



局地气候区与昼夜城市热岛效应的耦合关系研究

摘要

针对局地气候区框架下城市地表热环境昼夜差异研究的不足,本文基于机载 LiDAR、IKONOS-2 等多源遥感数据实现了局地气候区分类,重点分析了局地气候区与城市地表温度之间的响应关系及其昼夜差异。研究结果表明局地气候区类型地表温度存在显著的昼夜差异。在白天,大型低层建筑区 LCZ 8 地表温度最高,水体 LCZ G 地表温度最低。在夜间,裸土/沙土 LCZ F 为最冷的局地气候区,而水体 LCZ G 呈现了最高的地表温度。随建筑高度的升高,紧凑建筑类型区和开敞建筑类型区白天地表温度呈现下降的趋势,而夜间则表现出相反的规律。局地气候区类型的热属性在夜间(85.8%)比白天(79.5%)更容易区分。不论白天与夜间,开敞高层建筑区 LCZ 4 和 水体 LCZ G 分别为建筑类型区和土地覆盖类型区中与其他局地气候区地表温度区分更明显的类型。

关键词

局地气候区;城市热岛;激光雷达;耦合关系

中图分类号 TP79;TP701

文献标志码 A

收稿日期 2021-09-19

资助项目 福建省科技计划引导性项目(2018Y0065,2021Y0038);2020 年国家级大学生创新创业训练计划(202011312011);新罗区奇迈科技创新基金(XLQM004);上杭县奇迈科技创新基金(2020SHQM14)

作者简介

高鹏,女,副教授,主要从事资源环境遥感研究.281348974@qq.com

徐志刚(通信作者),男,教授,主要从事资源环境遥感研究.xzg_xzg1982@163.com

1 龙岩学院 资源工程学院,龙岩,364012

2 南京信息工程大学 遥感与测绘工程学院,南京,210044

3 南京大学 卫星测绘技术与应用国家测绘地理信息局重点实验室,南京,210023

0 引言

城市基础设施发展、建筑面积扩张以及人口的快速增长加剧了城市化进程,并改变了城市区域原有的自然下垫面属性,对城市生态环境等产生了一系列挑战^[1-2]。城市热岛效应作为城市化对气候影响最为显著的特征已经被广泛证实^[3-6],它影响着能源消耗、大气污染、人类健康和生存以及城市的可持续发展。因此,有必要对城市热岛形成机制和强度特征等展开研究,以缓解城市热岛效应^[7-8]。

传统的城市热岛效应研究主要以“城市-郊区”二元认知体系为基础,能够初步揭示城郊热力差异。然而,随着城市三维特征日趋显著,使得仅考虑地表覆盖二维信息的“城市-郊区”二元认知体系不能全面准确地反映地表覆盖的复杂性。此外,典型“城市”和“郊区”地类选取的多样性也限制了其在全球范围内不同城市之间城市热岛的对比研究^[9]。2012 年,Stewart 等^[10]在顾及三维空间信息情况下,根据地表结构、地表覆盖类型、地表材质及其人类活动等提出了局地气候区分类体系(Local Climate Zone,LCZ)。局地气候区分类体系主要包括 10 种基本建筑类型和 7 种土地覆盖类型(表 1),能够实现城市内部微观气候的差异判断。自局地气候区分类体系提出以来,已有学者在实现局地气候区分类制图的基础上,探讨了城市内部不同区域的地表温度差异,并且对城市地表热环境的时空分异特征进行了剖析^[11-14]。Geletič 等^[15]通过分析布拉格和布尔诺局地气候区类型与白天地表温度的相互关系发现,重工业厂房 LCZ 10、紧凑低层建筑 LCZ 3 和紧凑多层建筑 LCZ 2 为地表温度最高的地区,然而水体 LCZ G 和茂密森林 LCZ A 地表温度最低。大型低层建筑 LCZ 8 和低矮植被 LCZ 4 与其他局地气候区类型地表温度区分更明显。江斯达等^[16]研究发现对于白天地表温度而言,大型低层建筑 LCZ 8 和工业厂房 LCZ 10 为出现最高地表温度的常见局地气候区类型。Wang 等^[14]在通过基于遥感方法获取了菲尼克斯和拉斯维加斯两个城市局地气候区分类基础上,发现裸岩/铺砌面 LCZ E 在白天和昼夜地表温度均最高,开敞高层建筑 LCZ 4 在白天地表温度最低,而夜间则为最高的地表温度区。

然而,现有基于局地气候区的城市热岛研究主要集中于欧美地区,而且不同城市之间由于气候差异导致结果存在不一致性;且多数研究仅探讨了局地气候区与白天城市地表热环境之间的相互关系,对城市地表热环境空间格局的昼夜差异分析仍较为缺乏。本文以南京

表 1 局地气候区分类体系

Table 1 Classification system of LCZs

建筑类型	土地覆盖类型
紧凑高层建筑区 (LCZ 1)	茂密树林 (LCZ A)
紧凑多层建筑区 (LCZ 2)	稀疏树林 (LCZ B)
紧凑低层建筑区 (LCZ 3)	灌木和矮树 (LCZ C)
开敞高层建筑区 (LCZ 4)	低矮植被 (LCZ D)
开敞多层建筑区 (LCZ 5)	裸岩/铺砌面 (LCZ E)
开敞低层建筑区 (LCZ 6)	裸土/沙土 (LCZ F)
轻质低层建筑区 (LCZ 7)	水体 (LCZ G)
大型低层建筑区 (LCZ 8)	
零散建筑区 (LCZ 9)	
重工业厂房 (LCZ 10)	

市主城区为例,基于机载 LiDAR、IKONOS-2、ASTER 地表温度等多源数据,基于 GIS 和遥感结合方法实现了城区内部精细化热属性分区,实现了基于局地气候区的城市热岛分析,为城市生态文明建设以及城市可持续发展提供了理论指导.

1 研究区概况

本文以南京市中心城区作为研究区,主要覆盖鼓楼区、玄武区、秦淮区、建邺区、栖霞区和雨花台区等 6 区(图 1).南京属于亚热带湿润气候,四季分明,年平均降水量为 1 033 mm.年平均气温为 15 ℃,夏季最高温度超过 40 ℃,冬季最低温度为-14 ℃.地貌特征为宁镇扬丘陵地区,以低山缓岗为主.由于夏季气候炎热,具有“火炉”之称.因此,以南京市主城区为典型代表区,研究局地气候区与城市热岛之间的相互关系能够为城市生态环境改善提供指导意义.

