

城市热岛效应变化及其影响因素分析研究

陈智龙,董雨琴,陈凌静,黄启堂*

(福建农林大学园林学院,福建 福州 353002)

摘要:为探讨城市化发展中社会经济因素对城市热岛效应演变的影响,该文以福州、南京等城市为例,通过 ArcGIS、ERDAS 等软件,基于遥感影像和统计数值等数据,借助主成分分析法计算出各城市 2014 年与 2019 年的城市地表最低温、最高温、热岛数值和热岛转移矩阵,矩阵包括强绿岛与强热岛所占面积、转入面积等,以及主成分特征值与贡献率等数据。结果表明:2014 年和 2019 年研究城市地表最低温度、最高温度普遍呈现升高趋势;强热岛区面积的扩大源于由强绿岛区到热岛区的转化,强绿岛区、绿岛区、常温区、热岛区转向强热岛区的数值也呈现逐级递增的趋势,强热岛所占面积增加较大的是苏州市和宁波市,强热岛转入面积较大的是苏州市、常州市和济南市等;城市人口数、社会消费品零售总额、建成区面积、建成区绿地覆盖面积、工业用电量、道路面积 6 个影响因子是城市热岛变化特征的主要社会经济影响因素。

关键词:城市化发展;城市热岛效应;转移矩阵;社会经济影响;主成分分析

中图分类号:X16

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2021.06.006

Change of, social and economic impact on urban heat island effect from 2014 to 2019

Chen Zhilong, Dong Yuqin, Chen Lingjing, Huang Qitang*

(College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract:In order to explore social and economic impact on the urban heat island effect during urbanization, taking Fuzhou, Nanjing and other cities as example, by using ArcGIS, ERDAS and other software with remote sensing images and statistical data, we calculated the minimum temperature, maximum temperature, heat island value and got heat island transfer matrix of urban surface in 2014 and 2019 through principal component analysis. The matrix included the area occupied by strong green island and strong heat island, transfer area, as well as principal component feature and contribution rate data. The results showed that in 2014 and 2019, the minimum and maximum surface temperatures of the studied cities generally had an increasing trend. And strong heat island area expanded as transforming from the strong green island area, also with increase trend in transforming from green island area, room temperature area, heat island area. And strong heat island area accounted for bigger proportions in Suzhou and Ningbo, but for larger area transformations in Suzhou, Changzhou and Jinan, etc. We concluded that urban population, total retail sales, built-up area & its green coverage, industrial electricity consumption and road area, possessed main social and economic impact on the change traits of urban heat island.

Key words:Urbanization; Urban heat island effect; Transfer matrix; Social and economic impact; Principal component analysis

中国的城市化发展以土地为中心创造了可观的社会与经济效益,但随之也带来了许多不利影响,如耕地流失、“鬼城”现象和城市热岛效应等^[1]。

而城市热岛效应是由于快速城市化进程中各种因素的改变而形成,大量人口聚集和房屋道路等建筑修建改变了城市生态环境,大部分城市都存在着不

收稿日期:2021-09-16;修回日期:2021-10-27

基金项目:教育部人文社会科学研究青年基金项目“新数据环境下浙闽地区山水人居环境地域景观保护与发展研究”(20YJC760079)

作者简介:陈智龙(1997-),男,福建龙岩人,硕士研究生。主要从事风景园林规划与设计研究。

* 通信作者:黄启堂(1963-),男,福建三明人,教授,硕士生导师。主要从事风景园林规划与设计研究。

同程度的热岛效应^[2-3]。城市热岛效应指城市化进程里致使城市地表温度与大气温度高于四周郊区或是农村地区等非城市环境的一类区域温差现象^[4]。城市热岛效应除了造成城市生态环境失调^[5],更会增大城市能源损耗^[6],加剧城市大气污染^[7],严重影响城市居民日常生活与健康^[8-9],致使公众普遍认识到快速城市化对资源和环境的压力和破坏日益突出。国家住房和城乡建设部分别于2013年9月和2015年11月发布了《城市居住区热环境设计标准(JGJ286-2013)》和《城市生态建设环境绩效评估导则(试行)》,将城市热环境质量纳入城市建设项目的考核评定指标体系当中^[10-11];中国气象局于2019年8月启动全国城市热岛卫星遥感监测评估,将推进卫星遥感综合应用体系建设,开展城市地表温度检测、城市热岛强度检测和评估、城市热岛效应评估^[12]。这表明我国已将有关城市热岛效应问题作为今后城市综合环境建设、治理与发展的研究重点。

目前,城市热岛效应的影响因素分析已成为研究城市化生态环境效应的重要方向之一。城市热岛效应是在城市化的人为因素与当地气象情况共同作用背景下而形成的,所以热岛效应的形成是一个多元复杂且因地而异的长期过程^[13]。

