

# 典型喀斯特地区植被覆盖变化及其对地形因子的响应

——以云南石林为例

马嘉阳, 禹天浩, 李兆正, 叶荣琿, 张亦磊

云南大学地球科学学院, 云南 昆明  
Email: 1624104319@qq.com

收稿日期: 2020年11月9日; 录用日期: 2020年11月23日; 发布日期: 2020年11月30日

## 摘要

喀斯特地区的植被与生态环境问题一直是学术界关注的热点。本研究以典型喀斯特地区—云南石林为研究对象, 基于遥感数据资料, 应用ArcGIS、ENVI等技术手段, 分析研究区植被覆盖度变化特征, 探讨其对地形因子的响应。研究表明: 研究区植被覆盖度总体呈下降趋势, 尤其是1999年~2008年间, 植被覆盖度平均值由70%降为50%左右; 2009年~2018年植被覆盖有增加趋势。研究区植被覆盖度总体上在西部低海拔地区呈现较低值, 中部地区呈现较高值, 与1999年相比较, 2018年植被覆盖空间上总体呈现破碎化和片段化。阳坡为植被分布的坡向优势地形位, 而坡度优势地形位则经历了由急陡坡到险坡的变化。研究结果将为喀斯特地区植被恢复与生态环境保护提供科学的参考依据。

## 关键词

植被覆盖, 喀斯特, 地形因子, 云南石林

# Vegetation Coverage Change and its Response to Topographic Factors in Typical Karst Areas

—A Case Study of Shilin in Yunnan Province

Jiayang Ma, Tianhao Yu, Zhaozheng Li, Ronghui Ye, Yilei Zhang

School of Earth Sciences, Yunnan University, Kunming Yunnan  
Email: 1624104319@qq.com

Received: Nov. 9<sup>th</sup>, 2020; accepted: Nov. 23<sup>rd</sup>, 2020; published: Nov. 30<sup>th</sup>, 2020

文章引用: 马嘉阳, 禹天浩, 李兆正, 叶荣琿, 张亦磊. 典型喀斯特地区植被覆盖变化及其对地形因子的响应[J]. 地球科学前沿, 2020, 10(11): 1109-1117. DOI: 10.12677/ag.2020.1011109

## Abstract

The problem of vegetation and ecological environment in Karst area has always been the focus of academic circles. This study takes the stone forest in Yunnan, a typical Karst area, as the research object. Based on remote sensing data, ArcGIS, ENVI and other technical means are applied to analyze the characteristics of FVC change in the study area and discuss its response to topographic factors. The results showed that the vegetation coverage in the study area decreased on the whole; especially from 1999 to 2008, the average vegetation coverage decreased from 70% to about 50%. From 2009 to 2018, vegetation cover showed an increasing trend. On the whole, the vegetation coverage of the study area presents a lower value in the western low-altitude area and a higher value in the central area. Compared with 1999, the vegetation coverage in 2018 presents a fragmented and fragmented space on the whole. The positive slope is the dominant topographic position of the vegetation distribution, while the dominant topographic position of the slope experienced the change from the steep slope to the dangerous slope. The research results will provide scientific reference for vegetation restoration and ecological environment protection in Karst areas.

## Keywords

Vegetation Coverage, Karst, Topographical Factors, Shilin in Yunnan Province

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

由于喀斯特环境本身的脆弱性和人类活动的影响,会导致植被退化、基岩裸露,形成石漠化景观。因此,喀斯特石漠化区域的植被恢复是科学界的研究热点和核心内容之一[1]。目前喀斯特植被生态学研究充分运用 3S 技术(如激光雷达)、进化与系统发育分析、植被动态模型构建等手段,多关注气候变化和人类扰动环境下的喀斯特植被恢复重建、生物多样性时空格局与保护、植物群落构建机制等研究方向[1]。遥感影像由于时间序列长、间隔周期短的特点,已成为研究植被动态变化的重要数据源之一[2]。其中,运用归一化植被指数(The Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)对植被生长的动态监测较为广泛[3]。植被覆盖度作为衡量地表植被状况的一个重要指标[4],其随地形特征而变化,对于区域环境变化和监测研究具有重要意义[5]。喀斯特地区地貌复杂多样,地形破碎[6],影响着太阳辐射和降水的空间再分配。不同喀斯特地区土壤质地、水分和养分的差异造成植被生境的高度异质性,对植被变化产生重要影响[7]。高程、坡度和坡向是衡量地形分异的 3 个主要属性特征,也是决定植被生境其他要素分异(如土壤、小气候和水文等)的主导因子[8]。

