移矩阵可以看出,2014—2017年东莞市整体热环境向中温区平稳地转化,但从图3可知,其转化存在地区差异。东部产业园和赣深高铁塘厦站地区是升温斑块的密集区,在城市的规划建设中,应加强这两大区域的绿化隔离建设和下垫面的改良,防止升温斑块组团形成大面积高温斑块。

强绿岛区集中分布在银瓶山、大岭山、黄牛埔等森林面积较大的森林公园,在黄旗山、虾公山和旗岭等城市公园和东江、同沙水库、松山湖、东清湖等大面积水体上无分布。与水体和小面积森林相比,大规模森林对热环境的调控作用更大,因此,在城市的建设与发展中应注重对森林资源的保护。

“减缓城市热岛效应功效显著”作为评价防护隔离林带建设成效的一个重要指标,纳入国家森林城市评价指标体系。由于其没有量化标准,本文从热岛强度、高温区对热环境格局的影响、热环境转移三方面对2014—2017年东莞市热环境的变化动态进行分析,可为评价东莞市森林城市建设成效提供参考。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 王建凯, 王开存, 王普才. 基于MODIS地表温度产品的北京城市热岛(冷岛)强度分析[J]. 遥感学报, 2007, 11(3): 330-339.
- [3] 杨丽萍, 王乐, 孙晓辉, 等. 基于遥感的西安市热力景观格局演变[J]. 水土保持研究, 2017, 24(1): 250-255.
- [4] 沈德才, 杨燕琼, 吴振彪, 等. 基于Landsat8的东莞市热岛效应研究[J]. 广东林业科技, 2014, 30(6): 20-24.
- [5] 徐涵秋. Landsat 8热红外数据定标参数的变化及其对地表温度反演的影响[J]. 遥感学报, 2016, 20(2): 229-235.
- [6] 陈浩, 马昌忠, 陈国良. 基于landsat8的新沂市地表温度反演研究[J]. 矿山测量, 2017, 45(2): 78-81.
- [7] 孙飒梅, 卢昌义. 遥感监测城市热岛强度及其作为生态监测指标的探讨[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2002, 41(1): 66-70.
- [8] 沈德才, 杨燕琼, 陈跃洲, 等. 基于RS与GIS的东莞市热岛效应动态变化分析[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(1): 36-40.
- [9] 布仁仓, 胡远满, 常禹, 等. 景观指数之间的相关分析[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2764-2775.