2 数据源与研究方法

2.1 数据及其预处理

本文收集的矢量植被分布图和建筑分布图是从南京测绘勘察研究院获得,主要用于局地气候区分类参数的计算.遥感数据主要包括地表温度、机载 LiDAR 和 IKONOS-2 数据.

2.1.1 地表温度数据

鉴于本文旨在剖析局地气候区类型与昼夜地表温度之间的响应关系,以及 Landsat 卫星和 MODIS 地表温度产品的优劣性,研究采用的地表温度数据是 ASTER 地表温度产品 (AST_08v003),空间分辨率为 90 m (ASTER 数据来源: <https://lpdaac.usgs.gov/products/ast08v003/>).该产品以大气校正后的 ASTER 地表辐射率为基础,通过温度与发射率分离算法估算发射率,然后以普朗克黑体辐射定律反演得到地表温度,产品精度为 1.5 K.为了获取与机载 LiDAR 数据和土地覆盖分布图时间尽可能接近的地表温度产品,本文根据产品质量和可获取性筛选了 2008—2012 年间地表温度数据,最终选取 2011 年 5 月 1 日 (11:00) 和 2011 年 4 月 4 日 (22:19) 分别用于表征白天和夜间地表温度分布.虽然机载 LiDAR 和土地覆盖数据与 ASTER 地表温度产品时间间隔将近 2 年,但是本文研究区位于土地覆盖相对稳定的中心城区,土地覆盖类型在 2 年内相对变化较少.

2.1.2 机载 LiDAR 和多光谱遥感数据

机载 LiDAR 数据由南京测绘勘察研究院通过 Optech ALTM Gemini 传感器获得.获取时间为 2009 年 4 月 9 日和 21 日,点云密度为 4.2 点/m²,包括高

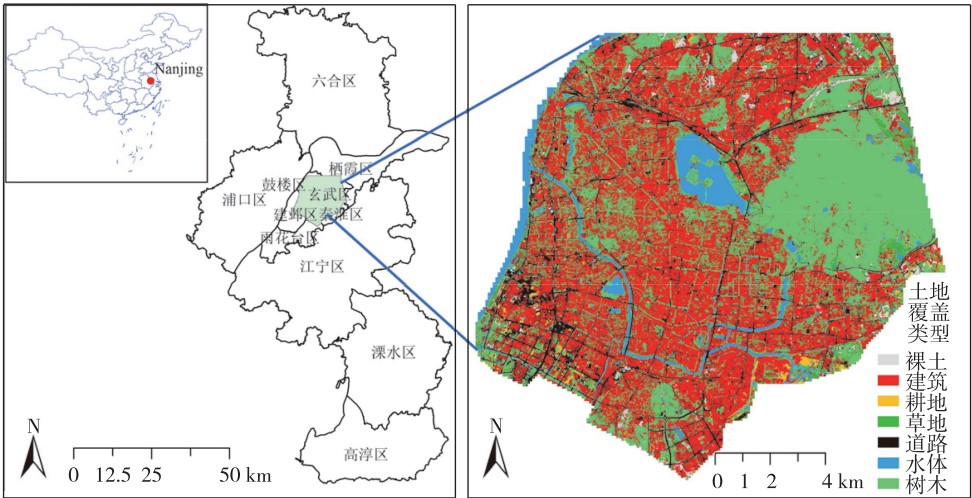


图 1 研究区地理位置及土地覆盖分类图

Fig. 1 Geographical location and land cover classification map of the study area

程、强度和多重回波等信息.机载 LiDAR 数据主要用于两方面:一方面将其与 IKONOS-2 数据融合提取城区土地覆盖信息;另一方面提供地物的三维信息.数字高程模型(Digital Elevation Model,DEM)由地面点数据计算得到,通过机载 LiDAR 第一次回波高程获取数字表面模型(Digital Surface Model,DSM).数字表面模型和数字高程模型的差值得到正规化数字表面模型(normalized Digital Surface Model,nDSM),表示地物的绝对高度值,空间分辨率为 3.2 m.

IKONOS-2 遥感影像获取时间为 2009 年 6 月 18 日,多光谱波段为 3.2 m,分别为蓝色波段(445~516 nm)、绿色波段(506~595 nm)、红色波段(632~698 nm)和近红外波段(757~853 nm).IKONOS-2 数据主要用于与机载 LiDAR 数据融合提取研究区土地覆盖分类图.此外,本文获取了 2009 年 4 月 10 日的 Landsat-5 TM 遥感影像用于计算研究区地表反照率分布.由于机载 LiDAR、ASTER 地表温度、IKONOS-2 和 Landsat-5 TM 数据来自不同的传感器,为了保持多源遥感数据地理坐标的一致性,对以上数据进行了空间配准,校正误差在 0.5 个像元内.

2.2 研究方法

2.2.1 土地覆盖分类

鉴于多源遥感数据融合能够实现优势互补,本文基于面向对象的分类方法,实现了基于机载 LiDAR 和 IKONOS-2 数据融合的土地覆盖分类,主要步骤如下:

1) 基于 IKONOS-2 多光谱波段以及机载 LiDAR 提取的 DEM、DSM、nDSM 和强度信息,通过多尺度分割方法获取地理对象.

2) 通过挖掘 IKONOS-2 和机载 LiDAR 对地物分类有价值的信息获取地理对象的特征,包括基于 IKONOS-2 提取的光谱特征、空间特征以及机载 LiDAR 获取的高程、强度和回波等特征.

3) 利用随机森林分类器实现土地覆盖分类.土地覆盖分类总体精度为 99.35%,单一类别精度在 98.85%到 99.92%之间,说明该土地覆盖分类结果可以用于局地气候区分类.

2.2.2 统计分析

本文主要采用单因素方差分析和多重比较分析方法分别对不同局地气候区类型与白天和夜间地表温度进行了差异显著性分析.首先,利用单因素方差探讨不同局地气候区类型昼夜地表温度之间是否具有显著性差异;然后,考虑到不同局地气候区类型样

本数量之间的差异性,利用多重比较检验方法 Tamhane's T2 进一步探讨不同局地气候区类型两两之间昼夜地表温度差异显著性情况.