目前,不少学者从不同区域尺度出发,从多个角度对植被覆盖与地形的关系进行了研究;其中,利用多时相卫星遥感影像进行植被制图,并与 DEM 模型数据进行叠加分析,定量分析了植被覆盖度与地貌因子间的关系,得出了植被随地形变化的规律[9];从数理统计的角度分析不同植被覆盖度与地形等级因子的相关性,并就相关强度进行排序[10],研究不同植被类型在各种地形因子单元上的分布格局及变化特点[11]。可见,通过地形因子的差异来研究植被空间分布规律,已成为揭示植被与地貌因子关系的重要途径[9]。目前国内有关植被动态变化的研究重点区域是西北、东北以及包括青藏高原、蒙古高原、黄土

高原在内的三大高原[12], 有关西南喀斯特山区的研究虽有所涉及, 也大多以省域县域为研究单元[13][14], 鲜有以自然地貌划分的研究区。此外, 以往的研究大多聚焦于气候变化和人类活动对植被变化的影响[15][16][17], 在生境脆弱、地形复杂的喀斯特山区, 植被变化也受特殊地形影响[7]。

中国南方喀斯特地区生态环境脆弱, 石漠化分布广泛, 植被是陆地生态系统中的重要成分, 对生态系统物质能量流动与养分循环具有重要作用, 是反映区域石漠化变化的重要信息[18], 植被修复也是喀斯特地区生态建设与石漠化治理的根本[19]。因此, 本文以云南石林为研究区, 根据不同地形条件下研究区的植被分布及变化特征, 探讨植被覆盖变化对地形因子的响应, 为喀斯特地区植被恢复和生态环境保护提供科学参考。

## 2. 研究区概况

石林县属云南省昆明市, 地处  $24^{\circ}30'N\sim 25^{\circ}03'N$ 、 $103^{\circ}10'E\sim 104^{\circ}40'E$ , 面积  $1777\text{ km}^2$  [20]。研究区地层以碳酸岩类为主, 境内低山、盆地、洼地、石丘、石芽及峰丛等地貌类型齐全[21]。地势东高西低, 由东北向西南倾斜, 海拔范围  $1451\sim 2613\text{ m}$  (见图 1)。属低纬高原山地季风气候, 四季如春, 雨量充沛, 气候湿润。年平均气温  $16.3^{\circ}\text{C}$ , 年平均降雨量  $939.5\text{ 毫米}$ , 年平均日照  $2096.8\text{ 小时}$ , 年平均风速  $2.1\text{ 米/秒}$ 。石林地区喀斯特地貌形成于 2.7 亿年前, 经历长时间演化, 类型齐全, 范围广, 发育完整, 是世界唯一位于亚热带高原地区的喀斯特地貌, 溶岩发育的独特性、地质演化的复杂性世界罕见。

