

DOI:10.11918/201910120

城市局地气候分类的地表热岛效应

刘 衍^{1,2}, 慕凯凯^{1,2}, 韩 冰^{1,2}, 张沫岩^{1,2}, 鲍嘉阳^{1,2}, 杨 柳^{1,2}

(1. 西部绿色建筑国家重点实验室(西安建筑科技大学), 西安 710055;
2. 西安建筑科技大学 建筑学院, 西安 710055)

摘要:为研究城市形态和地表性质对城市地表热岛效应的影响,以西安市为例,基于 Landsat8 遥感影像和建筑矢量数据,采用局地气候分类(Local climate zone, LCZ)方法,对主城区进行 LCZ 划分.通过 Landsat8 遥感影像反演夏季地表温度,研究不同类型 LCZ 内地表温度的分布特征,同时选取 14 个地块分析地表热岛强度,通过计算建成区 LCZ 的城市形态参数分析城市形态对地表热岛效应的影响,采用的参数包括:建筑密度(Building surface fraction, BSF)、绿地率(Ratio of green space, GSP)以及下垫面粗糙度(Height of roughness elements, HRE).结果表明:建成区 LCZ 地表温度整体高于地表性质 LCZ,但温度变化更稳定;建成区 LCZ 内,高密度的建筑区域地表温度高于低密度区域;地表性质 LCZ 内,水体温度最低,3 种植被型 LCZ 地表温度低于其余两类 LCZ,裸地温度最高;建成区 LCZ 地块内,高密度的高层建筑和较高的绿化率能够降低地表温度,缓解地表热岛强度;地表性质 LCZ 地块中水体和林地的地表热岛强度较低.在城市规划中合理的增加水体和绿化的布置,降低建筑密度同时在室外人流密集的区域设置遮阳设施将有利于缓解地表热岛效应.

关键词:局地气候分类;地表热岛效应;城市形态;地表性质;地表温度

中图分类号: TU14

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2021)06-0192-09

Surface urban heat island effect of local climate zone

LIU Yan^{1,2}, MU Kaikai^{1,2}, HAN Bing^{1,2}, ZHANG Moyan^{1,2}, BAO Jiayang^{1,2}, YANG Liu^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Green Building in Western China (Xi'an University of Architecture and Technology), Xi'an 710055, China; 2. School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: To study the effects of urban form and land cover on the surface urban heat island (SUHI), by taking Xi'an as an example, local climate zone (LCZ) and land surface temperature (LST) inversion methods were employed to investigate the LST distribution of different types of LCZ based on the Landsat8 remote sensing and building vector data. Results show that the LST of the built-up LCZ was higher than that of the land cover LCZ, but the temperature variation of the built-up LCZ was more stable than that of the land cover LCZ. In built-up LCZ, LST increased with the increase of building density. In land cover LCZ, the LST of water was the lowest, while the LST of bare land was the highest, and LST of three types of vegetation LCZ were lower than those of other two types. LST and SUHI intensity of 14 samples were also calculated. Urban form indicators of built-up LCZ were introduced to analyze the effect of urban form on the SUHI, including building surface fraction (BSF), ratio of green space (GSP), and height of roughness elements (HRE). In built-up LCZ, high-rise buildings with high density and greening could reduce LST and alleviate the SUHI effect. SUHI intensities of water body and forest were lower than those in land cover LCZ types. SUHI effect could be alleviated by increasing water body and greening and reducing building density. The use of shading devices to reduce solar radiation could also mitigate the SUHI effect.

Keywords: local climate zone; surface urban heat island effect; urban form; land cover; land surface temperature

城市化进程引发的地表性质和空间形态变化对城市气候产生了极大的影响^[1-2],导致热岛效应等问题的产生^[3].热岛效应严重危害城市热环境和人

居环境质量,由此导致的极端高温会引起人们发病甚至死亡^[4].为实现健康舒适的人居环境,评估和缓解城市热岛的相关研究受到学者的广泛关注^[5-6].热岛效应研究通常以空气温度和地表温度(Land surface temperature, LST)为主要指标,而这两个指标在除太阳辐射外主要受地表性质和城市形态的影响,故研究多围绕这些因素展开.

Stewart 等^[7]采用统一的分类方法区分地表性质和城市形态,这种方法被称为局地气候分类

收稿日期: 2019-10-21

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51838011);国家自然科学基金青年项目(51808429);中国科协“青年人才托举工程”(2018QNRC001)

作者简介: 刘 衍(1988—),男,博士,教授;

杨 柳(1970—),女,教授,博士生导师

通信作者: 杨 柳, yangliu@xauat.edu.cn

(Local climate zone, LCZ). 国内外已有不少学者使用此方法研究城市热岛效应. 部分学者通过对城市中不同类型 LCZ 的测试分析, 得出热岛强度与建筑密度呈正相关, 与绿地率、水体面积比呈负相关^[8-10]. 通过实测手段获取空气温度数据往往存在测试站点少、难以实现较大范围研究的缺陷, 遥感技术的发展使得越来越多的遥感影像可以反演获取 LST 数据^[11], 能够表征大范围城市热环境的空间分布状况, 因此遥感方法已经成为城市热岛研究的一个重要手段. 有学者分别研究地表性质和城市形态对地表温度的影响, 指出建设用地区域地表温度显著高于其余类型用地, 地表温度与建筑密度呈正相关^[12-13].

