

DOI: 10.5846/stxb201903040405

赵琳琳, 张锐, 刘焱序, 朱西存. GF1-WFV 与 Landsat8-OLI 对植被信息的提取差异研究. 生态学报, 2020, 40(10): 3495-3506.

Zhao L L, Zhang R, Liu Y X, Zhu X C. The differences between extracting vegetation information from GF1-WFV and Landsat8-OLI. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(10): 3495-3506.

GF1-WFV 与 Landsat8-OLI 对植被信息的提取差异研究

赵琳琳¹, 张 锐², 刘焱序^{2,*}, 朱西存¹

¹ 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018

² 北京师范大学地理科学学部, 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875

摘要:随着遥感技术的不断发展, 中高分辨率影像逐渐在植被监测中发挥着重要的作用。为了明确高分辨率传感器在不同生态系统植被提取中的必要性, 以内蒙古鄂伦春自治旗为研究对象, 设置城市区域和森林区域两个应用靶区, 以 GF1-WFV 和 Landsat8-OLI 两种传感器同期影像为对比数据集, 探究不同分辨率下遥感植被信息提取差异。结果表明: ① Landsat 8 对比 GF-1 在城市区域和森林区域的植被指数高估、低估状态相反, 城市区域 GF-1 的 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 和 SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI) 均值比 Landsat 8 低 5.69% 和 1.41%, 在森林区域则高出 0.77% 和 5.86%; ② 高分辨率影像避免了城市中绿化植被 (GF-1 植被占比 71.30% 和 71.31%, Landsat 8 为 58.28% 和 58.30%) 和森林中裸地、道路 (GF-1 植被占比 94.97% 和 94.92%, Landsat 8 为 95.00% 和 94.99%) 被漏提。③ 在分级面积上, Landsat 8 相比 GF-1 数据在城市区域存在低覆盖度等级的 6.67% 和 6.77% 低估, 在森林区域出现高覆盖度等级的 12.11% 和 12.47% 高估。研究结果反映了低绿化建成区和高密度林区更加需要使用高分影像作为植被监测工具。

关键词: 高分一号; Landsat 8; 植被指数; 空间分辨率; 城市区域; 森林区域

The differences between extracting vegetation information from GF1-WFV and Landsat8-OLI

ZHAO Linlin¹, ZHANG Rui², LIU Yanxu^{2,*}, ZHU Xicun¹

¹ College of Resources and the Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

² State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: With the development of remote sensing technology, medium and high resolution images are playing an important role in vegetation monitoring. In order to define the advantages of high resolution sensors in extracting vegetation information of different ecosystems, this research select urban and forest as target area in Olunchun autonomous banner, Inner Mongolia. Two kinds of sensor images, GF1-WFV and Landsat8-OLI, were used as comparison dataset to explore the difference of vegetation extracting using different spatial resolution in these two ecosystems. The results showed that: (1) compared with GF-1, Landsat 8 showed opposite overestimation and underestimation of its vegetation index in urban areas and forest areas, while the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Soil-adjusted Vegetation (SAVI) of GF-1 in urban areas were 5.69% and 1.41% higher than that of Landsat 8, and 0.77% and 5.86% lower in forest areas. (2) High-resolution images avoided the green vegetation of urban (71.30% and 71.31% of GF-1 vegetation, 58.28% and

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFA0604701); 国家自然科学基金项目 (41771197); 国家级大学生创新创业训练项目 (S201910434064)

收稿日期: 2019-03-04; **网络出版日期:** 2020-04-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yanxuli@bnu.edu.cn

58.30% of Landsat 8) and bare land and roads of forest (94.97% and 94.92% of GF-1 vegetation, 95.00% and 94.99% of Landsat 8) were omitted. (3) In terms of graded area, compared with GF-1, Landsat 8 underestimates 6.67% and 6.77% of low coverage levels in urban areas, and overestimates 12.11% and 12.47% of high coverage levels in forest areas. This research reflects it is more necessary to use high-resolution images as vegetation monitoring tools in low green built-up areas and high density forest areas.

Key Words: GF-1; Landsat 8; vegetation index; spatial resolution; urban area; forest area

植被是全球生态系统的重要组成部分,了解植被覆盖对全球变化调节和生态平衡的维持有着重要作用^[1-3]。近年来,随着美国 Landsat 等一系列卫星的发射,遥感技术成为植被信息实时快速提取的重要手段^[4-6]。但是,不同生态系统地物斑块的大小、距离、形状和分布不同,并往往展现在高于 30 m 分辨率的空间格局上,使得基于 Landsat 卫星 30 m 分辨率植被提取结果相比其他数据源存在一定的高估或者低估现象^[7],进而可能影响目前很多中尺度影像研究结论^[8]。

随着高分辨率遥感和多源卫星数据的发展,针对高分辨率影像和 Landsat 数据的植被信息提取研究在不同生态系统中展开:Qian 等^[9]在城市绿地生态系统中,将 Landsat TM 数据和 SPOT 以及 ALOS 数据进行对比,发现相比高空间分辨率影像,中等空间分辨率的 Landsat TM 会导致城市生态系统中植被信息面积被低估;Fisher 等^[10]在森林植被提取中对比了 Digital Globe Quickbird 0.6 m 影像、Worldview 2 m 影像,以及 Landsat TM 影像,指出 TM 影像的空间分辨率难以精确提取森林边缘的部分图斑,在矿区修复区的植被监测也得到相同的结论^[11];在草地和稀疏沙漠植被信息提取中,部分研究中指出 Landsat TM 或者 Landsat-OLI 在评估植被信息时存在误差,30 m 空间分辨率下植被信息提取存在高估,并且随着空间分辨率的减小误差呈增加趋势^[12-13]。对于地物结构相对复杂的小尺度区域农作物信息提取或者城市土地利用分类,发现相比 Sentinel-2A 数据,Landsat-OLI 的植被信息提取效果有少许欠缺^[14-16]。以上研究都表明在植被信息监测中高分辨率影像有更好的表现性能,Landsat 数据提取结果存在一定程度的过多或者过少估计。但是,部分研究则持有其他观点:Korhonen 等^[17]在森林生物物理量研究中对比了 Sentinel-2A 和 Landsat-OLI 的反演效果,发现不使用 Sentinel-2A 的红边波段时两者的提取结果没有明显差异;Xu 和 Zhang^[18]的研究中表明 Landsat-OLI 和 ASTER 数据在森林、水稻和草地植被监测中的表现能力基本接近;部分荒漠绿洲过渡带的相关研究中表明 GF-1 的植被提取效果比 Landsat-OLI 仅表现出很轻微的优势^[19]。并且,有研究表明高分影像尽管包含更多的地物信息,但是在构建植被指数时波段和波谱范围的影响大于空间分辨率,Landsat-OLI 具有更好的植被识别能力^[20]。那么,在植被信息的遥感监测中,普遍使用的 Landsat 影像相比其他多源高分辨率遥感数据,其植被信息提取结果是与之基本一致,还是存在明显高估或者低估?同时,这种可能存在的提取效果差异在不同生态系统中是否呈现表现相同?

