

基于Sentinel-2遥感影像的植被覆盖度反演及变化分析 ——以上海市奉贤区为例

Inversion and Change Analysis of Vegetation Coverage Based on Sentinel-2 Remote Sensing Image —A Case Study of Fengxian District, Shanghai

杜俊翰 郭慧婷 王 雪 谭 琨*
DU Junhan GUO Huiting WANG Xue TAN Kun*

文章编号: 1000-0283 (2020) 11-0021-07

DOI: 10.12193/j.laig.2020.11.0021.004

中图分类号: TU986

文献标识码: A

收稿日期: 2020-09-10

摘要

植被覆盖度可以较好反映一个地区的植被生长状况,是衡量地面植被生长特征的一个重要指标。本文通过研究2017-2020年间上海市奉贤区的Sentinel-2遥感数据,利用归一化植被指数(NDVI)以及像元二分模型对该区域内植被覆盖度进行估算,并对植被覆盖度和相应的景观格局指数的变化进行了分析。结果表明,2017-2020年间奉贤区植被覆盖度呈现较为明显的变化,低等级植被覆盖度区域面积增加,高等级植被覆盖度区域面积减少,植被覆盖度总体呈减少趋势。

关键词

遥感; NDVI; 像元二分模型; 植被覆盖度

Abstract

Vegetation coverage can well reflect vegetation's growth status in an area and is an important indicator to measure the growth characteristics of ground vegetation. Based on the Sentinel-2 remote sensing data of Fengxian District, Shanghai from 2017 to 2020, this paper used a normalized vegetation index (NDVI) and the binary pixel model to estimate the vegetation coverage area. Moreover, it analyzed the changes in vegetation coverage and the corresponding landscape pattern index. The results showed that the vegetation coverage of Fengxian District had changed significantly from 2017 to 2020. The low-grade vegetation coverage area increased, while the size of high-level vegetation coverage decreased, and the vegetation coverage generally showed a decreasing trend.

Key words

remote sensing; NDVI; binary pixel model; vegetation coverage

杜俊翰

1997年生/男/四川南充人/华东师范大学地理科学学院硕士在读/研究方向为遥感数据信息提取与分析(上海200241)

郭慧婷

1997年生/女/河南三门峡人/华东师范大学河口海岸学国家重点实验室硕士在读/研究方向为遥感与地理信息系统(上海200241)

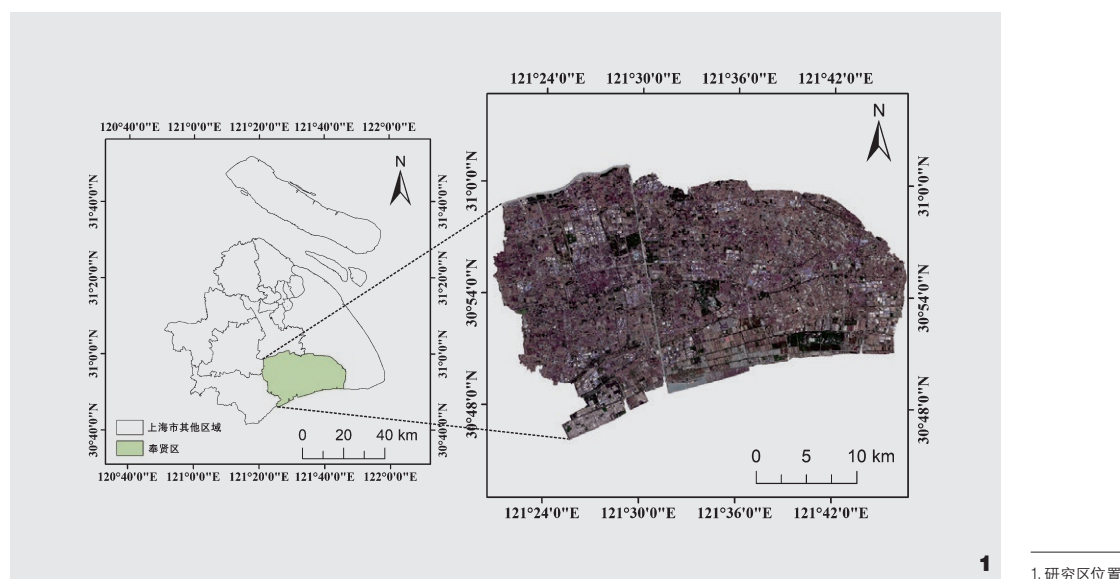
谭 琨

1981年生/男/湖南衡阳人/华东师范大学地理科学学院教授/研究方向为环境遥感和地学应用(上海200241)

