

基于局部气候分区的城市土地覆盖分类制图

王雷¹, 王延亮^{1*}, 梅晓丹¹, 李德堡²

(1. 黑龙江工程学院测绘工程学院, 哈尔滨 150050;

2. 黑龙江省本原国土资源勘测规划技术服务中心有限公司, 哈尔滨 150090)

摘要:研究目的:局部气候分区(Local Climate Zone, LCZ)最初被提出,其目的在于为城市热岛研究贡献一种跨学科的分类方法。对不同的LCZ类别进行划分与制图,能够深化对城市结构和土地利用状况的理解,进而为城市规划与管理提供科学依据。此项研究旨在准确识别并区分不同的局部气候区域,以验证该分类方法的可用性。研究方法:以我国东北地区黑龙江省哈尔滨市作为研究区域,对Landsat 8数据进行融合和重采样等预处理,基于LCZ类别使用机器学习的方法进行像元分类制图。研究结果:对哈尔滨全市域进行分类制图,分类图的总体精度达到81.11%,其中LCZ-3、LCZ-4、LCZ-5、LCZ-6和LCZ-8等类别的精度分别为80.00%、80.00%、61.54%、66.67%和78.26%。研究结论:使用Landsat 8低分辨率遥感数据利用随机森林的方法对城市进行LCZ制图分类精度较高,可用于城市土地覆盖的动态监测。

关键词:城市形态;土地利用;局部气候分区;随机森林

中图分类号: P237

文献标志码: A

文章编号: 1672-2736(2024)05-0043-8

0 引言

土地利用与土地覆盖变化情况是人类社会、经济社会发展的直接表现,也是人类对自然资源开发利用和生态环境保护的重要依据^[1]。随着人口数量增加,人类对土地的使用范围不断扩大,资源开发利用更广泛^[2]。农业生产和工业建设占用大量土地,使耕地保护面临更高要求,而人口和社会经济活动又需更多土地,导致出现资源过度开发、环境污染、土地退化、物种濒临灭绝、物资匮乏等问题^[3]。在目前缓解人地矛盾的过程中,通过对土地覆盖信息的分析,研究不同类型土地变化的时空特征,探究土地变化的原因并预测其未来发展趋势是实现土地合理化利用的重要方式和途径。土地利用与土地覆盖制图研究引起政府和学者的高度重视,为了节省时间和人力成本提升遥感图像分类准确度与效率,出现了基于遥感的地表覆盖分类方法^[4,5]。

Stewart 和 Oke (2012)提出了局部气候带(LCZ)分类方案,是一种针对城市形态和功能特征提供标准化框架的分类体系,为城市热岛研究提供了研究框架^[6]。LCZ方案不仅能对城市热岛进行研究,还可以用来描述城市区域的内部结构,为基础设施规划和人口评估等各种应用提供重要信息。LCZ是由地表覆盖、城市结构、物质和人类活动共同定义的,可视为具有多种地表覆盖类型和多种地物的复杂场景。谢璇等人结合Landsat和Sentinel多光谱光学影像,依据局地气候分区土地分类体系,运用随机森林分类法对长三角地区2008年和2020年的土地覆盖类型进行了分类^[7]。樊新成等人以局地气候分类体系作为分类标准,运用高分二号光学影像(GF-2)与合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)影像,构建土地利用类型样本库,使用随机森林和神经网络分类器获取了2020年兰州市城区的精细化土地利用类型图^[8]。LCZ提供了一种新

基金项目:黑龙江省自然科学基金项目“基于通量-遥感-模型耦合的东北森林碳汇估算与干旱响应研究”(LH2022C076)。

颖的分类方案来进行城市土地利用研究,根据城市结构、土地覆盖和建筑材料将城市景观划分为不同的类别。LCZ分类体系标准客观适用于全球不同的城市,使不同城市的研究结果之间具有了可比性,有助于理解不同时间尺度的物理特性。现有发展中一个重要分支是使用公开可用的Landsat数据和软件基于社区的全球LCZ制图^[9,10]。本文基于Landsat 8数据以局部气候分区体系为理论基础,通过构建土地利用类型样本库,借助随机森林分类器进行了2022年哈尔滨市的精细化土地利用分类制图。研究成果可为复杂下垫面城市土地利用精细化分类提供方法支持和为城市热岛效应研究提供基础数据。

