

黔中水利枢纽工程区植被覆盖变化及其 对地形与地貌的响应

李磊, 兰安军, 钟九生

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550025)

摘要:为了探究喀斯特山区重大水利枢纽工程区的植被覆盖变化及其对地形地貌的响应,助力区域石漠化治理和大型调水工程的科学实施及可持续发展,以贵州省黔中水利枢纽为例,采用像元二分模型,选取 MODIS-NDVI 数据对研究区 2001—2020 年植被覆盖度进行计算,并以分级数据为基础,运用植被覆盖变化类型的提取模型和分布指数,探究了植被覆盖变化的分异特征及其对地形与地貌的响应。结果表明:(1)研究区的植被覆盖度以高和较高为主,20 年来,植被覆盖面积持续上升,年均增长率为 0.46%,植被覆盖情况总体较好;(2)植被覆盖变化以改善型和稳定型为主,28 个区(县)中,白云区、观山湖区、修文县的植被退化面积超过了植被改善面积,有生态退化风险,需加强生态保护;(3)从地貌上看,非喀区植被覆盖改善比纯喀和亚喀区显著;(4)从地形上看,随着高程和坡度上升,植被覆盖退化型分布优势降低,稳定型占优;从坡向变化看,平地植被覆盖退化显著,其余区域不明显。因此,黔中水利枢纽植被覆盖的优势范围和变化类型具有显著的空间分异特征。

关键词:地形;地貌;植被覆盖变化类型;分布指数;分异特征;黔中水利枢纽

中图分类号:TP79; Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)04-0176-08

Changes in Vegetation Cover and Their Response to Topography and Geomorphology in Qianzhong Water Conservancy Hub Engineering Areas

LI Lei, LAN Anjun, ZHONG Jiusheng

(School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to explore the changes of vegetation cover in major water conservancy project areas in karst mountainous areas and their response to topography and landforms, and to facilitate the scientific implementation as well as sustainable development of regional rocky desertification control and large-scale water transfer projects, taking Qianzhong Water Conservancy Project in Guizhou Province as example, based on MODIS-NDVI Database and Pixel Dichotomy, we calculated overall vegetation coverage degree in the research area from 2001 to 2020. And based on the graded data, with combination of the extract models coverage distribution indexes and vegetation-coverage-change types, the changes in vegetation cover in research area and their response to topography and geomorphology were analyzed. The results turn out the following 4 conclusions. Firstly, the entire research area was dominated by high and relatively high coverage degrees. In the past 20 years, along with constantly increasing vegetation coverage area by average annual growth rate of 0.46%, overall vegetation restoration achieved better result. Secondly, the changes of vegetation cover were mainly improved and stable. Among the totally 28 districts (counties), the vegetation degradation areas separately in Baiyun District, Guanshanhu District and Xiuwen County were greater than corresponding vegetation improvement areas with greater ecological-degradation risks, so ecological protection should be strengthened. Thirdly, from the perspective of geomorphology, the improvement level of vegetation coverage in non-karst

收稿日期:2021-06-10

修回日期:2021-06-30

资助项目:国家自然科学基金“面向喀斯特区的光学遥感影像超分辨率重建研究”(41661081)

第一作者:李磊(1997—),男,贵州盘州人,硕士研究生,研究方向为地理信息系统与遥感。E-mail:1554453571@qq.com

通信作者:兰安军(1974—),男,贵州瓮安人,硕士,副教授,主要从事喀斯特环境遥感研究。E-mail:493486980@qq.com

areas were relatively significant than the counterparts in pure-karst areas and sub-karst ones. Fourthly, from the view of topography, along with the increasing altitude and slope, total distribution advantage of vegetation coverage-degradation type decreased, dominated by stable type. From the angle of slope change, overall degradation of flat-land vegetation coverage appeared apparent. And degradation of vegetation coverage in the rest areas was not obvious. Therefore, the vegetation-coverage dominant range and change types in Qianzhong Water Conservancy Project have significant spatial differential characteristics.

Keywords: topography; landform; vegetation coverage change type; distribution index; differential characteristic; Qianzhong Water Conservancy Project

植被覆盖度是指植被(包括枝、茎和叶)在地面的垂直投影面积在研究区总面积中的比例,是度量地表植被生长及分布状况的一个重要指标^[1]。植被在物质与能量循环、调节全球碳平衡和维护全球生态系统稳定中具有无可取代的作用^[2]。因此,在气候变化加剧背景下,开展植被覆盖度研究有重要现实意义^[3]。

植被覆盖度估算方法较多,传统的方法是进行地面实测,该方法虽精度高但范围局限大且难以监测长时间序列。遥感技术具有实时、连续和监测范围广等优势^[4],与回归模型^[5]、像元二分模型等^[6]方法的结合,可弥补地面测量的不足,降低人力物力和财力。其中植被指数和像元二分模型结合是测量植被覆盖度常用的方法之一,成果丰硕,如气候^[7]、地形^[8]、人类活动等^[9]对植被覆盖度变化响应。地形因子(如高程、坡度及坡向等)对植被的分布起着基础性作用,也是当前的研究热点。但是研究大多只结合地形因子的等级变化来分析植被覆盖度的变化规律,对植被覆盖变化类型在各地形因子上分布优势定量分析还较少。同时,植被覆盖变化类型在不同地貌类型和区域有不同的分布特征和规律,尤其是在人类大型工程干预下,植被覆盖度类型与地形地貌等级间呈现怎样的空间格局,值得探究。