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: tankuncu@126.com

植被在地球生态系统中有着极其重要的作用,是生态系统中最为基础的组成成分之一。植被的生长情况可以由很多指标来反映,其中植被覆盖度是指植被在地面垂直投影的面积占区域总面积的百分比^[1]。近年来,随着城镇化进程的加快,城市中的生态系统的组成成分发生了显著变化。上海作为我国最大的城市之一,其城镇化水平较高,城市的扩张导致植被发生变化。作为表示地表植被生长情况的重要指标之一,植被覆盖度对于研究城市扩张过程中的生态环境变化具有重要的意义。

植被覆盖度的研究主要有两种方法:一是地面实测法,二是遥感监测法^[1]。遥感技术由于其便捷、实时、覆盖范围大的特性被越来越多地运用到植



被的监测中。在利用遥感影像进行植被覆盖度反演的众多方法中,使用最为广泛的是利用NDVI数据和像元二分法估算地区的植被覆盖度。郭芬芬^[2]等人基于Landsat TM数据计算NDVI,利用像元二分法对四川省郫都县进行了植被覆盖度的估算,再根据野外实测的数据证明了像元二分估算植被覆盖度的方法具有较高的精度。基于此方法,前人已对中国不同区域的植被覆盖度时空变化规律开展了一系列研究。陆荫^[3]等人基于2000–2018年的MODIS NDVI数据和相应的气象数据,分析了植被覆盖度的变化情况以及不同程度的降水量对植被覆盖度的影响。赵明伟^[4]等人通过2001–2015年MODIS NDVI数据,得到了华北、东北、东南沿海等地植被覆盖度的主要影响因素。齐亚霄^[5]等人利用MODIS NDVI数据和DEM数据,对天山北坡的植被覆盖度稳定性和植被覆盖度随海拔的变化进行了分析。张斯琦等人^[6]结合了MODIS NDVI数据、DEM和气象数据,对柴达木盆地植被覆盖度时空变化特征进行分析,并探讨了植被覆盖度与降水、温度、海拔、蒸散量等环境因子的关系。

根据已有的研究成果,可以看出目前国内学者对于植被覆盖以及相应的变化分析的研究区域主要集中在中西部地区,对于上海这样的特大城市的研究较少,而且采用的数据源通常是MODIS NDVI产品(空间分辨率为250 m)或Landsat TM/OLI影像(空

间分辨率为30 m)。MODIS数据因其较低的空间分辨率适合较大范围区域的长时间序列的研究,而Landsat数据则适用于城市级、区县级的研究区域,相比之下,Sentinel-2 MSI数据分辨率更高,能够得到更加精细的反演结果。因此,本文基于Sentinel-2 MSI数据,利用像元二分法对上海市奉贤区2017–2020年间的植被覆盖度进行了估算,并分析其时空变化格局,为上海市植被生长状况和生态环境的研究提供参考。

1 研究区域概况

上海市奉贤区位于上海市南部(图1),地理坐标范围为东经 $121^{\circ} 21' - 121^{\circ} 46'$,北纬 $30^{\circ} 47' - 31^{\circ} 01'$ 。东与浦东新区相邻,西与松江区和金山区接壤,南临杭州湾,北与闵行区隔黄浦江相望。全区面积共 720.44 km^2 ,常住人口115.53万人。奉贤区内地势平坦,属于长江三角洲冲积平原。气候类型属于亚热带季风气候,常年平均气温为 16.1°C ,降雨量为 $1\,191.5 \text{ mm}$,主要地物类型包括耕地、林地、居民区、裸土等常见的土地利用类型。上海市城市总体规划(2016–2040)将奉贤新城定义为上海市五大新城之一,奉贤区也在近几年加快了建设的步伐,向着“低碳、智慧、生态、宜居”的发展目标迈进^[7]。因此,研究植被覆盖变化情况可为奉贤区的生态建设提供重要的参考依据。

