

# 基于景观格局的常熟市地表热环境季节变化特征

王方<sup>1,2</sup> 牛振国<sup>1\*</sup> 许盼盼<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院遥感与数字地球研究所遥感科学国家重点实验室,北京 100101; <sup>2</sup>江西理工大学,江西赣州 341000)

**摘要** 随着城市化进程的加快,城市热岛越来越受到人们的关注,但多数研究集中在超大和大型城市,而对中小城市的研究较少。随着城镇化发展,中小城市的生态环境问题也逐渐成为关注的焦点。本文以长江三角洲地区常熟市为研究对象,利用 Landsat-8 数据分析了城市热岛的季节变化特征,并结合同年份的土地利用类型数据,从景观格局角度分析不同用地类型对城市热岛的影响。结果表明:水体、湿地、林地等用地对城市热岛的影响存在阈值,超过该阈值后影响不再显著。城市热岛的季节变化分析表明,常熟市冬季热岛强度最大,水田、旱地的暖岛效果明显;而夏季热岛强度最小,水体的冷岛效果明显,表明常熟地表热环境较佳。利用地理探测器方法对建设用地温度的影响因子分析表明,不同土地利用类型交互作用影响建设用地的地表温度,其中夏季水体的影响最大,而冬季旱地的影响最大。研究结果可为常熟市生态环境建设提供重要的参考依据。

**关键词** 城市热岛; 村镇环境; 景观格局; 地理探测器; 中小城市

**Seasonal variation of the surface thermal environment in Changshu City based on landscape pattern.** WANG Fang<sup>1,2</sup>, NIU Zhen-guo<sup>1\*</sup>, XU Pan-pan<sup>1</sup> (<sup>1</sup> State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; <sup>2</sup> Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China).

**Abstract:** The phenomenon of urban heat island has attracted people's attention widely, especially in mega cities, while little attention has paid to small and medium-sized cities. The area and spatial pattern of various land-use types have different impacts on urban island, but we have little knowledge about the quantitative relationship between them, and small cities usually have different land-use patterns from mega cities. Changshu City close to Shanghai was taken as a representative small city in our study to analyze the relationship between urban heat island and various land-use types by using landscape ecology approach. The time-series HJ satellite images in 2013 were employed to map land use of Changshu, and multi-temporal Landsat-8 OLI images were used to inverse the seasonal surface temperature. The results indicated that the intensity of heat island of Changshu was the strongest in winter due to the "warm island" effect of paddy field and dryland, while the weakest in summer due to water body's "cold island" effect. Therefore, Changshu had a relatively favorable surface thermal environment. Meanwhile, the results also showed that there existed a threshold, beyond which the influence of waters, wetlands, forests on the urban heat island was no longer significant. We analyzed the impact factors of the construction land surface temperature by using GeogDetector approach. The results showed that water body had the greatest impact on construction land surface temperature in summer, while dryland had the greatest impact in winter. Our results provide suggestions for urban planning to maintain a better eco-environment in Changshu.

**Key words:** urban heat island; village and town environment; landscape pattern; GeoDetector; small and medium-sized cities.

“十二五”科技支撑项目(2012BAJ24B01)资助。

收稿日期: 2016-03-24 接受日期: 2016-09-18

\* 通讯作者 E-mail: niuzg@radi.ac.cn

城市热岛是指城区温度明显高于郊区温度的现象(苏泳娴, 2011), 由 Howard(1833) 最早发现并记录下来。由于城市热岛在很大程度上取决于城市规模(主要指人口规模)(Karl *et al.*, 1988; Oke, 1989), 所以城市规模越大, 热岛强度越强。虽然热岛强度与人口数量的对数呈线性相关, 但研究表明更可能是因为城市用地类型的改变(Oke, 1973)。Landsberg(1972) 对哥伦比亚新城镇的研究显示, 植被的减少, 取而代之为石板和不透水层, 导致了空气和土壤的热流通障碍, 使得地表和空气温度升高。Yuan等(2007) 对比了不透水层、NDVI 与热岛强度的相关性, 表明不透水层与热岛相关性更强, 且季节性变化很小。

城市热岛的形成及其影响因子是城市生态环境研究的重要方面。研究表明, 增大水体、植被的面积可以缓解城市热岛效应(Ca *et al.*, 1998; 梁保平, 2015)。然而, 由于城市用地紧张, 通过增大绿地规模来减缓热岛效应变得困难。如何根据城市已有状况, 最大限度地缓解城市热岛, 成为新的课题。从景观学的角度研究, 利用合理的景观布局和规划来缓解热岛受到人们的关注。在景观格局对气温调节方面, Coseo等(2014) 通过对芝加哥城市热岛影响因素的研究得出, 不透水面比率和数目可以解释 68% 的气温变化。北京研究区内空气温度 86.7% 的变化可以由建筑区面积、植被覆盖、天空可视角、到公园和水体的距离来解释(Yan *et al.*, 2014)。Li等(2012) 以北京五环以内为研究对象, 得出绿地景观面积百分比每增加 10%, 地表温度可降低 0.86 °C。陈方敏(2010) 对上海市人民广场为中心, 东西梯度上的 16 个公园为研究对象, 研究发现城市用地斑块面积及其密度增大时, 公园内的环境温度升高, 城市化水平越高, 公园的降温作用越明显; 但是对不同景观在多大限度以内可以缓解城市热岛, 如何发挥景观的最大作用还需要探讨。

目前对城市热岛的研究, 大多集中在超大城市(北京、上海、广州等)(Wen *et al.*, 2004; Huang *et al.*, 2010), 对中小城市的关注甚小。随着我国城镇化的快速发展, 中小城镇成为吸纳人口的中坚力量(辜胜阻等, 2014), 城市用地的扩张必然会引起地表用地类型的变化, 进而改变城市的热岛格局。为避免走大城市盲目扩张, 一味追求经济发展的旧路, 保证经济发展和绿色宜居环境保持同步协调, 对中小城市的生态环境需要加强关注。近年来, 常熟