1 研究区及数据处理

1.1 研究区

哈尔滨市位于中国东北部、黑龙江省西南部,北纬44°04'至46°40'、东经125°42'至130°10'之间。西北地区平坦,东南地区多山地丘陵,一条松花江贯穿其中,属于中温带大陆性季风气候,季节性分明,是我国东北部地区经济、政治、文化中心。全市面积5.31万平方千米,管辖9个市辖区、7个县,代管2个县级市,是国家重要的制造业基地。

1.2 数据处理

本文使用的图像投影坐标系统是UTM-ZONE-50N,大地基准为WGS-1984。卫星数据为2022年的Landsat 8影像。Landsat 8影像包含11个多光谱波段,对应15-100m的空间分辨。数据来源于国家地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>),为了降低云层遮挡带来的影响,选择含云量为5%的遥感影像,若5%的含云量的影像数量不足,不能达到一年中的六景数据全覆盖,对于缺失的影像做含云量提高到10%进行选择处理。下载的遥感影像使用Envi5.3软件进行辐射定标、大气校正、图像镶嵌和重采样等操作。

1.3 样本数据选择

LCZ分类方案共有17个LCZ类如表1所示:10个建筑类型类(LCZ-1~LCZ-10)和7个土地覆盖类(LCZ-A~LCZ-G)。样本是LCZ分类的主要依据,利用随机森林方法进行分时,依据样本的特征构成决策树。样本的准确度决定了LCZ分类的效果,高质量的样本可以提供准确的样本特征。本研究使用91卫星助手在Google地图上选定研究区位置范围,根据地表类别特征分别在地图上寻找相应区域,建立LCZ1-10、LCZA-G类别的样本数据。每一个样本的范围最低保证100m×100m的区域,样本范围最合适的大小是300m×300m左右,每一个类别的数量大约20-25个。为保证在样本空间分布上的独立性,选择的样本在影像上分布均匀。本文研究区的LCZ-1(密集高层建筑区)和LCZ-7(轻质低层建筑)分布基本没有,舍弃这两个类别的样本。表2为在Google地图上选择的样本示例。

2 方法

本研究首先下载包含研究区的Landsat 8遥感影像,并对遥感影像进行预处理。通过目视解译使用Google Earth中选取研究的区域边界制作分类样本。通过SAGA GIS软件的随机森林分类法对训练样本进行训练分类,得到所选择研究区的局部气候分区分类图并进行精度验证。

2.1 随机森林方法

随机森林(Random forest, RF)是一种基于决策树的集成方法,主要通过构建众多小型回归树进行预测。因其分类准确性高,在遥感领域广泛应用^[11,12]。其训练集从独立同分布的随机向量(x,y)中抽取,x为输入向量,y为输出向量。随机森林回归的预测输出是对k棵决策树的结果取平均所得。该模型通过随机选择样本和特征构建多个不相关的决策树,以并行方式得出预测结果。随机森林算法建立的多个决策树模型相互独立,每个模型在数据集的不同子集上构建,

表 1 局部气候分区中的建成环境和自然环境基本类型

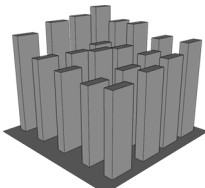
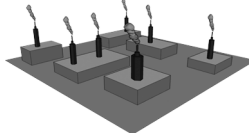
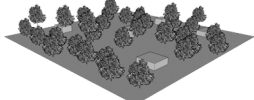
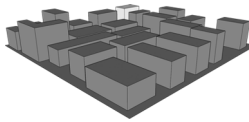
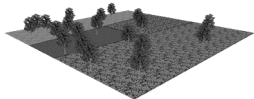
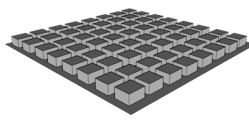

