

杭州市城区热岛效应与景观格局的动态研究

苟睿坤¹, 赵选², 卜元坤¹, 高婷¹, 赵鹏祥¹

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 风景园林学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以杭州市城区为研究对象,以 1992 年、2004 年 Landsat-5、2015 年 Landsat-8 卫星遥感数据为信息源,利用单窗算法反演三期城区地表温度,通过提取土地利用类型信息来计算景观格局指数,结合多元回归线性模型分析了杭州市城区景观格局对地表温度的影响。结果表明:(1) 在研究时间段内,杭州市城区存在着明显的热岛效应,高温区域不断扩张、分散;(2) 多元线性回归模型可以很好地刻画景观格局与地表温度之间的定量关系,景观格局指数 PLAND, ED, LSI 和 AI 与地表温度的相关性最高,分别达 0.753, 0.771, 0.779, 0.772, 景观的面积指标、形状指标、边缘指标和聚合指标等共同影响着杭州市城区热岛效应的强度;(3) 在城市化建设进程中,应通过增加绿地景观的面积,合理选择植物物种,形成集中成片的绿地,从而对城镇用地进行分割,提高现有绿地景观的立体化程度,建设较为复杂的绿地生态网络系统等方式,来缓解和改善热岛效应,达到改善人居环境的目的。

关键词: 杭州市城区; 遥感; 热岛效应; 景观格局; 多元线性回归模型

中图分类号: X87; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)01-0316-07

Dynamic Study on the Heat Island Effect and Landscape Pattern in Urban Area of Hangzhou

GOU Ruikun¹, ZHAO Xuan², BU Yuankun¹, GAO Ting¹, ZHAO Pengxiang¹

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Landscape Architecture and Arts, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The urban area of Hangzhou was taken as the research object. The information sources mentioned in this study was from Landsat-5 and Landsat-8 satellite remote sensing data in 1992, 2004 and 2015. The single-window algorithm was used to retrieve the surface temperature of the third phase urban area. The landscape pattern index was calculated by retrieving land use types. And then the impact of urban landscape pattern on surface was analyzed with multiple linear regression model. The results showed that: (1) during the study period, there was an obvious heat island effect in urban area of Hangzhou, with high temperature area expanding and dispersing; (2) multiple linear regression model could well describe the quantitative relationship between landscape pattern and surface temperature; among those variables, the landscape pattern indices PLAND, ED, LSI and AI had higher correlation rates with the surface temperature, reaching up to 0.753, 0.771, 0.779 and 0.772, respectively; the area index, shape index, edge index and aggregation index of landscape influenced the intensity of the heat island effect in Hangzhou; (3) in the process of urbanization, the heat island effect should be alleviated by increasing the area of green landscape, choosing the right plant species, forming intensive green area, dividing urban area, improving the stereoscopic degree of the existing green landscape, and building a more complex green space ecological network system, which will contribute to achieve to goal of improving the living environment.

Keywords: remote sensing; heat island effect; landscape pattern; multivariate linear regression model

随着社会经济和城市化进程的快速发展,人类面临的环境问题日益突显出来,其中城市气候的显著变化也引起越来越多国内外学者的重视^[1]。在国家环保总局发布的《中国城市环境保护》报告中,热岛效应就被列为城市环保工作的三大挑战之一^[2-3]。在城区内,人为因素和气象条件在共同作用下,就形成了热岛效应^[4]。地表温度是一个在物质和能量交换中十分重要的参数,影响着区域内的自然资源、气候变化和人类生产生活^[5]。并且地表温度还在反映热岛效应的过程中扮演着非常重要的角色,因其具备特殊的时空动态分布特性,遥感技术相较于大量的地面观测数据具备了明显的优势^[6-10]。

美国在1972年开始发射Landsat系列资源卫星,其中Landsat-5 TM的第6波段(10.4~12.5 μm)和Landsat-8 TIRS的第10波段(10.6~11.2 μm)是热红外波段,与AVHRR,MODIS等卫星相比,地面分辨率更高,地表温度反演更为精确。由于Landsat-5卫星仅有1个热红外波段,无法使用劈窗算法进行计算,所以地表温度反演通常采用覃志豪单窗算法进行^[11-17]。宋挺等通过计算对比表明,覃志豪单窗算法的精度比Juan C. Jiménez-Muñoz单通道算法的精度高^[18];胡德勇等提出了针对landsat-8第10波段的单窗算法,完成了研究区地表温度的反演及结果精度验证^[9];吴宝军等在分析热岛效应动态变化时,引入马尔科夫模型预测了研究区未来9a的热环境演变趋势^[19];叶钰等采用了定量分析的方法研究热岛效应,并且讨论了主要地表参数的变化对热岛效应的影响^[20];同样,梁益同等学者为了能更客观地反映热岛效应的时空演变规律,定量分析了热岛强度与土地利用、植被覆盖度间的联系^[21]。