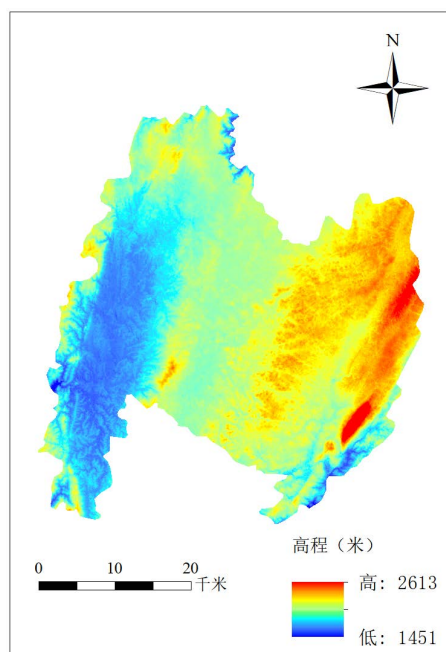


Figure 1. General situation of the research area  
图 1. 研究区概况

## 3. 数据来源与研究方法

### 3.1. 数据来源及处理

本研究所用到的数据包括石林县 DEM 数据(分辨率 30m)和 Landsat7 影像, 分别下载于 MODIS 遥感数据网(<https://modis.gsfc.nasa.gov/>)和地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。卫星使用的是极地轨道环境遥感卫星 Terra, 遥感数据来自于 MODIS 集合 6-1 大气陆地级中的 MOD13Q1 产品, 时间从 2000 到 2017 年, 该区域覆盖了云贵高原, 中南半岛的部分区域。

因为遥感影像有云覆盖，为了保证提取到的植被数据精度，需要对数据进行预处理。首先将来源于MODIS的遥感图像进行裁剪，之后借助辐射定标来消除传感器本身的误差，接着进行大气校正来消除大气散射、吸收、反射引起的误差。最后，通过选取控制点、建立整体映射函数和重采样内插来完成几何校正。

### 3.2. 研究方法

#### 3.2.1. 归一化植被指数(NDVI)

归一化植被指数 NDVI 又称标准化植被指数，具有可以消除地形和群落结构的阴影和辐射干扰、太阳高度角、大气条件有关辐照度的变化等方面的优点，是植被遥感中使用最广泛的指数模型之一[22]，其计算公式为[23]：

$$VFC = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (1)$$

其中，VFC 为植被覆盖度， $NDVI_{soil}$  为完全是裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值， $NDVI_{veg}$  则代表完全被植被所覆盖的像元的 NDVI 值，即纯植被像元的 NDVI 值。两个值的计算公式为[23]：

$$NDVI_{soil} = \frac{(VFC_{max} * NDVI_{min} - VFC_{min} * NDVI_{max})}{(VFC_{max} - VFC_{min})} \quad (2)$$

$$NDVI_{veg} = \frac{((1 - VFC_{min}) * NDVI_{max} - (1 - VFC_{max}) * NDVI_{min})}{(VFC_{max} - VFC_{min})} \quad (3)$$

其中， $NDVI_{max}$  和  $NDVI_{min}$  分别为区域内最大和最小的 NDVI 值。由于不可避免存在噪声， $NDVI_{max}$  和  $NDVI_{min}$  一般取一定置信度范围内的最大值与最小值。对于云量可能造成的误差，可以通过下载极低云量的遥感图来消除，因此未考虑云量对 NDVI 值的影响。

#### 3.2.2. 地形因子选择

根据研究区实际情况，选取坡度、坡向、高程三个指标来表现石林地区喀斯特地貌的特点。运用 ARCGIS 软件进行分析，分类依据如表 1 所示[24]，将研究区划分为 7 个坡度，分别是平坡，缓坡，斜坡，陡坡，急陡坡，急坡和险坡；坡向则划分了 4 个，分别是阴坡，半阴坡，阳坡和半阳坡。

**Table 1.** The classification basis of slope and direction

**表 1.** 坡度和坡向的分类

	类别	范围
坡度	平	0°~5°
	缓	6°~15°
	斜	16°~25°
	陡	26°~35°
	急陡	36°~40°
	急	41°~45°
	险	46°以上
坡向	阴坡	0°~45°, 315°~360°
	半阴坡	45°~135°
	阳坡	135°~225°
	半阳坡	225°~315°

