

DOI: 10.5846/stxb201904140747

马瑞明, 谢苗苗, 郅文聚. 城市热岛“源-汇”景观识别及降温效率. 生态学报, 2020, 40(10): 3328-3337.

Ma R M, Xie M M, Yun W J. “Source-sink” landscape identification of the urban heat island and the cooling efficiency. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(10): 3328-3337.

城市热岛“源-汇”景观识别及降温效率

马瑞明¹, 谢苗苗^{2,*}, 郅文聚³

¹ 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100083

² 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083

³ 自然资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100035

摘要:快速城市化背景下,不同景观降温效率的差异是深入理解景观格局对城市热岛效应影响机理的基础。现有城市热岛研究多以土地利用或土地覆被替代热岛效应的源与汇,往往忽略景观的热特征与相邻景观的热关系,造成信息偏差。需要从景观热特征的视角,探讨面向城市热岛效应的景观分类方法,并分析不同特征景观的降温效率差异。基于“源-汇”景观理论,以深圳市西部为研究区,构建面向城市热岛的景观分类方法,通过 2010 年 TM 遥感影像提取 NDVI、NDMI 及 ISA 等地表特征及地表温度特性,叠加划分 16 类城市景观,分析不同地表特征的景观等距离梯度下的温度变化关系,识别城市热岛的“源-汇”景观。在此基础上,分析“源-汇”景观的结构特征,构建以面积和温度为影响因素的景观降温效率指数,结合景观格局指数,分析不同面积与形状的“汇”景观降温效率。结果表明,在 16 类景观中,5 类景观被识别为城市热岛汇景观,面积约 533 km²,占研究区总面积的 45.5%。降温效率结果表明,“汇”景观的降温效率为 1.54,其中绿色空间及阴影景观的降温效率贡献率较高。通过面积与形状的景观格局分析发现,降温效果随两个指数的增加,均呈先升后降的趋势。研究结果为城市规划与城市绿色基础设施建设决策中降温景观的形状和面积设定提供依据,增加景观水平的缓解热岛效应的效率。

关键词:“源-汇”景观;城市热岛;降温效率;景观格局;深圳市

“Source-sink” landscape identification of the urban heat island and the cooling efficiency

MA Ruiming¹, XIE Miaomiao^{2,*}, YUN Wenju³

¹ College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100083, China

² School of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

³ Key Laboratory of Agricultural Land Quality, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China

Abstract: In the context of rapid urbanization, the difference in cooling efficiency of different landscapes is the basis of understanding the influence mechanism underpinning landscape pattern on urban heat island effect. Existing studies on the heat island effect primarily use land use or land cover as the proxy for the source and sink landscape. This creates an information bias by ignoring the thermal characteristics of the landscape and the thermal relationship with adjacent landscapes. It is deemed necessary to explore the landscape classification method for the urban heat island effect and analyze differences in the cooling efficiency of landscapes with different characteristics. Based on “source-sink” landscape theory, this study constructs a landscape classification method for urban heat island using the western part of Shenzhen City as the study area. Sixteen urban landscape types were divided based on the extraction of surface features such as Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Moisture Index, and Impervious Surface Area and land surface

基金项目:国家自然科学基金项目(41771204)

收稿日期:2019-04-14; 修订日期:2020-05-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiemiaomiao@cugb.edu.cn

temperature from Thematic Mapper remote sensing imagery in 2010. With the analysis of the temperature relationship under the equal distance gradient for landscapes with different surface features, the “source-sink” landscape of urban heat island was identified. On this basis, the composed landscape characteristics of the “source-sink” landscape were analyzed, and the cooling efficiency of landscape with area and temperature as influencing factors was calculated. Combined with the landscape pattern index, the cooling efficiency of separate areas and shapes of the sink landscape was analyzed. Five landscape types were identified as the urban heat island sink landscape. The area is approximately 533 km², accounting for 45.5% of the total study area. Results of cooling efficiency showed that the cooling efficiency of the “sink” landscape is 1.54, among which the contribution rate of green space and shadow landscape was higher. Based on the analysis of landscape patterns, it was found that the cooling efficiency both first increases and then decreases with the increase of the index value. The results can provide support for the shape and area setting of a cooling landscape in urban planning and urban green infrastructure design decision-making, mitigate urban heat island effect and increase the cooling efficiency at the landscape level.

Key Words: “source-sink” landscape; urban heat island; cooling efficiency; landscape pattern; Shenzhen

快速城市化导致大量自然地表受人为干扰转换成人工地表,引起相当严重的“城市病”,城市热岛是其中影响范围最广的城市环境效应之一,是城市生态环境状况的综合表征,几乎存在于世界范围内所有城镇中^[1],且随着城市化程度的发展而不断加剧^[2],已严重影响城市居民的生活质量。城市地表特征与景观格局的改变被认为是城市热岛形成的直接原因^[3]。因此,深入认识景观特征并定量分析城市景观格局与城市热岛效应缓解的关系,有助于科学制定城市热岛缓解政策。

景观的热特征同时受到多个因素的影响^[4-6],植被覆盖、人工建筑覆盖及水分分布等连续型地表特性能更好刻画热岛的分异特征^[6-8],现有研究多探讨以地表温度(Land Surface Temperature, LST)为指标的城市热岛效应与归一化植被指数^[9-11](Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、归一化湿度指数^[12-13](Normalized Difference Moisture Index, NDMI)、不透水表面^[14-16](Impervious Surface Area, ISA)的关系。Weng等^[17]、Chen等^[18]、Carlson等^[19]认为NDVI与LST存在一定的相关性,但因环境条件差异而不同^[20-21]。不透水面是城市景观中导致地表温度升高的重要驱动因素之一。Yuan和Bauer^[22]、徐涵秋^[23]发现ISA与LST有正相关性。陈峰等^[21]分析比较不同城市热岛强度与不透水面的空间分布关系,发现不透水面和城市热岛之间的关系均为分段线性关系,而且区域差异明显。水体和植被一样,因其物化特性,具有降温功能。连续的地表指数作为“源-汇”景观的识别依据,更能表达特征之间的时空异质性^[24],但城市热岛效应受多个因素影响,考虑景观特征的组合效应可超越传统以土地覆被为基础的研究视角,更能体现不同景观组分对热岛效应贡献的差异^[3]。

