

国家生态文明试验区(贵州)经济增速与植被恢复协调发展

黎 喜¹, 杨胜天^{1,2*}, 罗 娅¹, 李超君², 周柏池², 娄和震², 张宇嘉², 张 军² (1.贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025; 2.北京师范大学水科学研究院, 北京 100875)

摘要: 以国家生态文明试验区(贵州)作为研究区,以植被覆盖率(FVC)作为研究对象,基于 2000~2019 年的 NDVI 数据分析了贵州省近 20 年 FVC 的时空演变特征,利用地理探测器方法识别并量化了经济持续增速下维持植被恢复的主要驱动力,结果表明:(1)近 20 年来贵州省 FVC 整体呈增加趋势,FVC 分布整体水平较高,主要以中等、中高和高度覆盖为主,三者面积占比之和约为 89.7%,年均增长率为 0.52%,平均 FVC 为 0.53。(2)近 20 年来贵州省 FVC 变化趋势以轻微改善、基本不变为主,两者面积占比之和为 68.94%,改善区域面积占比为 57.93%,西部区域得到明显改善和提升,退化区域主要集中在城镇周边,总体动态变化趋于稳定且向好改善。(3)FVC 空间分布格局演变深受人类活动与自然环境因子的双重影响,且人类活动对于植被恢复的驱动作用更强,国内生产总值(GDP)和降水是经济持续增速下维持植被恢复的人类活动与自然环境因子主导驱动力。(4)积极推动产业结构优化升级、大力推进第三产业快速发展以及不断贯彻落实退耕还林还草政策等积极的人类活动为贵州省实现经济增速与植被恢复协调发展的“双赢”局面做出了巨大贡献。

关键词: 国家生态文明试验区(贵州); 植被覆盖率(FVC); 经济增速; 植被恢复; 驱动力; 双赢

中图分类号: X321 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2022)09-4333-10

Coordinated development of economic growth and vegetation restoration in the national ecological civilization pilot zone (Guizhou). LI Xi¹, YANG Sheng-tian^{1,2*}, LUO Ya¹, LI Chao-jun², ZHOU Bo-chi², LOU He-zhen², ZHANG Yu-jia², ZHANG Jun² (1.School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China; 2.College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China). *China Environmental Science*, 2022,42(9): 4333~4342

Abstract: The rapid economic development often accompanies the destruction of ecological environment, and the contradictory relationship between both cannot be effectively coordinated for a long time. Achieving the coordinated development of economic growth and vegetation restoration has been a hot research topic worldwide. In this paper, taking (Guizhou) as the study area, the temporal and spatial evolution characteristics of Fractional Vegetation Cover (FVC) in Guizhou (the National Ecological Civilization Pilot Zone) in the past 20 years are analyzed with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data from 2000 to 2019, and the geo-detector is used to identify the main forces for sustaining the recovery of vegetation under the continuous economic growth. Results reveal an increasing FVC trend in the past 20 years, demonstrating a medium, medium-high, and high coverage at an annual growth rate of 0.52% and an average FVC of 0.53. Secondly, the changing trend of FVC in Guizhou has been slightly improved and unchanged over the past 20 years, and the improved area accounts for 57.93%. The western region has been significantly upgraded, and the degraded areas are mainly concentrated around towns and cities. The overall dynamic changes have tended to be stable and improved. Thirdly, the evolution of the spatial distribution pattern of FVC is deeply affected by both human activities and natural environment factors, and human activities have a more substantial effect on vegetation restoration. Gross Domestic Product (GDP) and precipitation are the dominant forces driving vegetation restoration under continuous economic growth. Fourthly, actively promoting the optimization and upgrading of the industrial structure, vigorously promoting the rapid development of the tertiary industry, and constantly implementing the Grain for Green Project have made great contributions to the "win-win" situation of the coordinated development of economic growth and vegetation restoration in Guizhou.