有研究表明,城市化发展对气温有一定影响,城市化在近50 a中国气温变暖中的贡献占20%—30%。城市化对城市热岛效应的影响应引起足够的重视^[14]。人类活动的强度变化影响城市地表热量的转换,以人口密度、经济发展、产业规模以及建筑物的高度、密度和容积率等为代表的社会驱动力因素是导致城市地表温度升高、城市热岛效应加剧的主要原因之一^[14]。城市热岛效应具有诸多特征表述,如:城乡气象站台气温差值、城乡地表温度或大气温度差值、城市空间热环境差异等。从日间变化上观察,早期研究指出气温城市热岛是“夜间现象”即夜间呈现高峰^[15],但之后很多研究表明有些地区白天地表城市热岛强度突出^[16],甚至超过夜间地表城市热岛强度^[17],因此本文暂不考虑夜间地表城市热岛的研究。Mitchell等利用Landsat和MODIS遥感影像反演的地表温度,结合当地人口普查数据,利用地统计学等空间统计方法,对影响美国佛罗里达州Pinellas地区地表热环境分布的人口因素进行分析,结果表明在贫困人口较为集中的区域以及某些特定种族或少数民族的聚集区域,城市热岛效应

更为显著^[18]。张瑜等基于1995—2013年的TM遥感数据以及西安市建成区的人口、绿化面积、废气排放量、GDP、运输量、工业总产值等11项统计数据,采用灰色关联度理论定量研究了热岛效应影响因子的贡献率,结果认为人类社会因素对热岛效应带来的负面影响日益加剧^[19]。由于社会统计数据在空间尺度和时间尺度上的局限性导致其较难适用于小尺度的热环境研究,对城市热岛效应的定量分析研究带来了一定困难。另外,在城市热岛的单一影响因素研究中,城市地表覆盖特征对城市地表温度的影响分析已经较为充分,围绕NDVI, NDBI, ISA等影响因素已展开定量研究,而城市热岛效应社会经济驱动力的定量研究则较为缺乏,肌理性分析和案例验证均存在不足^[20]。因此,本文以卫星反演的冬季日间地表温度为依托,在区域尺度下计算分析各个城市的热岛效应,从热岛效应形成机理角度出发并借鉴前人研究提出影响指标,结合对应年限的人口普查、经济普查、统计年鉴等社会经济数据,对研究区域进行城市热岛效应定量分析,同时充实景观尺度上人为活动影响热岛效应的分析。本文选取我国22个城市,利用2014年和2019年卫星影像与统计年鉴等相关数据,定量分析城市热岛效应变化特征,同时探讨社会经济因素对城市热岛效应的影响机制,以期有效消缓城市热岛效应提供科学的参考依据,为其他城市热岛效应的格局演化及其社会经济驱动力的定量研究提供借鉴和参考。

1 研究区域概况

本文研究区涵盖了大部分东南沿海城市以及内陆部分城市,东经111°—122°,北纬2°—39°,选定城市样本在2014年至2019年里城市GDP、工业化趋势以及城市建设绿化等方面发展迅速,作为研究对象具有一定代表性。同时,因每个城市对于统计数据的标准不一,为保证数据完整性与统计口径的一致性,本文主要选取城市人口数、社会消费品零售总额、建成区面积、建成区绿地覆盖面积、工业用电量、道路面积、民用车辆拥有量、建成区绿地覆盖率、城镇居民用电量共9类影响指标。城市样本共包括广州市、佛山市、东莞市、汕头市、厦门市、福州市、温州市、宁波市、杭州市、嘉兴市、苏州市、常州市、无锡市、芜湖市、南京市、蚌埠市、徐州市、郑州市、开封市、济南市、阳泉市、太原市等22个城市。

以其中城市市辖区作为研究范围进行城市热岛效应的计算及进一步分析。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文研究的数据分为遥感影像和城市统计数据。遥感数据为 2014 年和 2019 年 Landsat8 卫星的冬季遥感影像,通过美国地质调查局(USGS)获取,级别是 Level 1T(L1T),地图投影为 UTM,坐标系统为 WGS84,USGS 在数据分布前将 TIRS10/11 重采样至 30 m 以匹配传感器的多光谱波段,并将全部波段的像元灰度级拉伸到 16-bit,存储为栅格式单波段影像。研究区内图像质量良好,云层覆盖少,且地面特征清晰^[22]。城市统计数据均源自《中国城市统计年鉴》和各城市统计年鉴以及相关官方网站公布的城市发展公报等文件。

本研究依照 2 个标准进行社会经济因素指标的选择。首先,筛选的指标应直接或间接影响城市热岛效应,是具有代表性的城市化发展指标,即所选的因子对城市热岛的影响可由现有研究得出;其次,本文研究区限于城市市区范围,对应的指标数据同样应为城区尺度,并且能够获得,确保其与统计口径的一致性。