3 基于多源数据的局地气候区分类

3.1 基于建筑类型区的局地气候区分类

鉴于本文收集了研究区较为完备的基础数据,能准确计算用于局地气候区分类所需的指标参数,因此,本文以 90 m 大小栅格为分类单元(与 ASTER 地表温度空间分辨率相同),采取 GIS 方法与遥感方法相结合的手段进行局地气候区分类.根据局地气候分类体系,首先分别进行基于建筑类型区的局地气候区分类,对未分类的单元再根据土地覆盖分类图赋予类别,最终实现研究区精确的局地气候区分类(图 2).

基于建筑类型区的局地气候区分类方法主要基于 Stewart 等^[10]提出的地表覆盖、地表结构和地表反照率等参数通过指标匹配方法进行分类.本文主要采用包括建筑高度、天空开阔度、地表反照率、建筑密度、不透水面面积和透水面积等 6 个参数,其定义及其计算公式如表 2 所示.其中,建筑高度主要通过影响地表粗糙度和改变风速等对城市地表热环境产生影响^[17].天空开阔度表征了地表接收太阳辐射量总量的能力,在城市地表能量平衡中具有重要的意义^[18].由于 Stewart 等^[10]主要基于欧美城市确定各局地气候区参数的范围,因此本文根据研究区各参数的取值对不同建筑类型局地气候区范围进行了微调,表 3 显示了具体的参数范围.最后,通过将各分类单元内的参数与表 3 中的各参数进行匹配,确定最终的建筑类型.

3.2 基于土地覆盖类型区的局地气候区分类

基于建筑类型的局地气候区分类中未被分类的像元,可以通过土地覆盖分类图进一步甄别其局地气候区类型.本文所用的城市土地覆盖信息为基于机载 LiDAR 和 IKONOS-2 数据融合的土地覆盖分类图.为了将 3.2 m 的土地覆盖分类结果赋值到 90 m 的局地气候区分类单元内,将每一个局地气候区分类单元内所占面积比例最大的土地覆盖类型赋予分类单元.根据前人经验,将土地覆盖类型进行再分类.本文将茂密森林 LCZ A 和稀疏树林 LCZ B 合并为一类,并将树林赋予此类别,低矮植被 LCZ D 包括草地和耕地,裸岩/铺砌面 LCZ E 包括道路,裸土/沙土 LCZ F 包括裸土^[12].

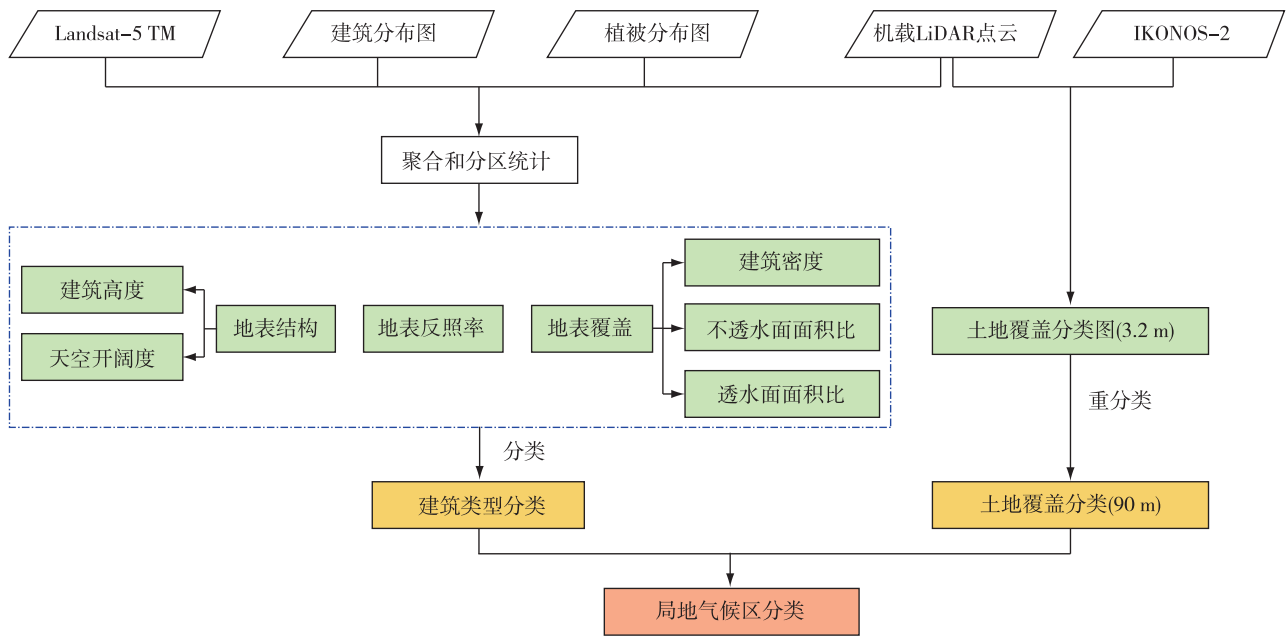


图2 局地气候区分类技术路线

Fig.2 Technology roadmap of LCZ classification

表2 城市形态参数的定义及其计算公式

Table 2 Definition and calculation formula of urban form parameters

参数	定义	所需数据	公式
建筑密度	统计单元内建筑面积百分比	建筑分布图	$f_{BS_i} = \frac{\sum_{j=1}^k l_{B_j}}{n}$
建筑高度	统计单元内平均建筑高度	建筑分布图; nDSM	$h_{B_i} = \frac{\sum_{j=1}^k h_{B_j}}{k}$
透水面积比	统计单元内透水面积百分比, 包括植被、裸土和水体等	土地覆盖分类图; 建筑和植被分布图	$f_{PS_i} = l_{B_i} + l_{C_i} + l_{W_i} + l_{V_i}$
不透水面积比	统计单元内不透水地表面积百分比	土地覆盖分类图; 建筑和植被分布图	$f_{IS_i} = 1 - f_{BS_i} - f_{PS_i}$
天空开阔度	表示城市空间的开阔程度	DSM	$f_{SV_i} = \frac{s_{sky}}{s_{sky} + s_{Build}}$
地表反照率	表征地表能量平衡的重要参数	Landsat-5 TM	$f_{SA} = 0.356\alpha_1 + 0.13\alpha_3 + 0.373\alpha_4 + 0.085\alpha_5 + 0.072\alpha_7 - 0.0018$