市凭借着得天独厚的区位优势——位于中国经济最活跃的上海经济区域, 引进外资, 构建功能完善的经济开发区, 形成以造纸、能源、建材、化工为主导的临江产业集群。与此同时, 保护常熟市生态环境、关注城市气候、建立宜居环境, 是其经济可持续发展不可或缺的条件。常熟市作为中国经济发达区域(长江三角洲) 中的中小城市, 具有典型的代表性。本文以常熟市为研究对象, 基于多期遥感数据, 分析城市热岛的季节变化特征; 探究不同用地类型空间格局对城市热岛的影响; 研究可以弥补在中小城市地表热环境研究方面的不足, 为中小城市的生态环境可持续发展提供科学依据。

## 1 研究地区和研究方法

### 1.1 研究区概况

常熟市位于中国第一大经济区—长江三角洲地区, 素有“江南福地”的美称, 四季分明, 雨量充沛, 年均气温 15.4 °C, 属于亚热带季风气候, 是中国生态城市之一。主要种植农作物有水稻、小麦、棉花, 兼有油料作物、蔬菜、瓜果等。早稻在 4 月上旬插秧, 晚稻在 7 月下旬插秧, 11 月上旬播种小麦。近些年由于常熟市发展迅速, 随着经济的显著增长, 热岛效应也逐渐加重(董良鹏等, 2014)。极端高温曾达 40.2 °C(2013 年 7 月 26 日), 极端低温 -3.7 °C(2013 年 1 月 18 日和 12 月 30 日)。极端地面高温 66.7 °C, 极端地面低温 -2.2 °C(<http://www.cs-travel.com/detail?id=20007>)。

### 1.2 土地利用分类

由于气候的季节变化, 传统的基于单期遥感影像获得的地表覆盖分类具有很多不确定性。而随着多时相遥感影像的获取, 形成了对地表进行连续动态监测的能力, 由此可以将基于单期遥感影像得到的地表覆盖进一步分析得到地表利用类型。我国环境与灾害监测预报小卫星星座 A、B 星(HJ-1A/1B 星) 于 2008 年 9 月发射, 其 CCD 数据的空间分辨率为 30 m, 重访周期达到 2 天。是目前唯一同时具备高时间分辨率与中高空间分辨率的数据, 在对不同地表类型的季节性特征的监测和信息提取等方面极具优势。本文利用 2013 年全年环境星影像, 去除研究区域覆盖不完整和云量较大的影像, 同时保证每月最少 1 景, 共得到 26 景影像用于土地利用的分类。考虑不同用地类型的生态功能特征, 将常熟市土地利用分为 6 类: 水体、建设用地、湿地、旱地、水

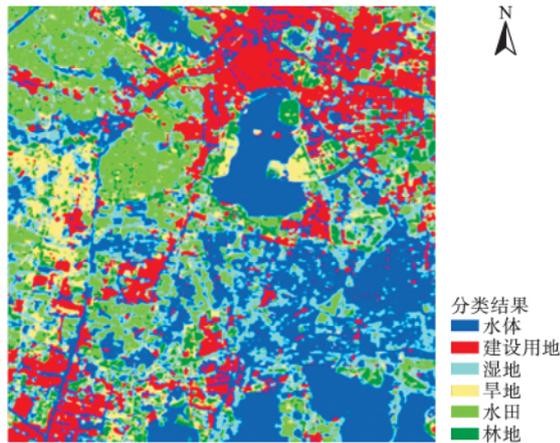


图 1 常熟市土地类型分类结果图  
Fig.1 Map of land use classification

田、林地,如下图 1 所示。采用支持向量机机器学习方法完成常熟市土地类型分类,并基于地面调查方式进行了验证,分类总体精度为 83%。

### 1.3 地表温度反演

地表温度(LST)是研究地球表面与大气环境能量交换的重要指标,与人类生活的生物圈息息相关,是热岛形成和评价的重要参数。本文选取 2013 年 4 月 14 日、7 月 19 日、11 月 8 日以及 2014 年 1 月 27 日的 Landsat-8 数据进行地表温度反演,分别代表春夏秋冬 4 个季节的城市地表温度。地表温度反演采用大气校正法(辐射传输方程法),即首先估算出卫星过境时大气对地表热辐射的影响,然后从由卫星传感器观测计算得到的热辐射总量中减去这部分影响,将得到的结果转化为相应的地表温度(李福建等,2009)。

### 1.4 热岛强度

由于选取的 4 幅研究影像的季节不同,伴随着影像获取的大气条件、太阳高度角、传感器性能也会不同。为了增强 4 幅影像间热岛强度的可比性,对地表温度反演结果进行归一化处理,如公式(1)所示(盛辉等,2010)。热岛强度是一个相对温度的概念,将 4 幅影像以研究范围内各自的最低温度为参照,经过归一化处理之后的取值,作为各像元的热岛强度。对图像进行归一化处理,在一定程度上增加了不同时间影像间的可比性,但是并不能完全消除由于时相差异带来的误差。

$$N = \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (1)$$

式中:  $T_i$  为像元温度,  $T_{\min}$ 、 $T_{\max}$  为研究区中像元的最

表 1 热岛强度的划分阈值

Table 1 Threshold value of heat island intensity

分区	N 值
强热岛区	0.8~1.0
热岛区	0.6~0.8
正常区	0.4~0.6
冷岛区	0.2~0.4
强冷岛区	0~0.2

小和最大像元温度,  $N$  为每个像元归一化后的值,取值范围为  $[0, 1]$ 。然后根据等差级数,将  $N$  值进行密度分割,划分为 5 个等级,分别视作不同的热岛强度(表 1)。