随着中国高分辨率对地观测目标的推进,高分系列卫星已在资源环境调查中取得一定的应用^[21-22]。相比 Landsat 系列卫星,高分数据具备更高的空间分辨率,这将使得中等分辨率下的不可分的地物被清晰识别,降低感兴趣区信息提取中的“边界效应”^[14,17],有望提高植被监测性能。同时,不同生态系统中地物的形状、大小、空间结构等都不相同,而这些因素是遥感信息提取的重要影响因子^[23],这可能导致相同空间分辨率的影像在不同区域或生态系统中有不同的表现性能。为此,本研究设置一个包含城市区域和森林区域的对比实验,进行 GF-1 与 Landsat-OLI 数据植被提取效果对比,明晰两者结果规律和在不同生态系统中的表现,以为多源遥感数据时空融合和多尺度生态遥感应用提供支撑。

1 研究区概况及预处理

1.1 研究区概况

鄂伦春自治旗位于呼伦贝尔市东北部,大兴安岭南麓,嫩江西岸,东经 121°55′—126°10′,北纬 48°50′—

51°25′之间,属寒温带半湿润大陆性季风气候,森林茂密,四季变化显著(图 1)。本文选取鄂伦春自治旗城区与北部森林区域为典型靶区,探究在不同生态系统类型下两种空间分辨率影像对植被信息的提取能力,两个研究区均没有水体像元,避免了无意义植被指数值对统计结果的干扰。

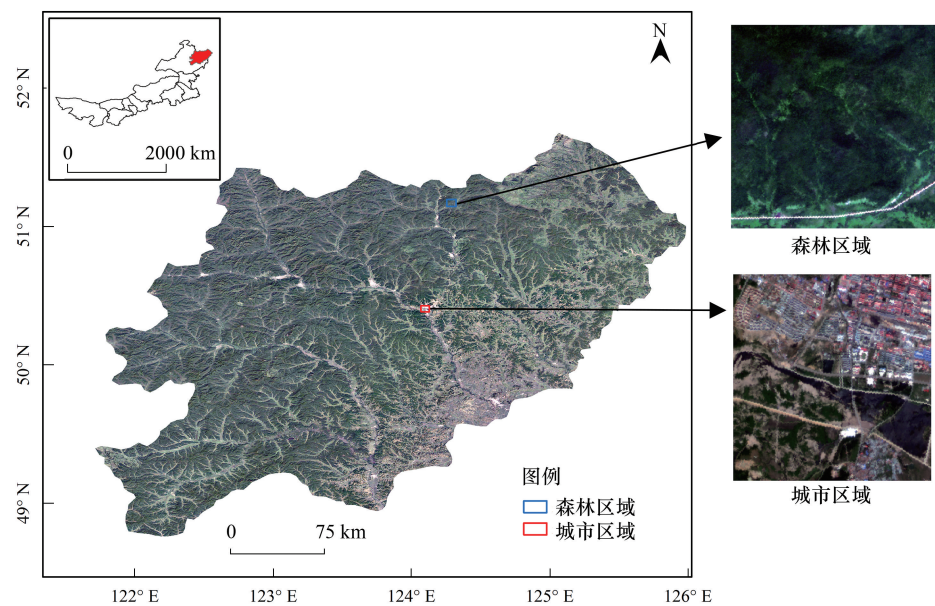


图 1 研究区地理位置

Fig.1 Geographical location of the study area

1.2 数据源

GF-1 于 2013 年 4 月在酒泉卫星发射中心成功发射,它是我国对地观测系统的第一颗高分辨率卫星,搭载 2 个 PMS 高分辨率和 4 个 WFV 宽幅传感器,具有空间分辨率高、覆盖范围广、重视频率高的特点^[24]。Landsat 8 太阳同步近极地圆轨道卫星由美国航空航天局(NASA)于 2013 年 2 月 11 日成功发射,重访周期 16 天,搭载 OLI 陆地成像仪和 TIRS 热红外传感器^[25]。本研究使用 16 m 的 GF-1 WFV 数据和 30 m 的 Landsat 8 OLI 数据,实验数据源信息见表 1,所选取影像均为净空条件,大气条件较好。

表 1 数据源信息

Table 1 Data source information

卫星 Satellite	传感器 Sensor	分辨率 Resolution	影像获取时间 Image acquisition time	条带号 Stripe number	来源 Source
GF-1	WFV3	16 m	2017-07-04	12/69	http://www.cresda.com/CN/
Landsat 8	OLI	30 m	2017-07-05	120/25	http://glovis.usgs.gov/

1.3 数据预处理

GF-1 和 Landsat-OLI 数据预处理在 ENVI 5.3 平台上完成。包括 RPC(Rational Polynomial Coefficient)正射校正、辐射校正、配准和裁剪。其中,GF-1 数据绝对定标系数从中国资源卫星应用中心(<http://www.cresda.com/CN/Downloads/dbcs/>)获取,GF-1 和 Landsat8-OLI 大气校正选用 FLAASH(Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes)大气校正模块下的 MODTRAN 辐射传输模型,其中 GF-1 号的光谱响应波谱使用从中国资源卫星应用中心下载的光谱响应数据制作。

2 研究方法

2.1 遥感植被指数选取

植被指数是植被信息提取的重要指标之一,归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 及其系列指数都有良好的表现能力。本研究选取归一化植被指数和土壤调节植被指数 (Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI) 进行植被信息提取。

(1) 归一化植被指数

归一化植被指数 (NDVI) 是目前应用最广泛的植被指数之一,是植被生长状态以及植被空间分布密度的最佳指示因子^[26-27]。NDVI 的比值范围一般在 $[-1, 1]$ 之间,随植被覆盖程度的提升而增大,其计算公式为:

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

式中, DN_{NIR} 即本研究区 GF-1 影像的第 4 波段和 Landsat-OLI 的第 5 波段, DN_{RED} 代表红色波段, 即本研究中 GF-1 影像的第 3 波段和 Landsat-OLI 影像的第 4 波段。

(2) 土壤调节植被指数

土壤调节植被指数 (SAVI) 考虑了土壤背景干扰的影响,可有效降低土壤背景变化对 NDVI 的影响,在一定程度上避免 NDVI 在高密度植被区域的饱和现象^[28-29],SAVI 的范围一般在 $[-1, 1]$ 之间,随植被覆盖程度的提升而增大,其计算公式为:

$$SAVI = \frac{(DN_{NIR} - DN_{RED}) \times (1 + L)}{(DN_{NIR} + DN_{RED} + L)} \quad (2)$$

式中, DN_{NIR} 与 DN_{RED} 代表波段与 NDVI 计算公式相同, L 为土壤亮度植被指数,其取值大小取决于植被密度, Huete^[30] 建议 L 的最佳值为 0.5,也可以在 0—1 之间变化^[31],本研究选取最佳值 0.5 作为 L 值。

