城市化进程中县域土地利用类型的转移特征及其对热环境的影响

刘 璐[1,3], 申广荣[1,2,3], 吴 裕[1,2], 张周逸林[1,2], 陆邵明[4]

(1. 上海交通大学 农业与生物学院 低碳农业研究中心, 上海 200240; 2. 农业部都市农业重点实验室, 上海 200240; 3. 国家林业局 上海城市森林生态系统国家定位观测研究站, 上海 200240; 4. 上海交通大学 设计学院, 上海 200240)

摘 要: [目的] 评估城市化过程中土地利用类型的转移特征及其对热环境的影响,为优化土地利用格局和低碳背景下区域发展和管理提供科学依据。[方法] 以浙江省海盐市为例,基于 4 期 Landsat 卫星影像,解译土地利用类型并反演地表温度,通过县域土地利用转移矩阵和热效应贡献度指数,分析城市热岛的时空分布及土地利用类型转移特征对热环境造成的影响。[结果] 2007—2017 年 10 a 间,海盐县中心城区的建成区明显扩张,土地利用类型格局变化显著,土地利用动态度达 42.3%。城市用地面积显著增加,转入比率达 44.1%,主要由植被与道路转入;植被覆盖面积明显减少,转出比率达 51.2%,主要转移为城市用地和道路。城市高温区分布从聚集的岛状逐渐分散化,向建成区边缘转移。城市用地的热贡献度最大,伴随着其面积的增加,其热贡献度从 2007 年的 59.6%上升到 2017 年的 87.5%。[结论] 城市用地是影响海盐县中心城区热环境的决定性因素,城市化进程中,合理有效地规划和控制建成区的扩展,是减缓热岛效应的重要措施。

关键词: 土地利用变化; 转移特征; 地表温度; 城市化; 热岛效应

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2019)06-0260-07 **中图分类号**: TP79, F301.2

文献参数: 刘璐, 申广荣, 吴裕, 等. 城市化进程中县域土地利用类型的转移特征及其对热环境的影响[J]. 水土保持通报, 2019, 39(6): 260-266. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.06.038; Liu Lu, Shen Guangrong, Wu Yu, et al. Characteristics of land use transfer and its influence on thermal environment in county-level urbanization[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 260-266.

Characteristics of Land Use Transfer and Its Influence on Thermal Environment in County-level Urbanization

Liu Lu[1,3], Shen Guangrong[1,2,3], WU Yu[1,2], Zhangzhou Yilin[1,2], Lu Shaoming[4]

〔1. *School of Agriculture and Biology, Research Center for Low-Carbon Agriculture, Shanghai Jiaotong University, Shanghai* 200240, *China*; 2. *Key Laboratory of Urban Agriculture (South), Ministry of Agriculture, Shanghai* 200240, *China*; 3. *Shanghai Urban Forest Ecosystem Research Station of National Positioning and Observation, State Forestry Administration, Shanghai* 200240, *China*; 4. *School of Design, Shanghai Jiaotong University, Shanghai* 200240, *China*〕

Abstract: [Objective] The transfer characteristics of land use types and its impact on the thermal environment in the process of urbanization were studied, in order to provide scientific basis for optimizing the land use pattern and regional development and management in the context of low carbon. [Methods] Take Haiyan County, Zhejiang Province as a case study area, based on the four Landsat satellite images, the county-level land use types were interpreted and surface temperatures were derived. The spatial and temporal distribution of urban heat islands and the impact of land use type transfer on the thermal environment were analyzed by the land use transfer matrix and the contribution index of thermal effect. [Results] From 2007 to 2017, the built-up area in the central urban area of Haiyan County expanded significantly, the pattern of land use also changed significantly, and the dynamic degree of land use reached to 42.3%. The urban land area increased significantly,

收稿日期: 2019-03-11 **修回日期**: 2019-07-24

资助项目: 国家自然科学基金项目"城市滨水区景观重构中的全球性与地方性耦合机制"(41471120); 国家社科基金重大项目(14ZDB139); 上海 2017 年度"科技创新行动计划"企业国际科技合作项目(17230732600)