陈利顶等^[25]将大气污染中的“源-汇”理论引入景观生态领域,不同于传统景观格局研究对静态景观格局指数的依赖,“源-汇”景观理论更能体现景观格局与过程的互馈^[26-27],反映生态过程的动态性^[25]。城市热岛的“源”景观指强化城市热岛效应的城市景观类型,“汇”景观是对城市热岛有缓解效应的景观,“源-汇”景观理论在城市热岛研究中的内涵已得到广泛认可^[4,24,27],但对“源-汇”景观的识别多依赖于土地覆被/土地利用类型,多将植被、水体视为“城市热岛”的汇景观^[26,28-29],将不透水表面作为源景观^[29-30],或以土地利用类型作为划分“源-汇”景观的依据^[31-32],往往忽略了景观内部或与其周围环境的热特征差异^[33-34]。结合热岛效应研究中使用地表指数等连续型数据的研究现状,将景观组分的综合特征作为“源-汇”景观识别依据,更能表达温度影响特征的时空异质性^[24]。

定量描述与分析城市景观结构与格局,是揭示城市景观结构与功能关系、揭示城市景观动态变化的基本途径^[35]。景观格局是缓解城市热岛效应的重要影响因素之一,其中最主要的影响因子为景观面积和形状^[4,36-37],呈一定相关性^[38-39],甚至影响绿地对周边环境的降温效率^[38]。大量实证研究多通过温度差^[39-40]与

降温距离^[39]来表征景观降温能力的大小,但结果随时空不同和地点环境影响而有所差异。程晓云^[41]将最大降温面积与公园面积的比作为公园降温效率指标进行评价。整合温度差和面积的景观降温效率研究较少^[24]。因此,探索量化不同景观降温效率有重要的实际意义,为城市景观合理规划的科学决策提供有力支持。

本研究以快速城市化的深圳市西部地区为例,将 Landsat 5 反演获得的地表温度、NDVI、NDMI、ISA 以各指数平均值作为阈值划分不同等级,通过不同等级的指数叠加组合形成景观分类,以缓冲区分析方法建立各景观类型与周围环境之间的温度关系,分析并识别城市热岛“源-汇”景观。参考前人研究成果,构建降温效率函数,选择面积和形状两个方面的景观格局指数,定量分析城市热岛“汇”景观的降温效率对格局的响应。

1 研究区与数据处理

1.1 研究区概况

深圳市地处中国华南地区、广东省中南部沿海,南邻中国香港,东临大亚湾,西至珠江口伶仃洋与中山市、珠海市相望,北与东莞市和惠州市接壤,全市总面积 1996.85 km²,属珠江三角洲地区,多低丘陵地,间以平缓台地,西部是滨海平原,平原和台地地形约占总面积的 78%。深圳属亚热带海洋性季风气候,夏季长达 6 个月,春秋冬三季气候温暖,年平均温度 22.4℃,年日照时数 1975 h,年降水量 1948 mm。植被资源丰富,自然植被以亚热带常绿季雨林为主。将近全市面积的一半位于基本生态控制线之内,用作游览休闲用地或生态用地,城市建成区绿化率高达 45.08%。全市森林覆盖率达 41.2%。

本研究以深圳市西部地区为研究区(图 1),包括福田区、宝安区、南山区、罗湖区、光明新区和龙华新区的全部及龙岗区的西部区域。相对于东部而言,深圳市西部有着更密集的城市建成区,工业区和住宅区相对集中。按 2010 年第六次人口普查统计,所选研究区内人口数量占深圳市总人口 85.31%。因此,对本区域进行城市热环境研究意义更加重大。

1.2 数据来源与处理

本研究使用获取时间为 2010 年 12 月 23 日的 Landsat-5 深圳市西部遥感影像及与影像日期相符的深圳市气象数据。研究区范围内影像质量较优,无云量。

在对影像进行反射率校正、辐射校正和裁剪等预处理后,分别计算不同时期的 NDVI、DNMI 和用于计算不透水表面比率 ISA 的改进的归一化水体指数(Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI);并使用单通道算法计算 Landsat-5 影像的地表温度^[42];使用亚像元分解方法^[43]提取不透水表面比率 ISA 数据。

2 研究方法

2.1 “源-汇”景观划分

不同景观对“城市热岛”效应的作用不同,本研究设定城市景观中带来城市热岛效应的景观为“源”景观,缓解城市热岛效应的景观为“汇”景观。计算 LST、NDVI、NDMI、ISA 各自的平均值,其中 ISA 平均值 0.42(归一化处理后结果),LST 平均值 17.7℃,NDMI 的平均值 0.33,NDVI 的平均值 0.20,为了便于说明景观类型,将高于平均值的部分用 H 代替,低于平均值的部分用 L 代替,叠加指数图像进行城市景观类型划分(图 2),获