景观格局与热岛效应的关系密不可分,因此近年来对于景观生态格局的研究也逐步从定性转向定量研究,从关注单一景观到研究总体格局对热岛效应的动态影响^[22]。如岳文泽等就探讨了城市典型水域景观对热环境的影响^[23];卞子浩等运用了数理统计和图像处理方法,分析了热岛效应与景观生态格局之间的关系^[4];孟丹等将景观生态学理论融入到热环境研究中,探讨了热力景观格局以及公园和道路景观对缓解热岛效应的作用^[24];王雪等基于线性光谱混合模型,探究了景观格局对地表温度产生的影响^[25];谢启姣等则定量研究了以不透水面值为表征的城镇化水平对热岛效应的影响过程^[26]。

杭州市由于其热量资源丰富,夏季气候炎热湿润

的特征,被称为“新的四大火炉”,伴随着城市的快速扩张和城区人口的急剧增加,杭州市的城区温度都呈现出上升的态势,热岛效应也表现出扩张的趋势,但是杭州市的景观格局对热岛效应的影响机制并不明确。为了更好地研究杭州市景观格局变化对热环境分布的影响,本文选择杭州市城区为研究区域,基于遥感数据和气温数据,一方面反演杭州市城区的地表温度,分析1992—2015年热岛效应的时空演变;另一方面构建了多元线性回归模型,从斑块类型水平和景观水平2个尺度上定量分析景观格局变化对杭州市城区热岛效应演变的影响,从而在未来为杭州市等一些快速发展的大都市,通过景观规划的方式缓解和改善热岛效应提供依据。

1 研究区概况

杭州市位于长江三角洲南沿和钱塘江流域,地形复杂多样,地处亚热带季风区(118°21′—120°30′E, 29°11′—30°33′N),属亚热带季风气候,四季分明,降雨量充沛。全年平均气温在17℃以上,平均相对湿度在70%左右,大部分地区的年降水量在1300~1500 mm。本研究区为杭州市城区,包括了上城区、下城区、江干区和西湖区等9个市辖区,西部属浙西丘陵区,主干山脉有天目山等,东部属浙北平原,地势低平,湖泊河网密布,物产丰富,具有典型的“江南水乡”特征(图1)。

2 材料与方法

2.1 数据及预处理

遥感数据来源于地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn/>),为了更好地反演杭州市城区的地表温度,清晰地分析城区内的景观格局,故选取不同年份的相同月份、基本无云层遮盖的三期Landsat影像,分别为1992年10月29日和2004年10月14日的Landsat-5数据,2015年10月13日的Landsat-8数据;并结合浙江省气象局“58457号”地面监测站实测的杭州市地区1990—2016年气温数据,相关的统计年鉴和杭州市行政区划图等其他资料。

本文选用的遥感图像主要用于反演杭州市城区的地表温度以及提取土地利用类型信息等工作,故使用ENVI 5.1和ArcGIS 10.2软件对影像进行了投影坐标转换、几何校正、辐射定标和图像增强等预处理,再使用杭州市城区的矢量边界图对遥感影像进行了裁剪,得到杭州市城区的三期影像作为源数据。本文在反演杭州市城区地表温度时选用Landsat-5第6波段、Landsat-8第10波段的热红外波段数据。

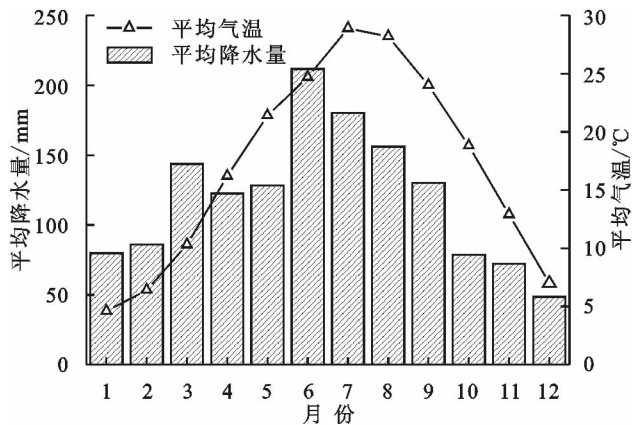


图 1 研究区概况

2.2 研究方法

2.2.1 地表温度(LST)反演与分级 覃志豪等于 2001 年提出了单窗算法(Momo-window Algorithm),直接将大气和地表的影响包含在了地表热辐射传导方程的演算公式里,所以不需要大气校正这一步骤^[27],并且经过许多学者的研究表明,该算法同样适用于 Landsat-8 影像数据,并且具有很高的反演精度^[7-10]。本文选用如下覃志豪单窗算法反演杭州市城区地表温度^[27]:

$$T_s = \frac{1}{C} \{ a(1-C-D) + [b(1-C-D) + C + D] \times T_b - D \times T_a \} \quad (1)$$

式中: T_s 为实际地表温度; T_b 为卫星高度上遥感器所观测到的亮度温度(K); T_a 为大气平均作用温度(K); C 和 D 是中间变量,其计算分别为 $C = \epsilon \cdot \tau$; $D = (1 \cdot \tau) [1 + (1 \cdot \epsilon) \tau]$; a 和 b 是根据热辐射强度拟合出来的系数; ϵ 和 τ 分别为热红外波段的地表比辐射率和大气透过率。

