

面向局部气候带的城市形态对地表温度的影响

卢阳, 杨建思, 黄昕, 杨其全, 马嵩

引用本文:

卢阳, 杨建思, 黄昕, 等. 面向局部气候带的城市形态对地表温度的影响[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(9): 1412-1422.
LU Yang, YANG Jian-si, HUANG Xin, et al. Effects of Urban Morphology on Land Surface Temperature in Local Climate Zones[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(9): 1412-1422.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

南极威德尔海西北区域冬季海冰龙骨形态分析

Keel Morphology Analysis on Winter Sea Ice in Northwestern Weddell Sea, Antarctica

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(9): 1386-1394 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20190204>

面向开采扰动的离子型稀土矿区地表温度降尺度方法

Land Surface Temperature Downscaling Method in Ion-type Rare Earth Mining Area Oriented to Mining Disturbance

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(1): 133-142 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20190022>

珞珈一号夜间灯光影像在建设用地图提取中的应用:以武汉市为例

Extracting Built-up Areas Using Luojia-1A Nighttime Light Imageries in Wuhan, China

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(1): 30-39 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20190376>

夜光遥感视角下的中国城市规模的时空演变

Chinese City Size Evolution Under Perspective of Nighttime Light Remote Sensing

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(1): 40-49 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20190330>

利用AB算法进行高分四号卫星数据反照率反演

Retrieval of GF-4 Satellite Image Data Surface Albedo Based on Angular Bin Algorithm

武汉大学学报·信息科学版. 2020, 45(4): 542-549 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20180291>



面向局部气候带的城市形态对地表温度的影响

卢阳¹ 杨建思¹ 黄昕^{2,3} 杨其全² 马嵩⁴

1 武汉大学城市设计学院,湖北 武汉,430072

2 武汉大学遥感信息工程学院,湖北 武汉,430079

3 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

4 深圳市环境监测中心,广东 深圳,518000

摘要:局部气候带(local climate zone, LCZ)为城市热岛研究提供了新的地表分类框架。为研究不同季节、不同LCZ类别内部影响地表温度的城市形态的差异性,利用深圳市多视角高分辨率遥感影像制作基于街区的LCZ分类图,用皮尔逊偏相关和逐步回归模型,分析城市形态对不同LCZ季节性地表温度的影响。结果表明,地表温度对于LCZ类别的响应有季节性差异;城市形态与季节性地表温度之间关系存在显著性差异;在LCZ1—LCZ3模型中,二维变量与地表温度的相关性比三维变量更强,而在LCZ4—LCZ6和LCZ8模型中,三维变量的影响程度增强。由此可知,不同LCZ类型的城市形态对季节性地表温度的影响不同,其中二维变量比三维变量的影响更显著,在非紧凑建筑区,三维变量的影响显著增强。

关键词:城市热岛;局部气候带;地表温度;城市形态;多视角高分辨率遥感影像

中图分类号:P237

文献标志码:A

城市温度高于城郊或农村温度的现象被称为城市热岛效应^[1]。城市热岛效应会引起环境污染^[2-3]、加剧能源消耗^[4-5]、威胁城市居民健康^[6-8]。在过去几十年间,大量学者致力于研究城市热岛效应^[9-12]。但城乡系统复杂且城乡边界难以界定^[13-14],此外,仅用城市和乡村描述城市热环境主要差异会丢失众多地表细节特征,而这些细节特征决定了当地气候差异^[15]。基于此,文献[13]提出了局部气候带(local climate zone, LCZ)的概念。

LCZ是指在水平尺度上几百米到几千米范围内,具有均匀的地表覆盖、结构、材质和人类活动的区域^[13],包括建成景观类型和自然覆盖类型。LCZ类别细化需要依据建筑比例、建筑高度、建筑材料和人为散发的热量等数据,数据的准确性和全面性直接影响到LCZ分类制图结果。当前,LCZ分类制图主要使用中低分辨率遥感数据(如Landsat影像和MODIS影像)^[16-18]和地理数据(如地籍图、土地分类数据集、三维建筑数据集、道路数据库等)^[19-21]。但中低分辨率遥感数据

很难精确描绘出城市景观及其内部构成^[22-23],且地理数据获取难度大、成本高。多视角高分辨率遥感影像的出现能够有效反映不同地物的细节特征^[24-25],并且可以通过多视角影像估算城市建筑高度^[26-27],为LCZ制图提供不可或缺的数据。同其他多视角卫星相比,资源3号(ZiYuan-3, ZY-3)卫星的三线阵立体相机最大程度地减少了多视角图像的辐射度变化,同时可以通过多图像匹配或融合方法来减少遮挡,使得获取的建筑高度精度更高^[28-29],因此本文采用ZY-3卫星影像进行建筑高度提取以及LCZ和土地分类制图。

地表温度可以调节城市大气的下层空气温度^[22],并且能够充分表示大范围区域的连续温度^[30]。基于LCZ地表温度的热岛效应研究主要有季节性或长时序地表温度与LCZ关系描述分析^[18, 31-32]、不同城市之间LCZ与地表温度关系的对比分析^[30, 33]和建筑高度、建筑比例等变量与热岛强度的相关性分析^[34]。LCZ分类依据城市冠层参数,而城市冠层数据是基于气候视角对城市形态进行量化表述^[35],城市形态是引起环境问题

收稿日期:2020-01-22

项目资助:国家自然科学基金(41771360,41971295);国家青年拔尖人才支持计划湖北省自然科学基金(2017CFA029);国家重点研发计划(2016YFB0501403,2018YFB2100500);深圳市科技计划(JCYJ20180306170645080)。

第一作者:卢阳,博士,主要从事遥感及空间信息技术在城市规划与管理中的应用。luyang0615@whu.edu.cn

通讯作者:杨建思,博士,教授,博士生导师。Jsyang@whu.edu.cn

的原因之一^[36]。但目前的研究绝大部分是在整个城市区域的尺度上分析城市形态与地表温度的响应关系,忽略了每类LCZ内部城市形态与地表温度关系的差异性,导致在针对每类LCZ提出合理化的缓解热岛效应建议时缺乏理论支撑。另外,城市形态与温度关系容易受季节影响^[13],因此城市热环境分析中必须要考虑季节性差异。