第一作者: 刘璐(1994—),女(满族),河北省隆化县人,硕士研究生,研究方向为农业高光谱遥感,E-mail: 779087929@qq.com, lucialiu@sjtu.edu.cn。

通讯作者: 申广荣(1964—),女(汉族),山西省太谷县人,博士,副教授,主要从事农业遥感方面的研究。E-mail: sgrong@sjtu.edu.cn。

with a transfer rate of 44.1%, mainly transferred from vegetation and roads. The vegetation coverage area decreased significantly, and the transfer rate was 51.2%, mainly transferred into urban land and roads. The distribution of urban heat island was gradually dispersed from the concentrated island to the edge of urban area. With the increase of urban area, its thermal contribution increased from 59.6% in 2007 to 87.5% in 2017. [Conclusion] Urban land use is a decisive factor affecting the thermal environment of Haiyan County. In the process of urbanization, reasonable and effective planning and control of the expansion of built-up areas is important measures to slow down the heat island effect.

Keywords: land use change; transfer characteristics; land surface temperature; urbanization; heat island effect

在城市化进程中,人口增长、经济发展、空间扩张在推动城市进步的同时,也通过增加不透水层面积、减少植被覆盖、改变景观格局的方式对地方和区域尺度上的土地利用方式及热环境产生深刻影响。现有城市化研究更多关注的是大中城市,且在社会经济的角度界定城市化的基础上,进行城市化驱动力及城市化对城市空间格局的影响研究,而对城市化过程中,自然要素如土地利用类型的转移特征及其对热环境的影响等方面的研究较少。县域作为城市空间体系的节点,上接大中城市,下连广大农村,是区域经济发展的基本单元。因此,在区域发展体系中,考察城市化进程中地区县域土地利用类型的转移特征及其对热环境的影响具有特殊意义。

城市热岛效应的监测方法主要有气象站法、布点法、遥感监测法等。其中遥感监测法具有数据容易获取、可以大范围监测等优点,被广泛应用。地表温度反演的常用算法包括单窗算法[1]、单通道算法[2]、劈窗算法[3]和大气校正法[4]等。城市化进程中土地利用类型的改变是造成城市地表温度变化的原因之一,研究表明土地利用空间格局与城市热岛之间存在关系[5]。葛荣凤等[6]使用 Landsat 5 TM 数据,通过空间重心模型发现 20 a 间北京市六环内热岛强度总体上呈现增长趋势,同时呈现破碎化态势。孙明等[7]使用 Landsat 系列数据获取地表温度,通过热岛比例指数和热岛强度说明研究区热岛效应的逐年加重,并指出绿地和水体可以缓解城市热岛效应。赵梓淇等[8]将土地利用类型分为建筑用地、绿地、农田、弃地、道路和水体 6 类,通过辐射传输方程法获取地表温度,以城市中心为原点分析不同距离下地表温度与土地利用类型关系,发现地类平均地表温度随着与城市中心原点距离的增加而减小。

浙江省嘉兴市海盐县是中国综合实力百强县,被国务院列入沿海经济开放区。2000 年,其城市化率为 30.8%,2017 年增长至 60.2%(http://old3w.cnjxol.com/xwzx/jxxw/qxxw/hy/content/2018-11/05/content_4156772.htm),高于全国平均水平。研究海盐县城市化过程中,土地利用类型的转移特征及其对热环境的影响、揭示其时空演变规律,对低碳背景下区域发展和管理具有十分重要的意义。本研究以海盐县为例基于 2007,2013,2015 和 2017 年 4 个时期的遥感数据,定量分析快速城市化背景下海盐县土地利用时空变化及其土地利用类型转移特征,探讨其对热环境的影响,为区域可持续发展提供科学依据。

1　研究数据与方法

1.1　研究区概况

海盐县位于浙江省嘉兴市,地处北纬 30°21′47″—30°38′29″,东经 120°43′21″—121°02′55″,是上海、杭州、苏州、宁波市 4 大城市的区位中心和长三角重要的交通神经中枢。全县陆地总面积 5 850 km^2,海湾面积 4 880 km^2,为典型的东亚季风气候,全年平均气温 15.9 ℃,年平均雨量 1 189.7 mm,全年日照时数平均为 1 919.7 h。2007—2017 年 10 a 间,海盐县生产总值从 180.1 亿元增长至 460.1 亿元,人均生产总值从 4.91×10^4 元增长至 1.21×10^5 元(http://www.haiyan.gov.cn/col/col1512872/index.html)。本研究区为处于海盐县武源街道的中心城区,包括处于中心城区东部的建成区及周边区域,总面积为5.2 km^2。