黔中水利枢纽工程于 2009 年动工,2016 年第一期工程主体工程建设完成。在人类活动强烈干预下,原本工程性缺水严重,生态环境脆弱的区域植被覆盖度变化趋势是什么样的,各个地形地貌等级间的植被覆盖度分布特征如何?故选取此区域 2001—2020 年 MODIS NDVI 数据及 DEM 数据来开展研究,以期区域水土保持和石漠化治理的科学实施提供参考,助力当地生态环境保护。

1 研究区概况

研究区位于贵州省中、西北部,经纬度 $104^{\circ}14'—107^{\circ}10'E$, $25^{\circ}28'—27^{\circ}6'N$,总面积 $16\,630.27\text{ km}^2$,地势西高东低,海拔为 $372\sim2\,889\text{ m}$,大部分处于石漠化敏感区,生态系统较脆弱,可利用土地资源有

限,开发强度不高^[10]。黔中水利枢纽工程连接长江与珠江,是贵州省首个跨流域和地区的大型长距离水利调水工程,是黔中地区经济社会发展的生命线^[11]。工程经过贵州省贵阳市、安顺市、六盘水市、毕节地区以及黔南州的部分地区^[12]。地处亚热带季风区,多年平均降水约为 $1\,236.54\text{ mm}$,属于湿润区,最热月均温 22°C 以上,最冷月均温 $0\sim15^{\circ}\text{C}$,植被类型为亚热带常绿阔叶林,土壤主要为黄壤,兼有非地带性石灰土^[13]。研究区所在的黔中地区城市密集、交通通达度高,人口密度大、耕地资源集中、工业基础好,是贵州省的中心地带,区位优势十分明显,发展潜力巨大^[13-15]。

2 材料与方法

2.1 数据来源与预处理

2001—2020 年 NDVI 数据来源于美国国家航天局的 MOD13Q1 产品,空间和时间分辨率分别为 250 m 和 16 d 。首先利用 MRT 软件将 HDF 格式的数据转换为 GeoTIFF,投影定义为 UTM,其次采用最大值合成法(MVC,可更好地反映年植被覆盖情况和消除数据中的误差干扰^[16])得到逐年的 NDVI 产品,最后以黔中水利枢纽工程区矢量边界为掩膜进行裁剪处理。

利用水文地质和岩性图,参考熊康宁等^[17]研究成果,根据岩性类型^[18],将研究区划分为纯喀斯特区、亚喀斯特区与非喀斯特区 3 种地貌类型区域(图 1A)。

DEM(数字高程模型)数据来源于地理空间数据云(分辨率为 30 m),为降低数据误差,保证像元尺度一致,将 DEM 数据的空间分辨率调整为 250 m ,再用研究区矢量边界将其裁剪后获得黔中水利枢纽工程区的 DEM 数据。高程、坡度及坡向数据通过 DEM 数据在 ArcGIS 软件中提取得到。结合研究区实际将高程划分为 8 级: $\leq 500\text{ m}$, $500\sim 800\text{ m}$, $800\sim 1\,100\text{ m}$, $1\,100\sim 1\,400\text{ m}$, $1\,400\sim 1\,700\text{ m}$, $1\,700\sim 2\,000\text{ m}$, $2\,000\sim 2\,300\text{ m}$, $>2\,300\text{ m}$ (图 1B);根据自然资源部颁布的《第三次全国土地调查技术规程》,将

坡度划分为 5 级： $\leq 2^\circ$ ， $2^\circ \sim 6^\circ$ ， $6^\circ \sim 15^\circ$ ， $15^\circ \sim 25^\circ$ ， $> 25^\circ$ (图 1C)；坡向数据划分为平地、东坡($45^\circ \sim$

135°)、南坡($135^\circ \sim 225^\circ$)、西坡($225^\circ \sim 315^\circ$)和北坡($315^\circ \sim 45^\circ$)(图 1D)。