2.2 植被覆盖度提取

植被覆盖度 (Vegetation Cover, VC) 为观测区域内植被垂直投影面积占地表面积的百分比,是指示生态环境变化的重要指标之一^[32]。关于植被覆盖度常用的遥感估算方法有经验模型法、植被指数法和混合像元分解法等^[33],其中,像元二分模型被普遍使用^[34-35],其原理假设每个像元都可以分成纯植被和纯土壤 2 个部分,所得的光谱信息即是绿色植被组分贡献的信息和土壤组分贡献信息的总和,植被覆盖度表示为:

$$VC = \frac{S - S_{soil}}{S_{veg} - S_{soil}} \quad (3)$$

式中, S 代表各个像元的植被指数, S_{soil} 代表纯土壤,即全裸土覆盖地区的植被指数值, S_{veg} 代表纯植被覆盖像元的植被指数。为保证取到集合 NDVI 的最大值与最小值,避免图像噪声影响产生过高或过低的 NDVI 值,本实验取 95% 置信区间内植被指数的最大值和最小值来代替纯植被和全裸土覆盖地区植被指数值^[36]。

植被覆盖度分级能够更好的量化不同区域的植被信息,本文为进一步探究不同分辨率植被信息提取的差异,按照 2008 年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》中所涉及的植被覆盖度分级标准进行了分级,将植被覆盖度划分为 5 个等级: <30% (低植被覆盖度 I)、30%—45% (中低植被覆盖度 II)、45%—60% (中等植被覆盖度 III)、60%—75% (中高植被覆盖度 IV) 和 >75% (高植被覆盖度 V)^[37]。

3 结果分析

3.1 植被指数的描述性统计

植被指数是植被信息提取的重要指标,分别基于 NDVI 和 SAVI 对 2 个研究区域植被信息进行计算,其描述性统计量如表 2 所示。从影像来源来看,GF-1 数据计算的 NDVI 值的标准差分别为 0.287 和 0.045, Landsat 8 的标准差为 0.247 和 0.041,相比 Landsat 8 影像,GF-1 数据具备更加分散的特性,对于图像而言,这将表现

为更具差异的像元属性值,包含了更多的地物信息。从研究区域来看,城市区域两个影像的 NDVI 均值分别为 0.211 和 0.199,Landsat 8 均值比 GF-1 低出 5.69%,SAVI 的均值分别为 0.213 和 0.210,Landsat 8 比 GF-1 低出 1.41%;森林区域两个数据源的 NDVI 均值为 0.648 和 0.653,Landsat 8 比 GF-1 多估计了 0.77%,SAVI 的均值分别为 0.717 和 0.759,Landsat 8 比 GF-1 高出 5.86%。造成这种现象的原因在于 Landsat 8 空间分辨率低于 GF-1,像元粒度较大,而城市内部建筑物密集,地物空间异质性高,导致其中精细的植被信息难以精确获取;同理,森林区域包含了林木、草地、裸地等不同地表覆盖,穿插于林木当中的少量草地或者裸地信息难以精准提取。

表 2 城市和森林区域植被指数描述性统计
Table 2 Statistical parameters of vegetation index in urban and forest areas

统计特征 Statistical characteristic		均值 Mean	标准差 Standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum	极差 Range	均值差异 Mean difference/%
城市区 Urban area	GF1-NDVI	0.211	0.287	0.925	-0.930	1.855	
	Landsat8-NDVI	0.199	0.247	0.714	-0.536	1.249	-5.69%
	GF1-SAVI	0.213	0.290	0.939	-0.946	1.885	
	Landsat8-SAVI	0.210	0.249	0.720	-0.534	1.254	-1.41%
森林区 Forest area	GF1-NDVI	0.648	0.045	0.818	0.136	0.954	
	Landsat8-NDVI	0.653	0.041	0.767	-0.014	0.781	0.77%
	GF1-SAVI	0.717	0.049	0.985	0.148	1.133	
	Landsat8-SAVI	0.759	0.044	0.753	-0.167	0.920	5.86%

GF1-NDVI:高分一号-归一化植被指数(Gaofen1-Normalized Difference Vegetation Index);Landsat8-NDVI:Landsat8-归一化植被指数(Landsat8-Normalized Difference Vegetation Index);GF1-SAVI:高分一号-土壤调节植被指数(Gaofen1-Soil-Adjusted Vegetation Index);Landsat8-SAVI:Landsat8-土壤调节植被指数(Landsat8-Soil-Adjusted Vegetation Index)

3.2 植被覆盖度对比

基于植被指数计算结果,分别提取 2 个研究区的植被覆盖度,不同植被指数计算的植被覆盖度在不同空间尺度中体现相同的规律。在城市区域(图 2),GF-1 两个植被指数的覆盖度范围为 0—93.68%和 0—93.75%,植被像元占比例为 71.30%和 71.31%,Landsat 8 的覆盖度范围为 0—87.94%和 0—87.95%,植被面积比为 58.28%和 58.30%,可见 Landsat 8 提取的植被信息整体偏低。在一些富含精细植被信息的区域,如图中红色框所标示的居民区,建筑物周边有零碎的绿化植被,GF-1 两个指数的植被覆盖度比例为 83.40%和 83.42%,Landsat 8 对应覆盖度范围为 58.28%和 58.25%,植被识别能力相比 GF-1 更低。

森林区域呈现与城市相反的规律(图 3),Landsat 8 覆被图整体偏黄,两个指数的植被覆盖度范围为 0—98.39%和 0—99.87%,最大值高于 GF-1(0—97.95%和 0—97.88%),Landsat 8 提取结果中植被像元比例为 95.00%和 94.99%,整体而言稍高于 GF-1(94.97%和 94.92%)。对于红框典型区域,包含林木、草地和道路,植被像元占比 97.85%和 97.68%,Landsat 8 为 98.82%和 98.51%,GF-1 可以精细的区分出非植被,而 Landsat 8 提取结果中表现为聚集的斑块。导致这种现象的原因可能是低分辨率影像难以捕捉到占比重较少的地物,如城市区域中夹杂在建筑物中间的绿化植被可能难以体现,致使城市区域植被指数估计偏低;而在森林区域,茂密林木中间的草地信息体现较少,低分辨率的植被指数估计偏高。

3.3 植被覆盖度分级

将植被覆盖度进行分级,进一步探究不同分辨率影像在 2 个研究区的植被信息提取中,针对不同植被覆盖等级差异如何,结果见表 3。对于城市研究区域,主要地物为不透水面,部分外围区域绿色植被也较为稀疏,GF-1 和 Landsat 8 的植被覆盖度都集中在低植被覆盖区域,其中两个指数提取的 GF-1 低水平植被覆盖度所占比例都为 60.97%,Landsat 8 低覆盖度植被占整体植被面积比为 67.64%和 67.74%。对于森林区域,地物类型集中在森林和草地,植被覆盖度集中在中等至高水平,其中 GF-1 高水平植被覆盖率比例分别为 25.16%

