

# 山区植被覆盖度变化的地形分异特征

## ——以贵州开阳县为例

龙映豪, 李旭东, 程东亚

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550025)

**摘要:** 植被覆盖度是生态恢复的重要指示器, 研究其变化特征可为资源合理利用、生态恢复提供科学参考。以贵州省开阳县为研究区, 基于 landsat4-5 TM, Landsat8 OLI 遥感影像, 获取 2002 年、2019 年 30 m 分辨率植被覆盖度数据, 从阴坡与阳坡视角研究山区植被覆盖度变化和地形分异特征。结果表明: (1) 2002—2019 年阴坡与阳坡植被覆盖度总体呈南高北低分布, 期间阴坡与阳坡植被总体处于恢复趋势。(2) 研究时段内阴坡与阳坡植被覆盖度随海拔上升表现为增加趋势; 海拔小于 600 m 的地区阳坡和阴坡植被覆盖度差距最大; 2019 年二者植被覆盖度在海拔小于 600 m 的地区下降明显, 高于 800 m 的地区均有较大提升。(3) 阴坡和阳坡植被覆盖度随坡度增加总体呈上升趋势, 坡度大于 35° 后二者差异增强; 植被覆盖度增量随坡度增加总体表现为上升—下降特点。(4) 阴坡和阳坡植被覆盖度随地形起伏度增加呈上升趋势。2002 年阳坡各等级地形起伏度的植被覆盖度总体高于阴坡, 2019 年二者植被覆盖度差异性随地形起伏度上升而增强。综上, 阴坡和阳坡植被覆盖度与海拔、坡度、地形起伏度呈正相关关系, 二者在不同等级地形梯度上具有较大差异性。地形因子对山区阴坡、阳坡植被覆盖度的影响是多方面的, 不仅从海拔和坡向上影响水热组合条件, 也从坡度和地形起伏度上影响人类对山区林地资源的开发利用。

**关键词:** 植被; 阴坡; 阳坡; 地形; 山区; 开阳; 贵州省

中图分类号: K903

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2022)05-0268-08

## Topographic Differentiation of Vegetation Coverage Changes Between Shaded Slopes and Sunny Slopes in Mountainous Areas

— A Case of Kaiyang County, Guizhou Province

LONG Yinghao, LI Xudong, CHENG Dongya

(School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** Vegetation coverage is important indicator of ecological restoration. Studying change characteristics of vegetation coverage can provide scientific references for the rational use of resources and restoration of the ecological environment. Kaiyang County in Guizhou Province was chosen as an example. Based on landsat4-5 TM and Landsat8 OLI remote sensing images, the vegetation coverage data of 30 m resolution in 2002 and 2019 were obtained. From the perspectives of shaded and sunny slopes, the vegetation coverage changes and topographic differentiation characteristics were analyzed. The results showed that: (1) the vegetation coverage on the shaded and sunny slopes from 2002 to 2019 was generally high in the south and low in the north; during this period, the vegetation coverage on the shade and sunny slopes was generally recovering; (2) during the study period, the vegetation coverage on the shade and sunny slopes showed an increasing trend with the elevation; vegetation coverage difference between sunny and shady slopes was the largest in areas with an altitude of less than 600 m; in 2019, the vegetation coverage of the sunny and shady slopes decreased significantly in areas with an altitude of less than 600 m, and increased significantly in areas above

收稿日期: 2021-05-26

修回日期: 2021-07-24

资助项目: 国家自然科学基金项目(41261039); 贵州省科技厅项目(黔科合 J 字[2009]2253)

第一作者: 龙映豪(1997—), 男, 四川岳池人, 硕士研究生, 主要从事资源利用与低碳发展研究。E-mail: shslyh@163.com

通信作者: 李旭东(1969—), 男, 湖南邵东人, 博士, 教授, 主要从事人口地理与区域发展, 应对气候变化与低碳经济研究。E-mail: 616507732@qq.com

800 m; (3) the vegetation coverage of shaded and sunny slopes showed an overall upward trend with the increase of slope gradient, and the difference between the two increased when the slope was greater than  $35^\circ$ ; the increase in vegetation coverage showed an upward-declining characteristic with the increase of slope gradient; (4) the vegetation coverage on the shade and sunny slopes showed an increasing trend with the increase of terrain undulations; in 2002, the vegetation coverage of sunny slopes at all levels of terrain undulations was generally higher than that of shaded slopes; in 2019, the difference in vegetation coverage between the two increased with the increase of terrain undulations. In summary, the vegetation coverage of shady and sunny slopes is positively correlated with altitude, slope, and terrain relief, and the two have great differences in different grades of terrain gradients. The influences of terrain factors on the vegetation coverage of shady and sunny slopes in mountainous areas are multi-facets. It not only affects the combination of water and heat conditions from altitude and slope, but also affects the development and utilization of forestland resources in mountainous areas from the slope and terrain relief.

**Keywords:** vegetation; shady slope; sunny slope; terrain; mountainous area; Kaiyang; Guizhou Province

植被是地球表面生物圈的重要组成部分,植被分布与变化对于全球物质能量循环、全球碳氧平衡、生物多样性保护及调节和维护气候稳定等方面具有重要意义<sup>[1]</sup>。植被覆盖在一定程度上可以量化地表植被状况,表征生态恢复程度<sup>[2]</sup>,亦可揭示区域自然环境变化过程。研究区域植被覆盖度变化可为地区生态环境保护、自然资源利用、国土资源空间分布优化等提供参考。

随着“绿水青山就是金山银山”理念的贯彻落实,保护生态环境和节约资源等已经成为绿色发展需要,恢复和提升植被覆盖是保护生态环境和调节地区乃至全球气候的重要举措。在全球极端气候增加、气候变暖的大背景下,植被覆盖度研究愈加成为有关部门、环境保护组织和广大学者的研究热点。目前对于植被覆盖度相关研究主要涉及:植被覆盖度动态监测<sup>[3]</sup>、植被覆盖度时空变化特征<sup>[4-5]</sup>、植被覆盖度变化及驱动因素<sup>[6-7]</sup>、植被覆盖度变化对气候的响应<sup>[8]</sup>,等等。例如,田海静等基于 Landsat TM/EMT+遥感影像进行了准格尔旗植被覆盖度变化的时间序列监测<sup>[3]</sup>;穆少杰等基于 MODIS-NDVI 遥感数据反演了内蒙古植被覆盖度的空间格局和变化规律<sup>[4]</sup>;裴志林等基于 2000—2015 年黄河上游植被覆盖度数据,研究其空间分布特征及影响因素<sup>[6]</sup>;王伟军等研究了 2000—2014 年甘南高原植被覆盖度变化及其对气候变化的响应<sup>[8]</sup>。不难发现,以上研究多基于高空间分辨率或长时间序列的遥感数据进行植被覆盖度相关研究,对植被覆盖度变化、影响因素等研究成果颇丰。对植被覆盖度变化影响因素的探讨多集中在气候条件或者人类活动等,但研究的核心内容仍为植被覆盖本身的变化。

