

文章编号: 1672-8785(2021)06-0034-11

## 基于局部气候分区的土地覆被变化时空分析

谢 璇 陈超民 杜 云 哈斯巴干\*

(上海师范大学环境与地理科学学院, 上海 200234)

**摘 要:** 长三角生态绿色一体化示范区位于江苏省、浙江省和上海市的交界处, 在长三角一体化进程中发挥着重要作用。为了探究示范区自 2008 年以来的土地覆被变化及其驱动力, 结合 2008 年的 Landsat-5 TM 光学影像和双极化 PALSAR 数据以及 2020 年的 Sentinel-2 MSI 多光谱光学影像和双极化 PALSAR-2 数据, 采用局部气候分区(Local Climate Zone, LCZ)分类体系以及随机森林分类方法分别对 2008 年与 2020 年示范区进行了土地覆被分类。结果表明, 2008~2020 年, 示范区的建设用地面积显著增加。其中, 开阔高层建筑的增幅最为明显, 从 2008 年的 12.23 km<sup>2</sup> 增加到 2020 年的 361.26 km<sup>2</sup>; 而低矮植被面积大量减少, 从 2008 年的 535.92 km<sup>2</sup> 锐减到 2020 年的 197.26 km<sup>2</sup>; 茂密树木、灌木和矮树均有所减少。土地覆被变化的主要驱动因素为城市扩张、棚户区改造、人口增长以及产业结构优化。本文不仅可为城市化进程中城郊的土地覆被变化研究提供参考, 而且还可为推动长三角生态绿色一体化发展示范区建设以及长三角一体化提供决策依据。

**关键词:** 土地覆被变化; 长三角; 局部气候分区; 随机森林; 合成孔径雷达

**中图分类号:** TP751 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2021.06.007

## Spatiotemporal Analysis of Land Cover Change Based on Local Climate Zones

XIE Xuan, CHEN Chao-min, DU Yun, HASI Ba-gan\*

(School of Environmental and Geographical Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

**Abstract:** The demonstration zone of green and integrated ecological development of the Yangtze River Delta is located at the junction of Jiangsu Province, Zhejiang Province and Shanghai City, which plays an important role in the integration process of the Yangtze River Delta. In order to explore the land cover change and its driving forces in the demonstration area since 2008, the local climate zone classification system and random forest classification method are adopted. Based on Landsat-5 TM optical images and dual polarization PALSAR data in 2008, the land cover of the demonstration area in 2008 is classified. Sentinel-2 MSI multispectral optical images and dual polarization PALSAR-2 data are used to classify the land cover of the demonstration area in 2020. The results show that from 2008 to 2020, the construction land area of

收稿日期: 2020-12-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771372); 上海市科委“科技创新行动计划”项目(18511102300)

作者简介: 谢璇(1996-), 男, 湖南娄底人, 硕士, 主要从事城市化、土地覆被变化方面的研究。

\*通讯作者: E-mail: hasibagan@staff.shnu.edu.cn

the demonstration area increases significantly. Among them, the increase of open high-rise buildings is the most obvious, from 12.23 km<sup>2</sup> in 2008 to 361.26 km<sup>2</sup> in 2020. The area of low plants decreases greatly, from 535.92 km<sup>2</sup> in 2008 to 197.26 km<sup>2</sup> in 2020. Bush, scrub, and dense trees have also been reduced. The main driving factors of land cover change are urban expansion, shanty town reconstruction, population growth and industrial structure optimization. A reference for the study of land cover change in suburban areas in the process of urbanization is provided in this paper. In addition, a decision-making basis for promoting the construction of the demonstration zone of green and integrated ecological development of the Yangtze River Delta and the integration of Yangtze River Delta is provided.

**Key words:** land cover change; Yangtze River Delta; local climate zone; random forest; SAR

## 0 引言

20 世纪 90 年代以来, 土地利用/覆被变化一直是全球变化研究的重点和热点<sup>[1-3]</sup>。伴随着城市化进程的快速推进, 由其引起的土地利用/覆被变化显著, 这方面的研究更是成为了土地利用研究的热点问题<sup>[4-6]</sup>。国内外学者在城市土地利用/覆被变化上做了大量工作, 比如土地变化监测<sup>[7]</sup>、变化趋势预测<sup>[8]</sup>以及驱动力分析<sup>[9]</sup>等。

长江三角洲城市群是中国城镇化基础最好、发展最为迅速的地区之一, 其土地资源受到人类活动的改造最为强烈<sup>[10]</sup>。因此, 长三角地区的土地利用/覆被变化成为了国内相关研究的一个热点。例如, 陈书林等人分析了长三角地区 1985~2015 年的土地利用变化及其驱动力<sup>[11]</sup>; 刘桂林等人通过长三角地区 1980~2010 年的土地利用数据, 估算了各种土地利用类型的生态系统服务价值, 并分析了该地区 30 年来生态系统服务价值的时空动态及其对土地利用变化的响应<sup>[12]</sup>; 朱治州等人采用 1990、2000、2010 和 2015 年四期长江三角洲城市群土地利用数据, 描述了该地区的土地利用方式和转移方向以及生态系统服务价值时间演变分析<sup>[13]</sup>。

针对长三角地区的土地利用/覆被变化研究主要集中在整个区域以及上海、南京、杭州等几个关键大城市上; 而对于城郊, 特别是三省交界处的区县, 则有待作进一步的研究。从 2008 年《国务院关于进一步推进长江三角洲地区改革开放和经济社会发展的指导意见》发

