

Analysis on Evolution of Urban Heat Island Landscape Parameters in Zigong Based on Spatial Scale Variation

Huailan Zhang¹, Xiaofang Liu²

¹School of Resource and Environment, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan

²Sichuan Provincial Academician (Expert) Workstation, Sichuan University of Science and Engineering, Zigong Sichuan

Email: 994768910@qq.com

Received: Mar. 30th, 2016; accepted: Apr. 26th, 2016; published: Apr. 29th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In recent years, along with the accelerating process of city, land use and land cover change greatly, city thermal environment has undergone great changes. Taking Zigong city as the research object, this paper uses five Landsat remote sensing images from 2001 to 2013 of equal time interval to achieve the LST and NDVI inversion, and the LST is divided into different types of heat island grades, then the maximum likelihood method of supervised classification is used to classify the land cover of Zigong city. Finally, the landscape pattern index is used to analyze the trend of urban heat island's landscape pattern change with urbanization in Zigong city based on different spatial scales. The results show that with the acceleration of urbanization process, the LST of Zigong city is rising, urban heat island effect in strengthening, the entire island landscape become more fragmented, the LST is different under different spatial scales. Therefore, the division of the heat island range is not the same which leading to the differences in parameters of the urban landscape pattern in different heat island grades.

Keywords

Land Use and Land Cover, LST, Urban Heat Island Intensity, NDVI, Landscape Parameters

基于空间尺度变化的自贡城市热岛景观参数演变分析

张淮岚¹, 刘小芳²

¹电子科技大学资源与环境学院, 四川 成都

²四川理工学院, 四川省院士(专家)工作站, 四川 自贡

Email: 994768910@qq.com

收稿日期: 2016年3月30日; 录用日期: 2016年4月26日; 发布日期: 2016年4月29日

摘要

近年来, 随着城市化进程不断加快, 土地利用和土地覆盖发生了较大变化, 城市热环境也相应发生了较大的改变。以自贡市作为研究对象, 利用2001~2013年等时间间隔5幅Landsat遥感影像进行地表温度反演、植被归一化指数反演; 再对地表温度划分出不同的热岛等级; 利用监督分类中的最大似然法对自贡市土地利用类型进行分类。在不同空间尺度基础上使用景观格局指数分析自贡城市热岛景观格局随城市化演变的趋势。结果表明: 自贡市随着城市化进程的加快, 地表温度也在不断攀升, 城市热岛效应加强, 整个热岛景观也变得更加破碎化; 不同空间尺度下地表温度值并不相同, 因此热岛范围的划分也不相同, 导致在不同热岛等级下的城市景观格局参数也存在着差异。

关键词

土地利用和土地分类, 地表温度, 城市热岛强度, 归一化植被指数, 景观参数

1. 引言

地表温度是研究城市热环境的重要参数之一, 在生态、气象和地理学等领域的研究具有重要的意义[1]。近年来, 随着自贡市城市高速发展, 土地利用和土地覆盖类型发生了较大变化。城市周围大量的林地、农用地等自然表面被建筑、道路等不透水地表所代替, 由于这些地表类型的太阳辐射吸收、热容量及传导率较高, 导致城市地表温度不断升高, 造成了城市热环境的空间格局发生了较大变化。城市热岛现象日益突出使得热岛效应的研究受到越来越多的关注[2]。不同下垫面类型具有不同的热容量, 建筑、水体和植被等下垫面的变化对地表温度有着不同程度的影响。

城市热岛景观格局利用景观生态学方法和原理辩证城市热岛的分布、形状与组成等规律, 可以在一定程度上反映城市化进程。基于土地利用/变化的景观格局指数研究室景观格局分析的重要方法, 研究城市热岛景观格局指数可以为城市规划、缓解城市热岛效应等提供科学依据[3], 目前的城市热岛研究主要是针对城市热岛变化规律、城市热岛产生机理等方面, 针对多尺度的城市热岛格局研究还是比较少的。本文研究的流程见图1。

近年来, 随着城市高速发展和人口持续增长, 自贡市城市发展与生态之间的矛盾日益加剧。本文利用5景Landsat遥感影像, 基于空间尺度条件变化下景观格局指数研究, 分析城市热岛景观格局的演变特征及趋势。