### 1.5 景观格局方法和指标

为了定量描述和分析斑块的空间特征及其与地表温度的相关性,引入景观格局指标。景观格局一般是指其空间格局,即大小和形状各异的景观要素在空间上的排列组合,包括景观组成单元的类型、数目以及空间分布与配置(邬建国,2007)。景观指标为高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标;适合定量表达景观格局和生态过程之间的空间分析方法(肖笃宁,2010)。根据描述对象的等级,景观指标可分为斑块水平指数、斑块类型水平指数、景观水平指数。本文在研究常熟市地表温度季节性变化时,分别将研究区按用地类型划分为 6 种类型斑块(水体、建设用地、湿地、旱地、水田、林地),以及按热岛强度将研究区划分为 5 种温度斑块(强热岛、热岛、正常、冷岛、强冷岛),同时引入不同景观尺度的景观指数(表 2)。在研究不同用地类型斑块温度与景观指数相关性时,由于平均斑块面积(MPS)、类型面积(CA)、最大斑块面积(LPS)、异质性指数(SDI)、斑块数(NP)针对各用地类型在不同季节都是固定值,彼此之间不具备可比性。因此选择从斑块水平来分析不同用地类型斑块温度与 S 和 SI 的相关性。为了研究常熟市热岛强度的季节性变化,从温度斑块的角度,利用 MPS、CA、LPS 来分析不同热岛强度带之间的变化,引入 SDI、NP 分析整个研究区破碎度的季节性变化。各指数的解释如下表 2 所示。

### 1.6 地理探测器分析

地理探测器是由中国科学院地理科学与资源研究所王劲松等(2010)开发的,用来探测疾病发生率和可能的风险因子在空间分布上的一致性程度,在考虑单个影响因子的作用力的同时,也考虑了不同

表 2 景观格局指标及含义

Table 2 Landscape index used in this paper

	指标	全称	简称	公式及含义
斑块水平指数	斑块大小	Square	<i>S</i>	$S=s$ , 以平方米( $m^2$ ) 或公顷( $hm^2$ ) 来度量
	斑块形状	Shape Index	<i>SI</i>	$SI = \frac{L}{2\sqrt{\pi A}}$ $L$ 为斑块边界实际周长, $A$ 为同面积圆周。 $SI$ 越大, 形状越复杂
斑块类型水平指数	平均斑块面积	Mean Patch Size	<i>MPS</i>	$MPS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$ $n$ 为分析尺度上对应斑块总数, $S_i$ 为斑块面积。反映破碎度和异质性
	类型面积	Class Area	<i>CA</i>	$CA = \sum_{i=1}^n S_i$ $n$ 为某一类型斑块总数, $S_i$ 为斑块面积
	最大斑块面积	Largest Patch Index	<i>LPS</i>	$LPS = \max\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ , 代表某一斑块类型中面积最大的斑块, 常用于确定优势类型等
景观水平指数	斑块数	No. of Patch	<i>NP</i>	$NP = n$ , 类型或景观尺度上斑块的数目, 用来描述景观的异质性, 与破碎度有很好的正相关性
	异质性指数	Shannon' s Diversity Index	<i>SDI</i>	$SDI = - \sum P_i \ln P_i$ $P_i$ 为每一类型所占景观总面积的比例。用来描述斑块的多样性, 值越大, 异质性越高。只有一个斑块时, 取值为 0

因子交互影响的作用( 湛东升等 2015) 。基于景观指标等方法进行的逻辑相关分析, 仅限于各个因子之间的单独作用分析, 而这些影响因子之间, 也往往存在相互作用。因此采用地理探测器方法, 以建设用地的温度为目标, 来分析各景观因子对建设用地温度的影响。在本次研究中, 将讨论水体、湿地、旱地、水田、林地对建设用地斑块温度影响程度的大小( Wang *et al.* 2012) 。

$$P_{D,T} = 1 - \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{i=1}^m n_i \sigma_i^2 \quad (2)$$

式中:  $n$  为整体样本数;  $\sigma^2$  为整体样本方差;  $n_i$ 、 $\sigma_i^2$  为第  $i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 层样本量和方差;  $P_{D,T}$  为邻接类型斑块温度对建设用地斑块温度的影响程度, 取值范围是 [0, 1] , 值越大, 说明分类因子对城建温度影响越大。

### 1.7 地表温度反演

目前针对遥感影像反演地表温度的算法主要有单通道算法、单窗算法、大气校正法( 辐射传输方程法) ( 刘冰等 2015) 。覃志豪等( 2004) 利用 TM6 数据进行研究, 得出这 3 种算法都可以反演真正的地表温度; 张永红等( 2015) 对红沿河核电基地周围海域进行温度反演, 得出大气校正法的均方根误差在

1 K 以内, 反演精度最高。本文采用大气校正法进行地表温度反演, 并采用单窗算法( Jimenez *et al.* , 2014) 进行对比分析。以 7 月份为例, 对比结果如下表 3 所示。两种方法计算出的实验结果相差很小, 但由于单窗算法受大气水汽含量影响很大, 因此本文温度反演都采用大气校正法。

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{1i} - x_{2i})^2 \quad (3)$$

式中:  $n$  为分析对象的像元数,  $x_{1i}$  为单窗算法得到的像元温度,  $x_{2i}$  为大气校正法得到的像元温度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 地表温度分布特征

采用大气校正法对 4 个月地表温度进行反演, 结果如图 1 所示, 7 月的高温区主要集中在研究区的东北和西南的建设用地区域, 1 月的高温区主要集中在西北六里塘和虞山公园附近。结合分类结果, 可以得出 7 月份最高温度和 1 月份最低温度均出现在建设用地区域; 4 和 7 月份用地类型平均温度排序为: 水体<水田<湿地<林地<旱地<建设用地; 11 月份用地类型平均温度排序为: 水体<湿地<水田<林地<旱地<建设用地; 1 月份用地类型平均温度排