布<sup>[14]</sup>到 2019 年《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》颁布的过程中, 位于三省交界处的青浦区、吴江区以及嘉善县在长三角一体化进程中发挥了重要作用。2019 年, 国务院批复在这三个区县成立长三角生态绿色一体化发展示范区。因此, 探究由示范区城市化引起的土地覆被变化对推进长三角一体化具有重要意义。

土地利用/覆被分类体系是这项研究中的一个重点问题。该体系的确定关系到研究目的和意义, 为此国内外学者做了大量工作<sup>[15-17]</sup>。近年来, Stewart I D 等人提出了 LCZ 分类方案<sup>[18]</sup>。LCZ 分类体系按高度和密度细分了城镇建筑类型, 在城镇土地覆被分类研究中显示出了巨大潜力<sup>[19-20]</sup>。遥感监测是获取土地覆被信息的高效技术手段<sup>[21]</sup>, 因此通过遥感数据进行土地覆被分类成为了该研究的常用方法。其中, 中分辨率遥感数据由于数据处理与信息提取效率高、获取简单而成为了主要的数据源。但是中分辨率遥感影像具有局限性, 使其土地分类往往只能分到二级<sup>[22]</sup>, 特别是城镇建筑类型难以细分, 而建筑用地的变化往往是城市化过程中土地覆被变化的主要特征。

类别差异性和光谱可分性对于城市土地覆被分类图的绘制至关重要<sup>[23]</sup>。单纯使用光学影像进行城市土地覆被分类的效果不是很理想, 因此需要更多的特征信息来加以改进。与光学传感器相比, 合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 传感器可以全天候、全天时工作, 受云、雨的干扰小, 并且能够捕捉

地物的强度和相位信息<sup>[24-26]</sup>。因此,可以用 SAR 数据来弥补光学影像的不足。已有研究表明,光学图像和 SAR 数据的结合使用有助于城市土地覆被分类<sup>[27-29]</sup>。

鉴于此,本文结合 2008 年的 Landsat-5 TM 光谱影像和双极化 PALSAR 数据以及 2020 年的 Sentinel-2 MSI 多光谱数据和双极化 PALSAR-2 数据,采用随机森林分类器生成长三角生态绿色一体化发展示范区两期的 LCZ 分类图,并分析 2008~2020 年示范区在长三角一体化进程中的土地覆被变化及其驱动力,以期揭示十二年来由城市化引起的示范区土地覆被变化情况,为示范区土地利用政策的制定提供参考,并促进示范区的发展建设以及“长三角一体化”国家战略的推进。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

长三角生态绿色一体化发展示范区横跨江

浙沪,毗邻淀山湖,位于上海青浦区、江苏吴江区以及浙江嘉善县三地(见图 1),面积接近 2300 km<sup>2</sup>。其中,青浦区占 676 km<sup>2</sup>,吴江区占 1092 km<sup>2</sup>,嘉善县占 506 km<sup>2</sup>。一体化示范区地理相近、文化同源、人文相亲,生态基础非常突出,并且距离上海市中心只有 60 km 左右,因此具有明显的区位优势。一体化示范区是实施长三角一体化国家战略的先手棋,对于推进长三角一体化建设、探索跨区域治理新机制具有重要意义。

### 1.2 数据来源

本文使用 Landsat-5 TM、Sentinel-2A 影像以及 PALSAR、PALSAR-2 数据(见表 1)进行监督分类。所用影像数据分别来源于美国地质调查局(USGS)、欧空局(ESA)以及日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)。

本文使用的影像数据的投影坐标系统为 UTM\_ZONE\_50N,大地基准为 WGS\_1984。

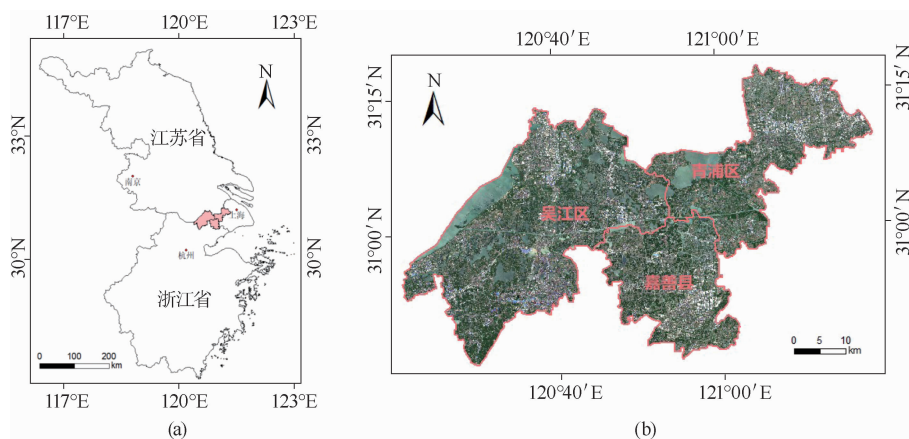


图 1 研究区位置图:(a)研究区域(红色部分);(b)2020 年 4 月 28 日获取的 Sentinel-2 影像(RGB=4,3,2)

表 1 研究数据概况

传感器	产品级别	日期	使用波段	空间分辨率/m
Landsat-5 TM	C1 Level 2	2008/04/25	Band 1-6	30
		2008/05/02		
Sentinel-2 MSI	Level-2A	2020/04/28	Band 1-8、8a、9、11、12	10、20、60
ALOS PALSAR	RTC	2008/04/28	HH、HV	20
		2008/05/15		
		2008/06/01		
ALOS-2 PALSAR-2	L3.1	2019/05/18	HH、HV	10
		2020/05/02		
		2020/05/30		