2.2 研究方法

考虑到卫星遥感影像可以直接获取城市地表的热辐射信息,并具有数据获取周期短、覆盖范围可控、获取成本低等优点^[14],本文利用卫星热红外遥感数据反演研究城市地表温度。但由于地表热辐射在传导过程中会收到辐射面与大气的影,这将造成卫星传感器接收到热辐射信息与地表真实热辐射状况差异较大的情况,而经过大气校正后再反演得到地表温度,基本考虑了大气和辐射面的干扰,因此本文首先通过 ENVI5.3 软件对所有影像数据作辐射定标和大气校正处理,剔除因大气散射对地表温度反演所造成的误差,其反演结果将会更接近于真实的地表温度^[22]。接着再对未覆盖完整研究区的影像进行影像拼接,然后在 ArcGIS10.2 软件中,利用研究市辖区的边界矢量图裁剪图像,得到研究区市辖区范围的遥感影像,最后对影像进行地表温度的反演计算,并以统计年鉴和相关历史气温等数据,验证其地表反演温度可靠性。热岛强度值计算公式为 $UHI = T_a - T_b$ (UHI 为热岛强度值, T_a 为城

市 A 选样点地表温度值, T_b 为郊区 B 参照点地表温度值,单位均为 $^{\circ}\text{C}$)^[23]。

由于各选定城市 2014 年与 2019 年遥感影像的成像时间不同,直接进行比较分析反演出的温度是不合理的,因此对各城市前后 2 a 的图像进行统一归一化处理,从而消除成像时间的影响^[24]。在 ArcGIS10.2 中依照公式(1)对所得地表温度进行归一化处理,接着按等差级值将各个城市热岛效应予以分级:0.8—1.0 表示强热岛区,0.6—0.8 表示热岛区,0.4—0.6 表示常温区,0.2—0.4 表示绿岛区,0—0.2 表示强绿岛区^[25]。

$$L = (T_n - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min})$$

式中, L 是代表各个城市影像中第 n 个像元亮度温度值的归一化值, T_n 代表第 n 个像元温度; T_{\min} 是温度最小值, T_{\max} 为温度最大值。

接着在热岛效应分级之后,使用 ERDAS9.2 软件对影像进行热岛转移矩阵计算。转移矩阵是对 2 期不同年度同一地区的热岛效应区的图层影像叠加分析数据,求得不同热岛效应区发生变化后的级别与其变化面积的二维矩阵,用以反映静态相同时期、相同地区、不同等级热岛效应区的面积,以及前期各级热岛效应区的面积转出情况和后期各级热岛效应区的面积转入情况。

3 结果与分析

3.1 研究区地表温度及城市热岛值变化分析

由结果(见表 1)可知,2014 年各个城市的地表最低温度从 0°C (郑州、太原等)到 27°C (佛山)不等,平均值为 9°C 。各个城市的地表最高温度从 7°C (阳泉)到 39°C (佛山)不等,平均值为 18.3°C 。研究区内城市热岛值由 2°C (蚌埠)到 6°C (杭州、厦门)不等。2019 年,研究城市中的地表最低温度从 1°C (郑州)到 23°C (汕头)不等。平均值为 13°C 。研究城市中的地表最高温度从 11°C (郑州)到 35°C (广州、东莞等)不等,平均值为 23.7°C 。研究区中的城市热岛值由 3°C (常州)到 7°C (南京、芜湖等)不等。

对比 2 a 的数据,研究区的最低温度、最高温度、平均温度均为升温,但开封、常州、佛山、东莞市的地表最低温度和最高温度却有所下降。强热岛城市主要为厦门、杭州市等地区。

表 1 2014—2019 年城市地表温度及热岛值

城市	最低温度/℃	最高温度/℃	热岛值	城市	最低温度/℃	最高温度/℃	热岛值
郑州市	0—1	8—11	3—4	杭州市	3—17	14—30	6—7
开封市	20—18	32—28	4—4	温州市	6—8	18—20	4—5
济南市	1—9	12—21	3—4	宁波市	5—8	14—18	3—4
太原市	0—3	8—13	3—4	嘉兴市	8—19	13—26	3—4
阳泉市	0—3	7—13	2—4	福州市	7—13	21—24	5—6
南京市	12—18	19—29	4—7	厦门市	10—16	22—28	6—7
芜湖市	13—20	18—31	3—7	广州市	18—18	32—35	5—6
苏州市	5—9	14—16	4—5	佛山市	27—22	39—34	5—5
无锡市	6—9	13—16	2—4	东莞市	22—20	36—35	5—5
常州市	12—9	18—16	2—2	汕头市	14—23	22—35	4—5
徐州市	4—15	10—23	3—4	蚌埠市	5—9	12—19	2—5