### 3.2.3. 地形分布指数

采用分布指数  $DI$  分析不同地形上植被的概率分布特征。因为  $DI$  是一个无量纲的单位，可以消除地形梯度间的面积差异的影响，其公式为[25]：

$$DI = (T_{ij}/T_i) / (T_j/TA) \quad (4)$$

式中： $DI$ ——某种地形下植被分布指数； $T_{ij}$ ——某种地形下植被覆盖面积； $T_i$ ——植被覆盖总面积； $T_j$ ——某种地形的面积； $TA$ ——总面积。若  $DI > 1$ ，表示该地形下植被覆盖度高，即该地形是植被覆盖空间分布的优势地形位；若  $DI$  值越大，说明优势程度越高。反之，若  $DI < 1$ ，表示该地形下植被覆盖度低，即该地形是植被覆盖空间分布的劣势地形位； $DI$  值越小，优势程度越低。

## 4. 结果与分析

### 4.1. 植被覆盖度的时空变化特征

从时间变化来看，植被覆盖度在不同坡度和不同坡向上均呈现在 1999 至 2008 年间明显减少的趋势（图 2），主要原因是由于这段时间内石林县城镇化发展迅速。而在 2009 至 2018 年间植被覆盖有增加趋势，由于政府干预加大，植树造林成果开始凸显；尤其是险坡的植被覆盖度在此期间上升明显。

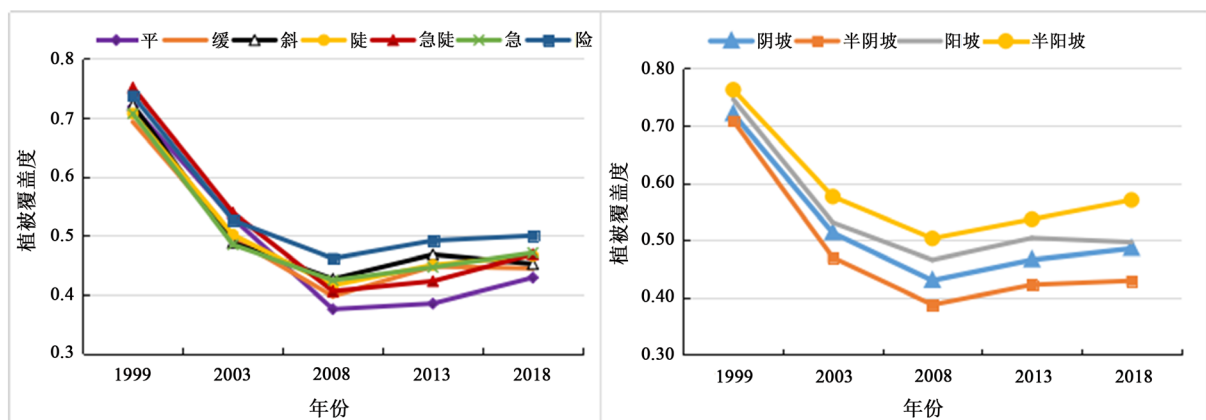


Figure 2. Temporal variation of vegetation coverage

图 2. 植被覆盖度的时间变化

再从空间变化来看（图 3），1999 年植被覆盖极少或无植被的区域，如建设用地、裸露地等所占比重为 27%，有植被覆盖地区占 73%，其中林地占该地区总面积 35%，是主要植被类型；另外，植被覆盖度总体上在西部低海拔地区呈现较低值，中部地区呈现较高值。2018 年植被覆盖极少或无植被的区域所占比重为 51%，有植被覆盖地区占 49%，其中林地占该地区总面积 20%。对比 1999 年植被覆盖空间分布可以发现，植被覆盖空间上总体呈现破碎化和片段化。

### 4.2. 植被分布的优势地形位变化特征

根据计算得出 1999 年和 2018 年的各坡度上植被的地形分布指数曲线，如图 4 所示。可见，1999 年分布指数总体随坡度升高而增加，陡坡、急陡坡、急坡三种坡度的分布指数均在 0.95 附近；唯一分布指数大于 1 的坡度为险坡，即最大值 1.02，成为植被生长的优势地形位，这与当时城镇化发展速度快，其他坡度植被减少较明显，而险坡的坡度稍大，人为破坏越轻，植被保存越好有很大关系。2018 年，地形分布指数存在波动，而波峰出现在极陡坡处，达到 1.02，同时险坡处也超过 1.0，达到 1.01，说明急陡坡、