同时, 为了避免季节不同而引起的差异并减少云层带来的影响, 选取了四、五、六月无云或少云的光学影像。Landsat-5 TM C1 L2 数据是经过辐射校正和几何校正的产品数据, 并且校正后的图像数据被映射到指定的地图投影坐标上。Sentinel-2 MSI L2A 产品是经过大气校正的大气底层反射率数据。PALSAR RTC 产品是经过辐射校正以及地形校正后的高分辨率 SAR 数据。PALSAR-2 L3.1 产品是经过范围压缩和方位压缩的图像质量校正后的数据。

### 1.3 LCZ 分类体系

LCZ 是一种基于气象学的分类体系。它依据城市地表特征对热环境的响应能力进行分区划定, 在水平尺度上跨越数百米到数千米的区域, 并具有均匀的集合性质和物理性质, 包括土地覆盖、地表结构、建筑材料和人类活动等<sup>[18]</sup>。LCZ 分类体系主要由建筑和自然覆盖两大类型构成, 且可划分为 17 个子类。其中,

建筑类型包括 LCZ 1~LCZ 10; 自然覆盖类型包括 LCZ A~LCZ G (见图 2)。

### 1.4 样本选取

本文采用基于遥感影像的监督分类方法, 以地物的光谱特征为基础, 并借助同年 Google Earth 的高空间分辨率图像作为样本选择的参考。为了减小类别不平衡造成的误差, 将每个类的样本数量大致控制在相同范围内。训练样本和验证样本在影像上分布均匀, 保证了它们在空间上的独立性。根据示范区的实际情况, 调整了原有 LCZ 体系的类别。LCZ 1 和 LCZ 7 在示范区分布极少, 因此没有选取这两类样本。此外, 将 LCZ 8 (大型低层建筑) 合并到 LCZ 10 (工业厂房), 将 LCZ 9 (零散建筑) 合并到 LCZ 6 (开阔低层建筑), 并将 LCZ B (稀疏树木) 合并到 LCZ C (灌木和矮树)。表 2 列出了示范区的 LCZ 类型描述、Google Earth 影像以及 2008、2020 年训练和验证样本的像元数。

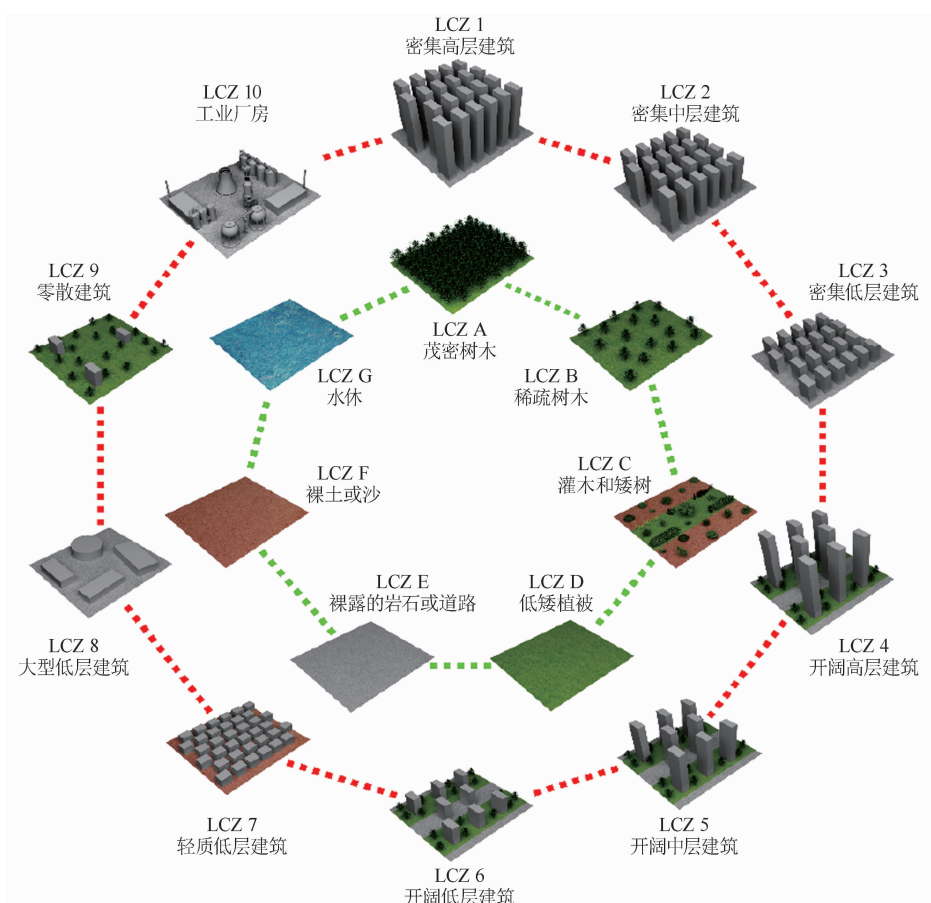

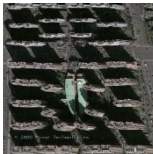
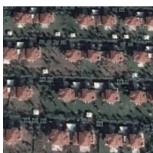