因此在使用单窗算法反演研究区地表温度的过程中,首先提到的关键步骤就是热红外波段的辐射定标,即根据普朗克公式将 DN 值转换成对应的辐射强度值(L_6/L_{10}),再求出对应的辐射亮温值(T_6/T_{10})^[12,28]:

$$L_\lambda = \text{gain} \times \text{DN} + \text{offset} \quad (2)$$

$$T_{6/10} = K_2 / \ln(K_1 / L_\lambda + 1) \quad (3)$$

式中: L_λ 为辐射强度值; $T_{6/10}$ 为辐射亮温值;gain 为波段增益系数;DN 为热红外灰度值;offset 为偏移系数。对于 Landsat5 卫星遥感数据; $K_1 = 607.76 \text{ mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$; $K_2 = 1\,260.56 \text{ K}$;对于 Landsat8 卫星遥感数据; $K_1 = 774.89 \text{ mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$; $K_2 = 1\,321.08 \text{ K}$ 。^[9,12]

从卫星像元的尺度,大致可将地球表面分为水体、城镇和自然表面。水体的热比辐射率接近于黑体;自然表面可以看作由不同比例的植被和裸地组成

的混合像元,由公式(4)计算其比辐射率;城镇地表与自然表面类似,是由不同的建筑和绿化植被组成的混合像元,可用公式(5)计算其比辐射率公式。^[25,29-31]

$$\epsilon = P_v R_v \epsilon_v + (1 - P_v) R_s \epsilon_s + d\epsilon \quad (4)$$

$$\epsilon = P_v R_v \epsilon_v + (1 - P_v) R_m \epsilon_m + d\epsilon \quad (5)$$

式中: P_v 表示植被在混合像元中所占比例,可通过公式(6)计算得到; ϵ_v 、 ϵ_m 和 ϵ_s 分别表示植被、建筑物和裸地在热红外波段的辐射率,可通过公式(7,8,9)计算得到,这些典型地物的比辐射率分别是 $\epsilon_v = 0.985$; $\epsilon_m = 0.960$; $\epsilon_s = 0.972$ ^[22,32]; $d\epsilon$ 表示几何分布和内散射效应,计算公式为 $d\epsilon = 0.06 \times P_v \times (1 \cdot P_v)$ ^[30]。

$$P_v = \left[\frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \right] \quad (6)$$

$$R_m = 0.9886 + 0.1287 \times P_v \quad (7)$$

$$R_v = 0.9332 + 0.0585 \times P_v \quad (8)$$

$$R_s = 0.9902 + 0.1068 \times P_v \quad (9)$$

关键步骤还包括大气平均温度(T_a)的估计。平均大气温度主要依赖于大气部分的温度和大气条件。根据以往覃志豪等的研究成果,模拟出接近地面(离 2 m 左右)的温度 T_0 与平均大气温度 T_a 的关系^[27]。计算方法如表 1 所示,本研究可以通过浙江省气象局“58457 号”地面监测站当日的实测温度来估算出大气平均温度。

表 1 平均大气温度和表面温度的关系

大气平均作用温度表达式	适用条件
$T_a = 25.9396 + 0.88045 T_0$	美国 1976 平均大气
$T_a = 17.9769 + 0.91715 T_0$	热带平均大气
$T_a = 19.2740 + 0.91118 T_0$	中纬度冬季平均大气
$T_a = 16.0110 + 0.92621 T_0$	中纬度夏季平均大气

作为地表温度反演的基本参数,大气透过率 τ 的估算也是关键步骤,因受较多因素的影响,一般实质性上的获取是几乎没有的,只能进行估算。本研究运用大气模拟程序估算 1992 年大气透过率^[27],见表 2。同时,利用 NASA 官网上(<http://atmcorr.gsfc>。

nasa.gov/)的大气校正参数计算器得到 2004 年和 2016 年的大气透过率。

表 2 大气透过率 τ 的估计方程

大气剖面	水分含量 $w/(g \cdot cm^2)$	大气透过率估算方法	相关系数平方(R^2)	标准误差(SEE)
高气温	0.4~1.6	$\tau=0.972429-0.08007w$	0.99611	0.002368
	1.6~3.0	$\tau=1.031412-0.11536w$	0.99827	0.002539
低气温	0.4~1.6	$\tau=0.982007-0.09611w$	0.99463	0.00334
	1.6~3.0	$\tau=1.053710-0.14120w$	0.99899	0.00375

表 3 景观格局指数类型

种类	指标	计算公式	生态学意义
面积指标	景观类型百分比指数(PLAND)	$PLAND=\sum_{j=1}^n a_j/A(100)$	确定景观类型在整个景观中面积的比例
	最大斑块指数(LPI)	$LPI=[\max(a_1,a_2,\cdots,a_j)]/A(100)$	确定优势景观的类型
密度指标	斑块密度指数(PD)	$PD=N/A(10000)(100)$	反映景观被分割的破碎程度
	平均斑块大小指数(AREA_MN)	$ARE_MN=A/N$	反映景观的破碎程度和异质性
形状指标	形状指数(LSI)	$LSI=0.25E/\sqrt{A}$	反映景观整体的形状复杂程度
	面积加权平均斑块分维数(FRAC_AM)	$FRAC_AM=\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{2\ln(0.25 p_{ij})}{\ln(a_{ij})} \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$	确定斑块形状对内部生态过程影响的指标
边缘指标	边缘密度指数(ED)	$ED=(\sum_{k=1}^m a_{ik}/A)(100)$	反映景观的边缘效应
聚合指标	聚合度指数(AI)	$AI=\left[\frac{a_{ii}}{\max_{j \neq i} a_{ij}} \right](100)$	反映景观里不同斑块类型的团聚程度或延展趋势