3.2 研究区热岛效应转移矩阵分析

2014 到 2019 年研究区各城市不同等级热岛效应区的转移矩阵信息如表 2 所示。5 a 间各城市的强绿岛类型所占面积均各自有所增减,上升幅度较大的城市为嘉兴市和汕头市,下降幅度较大的为杭州市和佛山市;5 a 间各城市的强热岛类型所占面积同样各有增减,上升幅度较大的城市有苏州市和宁

波市,下降幅度较大的有济南市等;强绿岛转入面积由 3. 407 km²到 641. 923 km²不等,其来源主要呈现由绿岛区、常温区、热岛区等依次递减的转入次序;强热岛区转入面积由 6. 978 km²到 1 053. 138 km²不等,其来源主要呈现由强绿岛区、绿岛区、常温区等依次递增的转入次序。

表 2 2014—2019 年城市热岛类型转移矩阵 km²

城市	强绿岛所占面积	强热岛所占面积	强绿岛转入面积	强热岛转入面积
郑州市	9. 454—74. 741	19. 215—1. 118	194. 522	352. 075
开封市	151. 690—242. 113	222. 87—289. 973	156. 165	112. 856
济南市	497. 948—602. 784	647. 933—484. 511	270. 173	781. 992
太原市	475. 530—132. 546	78. 444—146. 537	19. 388	100. 384
阳泉市	165. 065—61. 621	32. 834—90. 293	3. 407	34. 213
南京市	426. 341—415. 305	244. 678—449. 001	277. 935	211. 993
芜湖市	439. 746—284. 060	122. 369—47. 434	247. 335	23. 161
苏州市	1 458. 812—1 881. 447	137. 858—406. 791	164. 892	1 053. 138
无锡市	347. 349—346. 291	200. 486—108. 221	16. 042	45. 514
常州市	264. 515—293. 456	246. 701—234. 738	34. 247	926. 891
徐州市	620. 246—75. 459	101. 719—127. 247	121. 918	472. 694
杭州市	1 397. 188—695. 177	141. 137—325. 400	641. 923	568. 8
温州市	102. 606—112. 775	52. 703—28. 544	19. 364	38. 059
宁波市	163. 782—178. 447	78. 136—647. 761	76. 118	488. 473
嘉兴市	118. 850—385. 069	89. 603—17. 051	347. 956	6. 978
福州市	248. 736—146. 973	100. 929—174. 182	11. 272	93. 618
厦门市	90. 993—97. 300	67. 608—46. 943	20. 401	53. 167
广州市	234. 686—239. 716	179. 820—193. 554	161. 626	501. 696
佛山市	1 746. 094—732. 681	59. 354—76. 969	19. 562	82. 49
东莞市	125. 214—55. 596	45. 254—138. 312	18. 846	264. 701
汕头市	271. 472—480. 128	31. 286—31. 865	240. 847	50. 31

3.3 城市热岛的 PCA 分析

城市热岛效应是在城市化的人为因素和局地天气气象情况共同作用下产生的,是城市化过程中对城市环境影响的必然现象,本文主要分析城市化中人为因素对热岛效应的作用,根据相关文献结论将人为因素概括为城市规模、工业活动、居民活动及城市绿化 4 个方面。本文通过以下 2 个标准选择社会经济变量指标。首先,选定的指标必须直接或间接影响城市热岛效应,即这些指标对城市热岛效应的影响已由现有研究显示。其次,这些指标的数据必须在被研究的城市中可获得。通过文献筛选后选择了包括城市人口数、社会消费品零售总额、建成区面积、建成区绿地覆盖面积、工业用电量、道路面积、民用车辆拥有量、建成区绿地覆盖率、城镇居民用电量共 9 个定量指标(见表 3)。其中正相关代表影响因子越大,热岛效应越强,反之亦然。考虑到指标尺度统一及获取问题,剔除人口密度、工业烟粉尘排放量、工业废气排放量、工业二氧化硫排放量数据。因指标因子单位量纲的不同,为便于对结果的解释,本文使用统计分析软件 SPSS26.0 对各类指标因子进行标准化处理并借助主成分分析原理,将研究区中影响 22 个城市的热岛效应的变量进行主成分分析,分析结果 KMO 值大于 0.7,显著性为 0,小于 0.05,即能够确定本文所选变量适宜作主成分因子分析热岛效应的社会经济驱动力分析。