注:统计单元为 90 m×90 m 的栅格. l_{B_i} 为统计单元 i 内土地覆盖类型为建筑的像元; h_{B_i} 为统计单元 i 内像元 j 对应的建筑高度; f_{BS_i} , f_{PS_i} , f_{IS_i} , l_{B_i} , l_{C_i} , l_{W_i} 和 l_{V_i} 分别为统计单元 i 内建筑密度, 以及透水面积、不透水面积、裸土、耕地、水体和植被面积比; s_{sky} 和 s_{Build} 分别表示天空面积和被建筑遮挡的天空面积, 无量纲; f_{SA} 为地表短波反照率, 无量纲; $\alpha_1, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_7$ 分别表示 Landsat-5 TM 蓝色、红色、近红外、短波红外 (1.55~1.75 μm) 和短波红外 (2.08~2.35 μm) 对应的窄波段反照率.

表3 不同建筑类型区分类各参数指标的取值范围, 括号中参数取值范围为原始取值

Table 3 The value range of each parameter index for built-up type classification, and the parameter value range in brackets is the original value

局地气候区	h_B/m	$f_{BS_i}/\%$	$f_{IS_i}/\%$	$f_{PS_i}/\%$	f_{SV}	f_{SA}
LCZ 1	>25	40~60	20~60 (40~60)	<30 (<10)	0.2~0.7 (0.2~0.4)	0.1~0.2
LCZ 2	10~25	40~70	10~50 (30~50)	<30 (<20)	0.3~0.7	0.1~0.2
LCZ 3	3~10	40~70	20~50	<30	0.4~0.8 (0.2~0.6)	0.1~0.2
LCZ 4	>25	20~40	30~50 (30~40)	20~40 (30~40)	0.4~0.7 (0.5~0.7)	0.12~0.25
LCZ 5	10~25	20~40	20~60 (30~50)	20~50 (20~40)	0.4~0.8 (0.5~0.8)	0.12~0.25
LCZ 6	3~10	20~40	20~50	30~60	0.6~0.9	0.12~0.25
LCZ 7	2~4	60~90	<20	<30	0.2~0.5	0.15~0.35
LCZ 8	3~10	30~50	40~50	<20	>0.7	0.15~0.25
LCZ 9	3~10	10~20 (10~30)	<20	60~80	>0.8	0.12~0.25

基于获取的建筑类型和土地覆盖类型的局地气候区分类图,对两者进行叠加最终得到研究区局地气候区分类图(图3).为了准确反映局地气候区类型与地表温度之间的相互关系,在探讨基于局地气候区的城市地表热环境中,对于未赋予局地气候区类别的分类单元未予考虑.

4 局地气候区类型与昼夜地表温度之间的响应关系

4.1 局地气候区类型与白天地表温度之间的响应关系

表4显示了不同局地气候区类型白天地表温度的取值,水体LCZ G的白天平均地表温度最低,为25.20℃,大型低层建筑区LCZ 8白天平均地表温度均值最高为33.05℃,树林LCZ AB平均白天地表温度低于低矮植被LCZ D.对于紧凑建筑类型区(LCZ 1~3)而言,随着建筑高度的降低,白天地表温度中值呈现上升的趋势(图4a),这主要是建筑高度越高产生的阴影越多,从而使阴影地区的地表温度降低造成的^[19].开敞建筑类型区(LCZ 4~6)的白天地表温度中值亦呈现出了相似的变化趋势.此外,从不同局地气候区类型白天地表温度分布的离散情况可以

看出,相比土地覆盖类型区,建筑类型区白天地表温度取值空间分布更加集中.对于建筑类型区而言,白天地表温度异常值较多的局地气候区类型主要为紧凑多层建筑区LCZ 2和开敞多层建筑区LCZ 5.LCZ 2的白天地表温度异常值主要集中于高值区域,而LCZ 5的地表温度异常值在低值和高值区域均有分布.

为了更加直观地显示不同局地气候区类型白天地表温度之间差异,本文比较分析了各局地气候区类型平均白天地表温度与研究区平均白天地表温度之间的相对差异.从图4b可以看出,建筑类型区中仅开敞高层建筑区LCZ 4平均白天地表温度低于中心城区平均地表温度,差值为0.23℃.土地覆盖类型区树林LCZ AB和水体G平均白天地表温度低于中心城区平均地表温度,且差异较大,分别为3.48℃和5.65℃.紧凑低层建筑区LCZ 3和大型低层建筑区LCZ 8平均白天地表温度分别显著高于中心城区平均地表温度1.87℃和2.20℃,主要归因于这两类局地气候区增加了地表对太阳辐射的吸收,并且降低了风速.树林LCZ AB平均白天地表温度低于中心城区平均水平,而低矮植被LCZ D则比中心城区平均白天地表温度高.