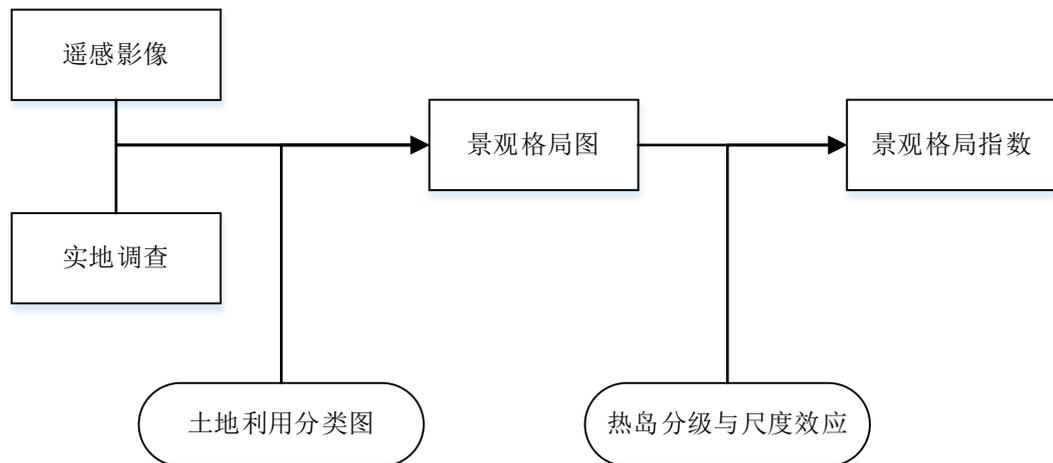


Figure 1. The process of landscape pattern index calculation
图 1. 景观格局指数计算基本过程

2. 研究方法

2.1. 研究区概况

自贡市是川南区域中心城市,地处四川盆地南部,享“千年盐都”,“恐龙之乡”,“南国灯城”,“美食之府”之美誉。地理位置为北纬 28°55'N~29°38'N,东经 104°02'E~105°16'E,属亚热带波澜季风气候区,日照时间较短,四季分明,年平均气温 17.0℃~18.0℃,极端最高气温 40℃,常年日照 1150~1200 小时。自贡市全年雨量充沛,常年降水量平均为 1000~1100 毫米[4]。本文研究的区位图见图 2。

2.2. 数据来源及预处理

本文选取 2001 年、2004 年、2007 年、2010 年和 2013 年 5 幅 Landsat 影像对自贡城市热环境年际变化进行研究。根据研究需要对原始数据进行辐射定标、大气校正、几何精校正及裁剪等预处理。由于 2004 年和 2010 年数据来源于 ETM,存在明显的条带,无法直接使用,因此对这两幅影像首先进行了条带修复工作使其满足研究的需要。

2.3. 陆地表面温度反演及归一化处理

由于选择的数据中 2001 年和 2007 年为 Landsat-5 数据,2004 年和 2010 年为 Landsat-7 数据,以上数据都是单通道热红外数据,因此,可以根据辐射传输方程法对地表温度(LST)进行反演;而 2013 年的数据为 Landsat-8 数据,存在两个热红外波段,因此使用分裂窗算法对其地表温度进行反演。

一、辐射传输方程法计算地表温度:

首先将第 6 波段的像元灰度值 DN 值转换为传感器的辐射亮度值,公式如式(1)。

$$L_6 = gainDN + bias \quad (1)$$

式(1)中: L_6 为第 6 波段辐射亮度值 [$w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$]; DN 为遥感影像的像元灰度值 [$w / (m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$]; gain 和 bias 分别为辐射亮度值的增益量 [$w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$] 和偏移量 [$w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$], gain 和 bias 可以通过影像的头文件获得。