表 3 热岛效应社会经济影响因子及其参考文献来源			
社会经济影响因子	对热岛效应的影响	参考文献来源	
城 建成区面积	正相关	[33]	[34] [35] [36] [37]
市 道路面积	正相关	[13]	[34] [35] [38]
规 城市人口	正相关	[21]	[33] [35]
模 人口密度	正相关	[34]	[35] [36] [37]
工 工业用电	正相关	[33]	[36] [37] [39]
业 工业烟粉尘排放量	正相关	[13]	[34] [35] [38]
活 工业二氧化硫排放量	正相关	[21]	[33] [35]
动 工业废气排放量	正相关	[14]	
居 社会消费品零售总额	正相关	[40]	
民 民用车辆拥有量	正相关	[21]	[36]
活 城镇居民用电量	正相关	[21]	[33] [37] [39]
城市绿化			
建成区绿地覆盖率	负相关	[4]	[13] [14] [22]

由主成分特征值和贡献率(见表 4)可看出,第 1 主成分的贡献率最大,远高于其他主成分,为

63.717%;其次为第 2 主成分,为 11.515%。前 2 个主成分的累积贡献率已达 75.233%,且其特征值大于 1,表明前 2 个主成分包括了原始 9 个变量中 75.233%的信息量,且原始数据具有较高的冗余度。本文认为前 2 个主成分能够代表影响城市热岛的社会经济因素。对表 4 中数据进行主成分转换,得到前 2 个主成分所持的信息荷载情况(如表 5)。

表 4 各主成分的特征值和贡献率			
主成分	初始特征值		
	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	5.735	63.717	63.717
2	1.036	11.515	75.233
3	0.887	9.858	85.091
4	0.642	7.133	92.224
5	0.261	2.899	95.123
6	0.253	2.812	97.935
7	0.110	1.221	99.157
8	0.073	0.810	99.967
9	0.003	0.033	100.000

表 5 主成分载荷矩阵表		
影响因子	第 1 主成分	第 2 主成分
城市人口数	0.934	-0.012
社会消费品零售总额	0.913	-0.172
建成区面积	0.907	-0.199
建成区绿化覆盖面积	0.877	-0.011
工业用电量	0.874	-0.273
道路面积	0.825	0.326
民用车辆拥有量	0.584	0.480
建成区绿地覆盖率	0.576	0.562
城镇居民用电量	0.564	-0.490

一般来说,各主成分的对应该值越大,表明这一主成分所涵盖的初始变量信息就越多,即所占的比重更大。根据主成分荷载矩阵,具体分析各主成分的整体组成情况,以此表明不同社会经济因素对城市热岛效应的影响权重。对于第 1 主成分而言,城市人口数、社会消费品零售总额、建成区面积、建成区绿化覆盖面积和工业用电量等为其主要正向贡献因子;对于第 2 主成分而言,民用车辆拥有量和道路面积为其正向贡献因子,城镇居民用电量为其主要负向贡献因子,值得注意的是作为第 1 主成分的主要正向贡献因子则对第 2 主成分产生负向影响。这可能是在城市中当人口量、消费品零售总额等人口经济发展稳定,建成区面积不再扩张以及工业发

展趋势放缓后,因道路的不透水性或铺装材质的影响以及车辆尾气排放的缘故,所以道路面积和车辆数量的增减对城市热岛效应的影响将起到较为重要的作用。综合分析各个主成分的主要贡献因子,对研究区影响城市热岛效应的主要社会经济影响因子按照其贡献度大小可以概括为城市人口数、社会消费品零售总额、建成区面积、建成区绿化覆盖面积、工业用电量、道路面积共6个主要影响因子,这也与相关文献结论较为一致。同时由表5可看出,第1个主成分主要体现了城市规模对城市热岛效应的影响,主要包含城市人口数、建成区面积以及道路面积等信息;第2个主成分综合反映了居民活动及城市规模对城市热岛效应的影响,主要包括民用车辆拥有量和建成区绿化覆盖率等信息。

4 结论与讨论

(1)对比2014年与2019年的数据,研究所选的大部分城市的最低温度、最高温度和平均温度均为升温,各个城市的城市热岛值同样升高,城市热岛效应逐年增大。结果与李宇等的研究一致,他们发现我国绝大部分城市表现出了明显的热岛效应,且不同城市和区域热岛强度差异明显^[26]。但也出现如开封、常州、佛山、东莞市的最低温度和最高温度下降、但热岛值不变的情况。该结果和侯婷婷的研究^[27]相符。东莞市自2014年以后城市开始快速转型发展,高科技产业在一定程度上缓解了劳动力,同时政府更加注重城市生态环境的建设,城市规模的变化呈穿孔式的分布,因此东莞市未引发强烈的热岛效应,城市热岛效应趋于平缓状态。(2)不同城市热岛类型间的转移特征分析显示,强热岛区面积的扩大源于由强绿岛区到热岛区和强热岛区的转化,强绿岛区、绿岛区、常温区、热岛区转向强热岛区的数值也呈现逐级递增的趋势,但同时也有出现强绿岛区所占转化量更大的情况,如苏州、常州市。这也与马松超的研究结果相吻合^[28]。其结果显示,2009—2019年扬子江城市群(苏州、常州、南京、无锡等城市)的整体热岛效应仍在增强,其中苏州市、常州市、无锡市的热岛面积占城市群的主导,其中,苏州市贡献度最大。由低温度区转化为高温区或极高温区的现象也主要分布在这3个城市。这是因为城市中强绿岛和绿岛区常为水体与植被繁茂地,转变成成为高热源地区的可能性较低,而城市中的常温区和热岛区伴随着社会经济发展和城市