险坡为优势地形位。坡度较低地区由于开发早，开发程度高，故植被破坏严重，而急陡坡、险坡部分由于人为干预少，植被保存良好，所以植被覆盖度高，反而成为优势地形位。

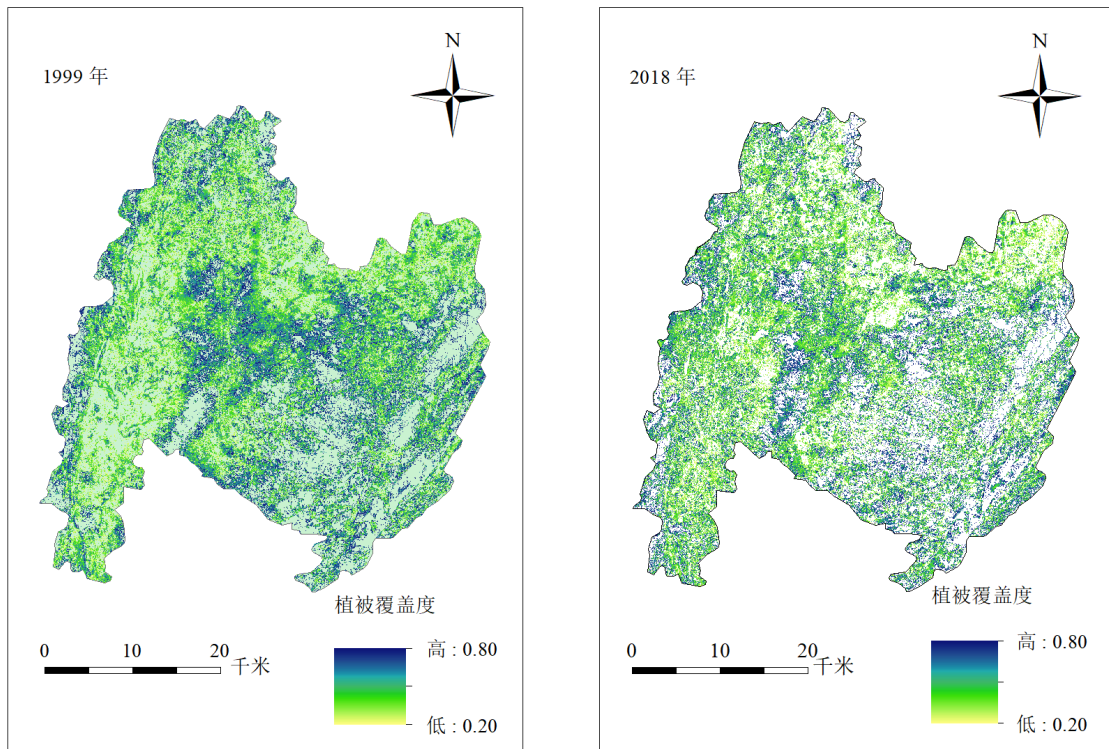


Figure 3. Spatial distribution of vegetation coverage in 1999 and 2018  
 图 3. 1999 年和 2018 年植被覆盖度的空间分布