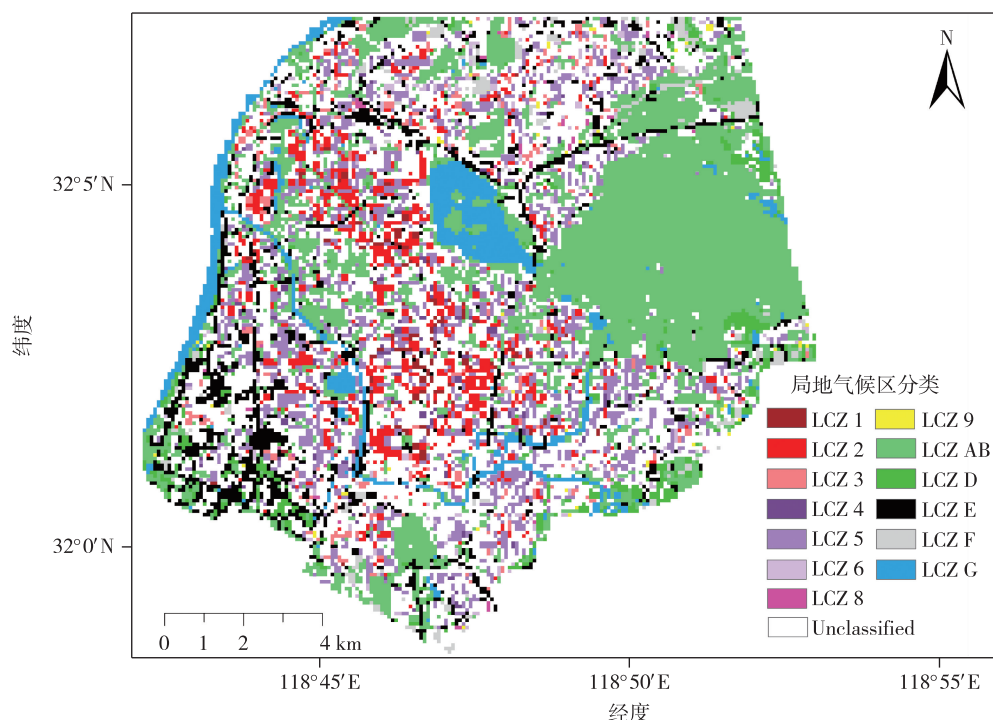


图3 局部气候区分类

Fig. 3 Classification map of LCZs

表 4 不同局地气候区类型的昼夜地表温度统计

Table 4 Statistics of day and night surface temperatures in different LCZs

类别	白天地表温度/℃			夜间地表温度/℃		
	范围	均值	标准差	范围	均值	标准差
LCZ 1	27.65~38.55	31.19	1.43	7.95~12.95	10.61	0.86
LCZ 2	27.75~39.25	31.66	1.33	4.85~12.95	9.79	0.97
LCZ 3	26.95~37.95	32.72	1.84	3.45~12.45	8.61	1.34
LCZ 4	27.55~34.05	30.62	1.23	8.05~12.15	10.25	0.93
LCZ 5	24.55~40.15	31.25	1.40	3.95~15.05	9.60	1.09
LCZ 6	26.45~39.45	32.30	1.90	4.15~12.75	8.36	1.32
LCZ 8	28.25~37.25	33.05	2.12	5.35~10.85	7.75	1.20
LCZ 9	24.05~37.15	31.63	2.08	5.25~12.95	8.23	1.35
LCZ AB	21.85~40.15	27.37	2.88	2.15~15.15	8.22	1.64
LCZ D	23.05~40.25	31.42	2.14	2.35~13.35	8.51	1.89
LCZ E	24.65~40.25	31.77	1.89	2.35~13.25	9.26	1.56
LCZ F	24.65~37.15	30.85	1.97	2.55~13.05	7.52	1.39
LCZ G	19.45~36.75	25.20	3.22	4.85~15.55	12.38	2.01

4.2 局地气候区类型与夜间地表温度之间的响应关系

从表 4 可以看出,对于夜间地表温度而言,水体 LCZ G 的平均地表温度最高,为 12.38℃,而裸土/沙土 LCZ F 则呈现了最低的夜间平均地表温度.与白天地表温度相同,低矮植被 LCZ D 夜间平均地表温度要高于树林 LCZ AB.与白天地表温度相反,对于紧凑建筑类型区 LCZ 1~3 和开敞建筑类型区 LCZ 4~6,其地表温度中值随着建筑高度的降低而降低(图 5a).这主要是建筑高度较高的区域容易形成街道峡谷,不利于夜间地表温度以长波辐射形式向外散热造成的^[20].紧凑多层建筑区 LCZ 2 和开敞多层建筑区的异常值主要集中于低温地区,而树林 LCZ AB 的异常值主要集中于高温地区.

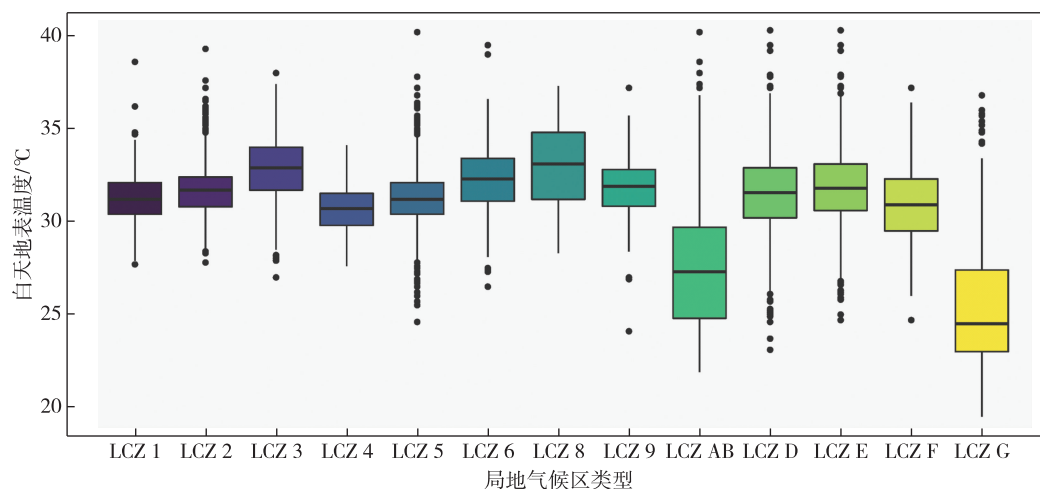
在建筑类型区中,高于中心城区全域平均夜间地表温度的建筑类型区包括:紧凑高层建筑区 LCZ 1、紧凑多层建筑区 LCZ 2、开敞高层建筑区 LCZ 4 和开敞多层建筑区 LCZ 5.土地覆盖类型区中仅裸岩/铺砌面 LCZ E 和 水体 LCZ G 高于全域平均夜间地表温度.其中,水体 LCZ G 与全域平均夜间地表温度的差异最大,为 3.22℃.裸土/沙土 LCZ F 则远低于中心城区平均夜间地表温度,差值为-1.64℃.树林 LCZ AB 和低矮植被 LCZ D 夜间平均地表温度均低于中心城区平均水平.