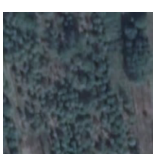
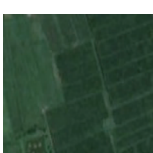


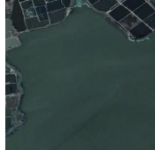


图 2 LCZ 分类体系的示意图(改编自文献[18])

表 2 LCZ 类型描述、Google Earth 影像以及 2008、2020 年训练样本和验证样本的像元数

类型	类型描述	Google Earth 影像	2008 年		2020 年	
			训练	验证	训练	验证
LCZ 2 密集中层建筑	由混凝土、石头、砖和瓷砖构成的密集中层建筑(3~9层), 有不透水的路面, 有很少或没有树木		1628	351	2861	1106
LCZ 3 密集低层建筑	由混凝土、石头、砖和瓷砖构成的密集低层建筑(1~3层), 有不透水的路面, 有很少或没有树木		2608	1125	2879	1098
LCZ 4 开阔高层建筑	用混凝土、钢、石头和玻璃建造的高层建筑(10层以上), 带有透水的土地覆盖(如低矮植物和零散树木)		775	384	3229	1311
LCZ 5 开阔中层建筑	用混凝土、钢、石头和玻璃建造的中层建筑(3~9层), 带有透水的土地覆盖(如低矮植物和零散树木)		2924	1337	3209	1037
LCZ 6 开阔低层建筑	用混凝土、钢、石头和玻璃建造的低层建筑(1~3层), 带有透水的土地覆盖(如低矮植物和零散树木)		2410	1037	3175	1008
LCZ 10 工业厂房	由混凝土、钢铁和金属制成的低层和中间工业建筑(如烟囱、车间和仓库), 有不透水的人行道, 有很少或没有树木		2920	1424	3158	961
LCZ A 茂密树木	茂密的落叶林和(或)常绿林; 地表覆盖大量可透水表面(如低矮植被)		2525	1091	3100	1073
LCZ C 灌木和矮树	开阔分布的灌木、矮树丛和矮小的树木; 地表覆盖大量可透水表面(如低矮植被、裸土或沙)		2752	1316	3080	1389
LCZ D 低矮植被	草地或草本植物/作物; 几乎无树木		2559	1082	3103	1144

续表 2 LCZ 类型描述、Google Earth 影像以及 2008、2020 年训练样本和验证样本的像元数

类型	类型描述	Google Earth 影像	2008 年		2020 年	
			训练	验证	训练	验证
LCZ E	岩石或不透水路面; 几乎无裸露的岩石或道路 树木或植被		2565	1235	3259	1046
LCZ F	裸土或沙; 几乎无树木或植被 裸土或沙		3273	1111	2939	975
LCZ G	大面积开阔的水体(如海洋和湖泊)或小面积水体(如河流、水库和池塘) 水体		3046	1239	2968	1263

### 1.5 随机森林分类方法

本文基于 Python 中的 scikit-learn 库<sup>[30]</sup>来执行随机森林分类器, 进而实现土地覆被分类。随机森林是一种由多棵决策树构成的集成机器学习算法, 在许多现实任务中展现出强大的性能。为了提高集成器的泛化性能和鲁棒性, 随机森林同时引入了样本扰动和特征扰动以增加每棵树之间的多样性<sup>[31]</sup>。随机森林采用基于自助采样法的 Bagging 方法使每一棵树的输入样本集不同<sup>[32-33]</sup>。每棵树只使用了初始训练集中约 2/3 的样本, 剩下约 1/3 的样本(即袋外样本)可被用于模型超参数的选择。在随机森林中, 对于每棵决策树的每个结点, 从原始训练集中随机选择一个包含若干个特征的特征子集, 随后从该特征子集中选择一个最优特征进行结点的分裂。

对于随机森林模型, 两个决定其随机性的超参数(树的数量  $t$  以及每个结点处随机选择的特征数  $f$ )需预先设定。本文采用基于袋外样本评分的网格搜索来执行随机森林模型中两个重要超参数( $t$  和  $f$ )的选择。其他的超参数均保持默认设定状态。对于 2008 年的数据,  $t$  设定为 100~1000 (以 100 为间隔);  $f$  设定为 1~8 (以 1 为间隔)。对于 2020 年的数据,  $t$  设定为 100~1000 (以 100 为间隔);  $f$  设定为 1

~14 (以 1 为间隔)。通过比较两个不同超参数组合所训练的随机森林模型的袋外样本评分, 最终对 2008 年的数据选择  $t$  为 1000、 $f$  为 3 的组合, 并对 2020 年的数据选择  $t$  为 1000、 $f$  为 8 的组合。

## 2 结果与分析

利用随机森林分类方法获得了 2008 年和 2020 年的土地覆被分类图(见图 3), 其空间分辨率分别为 30 m 和 10 m。

### 2.1 精度评价

采用地面验证数据对 2008 年和 2020 年的土地覆被分类结果进行精度评价。从总体精度(Overall Accuracy, OA)、用户精度(User's Accuracy, UA)和制图精度(Producer's Accuracy, PA)三个方面对分类精度进行评估。混淆矩阵如图 4 所示。可以看出, 2020 年分类结果的 OA 值高于 2008 年, 二者分别为 85.62% 和 75.66%。在两期分类结果中, 自然覆盖类型的分类精度整体上均高于建筑类型。其中, 水体精度最高, 接近于 100%。