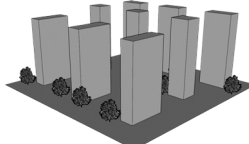
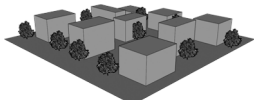
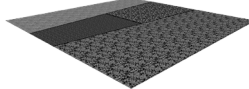
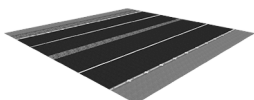
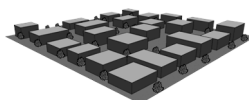
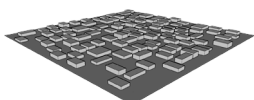
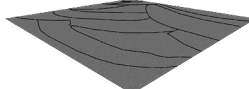
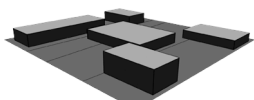
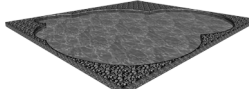
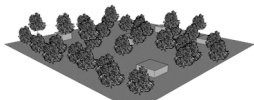
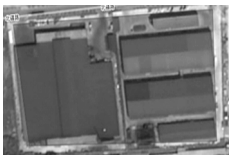
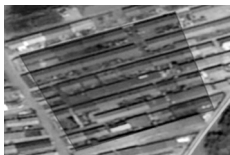
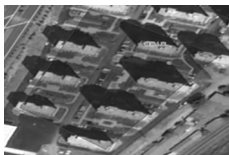

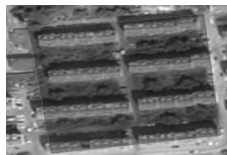

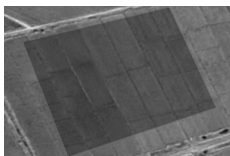

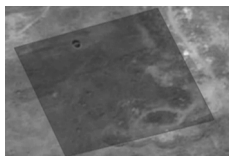
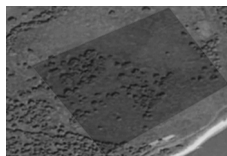
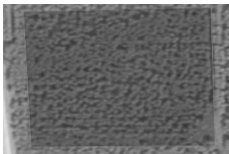
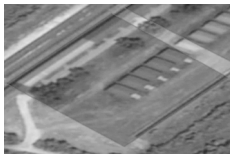
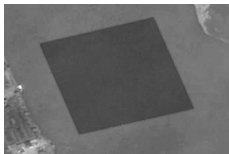
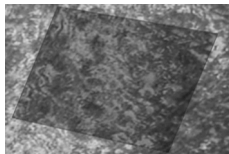
LCZ 类型	简图	LCZ 类型	简图
LCZ-1: 紧凑高层建筑区建筑高度在 10 层以上, 建筑材料为混凝土、钢或玻璃		LCZ-10: 重工业区 低层或中低层厂房, 少树木, 地表覆盖多为硬土, 建筑材料为钢或混凝土	
LCZ-2: 紧凑中层建筑区建筑高度在 3-9 层, 建筑材料为砖石或混凝土		LCZ-A: 稠密树木区高密度林地, 如自然森林、苗圃或城市公园	
LCZ-3: 紧凑低层建筑区建筑高度在 1-3 层, 建筑材料为砖石或混凝土		LCZ-B: 稀疏树木区低密度林地, 如自然森林、苗圃或城市公园	
LCZ-4: 开敞高层建筑区建筑高度在 10 层以上, 建筑材料为混凝土、钢或玻璃		LCZ-C: 灌木丛区地表覆盖为裸地或沙土的低密度灌木丛或农田	
LCZ-5: 开敞中层建筑区建筑高度在 3-9 层, 建筑材料为混凝土、钢或砖石		LCZ-D: 低矮植被区少树木, 如草地、农田或城市公园	
LCZ-6: 开敞低层建筑区建筑高度在 1-3 层, 建筑材料为木、混凝土或砖石		LCZ-E: 硬化地面区少树木, 如自然的裸石地区或城市硬化地面	
LCZ-7: 简易低层建筑区建筑密度高, 少树木, 地表覆盖多为硬土, 建筑材料为简易材料		LCZ-F: 裸地沙土区少树木, 如沙漠或裸地	
LCZ-8: 大型低层建筑区建筑密度低, 底层面积较大, 高度在 1-3 层, 地表覆盖多为硬化地面, 建筑材料为钢、混凝土或砖石		LCZ-G: 水域区大型开敞的水域, 如河流湖泊、蓄水池等	
LCZ-9: 非常开敞低层建筑区建筑密度很低, 底层面积不大, 地表覆盖多为可渗透地面或树木			

表 2 哈尔滨市局部气候分区类别样本示例

LCZ - 2(25)	LCZ - 3(28)	LCZ - 4(32)	LCZ - 5(24)	LCZ - 6(29)
				