为了解决不同LCZ类别内部影响地表温度的城市形态变量的差异性,以及不同季节城市形态变量与地表温度关系的差异性,本文以深圳市ZY-3遥感影像为基础,制作基于街区的LCZ分类图,用皮尔逊偏相关和逐步回归模型分析城市形态对不同LCZ类别的季节性地表温度的影响。

1 研究数据与研究方法

1.1 研究区域

深圳市位于广东省中南部海滨,区域内地形

复杂,呈狭长形,地貌类型多样,属亚热带海洋性季风气候,气候四季变化不分明,终年温和暖湿,日照时间长。作为粤港澳大湾区发展的核心引擎之一和中国特色社会主义先行示范区,深圳是中国经济特区、全国性经济中心城市和国际化城市,是中国第一个全部城镇化的城市。然而,在深圳市城镇化过程中,人工地表面积急剧增加,导致城市热岛现象出现,因此减缓深圳热岛效应,使其更有利于居民居住和城市可持续发展,成为深圳城市规划中的重要目标。

深圳市以往的热岛研究主要集中在不同年份、不同季节地表温度的描述性对比分析和二维景观配置对地表温度的影响分析,缺乏从LCZ角度结合城市三维参数研究城市形态与地表温度的定量关系^[37-41]。本文以深圳市为研究对象,致力于从城市形态规划的角度提供缓解城市热岛的科学依据,所用数据及参数汇总情况见表1。

表1 所用数据汇总

Tab. 1 Data Used in This Paper

数据	分辨率	时间	用途	
遥感数据	ZY-3	2.1 m	2013-03-12—2014-02-02	土地覆盖分类和LCZ制图
	Landsat 8	30 m	2013—2015	地表温度反演
	谷歌地球		2014	LCZ制图参考和土地覆盖分类图精度评价
地理数据	建筑高度	矢量	2013	土地覆盖分类和LCZ制图以及城市形态变量计算
	道路网	矢量	2013	土地覆盖分类和LCZ制图

1.2 地表温度反演

为了更好地反映地表温度的空间分布,减少偶然误差的影响,本文将2013—2015年间所有Landsat 8影像反演得到的地表温度均值化,将深圳的季节分为3类^[42],即夏季(6月—9月)、过渡季(4月、5月、10月、11月)和冬季(12月至次年3月)。

用于地表温度反演的数据是从美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)获取的已完成大气校正的Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1(Landsat8_SR)产品,重采样后其空间分辨率为30 m。该产品基于QA(quality assessment)波段对云和云阴影进行掩膜。地表温度(land surface temperature, LST)的反演公式为^[10]:

$$LST = \frac{T_B}{1 + (\lambda \times T_B / \rho) \ln \epsilon} \quad (1)$$

式中, T_B 是亮度温度(K),从Landsat8_SR产品的10波段获得; λ 是热红外波段的中心波长,取

$\lambda = 10.8 \mu\text{m}$; $\rho = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{K}$; ϵ 是基于归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)得到的地表比辐射率,水体($\text{NDVI} < 0$)的地表比辐射率是0.992 5,裸土($0 \leq \text{NDVI} < 0.15$)的地表比辐射率是0.923,植被($\text{NDVI} > 0.727$)的地表比辐射率是0.986,其他土地类型的地表比辐射率计算式为^[42-45]:

$$\epsilon = 1.0094 + 0.047 \times \ln(\text{NDVI}) \quad (2)$$

1.3 土地分类制图和建筑高度计算

ZY-3卫星是中国第一颗民用高分辨率立体测绘卫星,能通过具有一定交会角的前视、正视和后视相机对同一区域进行不同视角的观测,获取该区域3个角度的立体影像,从而为获取大范围城市三维信息提供数据来源。ZY-3的正视影像、前后视影像、多光谱影像的空间分辨率分别为2.1 m、3.5 m和5.8 m。

Amap和Map World是高德地图和天地图矢量数据,它们可以提供建筑足迹、道路和水体的信息,OSM(open street map)是道路开源数据

(<https://www.openstreetmap.org/>)。上述地理数据和ZY-3影像的差异需要经过人工纠正。归一化数字表面模型(normalized digital surface model, nDSM)用来表征地面以上物体的高度,生成nDSM流程主要包括:首先,采用ZY-3立体影像的正视和前视影像^[28],通过半全局匹配方法^[46]生成数字表面模型(digital surface model, DSM);然后,通过形态学顶帽重建得到nDSM^[47],计算过程如图1所示;最后,在nDSM获取的基础上,以建筑高度的地理数据为基准,遗失的建筑高度数据用nDSM数据填补,得到建筑及其高度数据,如图2(a)所示。

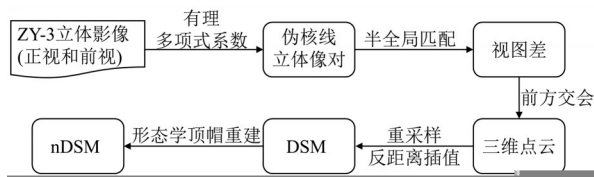


图1 基于ZY-3影像的nDSM提取

Fig.1 Detection of nDSM Based on ZY-3 Images

本文将土地覆盖分为7类:草地/灌木、树木、裸土、道路、建筑物、水体、其他不透水面^[48]。首先采用地理数据(Amap、Map World和OSM)识别建筑物、道路和水,以Amap数据为基准,缺失的建筑物用Map World填补,共同将最初矢量形式的建筑足迹转换为建筑对象;道路是OSM和Map World的综合,即用Map World来补充OSM中遗漏的部分道路;水体从Map World中提取。然后,掩膜ZY-3遥感影像中上述3个类别区域,以nDSM、NDVI、归一化水体指数(normalized difference water index, NDWI)和光谱特征作为输入,采用随机森林分类器将图像剩余部分分为草地/灌木、树木、裸土和其他不透水面。最后进行手动校正,进一步完善分类结果,如图2(b)所示。

通过随机抽样对建筑高度数据和土地分类结果进行评估,选择68个不同高度级别的建筑和926个土地分类的像素,计算出建筑高度均方根误差(root mean squared error, RMSE)是7.89 m,土地分类总体精度是88.33%, Kappa系数是0.863,精度验证见图3,混淆矩阵见表2。

1.4 LCZ分类制图和分析样本的选择

街区作为城市的基本单元,对城市规划有重要意义^[49],因此本文以城市街区为单元绘制LCZ分类图。LCZ划分参考因素较多,为了避免建筑高度、建筑比例等因素的误差引起的LCZ类别错