1.2　数据来源及处理

研究所用遥感影像资料来自美国陆地卫星 Landsat。收集的遥感影像资料季相一致、质量较好、少云无云,2007 年 7 月 28 日成像的 Landsat 5TM 数据,2013 年 8 月 29 日、2015 年 8 月 3 日和 2017 年 7 月 23 日成像的 Landsat 8OLI/TIRS 数据(行号/列号:118/39)。本研究使用可见光和近红外波段进行土地利用类型信息的提取,使用热红外波段进行地表温度反演,技术路线如图 1 所示。

本研究首先基于 EADAS IMAGE 2018 软件,对 Landsat 8OLI/TIRS 数据的多光谱和全色波段影像进行波段融合,提高图像空间分辨率到 15 m;其次,以海盐县中心城区行政边界矢量图层为基准,对纠正好的影像进行裁剪得到研究区遥感影像。在此基础上,采用监督分类中的最大似然法对影像进行分类。土地分类以《城市用地分类与规划建设用地标准

(50137-2011)》为参考，根据研究区的土地利用现状及遥感影像的分辨率，将土地利用类型划分为 4 类：城市用地、植被、道路和水体。其中，城市用地包括居民点、工业用地、商业用地、裸地等；植被主要由耕地组成，还包括部分园地、林地、草地等；受限于分辨率，道路仅包括省级公路和县级公路；水体包括河流、养殖水面。分类完成后，使用聚类统计和去除分析删除小图斑，将其合并到相邻的最大地类中。不同年份土地利用分布图的总体精度均达到 85%以上(表 1)，分类效果较好。在此基础上，进行研究区土地利用转移特征及其对热环境的影响分析。

表 1 不同年份 Landsat 遥感影像分类精度

影像获取日期	总体精度/%	Kappa 系数
20070728	87	0.831 3
20130829	90	0.850 4
20150803	91	0.861 9
20170723	90.5	0.855 7

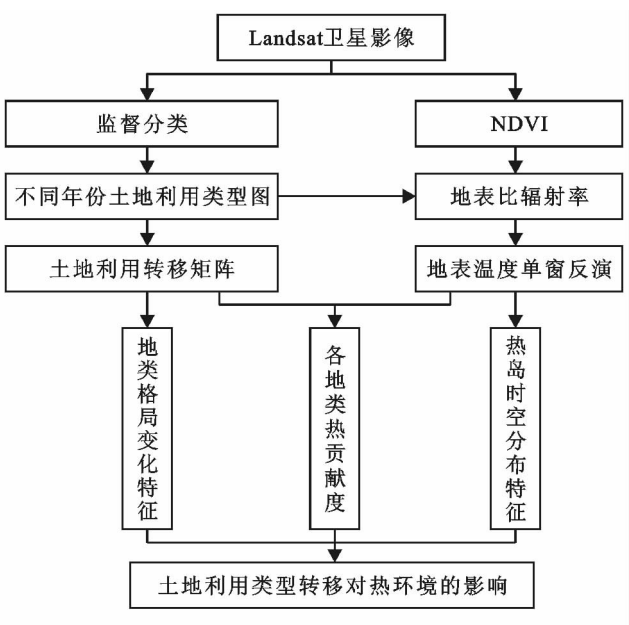


图 1 Landsat 8 卫星影像处理技术路线

1.3 研究方法

1.3.1 *土地利用转移矩阵及其转移特征* 土地利用类型面积的改变是其转入和转出的综合结果。土地利用转移矩阵可以直观地显示不同时段地类的相互转化状况并提取出地类转移特征。其中，土地利用动态度是发生转移的面积与研究区总面积的比值，宏观上表现了地类转移的程度[9]，转入/转出比率为地类转入/转出面积占地类转移总面积的比例。