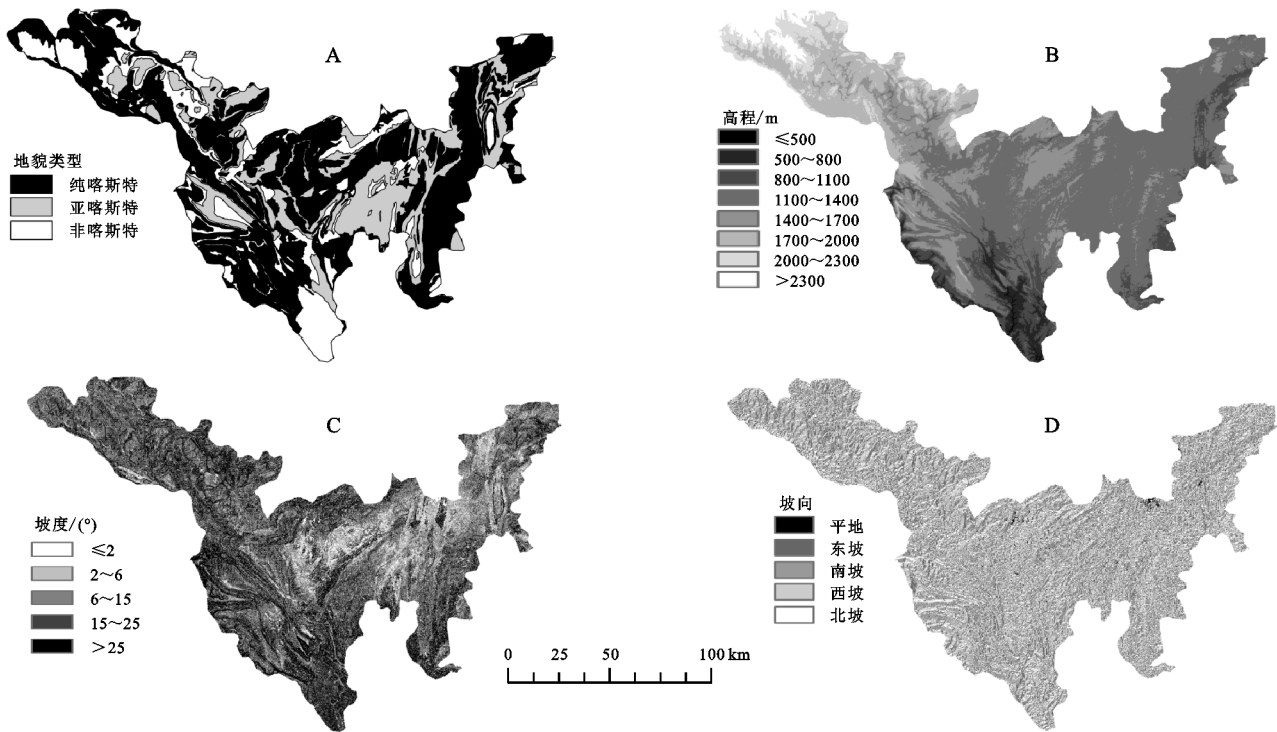


图 1 地貌分布和地形分级

2.2 研究方法

2.2.1 像元二分模型估算法 基于像元二分模型提取研究区植被覆盖度(f_c),计算公式如下^[19]:

$$f_c = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{soil}}) / (\text{NDVI}_{\text{veg}} - \text{NDVI}_{\text{soil}}) \tag{1}$$

式中: $\text{NDVI}_{\text{soil}}$ 为无植被覆盖像元的 NDVI 值; NDVI_{veg} 为纯植被覆盖像元的 NDVI 值。参考相关研究并结合研究区实际情况^[20],以累积频率为 5% 的 NDVI 值为 $\text{NDVI}_{\text{soil}}$,95% 的 NDVI 值为 NDVI_{veg} 。

2.2.2 植被覆盖度变化类型提取模型 逐像元分析研究区植被覆盖度变化,拟合其变化斜率,获取植被覆盖度的变化类型,计算公式如下^[21]:

$$\text{slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times f_i) - (\sum_{i=1}^n i)(\sum_{i=1}^n f_i)}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \tag{2}$$

式中: n 为监测总年数,在本研究中为 20 a; f_i 为第 i 年的植被覆盖度; slope 为线性拟合斜率,可对黔中水利枢纽工程区 20 a 植被覆盖度的变化趋势进行表征,其值为正,表示植被覆盖度增加,反之则表示植被覆盖度降低。

采用 F 检验对显著性大小进行检验,计算公式为:

$$f = U \times \frac{n-2}{Q} \tag{3}$$

式中: $U = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ 为误差平方和; $Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$

为回归平方和; y_i 表示第 i 年的 NDVI 值; \hat{y}_i 为其回归值; n 为研究年数(20 a); \bar{y} 为 20 a 的 NDVI 均值。变化趋势分为 3 类:植被改善型($\text{slope} > 0, \alpha \leq 0.01$)、植被稳定型($\alpha > 0.01$)和植被退化型($\text{slope} < 0, \alpha \leq 0.01$)。

2.2.3 分布指数 为明晰植被覆盖度变化的空间分异特征及其对不同地形与地貌的响应,引入分布指数来进行计算,公式如下^[22]:

$$P = (S_{ie}/S_i) / (S_e/S) \tag{4}$$

式中: P 为分布指数,分布优势和 P 值两者具有正相关性; S_{ie} 为在 e 区域内 i 类型的面积; i 为植被覆盖变化的类型; S_i 为研究区内 i 类型的总面积; S_e 表示 e 区域(本研究中指地形或地貌区域)的面积; S 为研究区的总面积;当 $P = 1$ 时,表明该类型在 e 区域上平稳分布; $P < 1$ 时,表明该类型在 e 区域为劣势分布,反之为优势分布,且 P 值越大,分布优势越显著。

3 结果与分析

3.1 年际变化分析

3.1.1 植被覆盖度等级分布及数值年际变化 采用基于像元二分模型的植被覆盖估算方法,对黔中水利枢纽工程区的植被覆盖度进行估算,利用研究时段内逐年的最大植被覆盖度值计算得出 20 a 的平均植被覆盖度(图 2)。为便于进一步分析研究,将所得到的

20 a 平均植被覆盖度栅格数据在 ArcGIS10.2 软件中进行重分类,参考水利部颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007),并根据研究区实际情况将植被覆盖度划分为低植被覆盖区($f_c < 10\%$)、较低植被覆盖区($10\% \leq f_c < 30\%$)、中植被覆盖区($30\% \leq f_c < 50\%$)、较高植被覆盖区($50\% \leq f_c < 70\%$)和高植被覆盖区($f_c \geq 70\%$)5 个等级区间。由图 2 可以看出,黔中水利枢纽工程区植被覆盖分布具有显著的差异,总体呈西高东低、南北高中部低的分布格局。黔中水利枢纽工程区以高和较高植被覆盖度为主,其分别占研究区面积的 70.28%,21.46%,中植被覆盖区占 5.73%,较低植被覆盖区占 1.64%,低植被覆盖区面积占 0.89%,植被覆盖情况总体较好。