表 3 两种方法反演地表温度结果比较

Table 3 Comparison of two approaches for surface temperature inversion

	整体	水体	建设用地	湿地	旱地	水田	林地
单窗算法均温	39.12	35.69	45.27	38.6	41.61	37.04	39.07
大气校正法均温	38.65	35.3	44.45	38.13	40.99	36.64	38.57
平均差值平方 $\sigma^2$	0.319	0.185	0.7	0.245	0.345	0.17	0.259

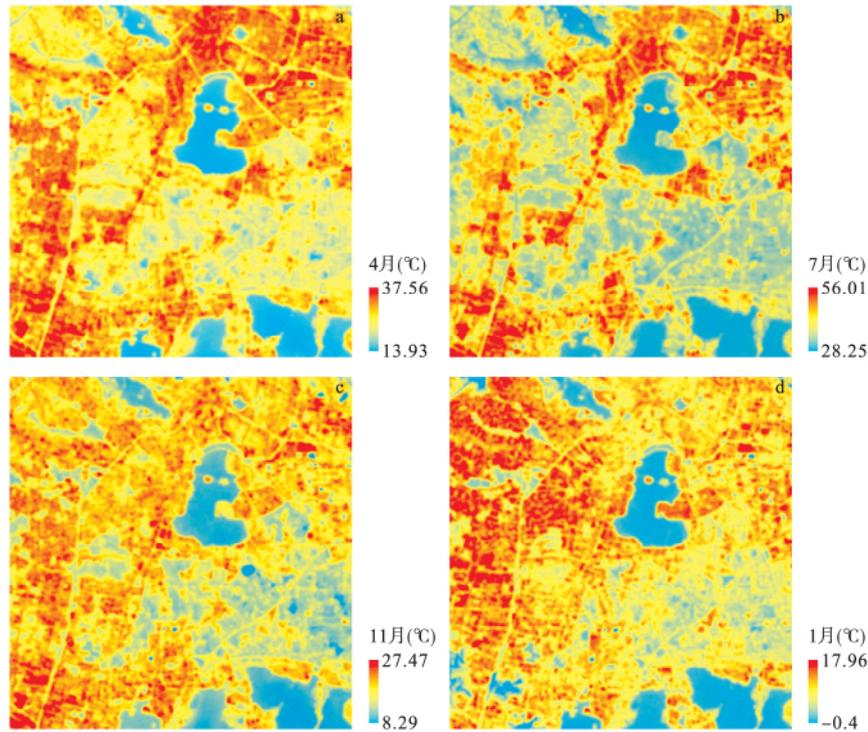


图 2 不同季节地表温度分布  
**Fig.2 Land surface temperature in various seasons**  
 a.春 b.夏 c.秋 d.冬。

序为: 水体<湿地<建设用地<林地<旱地<水田。说明热岛强度随着季节变化发生转移; 建设用地夏季(7月)的热岛效应显著, 而冬季(1月)的冷岛效应显著; 增加绿地和水体, 可以缓解夏季的城市热岛效应, 也可以缓解冬季的城市冷岛效应。

2.2 不同土地类型的地表温度景观特征

研究表明, 植被、水体具有降温效果, 且随着其面积的增大, 降温效果增强, 对应地表及周边的温度相应也越低(Lo *et al.*, 2003; Ahmed *et al.*, 2013)。但是, 多数研究没有给出阈值来规划面积大小的程度和绿地覆盖率高低的程度。本文通过 Patch Analyst 景观统计模型, 分别计算出水体、建设用地、湿地、旱地、水田和林地的斑块面积、形状指数, 然后与斑块温度进行相关分析, 建立拟合曲线。以湿地为例(图 2), 从整个趋势线的走向来看, 湿地斑块温度随着 NDVI、Pv、S、SI 的增大而减小; 结合图中样点分布情况, 当斑块面积大于样点 a (28 hm<sup>2</sup>左右) 的面积, 或形状指数大于样点 b (6.33 左右) 的形状指数之后, 斑块温度降低不再明显。由此也可以看出, 湿地斑块温度与斑块面积或是形状指数之间并非简单的线性关系, 斑块的周长、密度、周围的环境等可能也会影响斑块温度的变化。采用相同方法对其他

用地类型斑块进行分析, 结果如表 4 和 5 所示。可以看出, 水体、湿地、旱地、水田、林地的斑块温度会随着面积和形状指数的增大而降低, 而建设用地斑块温度会随着斑块面积和形状指数的增大而升高。同时存在一定的阈值, 当斑块面积和形状指数大于阈值时, 斑块的温度趋于一个恒定值。因此, 在城市建设规划时, 可以将水体、植被等的大小和形状规定在阈值以内, 充分发挥它们的温度调节功能。

表 4 不同用地类型斑块温度和景观因子的相关关系及阈值  
**Table 4 Fitting equations and the thresholds for different land-type patches' surface temperature and landscape index**

地表类型	景观因子	拟合曲线公式	阈值
水体	S	$y = -1.645 \ln x + 55.762$	64 hm <sup>2</sup>
	SI	$y = -6.133 \ln x + 42.75$	3.35
建设用地	S	$y = 1.9852 \ln x + 23.097$	20 hm <sup>2</sup>
	SI	$y = -0.597x^2 + 6.221x + 35.42$	4.82
湿地	S	$y = 38.24 x^{-0.033}$	28 hm <sup>2</sup>
	SI	$y = 0.141x^2 - 2.136x + 41.02$	6.33
旱地	S	$y = 49.032x^{-0.023}$	9 hm <sup>2</sup>
	SI	$y = 0.1666x^2 - 2.4966x + 43.226$	3.06
水田	S	$y = 47.553x^{-0.026}$	41 hm <sup>2</sup>
	SI	$y = 0.265x^2 - 2.844x + 40$	3.68
林地	S	$y = -0.801 \ln x + 45.169$	13 hm <sup>2</sup>
	SI	$y = 0.3321x^2 - 3.3759x + 42.06$	2.49

y 为地表类型斑块温度, x 为景观因子大小。

表 5 不同用地类型温度与所选因子的相关系数  
Table 5 Correlation coefficients between the temperature of different land types and the selected factors