分,本文采用人工标定方法划分LCZ类别,最终确定13个LCZ类别,包括7类建成景观类型(LCZ1为紧凑高层建筑、LCZ2为紧凑中层建筑、LCZ3为紧凑低层建筑、LCZ4为开敞高层建筑、LCZ5为开敞中层建筑、LCZ6为开敞低层建筑、LCZ8为大型低层建筑)和6类自然覆盖类型(LCZA为密集树木、LCZB为稀疏树木、LCZD为低矮植被、LCZE为岩石/硬化地面、LCZF为裸土/沙地、LCZG为水体)。首先基于道路网将深圳城区划分成大小不同的街区;然后根据地表覆盖和房屋高度数据,并参考ZY-3遥感影像,按照LCZ定义与参数^[13]确定每个街区类型,得到初步LCZ图;最后通过人工目视检查的方式,对整个研究区进行核查,纠正错误的分类结果,得到最终的LCZ分类图,结果如图4所示。通过随机抽样对LCZ分类结果进行评估,选择1 427个样本,得到LCZ分类总体精度为99.51%, Kappa系数是0.995,混淆矩阵见表3。

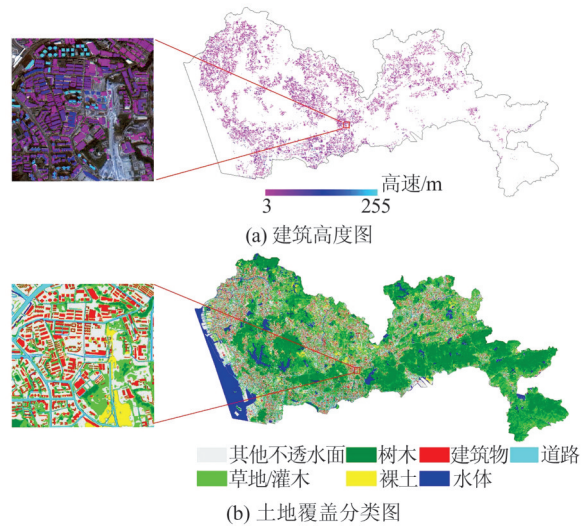


图2 建筑高度图和土地覆盖分类图
Fig.2 Buildings Height Map and Land-cover Classification Map

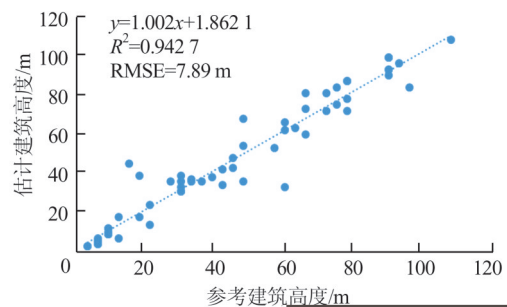


图3 估计建筑高度和参考建筑高度比较
Fig.3 Comparison of Estimated Building Height and Reference Building Height

表 2 土地覆盖分类的混淆矩阵

Tab. 2 Confusion Matrix of Land-cover Classification

土地覆盖类别	土地覆盖类别							总数	使用者精度/%
	其他不透水面	草地/灌木	树木	裸土	建筑物	水体	道路		
其他不透水面	92	2	0	11	21	11	8	145	63.45
草地/灌木	0	115	5	1	0	0	0	121	95.04
树木	0	13	152	0	0	0	0	165	92.12
裸土	21	0	0	108	0	0	0	129	83.72
建筑物	3	2	0	0	145	0	0	150	96.67
水体	1	0	0	0	0	88	0	89	98.88
道路	7	1	1	0	0	0	118	127	92.91
总数	124	133	158	120	166	99	126	926	
生产者精度/%	74.19	86.47	96.2	90	87.35	88.89	93.65		

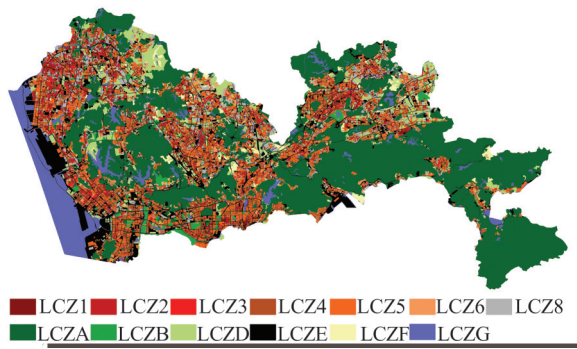


图 4 深圳市 LCZ 分类图

Fig.4 LCZ Classification Map in Shenzhen City

直接以街区为研究单元的问题在于街区大小形态各异和街区边缘气候容易受到相邻街区气候的影响。因此,在街区划分 LCZ 的基础上,从每个街区中选出尺寸形状一致且位于街区中心的 LCZ 样本,综合考虑样本纯净度(保证样本仅包含一类 LCZ,因此样本尺寸不能太大)、代表性(能反映样本内部 LCZ 的空间特征,因此样本尺寸不能太小)以及样本数量,最终将分析样本尺寸定为 150 m×150 m,样本量共有 1 369 个(建成景观类型共 588 个),对每个样本的 LCZ 类别逐一核查,保证样本的准确性。

表 3 LCZ 分类的混淆矩阵

Tab.3 Confusion Matrix of LCZ Classification

LCZ 类别	LCZ 类别													总数	使用者精度/%
	LCZ1	LCZ2	LCZ3	LCZ4	LCZ5	LCZ6	LCZ8	LCZA	LCZB	LCZD	LCZE	LCZF	LCZG		
LCZ1	85	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86	98.84
LCZ2	0	122	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	123	99.19
LCZ3	0	0	87	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	88	98.86
LCZ4	0	0	0	91	1	0	0	0	0	0	0	0	0	92	98.91
LCZ5	0	1	0	0	143	0	0	0	0	0	0	0	0	144	99.31
LCZ6	0	0	0	0	0	115	0	0	0	0	0	0	0	115	100
LCZ8	0	0	0	0	0	0	106	0	0	0	0	0	0	106	100
LCZA	0	0	0	0	0	0	0	79	0	0	0	0	0	79	100
LCZB	0	0	0	0	0	0	0	0	148	1	0	0	0	149	99.33
LCZD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	125	100
LCZE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130	1	0	131	99.24
LCZF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	0	78	100
LCZG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111	111	100
总数	85	123	87	92	145	116	106	79	148	126	130	79	111	1 427	
生产者精度/%	100	99.19	100	98.91	98.62	99.14	100	100	100	99.21	100	98.73	100		