建设,常被改造成硬质、不通风或是绿植较少的功能用地,以致成为新的高热源产生区。人工斑块占比大的区域易产生热岛效应,人工斑块(建设用地、未利用地)面积占比越大,自然斑块(水体、植被)的面积占比越小,热岛强度越高^[29]。出现强绿岛区转出的现象,与城市自身发展进程中的开发建设需求相关,由表1可知强绿岛面积转出对城市热岛具有较大的影响效果。(3)针对社会经济因素对城市热岛效应影响的主成分分析表明,第1主成分主要反映了城市规模对城市热岛效应的影响,主要包括城市人口数、建成区面积及道路面积等信息;城市规模对城市热岛效应具有正相关的作用,简单说就是随着城市规模增大,人口数量增多,建成区面积扩张以及道路面积的增加,城市热岛效应就越容易发生,其程度也愈明显。虽然城市规模中也涵盖了绿化植被等绿地指标,但有些城市即使城区范围内的绿地面积增速高于郊区,城区范围内的平均气温或最高气温却也高于郊区^[30]。这说明了城区内的植被对气温和热岛强度的贡献要小于其他因素影响,即城区增加的植被对减缓热岛效应的贡献不足以抵消其他因素增强热岛效应的贡献。而城市人口数量、建成区面积、道路面积、工业用电量等指标可能起到较大影响。第2主成分综合反映了居民活动及城市规模对城市热岛效应的影响,主要包括民用车辆拥有量和建成区绿化覆盖率等信息。参考Clinton等的研究可知,城市规模和城市发展强度是影响热岛效应最主要的社会经济变量,而城市人口的影响性则是最低的^[31]。这与本研究结果存在一定矛盾,造成这种差异的部分由不同的人口测量方法所导致,在其研究中,人口测量方法是使用插值融合的一种网络数据集,而在本研究中,人口测量方法是根据研究区统计局发布的数据所确定的。造成这种差异的另一个部分重要的潜在原因是城市产业结构和发展模式的差异,这意味着不同地区或国家在城市热岛形成评估中相同的社会经济因素所起的作用可能是不同的。

由于遥感影像获取的限制性,只有少数城市能够参与完整的相关分析,且每个研究城市的遥感数据与其社会经济统计数据的匹配程度仍具有提高的空间。选定的各社会经济指标均来源于政府相关网站发布资料,在社会经济发展与城市建设方面具有不同程度的影响作用,不排除某些指标的内在关联。考虑到文章着重计算城市热岛效应及热岛

转移矩阵,并进行选定指标因子对热岛效应的影响分析,就此暂未对指标之间的关联性作深入研究,后续研究可就其关联性做进一步探讨。另外,长时序同时期的社会经济数据,如城市统计年鉴、大数据、碳中和统计数据、问卷调查数据等与城市热岛数据,如气象站台数值、遥感影像数据、预测模型结果数值等之间的有效结合,将有助于降低分析结果的误差,并提高其稳定性和参考意义,从而计算出社会经济因素对于城市热岛效应更加全面的影响变化和权重占比,以此针对性提出有效缓解城市热岛效应的干预措施。最后,只评估了城市部分社会经济指标对城市热岛效应的相对贡献度,计算所产生的结果存在一定局限性,未来可通过多元的社会经济指标,如 POI 数据、城市问卷调查、碳中和统计数据等与城市热岛之间的深入分析探究 2 者的内在关系。

根据上述分析结果,结合前人对城市热岛效应的研究结论,提出以下建议:(1)适当控制城市人口数量,综合考虑扩大城区建设所带来的负面影响,着重城市建设布局,对城市道路、工业区、公园绿地等方面进行科学规划,已有研究表明,热岛的空间形态与城市化地区具有较高的相似性^[32-39]。因此,在规划城市内的各区域时,必须考虑城市布局对局部热环境的影响,合理利用城市空间布局建设作为减少区域热岛效应的手段;(2)严格审批工业废气、废水的排放,降低城市工业企业生产的能耗释放,合理调控能耗布局;(3)加强城市机动车辆的管理控制,提倡清洁能源如电力驱动、油电混合驱动等交通工具;(4)在城市热岛区域增设绿地面积,同时推行城市垂直绿化建设。在缓解热岛效应的同时通过串联-集中的形式优化城市绿地布局合理性,并提高城区绿化建设意识,引导公众深化绿色环保观念,关注城市环境变化对温度造成的影响情况。