Key words: National Ecological Civilization Pilot Zone (Guizhou); Fractional Vegetation Cover (FVC); economic growth; vegetation restoration; driving force; win-win

植被作为陆地生态系统的重要组成部分,在全球物质循环和能量流动中起着重要的作用^[1]。植被覆盖率(FVC)是植被在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比^[2],是评判地区生态环境状况恢复的重要指标^[3-4],植被覆盖率变化对全球或区域生态系统平衡与生境条件都有着直接或间接的影响^[5]。研究表明,区域植被的变化深受人类活动与自然环境的双重

影响^[6-8],且不同的人类活动方式与自然环境变化程度可能对于植被的恢复都有着直接或间接的影响。

收稿日期: 2022-02-11

基金项目: 国家自然科学基金(U1812401);贵州省科技支撑计划(黔科合支撑[2020]4Y016 号);贵州省 2019 年度哲学社会科学规划重点课题(19GZZD07);贵州省普通高等学校科技拔尖人才支持计划项目(黔教合 KY[2018]042)

* 责任作者, 教授, yangshengtian@bnu.edu.cn

贵州省作为国家首批生态文明试验先行示范区^[9],同时也是世界上典型的喀斯特高原山区,特殊的“二元结构”(地表和地下的不同形态,宏观和微观的多孔介质(裂隙和洞穴)以及地表、地下各种蚀余、堆积形态组成)使其土层浅薄、水土流失严重、植被覆盖度低、自然生态环境脆弱等特征较为突出^[10-11].较长时期以来,贵州经济发展相对滞后,且生态环境遭到了较为严重的破坏.但近年来贵州省的经济取得了突飞猛进的发展,据统计显示,2019 年贵州省 GDP 增速已排名全国第一,与此同时,生态环境也得到了进一步的保护和改善,实现了经济增速与植被恢复协调发展的“双赢”局面.然而,众多研究表明,地区经济的快速提升对于区域植被恢复的影响基本上都是呈现出负向作用^[12-15].

因此,本研究主要探究以下两方面的问题:①在当前经济增速下,国家生态文明试验区(贵州)的植被覆盖度表现出怎样的时空演变特征?②哪些因素是维持国家生态文明试验区(贵州)经济持续增速下植被恢复的主要驱动力?以期为正确认识和了解国家生态文明试验区(贵州)植被演变过程以及生态环境评价与保护提供理论支撑,同时也为其它地区实现经济增速与植被恢复协调发展的“双赢”发展格局提供参考.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

贵州省(103°36'~109°35'E、24°37'~29°13'N)地处

中国西南腹地,隶属云贵高原(图 1).位于长江、珠江水系上游,是两江上游地区的重要生态屏障^[16],常年气候温暖湿润,年均降水量在 1100~1300mm,年均气温为 14.8℃.地形整体呈现为西高东低,平均海拔 1100m,地形起伏较大、气候条件复杂多样、生态系统多样化、生物多样性丰富^[17].全省面积共计 176167km²,以山地、丘陵居多,喀斯特面积占到全省国土总面积的 61.9%,是世界上喀斯特地貌发育最为典型的地区之一.2019 年的国内生产总值是 2000 年的 16 倍多,经济增速排名全国第一.

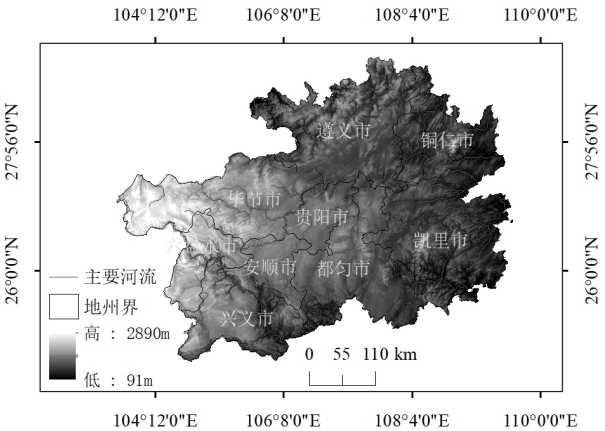


图 1 研究区位置示意

Fig.1 Location of the study area

1.2 数据来源与预处理

选择的数据类型主要包括有遥感数据、气候数据、地形数据、人类活动数据以及岩性数据,具体数据来源与数据处理见表 1.