1.5 数据分析方法

综合以往研究中常用的城市形态变量,本文选择了 14 个城市形态变量,其中二维城市形态变

量以景观构成为主,包括其他不透水面比例(other impervious surface areas fraction, OSF)、草地/灌木比例(grass surface fraction, GSF)、树木比例

(tree surface fraction, TSF)、裸土比例(soil surface fraction, SSF)、建筑比例(building surface fraction, BSF)、水域比例(water surface fraction, WSF)、道路比例(road surface fraction, RSF)和建筑朝向方差(orientation variance, OV);三维城市形态变量以建筑结构为主,包括高度方差(height variance, HV)、平均高度(mean height, MH)、体形系数(shape coefficient, SC)、容积率(plot ratio, PR)、建筑体积和(building volume, BV)和天空开阔度(sky view factor, SVF)^[50-51]。

在地表温度定量分析中,首先用单因素方差判断不同LCZ类别之间的季节性地表温度是否存在显著性差异,然后用皮尔逊偏相关分析研究建筑类型中城市形态变量和地表温度之间的相

关性,其中二维变量和三维变量互为对方控制变量,最后用逐步回归模型研究不同LCZ类别的城市形态变量对地表温度的相对贡献性,确保最终模型纳入的变量都具有显著性并且没有严重的多重共线性。

2 结果分析

2.1 不同LCZ类别的季节性地表温度分析

通过单因素方差分析($P < 0.05$),判断出3个季节的LCZ类型之间地表温度存在显著差异,结果如图5所示。为了探究深圳不同LCZ类型之间的季节性地表温度差异,绘制了3个季节不同LCZ类别的地表温度箱型图,如图6所示。

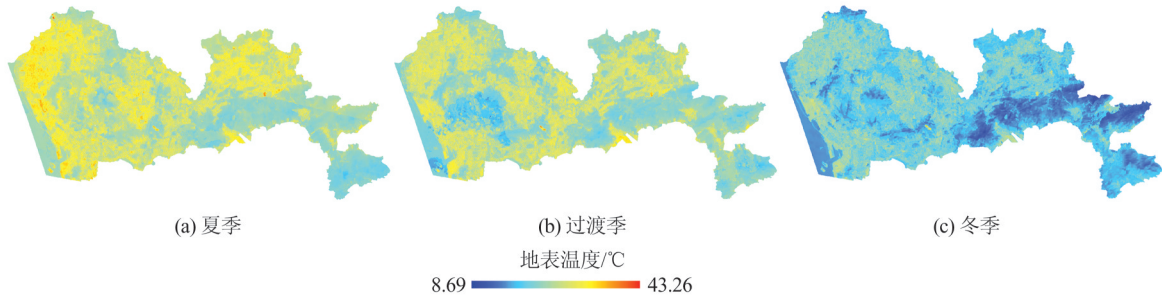


图5 深圳市不同季节的地表温度

Fig. 5 LST in Shenzhen City in Three Seasons

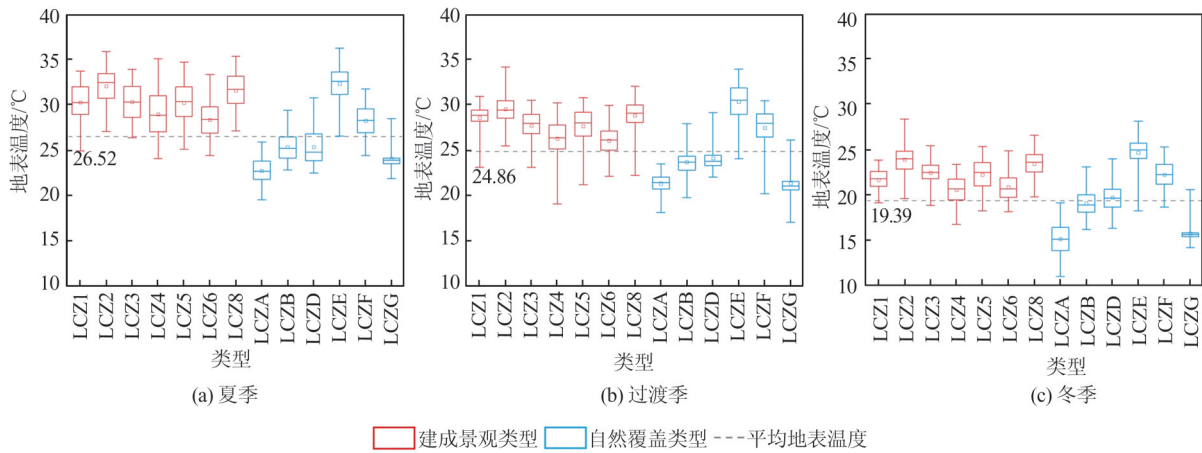


图6 不同季节不同LCZ类型的地表温度

Fig. 6 LST of LCZ in Three Seasons

由图6可知,不同LCZ地表温度在3个季节呈现相对一致的变化趋势:(1)建成景观类型的平均温度高于自然覆盖类型的平均温度,并且大部分建成景观类型的地表温度远高于全区域平均温度。(2)在建成景观类型中,LCZ2的平均温度最高,并且LCZ8的平均温度与其相差不足1°C,LCZ6和LCZ4的平均温度最低,LCZ1—LCZ3的平均温度高于LCZ4—LCZ6。然而,不同LCZ地表温度

在3个季节也存在一定差异:(1)夏季和过渡季节的每类建成景观类型的温差大于冬季,尤其是LCZ4—LCZ6和LCZ1(紧凑高层)。(2)在过渡季节,仅有不足25%的LCZB(稀疏树木)和LCZD(低矮植被)高于平均温度,而在冬季,该比例明显增加,约55%的LCZD高于平均温度。

将中国深圳市的LCZ地表温度分布情况与美国拉斯维加斯、捷克布拉格等城市对

比^[30,32-33,52-53],相同的是这些城市中与工业区相关的区域温度始终较高,温度最低的都是 LCZA 或 LCZG,LCZ1—LCZ3 的平均温度高于 LCZ4—LCZ6。但不同城市的不同 LCZ 的季节性地表温度有不同的变化规律,主要表现在每类 LCZ 以及 LCZ 类型之间的温差不同,比如布拉格春、夏、秋三季变化规律比较一致,且 LCZ3 平均温度略高于 LCZ2,但深圳市 LCZ2 平均温度始终高于 LCZ3。这些城市之间最大的差别是城市气候特征、建筑空间布局,而季节变化也与气候有关,说明气候和建筑空间布局是影响建成景观类型地表温度的主要因素。