参考文献:

- [1] CHEN M X, LIU W D, LU D D. Challenges and the way forward in China's new-type urbanization[J]. Land Use Policy, 2016, 55: 334-339.
- [2] 曾 礼.夏热冬冷地区可持续中小学校园建筑规划与设计研究[D].长沙:湖南大学,2012.
- [3] ZHOU B, RYBSKI D, KROPP J P. The role of city size and urban form in the surface urban heat island[J]. Scientific reports, 2017, 7(1): 23-28.
- [4] 姚 远,陈 曦,钱 静.城市地表热环境研究进展[J].生态学

- 报, 2018, 38(3): 1134-1147.
- [5] 潘 莹,崔林林,刘昌脉,等.基于 MODIS 数据的重庆市城市热岛效应时空分析[J].生态学杂志, 2018, 37(12): 3736-3745.
- [6] SANTAMOURIS M, KOLOKOTSA D. On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and environmental quality of vulnerable population in Europe[J]. Energy & Buildings, 2015, 98: 125-133.
- [7] 曹 进,曾光明,石 林,等.基于 RS 和 GIS 的长沙城市热岛效应与 TSP 污染耦合关系[J].生态环境, 2007, 16(1): 12-17.
- [8] 葛荣凤,许开鹏,迟妍妍,等.基于脆弱性理论的城市热岛评估研究——以北京市为例[C]//中国环境科学学会. 2017 中国环境科学学会科学与技术年会论文集(第 1 卷). 2017: 361-372.
- [9] 吴 凡,景元书,李雪源,等.南京地区高温热浪对心脑血管疾病日死亡人数的影响[J].环境卫生学杂志, 2013, 3(4): 288-292.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部.JGJ 286-2013 城市居住热环境设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社, 2014.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市生态建设环境绩效评估导则(试行). 2015[2016-07-27]. <http://www.zjjs.com.cn/n71/n72/c345411/part/3.pdf>.
- [12] http://www.gov.cn/xinwen/2019-08/21/content_5422965.htm
- [13] 周淑贞,束 炯.城市气候学[M].北京:气象出版社, 1994.
- [14] 白 杨,王晓云,姜海梅,等.城市热岛效应研究进展[J].气象与环境学报, 2013, 29(2): 101-106.
- [15] OKE T. Boundary Layer Climates [M]. London: Methuen & Co. Ltd, 1987: 435.
- [16] HUNG T, UCHIHAMA D, OCHI S, et al. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2006, 8(1): 34-48.
- [17] CHEVAL S, DUMITRESCU A. The July urban heat island of Bucharest as derived from MODIS images [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2009, 96: 145-153.
- [18] MITCHELL B C, CHAKRABORTY J. Urban heat and climate justice: a landscape of thermal inequity in Pinellas County, Florida [J]. Geographical Review, 2014, 104(4): 459-480.
- [19] 张 瑜,黄曦涛,韩 玲,等.西安市城市热岛效应影响因素分析研究[J].测绘通报, 2015(10): 47-51.
- [20] 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[J].地理科学进展, 2011, 30(1): 35-41.
- [21] 黎良财, LU Dengsheng, 张晓丽,等.基于 Landsat8 卫星影像的重工业城市热岛效应研究——以柳州市为例[J].中南林业科技大学学报, 2015, 35(7): 74-80.
- [22] 孟 鹏,胡 勇,巩彩兰,等.热红外遥感地表温度反演研究现状与发展趋势[J].遥感信息, 2012, 27(6): 118-123, 132.
- [23] 陈 欢.生态斑块对城市微气候调节作用的影响研究[D].武汉:湖北工业大学, 2019.
- [24] 盛 辉,万 红,崔建勇,等.基于 TM 影像的城市热岛效应监测与预测分析[J].遥感技术与应用, 2010, 25(1): 8-14.