遥感影像可以覆盖较大的范围, 但部分使用遥感手段的研究往往仅针对地表性质单一因素, 并未将地表性质和城市形态结合起来. LCZ 方法能够综合地表性质和城市形态, 然而目前国内通过 LCZ 方法研究城市热岛正处于起步阶段, 且多关注一些沿海城市如上海^[14]、深圳^[15]等, 对内陆城市研究较少. 本文将采用建筑矢量数据和 Landsat8 遥感影像, 综合考虑地表性质和城市形态, 对西安市主城区进行局地气候分类. 通过 Landsat8 遥感影像反演夏季地表温度, 定量分析研究不同类型 LCZ 内地表温度的分布特征, 揭示城市形态和地表性质对地表热岛效应的影响作用.

1 研究方法

1.1 研究区域

西安是陕西省省会, 陕西省政治、经济、文化中心, 中国四大古都之一. 位于黄河流域中部的关中盆地^[11], 东经 107°40' ~ 109°49' 和北纬 33°42' ~ 34°45' 之间, 平均海拔 424 m, 土地总面积约 10 108 km². 四季分明, 1 月最冷, 平均温度为 0.8 °C ~ -2.7 °C, 7 月最热, 平均温度在 29 °C 以上, 全年盛行东北风, 年均风速 1.7 m/s^[16]. 本文研究范围以主城区 6 个行政区为主, 包括未央区、新城区、碑林区、莲湖区、雁塔区以及灞桥区(如图 1 所示), 总面积约 936 km².

1.2 数据来源与说明

本文主要使用 Landsat8 遥感影像和西安市主城区建筑矢量数据, 遥感数据用于地表性质分类和地表温度反演, 建筑矢量数据用于城市形态分类和相关指标计算. 表 1 为数据来源与说明.

表 1 数据来源与说明

Tab. 1 Data sources and descriptions

数据类型	时间/a	来源	特征
建筑矢量数据	2018	https://study.163.com/provider/1021398397/index.htm	具有层数属性
Landsat8 遥感数据	2017. 4. 1	http://www.gscloud.cn/	分辨率: 30 m (多光谱波段)、100 m (热红外波段)
	2016. 6. 17		
地图影像	2017 - 2019	https://google-earth-pro.en.softonic.com	—

1.3 局地气候分类

Stewart 等^[7]将城市局地气候分为 10 种建成环境类型(LCZ 1 ~ LCZ10)和 7 种自然环境类型(LCZ A ~ LCZ G), 定义一个 LCZ 为半径最小 200 ~ 500 m 的范围, 同类 LCZ 内城市形态基本一致, 在晴朗、微风、少云的天气条件下有相似的气候特征. 基于此分类标准, LCZ 分类方法同样引人关注, 目前主要有 3 种: 人工采样法、GIS 分类法和遥感影像分类法. 人工采样法需要现场测量, 费时费力且需要专家认读, 应用较少^[17]. GIS 分类法依靠精确的城市数据可以达到较高的精度^[18], 但部分地区难以获取完整的城市数据, 因此也尚未得到广泛应用. 遥感影像分类法通过分析光谱信息将研究区域自动划分为不同的 LCZ. 2015 年, 多位学者共同提出了世界城市数据库和访问门户工具(World urban database and access portal tools, WUDAPT), 开发出利用免费遥感数据和软件的 LCZ 分类方法^[19], 目前遥感影像法已成为 LCZ 分类方法中的主流, 应用广泛.

也有学者针对特定研究区域, 对分类标准和方法加以改进, 取得较好的成果^[20-21]. 总体来看, 目前研究中分类标准以 Stewart 等^[7]提出的 17 种类型为主, 分类方法则以 GIS 和遥感影像为主.

本文将基于 Landsat8 遥感数据和建筑矢量数据, 采用 UTM/WGS1984 投影坐标系, 结合 GIS 和遥感影像分类方法对西安市主城区进行 LCZ 划分, 共分为地表性质 LCZ 和建成区 LCZ 两大类^[7, 21].

1.3.1 建成区 LCZ 分类

使用 Gis10. 2 软件分析建筑矢量数据,



图 1 研究区域示意图

Fig. 1 Location of the study area

GB50352—2005《民用建筑设计通则》^[22]规定：建筑高度可分为低层、多层、中高层、高层和超高层 5 类，因西安超高层建筑数量较少且分布较散，故将超高层与高层建筑合并，得到 4 种建筑高度分类。随后计算建筑密度，结合 Stewart 等^[7]提出一个 LCZ 的范围，在研究区域内划分 200 m × 200 m 网格计算建筑密度。组合建筑高度和密度，得到 8 种建筑形态类型，分别归类为一种建成区 LCZ，表 2 为各类建筑形态和相对应的建成区 LCZ 类型。

表 2 建筑形态分类及对应的 LCZ 类型

Tab. 2 Classification of building forms and corresponding LCZ types

建筑形态组合	LCZ 类型
高密度高层建筑	LCZ 1
高密度中高层建筑	LCZ 2
高密度多层建筑	LCZ 3
高密度低层建筑	LCZ 4
低密度高层建筑	LCZ 5
低密度中高层建筑	LCZ 6
低密度多层建筑	LCZ 7
低密度低层建筑	LCZ 8