地表类型	S	SI	NDVI	Pv
水体	-0.922	-0.843		
建设用地	0.893	0.827		
湿地	-0.917	-0.804	-0.829	-0.868
旱地	-0.802	-0.767	-0.795	-0.795
水田	-0.934	-0.829	-0.522	-0.521
林地	-0.815	-0.803	-0.755	-0.754

2.3 热岛强度的季节变化

根据表 1 将常熟市 4 个月的温度进行等级划分,如图 4 所示。4、7 月强冷岛带和冷岛带的面积相对较大,冷岛效应明显,11、1 月强热岛带和热岛带面积相对较大,暖岛效应明显。由图 4 可以看出,在强热岛带和热岛带,林地、水田、旱地、湿地、水体分布比例曲线峰值出现在 1 月或 11 月;在强冷岛带和冷岛带,曲线峰值均出现在 7 月。说明林地、水田、旱地、湿地、水体在夏季(7 月)起着冷岛作用,而冬季(1 月)起暖岛作用。统计不同热岛强度带中各土地利用类型所占的比例看出,夏季(7 月)强冷岛区域各用地类型所占比例排序为水体(88%)>湿地(6%)>水田(3%)>林地(2%)>建设用地(1%)>旱地(0);冷岛区域各用地类型所占比例排序为水体(30%)>湿地(24%)>水田(23%)>林地(15%)>旱

地(6%)>建设用地(2%)。冬季(1 月)强热岛区域各用地类型所占比例排序为水田(38%)>旱地(34%)>林地(13%)>建设用地(12%)>湿地(3%)>水体(0);热岛区域各用地类型所占比例排序为建设用地(23%)>水田(18%)>旱地(18%)>湿地(16%)>林地(16%)>水体(9%)。说明水体、湿地在夏季(7 月)具有显著的降温作用,而水田、旱地在冬季(1 月)具有明显的保温作用。

利用 Patch Analyst 从不同景观尺度指标分析热岛强度的特征,可以看出,从斑块类型级别来看,强热岛带的类型面积(CA)最大值出现在 1 月份(849 hm<sup>2</sup>);热岛带的类型面积最大值出现在 11 月份(25474 hm<sup>2</sup>),1 月份次之;强冷岛带和冷岛带的类型面积最大值都出现在 7 月份,4 月份次之。强热岛带的最大斑块面积(LPS)、平均斑块面积(MPS)的最大值均出现在 1 月,强冷岛带的最大斑块出现在夏季。从景观级别来看,7 月的斑块数(NP)最多,景观异质性指数(SDI)最大;11 月斑块数最少,景观异质性指数最小。由此可见,7 月份的温度斑块最为破碎,热岛效应最弱,温度斑块分布均匀度最低;11 月景观的破碎化程度减小,温度斑块出现聚合现象,温度斑块分布均匀度最高;1 月部分热岛带聚合为强热岛带,热岛强度最大,且斑块形状最复杂。因此,在进行生态环境建设时,要考虑不同用地