(下转第 52 页)

惩戒影响。其实,对尚未构成犯罪者进行处罚,形式上仍可沿袭鸣锣致歉、罚戏、罚酒和罚植等传统教育方式;也可通过张贴悔过书、罚电影等惩罚形式进行教育。利用好惩罚的恒久和流变 2 种不同特性^[7],使保护山林的传统世代相传。

2.4.2 法办 与古代的人治社会,禀报官府指望“青天老爷”为民作主不同,法制社会一切以法律为准绳。对于情节较轻的毁林行为,通过报警立案,由林业执法人员实地调查,按法规给予行政处罚。对情节严重的案件移交公安机关侦察,由检察和审判机关按法律程序提请诉讼宣判惩罚。

2.4.3 家族管理 作为最严厉的逐出族群惩罚方式,逐出族群随着宗族制度的瓦解,虽已不复存在,但对于祁门这种具有厚重文化沉淀又相对封闭的山区,少数村庄可利用家族里德高望重的族老,或是事业有成、具相当影响力的族内人物,来倡导保护生态环境,以乡约形式来规范群众日常林区生产和野外用火行为,减少各类成本^[10]。利用可能的宗族影响来传承好山林保护传统文化,可以促进乡村振兴中的文化振兴和生态振兴 2 项建设任务。

3 小结

在当前林业生态建设过程中,可借鉴古代一些

传统做法:在组织形式上通过乡规民约组建民间义务护林组织,以应对突发灾害和维护林区秩序;在经营生产过程中提高科技营林水平,减少水土流失;在宣传教育上沿用罚戏等惩戒方式,切实提高广大群众生态保护意识。

参考文献:

- [1] 安徽省祁门县统计局.2020 祁门统计年鉴[Z]. 黄山:2020.
 - [2] 唐力行.徽州宗族社会[M]. 合肥:安徽人民出版社,2005.
 - [3] 汪良发.徽州文化十二讲[M]. 合肥:合肥工业大学出版社,2008.
 - [4] 卡 利.明清徽州乡(村)规民约论纲[J]. 中国农史,2004(4):98-105.
 - [5] 卡 利.明清时期徽州森林保护碑刻初探[J]. 中国农史,2003(2):109-115.
 - [6] 祁门县志编纂委员会.驱棚除害记//祁门县志[M]. 合肥:黄山书社,2008.
 - [7] 陈 琪,张小平,章望南.花雨弥天妙歌舞:徽州古戏台[M]. 沈阳:辽宁人民出版社,2002.
 - [8] 尼采(德).论道德的谱系:一篇论战檄文(周弘译)[M]. 北京:生活·读书·新知三联书店,2017.
 - [9] 党的十九大报告学习辅导百问[M]. 北京:党建读物出版社、学习出版社,2017.
 - [10] 王启敏.徽文化新论[M]. 合肥:黄山书社,2007.
-
- (上接第 40 页)
- [25] 李时雨,刘艳芳,孔雪松,等.武汉市生态用地景观格局的时空演化特征分析[J].测绘地理信息,2016,41(3):68-73.
 - [26] 李 宇,周德成,闫章美.中国 84 个主要城市大气热岛效应的时空变化特征及影响因子[J].环境科学,2021,42(10):5037-5045.
 - [27] 侯婷婷.典型收缩型城市的热环境变化分析[D].哈尔滨:哈尔滨师范大学,2020.
 - [28] 马松超.城市热岛时空变化特征及演变规律研究——以扬子江城市群为例[J/OL].测绘地理信息,2021(5):93-97.
 - [29] 潘明慧,兰思仁,朱里莹,等.景观格局类型对热岛效应的影响——以福州市中心城区为例[J].中国环境科学,2020,40(6):2635-2646.
 - [30] 孙应龙,王慧芳,李 根,等.2000—2019 年北京市热岛效应时空变化特征及影响因素[J].环境生态学,2020,2(8):43-50.
 - [31] CLINTON N, GONG P. MODIS detected surface urban heat islands and sinks: Global locations and controls[J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 134: 294-304.
 - [32] LIU Y H, FANG X Y, XU Y M, et al. Assessment of surface urban heat island across China's three main urban agglomerations [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2018, 133(1): 473-488.
 - [33] 刘苏庆,陈建平,李 诗.北京城区 2000—2014 年地表温度反演及因素分析[J].地质学刊,2019,43(3):499-505.
 - [34] 冯晓刚,撒利伟,许五弟,等.快速城镇化背景下城市热岛演变特征及成因分析[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2015,47(4):565-570.
 - [35] 刘宇峰,原志华,孔 伟,等.1993—2012 年西安城区城市热岛效应强度变化趋势及影响因素分析[J].自然资源学报,2015,30(6):974-985.
 - [36] 张 艳,鲍文杰,余 琦,等.超大城市热岛效应的季节变化特征及其年际差异[J].地球物理学报,2012,55(4):1121-1128.
 - [37] 周 毅,齐 华.基于 Landsat 8 的成都市城市热岛时空格局变化研究[J].地理信息世界,2019,26(2):7-12,20.
 - [38] 龙志宇,欧阳水章,周 斌,等.永州市城市热岛效应分析研究[C]//第 32 届中国气象学会年会 S6.应对气候变化、低碳发展与生态文明建设.2015:256-258.
 - [39] 张 瑜.西安市城市热岛效应宏观动态监测和模拟预测模型研究[D].西安:长安大学,2016.