1.3.2 地表性质 LCZ 分类

在 ENVI 5.3 软件中采用监督分类法对遥感影像进行分类，将地表性质分为草地、农田、林地、水体、裸地以及不透水面 6 类，分别归类为一种地表性质 LCZ，表 3 为各类地表性质和相对应的地表性质 LCZ 类型。地表性质分类所用遥感数据成像时间为 2017 年 4 月 1 日 11 时 19 分，云量为 0.18%。

表 3 地表性质分类及对应的 LCZ 类型

Tab. 3 Classification of land cover and corresponding LCZ types

地表性质	LCZ 类型
草地	LCZ A
农田	LCZ B
林地	LCZ C
水体	LCZ D
裸地	LCZ E
不透水面	LCZ F

1.4 地表温度反演

目前使用遥感数据反演地表温度的方法主要有以下几种：单窗算法、分裂窗算法以及大气校正法，不同的方法适用于不同类型的遥感数据。对于 Landsat8 数据，单窗算法和大气校正法的反演精度得到研究者们的一致认可^[23-24]。本文通过 ENVI 5.3 软件使用大气校正法反演地表温度，图 2 为该算法的流程^[24]。地表温度反演所用遥感数据成像时间为 2016 年 6 月 17 日 11 时 19 分，云量为 0.03%。

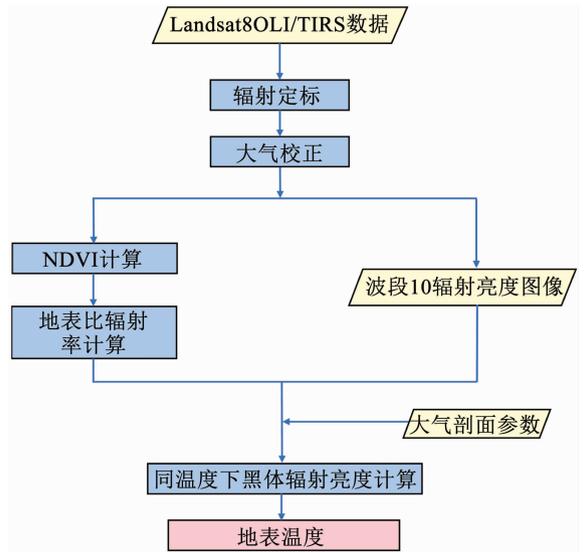


图 2 大气校正法反演地表温度流程^[24]

Fig. 2 Inversion algorithm of atmospheric correction method^[24]

2 结果与分析

2.1 局地气候分类结果

将两大类 LCZ 合并得到 14 种小类 LCZ(如图 3 所示)，结果表明建成区集中分布于中部，裸地多分布于西部和北部。建成区内植被多为草地，建成区外北部多为草地和农田，南部农田居多，林地主要分布于东部和东南部。灞桥区和未央区建筑多为低层和中高层，莲湖区、新城以及碑林区由于处于老城区风貌保护范围内，故多为中高层建筑，雁塔区高层和中高层建筑较多。

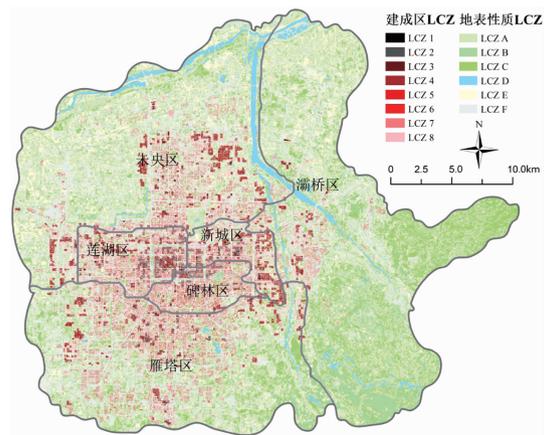


图 3 西安市主城区 LCZ 分布图

Fig. 3 Urban LCZ map of Xi'an

2.2 地表温度反演结果

地表温度反演结果如图 4 所示，总体来看地表温度北高南低。建成区温度整体偏高，建成区外，裸地及不透水面地表温度较高，北部和西南有部分裸地出现极端高温，水体温度最低。

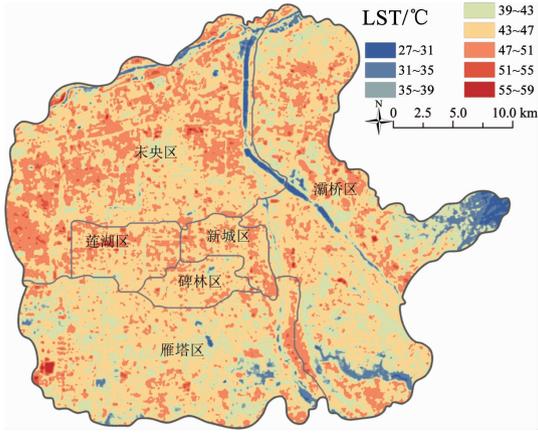


图4 西安市主城区 LST 分布图

Fig. 4 LST map of Xi'an

统计分析各类 LCZ 的地表温度,结果表明 LCZ 之间温度存在较大差异,建成区 LCZ 温度整体高于地表性质 LCZ (42.2 °C > 39.9 °C),但温度变化更稳定(如图 5 所示).