和 24.79% ,Landsat 8 高水平植被比例为 37.27%和 37.26%。

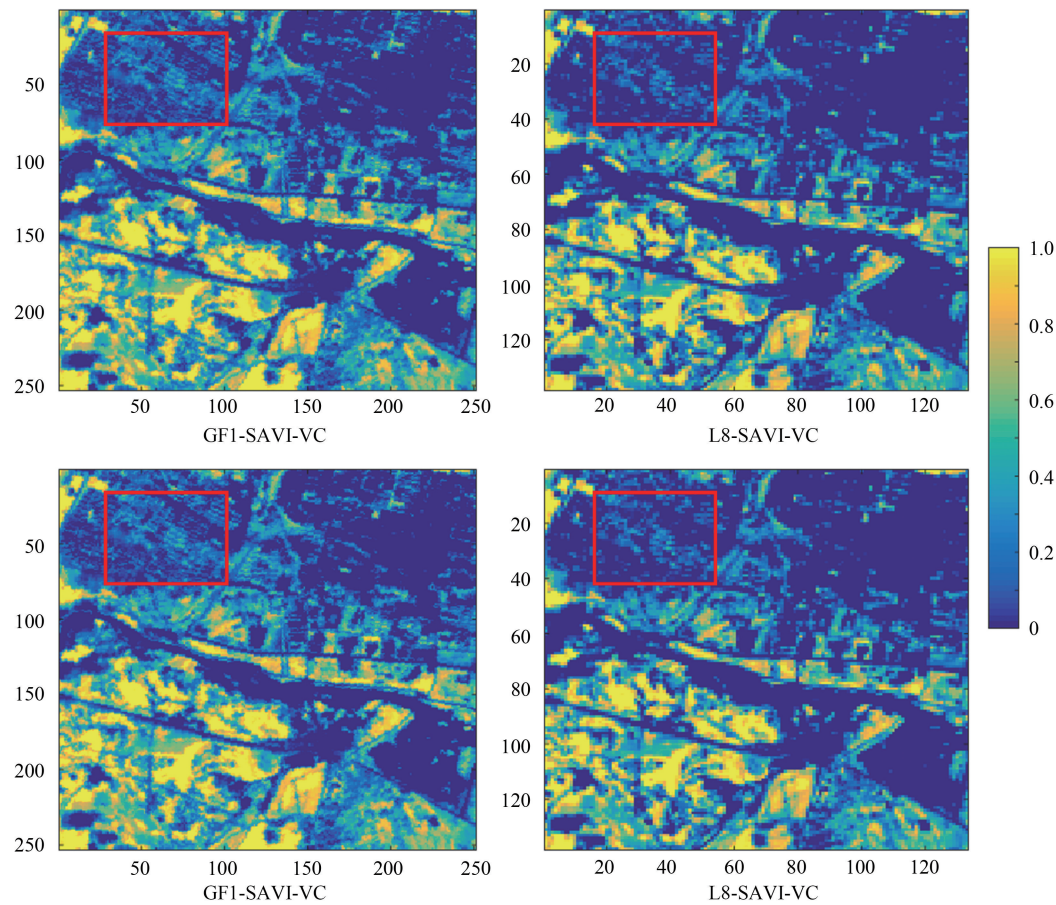


图 2 城市区域下不同分辨率影像提取的植被覆盖度对比

Fig.2 Comparison on the vegetation coverage extracted from different resolution images in urban areas

GF1-NDVI-VC: 高分一号-归一化植被指数-植被覆盖度 (Gaofen1-Normalized Difference Vegetation Index-Vegetation Cover); L8-NDVI-VC: Landsat8-归一化植被指数-植被覆盖度 (Landsat8-Normalized Difference Vegetation Index-Vegetation Cover); GF1-SAVI-VC: 高分一号-土壤调节植被指数-植被覆盖度 (Gaofen1-Soil-Adjusted Vegetation Index-Vegetation Cover); L8-SAVI-VC: Landsat8-土壤调节植被指数-植被覆盖度 (Landsat8-Soil-Adjusted Vegetation Index-Vegetation Cover)

表 3 城市和森林区域植被覆盖度分级比例/%

Table 3 The proportion of vegetation cover classification in urban and forest areas

覆盖度等级 Degree of coverage		城市区 Urban area					森林区 Forest area				
		低	中低	中等	中高	高	低	中低	中等	中高	高
GF-1	VC-NDVI	60.97	10.66	9.24	6.93	12.17	16.24	17.05	22.72	18.83	25.16
	VC-SAVI	60.97	10.67	9.25	6.91	12.19	16.67	17.76	22.46	18.53	24.79
Landsat 8	VC-NDVI	67.64	9.4	7.73	5.31	9.9	4.33	6.84	22.14	29.42	37.27
	VC-SAVI	67.74	9.37	7.77	5.27	9.85	4.33	6.88	22.21	29.32	37.26

VC-NDVI: 植被覆盖度-归一化植被指数 (Vegetation Cover-Normalized Difference Vegetation Index); VC-SAVI: 植被覆盖度-土壤调节植被指数 (Vegetation Cover-Soil-Adjusted Vegetation Index)

为更好的体现不同分辨率下分级比例的差异性,以 GF-1 所提取出的植被覆盖度分级状况作为基准值,将 Landsat 8 各个覆被级别比例与其作差得到水平距平图,结果如图 4 所示,从生态系统类型的差异来看,森林区域比城市区域植被覆盖度提取效果差异更大。同时,2 个数据源在不同研究区域的差异趋势也不同。在城市区域,低植被覆盖水平的差异最大,NDVI 和 SAVI 提取的覆被差异分别为 6.67%和 6.77%,从中低到高水

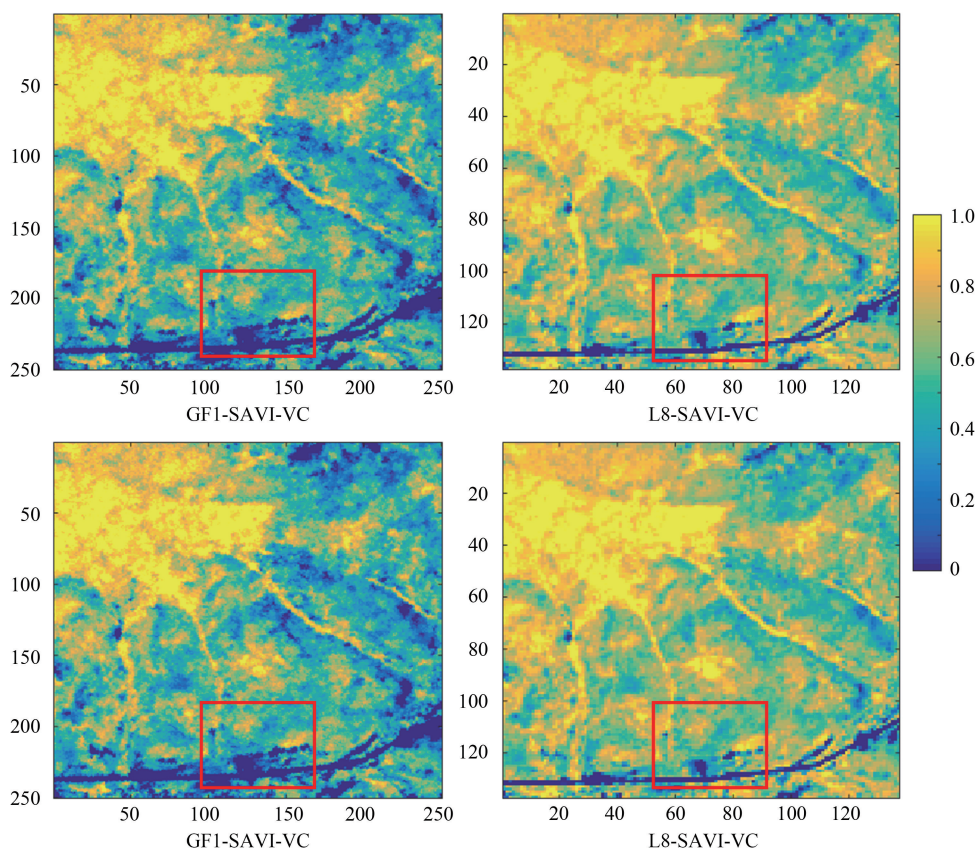


图3 森林区域下不同分辨率影像提取的植被覆盖度对比/%

Fig.3 Comparison on the vegetation coverage extracted from different resolution images in forest areas