4.3 不同局地气候区类型的昼夜地表温度多重比较分析

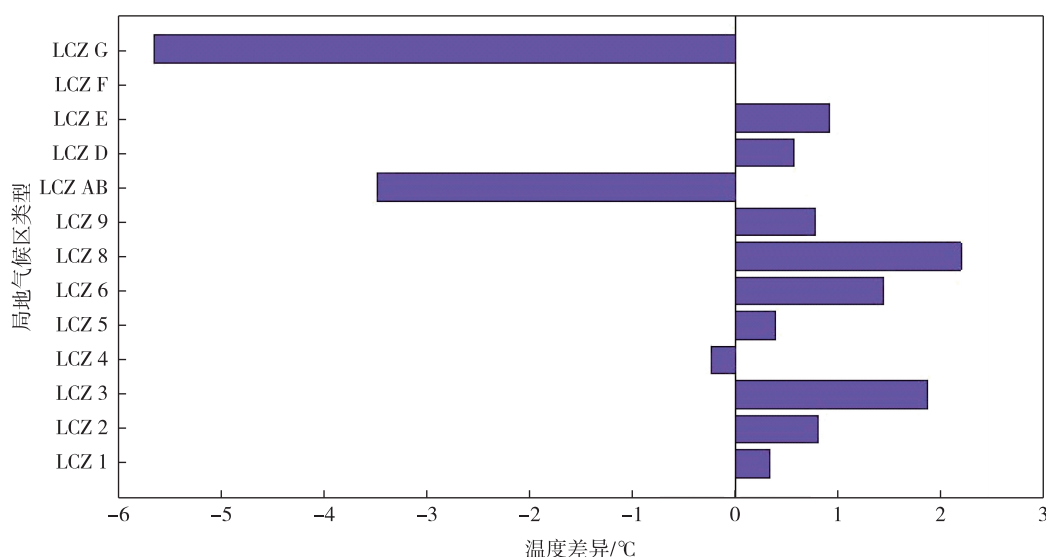
通过探究各局地气候区类型昼夜地表温度的温

度和离散分布可以看出,无论白天还是夜间地表温度,不同局地气候区类型之间表现出了较大的差异.此外,本文采用单因素方法揭示局地气候区类型昼夜地表温度之间存在显著性差异.通过采用 Tamhane's T2 方法进一步揭示了不同局地气候区类型地表温度昼夜差异的情况(图 6).从图 6 中可以看出,夜间地表温度均值在不同局地气候区类型两两之间差异显著的对数高于白天.局地气候区类型两两之间呈显著性差异的对数占全部对数的比例在白天和夜间分别为 79.5% 和 85.8%.从白天地表温度均值在局地气候区两两之间差异显著性检验结果发现,对于土地覆盖类型而言,树林 LCZ AB 和 水体 LCZ G 与其他所有局地气候区类型均呈显著差异.对于建筑类型区而言,没有一个建筑类型区域与其他局地气候区类型呈现显著差异.对于夜间地表温度而言,紧凑高层建筑区 LCZ 1、紧凑多层建筑区 LCZ 2、开敞高层建筑区 LCZ 4、开敞多层建筑区 LCZ 5 均与其他局地气候区呈显著差异.低矮植被 LCZ D 和 水体 LCZ G 表现出了相同的规律.

图 7 统计了对于每一个局地气候区类型,与其白天和夜间地表温度均值具有显著性差异的局地气候区类型的数量.从图 7 中可以看出,不同局地气候区类型地表温度均值呈显著性差异的对数具有明显的昼夜差异.相对于其他建筑类型区而言,开敞高层建筑区在白天和夜间与其具有显著性差异的局地气候区数目最大.紧凑低层建筑区 LCZ 3、开敞低层建筑区 LCZ 6、大型低层建筑区 LCZ 8 在夜间与其地表



a. 不同局部气候区类型的白天地表温度分布



b. 各局地气候区类型平均白天地表温度与研究区平均地表温度的差异

图4 局地气候区类型与白天地表温度的相互关系

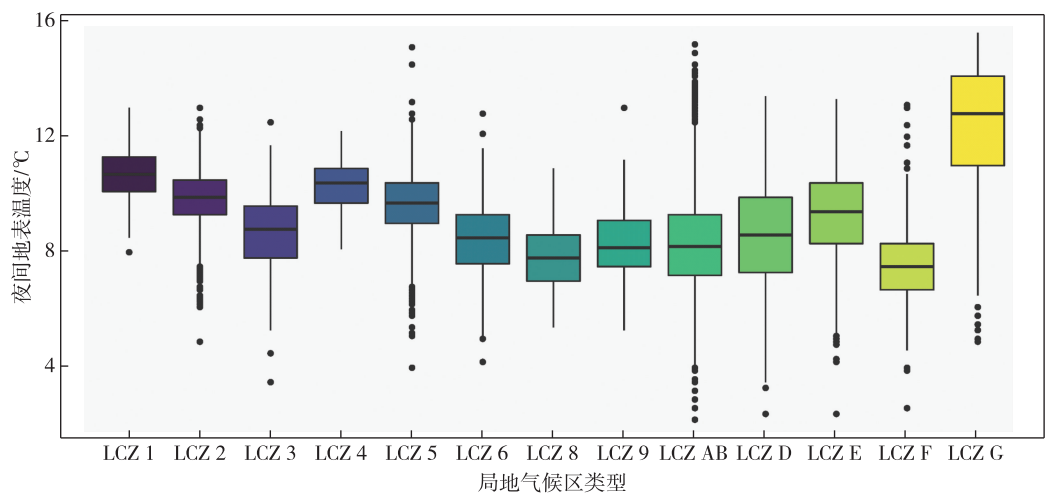
Fig. 4 Relationship between LCZ and daytime surface temperature

温度均值显著差异的局地气候区数目高于白天,而其他建筑类型区则相反.对于土地覆盖类型区而言,水体 LCZ G 在白天和黑夜均与其他局地气候区呈显著性差异.树林 LCZ AB 在白天与其地表温度均值具有显著性差异的局地气候区数目明显高于夜间,而裸岩/铺砌面 LCZ E 和裸土/沙土 LCZ F 呈现了相反的趋势.