2.2 城市形态与季节性地表温度分析

利用皮尔逊偏相关分析研究不同季节建成景观类型城市形态变量和地表温度之间的相关性,结果见表 4。由表 4 可以看出,二维变量中 OSF、BSF 与地表温度显著正相关,并且夏季

OSF 的相关性(0.387, $P < 0.01$)大于 BSF 的相关性(0.210, $P < 0.01$);GSF 和 TSF 与地表温度有显著负相关影响,并且 GSF 的相关性始终最强;SSF、WSF、RSF 3 个变量对地表温度有一定负影响,其中 WSF 仅在夏季与地表温度相关性显著($P < 0.01$);SSF 和 OV 在 3 个季节与地表温度相关性弱且均不显著($P > 0.05$)。三维变量中 SC、SVF 与地表温度正相关,其中 SVF 与地表温度显著正相关,且相关性强于 SC。SC 是影响建筑物耗热量指标的重要因素之一,消耗的能源越多,地表温度越高,因此 SC 与地表温度正相关。SVF 测量了周边建筑或环境遮蔽的程度,SVF 越大,遮挡程度越弱,遮阳效果越差,地面接受的太阳辐射越强,可能导致更高的地表温度。与 SC 相比,SVF 更能直接影响地表热辐射强度,所以相关性强于 SC。负相关性最强的三维变量是 MH。

表 4 不同季节建成景观类型中城市形态变量与地表温度偏相关系数

Tab. 4 Partial Pearson Correlation Coefficients Between Urban Morphology and LST in Build-up Types in Different Seasons

季节	二维变量								三维变量					
	OSF	GSF	TSF	SSF	BSF	WSF	RSF	OV	BV	MH	SC	PR	HV	SVF
夏季	0.387**	-0.481**	-0.322**	-0.041	0.210**	-0.124**	-0.126**	0.012	-0.314**	-0.327**	0.033	-0.138**	-0.294**	0.241**
过渡季	0.225**	-0.457**	-0.339**	-0.064	0.359**	-0.029	0.007	-0.035	-0.235**	-0.249**	0.103*	-0.075	-0.144**	0.271**
冬季	0.231**	-0.519**	-0.262**	-0.049	0.384**	-0.07	-0.032	0.024	-0.458**	-0.465**	0.125**	-0.232**	-0.307**	0.481**

注:*表示 $P < 0.05$ (双侧),**表示 $P < 0.01$ (双侧)

采用逐步回归模型,研究不同季节建成景观类型中城市形态变量与地表温度的回归关系,结果如表 5 所示。表 5 中 R^2 是回归平方和与总平方和的比值,反映了回归方程的拟合优度,也就是自变量解释能力。随着自变量个数的增加, R^2 会高估实际的拟合优度,因此用调整后的 R^2 来说明方程的拟合优度。结果显示,在不同季节,不同 LCZ 类型的城市形态变量与地表温度关系有明显差异,具体表现在变量影响方向和强度不同。

1) 从变量影响方向看,共有 5 个变量方向一致,其中 MH、TSF、GSF、WSF 与地表温度是负相关关系,BSF 则是正相关。MH 越大,阴影面积越大,同时有助于风环流的形成,促进地表温度降低。TSF、GSF、WSF 直接影响地表蒸发,水分蒸发时带走地表热量,降低地表温度。因此 MH、TSF、GSF、WSF 与地表温度是负相关关系。而 BSF 越大,地表不透水面越多,地表吸收的太阳辐射越多,所以 BSF 表现出相反的相关性。

2) 从变量在模型中出现的次数看,二维变量

的次数明显高于三维变量,次数最高的变量是 GSF,共计 12 次,最低的是 PR,该变量没能进入逐步回归模型。从变量与地表温度的相关性看,GSF 在冬季 LCZ3 模型中,与地表温度负相关最强(-0.721),BSF 在过渡季节的总体模型中,与地表温度正相关最强(0.902),此外 OSF、RSF 与地表温度也有较强的相关性,说明土地覆盖类型是影响深圳市地表温度的首要因素。

3) 从 7 个 LCZ 建成景观类型看,LCZ4—LCZ6 和 LCZ8 的模型中出现的变量多于 LCZ1—LCZ3,这可能是前者建筑比例相对低,其地物覆盖类型较多。在 LCZ1—LCZ3,二维变量出现的次数远大于三维变量,尤其是在夏季没有三维变量和在过渡季节仅在 LCZ1 模型出现一个三维变量 SVF,说明对于 LCZ1—LCZ3,二维变量对地表温度的影响占据主导地位。在 LCZ4—LCZ6 和 LCZ8 模型中,虽然二维变量出现的次数仍然大于三维变量,但是同 LCZ1—LCZ3 相比,三维变量次数明显增加,尤其是 SVF,出现在夏

表5 不同季节建成景观类型中城市形态变量与地表温度逐步回归分析

Tab. 5 Stepwise Regression Between Urban Morphology and LST in Build-up Types in Different Seasons

季节	变量	总体	LCZ1	LCZ2	LCZ3	LCZ4	LCZ5	LCZ6	LCZ8
夏季	OSF						0.424	0.682	
	GSF	-0.437		-0.404	-0.469	-0.282	-0.252		-0.332
	TSF	-0.236				-0.328			
	WSF				-0.409				
	RSF	-0.132	-0.625						
	OV			0.276					
	BV							0.232	
	MH	-0.318							-0.202
	SC	-0.175							-0.286
	HV					-0.214			
	SVF								-0.392
	R^2	0.485	0.390	0.164	0.307	0.335	0.359	0.427	0.351
	修正后的 R^2	0.480	0.361	0.150	0.253	0.304	0.349	0.413	0.331
过渡季	OSF	0.484					0.489		
	GSF							-0.265	-0.498
	TSF					-0.465		-0.182	-0.201
	SSF			-0.173					
	BSF	0.902	0.573	0.555			0.268		
	WSF							-0.242	
	RSF	0.216		0.219					
	OV		-0.343		-0.514			-0.169	
	MH							-0.589	
	HV							0.226	-0.154
	SVF	0.209	0.756				0.191		
	R^2	0.507	0.543	0.524	0.264	0.216	0.334	0.494	0.32
	修正后的 R^2	0.504	0.471	0.509	0.237	0.204	0.319	0.455	0.305
冬季	OSF	0.332		-0.237				0.682	
	GSF	-0.179			-0.721		-0.447		-0.303
	TSF			-0.238			-0.270		
	SSF			-0.312				0.215	
	BSF	0.723				0.479	0.268	0.198	
	WSF				-0.439				
	RSF	0.106	-0.680						
	MH	-0.152			-0.406				
	SC					0.355			
	HV		0.474						
	SVF	0.257	0.366				0.236	0.361	
	R^2	0.584	0.518	0.330	0.554	0.190	0.426	0.666	0.092
	修正后的 R^2	0.580	0.442	0.313	0.501	0.165	0.412	0.649	0.085