平的植被覆盖差异较小,不超过 2.34%。可见,在城市区域,空间分辨率较低的 Landsat 8 数据与 GF-1 提取植被时的最大差异体现在低植被覆盖区域,从 VC-NDVI 图中可以看出低水平的差异为其他 4 个水平的差异之和。对于林区,低和高覆被水平下两个数据源的差异都较大,在低覆盖水平,两个指数提取差异分别为 11.91%和 12.34%,高覆盖水平下分别为 12.11%和 12.47%,相比较而言,较高覆盖等级的差异更大,中高和高水平的差异之和等于从低到中等 3 个分级水平的差异之和。

上述现象是影像空间分辨率差异的直接体现。城市中的植被较为稀疏和分散,在低空间分辨率影像中更易形成混合像元,当该像元的植被信息所占比例(丰度)低于其他信息时,基于光谱指数求取植被覆盖度的过程中会将它判定为较低覆盖等级,进而致使较低空间分辨率的 Landsat 8 相比 GF-1,会导致低覆被信息的过高估计。同样,在森林区域中,当不同覆被等级和高覆盖植被混合时,如果混合像元中高覆盖占丰度较大,会致使较低空间分辨率的影像中,高覆盖等级信息高估。因此,不同生态系统对高分辨率影像的监测需求有较大的分异性。

4 讨论

高空间分辨率影像具备精细植被提取能力。GF-1 在城市区域,能够从密集建筑物中识别出零散分布的绿化植被,在森林区域中从林木和草地中分离出穿插其中的道路和裸地。为了保证结论的可靠性,以 NDVI 为例,在研究区域内选择出其他 2 对对比数据集,植被覆盖度提取效果如图 5 所示。结果表明,植被信息提取规律一致,低绿化建成区和高密度林区需要使用高分影像作为植被监测工具。这与其他一些城市绿地生态系统^[9,38]、森林区域^[13]、高山植被区^[39]、沙漠植被区^[12]的研究结论相同。这种优势主要由空间分辨率引起,由

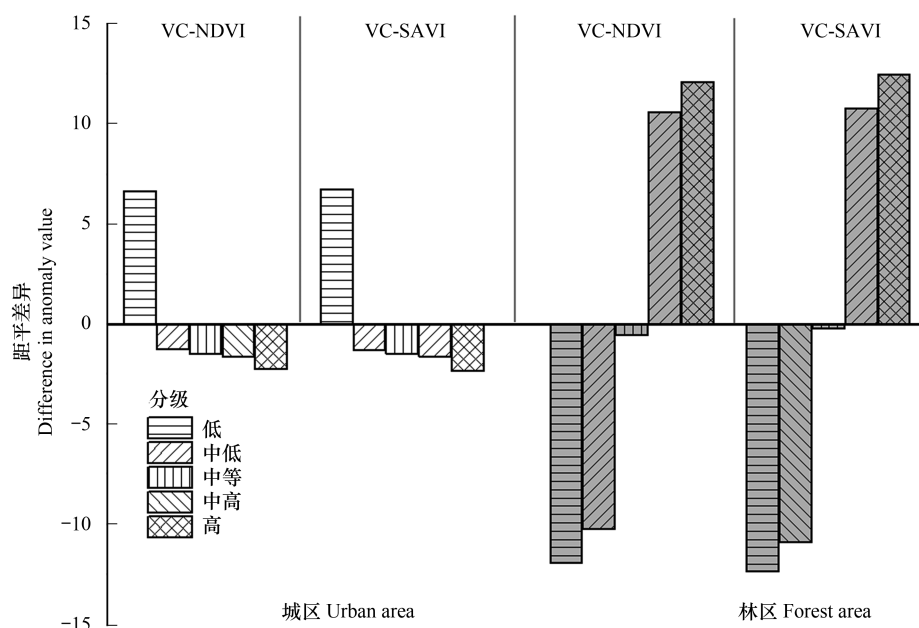


图4 不同区域植被覆盖度分级比例差异

Fig.4 The porpotion difference of vegetation cover classification proportion in difference areas

VC-NDVI: 植被覆盖度-归一化植被指数 (Vegetation Cover-Normalized Difference Vegetation Index); VC-SAVI: 植被覆盖度-土壤调节植被指数 (Vegetation Cover-Soil-Adjusted Vegetation Index)

于地物都是连续自然体,因此在地物的类型、同种地物的分布密度,都在地理空间中连续变化,对于高空间分辨率影像而言,相邻像元间的属性值差异较小,而低空间分辨率影像由于相邻像元的覆盖面积大,因此包含了更多属性存在空间差异的地物,致使精细地物提取困难。但是, Xu 等^[18] 在研究中表明 Landsat ETM+ 和 ASTER 具备相似的森林植被提取能力,造成这种结果的主要原因可能是地物的结构信息不同所致。本研究中,城市区域建筑物和绿化植被交错,森林区域明显的山体、植被类型丰富,两个研究区的图像都空间结构复杂,地物的空间异质性较高,而前人研究区域呈现均匀的树木覆盖。

研究结果中 GF-1 和 Landsat 8 的植被指数存在明显差异。GF-1 城市区域的植被指数均值大于 Landsat 8,森林区域均值小于 Landsat 8,并导致植被覆盖度提取效果的不同,证明了本研究假设。基于光谱信息提取植被覆盖度时,除了空间分辨率外,不同传感器的波谱设置差异会影响对地物反射信息的响应。GF1-WFV 和 Landsat8-OLI 的波谱响应函数如图 6 所示,在红光波段,GF1-WFV 可能会包含少量的微弱红边 (680—750 nm 或 680—780 nm) 信息;近红外波段,Landsat8-OLI 波段宽度窄,独立性高,GF1-WFV 波段设置较宽,也可能会包含少许红边信息。相关研究表明^[40-41],在植被生长期,近红外波段的位置和宽度对 NDVI 的影响不大,NDVI 计算中会对波段反射率产生影响的是“红边”。GF-1 的“宽”波谱段涵盖了植被光谱曲线中最重要的“红边”波段,因此,虽然 Landsat 8 的近红外波段独立性较高,但是对于植被监测而言,“红边”位移更能够反应植被的物候、叶绿素含量等,包含更多的植被信息。同时,部分关于 GF-1 和 Landsat 8 反射特征的研究中发现 Landsat 8 在近红外波段的反射率高于 GF-1^[15,20],这也可能导致植被指数出现差异。有相关研究指出 GF-1 和 Landsat 8 的表观反射率之间存在线性关系^[19],因此可以在变化检测、基于时序信息的分类等方面对 2 个影像的反射率差异进行相对校正。其次,从植被指数的离散程度等也可以看出 GF-1 提取植被信息的优势,植被指数的最大值、最小值、标准差 GF-1 均高于 Landsat 8,GF-1 影像提取的植被指数信息量更为丰富,这将会使得像元二分法计算植被覆盖度时更有可能分离出非植被信息。此外,本研究只探究了 NDVI 和 SAVI 这 2 个植被指数,由于城市区域植被并不茂密,森林区域以针叶林为主,两个植被指数性能良好,并未出现饱