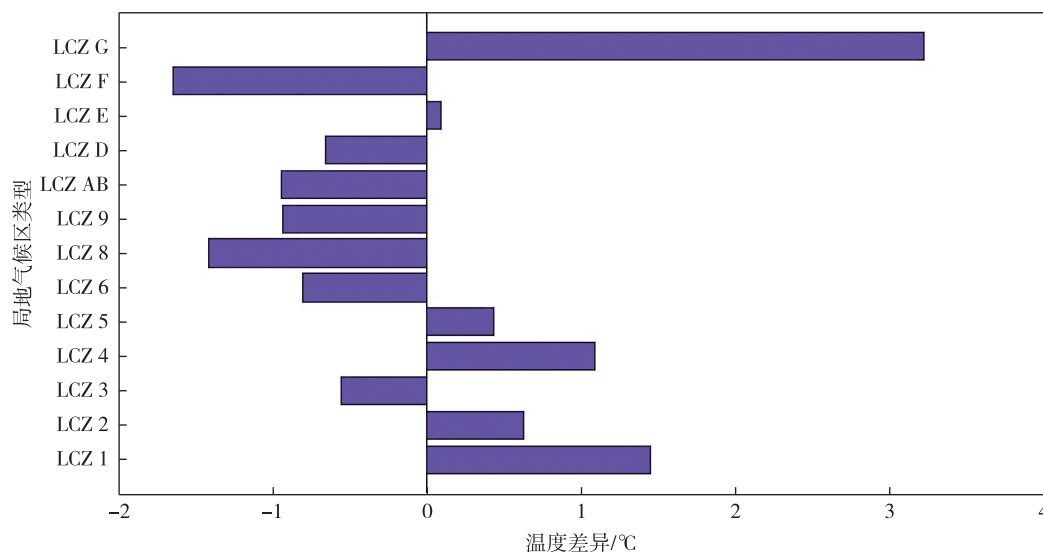
5 结论

局地气候区分类能够促使城市地表热环境研究从城市尺度推进到更细的尺度,从而更加准确反映地表覆盖、地表结构、地表材质和人类活动等的多样性及其所代表的气象特征的多样性.本文在综合多

源遥感数据基础上,实现了精确的局地气候区分类,并深入剖析了不同局地气候区类型与昼夜地表温度之间的响应关系.研究结果发现,本文共识别出 8 种建筑类型区和 5 种土地覆盖类型区.通过探讨不同局地气候区类型白天和夜间的地表热属性发现,局地气候区类型地表温度存在显著的昼夜差异,在白天,大型低层建筑区 LCZ 8 地表温度最高,水体 LCZ G 地表温度最低.在夜间,裸土/沙土 LCZ F 为最冷的局地气候区,而水体 LCZ G 呈现了最高的地表温度.随着建筑高度的升高,紧凑建筑类型区和开敞建筑类型区白天地表温度呈现下降的趋势,而夜间则表现出相反的规律.局地气候区类型的热属性在夜间(85.8%)比白天(79.5%)更容易区分.不论



a. 不同局部气候区类型的夜间地表温度分布



b. 各局地气候区类型平均夜间地表温度与研究区平均地表温度的差异

图5 局地气候区类型与夜间地表温度的相互关系

Fig. 5 Relationship between LCZ and night surface temperature

白天与夜间,开敞高层建筑区 LCZ 4 和 水体 LCZ G 分别为建筑类型区和土地覆盖类型区中与其他局地气候区更易区分的局地气候区类型.不论紧凑建筑类型区和开敞建筑类型区,多层和高层建筑区在夜间比白天与其他局地气候区类型的地表温度均值更易区分.本研究中对白天和黑夜仅分别采用 1 d 的地表温度进行昼夜地表热环境研究,结果会存在部分不确定性,未来将采用多个时期平均的白天和夜间地表温度数据探讨局地气候区与昼夜地表热环境之间的耦合关系.

参考文献

References

- [1] 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
- [2] YAO Yuan, CHEN Xi, QIAN Jing. Research progress on the thermal environment of the urban surfaces [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 1134-1147
- [3] 杨英宝,苏伟忠,江南,等.南京市热岛效应变化时空特征及其与土地利用变化的关系[J].地理研究,2007,26(5):877-886
- [4] YANG Yingbao, SU Weizhong, JIANG Nan, et al. Spatial-temporal characteristics of urban heat island effect change of Nanjing city and its relation with land use change [J]. Geographical Research, 2007, 26(5): 877-886
- [5] Oke T R. City size and the urban heat island [J]. Atmospheric Environment, 1973, 7(8): 769-779
- [6] Zhao L, Lee X H, Smith R B, et al. Strong contributions of local background climate to urban heat islands [J]. Nature, 2014, 511(7508): 216-219
- [7] 徐涵秋.基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析

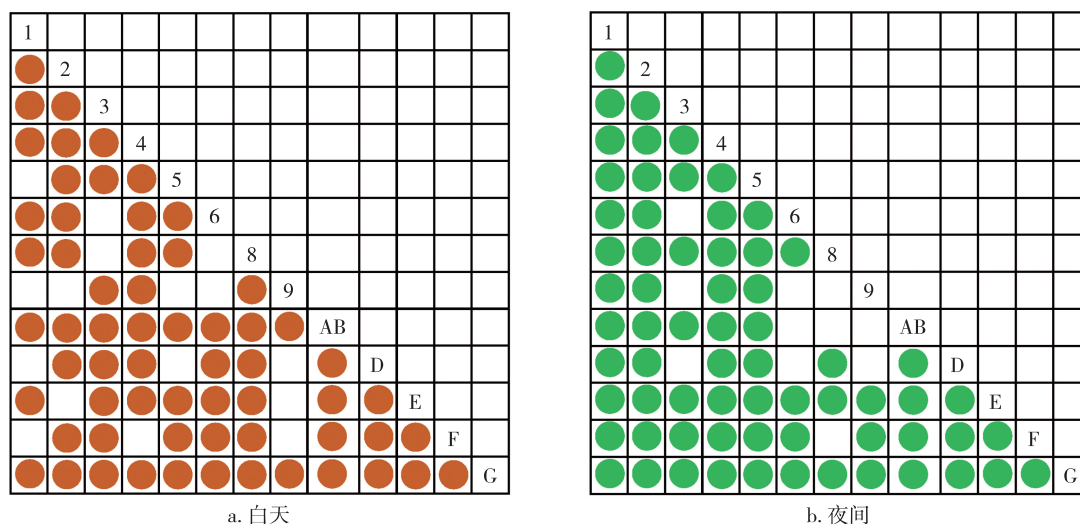


图6 不同局地气候区类型昼夜地表温度多重比较分析结果,其中圆圈表示两局地气候区类型之间地表温度具有显著性差异

Fig. 6 Multiple comparison and analysis results of day and night surface temperatures of different LCZs, in which circles indicate significant difference in surface temperature between two LCZs