2.2.1 建成区 LCZ 地表温度分布特征

建成区 LCZ 内,建筑高度相近的区域,建筑密度越大地表温度越高(如图 5 所示),即 LCZ 1 (41.9 °C) > LCZ 5 (40.1 °C)、LCZ 2 (43.1 °C) > LCZ 6 (41.4 °C)、LCZ 3 (43.4 °C) > LCZ 7 (41.7 °C)、LCZ 4 (44.0 °C) > LCZ 8 (41.9 °C). 高建筑密度意味着更密集的硬质铺装表面和人为放热,同时减少了通风散热空间,因此地表温度较高.

同密度的建筑区域内,建筑越高,地表温度越低(如图 5 所示),即 LCZ 1 (41.9 °C) < LCZ 2 (43.1 °C) < LCZ 3 (43.4 °C) < LCZ 4 (44.0 °C)、LCZ 5 (40.1 °C) < LCZ 6 (41.4 °C) < LCZ 7 (41.7 °C) < LCZ 8 (41.9 °C),这是因为地表温度主要得热于太阳辐射,建筑越高,对太阳直射辐射遮挡越多,到达地面的太阳辐射越少,使得地表温度较低.

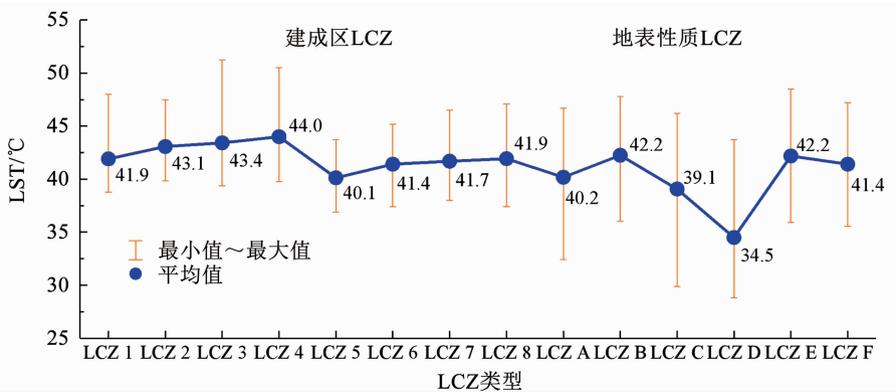


图5 各类 LCZ 的地表温度

Fig. 5 Statistics of LST in different LCZ

2.2.2 地表性质 LCZ 地表温度分布特征

除裸地和不透水面外,地表性质 LCZ 地表温度显著低于建成区 LCZ. 总体呈现出 LCZ E (42.2 °C) = LCZ B (42.2 °C) > LCZ F (41.4 °C) > LCZ A (40.2 °C) > LCZ C (39.1 °C) > LCZ D (34.5 °C). 裸地能接收大量的太阳辐射,同时土壤和不透水面有较高的蓄热能力,使得地表温度较高. 植被型 LCZ 地表温度较低,主要是由于植物叶片的蒸腾作用带走热量而降温. 3 种植被型 LCZ 中,LCZ C 地表温度最低,这是因为林地的植被高度高于其余两类,同时叶面积指数较大,在有效遮挡太阳辐射的同时通过蒸腾作用带走更多的热量. LCZ B 地表温度较高的原因与西安市农作物种植模式有关,此景遥感影像成像于 2016 年 6 月 17 日,此时区域内多数种植小麦的农田刚经历收割而无植被生长,这些农田在此时可归类为裸地 (LCZ E),同时农田区域会受到较

多的人为放热影响,因此地表温度较高.

2.3 地块分析结果

统计分析发现各类 LCZ 的地表温度变化范围较大,为进一步研究不同 LCZ 城市形态和地表性质对地表温度的影响,在研究区域内选取地块进行分析;每一类 LCZ 中选取直径为 500 m 的地块,共得 14 个,统计各地块地表温度,并计算建成区 LCZ 地块内的城市形态参数. 采用的参数包括:建筑密度 (Building surface fraction, BSF)、绿地率 (Ratio of green space, GSP) 和下垫面粗糙度 (Height of roughness elements, HRE),采用地块内的建筑平均高度代表该地块的 HRE,表 4 为各类 LCZ 所选地块. 在此基础上,以泾河国家基准气候站为中心选取直径 500 m 的地块,统计该地块地表温度,用以计算各地块的地表热岛强度.

表 4 所选 LCZ 地块的影像和形态特征

Tab. 4 Images and urban form indicators of built-up LCZ samples

地块编号	地块影像	形态特征	地块编号	地块影像	形态特征
1		LCZ 1 BSF = 37% ; GSP = 21% ; HRE = 46.8 m	8		LCZ 8 BSF = 21% ; GSP = 49% ; HRE = 7.7 m
2		LCZ 2 BSF = 46% ; GSP = 20% ; HRE = 22.9 m	9		LCZ A
3		LCZ 3 BSF = 49% ; GSP = 16% ; HRE = 17.4 m	10		LCZ B
4		LCZ 4 BSF = 60% ; GSP = 19% ; HRE = 6.2 m	11		LCZ C
5		LCZ 5 BSF = 21% ; GSP = 29% ; HRE = 52.7 m	12		LCZ D
6		LCZ 6 BSF = 22% ; GSP = 34% ; HRE = 22.9 m	13		LCZ E
7		LCZ 7 BSF = 19% ; GSP = 50% ; HRE = 13.2 m	14		LCZ F