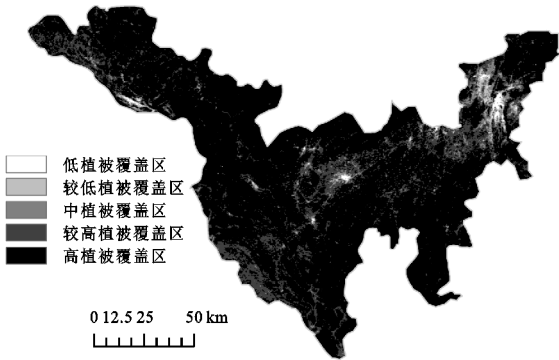


图 2 研究区 2001—2020 年平均植被覆盖度空间分布

图 3 为研究区植被覆盖度均值的年际变化图。20 a 间研究区植被覆盖度平均值为 77.86%,年平均增长率为 0.46%,总体趋势表现为波动上升。年平均植被覆盖度由 2001 年的 75.05%上升至 2020 年的 82.25%,两年相差 7.2%,有较大幅度的提升。其中植被覆盖度最低的是 2005 年(73.08%),低值可能与西南地区 2005—2006 年的干旱天气有关^[23],2005—2012 年植被覆盖度显著提升,与当地退耕还林工程的实施有关,植被覆盖度最高的是 2020 年(82.25%)。

黔中水利枢纽工程于 2009 年动工,2016 年第一期工程主体工程建设完成,在人类大型工程的干预下,工程建设中期的 2012—2013 年植被覆盖度有所

下降,到 2013 年达到一个低值(75.88%),水利枢纽工程建成以后,通过枢纽对研究区水资源的合理调配,研究区的植被覆盖持续增加,说明水利工程建设有利于研究区生态环境的良性发展。

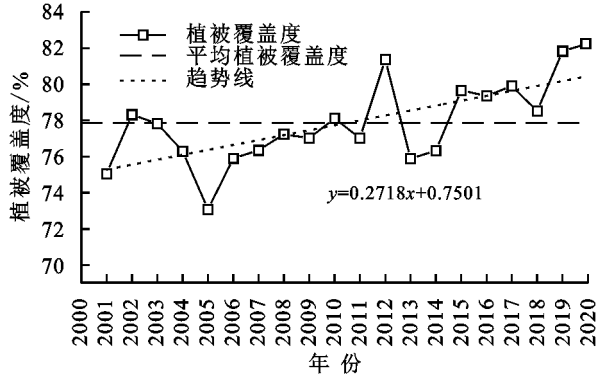


图 3 2001—2020 年研究区植被覆盖度年际变化

3.1.2 研究区植被覆盖度变化类型总体分布特征
为进一步探究黔中水利枢纽工程区植被覆盖度的变化趋势,运用植被覆盖变化的提取模型(公式 2)提取 2001—2020 年的植被覆盖度,得到研究区植被覆盖度 20 a 变化斜率值(图 4A);结合斜率值采用 F 检验法(公式 3),划分研究区植被覆盖度的变化类型(图 4B)。

F 检验的结果表明,植被稳定型占据研究区面积的 47.82%,是研究区占比最大的植被覆盖度变化类型,该类型分布较为均匀;其次为植被改善的区域,植被改善型占研究区面积的 39.79%,主要分布在研究区西北部和南部,多为非喀斯特地区;植被退化型占研究区面积的 12.39%,主要分布在研究区中部和东部,多为经济社会较为发达的地区,也是工程建设的主体区域,退化原因与水利工程建设等人类活动的干预有关,需得到足够重视,应当大力实施封山育林,全面开展石漠化治理,使工程建设区周边植被覆盖率得以提升,有效遏制水土流失,确保研究区生态安全。总体来说,研究区植被覆盖度 20 a 的变化情况较为稳定,总体较好,且改善的比例大于退化的比例。

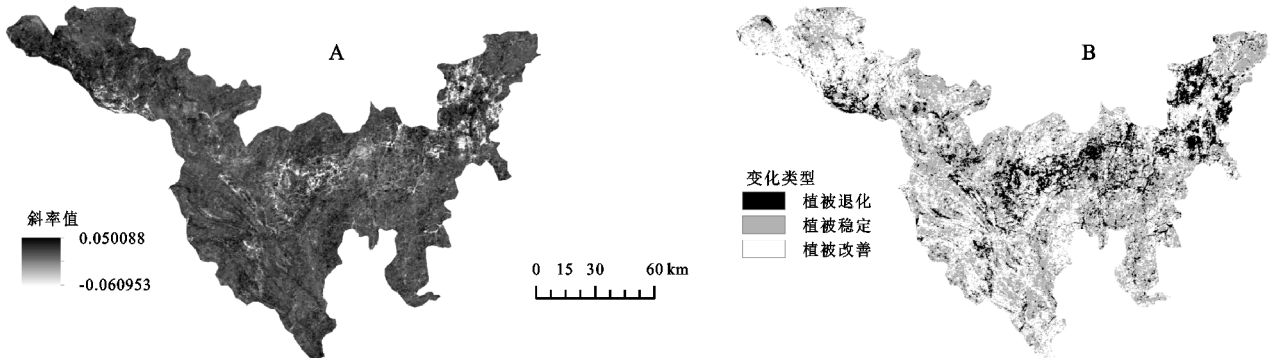


图 4 2001—2020 年研究区植被覆盖度年际变化斜率及变化类型

3.1.3 研究区植被变化类型区(县)差异性分析 为更深入探索黔中水利枢纽区植被覆盖变化类型的具体差异,统计 28 个区(县)(仅统计研究区范围内涉及部分)不同植被覆盖度变化类型在对应区域的面积比(表 1)。