山区自身是一个复杂的地理单元,不同地形地貌区水热组合条件差异明显,地形地貌特征对植被生长

具有较大影响。坡向分布影响植物生长采光取热等生理方面需要,也影响喜阴喜阳植被群落的演变分布。海拔、坡度、地形起伏度等差异还可能引起其他影响植物生长因素变化,如影响人类生产和生活活动、资源利用方式等。因此,基于山区背景植被覆盖研究中,部分学者探究了植被覆盖在不同地形上的分布规律。如程东亚等在贵州石阡河流域植被覆盖度变化的研究中,揭示了植被覆盖在海拔、坡度、坡向上的分布规律<sup>[9]</sup>;赵婷等探究了秦岭山地植被覆盖在海拔、坡度等地形因素上的变化规律<sup>[10]</sup>。山区结合地形视角很好地揭示了植被覆盖度的地形效应变化规律,为以山地为背景的研究区植被覆盖度研究提供了借鉴。但目前对地形因素的研究更多的是考虑海拔、坡度、坡向等地形因子上的植被变化规律,少有学者结合坡向视角探究不同海拔、坡度等地形要素上植被的变化规律。在山区,基于坡向视角结合不同地形因子探究植被覆盖度变化特征是否具有差异性,是否具有不同的规律性特征仍值得深入发掘。

因此,本文通过 Landsat 遥感影像反演 2002 年、2019 年典型山区遥感影像,获取高分辨率植被覆盖度数据,以开阳县为研究区,基于坡向视角和山区地形梯度特征探讨其植被覆盖度变化规律。以期研究结果能为山区封山育林、资源利用与生态环境保护提供一定理论参考,也期望能为相关研究提供有益的方向与视角。

## 1 研究区概况、数据与方法

### 1.1 研究区概况

开阳县隶属于贵州省贵阳市,位于贵州省中部,区域面积为  $2\,023.32\text{ km}^2$ <sup>[11]</sup>。其大致位于贵阳市北部,毗邻贵阳市中心城区,经纬度位置为  $106.74^\circ$ —

107.27°E, 26.78°—27.36°N(图 1)。开阳县内地势特征表现为西高东低,南高北低,北部和中东部为乌江和清水河河谷地带,海拔相对较低。开阳县最高海拔为 1 662 m,

最低海拔为 510 m,海拔相对高差超过 1 000 m。开阳县属于贵州省岩溶高原的核心地带,岩溶地貌发育典型,地貌类型复杂,是以山地为主的县区。

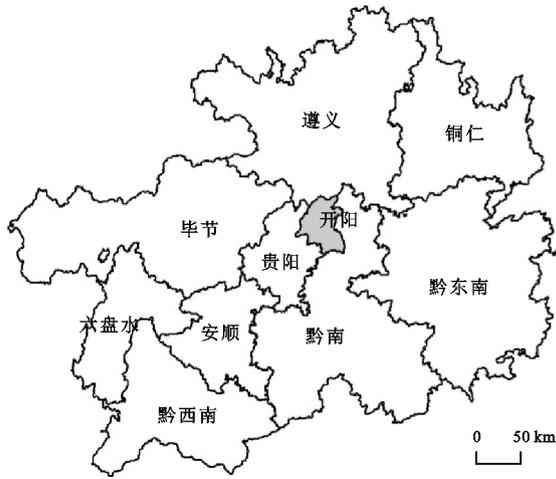


图 1 研究区位置与地形分布特征

## 1.2 数据来源与处理

植被覆盖度通过 ENVI 5.3 和 ArcGIS 软件反演遥感影像得到,研究采用两期(2002 年、2019 年)遥感影像均来自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。其中 2002 年影像来自“landsat4-5 TM 卫星数字产品”,影像获取时间为 2002-08-30。2019 年影像来自“Landsat 8 OLI\_TIRS 卫星数字产品”,影像获取时间为 2019-08-13。两期遥感影像均在云量少于 10% 的状态下采集,遥感影像均为研究区植被生长的旺季,时间上具有可对比性,且代表性强,数据空间参考为“WGS\_1984\_UTM\_Zone\_48N”。运用 ENVI 5.3 对遥感影像进行矫正和异常值剔除后,采用植被计算工具计算影像的 NDVI,最后将 5% 和 95% 作为计算阈值,将小于植被覆盖度 5% 定义为无植被覆盖地区,将植被覆盖度大于 95% 定义为全覆盖地区<sup>[9]</sup>。最终反演得出的植被覆盖度数据精度为 30 m,运用研究区矢量边界统一裁剪该植被覆盖度数据,得到开阳县植被覆盖度。

DEM 数据来自地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>),数据集名称为“ASTER GDEM 30 M 分辨率数字高程数据”,其数据精度为 30 m。坡向、坡度数据均是基于 DEM 数据,通过 ArcGIS 10.4 表面分析工具提取得出。地形起伏度是指特定地域内最高海拔与最低海拔的差值,用于表征区域地形起伏特征,其是定量描述地形形态,划分地貌类型的重要指标<sup>[12]</sup>。其提取方法是通过 ArcGIS 10.4 中邻域分析方法,提取像元大小为 11×11(像元×像元)的矩形邻域内最高海拔和最低海拔值,再利用栅格计算器求得最大海拔值

和最小海拔值之差就得出地形起伏度<sup>[13]</sup>。阴坡与阳坡采用 DEM 数据计算坡向,根据坡向分析结果将坡度为 135°~315° 定义为阳坡,坡度为 0°~135° 以及 315°~360° 定义为阴坡。通过栅格转矢量的方式,获取研究区阴坡与阳坡的空间分布范围,后期利用矢量数据进行相关数据处理和运算。