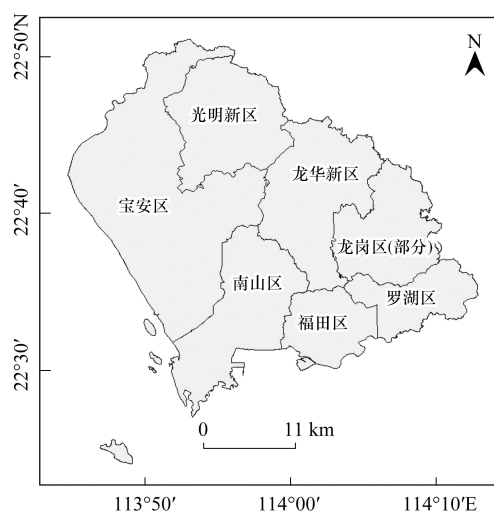


图 1 研究区位置示意图

Fig.1 The location of study area

得 16 类景观。城市景观类型划定后,建立景观与周围环境之间的温度关系,确定“源-汇”景观。

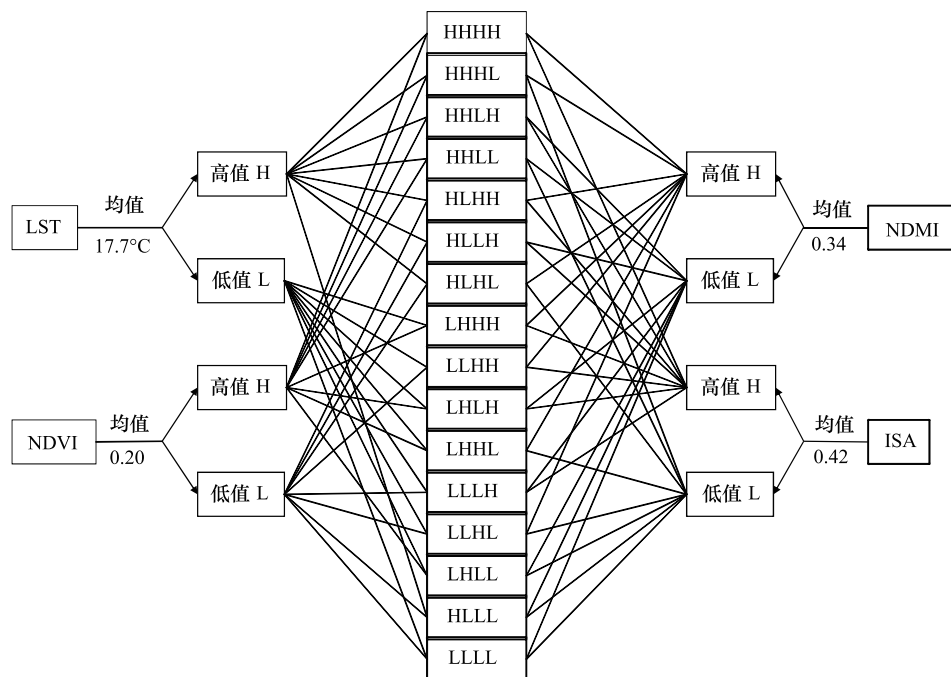


图 2 基于地表特征的景观划分方法

Fig.2 The methodology of landscape classification based on land surface characteristic

NDVI:归一化植被指数,Normalized Difference Vegetation Index;NDMI:归一化湿度指数,Normalized Difference Moisture Index;ISA:不透水表面,Impervious Surface Area;LST:地表温度,Land Surface Temperature;景观类型由固定顺序的 4 个地表特征的高(High,用 H 表示)值和低(Low,用 L 表示)值表示,如景观 HHHH,表示高 LST 值、高 NDVI 值、高 NDMI 值和高 ISA 值的景观,其他景观类型命名方法相同

本研究采用等距离缓冲区分析明晰“汇”景观的降温距离,根据所选数据分辨率(热红外波段均已重采样 30 m),设定 30 m 为缓冲区的间隔,以各景观边界为始向外延伸,分别做 30、60、90、120、150、180、210、240、270 m 和 300 m 的梯度缓冲区,比较分析景观内平均温度与其周围各梯度缓冲区内景观平均温度。我们设定相邻的两个缓冲区之间,温度差值在 0.2°C 之上,为显著降温效应;当相邻两个缓冲区温差低于 0.1°C,表明相互之间没有降温效应发生。有显著降温效应的景观确定为“汇”景观,同理提取景观类型中“源”景观。

2.2 景观降温效率评价及格局响应

景观的降温效率直接表征对城市热岛缓解的功能强弱,受景观格局影响与制约,随景观类型和景观格局的不同而存在差异。景观格局不同影响景观间能量与物质的交流,从而影响城市景观降温效率。

2.2.1 景观降温效率计算

参考 Xu^[24]关于城市热岛贡献指数(Contribution Index, CI)内涵的研究,该作者将源/汇景观与平均景观的温差和源/汇景观在整个区域的面积的乘积作为景观的贡献指数进行研究。但该指数忽略了源/汇景观的影响具有一定范围。根据本研究计算得知,部分“汇”景观的最大影响距离为 240 m,而在本研究区中,非“汇”景观像元距“汇”景观的最大距离达 1230 m,所以有部分“源”景观是不在“汇”景观的影响范围内。因此本研究构建降温效率为影响范围与景观自身的平均温差和影响范围面积与“汇”景观面积比的乘积。公式如下:

$$E_{cooling} = (T_b - T_a) \times \frac{A_b}{A_a} \quad (1)$$

式中, $E_{cooling}$ 为景观的降温效率, T_a 为景观内部的平均温度, T_b 为景观降温影响范围内的平均温度, A_b 为景观降温影响范围的面积, A_a 为景观内部的面积。温差越大,表明景观具有降温能力越强;而影响范围越大,说明

景观在降温过程中辐射面积大,两者结合能更好表达景观在降温过程中的效率。

为了探索“汇”景观各构成景观对整体降温效率的贡献程度,我们将温度与面积整合为贡献率指标,用以表征对“汇”景观的降温效率的贡献率。计算公式为:

$$C_i = \frac{\Delta T_i \times A_i}{\Delta T \times A} \quad (2)$$

式中, C_i 为景观的降温贡献率; ΔT_i 为 i 类景观类型影响范围与景观本身的平均温度差; A_i 为 i 类景观影响范围的面积; ΔT 为“汇”景观影响范围与其本身平均温度差; A 为“汇”景观降温影响范围。