从 2008 年的精度混淆矩阵中可以看出, 工业厂房、茂密树木、灌木和矮树、裸土和沙以及水体的 PA 值较高, 均在 90% 以上; 而除工业厂房以外的所有建筑类型、裸露的岩石或

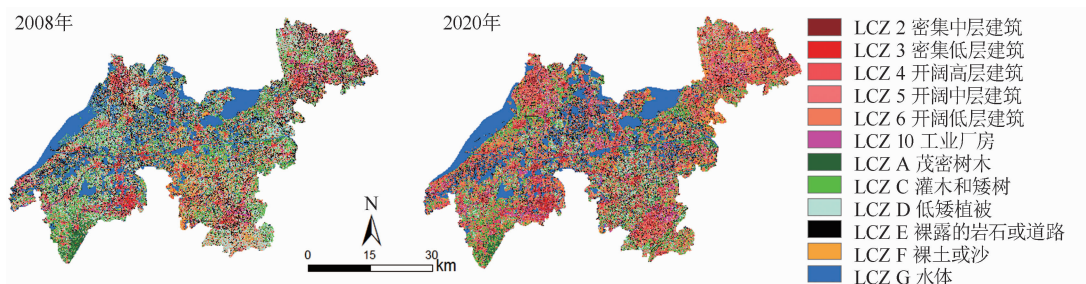


图3 2008年和2020年的LCZ土地覆被分类图

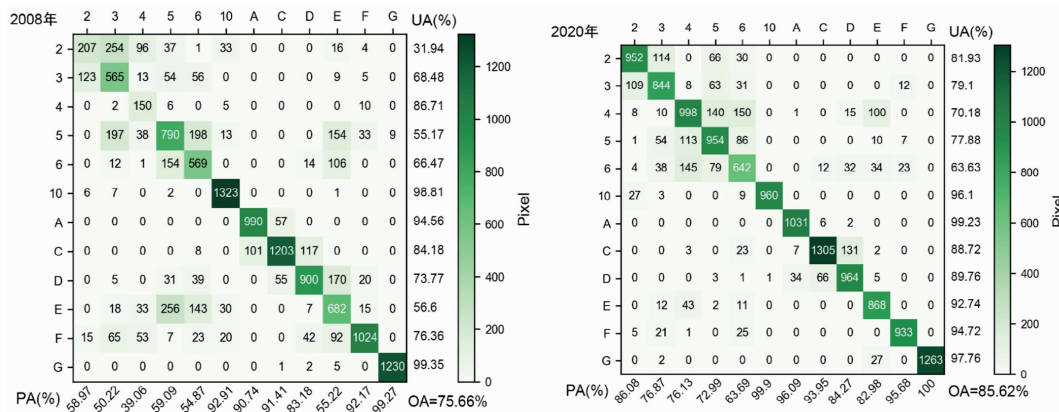


图4 2008年和2020年LCZ分类图的混淆矩阵

表3 2008年和2020年的LCZ土地覆被类型面积

类型	2008年(km <sup>2</sup> )	2020年(km <sup>2</sup> )
LCZ 2 密集中层建筑	36.66	81.16
LCZ 3 密集低层建筑	137.36	77.44
LCZ 4 开阔高层建筑	12.23	361.26
LCZ 5 开阔中层建筑	168.67	126.02
LCZ 6 开阔低层建筑	163.48	288.21
LCZ 10 工业厂房	76.40	107.49
LCZ A 茂密树木	64.62	44.17
LCZ C 灌木和矮树	392.84	354.29
LCZ D 低矮植被	535.92	197.26
LCZ E 裸露的岩石或道路	269.03	189.45
LCZ F 裸土或沙	122.71	139.88
LCZ G 水体	439.82	453.10
总计	2419.73	2419.73

道路的PA值均低于60%。这表明各种建筑类型之间存在较大误差，难以完全区分，特别是密集建筑之间以及开阔建筑之间的混淆程度较高。由于光谱特性与一些建筑类别相似，道路极易与建筑混淆。部分道路的幅宽小于10m，易与两旁的灌木、矮树以及低矮植被形成混合像元。在植被覆盖类型中，低矮植被与灌木及

矮树之间也存在一定程度的混淆。

2020年的分类精度较2008年在整体上有了提升，特别是各类型建筑的分类精度平均提高了20%~30%。2020年各类型的分类精度分布与2008年有很高的相似性。值得一提的是，道路的分类精度有了很大的提升。这主要体现在道路与其周围灌木、矮树和低矮植被的

混淆程度降低了很多。

### 2.2 面积变化

2008 年和 2020 年 LCZ 土地覆被类型面积及其占总面积的百分比分别如表 3 和图 5 所示。

从表 3 和图 5 中可以看出, 示范区 2008~2020 年间的土地覆被变化明显。其中, 开阔高层建筑和低矮植被的变化最为突出。总体来说, 示范区的建设用地面积显著增加, 从 2008 年的 863.83 km<sup>2</sup> 增长到 2020 年的 1231.02 km<sup>2</sup>; 而植被类型大量减少, 从 2008 年的 993.37 km<sup>2</sup> 锐减为 2020 年的 595.72 km<sup>2</sup>。从建筑类型来看, 密集中层建筑、开阔高/低层建筑以及工业厂房都有所增加, 而密