## 2 结果与分析

### 2.1 地形分布特征

开阳县海拔总体表现为南高北低,西高东低的趋势;坡度与地形起伏度总体在东部和西部略高、中部相对较低。开阳县阴坡与阳坡总体呈现相间分布的空间格局,阴坡面积大于阳坡和平地。

开阳县属典型山区地貌,其南部和西部海拔多在 1 000 m 以上,中部和北部海拔多在 800 m 左右。坡度表现为东部和西部高、中部略低,北部较南部低。坡度最大地区主要分布在北部和中东部河谷地带,坡度多在 20° 以上。开阳位于岩溶高原内部,喀斯特地貌发育较广泛,地形起伏度表现较大差异。东部地形起伏度较西部大,边缘地形起伏度较中部大。

开阳县阳坡在南部分布多,中部次之,北部相对较少。阴坡在中部和北部分布相对集中,在南部分布较为分散。无坡向地区分布稀疏,呈散点状分布。从各坡向分布面积和占比来看,无坡向地区分布面积最少,仅 13.76 km<sup>2</sup>(表 1),占比为 0.68%。阴坡分布面积 1 056.99 km<sup>2</sup>,面积占比为 52.19%,为各坡向地区占比最大。阳坡分布面积次于阴坡,为 954.43 km<sup>2</sup>,

面积占比为 47.13%。从平地与非平地分布看,研究区为典型山区地貌,非平地占比达 99.32%,也在一定程度表明本文选择的科学性。

表 1 阴坡、阳坡、平地地区的分布面积与占比

坡向	面积/km <sup>2</sup>	面积占比/%	累计/%
平地	13.76	0.68	0.68
阴坡	1056.99	52.19	99.32
阳坡	954.43	47.13	

## 2.2 阴坡与阳坡植被覆盖空间分布特征

2002 年研究区阴坡与阳坡植被覆盖度总体表现南高北低;2019 年植被覆盖度有较大提升,北部提升最为明显,但南高北低的分布特征并未改变(图 2)。

将植被覆盖度划分为低植被覆盖度(0~35%)、中植被覆盖度(35%~75%)、高植被覆盖度(75%~100%)。2002 年阳坡、阴坡低植被覆盖地区总体在北部分布密集,南部分散。阴坡与阳坡在西部和东部低植被覆盖地区分布较密集,多地区植被覆盖度不足

35%;植被覆盖度在中部地区分布总体高于北部,但部分地区仍在 35% 以下;南部地区植被覆盖度明显提升,以 75% 以上的植被覆盖地区为主。从 2002 年阴坡与阳坡植被覆盖度空间分布特征看,阴坡植被覆盖度总体优于阳坡。

2019 年开阳县全域植被覆盖度具有明显改善,北部植被得到一定恢复,低植被覆盖和中植被覆盖地区面积明显减少。阳坡和阴坡低植被覆盖地区均在西部和东北部分布相对密集,南部分布面积很少;中覆盖地区均在北部和东北部地区分布面积较多,其余地区呈星点状分布。阴坡在中部和南部高植被覆盖区分布较阳坡密集。值得注意的是,在开阳县城周边,阳坡植被覆盖度 35% 以下的区域明显大于阴坡,这也在一定程度上体现了城市建设和居民用地建设多分布于阳坡的规律。2019 年北部部分地区植被覆盖度仍然在 35% 以下,主要在于北部为开阳县人口、交通等建设的主要分布区域。

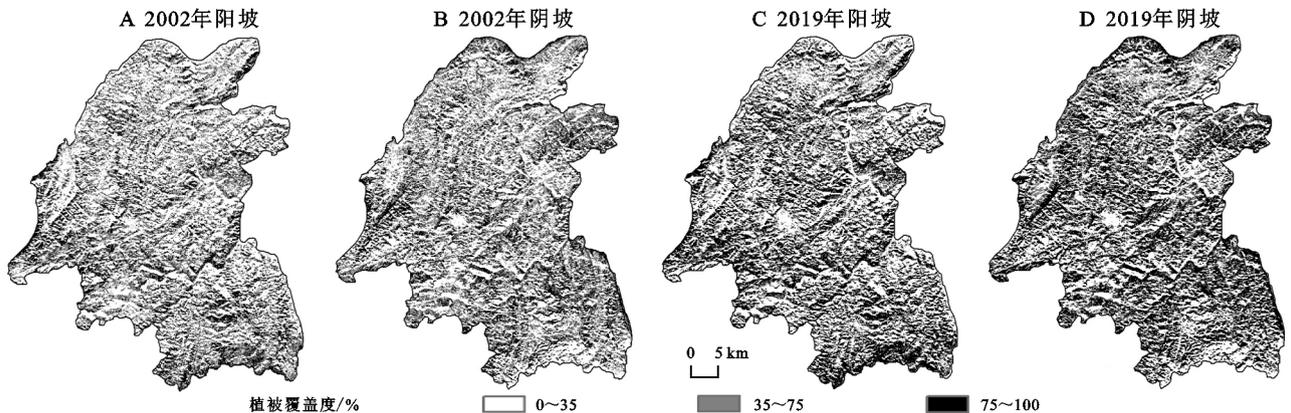


图 2 2002—2019 年开阳县阳坡、阴坡植被覆盖度空间分布特征

## 2.3 阴坡与阳坡阶段植被覆盖变化空间分布特征

2002—2019 年开阳县阴坡与阳坡植被覆盖度呈现上升趋势,二者植被变化具有一定的空间相似性(图 3)。从总体来看,2002—2019 年开阳县阴坡与阳坡植被处于下降趋势的地区主要分布于周边,上升超过 30% 的区域主要分布在中部。阳坡、阴坡植被覆盖度处于减少地区相对较少,植被覆盖度增加 0~30% 的地区最多。从分布的具体方位来看,2002—2019 年阳坡植被覆盖度处于减少地区主要分布于西部、东北部、中部和南部;植被覆盖度增加 0~30% 的地区分布最广,主要位于开阳县中部和南部;而增长大于 30% 的地区分布面积相对较少,主要位于区域西部和南部。2002—2019 年阴坡植被覆盖度处于减少地区主要位于西部、北部和中部;植被覆盖度增长 0~30% 的地区在中部和东北被分布相对密集,在西部分布较稀疏;而增长大于 30% 的地区在西北部 and 东部分布较为密集,在中部地区分布最为分散。阴