然后利用辐射亮度值对亮温进行计算,如公式(2)。

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L_6 + 1) \quad (2)$$

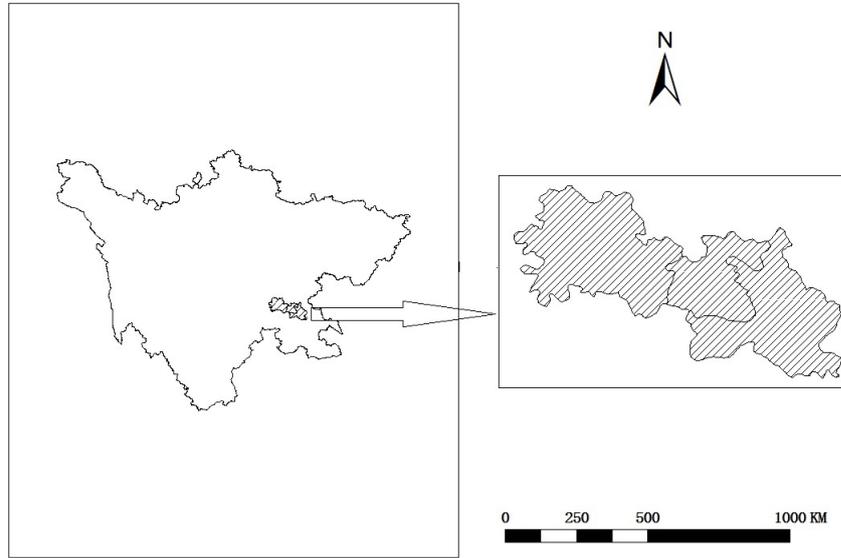


Figure 2. The location map

图 2. 研究区位图

式(2)中: T 为第 6 波段的亮温值; 对于 Landsat 数据, $K_1 = 607.76$ [$w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$], $K_2 = 1260.56$ K。

物体比辐射率是指物体向外界辐射电磁波能力强弱, 地表温度的反演需要比辐射率参数的计算, 如公式(3)。

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

式(3)中, LST 为地表温度(K); λ 为第 6 波段的中心波长($11.5 \mu m$); $\rho = hc/\sigma = 1.438 \times 10^{-2} m \cdot K$, σ 为玻尔兹曼常数($1.38 \times 10^{-23} J/K$), h 为普朗克常数($6.262 \times 10^{-34} J \cdot s$), c 为光速($2.998 \times 10^8 m/s$); ε 为地表比辐射率(地表比辐射率 ε 直接与地表构成有关。本文中地表比辐射率根据 ENVI 中自带地表比辐射数据计算得到, 植被覆盖区域为 0.98, 裸地区域为 0.96, 建筑为 0.95, 水体为 0.99) [5], T 为传感器处温度值。

二、针对双通道的热红外数据可以用分裂窗算法计算:

$$B_{10}(T_{10}) = \tau_{10}(\theta) \left[\varepsilon_{10} B_{10}(T_s) + (1 - \varepsilon_{10}) I_{10}^\downarrow \right] + I_{10}^\uparrow \quad (1)$$

$$B_{11}(T_{11}) = \tau_{11}(\theta) \left[\varepsilon_{11} B_{11}(T_s) + (1 - \varepsilon_{11}) I_{11}^\downarrow \right] + I_{11}^\uparrow \quad (2)$$

式中, T_{10} 、 T_{11} 分别为第 10、11 波段的亮度温度, ε_i 、 τ_i 为第 i 波段地表反射率和大气透过率, I_i^\downarrow 、 I_i^\uparrow 分别为大气向下、向上辐射。

地表温度时间归一化处理: 由于用到的五幅影像中所对用的月份不尽相同, 因此不能直接运用所计算出的地表温度进行热岛等级划分, 必须先对其进行时间归一化处理。这里选取 2010 年反演出的地表温度作为基准数据, 将其余四幅影像反演出的地表温度分别进行时间归一化得到地表温度数据。

2.4. 地表温度降尺度操作

Landsat 地表温度数据是由热红外波段数据计算出来的, 而 Landsat 热红外波段分辨率较其他波段空间分辨率低。由于自贡本身城市较小, 每个热红外像元多对应的空间范围较大, 热红外波段影像效果不如别的高分辨率影像所呈现得清晰。因此结合归一化植被指数对原始的地表温度影像进行降尺度操作, 得到在可见光空间分辨率下的地表温度影像, 使影像包含空间分辨率较高的特点[6]。见图 3、图 4。