季 LCZ8、过渡季节 LCZ5、冬季 LCZ5 和 LCZ6 模型中,表明三维变量的影响程度增强。在总体模型中,BSF、OSF 和 SVF 对地表温度的增加影响显著,GSF 和 MH 则相反。

GSF 在 3 个季节尤其是夏季模型中负相关性最强,这是因为草地/灌木自身有一定的含水量,干热空气可以加强草地/灌木的蒸发蒸腾效率,从而降低地表温度。OSF 与地表温度呈显著正相

关关系,是由于不透水表面的材料(如混凝土、水泥、沥青)有较低的辐射率和较高的比热容,在将太阳辐射转化为感热的同时,蒸散发效率低。BSF 与地表温度正相关关系最强,不仅因为建筑物表面多是不透水材质,还因为建筑物集聚区域人为散发热量高,易产生大量的空气污染物形成热辐射^[3]。LCZA 和 LCZG 温度最低(见图 5),具体原因是树叶可以直接遮挡和吸收大部分的太

阳辐射能量,并且还能以蒸腾作用的方式将大部分太阳辐射转化为潜热,此外水分以水蒸汽状态散失到大气中会吸收空气热量,降低地表温度,因此树木和水体是地表温度下降最重要的因素。但在城市变量与地表温度相关性分析中,TSF和WSF对地表温度影响的显著性不如GSF强,主要原因是在样本中树木和水体这两类地物覆盖面积很小。从所有模型来看,MH的出现次数较多,显著性较强,并且对地表温度呈稳定的降温作用,这是因为建筑越高,阴影面积越大,地面接受到的太阳辐射越少,同时有助于形成地面风环流现象,冷却效果强^[34]。此外同已有研究一致的是,二维变量比三维变量对地表温度影响更显著^[22,52]。

3 结 语

本文以深圳市ZY-3遥感影像为基础,制作基于街区的LCZ分类图,研究不同季节、不同LCZ类别的地表温度特征,分析城市形态对不同LCZ类别的季节性地表温度的影响。研究结果表明,地表温度对于LCZ类别的响应有季节性差异,主要体现在夏季的LCZ温差最大,冬季最小。此外,不同LCZ之间城市形态和季节性地表温度的关系如下:(1)不同季节各变量与地表温度之间关系存在显著性差异,表现在变量影响的方向和大小。(2)与三维变量相比,二维变量与地表温度相关性更强,尤其是在LCZ1—LCZ3(紧凑型建筑)模型中,二维变量中建筑覆盖和草地/灌木覆盖分别与地表温度有较强的正、负相关关系,树木和水体是地表温度下降最重要的因素。因此对于该类型,可以通过减少建筑密度,增加草地/灌木、树木、水体面积来降低地表温度。(3)在其他模型分析中,虽然二维变量影响同样显著,但三维变量影响增强。由于增加建筑高度有利于地表温度的降低,所以需要在对建筑空间需求一定的情况下,不仅需要增加草地、树木、水体面积,还应当增加建筑高度,以降低地表温度、缓解城市热岛效应。

需要指出的是,地表温度的计算有多种方法,尽管总体趋势和规律是相似的,但不同温度反演方法造成的不确定性,需要在今后的研究中进一步探讨。

参 考 文 献

[1] Oke T R. The Heat Island of the Urban Boundary

Layer: Characteristics, Causes and Effects [M]// Cermak J E, Davenport A G, Plate E J, et al. Wind Climate in Cities. Dordrecht: Springer Netherlands, 1995: 81-107

- [2] Kleerekoper L, van Esch M, Salcedo T B. How to Make a City Climate-Proof, Addressing the Urban Heat Island Effect[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2012, 64: 30-38
- [3] Yuan C, Ng E, Norford L K. Improving Air Quality in High-Density Cities by Understanding the Relationship Between Air Pollutant Dispersion and Urban Morphologies [J]. *Building and Environment*, 2014, 71: 245-258
- [4] Akbari H, Davis S, Huang J, et al. Cooling our Communities: A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing [R]. Washington DC, USA: Office of Scientific and Technical Information (OSTI), 1992
- [5] Cui Y, Yan D, Hong T Z, et al. Temporal and Spatial Characteristics of the Urban Heat Island in Beijing and the Impact on Building Design and Energy Performance[J]. *Energy*, 2017, 130: 286-297
- [6] Dong W H, Liu Z, Zhang L J, et al. Assessing Heat Health Risk for Sustainability in Beijing's Urban Heat Island[J]. *Sustainability*, 2014, 6(10): 7 334-7 357
- [7] Vargo J, Stone B, Habeeb D, et al. The Social and Spatial Distribution of Temperature-Related Health Impacts from Urban Heat Island Reduction Policies [J]. *Environmental Science & Policy*, 2016, 66: 366-374
- [8] Liu M M, Liu X Y, Huang Y N, et al. Epidemic Transition of Environmental Health Risk During China's Urbanization [J]. *Science Bulletin*, 2017, 62 (2): 92-98
- [9] Estoque R C, Murayama Y, Myint S W. Effects of Landscape Composition and Pattern on Land Surface Temperature: An Urban Heat Island Study in the Megacities of Southeast Asia[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 577: 349-359
- [10] Kuang W H, Liu J Y, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal Dynamics of Impervious Surface Areas across China During the Early 21st Century [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(14): 1 691-1 701
- [11] Wang Meiya, Xu Hanqiu. Analyzing the Influence of Urban Forms on Surface Urban Heat Islands Intensity in Chinese Mega Cities [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2018, 20 (12): 1 787-1 798 (王美雅, 徐涵秋. 中国大城市的城市组成对城市热岛强度的影响研究 [J]. *地球信息科学学报*, 2018, 20(12): 1 787-1 798)