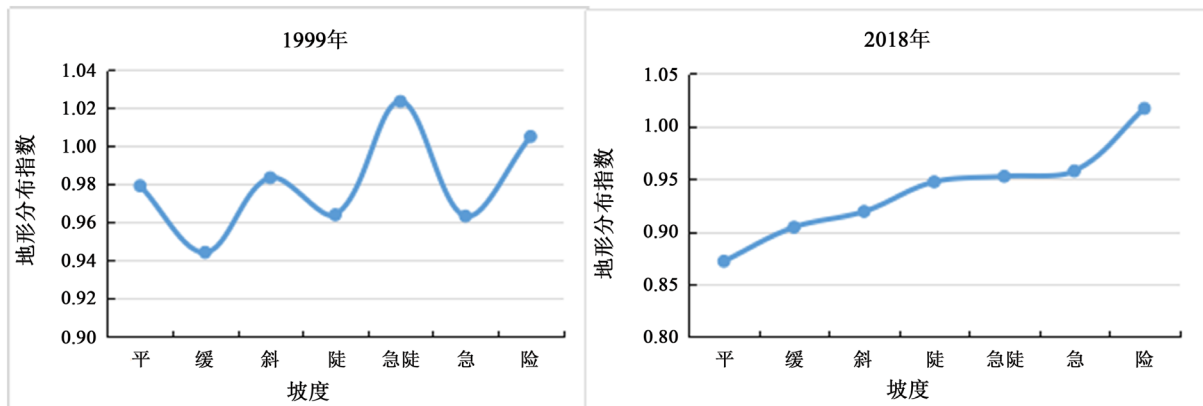


Figure 4. The dominant slope for vegetation distribution in 1999 and 2018  
 图 4. 1999 年和 2018 年植被分布的优势坡度

就坡向而言(图 5)，1999 年在坡向上分布指数大于 1 的为半阳坡与阳坡，数值分别为 1.04 和 1.02；半阴坡的分布指数最小，为 0.96，说明半阳坡、阳坡为优势地形位，该地形下水热条件好，适合植被生长。2018 年，主要优势集中于半阳坡，其分布指数达到 1.2，半阴坡仍旧最小，为 0.87。地形分布的坡向曲线总体形状与 1999 年类似，说明开发建设过程对植被的破坏与坡向关系并不大，不同坡向上的植被均遭受较为相似的破坏，优势地形位集中在半阳坡。

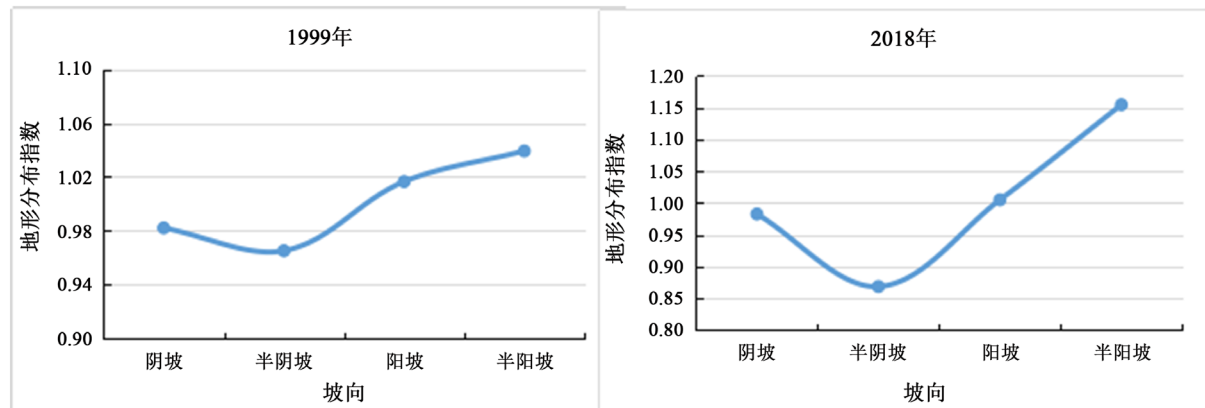


Figure 5. The dominant slope direction of vegetation distribution in 1999 and 2018

图 5. 1999 年和 2018 年植被分布的优势坡向

## 5. 结论与讨论

### 5.1. 结论

从 1999 年到 2018 年, 云南石林地区植被覆盖度总体呈下降趋势, 尤其是 1999 年~2008 年间, 植被覆盖度平均值由 70% 降为 50% 左右; 2009 年~2018 年植被覆盖有增加趋势。