2.2.2 景观指数选择与计算

大量的研究表明,城市景观的面积^[44-46]、几何形状^[47]、格局特征^[45]均对温度调节有一定影响。因景观格局对不同尺度的响应不同,本研究在景观水平上对面积指数和形状指数进行分析。计算结果显示,深圳市西部 2010 年城市热岛的汇景观面积最小 0.09 hm²,最大 34613.37 hm²。

形状指数(Shape Index)是表征斑块形状复杂程度的指标,通过计算某一斑块形状与面积之间的关系,并与标准参照形状(圆或正方形)进行比较分析。常见的斑块形状指数有两种:

$$S = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad \text{以圆为参照几何形状} \quad (3)$$

$$S = \frac{0.25P}{\sqrt{A}} \quad \text{以正方形为参照几何形状} \quad (4)$$

式中, S 为形状指数, P 是斑块周长, A 是斑块面积。本研究选择第二种以正方形为参照几何形状的方法进行计算。通过计算得知,2010 年深圳市西部城市热岛汇景观斑块形状指数从 1 到 45.53 不等。为探索不同大小的斑块面积对城市热岛效应降温效率的影响,我们将面积指数与形状指数分别划分为 5 个等级,并对不同等级的景观进行缓冲区分析以比较各等级斑块的降温效率的优劣。

3 结果分析

3.1 “源-汇”景观结构分析

通过景观类型等距离下缓冲区内的地表温度统计(表 1)发现,景观 LLLH、LLHL、LLHH、LHHL 和 LHHH 5 类景观具有明显的降温效应,识别为“汇”景观,约占研究区总面积的 45.5%,约 533 km²。“源”景观分别为 HLLL、HLLH、HHLL、HHLH 和 HHHL 5 类,约占研究区总面积的 47.8%,约 560 km²。另外还有约 6.7%的其他景观,这部分景观既没有明显的降温特征,也没有明显的增温特征,因此将其单独分为一类。图 3 为深圳市西部 2010 年的城市热岛“源-汇”景观。

通过景观分布图(图 3)可以看出,2010 年深圳市西部城市热岛的汇景观涵盖了城市景观中的大面积绿地和水域。同时,可以从图中看出,识别结果的绿色空间中存在部分源景观,说明这部分景观在实际中是降温功能的消费景观;同样,在大面积的城市建成区中,也有“汇”景观的存在,这部分景观实际上是降温功能的供给者。这与传统的基于土地利用/土地覆被识别“源-汇”景观不同,往往是最容易被忽略的部分。通过统计分析,面积较大的景观为低 LST、高 NDVI 值、高 NDMI 值和低 ISA 值和高 LST、低 NDVI 值、低 NDMI 值和高 ISA 值的两种景观,即 LHHL 和 HLLH 两类,而这两种景观同样是“汇”景观和“源”景观的主要组成部分。

3.2 “汇”景观降温效率

在城市热岛汇景观识别的基础上,对其进行等距离缓冲区分析,距离同样设定为 30 m,由图 4 可以看出,当缓冲区距离超过 180 m 时,相邻间隔的温度差值小于 0.1℃,因此,“汇”景观的降温范围为距其 180 m 范围内的景观。

在 ArcGIS 中提取影响范围内的景观并进行统计分析,获得该区域的平均温度值为 18.35℃,而“汇”景观的平均温度为 16.62℃;“汇”景观的像元数为 592370,影响范围内的像元数为 526573,通过公式(1)计算得到

“汇”景观的整体降温效率为 1.54。

表 1 2010 年深圳市西部各类型景观不同距离 (m) 缓冲区内平均温差 (°C)

Table 1 The average temperature difference (°C) in different distance (m) buffer zones of different landscape types in western Shenzhen in 2010

景观类别 Landscape types	景观地表温度 LST of landscape	1—30	30—60	60—90	90—120	120—150	150—180	180—210	210—240	240—270	270—300
LLLL	17.17	0.08	0.06	0.07	0.08	0.05	0.06	0.06	0.04	0.04	0.02
LLLH	17.10	0.3	0.23	0.17	0.14	0.08	0.01	-0.01	0.02	0.12	-0.06
LLHL	15.73	0.77	0.37	0.29	0.21	0.14	0.08	0.07	0.04	0.04	0.02
LLHH	16.63	0.22	0.29	0.28	0.21	0.13	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
LHLL	17.15	0.06	0.04	0.06	0.09	0.08	0.08	-0.17	0.31	0.04	0.05
LHLH	17.12	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04
LHHL	16.6	0.49	0.4	0.27	0.18	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
LHHH	16.11	0.43	0.3	0.32	0.27	0.21	0.17	0.13	0.13	0.08	0.05
HLLL	18.65	-0.1	-0.14	-0.15	-0.14	-0.1	-0.09	-0.07	-0.07	-0.06	-0.05
HLLH	18.87	-0.69	-0.47	-0.32	-0.21	-0.03	-0.15	-0.04	0.05	-0.15	0
HLHL	18.23	0	0.03	0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.02	-0.01
HLHH	18.44	-0.07	-0.02	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06	-0.08	-0.08	-0.07	-0.07
HHLL	18.65	-0.18	-0.18	-0.2	-0.18	-0.14	-0.1	-0.09	-0.07	-0.06	-0.06
HHLH	18.7	-0.1	-0.1	-0.13	-0.14	-0.13	-0.11	-0.1	-0.08	-0.06	-0.06
HHHL	18.33	-0.16	-0.12	-0.15	-0.12	-0.08	-0.05	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05
HHHH	18.39	-0.04	-0.03	-0.05	-0.07	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06

LST: 地表温度, Land Surface Temperature; 景观类型由固定顺序的 4 个地表特征的高 (High, 用 H 表示) 值和低 (Low, 用 L 表示) 值表示, 如景观 HHHH, 表示高 LST 值、高 NDVI 值、高 NDMI 值和高 ISA 值的景观, 其他景观命名方法相同