表 1 数据来源与预处理
Table 1 Data source and preprocessing

数据类型	数据来源	数据预处理
250mNDVI	美国航空航天局(www.nasa.gov)	对 2000~2019 年遥感影像数据采用最大值合成、S-G 滤波平滑后获取归一化植被指数(NDVI),再利用像元二分模型获取每年的 FVC 值.
GDP 公里网格	中科院资源环境科学与数据中心(http://www.resdc.cn)	利用 ArcGIS10.2 获取 2000~2019 年的平均 GDP 公里网格数据,利用自然间断点法对数据进行分类,共计分为 6 类.
1km 人口密度	WorldPop(http://www.worldpop.org)	利用 ArcGIS10.2 获取 2000~2019 年的平均人口密度数据,利用自然间断点法对数据进行分类,共计分为 6 类.
1km 土地利用类型	中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn)	利用 ArcGIS10.2 将 25 个二级类型重新整合为包括耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 个一级类型.
1km 年均气温	中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn)	利用 ArcGIS10.2 获取 2000~2019 年的平均气温,利用自然间断点法对数据进行分类,共计分为 6 类.
1km 年均降水	中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn)	利用 ArcGIS10.2 获取 2000~2019 年的平均降水,利用自然间断点法对数据进行分类,共计分为 6 类.
30mDEM	地理空间数据云(http://www.gscloud.cn/)	利用自然间断点法对数据进行分类,共计分为 6 类.

续表 1

数据类型	数据来源	数据预处理
坡度	30mDEM 数据	利用 ArcGIS10.2 工具提取坡度数据,采用自然间断点法对数据进行分类,共计分为 6 类.
坡向	30mDEM 数据	利用 ArcGIS10.2 工具提取坡向数据,利用重分类共计分为 8 类.
地表粗糙度	坡度数据	利用 ArcGIS10.2 栅格计算器工具结合地表粗糙度计算公式与坡度数据计算后获取,采用自然间断点法对数据进行分类,共计分为 6 类.
岩性	1:50 万数字地质图	利用 ArcGIS10.2 对岩性类型进行分类,共计分为 7 类

1.3 研究方法

1.3.1 植被覆盖度计算 像元二分模型假设每个像元的光谱信息均是纯植被和纯土壤两种组分以面积比例加权而成的线性组合,其表达式如式 1.

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \tag{1}$$

式中:FVC 为植被覆盖度;NDVI_{soil} 为裸土或无植被覆盖区 NDVI 值;NDVI_{veg} 为完全被植被覆盖区 NDVI 值.为避免噪声影响,本研究选取累计频率为 0.5%的 NDVI 值作为 NDVI_{soil},累计频率 99.5%的 NDVI 值作为 NDVI_{veg} 进行计算.当像元值小于等于零时,认为是水体,不参与统计计算.

1.3.2 植被覆盖度线性趋势分析 线性回归分析法是研究植被长时序变化的重要方法^[18].对于植被指标的时序数据,同一像元位置对应相应的一组时间序列,采用最小二乘法拟合得到相应的线性方程^[19].获取年际 FVC 之后,利用 ArcGIS10.2 栅格计算器计算贵州省 2000~2019 年的植被变化趋势,根据其像元值并参照裴杰等^[20]FVC 分类将变化趋势分为 5 类:明显改善(Slope>0.015)、轻微改善(0.005≤Slope<0.015)、基本不变(-0.005≤Slope<0.005)、轻微退化(-0.015≤Slope<-0.005)、严重退化(Slope<-0.015).表达式如式 2;

$$Slope = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times FVC_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n FVC_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2} \tag{2}$$

式中:Slope 为植被变化趋势;FVC_{*i*} 为第 *i* 年的植被覆盖度像元值;*n* 为监测年数,本文 *n*=20.