2.2.3 地表温度与景观格局关联模型 本文研究的是类型尺度上多个自变量的问题,要同时考察这多个变量对一个因变量的相关关系,故选取了多元线性回归模型来作为地表温度与景观格局的关联模型^[41]。多元线性回归是多元统计分析中一种重要的数理方法,假设自变量为 x ,有 p 个,因变量为 y ,它们有 n 组试验值($x_{1i}, x_{2i}, \cdots, x_{pi}, y_i; i=1,2,\cdots,n$),则多元线性回归模型的公式如下:

$$\begin{cases} y_1=A_0+A_1\times x_{11}+A_2\times x_{12}+\cdots+A_p\times x_{1p} \\ y_2=A_0+A_1\times x_{21}+A_2\times x_{22}+\cdots+A_p\times x_{2p} \\ \vdots \\ y_n=A_0+A_1\times x_{n1}+A_2\times x_{n2}+\cdots+A_p\times x_{np} \end{cases} \quad (10)$$

地表温度与景观格局之间的关系是多种景观指数综合作用的结果。本研究参考孟丹等学者的研究,根据计算量并结合影像空间分辨率的特点,将遥感影像的采样尺度设置为 3 km^[4,22-24,40],以 2004 年的杭州市城区卫星遥感影像为例,随机分割选取了 2/3 的(100 个)边长为 3 km 的遥感影像作为样本。首先计算了表 3 中列举的景观格局指数,然后对 3 km 遥感影像的地表温度和选取的景观格局指数进行相关性分析,在 0.05~0.1 水平上选取均显著的因素作为自变量,建立地表温度与景观格局之间的多元线性回归

2.2.2 景观格局指数 景观格局反映了斑块类型、大小、形状和空间配置等信息^[33]。在分析研究景观格局时,要想从不同的尺度评价景观变化的特征,景观格局指数是重要的参照指标,也是定量评价景观格局演变的关键依据^[14,34-36]。

地表温度是多种下垫面综合作用的结果,本文主要针对绿地景观,在类型尺度上选择了 8 个景观指数^[37-38](表 3),研究杭州市城区绿地景观格局,结果通过 FRAGSTATS 4.2 软件计算得到^[39-40]。

模型,剩余 1/3(50 个)样地的数据作为验证依据,来评价该模型的精度。

3 结果与分析

3.1 杭州市城区地表温度分布特征

利用单窗算法,最终反演出杭州市城区 1992 年、2004 年、2015 年三期地表温度。为了验证反演结果是否可信,本文将三期遥感数据的反演结果与浙江省气象局“58457 号”地面监测站当日的实测平均温度进行了对比,1992 年 10 月 29 日的实测平均温度与反演平均温度分别为 17.4℃,15.6℃;2004 年 10 月 14 日的实测平均温度与反演平均温度分别为 19.1℃,17.9℃;2015 年 10 月 13 日的实测平均温度与反演平均温度分别为 18.0℃,20.2℃。综上,本研究三期反演平均温度与实测平均温度的误差均在 5℃ 以内。其中 2004 年的平均温度的误差最小,为 1.2℃。总体来说,反演精度满足进一步分析研究的要求。

表 4 1992—2015 年杭州市城区地表温度反演结果统计

时 期	最低温度/℃	最高温度/℃	平均温度/℃	标准差
1992-10-29	8.39	28.44	15.61	1.74
2004-10-14	2.56	36.66	17.85	2.23
2015-10-13	2.44	43.01	20.23	2.64

表 5 1992—2015 年杭州市各城区温度情况

℃

城区	1992 年			2004 年			2015 年		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
上城	12.75	22.07	17.40	15.40	29.99	20.96	17.26	30.22	22.36
下城	13.56	22.57	17.70	17.19	30.48	21.95	19.25	33.23	24.03
江干	12.75	21.57	16.33	12.31	29.67	20.17	9.50	40.91	23.35
拱墅	12.42	27.48	17.34	13.78	31.45	21.00	17.29	36.99	23.16
西湖	11.77	22.51	15.98	12.79	29.99	18.39	15.72	32.65	20.90
滨江	12.44	21.57	15.41	14.13	30.97	19.95	17.33	34.70	22.21
萧山	10.78	25.54	15.36	2.56	34.82	18.07	2.44	43.01	21.17
余杭	9.06	28.44	16.01	9.61	36.66	17.91	11.96	38.33	20.60
富阳	8.39	26.56	15.27	9.11	34.34	16.98	12.54	35.24	18.52

基于反演出的地表温度,表 4 利用统计的方法对杭州市城区反演结果进行计算。从整体分析,反演出的温度最小值从 1992—2004 年相差 -5.83°C , 2004—2015 年相差 -0.12°C ;温度的最大值相差分别为 8.22°C , 6.35°C ;平均温度相差分别为 0.49°C , 0.41°C 。