各区(县)的面积比例变化差异较大,其中 25 个区(县)的植被改善面积比例大于植被退化面积比例,开阳、清镇、关岭、紫云、赫章、纳雍、威宁、织金、惠水、贞丰、长顺、六枝、水城、钟山的改善与退化面积比例差较为显著,说明这些区(县)20 a 来的生态建设有了显著成效;而白云区、观山湖区、修文县的植被退化面积比例超过了植被改善的面积比例,说明这 3 个区(县)(研究区范围内涉及部分)在经济发展的同时,存在植被退化风险,需要加强对生态环境的治理保护。

3.2 研究区植被覆盖度变化类型的地形分布特征

将研究区植被变化类型分别与各地形因子(高程、坡度、坡向)进行空间分析,运用分布指数计算不同植被覆盖度变化类型在各地形因子上的分布情况,探究和分析其分布特征。

3.2.1 植被覆盖度变化类型随高程分布特征 随着高程的变化,不同高度上接受的辐射量、土壤性质与气流状况等自然要素也会发生变化^[24]。从图 5A 可以看出,随高程上升,植被覆盖度变化类型也有不同程度的变化,其总体变化趋势为:植被改善型先增后减,之后再增再减;植被稳定型先增再减后又回升;植被退化型的 P 值则是先减后增,后再次减少后又增加。植被稳定型先增再减后又回升。植被改善型分别在 700~1 000 m 和大于 1 700 m 的区域呈优势分布,其余高程区域呈劣势分布,其中在高程为 2 300 m 时植被改善最为显著,大于 2 300 m 时呈下降趋势,但未降至 1 以下。植被退化型在 500 m 以下时,分布优势明显,500~800 m 区间 P 值迅速降低至 1 以下,当高程处于 800~1 400 m 时又有所回升,大于 1 400 m 再次下降,其中在 1 300~1 600 m 区域内植被退化优势分布,原因在于农村居民点在此区域分布

最集中,受生活和工程建设等人类活动的影响较大^[25],导致此区域的植被退化情况较为显著。植被稳定型在高程小于 800 m 时, P 值有所上升,趋近平稳分布,在 800~1 700 m 的高程区域上为优势分布,1 700~2 300 m 区域内为劣势分布,当高程超过 2 300 m 后, P 值又逐渐回升。

表 1 研究区范围各区(县)植被覆盖度变化情况			
所占该区域比例			%
行政区	植被改善	植被退化	植被稳定
白云区	25.07	35.71	39.21
观山湖区	31.95	40.91	27.14
花溪区	38.27	21.49	40.24
开阳县	19.18	0.63	80.19
南明区	35.41	34.93	29.66
清镇市	51.26	10.55	38.19
乌当区	29.43	11.30	59.27
修文县	11.56	29.28	59.16
云岩区	50.49	21.02	28.50
关岭布依族苗族自治县	47.79	6.18	46.03
平坝区	32.34	21.08	46.58
普定县	34.84	15.66	49.49
西秀区	31.37	20.89	47.74
镇宁布依族苗族自治县	44.78	6.91	48.30
紫云苗族布依族自治县	44.13	4.58	51.29
六枝特区	34.22	10.06	55.73
水城县	53.48	7.02	39.51
钟山区	50.25	19.21	30.54
赫章县	45.05	3.72	51.22
纳雍县	40.61	5.77	53.62
威宁彝族回族苗族自治	74.23	3.52	22.25
织金县	31.84	6.36	61.79
惠水县	43.00	3.39	53.61
龙里县	27.89	17.37	54.74
长顺县	32.21	9.22	58.57
晴隆县	20.79	12.16	67.04
兴仁县	25.28	6.38	68.34
贞丰县	55.44	1.39	43.18

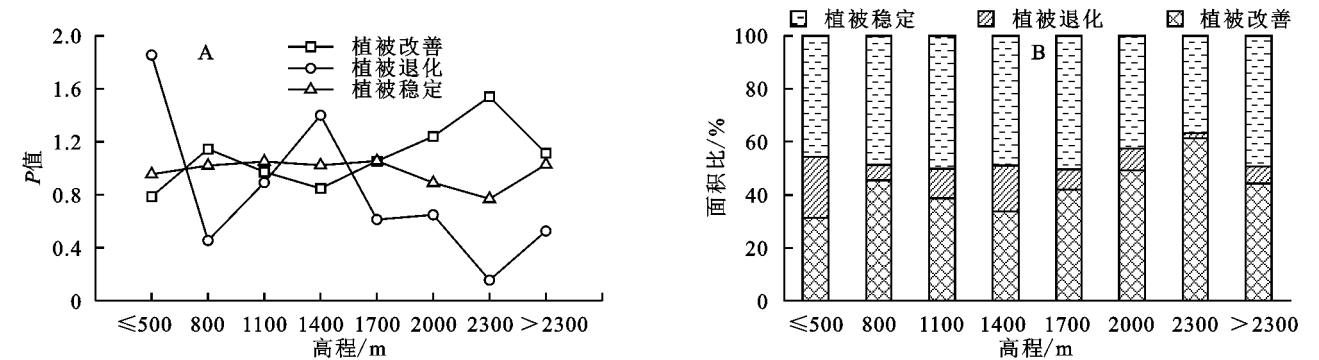


图 5 植被覆盖度变化类型 P 值随高程的变化趋势和面积比

从图 5B 可以看出,研究区各高程区域中,植被改善型和植被稳定型均占有较大比例,其合计占比达 77% 以上,在这其中又以植被稳定型占比更多,占比均值为 46.6%。植被退化型的占比在各高程区域上都不高,以高程 ≤ 500 m 的 22.99% 为最高,2 300 m 的 1.93% 为最小。由上可知,在 ≤ 500 m 和 800 ~ 1 600 m 的高程上,植被退化明显,这与该区域内人类活动如人居生活、生产建设等的干扰有关,在其他高程上,植被稳定和植被改善明显,原因是该区域地势陡峭,人类活动的干扰较少,同时,研究区生态保护及生态修复工程使得植被得以保留。