集低层建筑和开阔中层建筑有所减少。从自然覆盖类型来看, 植被类型和裸露的岩石或道路都减少了, 裸土或沙、水体有所增加, 但变化不大。

### 2.3 土地转移

2008~2020 年的土地转移矩阵如表 4 所示。可以看出, 2008~2020 年间示范区的土地覆被变化主要表现为灌木和矮树、低矮植被和开阔高/低层建筑之间的转化。其中, 120.58 km<sup>2</sup>、92.98 km<sup>2</sup> 以及 81.97 km<sup>2</sup> 的低矮植被分别转化为灌木和矮树、开阔高层建筑以及开阔低层建筑; 59.28 km<sup>2</sup> 和 51.74 km<sup>2</sup> 的灌木和矮树分别转化为开阔高层建筑和开阔低层建筑; 55.04 km<sup>2</sup> 和 32.59 km<sup>2</sup> 的裸露岩石或道

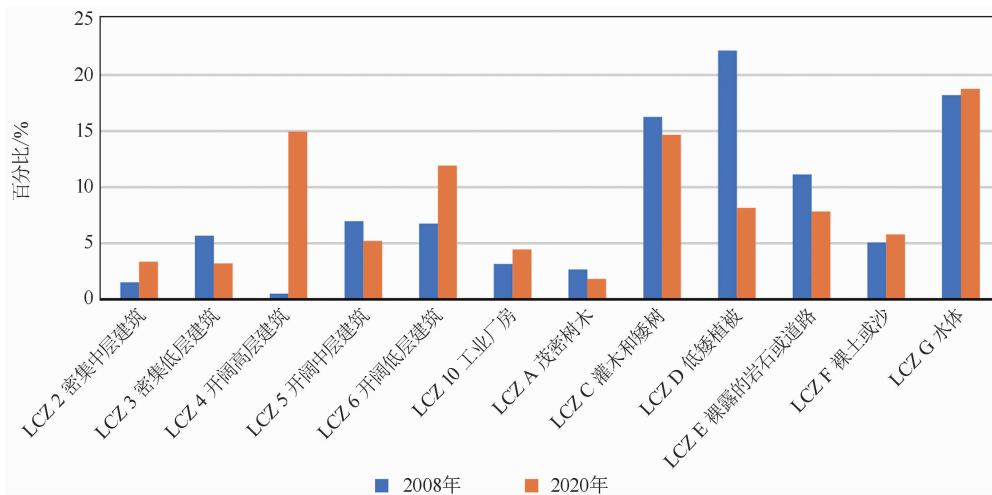


图 5 2008 年和 2020 年的 LCZ 土地覆被类型所占比例

表 4 2008~2020 年的土地转移矩阵(单位: km<sup>2</sup>)

	LCZ 2	LCZ 3	LCZ 4	LCZ 5	LCZ 6	LCZ 10	LCZ A	LCZ C	LCZ D	LCZ E	LCZ F	LCZ G	Total
LCZ 2	9.18	16.02	<b>1.95</b>	14.46	3.89	9.83	0.23	3.45	6.71	8.60	5.03	1.80	81.16
LCZ 3	<b>5.56</b>	23.06	0.77	11.16	4.96	4.93	0.37	4.87	8.05	7.30	3.73	2.68	77.44
LCZ 4	4.94	<b>28.28</b>	2.37	<b>37.12</b>	<b>35.56</b>	6.39	6.89	<b>59.28</b>	92.98	<b>55.04</b>	15.28	17.13	361.26
LCZ 5	4.10	12.05	1.90	24.77	13.07	4.74	0.86	11.55	24.33	18.96	6.76	2.94	126.02
LCZ 6	3.18	15.38	1.48	29.69	36.11	5.89	5.34	51.74	81.97	32.59	15.93	8.92	288.21
LCZ 10	4.01	7.60	0.96	8.65	4.64	<b>29.06</b>	0.68	11.01	18.08	10.15	8.38	4.27	107.49
LCZ A	0.02	0.38	0.01	0.34	1.60	0.05	13.78	15.67	8.07	1.10	2.43	0.73	44.17
LCZ C	0.77	6.20	0.40	11.12	27.08	1.81	<b>25.58</b>	104.79	<b>120.58</b>	23.98	<b>18.67</b>	13.31	354.29
LCZ D	1.25	3.34	0.52	9.18	13.19	3.99	4.80	55.14	65.03	16.29	16.94	7.60	197.26
LCZ E	1.81	12.65	0.97	11.62	11.05	3.74	2.23	23.20	41.59	43.78	10.02	<b>26.79</b>	189.45
LCZ F	1.51	5.07	0.43	7.96	9.24	5.50	2.34	28.98	40.20	16.02	11.39	11.24	139.88
LCZ G	0.34	7.34	0.46	2.61	3.09	0.46	1.52	23.16	28.34	35.23	8.16	342.41	453.10
Total	36.66	137.36	12.23	168.67	163.48	76.40	64.62	392.84	535.92	269.03	122.71	439.82	2419.73
Changes	27.48	114.31	9.85	143.90	127.37	47.34	50.84	288.05	470.89	225.25	111.32	97.41	1714.00



路转化为开阔高层建筑和开阔低层建筑。

### 3 讨论

从2008年《国务院关于进一步推进长江三角洲地区改革开放和经济社会发展的指导意见》发布到如今的十余年时间里,长三角一体化取得了长足的进步和发展,处于三省市交界的示范区的土地覆被也发生了显著变化。其中,建设用地显著增加,低矮植被明显减少,表明十多年来示范区的城市扩张明显,城镇化进程加快,耕地和绿地覆盖面积锐减。