1.3.2 *地表温度反演单窗算法* 遥感图像辐射定标和大气校正后，在 ENVI 5.3 软件中采用覃志豪单窗算法[1,10-11]对地表温度进行反演。Landsat TM 数据和 Landsat OLI/TIRS 数据进行反演的方法类似，以下以 Landsat OLI/TIRS 数据为例：

$$T_S=\{a(1-C-D)+[b(1-C-D)+C+D]T_{sensor}-DT_a\}/C$$

$$C=\tau\varepsilon$$

$$D=(1-\tau)[1+(1-\varepsilon)\tau] \quad (1)$$

式中：T_S——地表温度(K)；T_{sensor}——亮温温度(K)；T_a——大气平均作用温度(K)；τ——大气透射率；ε——地表比辐射率；a，b——系数，$a=-67.355\ 4$，$b=0.458\ 6$。

亮温温度 T_{sensor} 使用普朗克公式进行计算[11]：

$$T_{sensor}=\frac{1\ 321.08}{\ln\left(1+\frac{774.89}{L_\lambda}\right)} \quad (2)$$

式中：L_λ——辐射定标后的热辐射强度值。

大气模式为中纬度夏季大气时[11]：

$$T_a=16.011\ 0+0.926\ 21T_0 \quad (3)$$

式中：T_0——近地面气温，可以查询历史温度获取(http://lishi.tianqi.com/)。

大气透射率 τ 在 NASA 提供的网站上查询(https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/)。

NDVI(归一化植被指数)计算：

$$NDVI=\frac{B_5-B_4}{B_5+B_4} \quad (4)$$

式中：B_4，B_5——Landsat 8OLI/TIRS 的第 4，第 5 波段。

植被覆盖率 P_v 计算：

$$P_v=\frac{NDVI-NDVI_s}{NDVI_v-NDVI_s} \quad (5)$$

式中：$NDVI_s$——裸地的 NDVI；$NDVI_v$——植被的 NDVI。

地表比辐射率 ε 基于 NDVI 与 P_v 计算[12]：

① $NDVI\leqslant 0$，认为像元的土地利用类型为水体，$\varepsilon=0.995$；

② 当 $0<NDVI\leqslant 0.05$，认为像元的土地利用类型为裸地，$\varepsilon=0.97215$；

③ 当 $0.05<NDVI\leqslant 0.70$，认为是像元是由植被和裸地组成的混合像元，ε 由式(6)计算：

$$\varepsilon=0.962\ 623+0.061\ 338P_v-0.046\ 14P_v^2 \quad (6)$$

④ 当 $NDVI\geqslant 0.70$，认为像元完全由植被构成，$\varepsilon=0.986$。

1.3.3 *密度分割* 数据标准化后，采用密度分割法将地表温度划分为低温区、亚低温区、中温区、亚高温区、高温区 5 个等级[13]。

$$R_{LST}=\overline{LST}\pm n\mathrm{SD} \quad (7)$$

式中：R_{LST}——不同温度等级的分界点；$\overline{LST}$——平

均地表温度;n——倍数,分别取值 0.5,1;SD——地表温度标准差。

1.3.4　热效应定量评价　为了衡量不同土地利用类型对城市热环境影响程度,本研究采用热效应贡献度指数对其定量计算[14]。

$$H_i=\frac{H_i'}{\sum_{i=1}^{n}H_i'}\times 100\% \tag{8}$$

$$H_i'=\frac{\sum_{j=1}^{n}(T_{ij}-T)\times n}{T\times N}\times 100\% \tag{9}$$

式中:H_i'——初始热效应贡献度(%);H_i——标准化处理后不同地类的热效应贡献度(%);T_{ij}——地类 i 中高于平均温度的第 j 个像元的温度(℃);T——研究区平均温度(℃);n——地类 i 中高于平均温度的像元数;N——总像元数。