本研究从各区着手分析,统计出九区地表温度信息。表 5 为杭州市城九区分别为在 1992 年、2004 年和 2015 年温度情况。结合王雪等学者的研究^[12-20]和杭州市地表温度的实际范围,将温度区间划分为 $2\sim 17^{\circ}\text{C}$, $17\sim 20^{\circ}\text{C}$, $20\sim 22^{\circ}\text{C}$, $22\sim 25^{\circ}\text{C}$, $25\sim 44^{\circ}\text{C}$, 1992—2015 年杭州市城区温度分布图如图 2 所示。总体来看,1992 年、2004 年和 2015 年杭州市城区都存在明显的热岛效应。从 1992—2015 年,杭州市城九区的地表温度都有了不同程度的上升,平均地温最高的城区始终是下城区,最低的城区是富阳区,并且随着年份的增加,城区间地表温度的差异变得愈发突出和明显。

通过图 2 可以看出,1992 年的热岛区域以杭州市的上城区、下城区等老城区和镇区为中心;到了 2004 年,杭州市中心与郊区之间的温度差异更加明显,市区内的热场数量增加,与 1992 年的图像相比,杭州市城内高温区明显向北和东北方向发展,城内高温区的范围有了较大程度的扩展;首先,除了市中心有小片区域温度较高,江干区在 1992 年基本表现为

低温区,但在 2004 年已连接成了一大片;同时,在 1992 年只有南部是高温区的下城区也扩展成了整个区都表现为高温;并且,建设初始的城区如萧山区内高温区向周边扩大,有许多之前表现为低温的区域都开始转变为高温区。到了 2015 年,在经济快速发展,企业数量急剧上升的背景下,伴随着建筑面积增加,绿地面积减少,新兴工业区排放的二氧化碳和热量增多,高温区主要表现在江干科技园、上城科技工业基地等地区,这些地区主要是分布于西湖以东和以北,人口相对集中的新老工业区和居住区;而中低温区主要分布在植被覆盖度较大的杭州市西部和南部的风景区和山区,同样符合城市热岛效应的基本特征。

3.2 景观格局对地表温度的影响

本研究利用杭州市城区 1992 年、2004 年、2015 年的遥感影像,基于 ENVI 5.1 支持向量机的监督分类法将地类景观分为绿地、水体和建筑 3 类,见图 3,分类后通过 Kappa 系数来衡量结果是否准确,结果显示三期分类精度分别为 89%,93%和 91%,都符合分类精度要求。接着,本研究选取了 100 个边长为 3 km 的遥感影像样本,基于 ArcGIS 10.2 和 FRAG-STATS 4.2 计算出遥感影像样本的平均温度与表 3 中所列出的景观指数,并将两者进行相关性分析。结果如表 6 所示,自变量的相关系数在 99%的可靠性下,统计意义都是显著的,并且相关性较高。