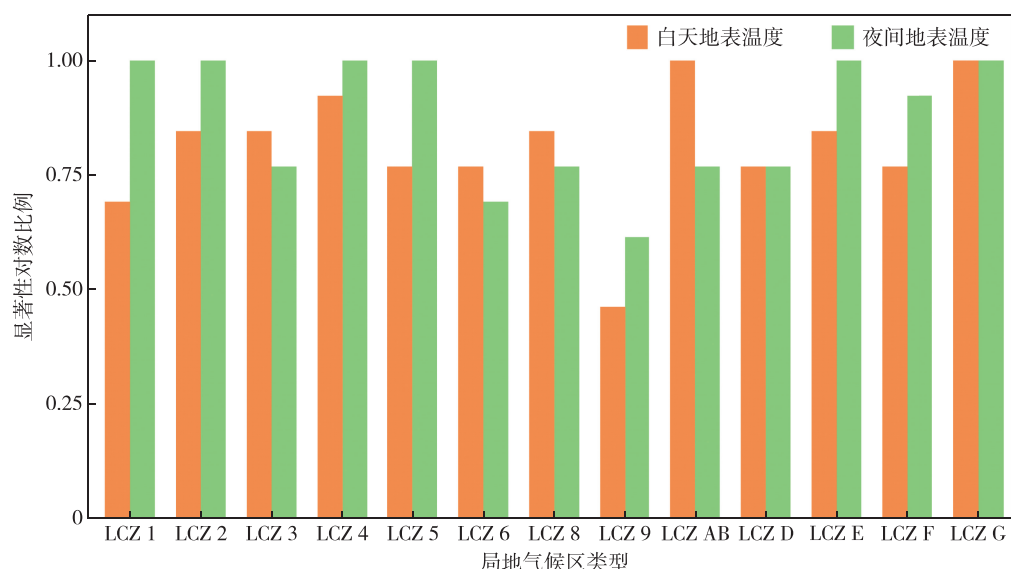


图7 不同局地气候区类型昼夜地表温度均值具有显著性差异的对数

Fig. 7 Logarithm of significant difference between day and night surface temperatures in different LCZs

[J].生态学报,2011,31(14):3890-3901
XU Hanqiu. Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 3890-3901
[6] 张旸,胡德勇,陈姗姗.北京城区不透水地表盖度变化及对地表温度的影响[J].地球信息科学学报,2017,19(11):1504-1513
ZHANG Yang, HU Deyong, CHEN Shanshan. Influence of impervious surface change on land surface temperature in Beijing [J]. Journal of Geo-Information Science, 2017, 19(11): 1504-1513
[7] 刘勇洪,房小怡,张硕,等.京津冀城市群热岛定量评估[J].生态学报,2017,37(17):5818-5835

LIU Yonghong, FANG Xiaoyi, ZHANG Shuo, et al. Research on quantitative evaluations of heat islands for the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(17): 5818-5835
[8] 彭保发,石忆邵,王贺封,等.城市热岛效应的影响机理及其作用规律:以上海市为例[J].地理学报,2013,68(11):1461-1471
PENG Baofa, SHI Yishao, WANG Hefeng, et al. The impacting mechanism and laws of function of urban heat islands effect: a case study of Shanghai [J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(11): 1461-1471
[9] Schwarz N, Lautenbach S, Seppelt R. Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European

- cities with MODIS land surface temperatures[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(12): 3175-3186
- [10] Stewart I D, Oke T R. Local climate zones for urban temperature studies[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2012, 93(12): 1879-1900
- [11] Quan S J, Bansal P. A systematic review of GIS-based local climate zone mapping studies[J]. Building and Environment, 2021, 196: 107791
- [12] 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
- [13] 林中立, 徐涵秋. 基于 LCZ 的城市热岛强度研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(5): 713-722
LIN Zhongli, XU Hanqiu. A study of urban heat island intensity based on "local climate zones" [J]. Journal of Geo-Information Science, 2017, 19(5): 713-722
- [14] 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
- [15] 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
- [16] 江斯达, 占文凤, 杨俊, 等. 局地气候分区框架下城市热岛时空分异特征研究进展[J]. 地理学报, 2020, 75(9): 1860-1878
- JIANG Sida, ZHAN Wenfeng, YANG Jun, et al. Urban heat island studies based on local climate zones: a systematic overview[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(9): 1860-1878
- [17] 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
- [18] Scarano M, Mancini F. Assessing the relationship between sky view factor and land surface temperature to the spatial resolution [J]. International Journal of Remote Sensing, 2017, 38(23): 6910-6929
- [19] 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
- [20] Sun F Y, Liu M, Wang Y C, et al. The effects of 3D architectural patterns on the urban surface temperature at a neighborhood scale: relative contributions and marginal effects [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 258: 120706

Coupling between local climate zones and diurnal urban heat island effect

GAO Peng¹ LIU Guixin¹ CHEN Jike² XU Zhigang^{1,3}

¹ School of Resource Engineering, Longyan University, Longyan 364012

² School of Remote Sensing & Geomatics Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

³ Key Laboratory for Satellite Mapping Technology and Applications of State Administration of Surveying, Mapping, and Geoinformation of China, Nanjing University, Nanjing 210023

Abstract Given that there is very limited knowledge about how urban thermal environment varies diurnally, we first classified Local Climate Zones (LCZs) based on multi-source remote sensing data such as airborne LiDAR and IKONOS-2, and then investigated the responses of LCZs to diurnal Land Surface Temperature (LST). The results suggested that there was significant diurnal variability in LST among LCZs. During the daytime, the warmest and coolest zones were large low-rise buildings (LCZ 8) and water (LCZ G), respectively. At night, bare soil or sand (LCZ F) obtained the lowest LST, while the warmest zone was water (LCZ G). With the increasing of building height, daytime LST related to compact and open built-up types tended to decrease, and an opposite trend was observed at night. LCZs were differentiated better at night than during daytime. Moreover, regardless of day and night, open high-rise built-type (LCZ 4) and LCZ G were the most differentiated zones for built-up and land cover types, respectively.

Key words local climate zones (LCZs); urban heat island (UHI); LiDAR; coupling