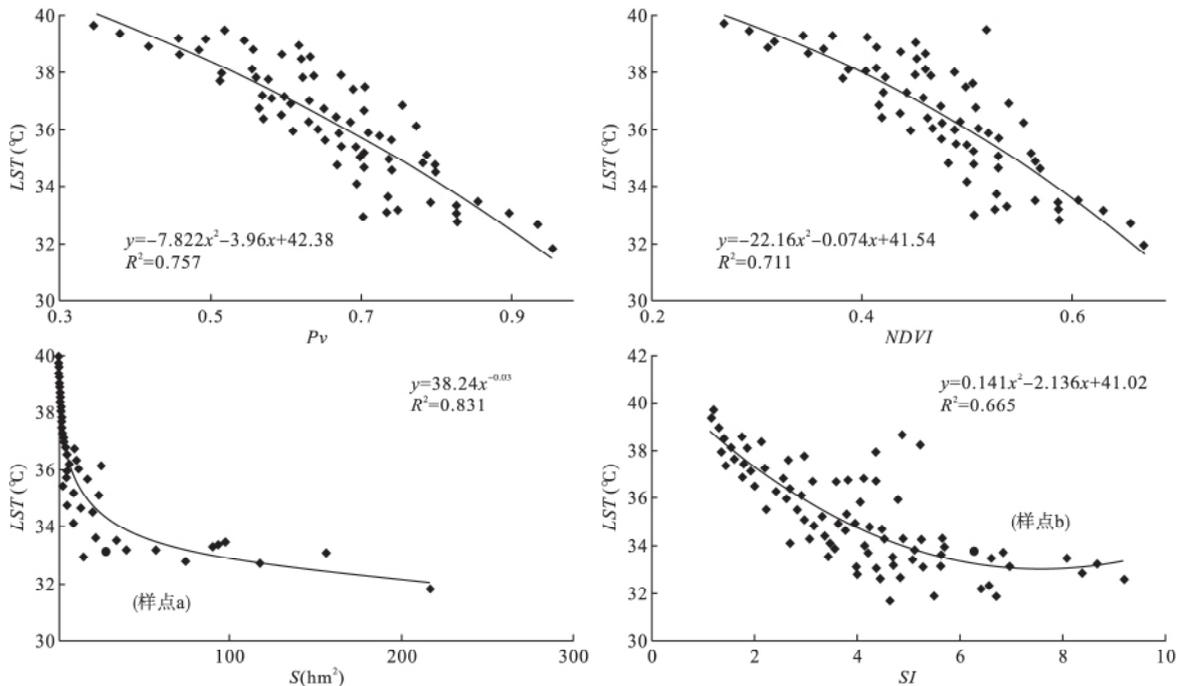


图 3 湿地斑块温度与影响因子的相关性

Fig.3 Correlation between temperature of wetland patches and impact factors

类型的比例及合理布局,在城市规划布局中,充分利用公园、林地、湿地等的调节温度的作用,增加景观破碎度,缓解夏季高温及冬季低温,构建宜居环境。

### 2.4 影响建设用地温度的因子

建设用地是主要的人口聚集区,与人类的生产生活息息相关,建设用地的扩张与热岛效应紧密相

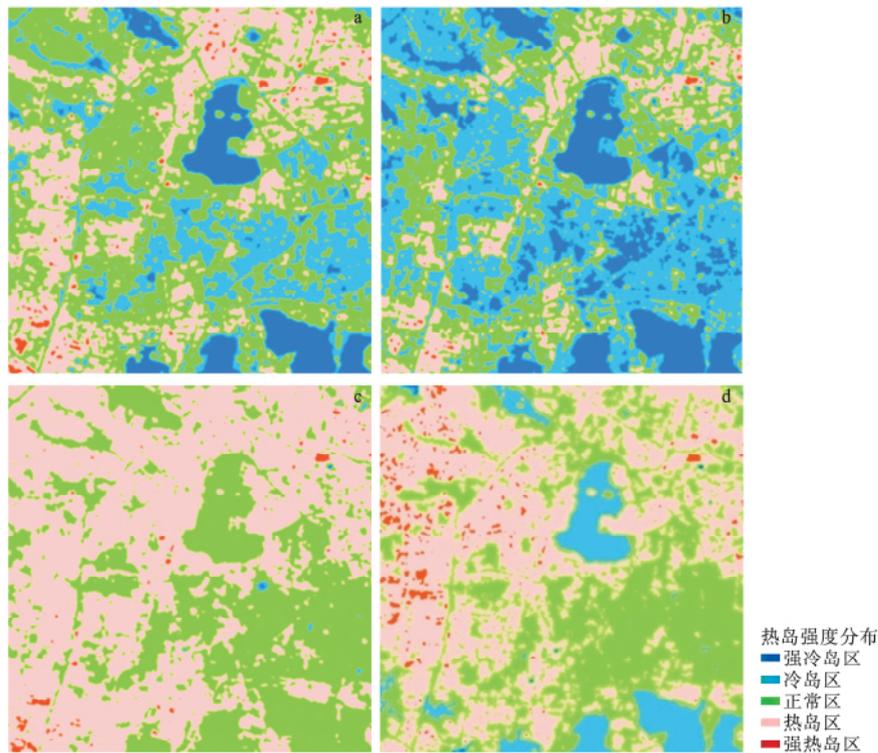


图 4 不同季节热岛强度分带

Fig.4 Zonation of heat island intensity in different seasons

a.春(4月) .b.夏(7月) .c.秋(11月) .d.冬(1月)。

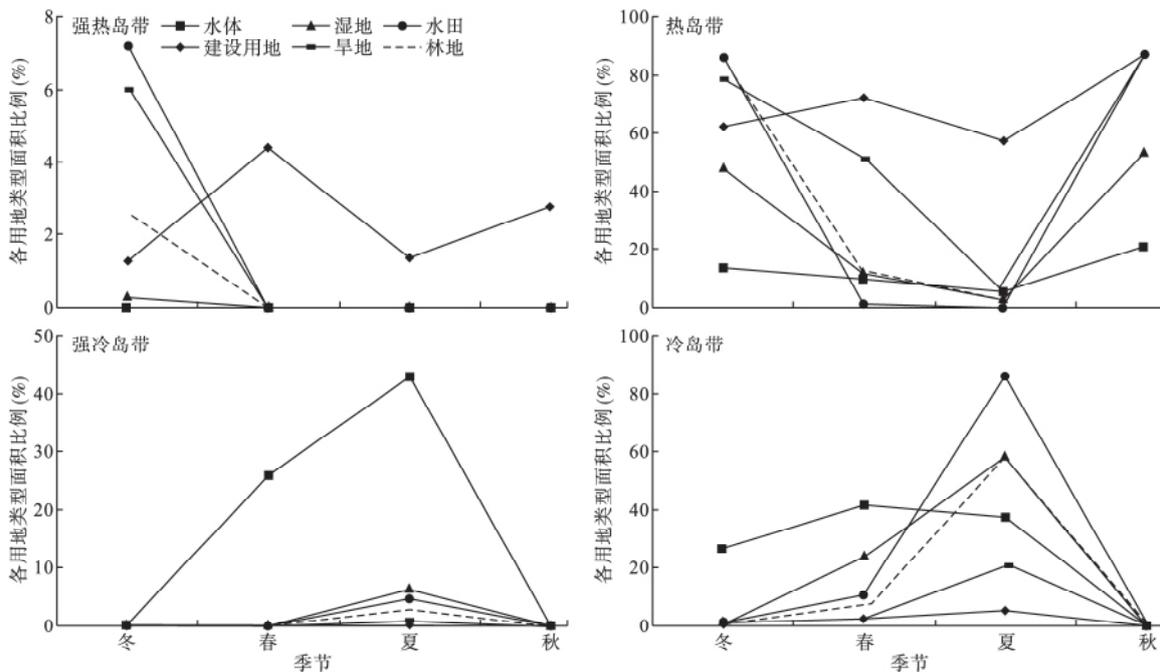


图 5 不同热岛强度带各土地利用类型所占比例的季节性变化

Fig.5 Seasonal variation of the proportion of various land use types among different zones of heat island intensity