2 研究数据及方法

2.1 数据来源与预处理

Sentinel系列卫星是由欧洲航空局 (ESA) 负责研发, 携带了一枚多光谱成像仪, 提供的数据包含了可见光、近红外、短波红外范围的13个波段, 根据波段的不同, 空间分辨率分别为10 m、20 m、60 m。相比于Landsat TMOLI数据, Sentinel-2影像拥有更高的空间分辨率和光谱分辨率, 可以更好地为城市局部区域的植被分布研究提供可靠的数据支持。本文所采用四期影像数据从欧空局SciHub网站 (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) 下载, 影像的获取时间分别为2017年4月29日、2018年5月11日、2019年5月11日、2020年5月13日 (表1)。

下载的原始数据为L1C级大气表观反射率产品。本文使用ESA提供的Sen2Cor插件进行大气校正, 将L1C级产品转化为L2A级。在SNAP软件中加载Sentinel数据并导出空间分辨率为10 m的红、绿、蓝和近红外四个波段。在ENVI5.3中完成影像裁剪、配准等操作。

2.2 研究方法

2.2.1 NDVI计算

遥感影像提供了地物丰富的光谱信息, 而植被对某些波段较为敏感, 利用植被的这个特性将不同波段通过差值和比值等方式组合在一起形成了植被指数^[8]。本文采用了归一化植被指

数 (NDVI) 用于反演植被覆盖度, NDVI的计算公式为:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

其中, NIR和RED分别表示近红外波段和红光波段的反射率。NDVI取值范围是[-1, 1]。NDVI小于0表示地面覆盖有水体、雪等对可见光反射率较高的地物, NDVI等于0表示地物为裸土或岩石, NDVI大于0表示有植被覆盖, 且数值越接近于1植被的含量越大。

2.2.2 植被覆盖度的计算及等级划分

像元分解模型是估算植被覆盖度的方法之一, 其中像元二分模型是常见的一种线性像元分解模型。假定一个像元里的信息由绿色植被信息和非植被信息 (裸土) 组成^[9-11], 每个像元的NDVI值可以看作植被覆盖部分的NDVI值和非植被的NDVI值的加权平均值, 即:

$$NDVI = NDVI_{veg} + NDVI_{soil} \quad (2)$$

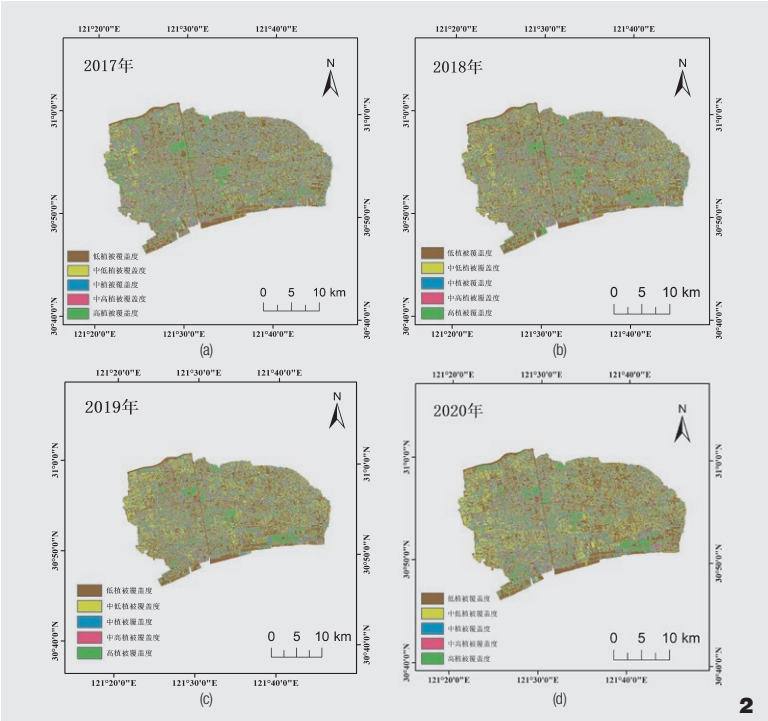
根据公式 (2), 可以得出像元二分法估算植被覆盖度的公式如下:

$$f = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (3)$$

其中f表示植被覆盖度, $NDVI_{veg}$ 表示纯植被覆盖像元的NDVI值, 理论上应接近于1, $NDVI_{soil}$ 表示裸土覆盖像元的NDVI值,