1.3.3 植被恢复驱动力识别与定量化分析 (1)因子探测:利用地理探测器模型识别与定量分析维持贵州省经济增速与植被恢复协调发展的主要驱动力,若某驱动因子与植被覆盖度值在空间上具有显著的一致性,则表明该因子对植被变化的空间分布格局具有驱动作用.利用地理探测器 *q* 值大小表征这种作用的强弱.*q* 值介于 0 到 1 之间,*q* 值越大,则驱动因子对植被恢复驱动作用越强,反之则越弱.地理探测器值 *q* 表示为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^l N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \tag{3}$$

$$SSW = \sum_h N_h \sigma_h^2, SST = N \sigma^2 \tag{4}$$

式中:*h* 为因子 *Y* 或因子 *X* 的分层;*N_h* 和 *N* 分别为层 *h* 和全区的单元数;σ² 和 σ_{*h*}² 分别是层 *h* 和全区的 *Y* 值的方差.*q* 的值域为[0,1],*q* 值越大表示 *X* 对 *Y* 的解释力越强. SSW 和 SST 分别为层内方差之和和全区总方差.

(2)交互作用探测:评估两个因子共同作用时是否会增加或减弱对 FVC 空间分异格局的解释力或这些因子对 FVC 空间分异格局的影响是否相互独立.首先分别计算两种影响因素 *X*₁ 和 *X*₂ 对 *Y* 的 *q* 值,并且计算它们交互时的 *q* 值,对三者之间的 *q* 值大小进行比较,主要分为以下几种结果(表 2).

表 2 交互探测器判断依据
Table 2 Judgment basis of interaction detector

判断依据	交互作用	判断依据	交互作用
$q(X_1 \cap X_2) < \min(q(X_1), q(X_2))$	非线性减弱	$q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$	独立
$\min(q(X_1), q(X_2)) < q(X_1 \cap X_2) < \max(q(X_1), q(X_2))$	单因子非线性减弱	$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$	非线性增强
$q(X_1 \cap X_2) > \max(q(X_1), q(X_2))$	双因子增强		

(3)风险探测:用于探测不同环境因子对 FVC 变化空间分异格局的适宜范围或类型,用 *t* 统计量来检验.

$$t = \frac{\bar{Y}_{h=1} - \bar{Y}_{h=2}}{\left[\frac{\text{Var}(Y_{h=1})}{n_{h=1}} + \frac{\text{Var}(Y_{h=2})}{n_{h=2}} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

式中: $\bar{Y}_h$ 为子区域 h 内 FVC 的均值; n_h 为子区域 h 内的样本数量; Var 为方差。

2 结果与分析

2.1 贵州省植被覆盖度时空演变特征分析

如图 2a 所示,总体上来看,贵州省 FVC 近 20 年来随时间不断上升($R^2=0.759$).年平均 FVC 在 0.52~0.64 之间变化,最大 FVC 出现在 2015 年,最小 FVC 出现在 2006 年,多年 FVC 均值为 0.53,年均增长率为 0.52%,平均 FVC 从 2000 年的 0.53 上升到 2019 年的 0.63,整体增幅为 15.87%。可以明显地看出近 20 年来贵州省植被恢复在向着不断趋好的方向演替和发展(图 2b)。