“汇”景观由 5 类景观组成, 为了探索这 5 个不同景观类型的降温效率, 分别提取各景观降温距离内的平均温度和像元数, 计算获得各景观的降温效率 (图 5)。其中, 景观类型 LHHH, 即低 LST、高 NDVI 值、高 NDMI 值和高 ISA 值的景观降温效率最高。经过与原始影像对比分析发现, 该景观主要是阴影区域, 大部分位于有绿色植被的不平坦地表。该景观的降温距离也较远达 240 m, 超过其他景观的 150 m 距离, 直接结果是影响面积远大于其他景观, 也是其效率高的原因之一。其中高归一化湿度指数是 5 类景观中 4 类的主要因素特征, 说明水分在城市热岛缓解中存在重要作用。

由图 5 可以看出, LHHH 类景观对整体的“汇”景观降温效率贡献较大, 5 类景观的贡献率按顺序呈上升趋势。虽然 LHHL 类景观自身降温效率较低, 但基于其温度差与影响面积的贡献率反而要高于其他 3 类景观。

3.3 “汇”景观降温效率的面积指数响应

景观斑块大小影响斑块中能量的聚集作用。本研究中将不同面积大小的斑块分类进行分析, 为便于统计

分析, 以图斑像元多少划分等级, 分为 5 类, 分别为: 小面积 (单个像元大小, 0.09 hm^2)、较小面积 (2—10 个像元大小, $[0.18, 0.9]\text{ hm}^2$)、中等面积 (11—100 个像元大小, $[0.99, 9]\text{ hm}^2$)、较大面积 (101—1000 个像元大

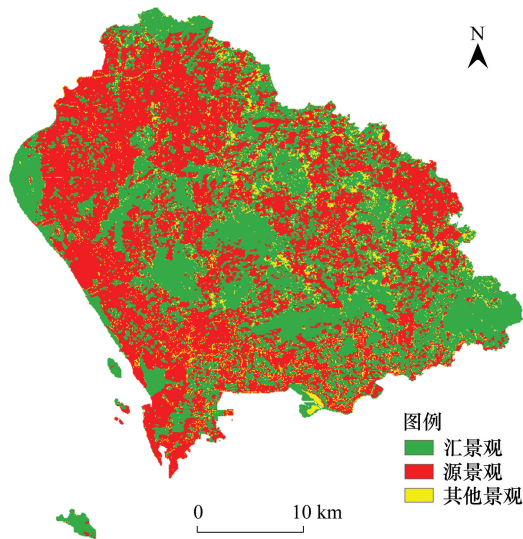


图 3 2010 年深圳市西部“源-汇”景观分布

Fig.3 The distribution of “source-sink” landscape in western Shenzhen in 2010

小, $[9.09, 90] \text{ hm}^2$)、大面积(大于 1000 个像元大小, 面积大于 90 hm^2)。基于分类数据, 分别做缓冲区分析, 仍然以 30 m 为距离间隔, 分析不同缓冲区内温度的变化。

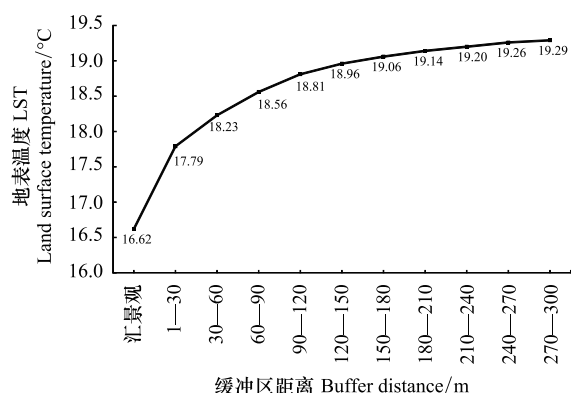


图4 “汇”景观不同缓冲区内温度值

Fig. 4 The temperature value in different buffer zones of “sink” landscape

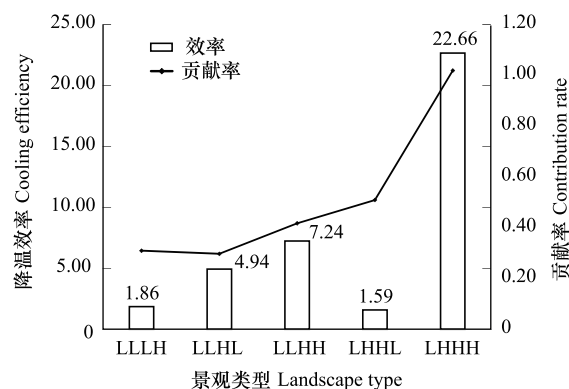


图5 “汇”景观不同构成景观的降温效率与贡献率

Fig. 5 The cooling efficiency and contribution index of the component landscapes of “sink” landscape