2　结果与分析

2.1　土地利用类型转移特征

基于遥感图像解译得到研究区 2007,2013,2015 和 2017 年土地利用类型空间分布及对应的面积占比(图 2—3)。中心城区内,包括耕地、林地、园地和灌木在内的植被覆盖面积比率在 2007 年达 60.5%,2013,2015 和 2017 年基本保持在 46%左右。2007—2017 的 10 a 间,城市用地面积逐年增加,占比从 17.4%增至 30.4%。道路面积较为稳定,保持在 15%左右。水体的面积变化呈先增加后减少的趋势,2013 年最大。2016 年,海盐县政府在东部滩涂进行开发建设,设立了度假区,与此对应,2017 年遥感图像显示原覆盖东部滩涂的水体和植被转化为城市用地,总水体面积比例从 2015 年的 9.3%减少到了与 2007 年接近的 8%。



图 2　海盐县中心城区 2007,2013,2015 和 2017 年份土地利用类型分布

基于土地利用类型分布状况,进一步对研究区不同年份土地利用类型的转移特征进行分析(表 2)。2013—2015 年、2015—2017 年和 2007—2017 年,土地利用动态度分别为 24.6%,29.4%和 42.3%,转入比率依次为:城市用地>道路>植被>水体,转出比率依次为:植被>道路>城市用地>水体。2007—2017 年 10 a 间,城市用地的转入比率达 44.1%,转入的用地类型主要为植被和道路,分别占城市用地总转入面积的 54.6%和 31.3%;植被面积显著下降,转出比率达 51.2%,主要转移为城市用地和道路,二者分别占植被总转出面积的 41%和 50.1%。

由表 2 和图 2 可知,城市用地和道路之间相互转移明显,说明随着城市用地的扩展,旧的路网被破坏,同时又形成了新的路网,道路总面积虽变化不大但格局变化较为剧烈。水体的转入、转出比率均较低,格局相对稳定。

表 2 研究区 2007—2017 年土地利用转移矩阵 hm^2

项目		2017 年				转出面积
		城市用地	植被	道路	水体	
2007 年	城市用地	610.48	101.97	138.06	57.78	297.81
	植被	531.09	2 026.86	444.42	153.36	1 128.87
	道路	304.92	228.78	196.08	30.69	564.39
	水体	136.98	28.98	48.33	176.37	214.29
转入面积		972.99	359.73	630.81	241.83	

注:表中数据为各地类从 2007 年到 2017 年的转移面积。

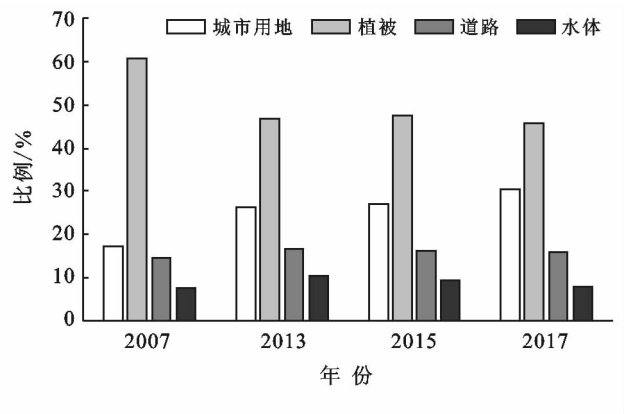


图 3 海盐县中心城区不同年份土地利用类型面积比例

2.2 地表温度分布特征

基于单窗算法和 Landsat 卫星影像,反演获得研究区不同时间地表温度,进一步根据地表温度的等级划分〔公式(7)(表 3)〕,得到海盐县中心城区不同时期地表温区分布特征(图 4)。不同温区的空间格局反映出了城市热环境的变化趋势。在 4 个年份中,处于中心城区东部建筑和人口密集的建成区地表温度明显高于主要被植被覆盖的郊区。2007 年高温区明显聚集成岛状,主要集中在海盐县政府及其周边商业区、住宅区附近,2013 年后,高温区逐渐向建成区边缘新建立的工业园区、住宅区、商业区等城市用地转移,呈现破碎化趋势,并在 2017 年形成新的小热岛。对 2007—2017 年地表温度分布及其变化情况分析发现,研究区低温区、高温区和中温区占比基本保持不变,但亚高温区占比从 10.5%增加到 16.1%,亚低温区占比从 24.7%减少到 19.5%。进一步合并亚低温区与低温区为较低温区,合并亚高温区与高温区为较高温区,10 a 间,较低温区的面积比例减少了 4.2%,较高温区的面积比例增加了 5%,呈现出较低温区向较高温区转化的现象,显示出中心城区热环境的变化趋势。