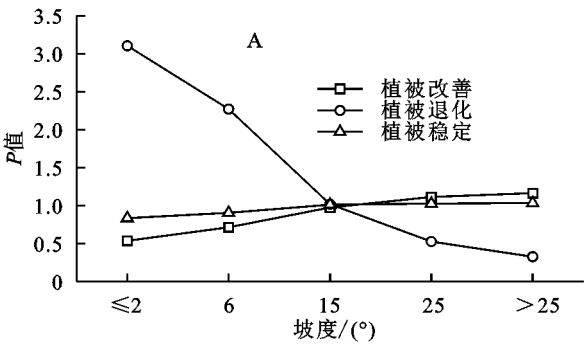


图 6 植被覆盖度变化类型 P 值随坡度的变化趋势和面积比

从图 6B 可以看出,研究区各坡度范围内,植被改善型和植被稳定型占比较大,其合计占比均在 61.48% 以上,其中又以植被稳定型占比较大,占比均值为 46.12%。随着坡度的升高,植被退化型占比持续下降,其在坡度 $\leq 2^\circ$ 的区域内比例最大,为 38.52%,坡度大于 15° 后降至 1% 以下,在坡度大于 25° 的区域占比最小,仅 0.33%。植被覆盖度变化受坡度的影响较大^[27],坡度小于 6° 时,地势起伏小,人类活动干扰较其他区域大。坡度在 $6^\circ \sim 15^\circ$ 时,植被改善和植被稳定均呈现上升趋势,但未达到优势分布,植被改善并不显著,说明此坡度区域内植被处于不稳定状态,需加强生态保护,避免植被发生退化。坡度大于 15° 时地势起伏大,人类活动影响小,植被

改善类型在此区域内呈优势分布。

3.2.3 植被覆盖度变化类型随坡向分布特征 不同坡向的土壤含水量和太阳辐射量存在较大的差异,对植被的分布特征也有较大影响^[8]。由图 7A 可看出,当北坡转换到东坡时,植被改善型的 P 值上升,植被退化和植被稳定型的 P 值均呈下降趋势;当西坡转换到南坡时,植被改善型和植被稳定型的变化趋势均保持平稳,植被退化型稍有上升,但变化不大。其中,植被改善型呈优势分布的坡向为南坡和西坡;植被退化型呈优势分布的坡向为平地、北坡和东坡,在其中又以平地优势最大,北坡和东坡优势略差;植被稳定型在平地劣势显著,除平地外分布平稳。

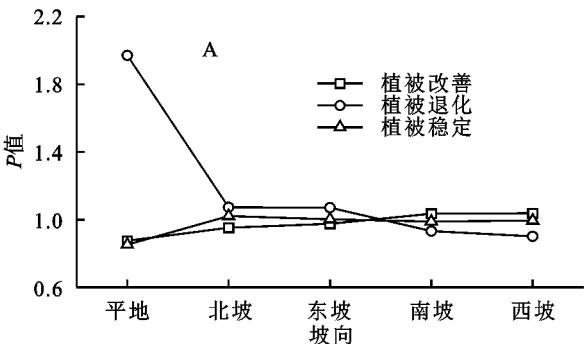
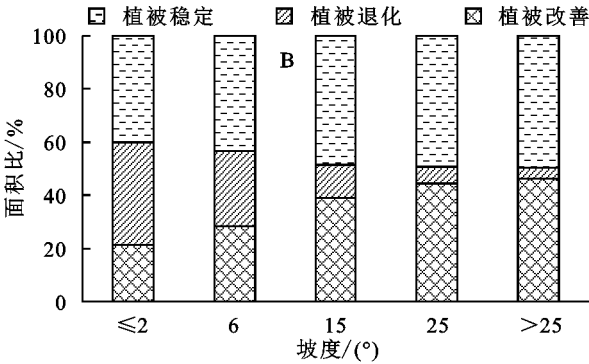
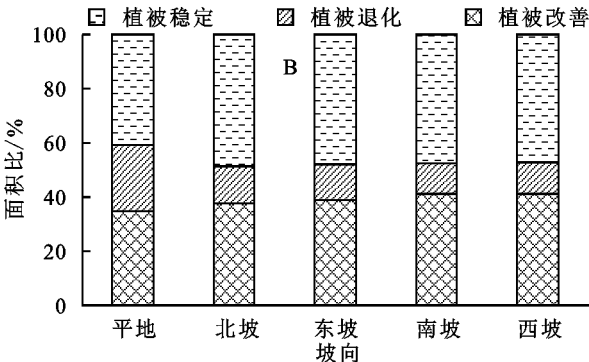