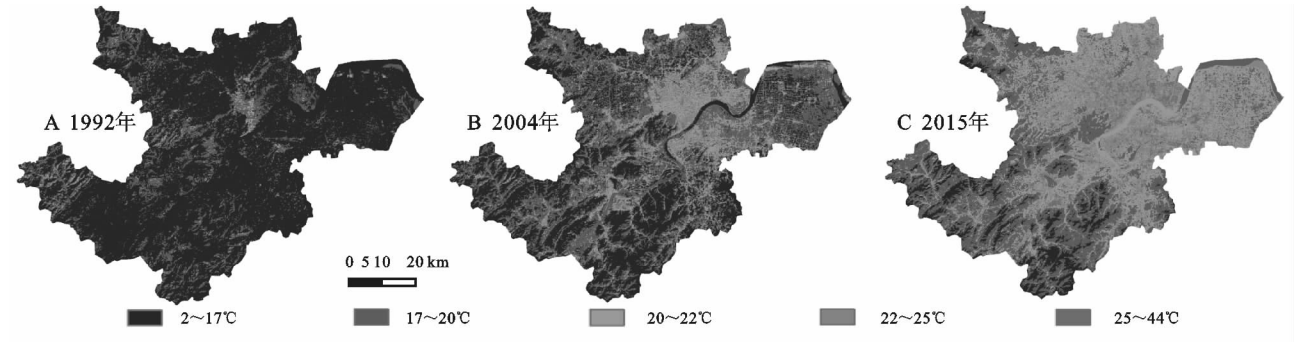


图 2 杭州市城区温度分布

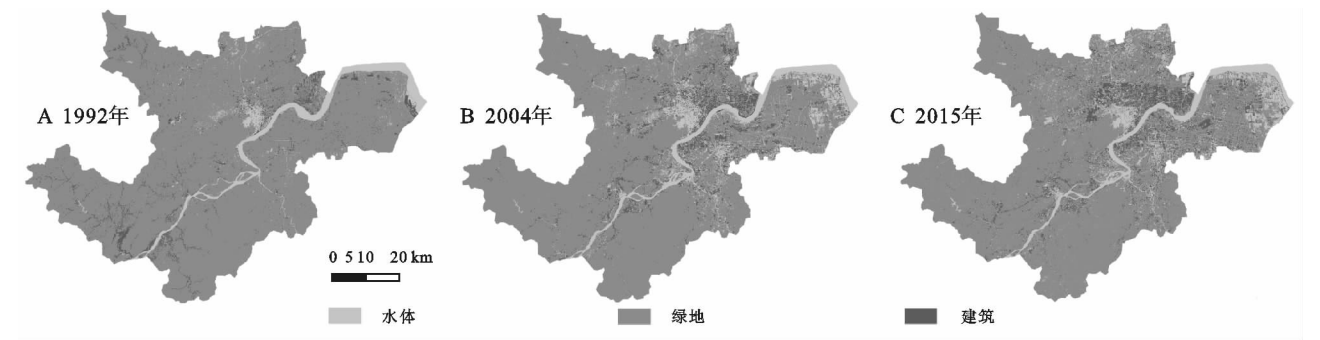


图 3 杭州市城区景观分类

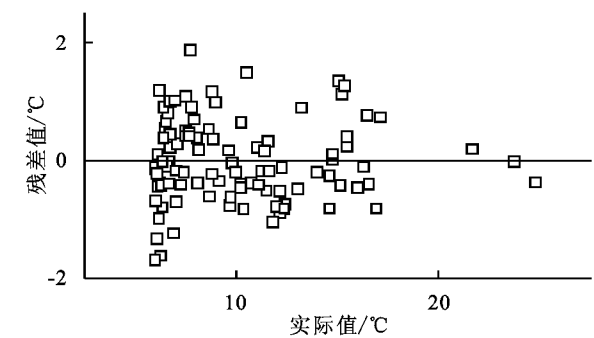
表 6 地表温度与自变量的相关性

自变量	Pearson 相关性	自变量	Pearson 相关性
PLAND	-0.753**	LSI	0.779**
PD	0.657**	AREA_MN	-0.683**
LPI	-0.642**	FRAC_AM	0.748**
ED	0.771**	AI	-0.772**

注：* * 在 0.001 水平(双侧)上显著相关,* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

根据表 6,面积指标 PLAND,形状指标 LSI,FRAC_AM,边缘指标 ED 和聚合指标 AI 与地表温度的相关性较高,分别为 0.753,0.779,0.748,0.771,0.772;密度指标 PD,AREA_MN,面积指标 LPI 与地表温度的相关性较低,分别只有 0.657,0.683,0.642。

除此之外,为了更好地说明杭州市城区绿地的景观指数与地表温度间的关系,本研究将 100 个(2/3)遥感影



4 结论与讨论

在研究期内,杭州市城区存在着明显的热岛效应,1992 年杭州市的热岛中心集中在老城区,而 2004 年热岛区域相较于 1992 年有了明显的扩张,并且温度也显著上升,与黄金海在 2006 年对杭州市热岛效应动态分析的研究结果类似^[42]。到了 2015 年,杭州市城区的热岛强度继续增强,高温区域相较于 2004 年而言更加分散,热岛覆盖的区域继续向东、向北扩张。研究发现,在斑块类型水平上,景观格局与城市地表温度之间存在着非常显著的相关关系,密度指标 PD,边缘指标 ED,形状指标 LSI 和 FRAC_AM 与地

像样本中相关性最强的 4 个显著因子的值(x_1, x_2, x_3, x_4 分别为 PLAND,ED,LSI 和 AI),与对应样本计算出的平均温度值参与建模,得到的预测方程如公式(11)所示,剩余 50 个(1/3)遥感影像样本的数据用来验证模型的精度。

模型的拟合结果和预测结果如图 4 所示,自变量 PLAND,ED,LSI 和 AI 对因变量平均温度具有显著性影响,构建的多元线性回归模型,其训练样本基本呈线性拟合,拟合决定系数 R^2 为 0.755,说明多元线性回归模型可以较好地刻画景观格局与地表温度之间的定量关系,为杭州市城区热岛效应的预测提供了较好的模型。

$$\hat{y}=68.022+0.010\times x_1+0.041\times x_2-0.787\times x_3-0.511\times x_4$$

(11)

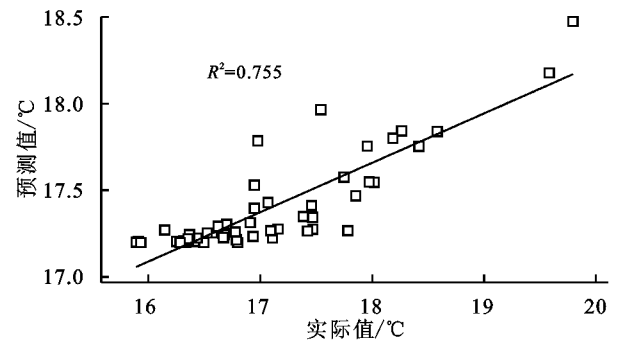


图 4 多元线性回归模型预测结果以及拟合结果

表温度呈正相关,面积指标 PLAND,LPI,密度指标 AREA_MN 和聚合指标 AI 与地表温度呈负相关。其中,指标 PLAND,ED,LSI 和 AI 与地表温度的相关性最高。