表 3 研究区 2007 和 2017 年地表温度分级统计

温度等级	20070728		20170723	
	温度范围/℃	面积占比/%	温度范围/℃	面积占比/%
低温区	LST≤32.7	14.9	LST≤36.1	15.9
亚低温区	32.7<LST≤34.2	24.7	36.1<LST≤37.6	19.5
中温区	34.2<LST≤37.4	31.5	37.6<LST≤40.8	30.7
亚高温区	37.4<LST≤39	10.5	40.8<LST≤42.4	16.1
高温区	LST>39	18.4	LST>42.4	17.8

2.3 土地利用类型对城市热环境的影响

地表温度与土地利用类型紧密相关。遥感地表温度反演结果显示,地表温度值呈现:城市用地>道路> 水体> 植被的规律。城市用地主要分布在高温区(平均面积比例为 54%)和亚高温区(平均面积比例为 22.5%);道路主要分布在中温区(平均面积比例为 39.1%)和亚高温区(平均面积比例为 25.6%);水体主要分布在中温区(平均面积比例为 35.5%)、低温区(平均面积比例为 24.3%)和亚低温区(平均面积比例为 21.9%);植被覆盖主要分布在低温区(平均面积比例为 31.3%)、亚低温区(平均面积比例为 30%)和中温区(平均面积比例为 30.9%)。

通过热效应贡献度指数对地类间相互转移对热环境的影响进行定量分析(表 4)。4 个年份中,土地利用类型对热环境的贡献度排序为:城市用地>道路>植被>水体。其中,城市用地对热环境的贡献率(>50%)明显高于其他土地利用类型,而水体对热环境的贡献率微小(<1%)。2013—2015 年,各地类的面积和热贡献度变化幅度均很小。2015—2017 年,城市用地面积略微增加,但热贡献度明显提高(增加了 7.6%),说明了较 2013 和 2015 年,2017 年城市用地中高于地表平均温度的比例更大,城市用地高于研

究区地表平均温度的差值也更大。较大时间尺度上,2007—2017 年 10 a 间,随着城市用地的不断扩展(增加了 13%)和植被覆盖面积逐步减少(减少了 14.8%),城市用地类型的热贡献率显著增大,从 59.6%提升至 87.5%,其他地类的热贡献率则明显地减小,城市用地对热环境造成了决定性的影响。因此,城市用地面积大幅增加,植被覆盖面积的显著减少是在全球变暖环境下,引发研究区较高温区和较低温区的面积比例分别增加和减少,进而引发热环境变化的主要原因。