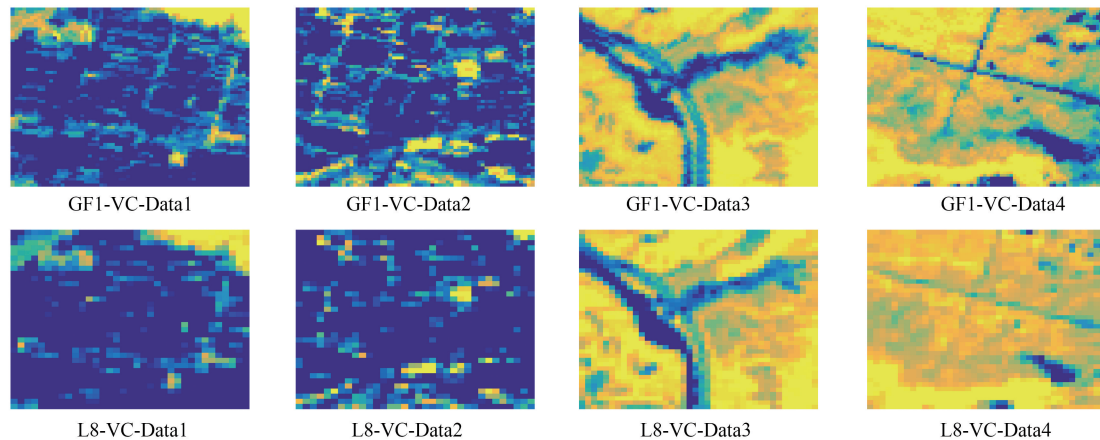


图5 GF1-WFV 和 Landsat8-OLI 植被覆盖度对比

Fig.5 The porpotion difference of vegetation cover classification proportion between GF1-WFV and Landsat8-OLI

GF1-VC-Data1: 高分一号-植被覆盖度-数据 1 (Gaofen1-Vegetation Cover-Data1); GF1-VC-Data2: 高分一号-植被覆盖度-数据 2 (Gaofen1-Vegetation Cover-Data2); GF1-VC-Data3: 高分一号-植被覆盖度-数据 3 (Gaofen1-Vegetation Cover-Data3); GF1-VC-Data4: 高分一号-植被覆盖度-数据 4 (Gaofen1-Vegetation Cover-Data4); L8-VC-Data1: Landsat8-植被覆盖度-数据 1 (Landsat8-Vegetation Cover-Data1); L8-VC-Data2: Landsat8-植被覆盖度-数据 2 (Landsat8-Vegetation Cover-Data2); L8-VC-Data3: Landsat8-植被覆盖度-数据 3 (Landsat8-Vegetation Cover-Data3); L8-VC-Data4: Landsat8-植被覆盖度-数据 4 (Landsat8-Vegetation Cover-Data4)

和状况,对于茂密或者生长期的植被,可以通过各种修正植被指数做进一步探究^[12,20,39]。

不同生态系统中,相同空间分辨率影像提取的植被信息相对差异并不一致。将 GF-1 和 Landsat 8 各个分级覆盖度下提取的植被比例进行对比,较之 GF-1 影像,30 m 空间分辨率的 Landsat 8 在城市区域对植被信息综合表现为低估,而森林区域表现为高估。从研究区域本身分析,造成这种现象的原因在于不同生态系统地物格局不同,植被斑块的“粒度 (grain)”和“幅度 (extent)”不同。以 2 个传感器基于 NDVI 提取的植被覆盖分级图为例,计算各个等级 (Class) 景观指数,包括表征覆盖度大小的景观面积比例 (Percentage of Landscape, PLAND)、表征形状的面积加权平均形状指数 (Area-Weighted Mean of Shape Index, SHAPE_AM)、表征空间结构的散布与并列指数 (Interspersion Juxtaposition Index, IJI)。对其归一化去量纲后对比结果见图 7。相同传感器在不同探测区域,各级植被覆盖度所对应的景观参数不同;2 个传感器在相同区域,各级植被覆盖度景观参数规律一致。可见这些生态系统格局差异导致 GF-1 和 Landsat 8 在两个研究区域出现不同的规律。值得注意的是,并非越高的空间分辨率就带来更好的植被信息提取效果,结果的好坏这取决于“类间变异性 (within-class variability)”和“边界效应 (boundary effect)”的博弈^[14,17],空间分辨率增高,地类边界中的混合像元越少,信息提取精度上升,但同时地物类内方差增大,提取复杂度增加,这将会导致准确度下降^[23]。因此,在城市中差异最大并且被低估的“低”覆盖度规律,并不一定在森林区域中适用,何种覆盖水平两个分辨率提取效果最为接近取决于空间分辨率和生态系统内地物斑块的相对大小,当植被斑块与分辨率接

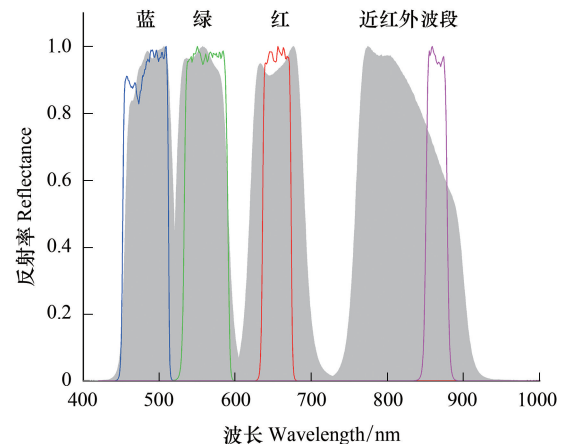


图6 GF1-WFV 和 Landsat8-OLI 光谱响应函数

Fig. 6 Spectral response function of GF1-WFV and Landsat8-OLI

灰色为 GF1-WFV 响应函数;线条为 Landsat8-OLI 响应函数

近时,该像元不会受到混合像元的影响从而高估或者低估;当植被分布斑块小于最小像元面积时,会与周边地物形成混合像元,造成植被信息提取的不确定性,致使一些生态位相似的空间地物互相影响,对于这种影响到底是低估还是高估,取决于占广生态幅的地物类型^[42]。Ni 等建议在植被信息提取中,应该从应用需求、生态斑块空间结构、空间分辨率等方面综合考虑,注重最佳的植被信息提取尺度^[11]。