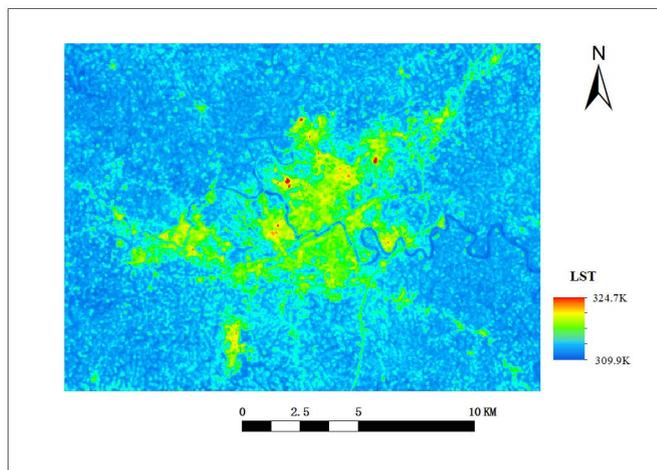


Figure 3. The figure image of surface temperature before the down-scaling

图 3. 降尺度前图像地表温度示例图

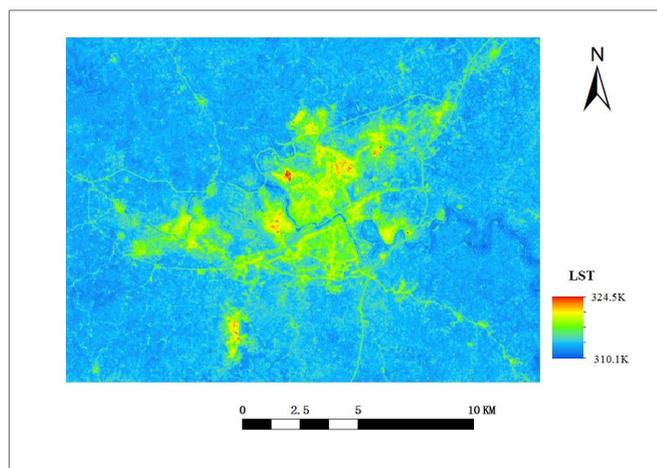


Figure 4. The figure image of surface temperature after the down-scaling

图 4. 降尺度后图像地表温度示例图

通过上面两张图对比可以看出, 左侧降尺度前图像轮廓较为模糊, 像元包含信息太多、太杂, 不容易进行区分; 右侧降尺度后图像轮廓较为清晰, 降尺度后图像结合了空间分辨率高的特点。

2.5. 城市热岛等级划分

根据 1.3、1.4 操作后, 在图像上随机分布 250 个像元点, 求得这 250 个像元平均温度值作为基准值。利用归一化后的地表温度图像与平均值做差得到地表温度差值图像。利用 ArcGIS 软件中重分类工具中的几何间隔法对地表温度差值图像进行划分[7], 得到热岛强度等级, 具体划分等级见表 1。

2.6. 土地利用类型分类

本研究事先将地表划分为建筑、植被、水体和裸地四大类型。土地利用数据来源为各幅影像的 432 假彩色合成影像, 由于不同地物在遥感影像上呈现出不同的色调。因此, 可以通过目视解译的方法对其进行判别, 在图像上随机分布 250 个像元点, 然后利用 Google Earth 高分辨率图像逐点进行目视解译判

Table 1. The table of heat island intensity grade partition

表 1. 热岛强度等级划分表

| 热岛强度等级 | 热岛温度 |
|--------|--------|
| 冷岛区 | <-2 K |
| 无热岛区 | -2~2 K |
| 弱热岛区 | 2~5 K |
| 强热岛区 | 5~7 K |
| 极强热岛区 | >7 K |

断其类别[8]。结果显示, 分类总精度在 86%~89%之间, Kappa 系数在 75%~82%之间, 精度较高, 符合研究需要。

2.7. 城市热岛景观指数

为研究城市热景观格局变化, 定量分析其变化趋势。本文在研究中采用景观生态学中的景观格局指数来分析城市热岛景观的空间格局变化, 本文主要从景观水平上选取相关的指数进行分析, 采用 Fragstats3.3 分别计算斑块数(NP)、斑块密度(PD)、景观多样性指数(SHDI)、景观均匀性指数(SHEI)、景观聚集度指数(CONTAG)5 种景观指数[9]。