从建筑类型来看,作为城市发展重要标志的开阔高层建筑的面积相较于其他建筑类型显著增加,从2008年到2020年增加了近30倍。绝大部分的开阔高层建筑由低矮植被或者灌木和矮树转化而来,另外还有一部分由其他建筑类型转化而来。由此可见,占用耕地是示范区城市建设发展的主要方式。开阔中层建筑面积有所减少。从转移矩阵来看,有很大一部分开阔中层建筑转化为开阔高/低层建筑。部分原因是开阔建筑类型的区分不明显,三种开阔建筑类型之间容易混淆,从而造成错分漏分。开阔建筑类型的面积总体上是显著增加的,而该类型面积的增长也是城市化的重要特征。

在密集建筑类型中,密集中层建筑增加,而密集低层建筑减少。密集低层建筑主要转化为开阔高层建筑,其直接原因是旧城改造以及棚户区改建。工业厂房的面积有所增加,其中青浦区的工业厂房分布最为广泛。青浦区是江浙沪的交通枢纽和长江三角洲经济区产业链的中心地带,也是上海工业最为集中的区域之一。自1995年上海青浦工业园区设立以来,其工业凭借区位优势得到了迅速发展。特别是近十年来长三角一体化进程加快,江浙沪的联系越来越紧密。在2008~2018年,青浦区的第二产业增加值从291.7亿元增长到468.7亿元,第三产业增加值从178亿元增长到597.5亿元,产业发展促使工业

厂房面积增加。

建设用地面积的增加与人口增长密切相关。近十年来,示范区的常住人口从243.68万增长到311.57万。其中,青浦区的人口增长最为明显,从78.98万增长到121.9万;嘉善县人口从38.2万增长到58.59万,吴江区人口从126.5万增长到130.98万。人口的增长导致城镇化发展迅速、建设用地需求增加,促使大量土地转化为建设用地。为了提高土地利用效率并容纳更多的人口居住,高层建筑成为了开发建设的首选。因此,开阔高层建筑在这十年来增长迅速。在长三角一体化进程中,应该对人口进行有效控制。青浦区位于上海市,对人口的吸引力较大,所以其人口增长最快。而嘉善县的人口基数小,吴江区的人口增长缓慢,因此可以将青浦区的劳动密集型产业向周围区县转移,并可结合相关政策来提高周围区县的吸引力,由此对人口进行分流,从而促进示范区人口和土地的协调发展。

从自然覆盖类型来看,茂密树木、灌木和矮树以及低矮植被的面积都有所减少。其中,低矮植被的减少最为明显。示范区的经济发展和城市化必然需要大量的土地资源,而占用耕地是最直接的方式,在示范区体现为大量低矮植被转化为建筑类型。在2008~2018年,示范区的生产总值从1228.1亿元提升至3582.03亿元。在产业结构方面,2008年第一、二、三产业的占比分别为3.01%、61.68%、35.31%;2020年第一、二、三产业的占比分别为2.06%、49.58%、48.36%。可以看出,第一、二产业的比重均有所下降,而第三产业的比重上升了。

由于第三产业的发展需要大量的建筑用地作为基础,因此生产总值的迅速提升、产业结构的不断优化升级促使土地利用结构不断转变,大量农用地和林地转化为建设用地。值得注意的是,有很大一部分低矮植被转化为灌木和矮树:一方面是由于示范区的退耕

还林政策取得了良好成效; 另一方面是由于追求经济发展而发生的种植方式的转变——经济作物取代粮食作物(比如果园取代稻田)。近十年来, 示范区的土地集约利用水平不断提高, 农业产值不断上升。但是在发展经济的同时, 也应注意保护基本农田。

示范区的水体面积略有增加, 并且占有很大比例。从植被覆盖面积和水体面积来看, 示范区的生态优势明显。但从土地覆被变化来看, 示范区的绿化覆盖率下降很快, 给生态环境带来了很大压力。在发展和建设过程中, 示范区应注重保护生态环境, 充当绿色高质量发展的引领者和先行者, 发挥生态优势, 发展生态旅游, 将绿水青山转化为金山银山。此外, 三区县要加强沟通协调, 制定统一的生态环境保护标准, 从区域层面上更加系统、高效地推进生态绿色发展, 并明确示范区的生态目标, 从而构建以水为脉、林田共生、绿城相依的自然格局。

#### 4 结论

本文基于多源遥感数据以及 LCZ 分类体系, 采用随机森林分类方法获取了 2008 年和 2020 年长三角生态绿色一体化发展示范区的土地覆被结果, 并进一步分析了 2008~2020 年示范区的土地覆被变化的时空特征及驱动力。研究表明:

(1) 示范区的建筑类型面积总体增加。其中, 开阔高层建筑的增幅最为明显, 其次是开阔低层建筑和工业厂房。但密集低层建筑有所减少, 其主要原因为城市扩张、棚户区改造以及人口增加。

(2) 示范区茂密树木、灌木和矮树以及低矮植被的面积都有所减少。其中, 低矮植被的减幅最为明显, 有很大一部分转化为灌木和矮树。该现象的主要原因为产业结构的优化升级、退耕还林以及种植方式的改变。