LCZ - 8(23)	LCZ - 9(24)	LCZ - A(41)	LCZ - B(23)	LCZ - C(24)
				
LCZ - D(41)	LCZ - E(17)	LCZ - F(25)	LCZ - G(25)	
				

而非整个数据集,这使得随机森林算法具备更好的鲁棒性和准确性。此外,随机森林在处理高维度数据时也表现出了强大的优势。它能够自动筛选出重要的特征,减少了数据预处理的工作量,同时也提高了模型的可解释性。

2.2 WUDAPT 方法

2015 年,来自美国、加拿大、德国拥有气象学、地理学、环境学背景的学者发起了 WUDAPT 计划,开发了免费的数据源和相关的 SAGA GIS、Google Earth 等软件进行局部气候分区分类的研究^[13,14]。一个获取城市空间形态和功能的平台—世界城市数据库及门户工具,该工具不仅可以获取 LCZ 数据,还可以保存研究学者的最新成果。随着时间的推移 WUDAPT 平台已经包含了数百个城市的 LCZ 数据,并且免费开放给有需要的人使用,数据可以应用于城市的气候、环境等方面^[15]。基于 WUDAPT 对于市县等小面积区域进行土地分类方便快捷,但是 WUDAPT 存在一个普遍性的问题,即人工对地物特征的选择。分类精度与地物样本选择的准确度高度相关,某些类别在地表上会呈现出“同物异谱或同谱异物”的现象,需要对地物有精准的判

断^[16,17]。研究区域过大这种现象更为严重,因此需要增加样本的数量和保证样本精度,使分类结果可以满足应用。

3 实验结果

3.1 精度验证

将样本划分为训练集和验证集,样本的 70% 作为训练集,剩余的 30% 样本为验证集。使用训练集用于随机森林模型的拟合,利用影像数据生成 LCZ 图,使用混淆矩阵的方法验证分类精度。根据混淆矩阵各行各列数据,可以初步得到分类正确的类别数量,以及错分类的类别及数量情况,并在此基础上可以计算精度的评价指标:精确率 (precision)、召回率 (recall) 和准确率 (accuracy)。表 3 为 2022 年哈尔滨市 LCZ 分类的混淆矩阵。从精度数据来看,不同的 LCZ 类型表现出较大的差异。其中 LCZ - G 类的精度达 99%,表明在分类为 LCZ - G 类的样本中,正确分类的比例非常高,主要是因为水系在遥感影像上特征明显。部分 LCZ 类型的精度较为接近,如 LCZ - 3、LCZ - 4、LCZ - 5、LCZ - 6 和 LCZ - 8 等类别的精度分别为 80.00%、80.00%、

表 3 哈尔滨市局部气候分区图的分类精度

LCZ	2	3	4	5	6	8	9	A	B	C	D	E	F	G	精度
2	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62.50%
3	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80.00%
4	2	0	28	0	1	0	0	2	0	0	1	0	0	1	80.00%
5	1	1	2	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61.54%
6	1	2	1	1	12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	66.67%
8	1	1	0	0	0	18	0	1	0	0	1	0	0	0	78.26%
9	0	0	2	0	3	1	4	0	0	0	3	0	0	0	30.77%
A	0	0	2	0	0	0	0	80	1	0	0	0	0	0	96.39%
B	0	0	0	0	0	0	1	1	4	1	2	0	0	0	44.44%
C	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	80.00%
D	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	57	0	0	0	98.28%
E	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	5	0	0	55.56%
F	0	1	4	0	0	1	0	0	0	1	3	0	3	0	21.43%
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	99	99.00%
召回率	41.67%	61.54%	62.22%	80.00%	50.00%	78.26%	57.14%	94.12%	66.67%	66.67%	82.61%	71.43%	100%	99.00%	

61.54%、66.67%、78.26%，说明这些类别的分类结果较为稳定，对城市的建筑形态和材质分类相对准确。召回率反映了实际属于某一类别而被正确分类的样本比例。在表格中，不同 LCZ 类型的召回率也各不相同。LCZ - D 类的召回率高达 82.61%，说明对于 LCZ - D 类样本的识别能力非常强。对于后续的研究和应用，还可以进一步分析不同 LCZ 类别之间的关系，以及影响分类准确性的因素，如数据质量、分类算法、特征选择等，以提高分类的效果和可靠性。