3. 结果与分析

3.1. 地表温度时空变化分析

由于图像数据获取时间不一致, 因此对这五幅图像进行了时间归一化, 使得地表温度(LST)具有一定的可比性。下表显示了这 5 幅影像的最高温度、最低温度和平均温度信息。详细参数见表 2。

从表 2 可以看出 2001~2013 年自贡城市地表温度情况, 自贡市地表最高温度、最低温度和平均温度都随着时间推移呈现出整体升高的趋势。说明随着城市不断发展, 原来的自然地表逐步被人工地表所代替, 由于人工地表的反射率较高, 造成地表温度的升高。

3.2. 降尺度前后城市地表温度变化

自贡城市范围较小, Landsat 热红外波段的空间分辨率较低导致像元所获取的地表信息比较多样化。本文结合归一化植被指数对地表温度进行空间降尺度操作, 得到降尺度后的地表温度更加接近于真实地表温度, 说明降尺度后地表温度值更加精确。详细参数见表 3。

3.3. 城市热景观格局变化

2001~2013 年自贡城市地表覆盖发生了较大变化, 为了定量分析城市热环境格局的变化情况, 本文采用了景观指数来表征城市热环境景观的变化。因为城市热岛效应是普遍存在的, 但是对城市环境构成影响的是高等级的热岛景观斑块[10]-[12]。因此本文从景观水平上选取如下指标:

1) 表征破碎度特征: 斑块数(NP)、斑块密度(PD)。NP 是指景观中斑块总个数; PD 为斑块数和斑块总面积的比值, 值越大说明面积内的斑块数量越多, 斑块被分割得越严重。

2) 表征多样性特征: 多样性(SHDI)、均匀度(SHEI)。SHDI 越接近于 0 说明整个景观由一个斑块组成, SHDI 越大说明斑块类型增加; SHEI 越接近于 0 说明景观由一种斑块组成, 无多样性, SHEI 接近 1 说明各板类型均匀分布, 存在最大的多样性。

Table 2. The table of surface temperature inversion
表 2. 地表温度反演表

| 年份 | 最高温度(K) | 最低温度(K) | 平均温度(K) |
|--------|---------|---------|---------|
| 2001 年 | 324.7 | 309.9 | 312.4 |
| 2004 年 | 323.8 | 309.5 | 313.4 |
| 2007 年 | 322.6 | 308.8 | 314.4 |
| 2010 年 | 329.1 | 309.2 | 313.4 |
| 2013 年 | 326.7 | 311.2 | 315.4 |

Table 3. The table of contrast downscaling land surface temperature before and after
表 3. 降尺度前后地表温度对比表

| 年份 | 真实地表温度(K) | 降尺度前平均地表温度(K) | 降尺度后平均地表温度(K) |
|--------|-----------|---------------|---------------|
| 2001 年 | 312.44 | 312.39 | 312.47 |
| 2004 年 | 313.51 | 313.42 | 313.56 |
| 2007 年 | 314.75 | 314.41 | 314.88 |
| 2010 年 | 313.58 | 313.36 | 313.64 |
| 2013 年 | 315.77 | 315.43 | 315.69 |

3) 表征聚集度特征: 景观聚集度指数(CONTAG)。CONTAG 是指景观中不同类型斑块的聚集程度, 值越大说明景观是由少数聚集的大斑块组成, 值越小则是说明景观由众多分散的小斑块组成。