表1 Sentinel-2各波段信息

波段号	波段名	中心波长 (μm)	波长范围 (μm)	空间分辨率 (m)
1	Coastal aerosol	0.443	0.430-0.457	60
2	Blue	0.490	0.440-0.538	10
3	Green	0.560	0.537-0.582	10
4	Red	0.665	0.646-0.684	10
5	Vegetation Red Edge	0.705	0.694-0.713	20
6	Vegetation Red Edge	0.740	0.731-0.749	20
7	Vegetation Red Edge	0.783	0.769-0.797	20
8	NIR	0.842	0.760-0.908	10
8a	Vegetation Red Edge	0.865	0.848-0.881	20
9	Water vapour	0.945	0.932-0.958	60
10	SWIR Cirrus	1.375	1.337-1.412	60
11	SWIR	1.610	1.539-1.682	20
12	SWIR	2.190	2.078-2.320	20



2. 2017–2020年植被覆盖度等级图

理论上应接近于0。由于遥感影像中不可避免地存在噪声影响,NDVI值可能会过高或过低,需要取一定置信区间内的最大最小值^[10]。参考之前研究者关于NDVI阈值的选取方式^[12-16],通过分析NDVI数据,对每年影像的NDVI值进行统计,取NDVI值累积分布频率95%和5%的NDVI值分别作为 $NDVI_{veg}$ 、 $NDVI_{soil}$ 的值。当像元的NDVI值小于 $NDVI_{soil}$ 时,认为该像元完全由裸地和其他非植被成分组成,当像元的NDVI值大于 $NDVI_{veg}$ 时,认为该像元完全由植被组成。根据已有的研究对植被覆盖度等级的划分^[3-5],将植被覆盖度划分为五个等级:低植被覆盖度(0–0.2)、中低植被覆盖度(0.2–0.4)、中植被覆盖度(0.4–0.6)、中高植被覆盖度(0.6–0.8)、高植被覆盖度(0.8–1.0)。表2列出了根据上述统计方法计算得到的2017年至2020年的 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 。

2.2.3 景观指数计算

景观格局指数能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面的结构差异,也可以用来定量描述和

监测景观空间结构随时间的变化^[17]。通过计算不同植被覆盖度等级的斑块类型指数,分析不同植被斑块类型的破碎程度,能够定量解析研究区景观格局的变化情况。

根据研究目的,选取了斑块密度(Patch Density)、景观形状指数(Landscape Shape Index)、散布与并列指数(Interspersion Juxtaposition Index)、聚集度指数(Aggregation Index)4个常用景观格局指数,将植被覆盖度分级图导入Fragstats 4.2景观格局分析软件进行计算。各指数含义如表3所示。

3 结果分析

3.1 植被覆盖度的空间分布格局

对2017–2020年植被覆盖度数据(图2)进行分析,可以发现不同年份的植被覆盖度分布有一定的规律性。整体来说,奉贤区东北部区域植被覆盖度整体较低,中部和西北、西南地区植被覆盖度较高。

低植被覆盖度的区域主要分布在南部沿海地带。另外,奉

表2 不同年份的NDVI_{soil}和NDVI_{veg}

年份	2017	2018	2019	2020
NDVI _{soil}	-0.004091	-0.008510	0.049397	0.022380
NDVI _{veg}	0.694172	0.750681	0.611830	0.653110

表3 景观格局指数含义

名称	公式	描述
斑块密度 (PD)	$PD = N / A$	描述景观破碎度，其值越大，景观破碎化程度越高
景观形状指数 (LSI)	$LSI = \frac{0.25E}{A}$	反映斑块形状复杂程度
散布与并列指数 (IJI)	$\frac{-\sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n [(\frac{e_{ik}}{E}) \cdot \ln(\frac{e_{ik}}{E})]}{\ln(0.5[n(n-1)])} \times 100\%$	反映各个斑块类型间的总体散布与并列状况
聚集度指数 (AI)	$AI = 2\ln(n) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij})$	反应景观中不同类型斑块的非随机性或者聚集程度