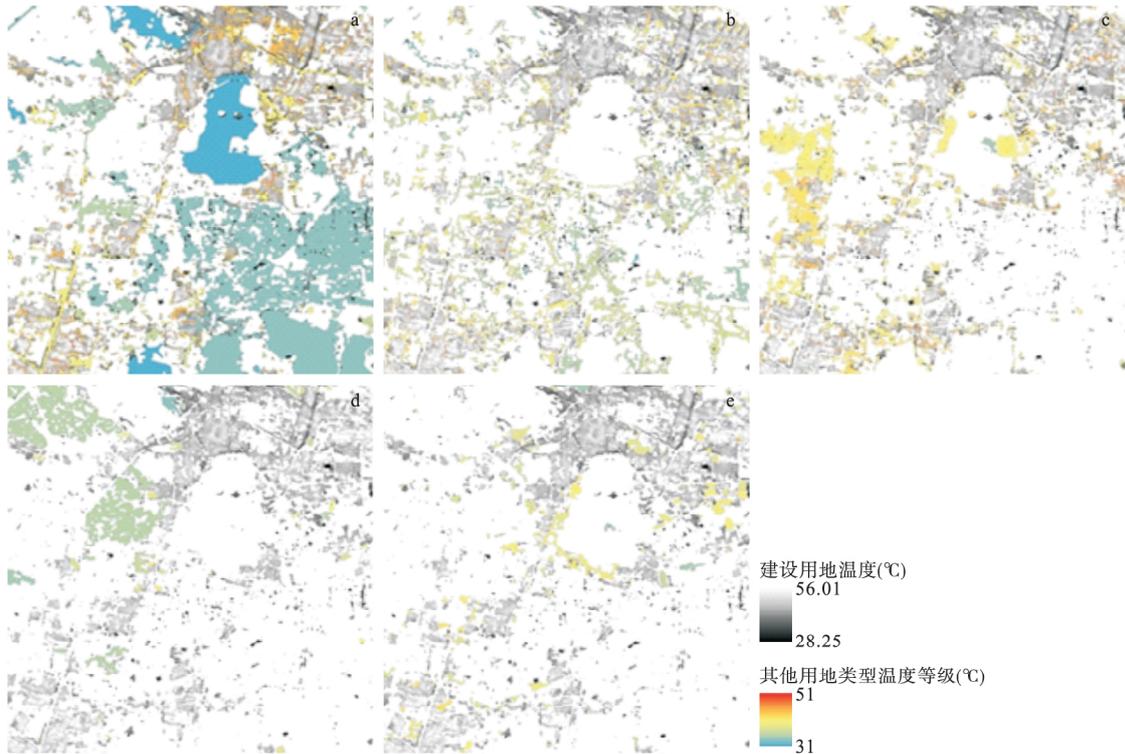


图 6 建设用地与其余各用地类型的邻接分布

Fig.6 Adjacent distribution between construction land and other land-use types

a.水体; b.湿地; c.旱地; d.水田; e.林地。

连。以建设用地为研究对象,运用地理探测器分析建设用地斑块温度受周围不同用地类型的影响程度。以研究区内水体、湿地、旱地、水田、林地作为 5 个类型因子,将各类型因子的温度以 1 °C 为间隔进行等距划分,根据公式(2)原理,分别计算出 5 个类型因子对建设用地温度的影响程度,然后计算不同类型因子交互作用对建设用地温度的影响程度。以 7 月份为例,类型因子分布图如图 5 所示,影响力计算如表 6 所示。由表 6 可知,7 月各类型因子对建设用地温度影响大小的排序为,水体(0.474) > 旱地(0.462) > 湿地(0.291) > 林地(0.047) > 水田(0.01),且不同因子交互作用的影响力大于单独作用的影响力。对 4、11、1 月进行相同的地理探测器分析,均

可得出交互作用的影响力大于单独作用的影响力;4 月各因子影响力排序与 7 月一致,11、1 月各因子影响力排序发生了轻微变动,为旱地第一,水体第二。这主要是因为,水体和旱地在建设用地周围分布比较多,在 4 和 7 月二者都表现为明显的冷岛效应,而水体的冷岛效果最好;在 11 和 1 月,水体和旱地虽然都发挥暖岛作用,但由于冬季旱地(麦苗)的作用,旱地的暖岛效果优于水体,所以,旱地因子对城市温度的影响力提高。

### 3 结 论

本文以 Landsat-8 遥感影像和相关的分类结果为数据源,综合运用遥感、地理信息系统和统计学等研究方法,在前人的研究基础上,定量地分析了常熟市地表热环境的季节演变特征。从景观格局角度出发,分析了不同用地类型斑块温度的影响因子,以及热岛强度带的季节性演变过程;运用地理探测器模型,定量分析常熟市建设用地温度的影响因子,以及各影响因子的交互作用。主要结论如下:

(1) 不同用地类型的斑块温度具有不同的季节性变化特征,建设用地夏季表现为热岛效应,冬季表

表 6 单个地类及其交互作用对建设用地温度的影响力  
Table 6 Influence of a single class and their interaction on the temperature of construction land

对建设用地温度的影响力	水体	湿地	旱地	水田	林地
水体	0.474				
湿地	0.650	0.291			
旱地	0.719	0.555	0.462		
水田	0.495	0.306	0.469	0.010	
林地	0.530	0.331	0.486	0.084	0.074

现为冷岛效应;其他用地类型夏季均表现出冷岛效应,水体降温效果最好,冬季均表现出暖岛效应,水田保温效果最好。(2)存在阈值,当不同用地类型斑块面积或是形状指数增加或减小到一定程度之后,斑块的温度趋于平稳不再变动。(3)常熟市热岛强度排序为冬季(1月)>春季(4月)>秋季(11月)>夏季(7月);在向春夏季转变过程中,林地、旱地、水体、水田、湿地均出现由高热岛强度带向低度带转移的现象,而在向秋冬季转变过程中,则出现低度带向高度带转移现象。(4)由地理探测器分析得出常熟市各用地类型中水体和旱地对建设用地温度的影响最为显著,其中夏季水体的影响力最大,冬季旱地的影响力最大。