2.3.1 各地块地表温度分布特征

统计各地块的地表温度,结果表明各地块温度与相应的 LCZ 地表温度有大致相同的分布趋势,但温度变化范围较小(如图 6 所示). 泾河站地块地表温度均值为 41.2 °C,温度变化范围较大,是受该区域内多样的地表性质所致. 分析建成区 LCZ 地块地表温度与城市形态参数的关系,根据图 7(a)、图 7(b)所示,建筑密度高的地块地表温度高于低密

度地块,建筑密度越大,地表温度越高. 根据图 7(c)、图 7(d)所示,绿化率越高的地块,地表温度越低. 根据图 7(e)、图 7(f)所示,在高密度的地块中,建筑高度越高,地表温度越低,这说明对于高密度的建成区域,建筑越高,越有利于遮挡太阳辐射而降低地表温度. 此外,对于建成区而言,绿化能产生一定的降温作用,且这种降温作用在低密度建成区内更明显.

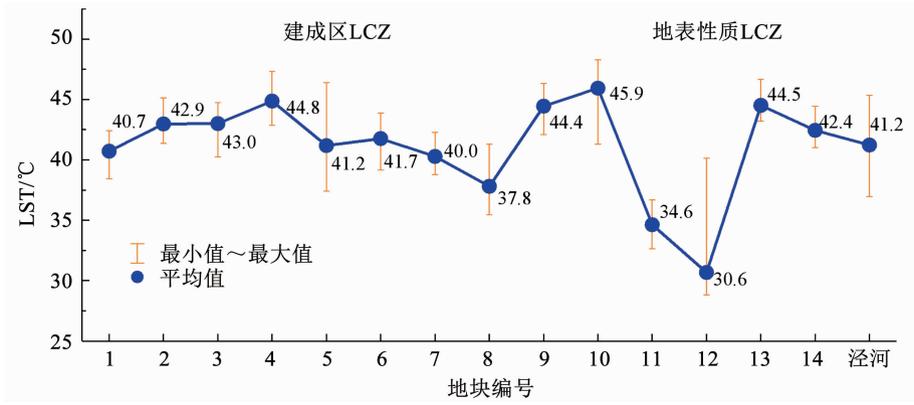


图 6 各地块的地表温度

Fig. 6 Statistics of LST in different samples

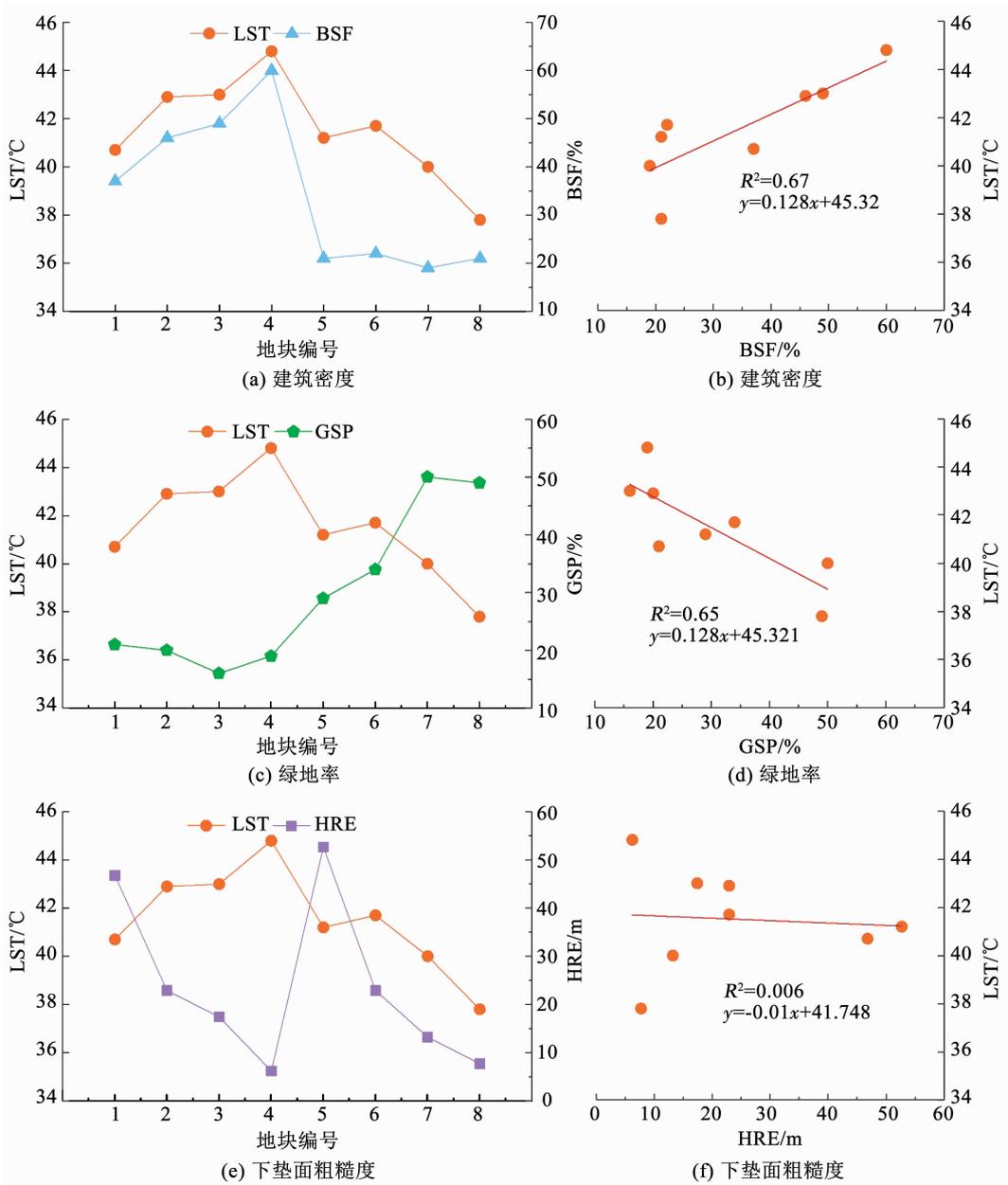


图 7 地表温度与城市形态参数的关系

Fig. 7 Relationship between LST and urban form indicators

2.3.2 各地块地表热岛强度分布特征

传统研究中,城市热岛强度是指城区平均气温与周围郊区平均气温的差值,本文以城区各地块的平均地表温度与泾河气候站地块平均地表温度的差值代表各地块的地表热岛强度,计算所得各地块热岛强度如图 8 所示.建成区 LCZ 地块内,地块 1、5、6、7、8 热岛强度较低.地块 1 和 5 热岛强度较低的原因是这两个地块为高层建筑区域,建筑对太阳辐射有显著的遮挡作用,因此缓解热岛效应.地块 6、7、8 均为低密度建筑区域,热岛强度低于高密度建筑区域,其中地块 7 和 8 热岛强度均为负值,即产生“冷岛效应”,这是因为这两个地块绿地率较高,通过植物的蒸腾作用降温而缓解热岛强度.地表性质 LCZ 地块内,地块 9、10 和 13 热岛强度较高,其中地