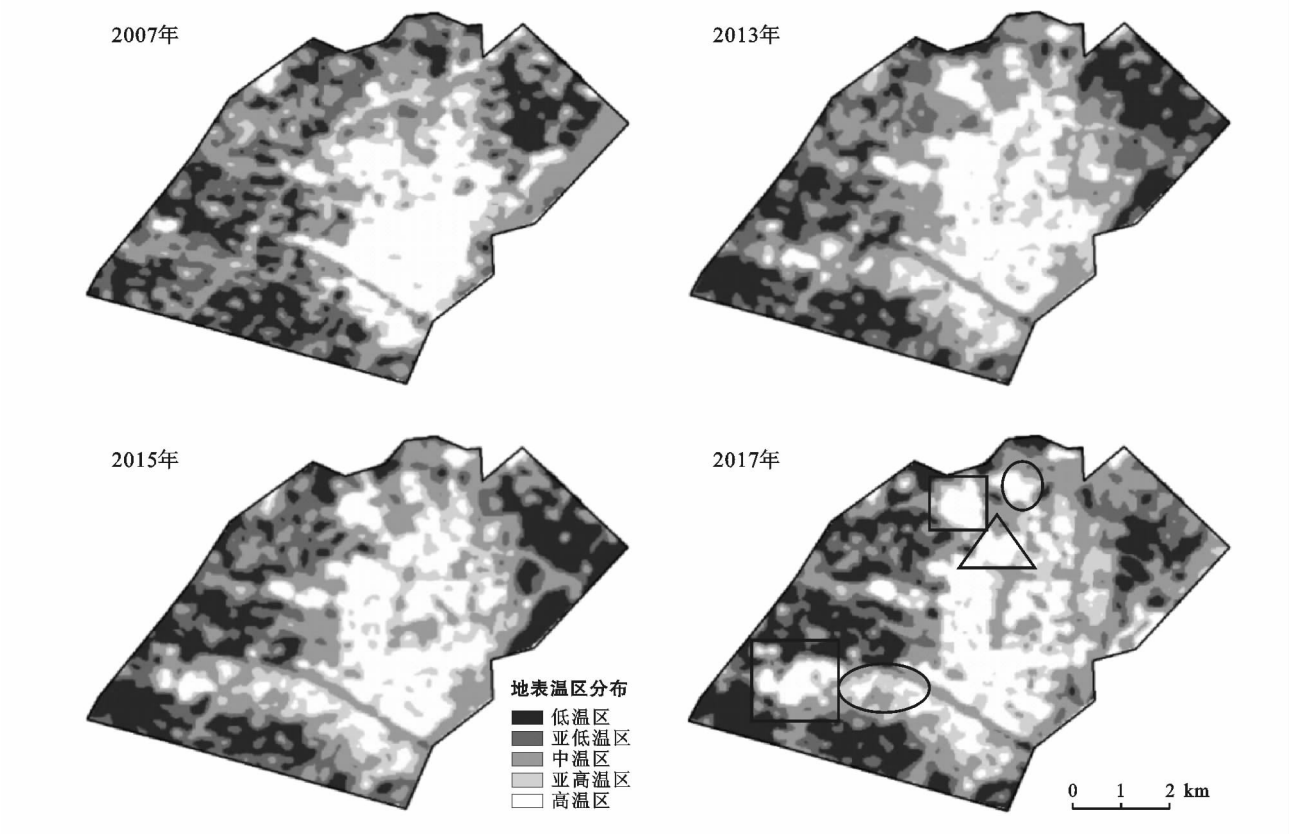


图 4　海盐县中心城区不同年份地表温度分布

注:资料来源于高德地图;方框为工业园区,圆框为住宅区,三角框为商业区。

表 4　研究区不同年份土地利用热贡献度变化　%

土地利用类型	2007 年	2013 年	2015 年	2017 年
城市用地	59.6	78.3	79.9	87.5
植被	18.4	4.0	3.9	4.2
道路	21.1	17.1	15.6	7.8
水体	0.9	0.7	0.6	0.6

3　讨论与结论

(1) 研究区土地利用结构变化显著,城市化发展迅速,建成区部分不断扩张。2007—2017 年,土地利用动态度为 42.3%。城市用地面积比例从 17.4%提高到了 30.4%,主要由植被与道路转入。植被覆盖比例从 60.5%减少到了 45.8%,主要转出为城市用地和道路。城市用地的扩张基本上是通过占用耕地、园地等植被来实现的。受城市化影响,道路网络不断更新,其面积变化幅度虽小但格局变化剧烈。

(2) 对城市热环境的时空分析表明,热岛分布和城市扩展具有时空一致性。2007 年,高温区集中在县城东部的建成区,形成岛状,2013—2017 年,随着建成区的扩展,高温区逐渐向四周扩散,并在周边新建立城市用地上形成新的小热岛区域,研究区内的大型岛状高温区被取代。同时,2007—2017 年 10 a 间,较低温度区域面积减少,较高温区面积增加,呈现出较低温区向较高温区转化的趋势。

(3) 海盐县土地利用类型对地表温度的响应特征为:城市用地和道路主要分布在较高温区,属城市热岛,水体和植被分布在较低温区,属城市冷岛。土地利用类型对热环境的贡献度排序为:城市用地>道路>植被>水体,城市用地对热环境的贡献率(>50%)远大于其他土地利用类型,对热环境造成了决定性的影响。2007—2017 年城市用地面积的增加和植被面积的减少使城市用地热贡献度从 59.6%上升到 87.5%,因此,城市用地面积的增加和植被面积的减少是造成研究区地表温度不断上升,热环境改变的直

接原因。改善城市热环境,缓解城市热岛效应,可以通过控制建成区的扩展,增加地表平均温度较低的植被和水体的面积比例来实现。

[参 考 文 献]

[1] 覃志豪,Zhang M,Arnon K,等.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.