坡、阳坡植被覆盖度处于减少地区和增长大于 30% 的明显增长地区均分布较少,植被覆盖度呈减少趋势地区在开阳县中部分布较为集中。这可能是该部地区位于开阳县城区,建设用地扩张较为迅速,导致绿地、植被侵占现象较为严重。

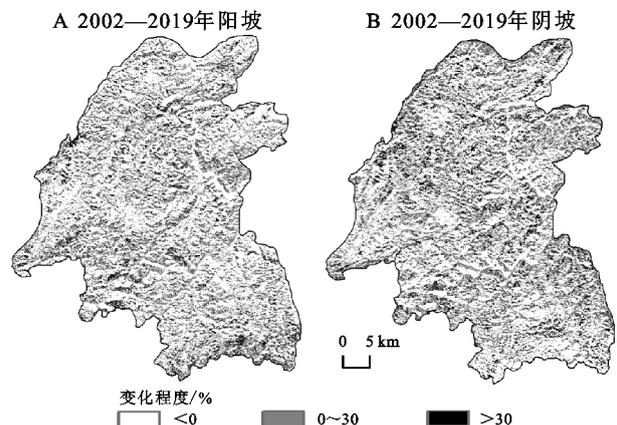


图 3 2002—2019 年开阳县阳坡、阴坡植被覆盖度阶段变化空间分布特征

## 2.4 阳坡与阴坡各等级植被覆盖度面积和占比特征

2002 年和 2019 年开阳县阴坡高植被覆盖地区明显大于阳坡,期间二者高植被覆盖地区增加较为明显(表 2—3)。从植被覆盖程度分布面积变化来看,2002 年开阳县植被低植被覆盖、中植被覆盖、高植被覆盖地区面积分别为 346.83 km<sup>2</sup>,861.36 km<sup>2</sup>,816.50 km<sup>2</sup>,其面积占比分别为 17.13%,42.54%,40.33%。阳坡低植被覆盖、中植被覆盖、高植被覆盖地区面积分别为 162.29 km<sup>2</sup>,339.50 km<sup>2</sup>,391.76 km<sup>2</sup>,其面积占比分别为 17.02%,41.90%,41.08%。阴坡植被低植被覆盖、中植被覆盖、高植被覆盖地区面积分别为 182.56 km<sup>2</sup>,459.09 km<sup>2</sup>,420.92 km<sup>2</sup>,其占比分别为 17.18%,43.21%,39.61%。二者均表现为低植被覆盖地区面积较少,中植被覆盖和高植被覆盖地区面积占比较高且差距不大。

2019 年开阳县平均低植被覆盖、中植被覆盖、高植被覆盖地区面积分别为 196.39 km<sup>2</sup>,414.42 km<sup>2</sup>,1 413.88 km<sup>2</sup>,其面积占比分别为 9.70%,20.47%,69.83%。阳坡植被低植被覆盖、中植被覆盖、高植被

覆盖地区面积分别为 97.87 km<sup>2</sup>,193.29 km<sup>2</sup>,662.39 km<sup>2</sup>,其占比分别为 10.26%,20.27%,69.47%。阴坡植被低植被覆盖、中植被覆盖、高植被覆盖地区面积分别为 97.25 km<sup>2</sup>,219.86 km<sup>2</sup>,745.47 km<sup>2</sup>,面积占比分别为 9.15%,20.69%,70.16%。二者的高植被覆盖地区面积最大,中植被覆盖地区和低植被覆盖地区总面积不足高植被覆盖地区面积二分之一。

从 2002—2019 年平均植被覆盖度面积变化来看,低植被覆盖地区面积减少 150.44 km<sup>2</sup>,占比下降 7.43%。其中阳坡、阴坡分别减少 60.42 km<sup>2</sup>,85.31 km<sup>2</sup>,占比分别下降 6.76%,8.03%;中植被覆盖地区面积减少 446.95 km<sup>2</sup>,占比下降 22.07%。其中阳坡、阴坡分别减少 206.21 km<sup>2</sup>,239.24 km<sup>2</sup>,占分别下降 21.63%,22.51%;高植被覆盖地区面积增加 579.36 km<sup>2</sup>,占比上升 29.51%。其中阳坡、阴坡分别增加 270.63 km<sup>2</sup>,324.55 km<sup>2</sup>,占比分布上升 28.38%,30.54%。可见开阳县阳坡、阴坡植被覆盖度变化特征具有一定差异,但二者植被覆盖程度变化趋势是一致的。阳坡、阴坡植被覆盖度改善明显,开阳县植被覆盖总体呈现不断恢复的趋势。

表 2 2002 年和 2019 年开阳县阳坡、阴坡植被覆盖程度

年份	植被覆盖度/%	阳坡		阴坡		平均	
		覆盖面积/km <sup>2</sup>	占比/%	覆盖面积/km <sup>2</sup>	占比/%	覆盖面积/km <sup>2</sup>	占比/%
2002 年	低植被覆盖(0~35)	162.29	17.02	182.56	17.18	346.83	17.13
	中植被覆盖(35~75)	399.50	41.90	459.09	43.21	861.36	42.54
	高植被覆盖(75~100)	391.76	41.08	420.92	39.61	816.50	40.33
	求和	953.56	100.00	1062.58	100.00	2024.69	100.00
2019 年	低植被覆盖(0~35)	97.87	10.26	97.25	9.15	196.39	9.70
	中植被覆盖(35~75)	193.29	20.27	219.86	20.69	414.42	20.47
	高植被覆盖(75~100)	662.39	69.47	745.47	70.16	1413.88	69.83
	求和	953.56	100.00	1062.58	100.00	2024.69	100.00

表 3 2002—2019 年开阳县阳坡、阴坡植被覆盖程度变化

参数	2002—2019 年阳坡变化		2002—2019 年阴坡变化		2002—2019 年平均变化	
	覆盖面积/km <sup>2</sup>	占比/%	覆盖面积/km <sup>2</sup>	占比/%	覆盖面积/km <sup>2</sup>	占比/%
低植被覆盖(0~35)	-64.42	-6.76	-85.31	-8.03	-150.44	-7.43
中植被覆盖(35~75)	-206.21	-21.63	-239.24	-22.51	-446.95	-22.07
高植被覆盖(75~100)	270.63	28.38	324.55	30.54	597.39	29.51