从图 5 中可以看出, 2001 年到 2013 年, 各等级的热岛景观斑块数(NP)和斑块密度(PD)除在 2007 年处出现下降拐点外, 其余年份均呈现上升趋势, 说明强热岛和较强热岛等级的斑块在迅速增长, 2007 年由于图像获取的时间刚好处于城市郊区农作物收割阶段导致大片的裸地出现, 斑块效应不明显; 且从图中可以看出降尺度前各等级的斑块数(NP)、斑块密度(PD)普遍高于降尺度后, 说明降尺度后各等级的热岛范围有所减小。2001 年到 2013 年, 各等级的景观多样性指数(SHDI)、景观均匀度指数(SHEI)曲线和斑块数级斑块密度曲线趋势相同, 都在 2007 年处出现下降拐点, 其余年份也呈现上升趋势, 说明随着年份的增加, 景观斑块类型也在增长, 而且斑块分布越来越不均匀; 从图中也可以看出, 降尺度前的景观多样性指数和景观均匀度指数高于降尺度后, 说明降尺度后景观多样性降低, 均匀度有所提升。2001 年到 2013 年景观聚集度指数(CONTAG)与上面图形的趋势刚好相反, 说明在 2007 年优势斑块形成了很好的连续性, 之后斑块的连续性遭到一定程度的破坏; 从图中也可以看出, 降尺度后景观聚集度指数普遍高于降尺度前, 说明降尺度后各热岛等级斑块之间的连接更加密切。

4. 结束语

1) 不同等级的热岛景观类型分布不均衡。在研究的时段中低等级的热岛景观类型占据主要的比例, 较强热岛和强热岛景观类型所占的比例较小, 均匀度指数呈现上升趋势说明热岛景观类型面积之间的差距在逐渐缩小, 整体上逐渐趋于均匀化;

2) 各等级的景观之间聚集程度下降, 说明整个景观趋于破碎化。高等级热岛景观斑块数量呈现增长趋势, 斑块之间的连通性下降, 聚集度指数出现了上升后下降的趋势, 热岛景观斑块总数和斑块密度均呈现增长趋势, 说明景观趋于破碎化;