[2] Jiménez M, Juan C. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data [J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D22):4688.

[3] Rozenstein O, Qin Z, Derimian Y, et al. Derivation of land surface temperature for Landsat-8TIRS using a split window algorithm [J]. Sensors, 2014, 14(4): 5768-5780.

[4] Sobrino J A, Jiménez-Muñoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM5 [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4):434-440.

[5] 崔耀平,刘纪远,张学珍,等.京津唐城市群土地利用变化的区域增温效应模拟[J].生态学报,2015,35(4):993-1003.

[6] 葛荣凤,王京丽,张力小,等.北京市城市化进程中热环境响应[J].生态学报,2016,36(19):6040-6049.

[7] 孙明,谢敏,丁美花,等.2001—2015 年间广西壮族自治区防城港市热岛效应时空变化研究[J].国土资源遥感,2018,30(1):135-143.

[8] 赵梓淇,李丽光,王宏博,等.沈阳市区土地利用类型与地表温度关系研究[J].气象与环境学报,2016,32(6):102-108.

[9] 乔伟峰,盛业华,方斌,等.基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘:以江苏省苏州市为例[J].地理研究,2013,32(8):1497-1507.

[10] Qin Z, Dall'Olmo G, Karnieli A, et al. Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-advanced very high resolution radiometer data [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2001, 106(D19):22655-22670.

[11] 宋挺,段峥,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.

[12] 覃志豪,李文娟,徐斌,等.陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J].国土资源遥感,2004,15(3):28-32,36,41.

[13] 徐涵秋,陈本清.不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J].遥感技术与应用,2003,18(3):129-133.

[14] 刘宇,匡耀求,吴志峰,等.不同土地利用类型对城市地表温度的影响:以广东东莞为例[J].地理科学,2006,26(5):597-602.

(上接第 259 页)

[9] 陈万旭,李江风,朱丽君.长江中游地区生态系统服务价值空间分异及敏感性分析[J].自然资源学报,2019,34(2):325-337.

[10] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature,1997,387(6630):253-260.

[11] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems [M]. Washington D C: Island Press, 1997.

[12] 王军,顿耀龙.土地利用变化对生态系统服务的影响研究综述[J].长江流域资源与环境,2015,24(05):798-808.

[13] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911-919.

[14] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.

[15] 徐媛银,孙思琦,薛达元,等.基于地形梯度的赣南地区生态系统服务价值对人为干扰的空间响应[J].生态学报,2019,39(1):97-107.

[16] 万勤,孟优,谢新辉,等.新疆生产建设兵团生态系统服务价值时空分异特征[J].生态学报,2014,34(23):7057-7066.

[17] 李哲,张飞, Hsiang-teKung,等.1998—2014 年艾比湖湿地自然保护区生态系统服务价值及其时空变异[J].生态学报,2017,37(15):4984-4997.

[18] 盛晓雯,曹银贵,周伟,等.京津冀地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].中国农业资源与区划,2018,39(6):79-86.

[19] 罗盛锋,闫文德.广西北部湾沿岸地区生态系统服务价值变化及其驱动力[J].生态学报,2018,38(9):3248-3259.

[20] 农殷璇,臧俊梅,许进龙.珠江—西江经济带土地综合承载力测算及其系统耦合协调度研究[J].水土保持研究,2018,25(4):264-269.

[21] 刘民坤,陈湘漪.珠江—西江经济带生态补偿机制建设研究[J].广西大学学报:哲学社会科学版,2015,37(2):62-67.

[22] 国家发改委.珠江—西江经济带发展规划[EB/OL]//(2014-07-28)[2019-06-17]. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201408/t20140801_620974.Html.