表4 各年份平均植被覆盖度

年份	2017	2018	2019	2020
平均植被覆盖度	0.4627	0.4370	0.4255	0.4245

表5 各年份各级植被覆盖度面积 (km²) 及百分比 (%)

年份	低		中低		中		中高		高	
	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例
2017	158.03	21.91%	177.17	24.57	149.97	20.80	117.66	16.32	118.30	16.41
2018	182.97	25.37	186.86	25.91	138.22	19.17	105.12	14.58	107.93	14.97
2019	181.24	25.13	206.71	28.67	136.41	18.92	95.49	13.24	101.27	14.04
2020	180.94	25.09	211.29	29.30	132.92	18.43	93.36	12.95	102.61	14.23

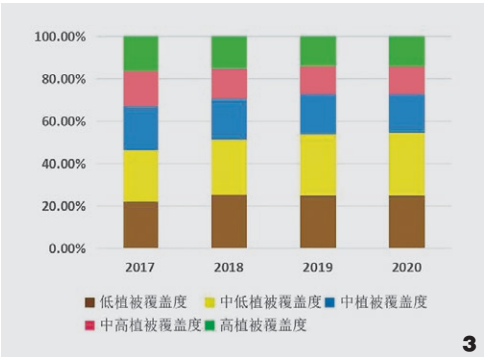
贤区内有较多的工业园区分布，工业园区周围植被覆盖度也较低。居民住宅区的植被覆盖度以中等级和中高等级为主。植被覆盖度高的地区主要分布在各类风景区和森林公园，尤其是奉贤申隆生态园和上海海湾国家森林公园周围高植被覆盖度区域面积最大。中等级及以下的植被覆盖度占比较大，尤其是中低等级植被覆盖度 (0.2–0.4) 占比最大，中高和高等级植被覆盖度的区域面积占比都相对较小。

3.2 植被覆盖度的年际变化分析

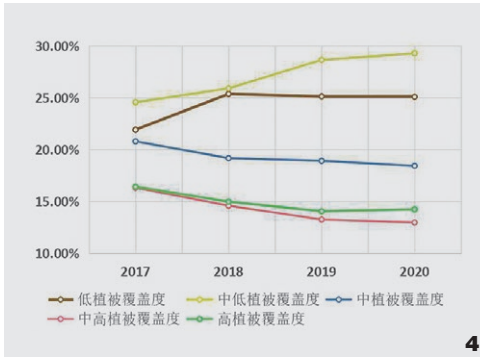
对比 2017–2020 各年份的植被覆盖度数据的统计结果 (表 4) 可以看出，从 2017 年到 2020 年奉贤区的植被覆盖度等级发生了较为明显的变化。如表 5 所示，2017 年与 2020 年的植被覆盖度数据相比，低植被覆盖度的区域面积增加了 22.91 km²，中

低植被覆盖度的区域面积增加了 34.12 km²，中植被覆盖度的区域面积减少了 17.05 km²，中高植被覆盖度的区域面积减少了 24.30 km²，高植被覆盖度的区域面积减少了 15.69 km²。平均植被覆盖度也从 2017 年的 0.4627 下降到了 2020 年的 0.4245。这表明奉贤区内的植被覆盖具有明显的减少趋势，同时大量中高等级以上植被覆盖度区域转化为中低植被覆盖度区域。