最后,本文构建了多元线性回归模型,通过本研究分析了杭州市的景观格局与热岛效应演变的存在着较为显著的相关性。从整体来看,绿地是城区中具有自然属性的下垫面,可以通过增加潜热和吸收二氧化碳等方式来降低地表温度,从而有效地缓解热岛效应,杭州市的植被聚集地,如余杭区和富阳区等多为低温区。通过增加绿地景观的面积,合理选择植物优势物种;形成集中成片的绿地,从而对城镇用地进行

分割;提高现有绿地景观的立体化程度,建设较为复杂的绿地生态网络系统等方式,可以有效缓解和改善热岛效应,达到改善人居环境的目的。

参考文献:

- [1] 杨明. 近 50 年中国气候变化特征研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2008.
- [2] 李璇琼,李永树,卢正,等. 兰州市热岛效应时空演化研究[J]. 城市发展研究,2015,22(7):18-22.
- [3] 李国栋,王乃昂,张俊华,等. 兰州市城区夏季热场分布与热岛效应研究[J]. 地理科学,2008,28(5):709-714.
- [4] 卞子浩,马超群,王迪,等. 西安地区热岛效应与景观生态格局相关性研究[J]. 干旱气象,2016,34(2):342-348.
- [5] 高文升,张雨泽,房世峰,等. 基于 Landsat-8 TIRS 的大气参数快速估算方法[J]. 地球信息科学学报,2017,19(1):110-116.
- [6] Mohajerani A, Bakaric J, Jeffrey-Bailey T. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete[J]. Journal of Environmental Management, 2017,197:522-538.
- [7] 张晓莉,赵鹏祥,高凌寒,等. 基于 Landsat 影像的西安市主城区热岛效应分析[J]. 西北林学院学报,2016,31(3):183-190.
- [8] Nikam B R, Ibragimov F, Chouksey A, et al. Retrieval of land surface temperature from Landsat 8 TIRS for the command area of Mula irrigation project[J]. Environmental Earth Sciences, 2016,16(75):1-17.
- [9] 胡德勇,乔琨,王兴玲,等. 单窗算法结合 Landsat 8 热红外数据反演地表温度[J]. 遥感学报,2015,19(6):964-976.
- [10] 徐涵秋. 新型 Landsat8 卫星影像的反射率和地表温度反演[J]. 地球物理学报,2015,58(3):741-747.
- [11] 毛文婷,王旭红,祝明英,等. 城市地表温度反演及其与下垫面定量关系分析:以西安市为例[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2015(5):708-714.
- [12] 杨丽萍,孔金玲,郭玉芳,等. 西安城区地表温度的遥感反演与时空演变分析[J]. 兰州大学学报:自科版,2015,51(3):388-396.
- [13] 王倩倩,覃志豪,王斐. 基于多源遥感数据反演地表温度的单窗算法[J]. 地理与地理信息科学,2012,28(3):24-26,62,封 3.
- [14] 潘竟虎,韩文超. 兰州中心城区用地扩展及其热岛响应的遥感分析[J]. 生态学杂志,2011,30(11):2597-2603.
- [15] 谢元礼,范熙伟,韩涛,等. 基于 TM 影像的兰州市地表温度反演及城市热岛效应分析[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(9):172-175.
- [16] 刘建,刘小琴,何政伟. 基于 TM 影像的城市热岛效应研究:以重庆市为例[J]. 水土保持研究,2010,17(5):172-175.
- [17] 杨学森. 基于单通道算法的 Landsat8 卫星数据地表温度反演研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2015.
- [18] 宋挺,段崢,刘军志,等. Landsat 8 数据地表温度反演算法对比[J]. 遥感学报,2015,19(3):451-464.
- [19] 吴宝军,雷雅凯,段彦博,等. 基于马尔科夫模型的郑州市城市热岛效应分析及预测[J]. 水土保持研究,2017,24(3):241-245.
- [20] 叶钰,秦建新,胡顺石. 长沙市热岛效应时空特征变化研究[J]. 地球信息科学学报,2017,19(4):518-527.
- [21] 梁益同,陈正洪,夏智宏. 基于 RS 和 GIS 的武汉城市热岛效应年代演变及其机理分析[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(8):914-918.
- [22] 李鉴清,张张国,朱雅莉,等. 合肥市地表温度反演及热力景观格局动态变化研究[J]. 安徽农业大学学报,2012,39(4):629-636.
- [23] 岳文泽,徐丽华. 城市典型水域景观的热环境效应[J]. 生态学报,2013,33(6):1852-1859.
- [24] 孟丹,李小娟,宫辉力,等. 北京地区热力景观格局及典型城市景观的热环境效应[J]. 生态学报,2010,30(13):3491-3500.
- [25] 王雪,于德永,曹茜,等. 城市景观格局与地表温度的定量关系分析[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2017,53(3):329-336.
- [26] 谢启姣,陈昆仑,金贵. 武汉城镇化与热岛效应的定量研究[J]. 测绘科学,2017,42(9):71-76.
- [27] 覃志豪, ArnonKarnieli. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报,2001,56(4):456-466.
- [28] Xu H, Lin D, Tang F. The impact of impervious surface development on land surface temperature in a subtropical city: Xiamen, China[J]. International Journal of Climatology, 2013,33(8):1873-1883.
- [29] 董雪,田静,吴骅,等. 考虑土壤水分影响的比辐射率方法在地表温度反演中的应用[J]. 资源科学,2017,39(8):1592-1604.
- [30] 覃志豪,李文娟,徐斌,等. 利用 Landsat TM6 反演地表温度所需地表辐射率参数的估计方法[J]. 海洋科学进展,2004,22(S):129-137.
- [31] Valor E, Caselles V. Mapping land surface emissivity from NDVI: application to European, African, and South American areas. [J]. Remote Sensing of Environment, 1996,57(3):167-184.
- [32] 王乐. 基于 RS 的西安市地表温度反演及城市热环境研究[D]. 西安:长安大学,2015.
- [33] 马勇刚,塔西甫拉提·特依拜,黄粤,等. 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[J]. 干旱区研究,2006,23(1):172-176.