3) 由于本文中对图像像元进行了降尺度操作, 因此降尺度前后各景观指数也有所差异。其中景观斑

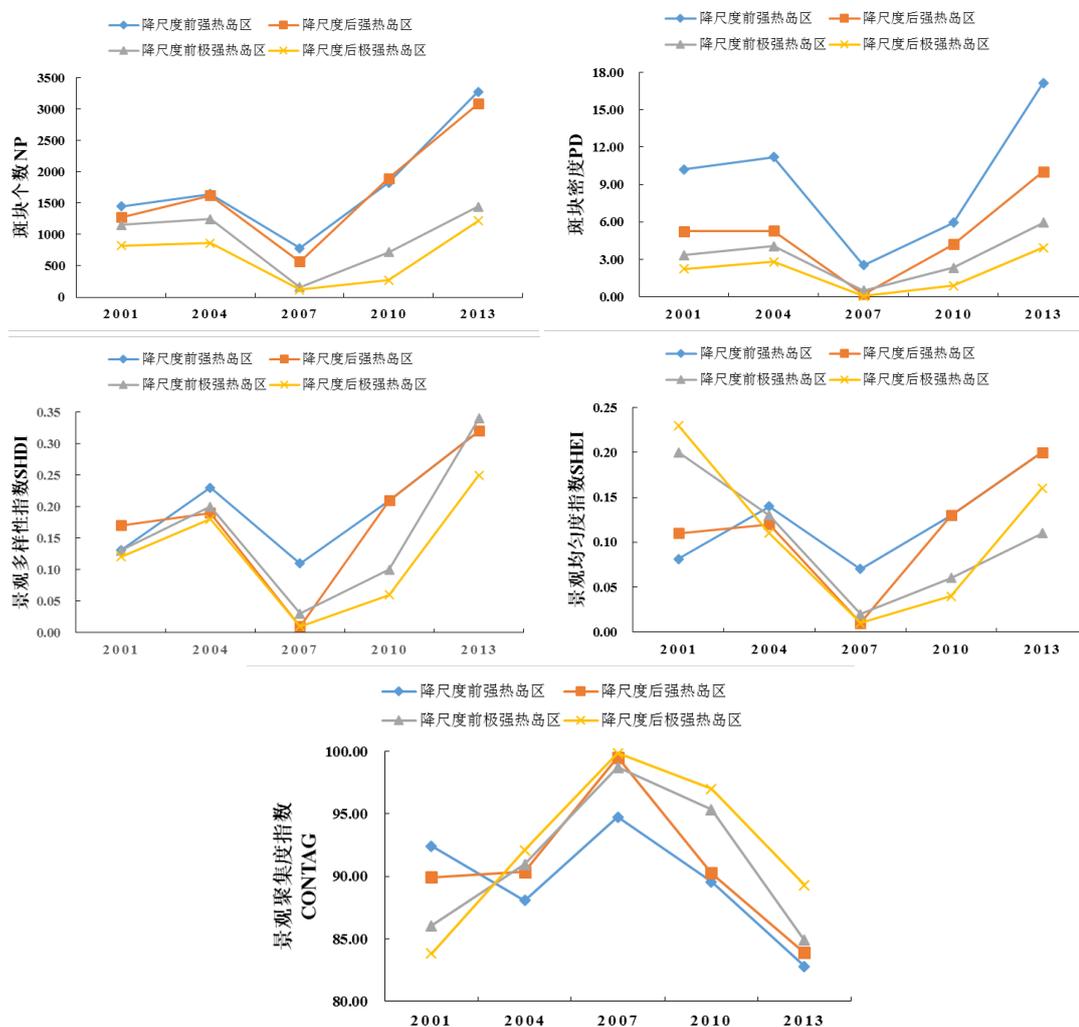


Figure 5. The contrast figure of heat island landscape parameters before and after downscaling
图 5. 降尺度前后热岛景观参数对比图

块个数、景观密度在降尺度前普遍高于降尺度后, 说明降尺度前景观破碎化程度更高; 景观多样性指数和均匀度指数也是在降尺度前普遍高于降尺度后, 说明各斑块类型在景观中呈现更加均匀化分布并有更大的多样性; 景观聚集度指数却普遍呈现降尺度后高于降尺度前的现象, 说明降尺度前景观的破碎化程度更高一些。

基金项目

本文为 2014 年四川省院士(专家)工作站基金项目(编号: 2014YSGZZ02), 2014 年四川自贡市科技局项目(2014DZ02)阶段成果, 感谢这两个项目对本文的大力支持。

参考文献 (References)

- [1] 周芳成, 宋小宁, 李召良, 等. 地表温度的被动微波遥感反演研究进展[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(1): 1-7.
- [2] Dai, X.Y., Zhang, L.Q., Guo, Z.Y., Wu, J.P., Li, X.D. and Zhu, Y.L. (2009) Mechanism of Formation of Urban Heat Island Effect and Its Spatial Pattern in Shanghai. *Acta Ecologica Sinica*, **29**, 3995-4004.
- [3] Wu, J., Shen, W., Sun, W., *et al.* (2002) Empirical Patterns of the Effects of Changing Scale on Landscape Metrics.

Landscape Ecology, **17**, 761-782.

- [4] 徐晓, 肖天贵, 麻素红. 西南地区气候季节划分及特征分析[J]. 高原山地气象研究, 2010, 30(1): 35-40.
- [5] Weng, Q. (2003) Fractal Analysis of Satellite-Detected Urban Heat Island Effect. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **69**, 555-565.
- [6] 郭会敏, 宫阿都, 何汝艳, 等. 遥感地表温度空间分辨率降尺度研究[J]. 遥感信息, 2015(4): 29-36.
- [7] 李丽光, 王宏博, 贾庆宇, 吕国红, 等. 辽宁省城市热岛强度特征及等级划分[J]. 应用生态学报, 2012(5): 1345-1350.
- [8] 徐建华, 岳文泽, 谈文琦. 城市景观格局尺度效应的空间统计规律[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 1058-1065.
- [9] 陈利顶, 刘洋, 吕一河, 冯晓明, 傅伯杰. 景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [10] Bu, R.C., Li, X.Z., Hu, Y.M., *et al.* (2003) Scaling Effects on Landscape Pattern Indices. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **14**, 2181-2186.
- [11] Saura, S. (2004) Effects of Remote Sensor Spatial Resolution and Data Aggregation on Selected Fragmentation Indices. *Landscape Ecology*, **19**, 197-209.
- [12] Li, X.Z., Bu, R.C., Chang, Y., *et al.* (2004) The Response of Landscape Metrics against Pattern Scenarios. *Acta Ecologica Sinica*, **24**, 123-134.