- [12] Wu Xuewei, Xu Yaming, Gong Wenfeng. Graphical Information Characteristics of Urban Heat Island Spatial Pattern and Its Change [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(12): 1 711-1 718 (吴学伟, 徐亚明, 龚文峰. 城市热岛空间格局及其变化的图形信息特征分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(12): 1 711-1 718)
- [13] Stewart I D, Oke T R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2012, 93(12): 1 879-1 900
- [14] Unger J, Lelovics E, Gál T. Local Climate Zone Mapping Using GIS Methods in Szeged [J]. *Hungarian Geographical Bulletin*, 2014, 63(1): 29-41
- [15] Stewart I, Oke T. Classifying Urban Climate Field Sites by “Local Climate Zones”: The Case of Nagano, Japan[C]// The Seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan, 2009
- [16] Wang Y S, Zhan Q M, Ouyang W L. Impact of Urban Climate Landscape Patterns on Land Surface Temperature in Wuhan, China [J]. *Sustainability*, 2017, 9(10): 1 700
- [17] Cai M, Ren C, Xu Y, et al. Local Climate Zone Study for Sustainable Megacities Development by Using Improved WUDAPT Methodology — A Case Study in Guangzhou [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2016, 36: 82-89
- [18] Xiong Wei, Qian Jianping. Remote Sensing Analysis of Urban Heat Island Effect in Nanning City on Basis of Landsat 8 Data [J]. *Journal of Geomatics*, 2018, 43(4): 51-54 (熊玮, 钱建平. 基于 Landsat 8 的南宁市热岛效应遥感分析研究[J]. 测绘地理信息, 2018, 43(4): 51-54)
- [19] Geletič J, Lehnert M, Dobrovolný P. Land Surface Temperature Differences Within Local Climate Zones, Based on Two Central European Cities [J]. *Remote Sensing*, 2016, 8(10): 788
- [20] Lelovics E, Unger J, Gál T, et al. Design of an Urban Monitoring Network Based on Local Climate Zone Mapping and Temperature Pattern Modelling [J]. *Climate Research*, 2014, 60(1): 51-62
- [21] Geletič J, Lehnert M. GIS-Based Delineation of Local Climate Zones: The Case of Medium-Sized Central European Cities [J]. *Moravian Geographical Reports*, 2016, 24(3): 2-12
- [22] Huang X, Wang Y. Investigating the Effects of 3D Urban Morphology on the Surface Urban Heat Island Effect in Urban Functional Zones by Using High-Resolution Remote Sensing Data: A Case Study of Wuhan, Central China [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2019, 152: 119-131
- [23] Zheng Y S, Ren C, Xu Y, et al. GIS-Based Mapping of Local Climate Zone in the High-Density City of Hong Kong [J]. *Urban Climate*, 2018, 24: 419-448
- [24] Tong X Y, Xia G S, Lu Q K, et al. Land-Cover Classification with High-Resolution Remote Sensing Images Using Transferable Deep Models [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 237: 111322
- [25] Shao Zhenfeng, Zhang Yuan, Huang Xin, et al. Mapping Impervious Surface with 2 m Using Multi-Source High Resolution Remote Sensing Images [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 1 909-1 915 (邵振峰, 张源, 黄昕, 等. 基于多源高分辨率遥感影像的 2 m 不透水面一张图提取[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(12): 1 909-1 915)
- [26] Huo Shaofeng, Gu Xingfa, Zhan Yulin, et al. Extracting Building Plot Ratio with Shadow of ZY-3 Image [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(3): 444-450 (霍少峰, 顾行发, 占玉林, 等. 利用资源三号卫星影像阴影提取建筑容积率[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(3): 444-450)
- [27] Li Zhenhong, Li Peng, Ding Dong, et al. Research Progress of Global High Resolution Digital Elevation Models [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 1 927-1 942 (李振洪, 李鹏, 丁咚, 等. 全球高分辨率数字高程模型研究进展与展望[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(12): 1 927-1 942)
- [28] Liu C, Huang X, Wen D W, et al. Assessing the Quality of Building Height Extraction from ZiYuan-3 Multi-View Imagery [J]. *Remote Sensing Letters*, 2017, 8(9): 907-916
- [29] Huang X, Wen D W, Li J Y, et al. Multi-Level Monitoring of Subtle Urban Changes for the Megacities of China Using High-Resolution Multi-View Satellite Imagery [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 196: 56-75
- [30] Wang C Y, Middel A, Myint S W, et al. Assessing Local Climate Zones in Arid Cities: The Case of Phoenix, Arizona and Las Vegas, Nevada [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018, 141: 59-71
- [31] Yang J, Jin S H, Xiao X M, et al. Local Climate Zone Ventilation and Urban Land Surface Temperatures: Towards a Performance-Based and Wind-Sen-