3.2 局部气候区分类图

本研究主要借助功能强大的 SAGA GIS7.6.2 软件来进行哈尔滨市 LCZ 图的制作。从图 1 进行直观地观察可以发现，哈尔滨市有着独特的地理区位和地表分类的分布情况。如图 1 所示，可以观察到蓝色的松花江至东向西贯穿整个区域，哈尔滨市建成区主要分布在图中红色集中分布区域。全图西部区域地形平坦开阔，处松嫩平原东缘。北部位于小兴安岭南麓的中、低山丘陵区域。图中地类整体分布结构与真实基本一致，直观反映了哈尔滨市的土地利用情况。

4 结语

本研究在 LCZ 制图中展现出了可行性和分类准确性。能够有效地处理大量的遥感数据，并将其转化为直观的地图形式，为研究人员提供了重要的参考依据。哈尔滨 LCZ 图的制作有助于更好地了解哈尔滨市的城市结构和土地利用情况。根据实验结果分析可知哈尔滨市东部多为山地，出现自然植被覆盖的稠密树木区 LCZ - A，西部地形较为平坦是主要的农业种植区域，分类结果中多为 LCZ - D 类型，松花江冲积形成较平缓两岸也，是主要的农业种植区域。与国内其它城市相比^[9,13]，哈尔滨市行政区划面积较大而建成区面积较小，因此自然植被覆盖类型占分类结果数量较多，建成类型多集中在东部中心区域。本研究通过对不同 LCZ 类别的分析，可以研究不同分类的区域差异，为城市规划、环境保护和气候适应等方面提供科学依据，为后续的 LCZ 制图工作提供经验。通过实验结果数据可以深入了解哈尔滨市的城市结构，同时也为相关领域的研究和实践提供了有益的参考。

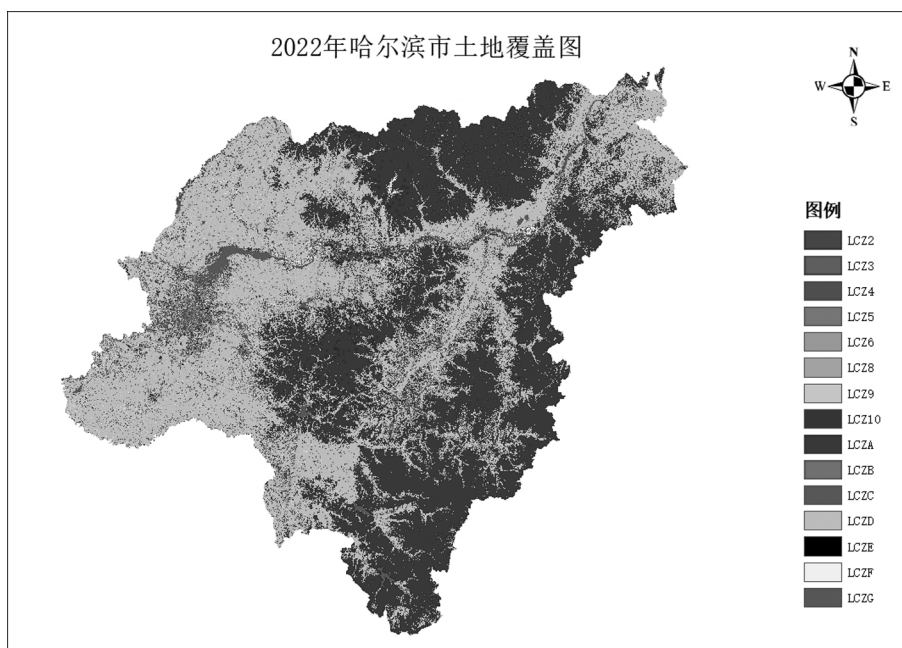


图 1 哈尔滨市局部气候分区分类结果图

参考文献 (References):