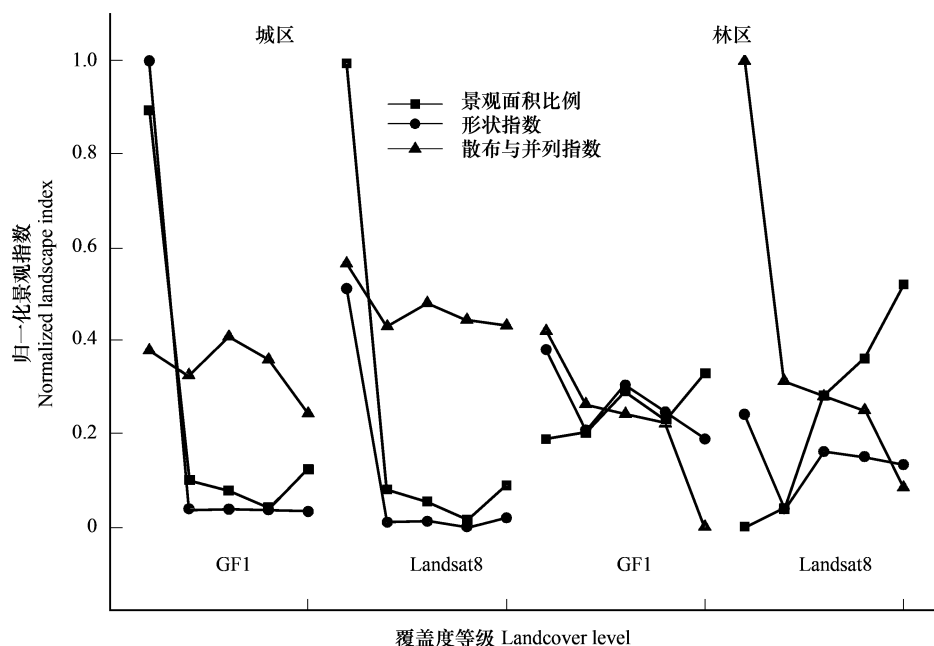


图7 不同研究区景观指数对比

Fig.7 Comparison of landscape index in different research area

本文结果证实了高分辨率数据进行植被信息监测的必要性,然而在实际应用选择卫星数据时,提取应充分考虑到影像成本和处理时间等多方面问题。Huang 等^[43]在时间序列森林覆盖的变化检测中指出,对 MODIS 和 Landsat TM/ETM+数据之间做选择时必须考虑到如投影转换等各种耗时处理所占用的时间费用;Fisher 等^[10]指出,在使用 Quick bird 这样的亚米级高分辨率影像时,信息价值也应该作为数据选择的评价标准之一。GF-1 数据可以免费申请,在保持较高分辨率的同时成本低廉,并且兼顾了重访周期短(4 天)等优势,这将使得 GF-1 和 Landsat 8 数据结合使用,在长时间序列数据集构建中起到积极作用。其次,本研究中植被信息基于植被指数提取,在后续的研究中可以使用面向对象的信息提取方法,探究能否通过最优化对象的分割尺度减小混合像元对空间分辨率不足带来的干扰,特别是空间异质性较高的人造地物中的恢复植被或城市中的绿化区域。最后,需要注意的是,由于缺乏验证点,本研究只能通过对比 Landsat 8 和 GF-1 的相对差异,为类似区域植被信息提取中遥感影像选择提供指导,虽然相对高空间分辨率的 GF-1 植被覆盖度反演结果可以用于相对低空间分辨率的 Landsat8 植被覆盖度验证^[44],但如要进行与植被覆盖相关的其他定量反演,还需进一步加强地面验证。

5 结论

植被信息是生态系统和陆地气候等众多研究的基础数据,本研究设定不同生态条件的研究区域,以 GF-1WV 和 Landsat-OLI 数据为研究材料,通过提取植被指数和植被覆盖度,探究了高分辨率影像在不同生态系统植被信息提取的表现,结论如下:

(1)GF-1 和 Landsat 8 植被指数存在差异,城市区域 GF-1 的 NDVI 和 SAVI 均值比 Landsat 8 低 5.69% 和 1.41%,森林区域与之相反,高出 0.77% 和 5.86%,同时 GF-1 的指数极差和标准差等较高,包含了更加丰富的

植被信息。

(2) 高分辨率影像更能够提取精细的植被信息,GF-1 城市区域植被覆盖比率为 71.30% 和 71.31%,对应的 Landsat 8 难以提取建筑物中的绿化植被,植被比例为 58.28% 和 58.30%;森林区域 GF-1 植被比例为 94.97% 和 94.92%,Landsat 8 难区分穿插在森林中的裸土和道路,植被比例为 95.00% 和 94.99%。

(3) 不同生态系统各空间分辨率影像之间提取的植被信息相对差异不同,Landsat 8 提取的植被信息在低植被覆盖水平下与 GF-1 差异最大,对应不同植被指数存在 6.67% 和 6.77% 的低估;森林区域 Landsat 8 和 GF-1 在高植被覆盖水平下差异较大,存在 12.11% 和 12.47% 的高估。

参考文献 (References):