块 9 为开敞的草地,能够接收较多的太阳辐射,虽然植被能够通过蒸腾作用带走热量,但是低矮植被较弱的蒸腾作用难以弥补开敞地块接收到的太阳辐射,因此热岛强度较高.地块 10 所在区域为尚无植被生长的农田,此时该地块如同地块 13 均为裸地,土壤较高的蓄热能力使得这两个地块热岛强度较高.地块 11 和 12 热岛强度均为负值,分别为 $-6.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-10.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,这是因为地块 11 为林地,植被的遮阳和蒸腾作用显著降低热岛强度.地块 12 为水体,水的比热容较高,在接收太阳辐射后升温较慢,同时通过潜热交换而降低温度,因此缓解热岛效应.地块 11 和 12 产生的“冷岛效应”说明水体和植被能够对城市热岛效应起到显著的缓解作用.

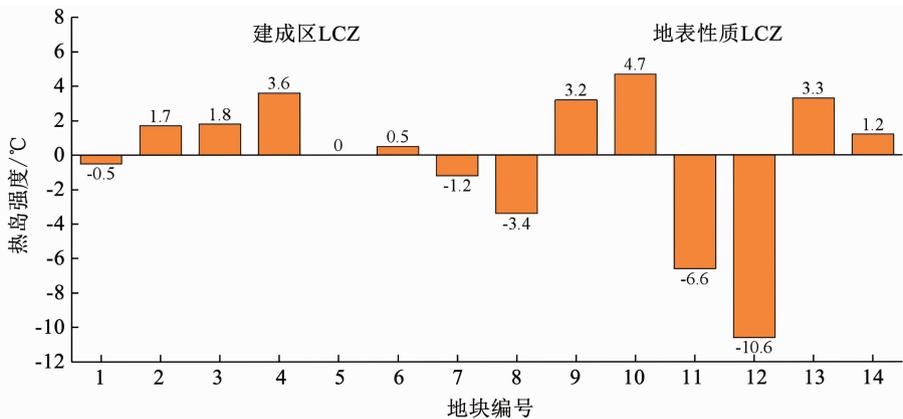


图 8 各地块的地表热岛强度

Fig. 8 SUHI intensity of different samples

3 讨论

局地气候分类方法用以研究城市气候已有成熟的体系,但是在分类时仍会存在一些问题,如采用遥感影像法分类,部分地区会受不同季节植物的生长状况影响而导致分类结果出现偏差,同时冬季降雪影响的地表和光谱变化也会影响分类结果.此外,采用 GIS 分类法,计算城市形态指标需要设置网格,而网格尺寸的选取目前尚未有统一的标准,研究者需要针对特定情况,选取合适的网格尺寸^[25].此外,目前城市化造成的多元地表性质使得局地气候分类在合适的范围内^[7]较难区分出单一地表性质如不透水面(广场、道路)等,建成区也不只有单独的建筑,往往是多种地表性质综合出现,因此未来的研究中需要采用更精确和多样的城市形态参数来定义城市局地气候分类,从而使得分类结果更精确^[19].