- [1] 刘伟, 徐尚昭. 土地利用变化遥感制图与时空变化分析——以韶关市武江区龙归镇为例[J]. 绿色科技, 2024, 26(08): 250 – 254.
- [2] 于成, 张娴. 基于高分卫星影像的湖南某地土地利用分类研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(10): 34 – 36.
- [3] 周桃勇, 丘泉. 基于 Sentinel – 1A 数据的土地利用变化监测[J]. 北京测绘, 2024, 38(09): 1352 – 1357.
- [4] 徐永红, 刘正超, 邱倩. 基于时序遥感数据的城市国土空间动态监测方法研究[J]. 测绘通报, 2024, 69(S2): 251 – 254.
- [5] 颜萍. 基于遥感数据的成都市土地利用类别与热岛效应关联性研究[D]. 西南交通大学, 2022.
- [6] 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.
- [7] 谢璇, 陈超民, 杜云, 等. 基于局部气候分区的土地覆被变化时空分析[J]. 红外, 2021, 42(06): 34 – 44.
- [8] 樊新成, 张喜来, 林庆润, 等. 融合合成孔径雷达和光学影像的土地覆被分类方法研究[J]. 测绘通报, 2024, 69(S2): 167 – 174.
- [9] 巫燕. 基于 WUDAPT 的昆明市地表形态变化特征研究[D]. 昆明理工大学, 2022.
- [10] 马倩. 面向高分辨城市气候模拟的中国大城市 LCZ 数据集的建立[D]. 南京信息工程大学, 2021.
- [11] Belgiu M, Dragut L. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2016, 114: 24 – 31.
- [12] 史洁宁, 吴田军, 黄启厅, 等. 耦合 NDVI 与纹理时序特征的地块作物遥感分类[J]. 南方农业学报, 2024, 1 – 15.
- [13] 胡婧婷, 陈亮. 基于 WUDAPT 的城市分区研究——以上海为案例[C]. 中国气象学会第 35 届中国气象学会年会 S11 城市气象与环境——第七届城市气象论坛. 华东师范大学, 2018: 3.
- [14] 陈方丽, 黄媛. 基于 WUDAPT 方法的成都市局地气候分区地图构建及其规划应用研究[J]. 城市建筑, 2018, (20): 29 – 32.
- [15] JinLing Q. Enhanced geographic information system – based mapping of local climate zones in Beijing, China[J]. Science China(Technological Sciences), 2019, 62(12): 2243 – 2260.

- [16] 王克奇, 彭熙雯, 张怡卓, 等. 基于改进 U-Net 的高光谱农林植被分类方法[J]. 森林工程, 2022, 38(01): 58-66.
- [17] 何顺兵, 牟凤云. 基于面向对象的多尺度山地城市土地覆盖信息提取——以重庆市大学城城区为例[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2016, 33(01): 83-88.

作者简介:

第一作者: 王雷, 1983 年生, 男, 黑龙江人, 硕士, 黑龙江工程学院测绘工程学院, 副教授, 主要研究方向为深度学习和高光谱分类。Email: wanglei@hljit.edu.cn;

通讯作者: 王延亮, 1954 年生, 男, 上海人, 硕士, 黑龙江工程学院测绘工程学院, 教授, 主要研究方向为地图学与地理信息系统。Email: giswl@126.com

Urban Land Cover Classification Mapping based on Local Climate Zones

WANG Lei¹, WANG Yanliang^{1*}, MEI Xiaodan¹, LI Debao²

(1. College of Surveying and Mapping Engineering, Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China; 2. Heilongjiang Benyuan Land Resources Surveying and Planning Technical Service Co., Ltd., Harbin 150009, China)

Abstract: Purpose of the study: The Local Climate Zone (LCZ) was initially proposed to provide an interdisciplinary classification method for urban heat island research. The delineation and mapping of different LCZ categories can enhance the understanding of urban structure and land use conditions, thereby offering a scientific basis for urban planning and management. This study aims to accurately identify and distinguish different local climate zones and verify the usability of the classification method. Methods: Harbin City, Heilongjiang Province, in Northeast China was selected as the study area. Landsat 8 data were preprocessed through fusion and resampling, and then mapped using machine learning methods for image metric classification based on LCZ categories. Research results: The entire city of Harbin was classified and mapped. The overall accuracy of the classification map reached 81.11%. Specifically, the accuracies of the LCZ categories LCZ - 3, LCZ - 4, LCZ - 5, LCZ - 6, and LCZ - 8 were 80.00%, 80.00%, 61.54%, 66.67%, and 78.26%, respectively. Conclusion of the study: Mapping LCZs of cities using Landsat 8 low-resolution remote sensing data through the random forest approach with high classification accuracy can be utilized for dynamic monitoring of urban land cover.

Key words: urban morphology; land use; local climate zone; random forests