云南石林地区植被覆盖度总体上在西部低海拔地区呈现较低值, 中部地区呈现较高值。2018 年植被覆盖极少或无植被的区域所占比重为 51%; 与 1999 年相比较, 植被覆盖空间上总体呈现破碎化和片段化。

云南石林地区在不同坡度条件下植被生长状况差距较小, 相比之下急陡坡和险坡占比较大, 即表示该坡度条件下植被生长相较于其他地区有优势, 该地区人为干扰小, 植被保护良好。各坡向间植被分布状况总体差距不大, 但阳坡与半阳坡植被占比相对较高, 植被长势较好。

### 5.2. 讨论

植被覆盖的变化是一个地区生态环境质量的综合反映, 1999 年石林县地区开发程度较低, 加之该地区山地众多, 平地相对较少, 其植被分布状况更接近于自然条件。就坡向而言, 不同坡向植被长势均良好, 主要优势地形位集中在半阳坡。就坡度而言, 占少数的低坡度地区植被覆盖度低, 这是由于少量开发和人为因素影响造成的, 而较高坡度的山地受人为影响小, 植被保存良好。而在从 2000 年开始, 由于石林县发展速度快, 植被破坏严重, 总体植被覆盖度迅速降低。自 2002 年国家正式启动退耕还林工程以来, 石林县也实施以天然林保护、退耕还林为主的生态环境保护和建设工程, 极大地增加了石林县的植被覆盖。据《石林年鉴》统计, 2002~2015 年石林县退耕还林总面积为 226.93 km<sup>2</sup>, 其中退耕还林面积为 36.85 km<sup>2</sup>, 封山育林面积为 86.2 km<sup>2</sup>, 荒山、人工和石漠化造林面积为 103.88 km<sup>2</sup> [21]。

由于坡向因素对开发选址等的影响较低, 所以仅坡向而言, 开发建设过程对植被带来无差别破坏, 导致不同坡向条件下的植被均有相似程度的降低, 优势地形位依旧保留在半阳坡。而就坡度而言, 总体上各坡度植被覆盖度都有一定程度降低, 这是由于较快的发展和广泛的土地开发利用造成的。较低坡度开发难度低, 故植被破坏严重, 导致该部分植被覆盖度迅速下降, 而较高坡度的山区一方面开发难度高, 另一方面受相关政策保护, 植被保护相对较好, 使得险坡成为优势地形位。

因此植被覆盖的变化与人类活动的影响息息相关, 在喀斯特地区, 生态环境极其脆弱, 地形因子对生态修复过程有限制, 直接体现在各地形因子上植被变化的特征。该地区在今后的生产活动、建设活动中, 要更加注重生态环境的建设、保护、修复和恢复, 特别是要注重协调好石林地区的人地关系, 更加