目前城市热岛的研究中从景观格局角度出发,分析单独地类(如水体或植被等)对城市热岛影响的研究较多,而对不同用地类型协同作用缓解城市热岛的研究较少。本文运用景观生态学的指标并结合地理探测器模型方法,从地表温度斑块和用地类型斑块两个角度来分析常熟市城市热岛的季节性变化,定量地分析了不同用地类型景观对城市热岛的影响、温度斑块的季节性变化情况以及不同地类温度对建设用地斑块温度的影响程度。在未来的研究中,需要加强对不同用地类型之间相对地理位置、面积、形状指标的空间布局特征,分析不同地类的空间分布及格局对地表温度的影响等方面进行更深入的探究。

#### 参考文献

- 陈方敏. 2010. 上海市公园绿地对城市热岛效应影响的多尺度研究(博士学位论文). 上海: 华东师范大学.
- 董良鹏, 江志红, 沈素红. 2014. 近十年长江三角洲城市热岛变化及其与城市群发展的关系. *大气科学学报*, **37**(2): 146-154.
- 辜胜阻, 郑超, 曹誉波. 2014. 大力发展中小城市推进均衡城镇化的战略思考. *人口研究*, **38**(4): 19-26.
- 李福建, 马安青, 丁原东, 等. 2009. 基于 Landsat 数据的城市热岛效应研究. *遥感技术与应用*, **24**(4): 553-558.
- 梁保平, 马艺芳, 李晖. 2015. 桂林市典型园林绿地与水体的降温效应研究. *生态环境学报*, **24**(2): 278-285.
- 刘冰, 包国涛, 彭凯, 等. 2015. 基于 Landsat TM 影像不同地表温度反演算法的比较. *地理信息世界*, **22**(3): 57-61.
- 盛辉, 万红, 崔建勇, 等. 2010. 基于 TM 影像的城市热岛效应监测与预测分析. *遥感技术与应用*, **25**(1): 8-14.
- 苏泳娴. 2011. 基于 TM 遥感影像的广州市城区公园降温增湿效应研究(硕士学位论文). 北京: 中国科学院研究生院.
- 覃志豪, 李文娟, 徐斌, 等. 2004. 利用 Landsat TM6 反演地表温度所需地表辐射率参数的估计方法. *海洋科学进展*, **22**(z1): 129-137.
- 邬建国. 2007. *景观生态学——格局、过程、尺度与等级*. 北京: 高等教育出版社.
- 肖笃宁. 2010. *景观生态学*. 北京: 科学出版社.

- 湛东升, 张文忠, 余建辉, 等. 2015. 基于地理探测器的北京市居民宜居满意度影响机理. *地理科学进展*, **34**(8): 966-975.
- 张永红, 陈瀚闾, 陈宜金, 等. 2015. 基于 Landsat-8/TIRS 的红沿河核电基地地表温度反演算法比对. *航天返回与遥感*, **36**(5): 96-104.
- Ahmed B, Kamruzzaman M, Zhu X, et al. 2013. Simulating land cover changes and their impacts on land surface temperature in Dhaka Bangladesh. *Remote Sensing*, **5**: 5969-5998.
- Ca VT, Asaeda T, Abu EM. 1998. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy & Buildings*, **29**: 83-92.
- Coseo P, Larsen L. 2014. How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain Urban Heat Islands in Chicago. *Landscape & Urban Planning*, **125**: 117-129.
- Howard L. 2012. *The Climate of London, Deduced from Meteorological Observations*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Huang J, Wang R, Shi Y. 2010. Urban climate change: A comprehensive ecological analysis of the thermo-effects of major Chinese cities. *Ecological Complexity*, **7**: 188-197.
- Jimenez-Munoz JC, Sobrino JA, Skokovic D, et al. 2014. Land surface temperature retrieval methods from landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters*, **11**: 1840-1843.
- Karl TR, Diaz HF, Kukla G. 1988. Urbanization: Its detection and effect in the United States climate record. *Journal of Climate*, **1**: 1099-1123.
- Landsberg HE, Maisel TN. 1972. Micrometeorological observations in an area of urban growth. *Boundary-Layer Meteorology*, **2**: 365-370.
- Li X, Zhou W, Ouyang Z, et al. 2012. Spatial pattern of greenspace affects land surface temperature: Evidence from the heavily urbanized Beijing metropolitan area, China. *Landscape Ecology*, **27**: 887-898.
- Lo CP, Quattrochi DA. 2003. Land use and land cover change, urban heat island phenomenon, and health implications: A remote sensing approach. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **69**: 1053-1063.
- Oke TR. 1973. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, **7**: 769-779.
- Oke TR. 1982. The energetic basis of urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **108**: 1-24.
- Wang JF, Hu Y. 2012. Environmental health risk detection with GeogDetector. *Environmental Modelling & Software*, **33**: 114-115.
- Wang JF, Li XH, Christakos G, et al. 2010. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China. *International Journal of Geographical Information Science*, **24**: 107-127.
- Wen Q, Yang S. 2004. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city. *Journal of Environmental Management*, **70**: 145-156.
- Yan H, Fan S, Guo C, et al. 2014. Assessing the effects of landscape design parameters on intra-urban air temperature variability: The case of Beijing, China. *Building & Environment*, **76**: 44-53.
- Yuan F, Bauer ME. 2007. 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*, **106**: 375-386.

作者简介 王方,女,1989年生,硕士研究生,主要从事遥感技术与应用的研究. E-mail: wfjy1@163.com  
责任编辑 张敏