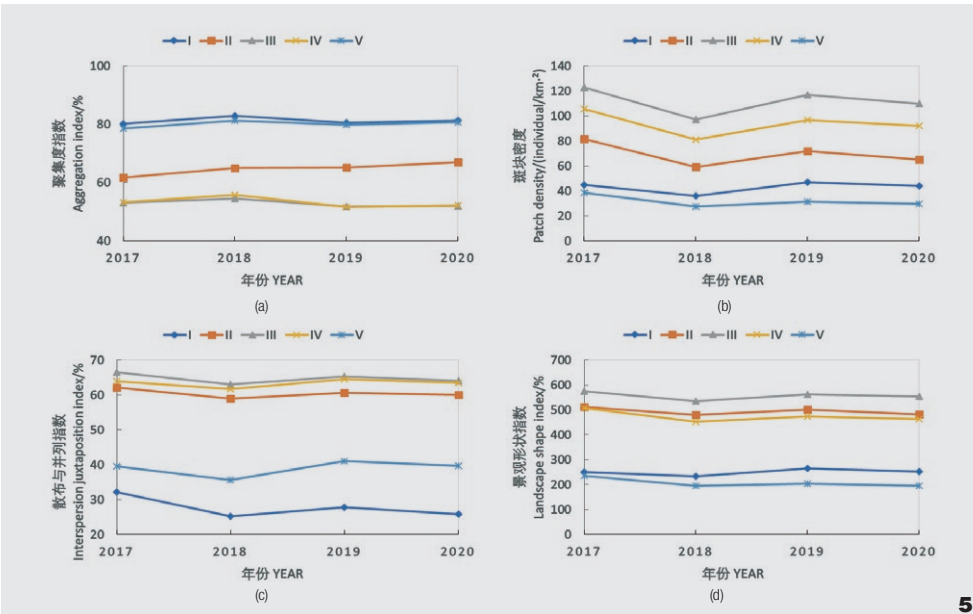
但考虑到 2017 年的影像获取时间为 4 月 29 日，而 2020 年的影像获取时间为 5 月 13 日，两者在同一年内的获取时间相差 15 天，会出现一些因植被生长周期的不同导致的植被覆盖度的差异。对比 2018 年、2019 年、2020 年的植被覆盖度数据，其获取时间分别为 5 月 11 日、5 月 11 日和 5 月 13 日，三者最大相差仅 2 天，基本上可以消除因季节不同导致的植被覆盖度的变化。从表 5 可以看出，2020 年相较 2018 年虽然低植被覆盖度



3



4



5

3. 2017-2020年各等级植被被覆盖度占比图
4. 2017-2020年各等级植被被覆盖度占比变化图
5. 各等级植被被覆盖度景观格局变化图

区域的面积减少了2.03 km²，但中低植被被覆盖度区域的面积增加较多，为24.43 km²。中高植被被覆盖度区域和高植被被覆盖度区域面积也有所减少，减少量分别为11.76 km²和5.32 km²。平均植被被覆盖度从2018年的0.4370减少到2019年的0.4255，再减少到2020年的0.4245。从表5也可以看出有部分中高等级以上植被被覆盖度的区域转化为了中低植被被覆盖度的区域。图3和图4表明了各年份各等级植被被覆盖度占比及其变化情况。

3.3 各等级植被被覆盖度类型景观格局变化分析

根据2.2.3节所选的景观指数，奉贤区不同等级的植被覆

盖度景观格局绘制如图5所示，I表示低植被被覆盖度，II表示中低植被被覆盖度，III表示中植被被覆盖度，IV表示中高植被被覆盖度，V表示高植被被覆盖度。

2017-2020年间，各等级植被被覆盖度斑块密度的大小排列顺序为III>IV>II>I>V，中植被被覆盖度的斑块密度最大，破碎程度高，高植被被覆盖度和低植被被覆盖度的斑块密度最小，破碎程度低。各等级植被被覆盖度斑块密度随时间变化趋势总体一致，均呈现出减少—增多—减少的变化趋势，说明近4年来奉贤区人类活动较为剧烈，对景观格局的干扰程度较大。

2017–2020年,各个等级的LSI值的大小排列顺序为:Ⅲ>Ⅱ>Ⅳ>Ⅰ>Ⅴ,且整体LSI值较高,说明景观破碎化程度高。各等级植被覆盖度斑块密度随时间变化趋势较为平稳。2017–2018年,由于奉贤区发展需要,LSI值略有增加,2018–2019年LSI值略有减少,这可能与奉贤区内的住宅区和工业园区的建设有关。