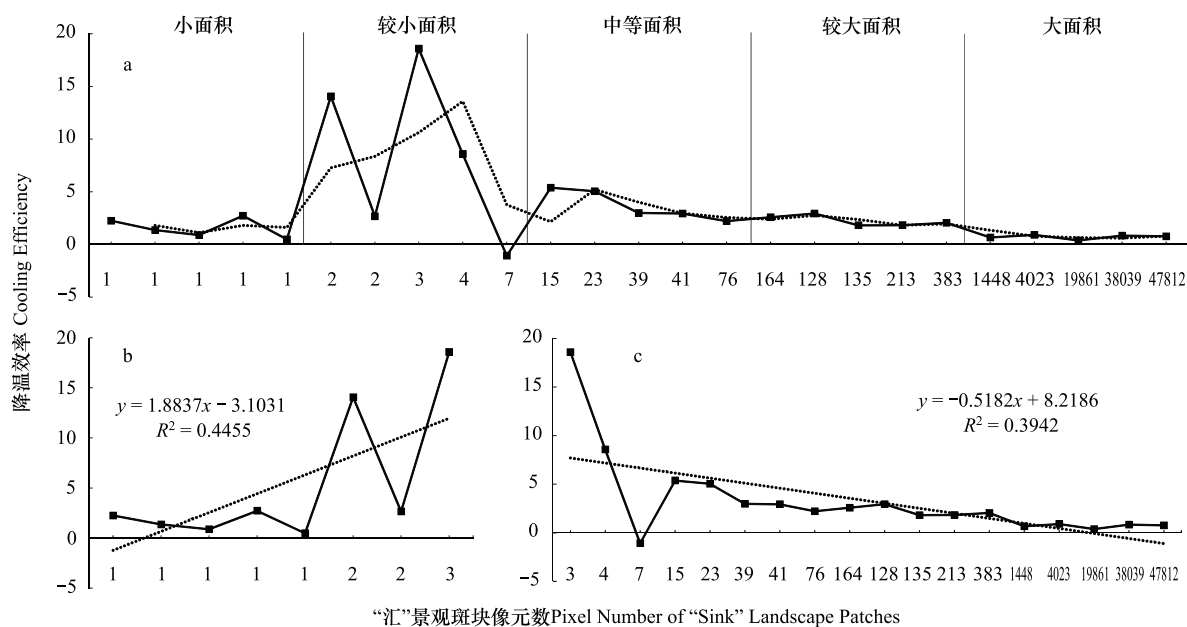


图6 随机取样的不同面积大小的景观降温效率分布(a)及拟合函数(b和c)

Fig. 6 The cooling efficiency distribution (a) and fitting function (b and c) of landscapes with different areas from random sampling

分析获得单个像元大小的小面积“汇”景观斑块降温最大距离最短, 仅为 30 m, 其他类型的“汇”景观最大降温距离达到 120 m。根据降温距离结果, 提取降温范围内的平均温度与面积, 计算获得不同面积大小的景观的降温效率。结果表明, 5 类景观随面积由小到大降温效率分别为 1.22、7.39、3.62、1.76 和 0.76。面积大小为 $[0.18, 0.9] \text{ hm}^2$ 的“汇”景观类型降温效率最高。同时整体降温效率随着面积变大而呈现先增后减趋势, 面积最大的景观类型反而降温效率最低。

为了探索不同面积类型的降温效率之间的差异情况, 在不同面积类型中随机抽取等量的斑块进行效率计算。通过单因素方差分析, 发现小面积类与中等面积类、中等面积类与大面积类及较大面积类与大面积类之

间降温效率在 0.05 水平有显著差异,其余各类之间没有显著差异。由图 6(a)中可看出,在较小面积类型中斑块降温效率存在波动,但整体移动平均趋势线(图 6 中虚线)与类型降温效率分布相似。在降温效率的最高值处将降温效率趋势分为两部分,分别进行线性拟合,获得降温效率趋势方程(图 6b 和 6c)。

3.4 “汇”景观降温效率的形状指数响应

景观斑块的形状是景观的重要特征之一。斑块形状因其复杂性、动态性,难以确切描述,多用景观指数表示。斑块形状与边界特征影响着斑块间物质和能量的交换。通过计算得知,2010 年深圳市西部城市热岛“汇”景观斑块形状指数从 1 到 45.53 不等,且随着形状指数增大,斑块数量逐渐减少。本研究将形状指数分为 5 级:简单(形状指数为 1)、较简单(形状指数为(1,4])、中等(形状指数为(4,7])、较复杂(形状指数为(7,10])、复杂(形状指数大于 10)。对各级别形状指数的“汇”景观进行缓冲区分析,以 30 m 为距离间隔。

计算结果表明,形状指数为 1 的“汇”景观降温距离最短为 30 m,而形状指数大于 1 的“汇”景观降温距离一样,均为 120 m。不同面积大小的景观斑块的降温效率,由简单到复杂分别为 1.07、2.41、1.10、0.80 和 0.74。结果表明,较简单的形状,即形状指数为(1,4]的“汇”景观降温效率最高。同时整体降温效率随着形状指数增大而呈现先增后减趋势,形状最复杂的景观类型反而降温效率最低,为 0.74。

同面积指数一样,在各形状类型中随机抽样,通过单因素方差分析,计算各类中不同面积下的降温效率,发现较简单类与其他各类型降温效率在 0.05 水平均有显著差异,而其他各类之间无显著差异。由图 7(a)中可看出,斑块降温效率在不同形状下表现与各类型降温效率存在一定差异,可能由于各斑块所处位置及周围景观影响,但整体趋势与形状类型分布相似。在降温效率的最高值处将降温效率分为两部分,分别进行线性拟合,获得降温效率趋势方程(图 7b 和 7c)。形状指数在 1.20 之前,降温效率呈上升趋势;在 1.20 之后则呈下降趋势,且整体下降趋势较上升部分要缓,主要由于形状指数较复杂的景观降温效率均较低。