城市气候问题已成为人们关注的热点,城市规划师应当具备一定的城市气候知识,在做出城市规划设计时考虑对城市气候的影响,从而在根源避免

一些气候问题的发生.本文的研究结果表明,地块的建筑密度越大,热岛强度越高,绿化率较高的地块和 水体热岛强度较低.例如高密度建成区 LCZ(1-4) 地表温度高于低密度建成区 LCZ(5-8);建成区地块中,高密度地块(1-4)的热岛强度为 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,低密度地块(5-8)则为 $-3.4\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$;绿化率较高且建筑密度较低的地块(7-8)热岛强度分别为 $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-3.4\text{ }^{\circ}\text{C}$;地表性质 LCZ 地块中,水体和林地的热岛强度均为负值,产生了冷岛效应.这说明可以通过增加绿化和 水体以及降低建筑密度来缓解城市热岛,在未来城市规划中对于一些建成区的更新改造,可以通过增加绿化以及白天利用水的蒸发潜热来缓解高温,新的规划地块则可以通过控制建筑密度,综合考虑绿化和水体的布置来缓解城市热岛^[26].此外,地块 1 的热岛强度为 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,同样产生冷岛效应,这也可以为城市规划提供启示,即在考虑绿化及水体的同时在室外人流密集的区域设置遮阳设施,通过减少太阳辐射直射来缓解高温,为人们提供舒适的环境.

本文存在一定的局限性,如仅使用地表温度这一指标来研究城市热岛,若再加入气象数据如空气温度^[8-10]等可能获得更好的效果.相比使用遥感数据反演得到的地表温度,气象站实测得到的空气温度数据能够更好的表征城市热岛效应,一是地表温度反演自身存在一定误差,二是反演结果仅能表征某一时刻的地表温度在空间上的分布,不能体现时间上的变化,有学者指出,城市热岛效应在季节、昼夜不同时呈现截然不同的状况^[27-28].因此未来的研究中若能在本文的基础上结合气象站实测数据实现热岛效应在时空变化的分布特征,将能为热岛效应的缓解、人居环境质量的提升提供更多的帮助.

4 结 论

1)建成区 LCZ 地表温度(42.2 °C)整体高于地表性质 LCZ(39.9 °C),但温度变化更稳定.建成区 LCZ 中,高密度的 LCZ 地表温度高于低密度 LCZ.地表性质 LCZ 中,水体区域地表温度最低,植被型 LCZ 温度低于裸地和不透水面 LCZ.

2)建成区 LCZ 地块中,绿化有显著的降温作用,其中地块 7(40.0 °C)和地块 8(37.8 °C)均低于其余地块.高密度高层建筑的遮阳作用也能降低地表温度,其中地块 1 温度为 40.7 °C.地表性质 LCZ 地块中,裸地和不透水面的地表温度较高.

3)不同类型 LCZ 地块的地表热岛强度有显著差异.建筑密度和不透水面比例越高的地块热岛效应越强,水体和绿地率较高的地块热岛强度较低.其中地块 4 和地块 13 热岛强度较高,地块 7、8、11、12 热岛强度均为负值,产生了“冷岛效应”,说明水体和绿化能有效缓解城市热岛效应,地块 1 同样产生“冷岛效应”,在城市规划中综合考虑绿化和水体的布置,降低建筑密度同时在室外人流密集的区域设置遮阳设施将有利于缓解热岛效应,提高人居环境质量.

参考文献

- [1] REN Guoyu. Urbanization as a major driver of urban climate change [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2015, 6(1): 1. DOI: 10.1016/j. accre. 2015. 08. 003
- [2] 程志刚, 杨欣悦, 孙晨, 等. 成都地区夏季城市热岛变化及其与城市发展的关系[J]. *气候变化研究进展*, 2016, 12(4): 322
CHENG Zhigang, YANG Xinyue, SUN Chen, et al. The trend of summer urban heat island effect and its relationship with urban development in Chengdu [J]. *Climate Change Research*, 2016, 12(4): 322. DOI: 10.12006/j. issn. 1673 - 1719. 2015. 176
- [3] 黄焕春, 运迎霞, 王世臻, 等. 城市热岛对热舒适度的景观格局影响演化分析[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2014, 46(10): 99
HUANG Huanchun, YUN Yingxia, WANG Shizhen, et al. An analysis of landscape evolution for the thermal comfort degree affected by urban heat island effect [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2014, 46(10): 99
- [4] ZHOU Decheng, ZHAO Shuqing, ZHANG Liangxia, et al. The footprint of urban heat island effect in China[J]. *Scientific Reports*, 2015, 5: 11160. DOI: 10.1038/srep11160
- [5] 郭飞. 基于 WRF 的城市热岛效应高分辨率评估方法[J]. *土木建筑与环境工程*, 2017, 39(1): 13
GUO Fei. Assessment method of urban heat island high resolution based on WRF[J]. *Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering*, 2017, 39(1): 13. DOI: 10.11835/j. issn. 1674 - 4764. 2017. 01. 003
- [6] 宋晓程, 刘京, 林姚宇, 等. 城市局地气候预测及热岛效应缓解策略[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2015, 47(2): 25
SONG Xiaocheng, LIU Jing, LIN Yaoyu, et al. Regional thermal climate prediction and mitigation strategy of local urban heat island [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2015, 47(2): 25. DOI: 10.11918/j. issn. 0367 - 6234. 2015. 02. 005
- [7] STEWART I D, OKE T R. Local climate zones for urban temperature studies[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2012, 93(12): 1879. DOI: 10.1175/BAMS - D - 11 - 00019. 1
- [8] 杨小山, 姚灵焯, 金涛, 等. 南京夏季城市局地气温时空变化特征[J]. *土木与环境工程学报(中英文)*, 2019, 41(1): 160
YANG Xiaoshan, YAO Lingye, JIN Tao, et al. Temporal and spatial variations of local temperatures in the summer of Nanjing[J]. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2019, 41(1): 160. DOI: 10.11835/j. issn. 2096 - 6717. 2019. 020
- [9] XU Duo, ZHOU Dian, WANG Yupeng, et al. Field measurement study on the impacts of urban spatial indicators on urban climate in a Chinese basin and static-wind city[J]. *Building and Environment*, 2019, 147: 482. DOI: 10.1016/j. buildenv. 2018. 10. 042
- [10] 刘琳, 刘京, 林姚宇, 等. 多种城市地表形态的局地气候分析[J]. *建筑科学*, 2017, 33(2): 8
LIU Lin, LIU Jing, LIN Yaoyu, et al. Local climatic analysis of multiple urban surface morphology[J]. *Building Science*, 2017, 33(2): 8. DOI: 10.13614/j. cnki. 11 - 1962/tu. 2017. 02. 02
- [11] 冯晓刚. 城市热岛效应演变与成因遥感研究 - 以西安都市圈为例[D]. 西安: 陕西师范大学, 2011
FENG Xiaogang. Remote sensing research on the evolution and origin of urban heat island [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2011
- [12] LIU Yanxu, PENG Jian, WANG Yanglin. Diversification of land surface temperature change under urban landscape renewal: A case study in the main city of Shenzhen, China [J]. *Remote Sensing*, 2017, 9(9): 919. DOI: 10.3390/rs9090919
- [13] YANG Jun, SU Junru, XIA Jianhong, et al. The impact of spatial form of urban architecture on the urban thermal environment: A case study of the Zhongshan district, Dalian, China [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2018, 11(8): 2709. DOI: 10.1109/JSTARS. 2018. 2808469
- [14] CAI Meng, REN Chao, XU Yong, et al. Investigating the relationship between local climate zone and land surface temperature using an improved WUDAPT methodology-A case study of Yangtze River Delta, China [J]. *Urban Climate*, 2018, 24: 485. DOI: 10.1016/j. uclim. 2017. 05. 010