由LI值可知,2017–2020年中等植被覆盖度景观斑块的混合度最高,交替出现的规律明显;高植被覆盖度和低植被覆盖度的景观破碎化程度低,交替出现的规律不明显。

高植被覆盖度和低植被覆盖度的AI值一直比较高,说明这两个等级的植被覆盖度区域分布较为集中,而其他等级的AI值较低,说明其他等级的植被覆盖度区域分布较为分散。

4 总结

本文基于2017–2020年的Sentinel-2影像数据,利用像元二分法对上海市奉贤区的植被覆盖度进行估算并划分了植被覆盖度等级,分析了植被覆盖度的变化情况。结果表明,奉贤区内的植被覆盖度以中低植被覆盖度为主,高植被覆盖度区域较少,在2017–2020年的植被覆盖度呈减少趋势,同时存在高植被覆盖度区域向中低植被覆盖度区域转化的现象。然而,在进行植被覆盖度估算以及变化分析中仍存在以下不足。

在基于像元二分法的植被覆盖度的估算上, $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soi}$ 的值受到图像质量和置信度区间选取的影响,取值存在不确定性,因而会导致植被覆盖度的估算以及分级具有一定误差。

目前Sentinel-2影像只有从2015年到2020年的数据可供下载,时间跨度较小,相比使用MODIS-NDVI数据的长时间序列的植被覆盖度研究来说,本文所使用的2017–2020年四个年份的时间跨度较小,难以完全反映研究区植被覆盖的长期变化趋势。

本文的结论一定程度上能够反映奉贤区内的植被分布以及变化情况,可以为城市化背景下生态环境的建设提供参考依据。未来的研究工作主要集中于植被覆盖度的变化与相应的影响因子之间的关系,如降水量、气温、人居活动等的影响,以期更好地挖掘植被覆盖度变化,为城市生态建设提供更加精准的数据支持。■

参考文献

- [1] 顾祝军,曾志远. 遥感植被盖度研究[J]. 水土保持研究, 2005(02): 18–21.
- [2] 郭芬芬,范建容,严冬,等. 基于像元二分模型的昌都县植被盖度遥感估算[J]. 中国水土保持, 2010(05): 65–67.
- [3] 陆荫,张强,李晓红,等. 黄河流域甘肃段植被盖度时空变化及对气候因子的响应[J]. 水土保持通报, 2020, 40(02): 232–238.
- [4] 赵明伟,王妮,施慧慧,等. 2001–2015年间我国陆地植被盖度时空变化及驱动力分析[J]. 干旱区地理, 2019, 42(02): 324–331.
- [5] 齐亚霄,张飞,陈瑞,王一山. 2001–2015年天山北坡植被盖度动态变化研究[J]. 生态学报, 2020, 40(11): 3677–3687.
- [6] 张斯琦,陈辉,宋明华,等. 2000–2015年柴达木盆地植被盖度时空变化及其与环境因子的关系[J]. 干旱区地理, 2019, 42(05): 1124–1132.
- [7] 张森. 上海奉贤新城建设与发展回顾[J]. 传播力研究, 2017, 1(10): 235+237.
- [8] 田庆久,闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展, 1998(04): 3–5.
- [9] 程红芳,章文波,陈锋. 植被盖度遥感估算方法研究进展[J]. 国土资源遥感, 2008(01): 13–18.
- [10] 李苗苗. 植被盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(遥感应用研究所), 2003.
- [11] 穆少杰,李建龙,陈奕兆,等. 2001–2010年内蒙古植被盖度时空变化特征[J]. 地理学报, 2012, 67(09): 1255–1268.
- [12] 徐玲玲,延昊,钱拴. 基于MODIS-NDVI的2000–2018年中国北方土地沙化敏感性时空变化[J]. 自然资源学报, 2020, 35(04): 925–936.
- [13] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,周为峰. 密云水库上游植被盖度的遥感估算[J]. 资源科学, 2004(04): 153–159.
- [14] 刘玉安,黄波,程涛,曲乐安. 基于像元二分模型的淮河上游植被盖度遥感研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(01): 93–97+267.
- [15] 郭永强,王乃江,褚晓升,等. 基于Google Earth Engine分析黄土高原植被盖度变化及原因[J]. 中国环境科学, 2019, 39(11): 4804–4811.
- [16] 吴云,曾源,赵炎,等. 基于MODIS数据的海河流域植被盖度估算及动态变化分析[J]. 资源科学, 2010, 32(07): 1417–1424.
- [17] 布仁仓,李秀珍,胡远满,等. 尺度分析对景观格局指标的影响[J]. 应用生态学报, 2003(12): 2181–2186.