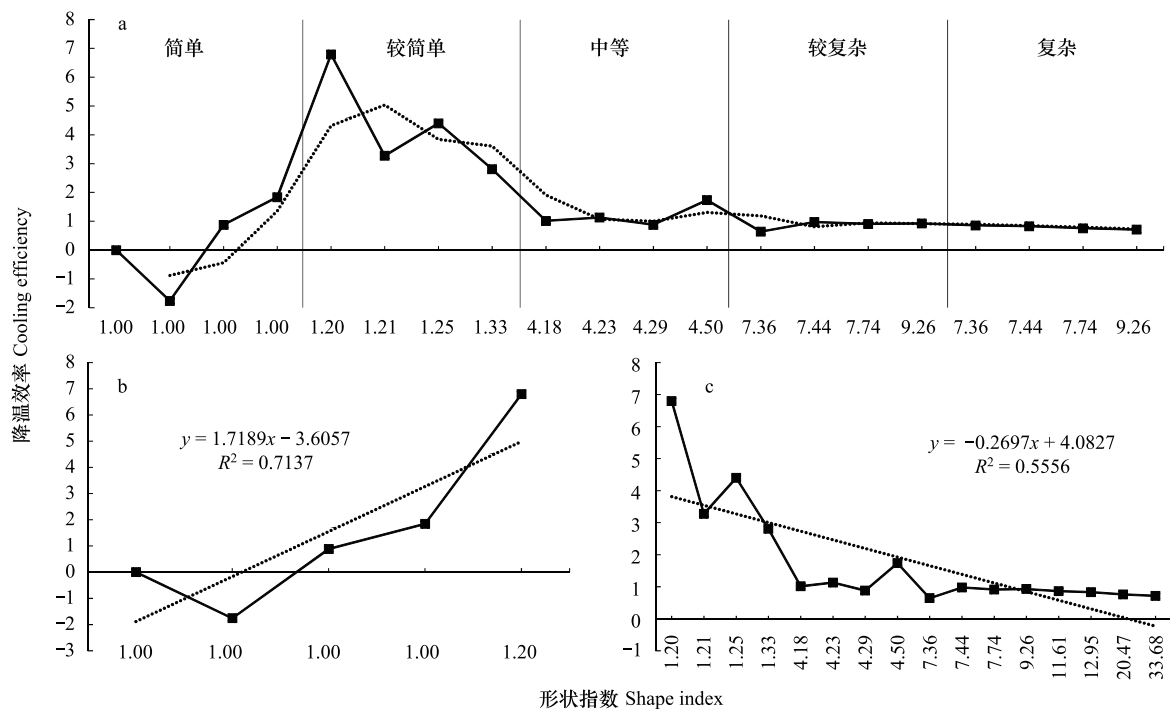


图 7 随机取样的不同形状指数的景观降温效率分布(a)及拟合函数(b和c)

Fig.7 The cooling efficiency distribution (a) and fitting function (b and c) of landscapes with different shape indexes from random sampling

4 讨论

考虑功能特征的城市景观分类应作为城市景观对热岛效应响应机理研究的基础。根据城市热岛效应影响因子的“源-汇”景观划分方法的定向性更有利于结果的合理性。传统以土地利用/土地覆被作为城市热岛“源-汇”景观基础的方法,往往忽略景观内部的异质性。如城市建成区中的绿色屋顶或景观阴影区,在城市热岛效应缓解方面也具有一定的作用,但按照土地利用进行源汇景观划分时常常忽略这些功能性景观的存在。城市热岛的景观生态过程是动态的,不是一成不变的。同一土地利用/土地覆被的地块在不同条件下扮演的角色可能不同,或“源”或“汇”。因此,在划分城市热岛“源-汇”景观时,应充分考虑景观内部的异质性及与周围景观的关系。

在快速城市化区域重建“汇”景观是低成本措施,大面积重建更加难上加难。因此,降温效率的评价能为城市“汇”景观的合理规划与重建提供实际数据支持。我们的研究表明,大面积的降温空间未必有小面积的降温空间的降温效率高。极小面积与极简单形状的降温空间虽然有较高的降温效率,但通过研究可知,其辐射距离最小。合理的降温空间面积与形状的设置,能有效提高空间降温效率。但不要忽略小面积的城市热岛降温空间,因为其与周围环境景观的充分接触,能有效提供降温功能。当然所有“汇”景观的降温功能都有一定的距离限制,而减少城市中源汇景观的距离,增加“汇”景观影响范围中的源景观比例,能够充分发挥“汇”景观降温功能。

本研究对景观划分与降温效率进行了探讨,但仍有不足与限制存在。景观的划分基于不同的地表特性值,而其阈值的确定对景观划分有很重要的影响,本研究从整个研究区考虑,采用不同地表特性在整个研究区的平均值,其有效性仍需探讨。已有学者通过不同的阈值提取“汇”景观的主要特性^[8],但该阈值的大小,仍需考虑实际的环境条件与需求。对不同面积和形状的“汇”景观进行降温效率评价时,各类别的影响范围内,并不全是“源”景观,也有部分“汇”景观的存在,这部分汇景观对结果存在一定的影响。景观往往是不规则的,其降温效应存在一定的方向性,不同方向上面积和形状的不同会造成对周围环境影响的差异性,影响距离不同或影响范围大小有差异,而这则需要进一步的结合实地数据进行研究。

5 结论

基于“源-汇”景观理论,以快速城市化过程的深圳市西部为研究区域,构建了面向城市热岛效应的源汇景观识别方法并对不同面积和形状情况下的汇景观进行降温效率评价。评价结果是以像元分辨率为 30 m 的 Landsat-5 遥感影像提取的 NDVI、NDMI、ISA 和 LST 等指数为研究基础。研究表明,在景观类型水平,较小面积和形状指数类型的“汇”景观降温效率最佳,而大面积和形状比较复杂的“汇”景观反而降温效率最低,但斑块水平的“汇”景观降温效率仍存在差异,需要在考虑“汇”景观之间的影响和周围环境的情况下进一步探讨。城市降温景观应注重格局的配置,增加城市中城市热岛“源”、“汇”景观的邻近度,提高“汇”景观的降温效率,从而有效缓解城市热岛效应。

参考文献 (References):

- [1] Landsberg H E. The urban climate. New York: Academic press, 1981.
- [2] Oke T R. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 1973, 7(8): 769-779.
- [3] 刘焱序, 彭建, 王仰麟. 城市热岛效应与景观格局的关联: 从城市规模、景观组分到空间构型. *生态学报*, 2017, 37(23): 7769-7780.
- [4] 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.
- [5] 彭少麟, 周凯, 叶有华, 栗娟. 城市热岛效应研究进展. *生态环境*, 2005, 14(4): 574-579.
- [6] 谢苗苗, 王仰麟, 付梅臣. 城市地表温度热岛影响因素研究进展. *地理科学进展*, 2011, 30(1): 35-41.
- [7] Sailor D J. Simulated urban climate response to modifications in surface albedo and vegetative cover. *Journal of applied meteorology*, 1995, 34(7): 1694-1704.
- [8] Arnfield A J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 2003, 23(1): 1-26.