## 2.5 不同海拔梯度植被覆盖度变化特征

2002—2019 年开阳县阴坡与阳坡植被覆盖度随海拔上升均表现为增加趋势;2002 年和 2019 年在海拔小于 600 m 的地区阳坡和阴坡植被覆盖度差距最大;二者植被覆盖度在海拔小于 600 m 的地区下降明显,在高于 800 m 的地区均有较大提升(图 4)。具体来看,2002 年开阳县阳坡植被覆盖度在海拔低于

600~700 m 的地区高于阴坡,但二者植被覆盖度均小于 58%;在海拔 700~1 300 m 的地区阴坡和阳坡植被覆盖度水平差距较小,1 100~1 400 m 的地区阴坡植被覆盖度超过阳坡,植被覆盖度达到 75.29%。2019 年阳坡和阴坡在小于 600~700 m 地区植被覆盖度差距不大,植被覆盖度均小于 6%;600~900 m 阴坡植被覆盖度略高于阳坡,900~1 100 m 阴坡和

阳坡植被覆盖度差距不明显;1 100~1 400 m 阴坡植被覆盖度高于阳坡较多,植被覆盖度达到最大值 89.02%;但当海拔大于 1 400 m 的地区,阳坡植被覆盖度提升明显且超过阴坡。

从阴坡、阳坡植被覆盖度变化程度来看,2002 年阳坡植被覆盖度在海拔 600 m 以下的地区高于阴坡将近 5%,1 300~1 400 m 阳坡植被覆盖度比阴坡低 2.5% 左右,其余海拔高度水平阳坡和阴坡植被覆盖度差距均在正负 2% 以内。2019 年阳坡和阴坡植被覆盖度差距均在 3% 以内,其中当海拔小于 600 m 时阳坡植被覆盖度高于阴坡不足 2%,900~1 100 m 和大于 1 400 m 时阳坡植被覆盖度高于阴坡不足 0.5%;除 600~700 m,1 100~1 200 m 的地区阳坡植被覆盖度低于阴坡少于 2% 外,其余海拔高度水平与阴坡均差 2% 以上。2002—2019 年阳

坡和阴坡在海拔小于 600 m 的地区,植被覆盖度均下降 35% 以上;除 600~700 m 和大于 1 400 m 的地区阳坡和阴坡植被覆盖度增长不足 10%,其余海拔高度植被覆盖度平均增长水在 10% 以上。

2019 年较 2002 年海拔较低地区植被覆盖度下降明显,可能是由于期间城市化进程加快,居民、建设用地等增加迅速致使植被遭到破坏,以这种较为直接的方式影响植被覆盖变化。再者,海拔除了从垂直方向上改变了湿度、温度来影响植被生长外,还对人类活动造成一定限制。低海拔地区开发利用成本较低,所以农业耕作和城市建设优先考虑易开发地区,海拔较高地区植被覆盖度高可能与此有关。因此,开阳县植被覆盖在空间上表现为南部植被覆盖度较高,同时海拔高度也相对较高。

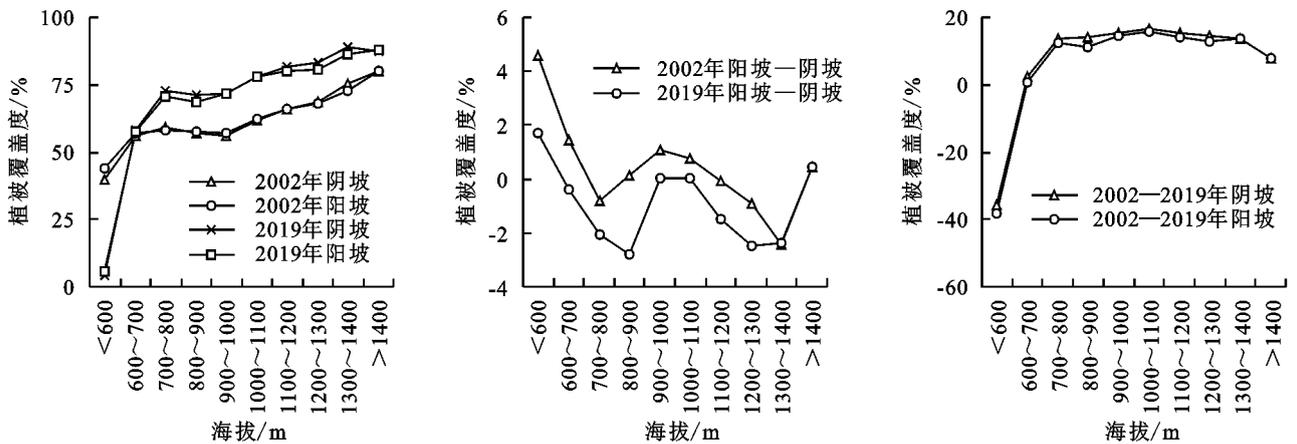


图 4 2002—2019 年研究区阳坡、阴坡不同海拔植被覆盖度梯度变化特征

### 2.6 不同坡度梯度植被覆盖度变化特征

2002—2019 年开阳县阴坡和阳坡植被覆盖度随坡度增加总体呈上升趋势;2002 年和 2019 年二者植被覆盖度差异在坡度 30°~35° 后最为明显;2002—2019 年阴坡和阳坡植被覆盖增量随坡度增加表现为先上升后下降的特点(图 5)。具体来看,2002 年阳坡植被覆盖度仅在坡度 20°~25° 的地区略低于阴坡,其余坡度水平植被覆盖度均高于阳坡;其中在坡度 30°~35° 的地区阴坡植被覆盖度与阳坡差距最大,大于 45° 的地区阴坡、阳坡植被覆盖度达到最大值,分别为 72.67%,76.35%。2019 年二者植被覆盖度随坡度增加呈交替占优趋势;在 5°~25° 和大于 40° 的地区,阳坡植被覆盖度低于阴坡;在小于 5° 以及在 25°~40° 的地区阳坡植被覆盖度大于阴坡;阴坡、阳坡植被覆盖度最大值分别出现在 25°~30°,30°~35°,最大值分别为 83.10%,83.97%。

从 2002 年、2019 年阳坡与阴坡植被覆盖度差异以及 2002—2019 年阳坡、阴坡植被覆盖度变化来看。2002 年在坡度 30°~35° 的地区,阳坡植被覆盖度大