- sitive Planning Proposal in Megacities[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2019, 47: 101487
- [32] Wang R, Cai M, Ren C, et al. Detecting Multi-Temporal Land Cover Change and Land Surface Temperature in Pearl River Delta by Adopting Local Climate Zone [J]. *Urban Climate*, 2019, 28: 100455
- [33] Geletić J, Lehnert M, Savić S, et al. Inter-/Intra-Zonal Seasonal Variability of the Surface Urban Heat Island Based on Local Climate Zones in Three Central European Cities [J]. *Building and Environment*, 2019, 156: 21-32
- [34] Nassar A K, Blackburn G A, Whyatt J D. Dynamics and Controls of Urban Heat Sink and Island Phenomena in a Desert City: Development of a Local Climate Zone Scheme Using Remotely-Sensed Inputs[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2016, 51: 76-90
- [35] Huang Yuan, Liu Jingyi, Jason Ching. Research Progress of WUDAPT Project: Crowdsourcing Solutions Based on Urban Form, Function Information and Its Applications [J]. *South Architecture*, 2018 (4): 26-33 (黄媛, 刘静怡, Jason Ching. WUDAPT项目: 城市形式与功能信息的众包解决方案及其应用[J]. *南方建筑*, 2018(4): 26-33)
- [36] Hu Junhui, Ren Lijian, Yun Yingxia. Review of Foreign Studies on Sustainable Urban Form from the Perspective of Healthy Cities [J]. *Urban Planning International*, 2021, 36(1): 58-68 (胡俊辉, 任利剑, 运迎霞. 健康城市视角下国外可持续城市形态研究述评[J]. *国际城市规划*, 2021, 36(1): 58-68)
- [37] Wang R, Cai M, Ren C, et al. Detecting Multi-Temporal Land Cover Change and Land Surface Temperature in Pearl River Delta by Adopting Local Climate Zone [J]. *Urban Climate*, 2019, 28: 100455
- [38] Wang W M, Liu K, Tang R, et al. Remote Sensing Image-Based Analysis of the Urban Heat Island Effect in Shenzhen, China [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2019, 110: 168-175
- [39] Li W F, Cao Q W, Lang K, et al. Linking Potential Heat Source and Sink to Urban Heat Island; Heterogeneous Effects of Landscape Pattern on Land Surface Temperature [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 586: 457-465
- [40] Zhang W T, Huang B, Luo D. Effects of Land Use and Transportation on Carbon Sources and Carbon Sinks: A Case Study in Shenzhen, China [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 122: 175-185
- [41] Liu L, Lin Y Y, Xiao Y, et al. Quantitative Effects of Urban Spatial Characteristics on Outdoor Thermal Comfort Based on the LCZ Scheme [J]. *Building and Environment*, 2018, 143: 443-460
- [42] Peng J, Jia J L, Liu Y X, et al. Seasonal Contrast of the Dominant Factors for Spatial Distribution of Land Surface Temperature in Urban Areas [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 215: 255-267
- [43] 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
- [44] Defries R S, Townshend J R G. NDVI-Derived Land Cover Classifications at a Global Scale [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15 (17): 3 567-3 586
- [45] Shen H F, Huang L W, Zhang L P, et al. Long-Term and Fine-Scale Satellite Monitoring of the Urban Heat Island Effect by the Fusion of Multi-Temporal and Multi-Sensor Remote Sensed Data: A 26-Year Case Study of the City of Wuhan in China [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 172: 109-125
- [46] Hirschmuller H. Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2008, 30(2): 328-341
- [47] Qin R J, Fang W. A Hierarchical Building Detection Method for very High Resolution Remotely Sensed Images Combined with DSM Using Graph Cut Optimization [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2014, 80(9): 873-883
- [48] Huang X, Wang Y, Li J Y, et al. High-Resolution Urban Land-Cover Mapping and Landscape Analysis of the 42 Major Cities in China Using ZY-3 Satellite Images [J]. *Science Bulletin*, 2020, 65(12): 1 039-1 048
- [49] Zhao W Z, Bo Y C, Chen J G, et al. Exploring Semantic Elements for Urban Scene Recognition: Deep Integration of High-Resolution Imagery and OpenStreetMap (OSM) [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2019, 151: 237-250
- [50] Chun B, Guldmann J M. Spatial Statistical Analysis and Simulation of the Urban Heat Island in High-Density Central Cities [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 125: 76-88
- [51] Berger C, Rosentreter J, Voltersen M, et al. Spatio-Temporal Analysis of the Relationship Between 2D/3D Urban Site Characteristics and Land Surface Temperature [J]. *Remote Sensing of Environment*,

- 2017, 193: 225-243
- [52] Gémes O, Tobak Z, van Leeuwen B. Satellite Based Analysis of Surface Urban Heat Island Intensity[J]. *Journal of Environmental Geography*, 2016, 9(1/2): 23-30
- [53] Alexander P, Mills G. Local Climate Classification and Dublin's Urban Heat Island[J]. *Atmosphere*, 2014, 5(4): 755-774

Effects of Urban Morphology on Land Surface Temperature in Local Climate Zones

LU Yang¹ YANG Jiansi¹ HUANG Xin^{2,3} YANG Qiquan² MA Song⁴

¹ School of Urban Design, Wuhan University, Wuhan 430072, China

² School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

³ State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

⁴ Shenzhen Environment Monitoring Center, Shenzhen 518000, China

Abstract: Objectives: With the development of urbanization, the urban heat island has attracted a lot attention because of its adverse effects on health of residents and urban sustainability. Local climate zone (LCZ) provides a novel framework of land-cover classification for the study of urban heat island. In this research, we investigated the impact of urban morphology on the seasonal variations of land surface temperature (LST) in different LCZs in Shenzhen, which is a core city of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and a pilot demonstration zone with Chinese characteristics. **Methods:** Multi-view high-resolution remote sensing images were employed to map the LCZs in the neighborhood scale. Additionally, the Pearson partial correlation and stepwise regression models were applied to analyze the influence of urban morphology on the seasonal characteristics of LST in different LCZs. **Results:** LST varies greatly among seasons in the different LCZs. In addition, urban morphology plays important roles in the variations of LST among LCZs. And the two-dimensional metrics correlate more strongly with LST than the three-dimensional metrics in the LCZ1-LCZ3. The effects of the three-dimensional metrics in the LCZ4-LCZ6 and LCZ8 are more pronounced than that in the LCZ1-LCZ3. **Conclusions:** Urban morphological variables of LCZs in different seasons have different effects on the surface temperature. Compared with the three-dimensional metrics, the two-dimensional metrics have a stronger correlation with the surface temperature. Moreover, the influence of three-dimensional metrics is enhanced in non-compact construction.

Key words: urban heat island; local climate zone (LCZ); land surface temperature; urban morphology; multi-view high-resolution remote sensing images

First author: LU Yang, PhD, specializes in the application of geographic information system and remote sensing technology in urban planning and management. E-mail: luyang0615@whu.edu.cn

Corresponding author: YANG Jiansi, PhD, professor. E-mail: Js yang@whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China(41771360, 41971295); the National Program for Support of Top-notch Young Professionals, the Natural Science Foundation of Hubei Province (2017CFA029); the National Key Research and Development Program of China (2016YFB0501403, 2018YFB2100500); Shenzhen Science and Technology Program (JCYJ20180306170645080).

引文格式: LU Yang, YANG Jiansi, HUANG Xin, et al. Effects of Urban Morphology on Land Surface Temperature in Local Climate Zones [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(9): 1412-1422. DOI: 10.13203/j.whugis20200031 (卢阳, 杨建思, 黄昕, 等. 面向局部气候带的城市形态对地表温度的影响[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2021, 46(9): 1412-1422. DOI: 10.13203/j.whugis20200031)