- [9] 苏伟忠, 杨英宝, 杨桂山. 南京市热场分布特征及其与土地利用/覆被关系研究. 地理科学, 2005, 25(6): 697-703.
- [10] 江樟焰, 陈云浩, 李京. 基于 Landsat TM 数据的北京城市热岛研究. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(2): 120-123.
- [11] 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.
- [12] 曹璐, 胡瀚文, 孟宪磊, 李俊祥. 城市地表温度与关键景观要素的关系. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2329-2334.
- [13] 钱乐祥, 崔海山. 归一化水汽指数与地表温度的关系. 地理研究, 2008, 27(6): 1358-1366.
- [14] 樊智宇, 詹庆明, 刘慧民, 杨晨, 夏宇. 武汉市夏季城市热岛与不透水面增温强度时空分布. 地球信息科学学报, 2019, 21(2): 226-235.
- [15] 林云杉, 徐涵秋, 周榕. 城市不透水面及其与城市热岛的关系研究——以泉州市区为例. 遥感技术与应用, 2007, 22(1): 14-19.
- [16] 唐非, 徐涵秋. 城市不透水面与地表温度定量关系的遥感分析. 吉林大学学报: 地球科学版, 2013, 43(6): 1987-1996, 2017-2017.
- [17] Weng Q H, Lu D S, Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment, 2004, 89(4): 467-483.
- [18] Chen X L, Zhao H M, Li P X, Yin Z Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. Remote Sensing of Environment, 2006, 104(2): 133-146.
- [19] Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover. Remote Sensing Reviews, 1994, 9(1/2): 161-173.
- [20] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. Remote Sensing of Environment, 2002, 79(2/3): 213-224.
- [21] 陈峰, 何报寅, 龙占勇, 杨小琴. 利用 LandsatETM+分析城市热岛与下垫面的空间分布关系. 国土资源遥感, 2008, 20(2): 56-61, 67-67.
- [22] Yuan F, Bauer M E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, 2007, 106(3): 375-386.
- [23] 徐涵秋. 城市不透水面与相关城市生态要素关系的定量分析. 生态学报, 2009, 29(5): 2456-2462.
- [24] Xu S L. An approach to analyzing the intensity of the daytime surface urban heat island effect at a local scale. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 151(1/4): 289-300.
- [25] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 巩杰. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法——景观空间负荷对比指数. 生态学报, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [26] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义. 生态学报, 2006, 26(5): 1444-1449.
- [27] 高静, 龚健, 李靖业. “源-汇”景观格局的热岛效应研究——以武汉市为例. 地理科学进展, 2019, 38(11): 1770-1782.
- [28] 张宇, 陈龙乾, 王雨辰, 陈龙高, 周天建, 张婷. 基于 TM 影像的城市地表湿度对城市热岛效应的调控机理研究. 自然资源学报, 2015, 30(4): 629-640.
- [29] 唐泽, 郑海峰, 任志彬, 崔明星, 何兴元. 城市地表热力景观格局时空演变——以长春市为例. 生态学报, 2017, 37(10): 3264-3273.
- [30] 杨朝斌, 何兴元, 张树文, 唐俊梅, 卜坤, 于灵雪, 颜凤芹. 基于 Landsat8 的城市热岛效应与地表因子关系研究——以长春市为例. 干旱区资源与环境, 2016, 30(12): 110-115.
- [31] 陈康林, 龚建周, 陈晓越, 李天翔. 广州城市绿色空间与地表温度的格局关系研究. 生态环境学报, 2016, 25(5): 842-849.
- [32] 裔传祥, 胡继超, 李小军. 土地覆盖类型对城市热岛效应的响应分析. 测绘通报, 2018, (1): 72-76, 116-116.
- [33] Cao X, Onishi A, Chen J, Imura H. Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. Landscape and Urban Planning, 2010, 96(4): 224-231.
- [34] Buyantuyev A, Wu J G. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. Landscape ecology, 2010, 25(1): 17-33.
- [35] 邬建国. 景观生态学——概念与理论. 生态学杂志, 2000, 19(1): 42-52.
- [36] 马勇刚, 塔西甫拉提·特依拜, 黄粤, 杨金龙. 城市景观格局变化对城市热岛效应的影响——以乌鲁木齐市为例. 干旱区研究, 2006, 23(1): 172-176.
- [37] 王耀斌, 赵永华, 韩磊, 奥勇, 蔡健. 西安市景观格局与城市热岛效应的耦合关系. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2621-2628.
- [38] 袁振, 吴相利, 臧淑英, 吴长山, 李苗. 基于 TM 影像的哈尔滨市主城区绿地降温作用研究. 地理科学, 2017, 37(10): 1600-1608.
- [39] Feyisa G L, Dons K, Meilby H. Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. Landscape and Urban Planning, 2014, 123: 87-95.
- [40] 晏海. 城市公园绿地小气候环境效应及其影响因子研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [41] 程晓云. 绿色和蓝色景观对城市热岛的缓解效应[D]. 上海: 华东师范大学, 2014.
- [42] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D22): 4688.
- [43] Phinn S, Stanford M, Scarth P, Murray A T, Shyy P T. Monitoring the composition of urban environments based on the Vegetation-Impervious Surface-Soil (VIS) model by sub-pixel analysis techniques. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(20): 4131-4153.
- [44] 周东颖, 张丽娟, 张利, 范怀欣, 刘栋. 城市景观公园对城市热岛调控效应分析——以哈尔滨市为例. 地域研究与开发, 2011, 30(3): 73-78.
- [45] 栾庆祖, 叶彩华, 刘勇洪, 李书严, 高燕虎. 城市绿地对周边热环境影响遥感研究——以北京为例. 生态环境学报, 2014, 23(2): 252-261.
- [46] Chang C R, Li M H, Chang S D. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. Landscape and Urban Planning, 2007, 80(4): 386-395.