于阴坡均在 1.5% 以上;其余坡度水平差异不明显,差距均在 1% 以内;在 35°~40° 差距最大,最大差值为 3.8%。2019 年二者植被覆盖度差距不如 2002 年明显,差距均在 3% 以内;坡度小于 30° 时二者植被覆盖度差值小于 1%;大于 45° 时阳坡植被覆盖度与阴坡差距最大,差值为 2.54%。2002—2019 年二者植被覆盖度具有较大提升,其中阴坡增加相对显著。阴坡除小于 5° 和大于 45° 的地区植被覆盖度增长不足 10%,其余坡度水平增长均在 10% 以上;其中 10°~15° 的地区增长最多,增长 16% 以上。2002—2019 年阳坡植被覆盖度增速不如阴坡,最大增长至出现在 15°~20°,增长值小于 15%,且当坡度大于 15°~20° 时增速随坡度增长逐渐放缓;大于 45° 时增长值降至最低,仅增长 2.33%。

一般来说,随着坡度的增加,侵蚀和块体运动也更加剧烈,且坡度越高水土流失情况越严重,人类开发利用土地的难度也随之增加<sup>[14]</sup>。因此在坡度 15°~20° 以下的地区植被覆盖度较低,可能是缓坡地更为适合人类生产和生活活动,植被破坏较为严重的表现。在坡

度大于 15°~20°的地区植被覆盖度增速随坡度增长逐渐放缓,是由于坡度较高的地区人类活动强度相对

较小,且坡度大于 15°~20°的地区作为斜坡地,不是退耕还林的主要进行区,植被覆盖度变化较小。

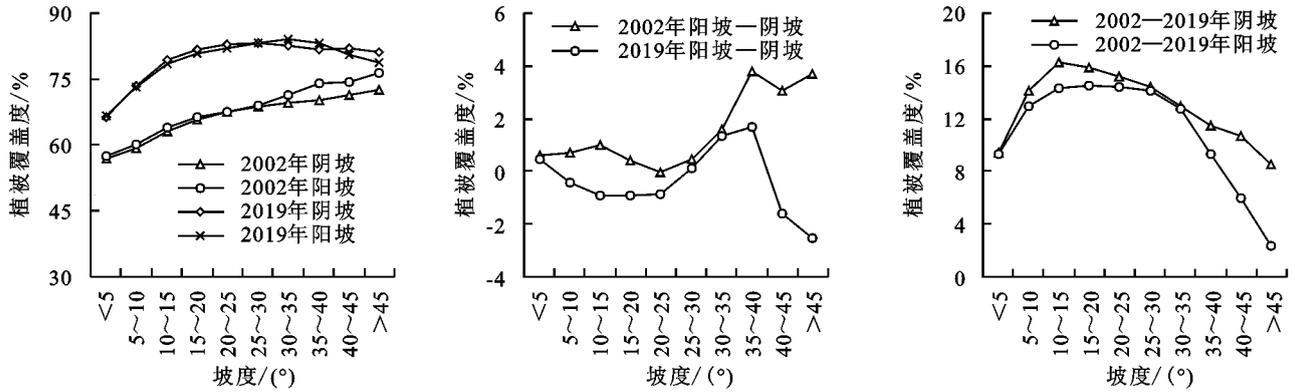


图 5 2002—2019 年开阳县阳坡、阴坡不同坡度植被覆盖度梯度变化特征

### 2.7 不同地形起伏度梯度植被覆盖度变化特征

2020—2019 年开阳县植被覆盖度随地形起伏度增加呈增长趋势。2002 年阳坡在各等级地形起伏度的植被覆盖度总体高于阴坡,2019 年二者植被覆盖度差异随地形起伏度上升具有等级规律;2002—2019 年二者植被覆盖增量随着地形起伏度上升而增速表现为下降趋势(图 6)。

150~250 m 的地区大于阴坡。而在地形起伏度 300~350 m 和大于 350 m 的地区分别小于阴坡 5%和 10%以上,为植被覆盖度差距最大阶段。从阴坡、阳坡植被覆盖度变化程度来看,2002—2019 年开阳县阴坡除在地形起伏度 250~300 m 的植被覆盖度增加小于 10%,其余阶段植被覆盖度增长量均大于 10%;当地形起伏度为 50~150 m 时,植被覆盖度增长在 15%以上。2002—2019 年阳坡植被覆盖度随地形起伏度增加总体呈“增加—减少”趋势,在小于 100 m 的地区呈增加趋势,大于 100 m 的地区总体呈下降趋势;阳坡植被覆盖度在地形起伏度 50~100 m 的地区增长最多(大于 14%),在大于 350 m 的地区增长幅度最小(小于 3%)。

具体来看,2002 年阴坡、阴坡在地形起伏小于 50 m 的地区,植被覆盖度均低于 58%;大于 350 m 的地区,阴坡、阳坡植被覆盖度达到最大值,最大值分别为 82.08%,82.09%。2019 年在地形起伏度小于 50 m 的地区,二者植被覆盖度均超过 68%;随地形起伏度增加阳坡植被覆盖度呈不断上升趋势,阴坡呈波动上升趋势;阴坡植被覆盖度在地形起伏度 100~250 m 的地区有所下降,当地形起伏度大于 250 m 时呈不断上升趋势,在大于 350 m 的地区阴坡、阳坡植被覆盖度均达到最大值,分别为 95.48%,84.69%。

在地形起伏度变化上阴坡与阳坡的植被差异和特征并不一致,开阳县阴坡与阳坡植被覆盖度随着地形起伏度上升呈上升趋势,这种上升趋势也印证了研究区南部植被覆盖高于北部的特征。2019 年二者在起伏度 200~250 m 以上的地区表现为阳坡低于阴坡,这种特征是否是因为退耕还林等植被恢复过程导致尚不明确。另外,随着地形起伏度上升阴坡与阳坡植被恢复速度放缓,可能由于地形起伏度偏高的地区植被受人类活动影响较弱,导致植被覆盖相对稳定。

从阴坡、阳坡植被覆盖度差距来看,2002 年阳坡在地形起伏度为 100~300 m 的地区,植被覆盖度大于阴坡 2%以上,其余地形起伏度水平差距不明显且均小于 1%;2019 年阳坡植被覆盖度仅在地形起伏度