落实植被保护政策,对现存植被提供保护并推进植树造林、退耕还林政策的实施,以达到生态恢复的目的,推进石林地区的可持续发展。

## 基金项目

云南省级大学生创新创业训练项目(S201910673084)。

## 参考文献

- [1] 王俊丽. 基于文献计量分析的喀斯特植被生态学研究趋势与热点[C]//中国植物学会. 中国植物学会八十五周年学术年会论文摘要汇编(1993-2018). 昆明: 云南省科学技术协会, 2018: 2.
- [2] Liu, R., Xiao, L.L., Liu, Z., *et al.* (2018) Quantifying the Relative Impacts of Climate and Human Activities on Vegetation Changes at the Regional Scale. *Ecological Indicators*, **93**, 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.047>
- [3] 马明国, 王建, 王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J]. 遥感学报, 2006, 10(3): 421-431.
- [4] 马志勇, 沈涛, 张军海, 等. 基于植被覆盖度的植被变化分析[J]. 测绘通报, 2007(3): 45-48.
- [5] Yu, Z.Z., Zhu, J.G. and Qian, Y.L. (2012) Analysis on Terrain Effects to Vegetation Coverage by Quantitative Remote Sensing. *Advanced Materials Research*, **518**, 5673-5677. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.518-523.5673>
- [6] 杨汉奎. 喀斯特环境质量变异[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1994: 32-33.
- [7] 童晓伟, 王克林, 岳跃民, 等. 桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3425-3434.
- [8] 李晓印. 基于 GIS 的植被空间格局研究: 以在陕西省耀县的实验为例[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2004: 24-30.
- [9] 程圣东, 李占斌, 鲁克新, 等. 文安驿流域植被覆盖度时空分异及其与地貌因子关系研究[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(2): 145-150.
- [10] 蔡宏, 何政伟, 安艳玲, 等. 基于 RS 和 GIS 的赤水河流域植被覆盖度与各地形因子的相关强度研究[J]. 地球与环境, 2014, 42(4): 518-524.
- [11] 孔宁宁, 曾辉, 李书娟. 四川卧龙自然保护区植被的地形分异格局研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2002, 38(4): 543-549.
- [12] 杨雪梅, 杨太保, 刘海猛, 等. 气候变暖背景下近 30a 北半球植被变化研究综述[J]. 干旱区研究, 2016, 33(2): 379-391.
- [13] 李燕丽, 潘贤章, 王昌昆, 等. 2000-2011 年广西植被净初级生产力时空分布特征及其驱动因素[J]. 生态学报, 2014, 34(18): 5220-5228.
- [14] 张勇荣, 周忠发, 马士彬, 等. 基于 NDVI 的喀斯特地区植被对气候变化的响应研究: 以贵州省六盘水市为例[J]. 水土保持通报, 2014, 34(4): 114-117.
- [15] Liao, C.J., Yue, Y.M., Wang, K.L., *et al.* (2018) Ecological Restoration Enhances Ecosystem Health in the Karst Regions of Southwest China. *Ecological Indicators*, **90**, 416-425. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.036>
- [16] Zhang, M.Y., Wang, K.L., Liu, H.Y., *et al.* (2018) Effect of Ecological Engineering Projects on Ecosystem Services in a Karst Region: A Case Study of Northwest Guangxi, China. *Journal of Cleaner Production*, **183**, 831-842. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.102>
- [17] Wang, J., Wang, K.L., Zhang, M.Y., *et al.* (2015) Impacts of Climate Change and Human Activities on Vegetation Cover in Hilly Southern China. *Ecological Engineering*, **81**, 451-461. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.022>
- [18] Wen, Z.F., Wu, S.J., Chen, J.L., *et al.* (2017) NDVI Indicated Long-Term Interannual Changes in Vegetation Activities and Their Responses to Climatic and Anthropogenic Factors in the Three Gorges Reservoir Region, China. *Science of the Total Environment*, **574**, 947-959. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.049>
- [19] 张紧紧, 熊康宁, 李瑞. 喀斯特石漠化综合治理植被恢复技术研究进展[J]. 中国饲料, 2020(5): 5-10.
- [20] 李玉辉, 丁智强, 吴晓月. 基于 Strahler 面积 - 高程分析的云南石林县域喀斯特地貌演化的量化研究[J]. 地理学报, 2018, 73(5): 973-985.
- [21] 曾学梅, 丁文荣. 云南石林县植被覆被时空变化及影响因素[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2020, 50(1): 29-35.
- [22] 康冬, 陈传明, 王强. 2000-2017 年福建省植被 NDVI 变化特征[J]. 台湾农业探索, 2018(6): 25-31.



- 
- [23] 赵威成, 叶欣, 张红华. 基于地形调节植被指数的像元二分模型应用研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(28): 71-72+75.
- [24] 吴照柏. 森林资源规划设计调查中地形因子自动提取初探[J]. 中南林业调查规划, 2007, 26(3): 51-53.
- [25] 王启名, 杨昆, 许泉立, 高蓉. 滇池流域土地利用格局变化的地形梯度效应[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 106-113+118.