- [15] 周易. 基于局地气候区的深圳市热岛分区图构建研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016
ZHOU Yi. Study on the construction of urban heat island maps of Shenzhen based on local climatezone[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016
- [16] 西安市统计局. 西安统计年鉴[M]. 北京, 中国统计出版社, 2018: 20
Statistics Bureau of Xi'an. Xi'an statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018: 20
- [17] THOMAS G, SHERIN A P, ANSAR S, et al. Analysis of urban heat island in Kochi, India, using a modified local climate zone classification[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2014, 21: 3. DOI: 10.1016/j.proenv.2014.09.002
- [18] WANG Ran, REN Chao, XU Yong, et al. Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods: A case study of Hong Kong[J]. *Urban climate*, 2018, 24: 567. DOI: 10.1016/j.uclim.2017.10.001
- [19] BECHTEL B, ALEXANDER P, BÖHNER J, et al. Mapping local climate zones for a worldwide database of the form and function of cities[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2015, 4(1): 199. DOI: 10.3390/ijgi4010199
- [20] VANDAMME S, DEMUZERE M, VERDONCK M, et al. Revealing Kunming's (China) historical urban planning policies through local climate zones[J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(14): 1731. DOI: 10.3390/rs11141731
- [21] YANG Jun, JIN Shanhe, XIAO Xiangming, et al. Local climate zone ventilation and urban land surface temperatures: Towards a performance-based and wind-sensitive planning proposal in megacities[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2019, 47: 101487. DOI: org/10.1016/j.scs.2019.101487.
- [22] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑设计通则: GB 50352—2005[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of civil buildings: GB 50352—2005[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2005
- [23] QIN Zhihao, KARNIELI A, BERLINER P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(18): 3719. DOI: 10.1080/01431160010006971
- [24] 吴志刚, 江滔, 樊艳磊, 等. 基于 Landsat8 数据的地表温度反演及分析研究——以武汉市为例[J]. *工程地球物理学报*, 2016, 13(1): 135
WU Zhigang, JIANG Tao, FAN Yanlei, et al. Land surface temperature retrieval and result analysis based on Landsat8 data in Wuhan city[J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 2016, 13(1): 135. DOI: 10.3969/j.issn.1672-7940.2016.01.023
- [25] YANG Jun, WANG Yichen, XIAO Xiangming, et al. Spatial differentiation of urban wind and thermal environment in different grid sizes[J]. *Urban Climate*, 2019, 28: 100458. DOI: org/10.1016/j.uclim.2019.100458
- [26] 朱岳梅, 刘京, 李炳熙, 等. 城市规划实践中的热气候评价[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2011, 43(6): 61
ZHU Yuemei, LIU Jing, LI Bingxi, et al. Thermal climate evaluation in process of urban planning[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2011, 43(6): 61. DOI: 10.11918/j.issn.0367-6234.2011.06.013
- [27] ZHAO Guosong, DONG Jinwei, LIU Jiyuan, et al. Different patterns in daytime and nighttime thermal effects of urbanization in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. *Remote Sensing*, 2017, 9(2): 121. DOI: 10.3390/rs9020121
- [28] ZHANG Yujia, MURRAY A T, TURNER II B L. Optimizing green space locations to reduce daytime and nighttime urban heat island effects in Phoenix, Arizona[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 165: 162. DOI: org/10.1016/j.landurbplan.2017.04.009

(编辑 张红)