(3) 示范区土地覆被变化的主要表现是植被类型转化为建筑类型。植被和水体是示范区的主要土地覆被类型, 生态优势明显。但同时

绿色覆盖率下降, 因此需要保护耕地、发挥生态优势, 从而推进绿色高质量发展。

#### 参考文献

- [1] Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land-use and land-cover change in science/research plan [R]. Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences, 1995.
- [2] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向 [J]. *地理学报*, 1996, **62**(6): 553-558.
- [3] 陈佑启, 杨鹏. 国际上土地利用/土地覆盖变化的新进展 [J]. *经济地理*, 2001, **21**(1): 95-100.
- [4] Bagan H, Yamagata Y. Land-cover change analysis in 50 global cities by using a combination of Landsat data and analysis of grid cells [J]. *Environmental Research Letters*, 2014, **9**(6): 064015.
- [5] Nolè G, Murgante B, Calamita G, et al. Evaluation of Urban Sprawl from space using open source technologies [J]. *Ecological Informatics*, 2015, **26**(1): 151-161.
- [6] 刘浩, 张毅, 郑文升. 城市土地集约利用与区域城市化的时空耦合协调发展评价——以环渤海地区城市为例 [J]. *地理研究*, 2011, **30**(10): 1805-1817.
- [7] 潘耀忠, 陈志军, 聂娟, 等. 基于多源遥感的土地利用动态变化信息综合监测方法研究 [J]. *地球科学进展*, 2002, **17**(2): 182-187.
- [8] Smidt S J, Tayyebi A, Kendall A D, et al. Agricultural implications of providing soil-based constraints on urban expansion: Land use forecasts to 2050 [J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, **217**(6): 677-689.
- [9] Bagan H, Millington A, Takeuchi W, et al. Spatiotemporal analysis of deforestation in the Chapare region of Bolivia using LANDSAT images [J]. *Land Degradation & Development*, 2020, **31**(18): 3024-3039.
- [10] 虎陈霞, 郭旭东, 连纲, 等. 长三角快速城市化地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以嘉兴市为例 [J]. *长江流域资源与环境*

- 境, 2017, **26**(3): 333-340.
- [11] 陈书林, 虞宋杰. 长三角地区 1985~2015 年土地利用变化及其驱动力分析 [J]. *林业经济*, 2019, **41**(11): 49-54.
- [12] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响 [J]. *生态学报*, 2014, **34**(12): 3311-3319.
- [13] 朱治州, 钟业喜. 长江三角洲城市群土地利用及其生态系统服务价值时空演变研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2019, **28**(7): 1520-1530.
- [14] 国务院关于进一步推进长江三角洲地区改革开放和经济社会发展的指导意见 [J]. *中华人民共和国国务院公报*, 2008, **55**(27): 14-22.
- [15] Anderson J R, Hardy E E, Roach J T, et al. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data [M]. Washington: US Government Printing Office, 1976.
- [16] Liu J Y, Zhuang D F, Luo D, et al. Land-cover classification of China: integrated analysis of AVHRR imagery and geophysical data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, **24**(12): 2485-2500.
- [17] 张景华, 封志明, 姜鲁光. 土地利用/土地覆被分类系统研究进展 [J]. *资源科学*, 2011, **33**(6): 1195-1203.
- [18] 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.
- [19] Bechtel B, Daneke C. Classification of local climate zones based on multiple earth observation data [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2012, **5**(4): 1191-1202.
- [20] Xu Y, Ren C, Cai M, et al. Classification of local climate zones using ASTER and Landsat data for high-density cities [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2017, **10**(7): 3397-3405.
- [21] 袁希平, 甘淑. 土地覆盖遥感监测及分类系统实例评析 [J]. *云南工业大学学报*, 1999, **15**(4): 3-5.
- [22] 肖鹏峰, 刘顺喜, 冯学智, 等. 基于中分辨率遥感图像的土地利用与覆被分类系统构建 [J]. *中国土地科学*, 2006, **20**(2): 33-38.
- [23] Weng Q. Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, **117**(3): 34-49.
- [24] 贾永红. TM 和 SAR 影像主分量变换融合法 [J]. *遥感技术与应用*, 1998, **13**(1): 3-5.
- [25] 胡召玲, 李海权, 杜培军. SAR 图像纹理特征提取与分类研究 [J]. *中国矿业大学学报*, 2009, **38**(3): 422-427.
- [26] 朱良, 郭巍, 禹卫东. 合成孔径雷达卫星发展历程及趋势分析 [J]. *现代雷达*, 2009, **31**(4): 5-10.
- [27] Amarsaikhan D, Ganzorig M, Ache P, et al. The integrated use of optical and InSAR data for urban land-cover mapping [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, **28**(6): 1161-1171.
- [28] Zhu Z, Woodcock C E, Rogan J, et al. Assessment of spectral, polarimetric, temporal, and spatial dimensions for urban and peri-urban land cover classification using Landsat and SAR data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, **117**(2): 72-82.
- [29] La Y, Bagan H, Yamagata Y. Urban land cover mapping under the Local Climate Zone scheme using Sentinel-2 and PALSAR-2 data [J]. *Urban Climate*, 2020, **33**(1): 100661.
- [30] Pedregosa F, Varoquaux G, Gramfort A, et al. Scikit-learn: Machine learning in Python [J]. *Journal of Machine Learning Research*, 2011, **12**(2): 2825-2830.
- [31] Breiman L. Random forests [J]. *Machine learning*, 2001, **45**(1): 5-32.
- [32] Breiman L. Bagging predictors [J]. *Machine learning*, 1996, **24**(2): 123-140.
- [33] Wolpert D H, Macready W G. An efficient method to estimate bagging's generalization error [J]. *Machine Learning*, 1999, **35**(1): 41-55.