图 7 植被覆盖度变化类型 P 值随坡向的变化趋势和面积比



从图 7B 可以看出,各坡向上,植被改善型和植被稳定型的占比均较大,合计占比达 75.56% 以上。

随着坡向的转变,植被覆盖变化类型也有不同程度的变化,北坡转向东坡时,植被退化和植被稳定型的面积占比略有下降,植被改善型占比稍有上升;西坡向南坡转变时,植被退化轻微上升,变化不大。植被改善型占比最高的坡向为南坡,占比为 41.27%,植被退化型占比最高的坡向是平地,为 24.44%。

由上可知,各植被变化类型在平地上具有显著分异特征,其余坡向则差异微弱,在阴坡(北坡和西坡)上,植被退化类型北优西劣,植被改善类型北劣西优;在阳坡(东坡和南坡)上,植被改善型在南坡略有优势,在东坡趋于稳定,植被退化型在东坡优势稍显,在南坡趋于稳定。当坡向由阴坡转为阳坡时,植被稳定和退化类型的分布指数及面积比略有下降,植被改善

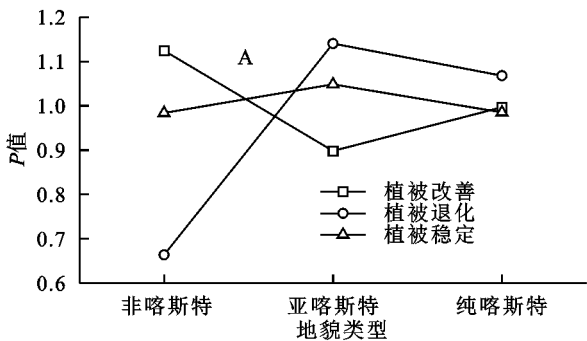


图 8 植被覆盖度变化类型 P 值在不同地貌下的分布指数变化趋势和面积比

由图 8B 可知,各地貌区,植被改善型和植被稳定型的占比均较大,其合计占比均在 85% 以上,又以植被稳定型占比较大,均在 47% 以上。植被退化型在各地貌类型中面积占比均较低,亚喀斯特地貌的 14.14% 最高,非喀区的 8.23% 最小。在纯喀区和亚喀区植被退化较为明显,原因是喀斯特区域生态系统的脆弱性,导致喀斯特地貌区更容易遭到破坏,且破坏后恢复困难。非喀区内植被改善和植被稳定显著。

4 讨论与结论

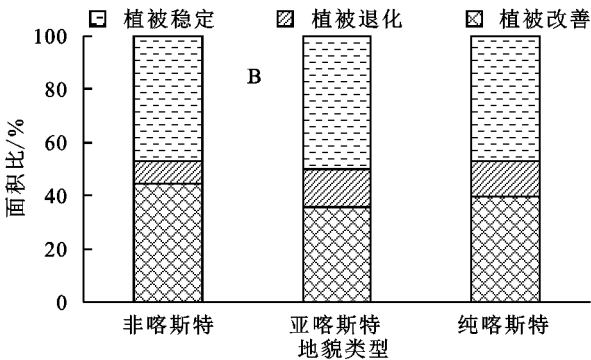
4.1 讨论

研究中采用的像元二分模型,计算较为简单且不受地域限制,所提取的植被覆盖度能够较为全面地反映研究区植被覆盖的生长及分布情况,但该方法仅以置信度区间来截取 NDVI 上下阈值,具有一定局限性。此外,本研究中所使用 MODIS 数据 MOD13Q1 级 NDVI 产品已排除云和大气的干扰,且与其他各项数据保证了像元尺度的一致性,能够较为准确地反映研究区植被覆盖度的时空分异特征,但众多的中间过程难免导致植被覆盖变化的模拟结果有一定误差,尽管如此,本文力求使用科学合理的数据与模型方

型则略有上升,但变化幅度都不大。原因是与阴坡相比,阳坡的水分更合适、太阳辐射更充足,更适宜植被的生长发育。

3.3 植被覆盖度变化类型的地貌分布特征

由图 8A 可以看出,植被改善型在非喀区为优势分布,在亚喀区域和纯喀区为劣势分布;植被退化型在非喀表现为劣势分布,亚喀和纯喀区表现为优势分布;植被稳定型在各地貌区平稳分布,波动不大。非喀区优势分布的是植被改善型,劣势分布的是植被退化型,说明非喀地貌区植被改善较为显著;纯喀区优势分布的是植被退化型,劣势分布的是植被改善型,且又以亚喀区较为显著,说明纯喀和亚喀地貌区的植被退化比非喀区更为显著。



法,来分析黔中水利枢纽工程区的植被覆盖变化分异特征,不足之处仍有待进一步探索和研究。同时,本文只分析了研究区不同地形、地貌的植被覆盖变化分异特征,而没有对其相互之间的关系进行更深入的分析。研究区地形、地貌条件复杂,未来需要进一步深入研究不同地形与地貌的植被覆盖变化的具体差异原因,以便更为精确、更加全面地得到黔中水利枢纽工程区植被生长的分异特征和影响因子,为研究区水土保持和石漠化治理及大型调水工程的科学实施提供更加完备而科学的数据支撑。

4.2 结论

黔中水利枢纽工程区 2001—2020 年,年平均植被覆盖状况较好,不同地形(高程、坡度、坡向)和地貌(纯喀斯特、亚喀斯特、非喀斯特)条件下,植被覆盖空间分布及变化存在显著的分异规律,主要有以下特征:

(1) 20 年间,研究区植被覆盖情况总体较好。年平均增长率为 0.46%,呈波动上升趋势,尤其在工程干预之后,原本工程性缺水严重,生态环境脆弱的区域,生态环境得到不断改善。在 20 a 平均植被覆盖度分级中,低、较低、中、较高和高植被覆盖区分别占工程区总面积的 0.89%,1.64%,5.73%,21.46%,70.28%。

(2) 研究区植被稳定型占比最高,达 47.82%;植被改善型次之,为 39.79%;植被退化型最低,仅为12.39%。除白云区、观山湖区、修文县 3 个区(县)外,其余区(县)的植被改善面积均超过植被退化面积。

(3) 随高程和坡度上升,植被退化型的分布优势降低。随坡向变化,平地区植被退化显著,其余坡向差异不明显;从地貌上看,非喀区植被改善比纯喀和亚喀区显著,纯喀和亚喀地貌区较非喀区植被退化突出。

参考文献:

- [1] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(1): 76-87.
- [2] 朴世龙,方精云.1982—1999 年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异[J].地理学报, 2003, 58(1): 119-125.
- [3] 贾坤,姚云军,魏香琴,等.植被覆盖度遥感估算研究进展[J].地球科学进展, 2013, 28(7): 774-782.
- [4] 张喜旺,吴炳方.基于中高分辨率遥感的植被覆盖度时空变换方法[J].生态学报, 2015, 35(4): 1155-1164.
- [5] 刘乾,李霞,尹业彪.基于 CEBERS 数据的植被覆盖度估算:以古尔邦通古特沙漠南缘为例[J].新疆农业大学学报, 2009, 32(5): 30-35.
- [6] 程东亚,李旭东,安芬,等.高原山区小流域植被覆盖度演变时空格局[J].贵州师范大学学报:自然科学版, 2020, 38(1): 6-13, 57.
- [7] 陆荫,张强,李晓红,等.黄河流域甘肃段植被覆盖度时空变化及对气候因子的响应[J].水土保持通报, 2020, 40(2): 232-238.
- [8] 潘方杰,王宏志,冯兵,等.国家重点生态功能区植被覆盖度变化及其对地形因子的响应:以湖北省长阳县为例[J].华中师范大学学报:自然科学版, 2021, 55(3): 442-452.
- [9] 廖春贵,熊小菊,胡宝清,等.广西不同岩性植被覆盖变化及对人类活动的响应[J].生态经济, 2018, 34(6): 168-173.
- [10] 樊云龙,熊康宁,苏孝良,等.喀斯特高原不同植被演替阶段土壤动物群落特征[J].山地学报, 2010, 28(2): 226-233.
- [11] 周忠发,安裕伦.贵州省水土流失遥感现状调查及空间变化分析[J].水土保持通报, 2000, 20(6): 23-25.
- [12] 李永柳,周忠发,蒋翼.基于 Landsat8 遥感影像的黔中水利枢纽工程区土壤含水量反演分析[J].水土保持研究, 2020, 27(4): 78-84.
- [13] 安全,贺中华,赵翠薇,等.喀斯特分布区小比例尺地表水系提取及阈值分析:以黔中水利枢纽工程区为例[J].水利水电技术, 2018, 49(12): 17-26.
- [14] 李威,赵卫权,苏维词.基于 GIS 技术的黔中地区人居环境自然适宜性评价[J].长江流域资源与环境, 2018, 27(5): 1082-1091.
- [15] 蒋翼,周忠发,黄登红.黔中水利枢纽区植被覆盖度时空变化及驱动力分析:以平坝为例[J].水土保持研究, 2018, 25(6): 221-227.
- [16] 朱林富,谢世友,杨华,等.基于 MODIS EVI 的重庆植被覆盖变化的地形效应[J].自然资源学报, 2017, 32(12): 2023-2033.
- [17] 熊康宁,黎平,周忠发,等.喀斯特石漠化的遥感 GIS 典型研究:以贵州省为例[M].北京:地质出版社, 2002.
- [18] 马士彬,安裕伦,杨广斌.基于 GIS 的喀斯特区域不同岩性基底植被 NDVI 变化分析[J].水土保持研究, 2017, 24(2): 202-206, 212.
- [19] 汪明冲,王兮之,梁钊雄,等.喀斯特与非喀斯特区域植被覆盖变化景观分析:以广西壮族自治区河池市为例[J].生态学报, 2014, 34(12): 3435-3443.
- [20] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等.密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J].资源科学, 2004, 26(4): 153-159.
- [21] 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.
- [22] 李云强,齐伟,王丹,等. GIS 支持下山区县域农村居民点分布特征研究:以栖霞市为例[J].地理与地理信息科学, 2011, 27(3): 73-77.
- [23] 王秋云,蔡艺友,方文维,柯婉茹.西南地区 1971—2012 年干旱变化特征分析[J].陕西气象, 2020(6): 30-35.
- [24] 王莉雯,卫亚星,牛铮.基于遥感的青海省植被覆盖时空变化定量分析[J].环境科学, 2008, 29(6): 1754-1760.
- [25] 廖艳梅,兰安军,尹林江,等.喀斯特山区农村居民点空间分布特征及其影响因素[J].水土保持研究, 2021, 28(6): 233-241.
- [26] 薛显武,陈喜,张志才,等.基于地形因子特征值的喀斯特流域地貌类型判别[J].中国岩溶, 2009, 28(2): 175-180.
- [27] 王毅,郭跃.喀斯特地貌区植被覆盖与地形因子的空间关系分析:以贵州普定县为例[J].长江流域资源与环境, 2018, 27(1): 157-167.