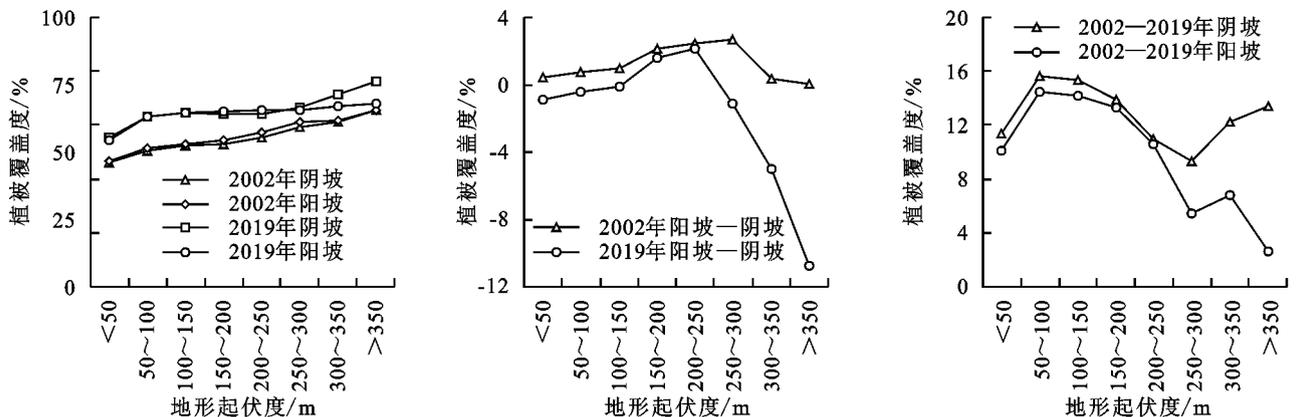


图 6 2002—2019 年开阳县阳坡、阴坡不同地形起伏度植被覆盖度梯度变化特征

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

喀斯特山区地貌类型复杂,海拔和地形起伏度差异较大,水热组合条件受到地形地貌影响。水热组合条件的差异性为山区植被生长提供了不同的生长环境,阳坡、阴坡植被覆盖度随地形梯度变化也会表现出一定差异性。研究发现开阳县阴坡、阳坡在海拔低于 600~700 m 的地区均有较大下降,这可能是由于城市发展建设空间不断增大挤压了植被生长空间造成。2002 年贵阳市总体城市化率为 47.09%,至 2019 年城市化水平升至 76.13%<sup>[15]</sup>,整体上升 29.04%,在此期间开阳县城市化水平也得到迅速提升。城市化快速发展使居民、建设用地扩张迅速,这不可避免会造成一定的植被破坏<sup>[16]</sup>,这一点在海拔较低且容易开发地区体现得更为明显。2002—2019 年开阳县植被覆盖度总体呈恢复趋势,这得益于期间退耕还林和封山育林取得较大成果,期间区域平均植被覆盖度由 63.06% 上升至 76.67%。海拔相对较高地区为封山育林主要开展区,在开阳县表现为植被覆盖度增加地区主要位于海拔大于 700 m 地区。再者,坡度和地形起伏度较大地区由于块体运动较为剧烈,不利于耕作和发展建设,在开阳县表现为坡度 10°~35° 地区和地形起伏度大于 100 m 地区植被覆盖度随坡度、随地形起伏度上升而增加迅速。就植被覆盖度变化的地形效应而言,有部分学者在研究中发现了跟以上观点类似的规律,如赵婷等在研究秦岭山地植被覆盖度变化地形分异效应中指出:不同的海拔高度上秦岭山地植被覆盖度变化存在分异性,低海拔区域呈减少趋势,中海拔区呈明显的上升<sup>[17]</sup>。程东亚等在研究贵州石阡河流域植被覆盖度变化的地形效应中发现,随海拔和坡度上升植被覆盖度总体处于稳定上升趋势<sup>[9]</sup>。另外,还有学者对其他地区<sup>[18-20]</sup>的研究亦有一定的异同,这也说明了山区背景下地形因素的变化导致植被的分异特征既有共性,也有区域的独特之处。

文章还存在一定不足,需要做出改进。许多学者表明:基于高空间分辨率和长时间序列的遥感数据,利用遥感反演法进行植被覆盖度测算,对于植被覆盖度变化相关研究具有重要意义<sup>[21-22]</sup>。由于研究区域位于昆明准静止锋的冷锋一侧,受其影响贵州高原有“天无三日晴”的说法,多阴雨天气。鉴于气象条件的局限性,较多遥感影像云量条件较差,为反演 landsat 系列卫星遥感影像获取研究数据造成了一定困难。

文章选取了两期云量条件较好的遥感影像反演植被覆盖度数据,数据连续性相对较弱。以后研究可采用更多期遥感影像反演植被覆盖度数据,增强研究数据的时间连续性。文章针对坡向视角主要探讨了植被覆盖度变化的地形效应,相对于以往研究更为系统和定量地阐释了山区基于坡向的植被覆盖度差异以及植被覆盖度的地形效应变化特征,可为其他研究提供借鉴。文章对于其他影响植被覆盖度变化的驱动因子涉及不够全面,今后研究中可以加入例如气候因素(气温、降水)、人口、土地利用等空间量化数据进行植被覆盖度变化相关研究。

### 3.2 结论

(1) 2002—2019 年开阳县阴坡与阳坡植被覆盖度总体呈南高北低分布,期间阴坡与阳坡植被总体处于恢复趋势。

(2) 2002—2019 年开阳县阴坡与阳坡植被覆盖度随海拔上升均表现为增加趋势;2002 年和 2019 年在海拔小于 600 m 的地区阳坡和阴坡植被覆盖度差距最大;2002—2019 年阳坡和阴坡植被覆盖度在海拔小于 600 m 的地区下降明显,海拔高于 800 m 的地区均有较大提升。

(3) 2002—2019 年开阳县阴坡和阳坡植被覆盖度均随坡度增加总体呈上升趋势;2002 年和 2019 年阴坡和阳坡植被覆盖度差异在坡度大于 35° 后明显不同;2002—2019 年阴坡和阳坡植被覆盖增量随坡度增加总体表现为先上升后下降的特点。

(4) 2020—2019 年开阳县植被覆盖度随地形起伏度增加呈增长趋势。2002 年各地形起伏度阳坡植被覆盖度总体高于阴坡,2019 年阴坡与阳坡植被覆盖度差异随地形起伏度上升具有阶段性的等级规律;2002—2019 年阴坡与阳坡植被覆盖增量随着地形起伏度上升增速呈变缓趋势。

#### 参考文献:

- [1] 孟浩斌,周启刚,李明慧,等.基于 MODIS 像元尺度的三峡库区植被覆盖度变化的地形分布特征[J].长江流域资源与环境,2020,29(8):1790-1799.
- [2] 吴志杰,何国金,黄绍霖,等.南方丘陵区植被覆盖度遥感估算的地形效应评估[J].遥感学报,2017,21(1):159-167.
- [3] 田海静,曹春香,戴晟懋,等.准格尔旗植被覆盖度变化的时间序列遥感监测[J].地球信息科学学报,2014,16(1):126-133.
- [4] 穆少杰,李建龙,陈奕兆,等.2001—2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J].地理学报,2012,67(9):1255-1268.