布在研究区西部广大山区,特别是森林生态系统及植被覆盖良好的地区,水土流失极敏感区主要分布在研究区东部,该区域降水侵蚀力相对较大;

(3) 沁水区块煤层气开区域西北部以及东部地区生态承载力较高,南部地区生态承载力较低;煤层气区块中沁城区块生态压力巨大,在煤层气开发过程中生态状态遭到了破坏,生态系统结构与功能状态处于极不稳定状态,成庄区块生态压力较小,但是煤层气带来的生态问题仍然不容忽视;郑庄区块、胡底区块与沁城区块的生态状态较差,在煤层气开发过程中生态状态遭到了破坏;寺河岳城区块、成庄区块、沁城区块、胡底区块、郑庄区块生态承载力水平较低,说明煤层气开发力度严重影响了生态系统自身的调节能力,使生态系统结构与功能均处于不稳定状态。

参考文献:

- [1] 郭秀锐,毛显强,冉圣宏.国内环境承载力研究进展[J].中国人口资源与环境,2000(S):29-31.
- [2] Arrow K, Bolin B, Costanza R, et al. Economic growth, carry capacity, and the environment [J]. Science, 1995(26):520-521.
- [3] Lieth H, Whittlaker R H. 生物圈的第一生产力[M].北京:科学出版社,1985.
- [4] Odum H T, Blisset M E C. Ecology and economy: Emergy analysis and publicly in Texas [M]. Policy Re-

search Publication, Austin, University of Texas; School of Public Affairs and Texas Dept of Agriculture, 1987.

- [5] 王书华,毛汉英,王忠静.生态足迹研究的国内外近期进展[J].自然资源学报,2002,17(6):776-781.
- [6] Alice L, Clarke. Assessing the Carrying Capacity of the Florida Keys [J]. Population and Environment, 2002, 23(4):405-418.
- [7] Oh K. Visual threshold carrying capacity(VTCC)in urban landscape management; A case study of Seoul, Korea[J]. Landscape and Urban Planning, 1998, 39(4):283-294.
- [8] 任美镠.四川省农作物生产力的地理分布[J].地理学报,1950,16(1):1-22.
- [9] 高吉喜.可持续发展理论探索—生态承载力理论、方法与应用[M].北京:中国环境科学出版社,2001.
- [10] 毛汉英,余丹林.环渤海地区区域承载力研究[J].地理学报,2001,56(3):363-371.
- [11] 王宁,刘平,黄锡欢.生态承载力研究进展[J].中国农学通报,2004,20(6):278-281.
- [12] 孙顺利,杨殿.基于PSR模型的矿区生态经济适度开发评价[J].金属矿山,2007,370(4):66-70.
- [13] 曹智,闵庆文,刘某承,等.基于生态系统服务的生态承载力:概念、内涵与评估模型及应用[J].自然资源学报,2015,30(1):1-11.
- [14] 张引,杨庆媛,闵捷.重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析[J].地理学报,2016,71(5):817-828.

(上接第322页)

- [34] 潘竟虎.兰州市景观生态格局热环境效应研究[D].兰州:兰州大学,2011.
- [35] 潘竟虎,李瑶.兰州中心城区热环境季节动态遥感分析[J].安全与环境学报,2014,14(6):280-286.
- [36] 申依宁,弓弼,贾浩洋,等.杨凌区城镇景观格局动态变化分析[J].西北林学院学报,2016,31(4):319-324.
- [37] 闫志鹏.基于景观生态学的周至县土地利用格局研究[D].西安:长安大学,2014.
- [38] 陈荣蓉.重庆丘陵区农村土地整治工程及其景观效应[D].重庆:西南大学,2012.

- [39] 徐昌瑜,陈健,孟爱农,等.基于FRAGSTATS的区域土地生态质量综合评价研究:以江苏省宜兴市为例[J].土壤,2013,45(2):355-360.
- [40] 杨振海.基于Fragstats软件和TM影像的海南天然草地景观格局分析[J].安徽农业科学,2012,40(11):6664-6664,6675.
- [41] 周晨,冯宇东,肖匡心,等.基于多元线性回归模型的东北地区需水量分析[J].数学的实践与认识,2014,44(1):118-123.
- [42] 黄金海.杭州市热岛效应与植被覆盖关系的研究[D].杭州:浙江大学,2006.