- [1] Arneth A. Climate science: uncertain future for vegetation cover. *Nature*, 2015, 524(7563): 44-45.
- [2] Qi J, Cabot F, Moran M S, Dedieu G. Biophysical parameter estimations using multidirectional spectral measurements. *Remote Sensing of Environment*, 1995, 54(1): 71-83.
- [3] Jiang Z Y, Huete A R, Chen J, Chen Y H, Li J, Yan G J, Zhang X Y. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 101(3): 366-378.
- [4] 彭文甫, 王广杰, 周介铭, 徐新良, 罗怀良, 赵景峰, 杨存建. 基于多时相 Landsat5/8 影像的岷江汶川-都江堰段植被覆盖动态监测. *生态学报*, 2016, 36(7): 1975-1988.
- [5] 李仁东, 刘纪远. 应用 Landsat ETM 数据估算鄱阳湖湿生植被生物量. *地理学报*, 2001, 56(5): 532-540.
- [6] Rokni K, Musa T A. Normalized difference vegetation change index: a technique for detecting vegetation changes using Landsat imagery. *CATENA*, 2019, 178: 59-63.
- [7] Hsieh P F, Lee L C, Chen N Y. Effect of spatial resolution on classification errors of pure and mixed pixels in remote sensing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2001, 39(12): 2657-2663.
- [8] Tao S L, Guo Q H, Wu F F, Li L, Wang S P, Tang Z Y, Xue B L, Liu J, Fang J Y. Spatial scale and pattern dependences of aboveground biomass estimation from satellite images: a case study of the Sierra National Forest, California. *Landscape Ecology*, 2016, 31(8): 1711-1723.
- [9] Qian Y G, Zhou W Q, Yu W J, Pickett S T A. Quantifying spatiotemporal pattern of urban greenspace: new insights from high resolution data. *Landscape Ecology*, 2015, 30(7): 1165-1173.
- [10] Fisher J R B, Acosta E A, Dennedy-Frank P J, Kroeger T, Boucher T M. Impact of satellite imagery spatial resolution on land use classification accuracy and modeled water quality. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2018, 4(2): 137-149.
- [11] Bao N S, Wu L X, Liu S J, Li N. Scale parameter optimization through high-resolution imagery to support mine rehabilitated vegetation classification. *Ecological Engineering*, 2016, 97: 130-137.
- [12] 孙斌, 李增元, 郭中, 高志海, 王琰瑜. 高分一号与 Landsat TM 数据估算稀疏植被信息对比. *遥感信息*, 2015, 30(5): 48-56.
- [13] 孟宝平, 崔霞, 杨淑霞, 高金龙, 胡远宁, 陈思宇, 梁天刚. 基于 Landsat 8 OLI 和 MODIS 数据的高寒草地盖度升尺度效应研究——以夏河县桑科草原试验区为例. *草业学报*, 2016, 25(7): 1-12.
- [14] Topaloglu R H, Sertel E, Musaoğlu, N. Assessment of classification accuracies of Sentinel-2 and Landsat-8 data for land cover/use mapping. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2016, XLI-B8: 1055-1059.
- [15] 贾玉秋, 李冰, 程永政, 刘婷, 郭燕, 武喜红, 王来刚. 基于 GF-1 与 Landsat-8 多光谱遥感影像的玉米 LAI 反演比较. *农业工程学报*, 2015, 31(9): 173-179.
- [16] 韩涛, 潘剑君, 张培育, 曹罗丹. Sentinel-2A 与 Landsat-8 影像在油菜识别中的差异性研究. *遥感技术与应用*, 2018, 33(5): 890-899.
- [17] Korhonen L, Hadi, Packalen P, Rautiainen M. Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 in the estimation of boreal forest canopy cover and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 195: 259-274.
- [18] Xu H q, Zhang T J. Assessment of consistency in forest-dominated vegetation observations between ASTER and Landsat ETM+ images in subtropical coastal areas of southeastern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013, 168: 1-9.
- [19] 刘可, 杜灵通, 候静, 胡悦, 朱玉果. 高分一号与 Landsat-8 影像在荒漠绿洲过渡带应用对比. *遥感信息*, 2017, 32(5): 133-140.
- [20] 朱大运, 熊康宁, 肖华, 蓝家程. 基于植被指数的 GF-1 与 Landsat-OLI 石漠化识别能力对比评价. *自然资源学报*, 2016, 31(11): 1949-1957.
- [21] Jia K, Liang S L, Gu X F, Baret F, Wei X Q, Wang X X, Yao Y J, Yang L Q, Li Y W. Fractional vegetation cover estimation algorithm for Chinese GF-1 wide field view data. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 177: 184-191.
- [22] Zhang T H, Zhu Z M, Gong W, Zhu Z R, Sun K, Wang L C, Huang Y S, Mao F Y, Shen H F, Li Z W, Xu K. Estimation of ultrahigh resolution

- PM_{2.5} concentrations in urban areas using 160 m Gaofen-1 AOD retrievals. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 216: 91-104.
- [23] 柏延臣, 王劲峰. 基于特征统计可分性的遥感数据专题分类尺度效应分析. *遥感技术与应用*, 2004, 19(6): 443-449.
- [24] Li Z W, Shen H F, Li H F, Xia G S, Gamba P, Zhang L P. Multi-feature combined cloud and cloud shadow detection in GaoFen-1 wide field of view imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 191: 342-358.
- [25] Zhang H K, Roy D P, Yan L, Li Z B, Huang H Y, Vermote E, Skakun S, Roger J C. Characterization of Sentinel-2A and Landsat-8 top of atmosphere, surface, and nadir BRDF adjusted reflectance and NDVI differences. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 215: 482-494.
- [26] Leprieux C, Kerr Y H, Mastorchio S, Meunier J C. Monitoring vegetation cover across semi-arid regions; comparison of remote observations from various scales. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(2): 281-300.
- [27] Huete A R, Liu H Q. An error and sensitivity analysis of the atmospheric- and soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1994, 32(4): 897-905.
- [28] Huete A R, Liu H Q, Batchily K, van Leeuwen W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 59(3): 440-451.
- [29] Ren H R, Zhou G S, Zhang F. Using negative soil adjustment factor in soil-adjusted vegetation index (SAVI) for aboveground living biomass estimation in arid grasslands. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 209: 439-445.
- [30] Huete A R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 1988, 25(3): 295-309.
- [31] 罗亚, 徐建华, 岳文泽. 基于遥感影像的植被指数研究方法述评. *生态科学*, 2005, 24(1): 75-79.
- [32] Lu H, Raupach M R, McVicar T R, Barrett D J. Decomposition of vegetation cover into woody and herbaceous components using AVHRR NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86(1): 1-18.
- [33] 顾祝军, 曾志远. 遥感植被盖度研究. *水土保持研究*, 2005, 12(2): 18-21.
- [34] Qi J, Marsett R C, Moran M S, Goodrich D C, Heilman P, Kerr Y H, Dedieu G, Chehbouni A, Zhang X X. Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River basin area. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 105(1/3): 55-68.
- [35] Jiapaer G, Chen X, Bao A M. A comparison of methods for estimating fractional vegetation cover in arid regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2011, 151(12): 1698-1710.
- [36] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2003.
- [37] 王朗, 傅伯杰, 吕一河, 曾源. 生态恢复背景下陕北地区植被覆盖的时空变化. *应用生态学报*, 2010, 21(8): 2109-2116.
- [38] 王海平. 不同数据源对城市绿地景观格局评价影响研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [39] 杨斌, 高桂胜, 王磊, 程璐. 基于 GF-1 WFV 和 Landsat-8 OLI 提取植被信息方法比较研究. *测绘工程*, 2018, 27(8): 7-12.
- [40] 王福民, 黄敬峰, 王秀珍, 陈拉, 唐延林. 波段位置和宽度对不同生育期水稻 NDVI 影响研究. *遥感学报*, 2008, 12(4): 626-632.
- [41] Ren H R, Zhou G S, Zhang X S. Estimation of green aboveground biomass of desert steppe in Inner Mongolia based on red-edge reflectance curve area method. *Biosystems Engineering*, 2011, 109(4): 385-395.
- [42] 张贵花, 王瑞燕, 赵庚星, 袁秀杰, 彭杨, 王向峰. 基于物候参数和面向对象法的滨海生态脆弱区植被遥感提取. *农业工程学报*, 2018, 34(4): 209-216.
- [43] Huang C B, Zhou Z X, Wang D, Dian Y Y. Monitoring forest dynamics with multi-scale and time series imagery. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, 188: 273.
- [44] Baret F, Hagolle O, Geiger B, Bicheron P, Miras B, Huc M, Berthelot B, Niño F, Weiss M, Samain O, Roujean J L, Leroy M. Lai, fapar and fcover cyclopes global products derived from vegetation: part 1: principles of the algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 110(3): 275-286.