- tion land potential and its spatial pattern in China[J]. *Landscape & Urban Planning*, 2011, 103(2): 207-216.
- [18] 周艺, 徐晨娜, 王世新, 等. 丝绸之路经济带中国段后备可利用水土资源空间分布格局研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(9): 1328-1338.
- [19] 刘金勇, 孔繁花, 尹海伟, 等. 济南市土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(5): 1231-1236.
- [20] 王恩, 李新举. 城镇化背景下济南市土地利用变化驱动机制分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 11(S1): 151-155.
- [21] 王筱明. 生态位适宜度评价模型在退耕还林决策中的应用[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(8): 113-116.
- [22] 王敏, 董金玮, 郑新奇. 土地规划环境影响评价指标体系的构建[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(1): 142-144, 147.
- [23] 徐勇, 杨波, 刘国彬, 等. 黄土高原作物产量及水土流失地形分异模拟[J]. *地理学报*, 2008, 63(11): 1218-1226.
- [24] 徐小任, 王梁, 徐勇, 等. 基于“3类”空间的后备可利用土地资源评价研究: 以山西省介休市为例[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(2): 272-282.
- [25] 席振鑫, 刘兆德, 刘金花. 济南市城镇化与城市土地利用效益耦合协调发展研究[J]. *资源开发与市场*, 2019, 35(11): 1375-1380.
- [26] 王成新, 窦旺胜, 程钰, 等. 快速城市化阶段济南城市空间扩展及驱动力研究[J]. *地理科学*, 2020, 40(9): 1513-1521.
- [27] 李红娟. 基于紧凑城市发展的土地利用政策研究[D]. 济南: 山东大学, 2017.
- [28] 杨树佳, 郑新奇. 济南市土地利用现状与可持续发展研究[J]. *资源开发与市场*, 2006, 22(5): 438-439, 443.
- [29] 闫业超, 孙希华, 李平. 水资源对区域经济社会发展的支撑能力研究: 以济南市长清区为例[J]. *中国人口·资源与环境*, 2005, 15(1): 135-140.
- [30] 刘兆霞, 皇传华, 杨克俊, 等. 发展中城市的土地资源承载力评价及预测: 以济南市为例[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(7): 217-223.
- [31] 张波, 郑新奇. 济南市土地可持续利用研究[J]. *地域研究与开发*, 2001, 20(4): 56-58.
- [32] 郑亚运, 赵清, 黄巧华, 等. 济南市南部山区土地利用变化与地形因子关系研究[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(4): 149-153, 160.

(上接第275页)

- [5] 张亮, 丁明军, 张华敏, 等. 1982—2015年长江流域植被覆盖度时空变化分析[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(12): 2084-2097.
- [6] 裴志林, 杨勤科, 王春梅, 等. 黄河上游植被覆盖度空间分布特征及其影响因素[J]. *干旱区研究*, 2019, 36(3): 546-555.
- [7] 韦小茶, 周秋文, 张继, 等. 1982—2016年广西NDVI时空变化及其影响因素[J]. *山地学报*, 2020, 38(4): 520-531.
- [8] 王伟军, 赵雪雁, 万文玉, 等. 2000—2014年甘南高原植被覆盖度变化及其对气候变化的响应[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(9): 2494-2504.
- [9] 程东亚, 李旭东. 喀斯特地区植被覆盖度变化及地形与人口效应研究[J]. *地球信息科学学报*, 2019, 21(8): 1227-1239.
- [10] 赵婷, 白红英, 邓晨晖, 等. 2000—2016年秦岭山地植被覆盖变化地形分异效应[J]. *生态学报*, 2019, 39(12): 4499-4509.
- [11] 贵阳市统计局, 国家统计局贵阳调查总队. 贵阳统计年鉴2020[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [12] 宋家鹏, 陈松林. 基于生态系统服务簇的福州市生态系统服务格局[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(3): 1045-1053.
- [13] 付陶猗, 廖和平, 刘愿理, 等. 重庆市县域尺度地形起伏度与多维贫困的耦合关系研究[J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2020, 42(10): 55-64.
- [14] 周万村. 三峡库区土地自然坡度和高程对经济发展的影响[J]. *长江流域资源与环境*, 2001, 10(1): 15-21.
- [15] 贵阳市统计局, 国家统计局贵阳调查总队. 贵阳市国民经济和社会发展统计公报(2003, 2020)[R]. 贵阳: 贵州省统计局国家统计局贵州调查总队, 2003, 2020.
- [16] 陈怀珠. RS和GIS在监测城市环境变化和环境质量评价中的应用[D]. 福州: 福建农林大学, 2004.
- [17] 赵婷, 白红英, 邓晨晖, 等. 2000—2016年秦岭山地植被覆盖变化地形分异效应[J]. *生态学报*, 2019, 39(12): 4499-4509.
- [18] 汤巧英, 戚德辉, 宋立旺, 等. 基于GIS和RS的延河流域植被覆盖度与地形因子的相关性研究[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(4): 198-203.
- [19] 位宏, 徐丽萍, 李晓蕾, 等. 玛纳斯河流域植被覆盖度随地形因子的变化特征[J]. *中国农业气象*, 2018, 39(12): 814-824.
- [20] 田地, 刘政, 胡亚林. 福州市植被覆盖度时空特征及与地形因子的关系[J]. *浙江农林大学学报*, 2019, 36(6): 1158-1165.
- [21] 郭辉, 黄粤, 李向义, 等. 基于多尺度遥感数据的塔里木河干流地区植被覆盖动态[J]. *中国沙漠*, 2016, 36(5): 1472-1480.
- [22] 殷刚, 孟现勇, 王浩, 等. 1982—2012年中亚地区植被时空变化特征及其与气候变化的相关分析[J]. *生态学报*, 2017, 37(9): 3149-3163.