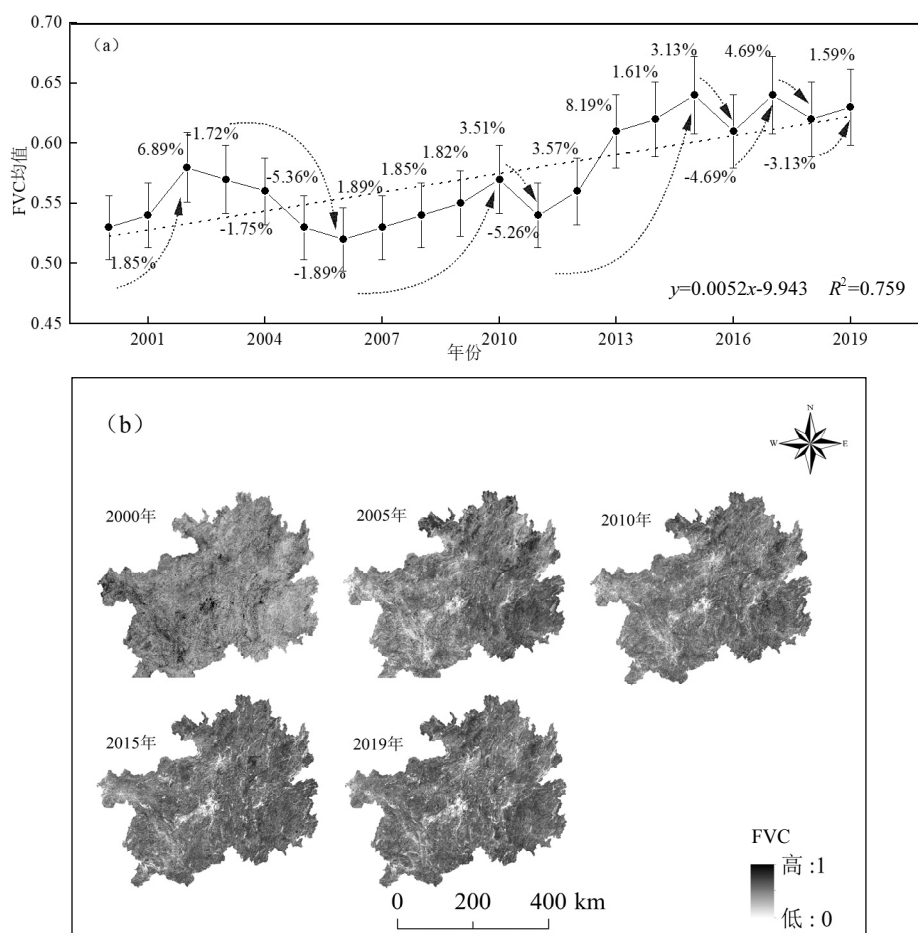


图2 贵州省 2000~2019 年 FVC 年际变化

Fig.2 The interannual variation of FVC in Guizhou Province from 2000 to 2019

(a)统计特征、(b)分布特征

对 2000~2019 年间 FVC 进行均值计算,根据已有 FVC 分级标准^[21],将研究区 2000~2019 年 FVC 平均值划分为 5 个等级(0~0.2 划分为低植被覆盖度,0.2~0.4 划分为中低植被覆盖度,0.4~0.6 划分为中植被覆盖度,0.6~0.8 划分为中高植被覆盖度,0.8~1 划分为高植被覆盖度)如图 3a 所示,贵州省 FVC 分布整体水平较高,呈现出西高东低趋势,尤其是东南地区 FVC 整体水平较高.全省范围

FVC 主要是以中等(27.5%)、中高(37.2%)和高度(25%)覆盖为主,三者占比高达 89.7%.低植被覆盖度地区(1.2%)和中低植被覆盖度地区(9.1%)主要分布在西部地区、西北地区、中部地区(主要是贵阳一带)、北部地区(主要是遵义一带)以及西南少部分地区.结合图 3b 和 3c 可以看出,低植被覆盖度分布区域的用地类型主要为建设用地,占比为 38.3%.高植被覆盖度分布区域的用地类型主要为

林地,占比高达 76.7%.中高和中等覆盖度区域用地类型主要是耕地与林地.

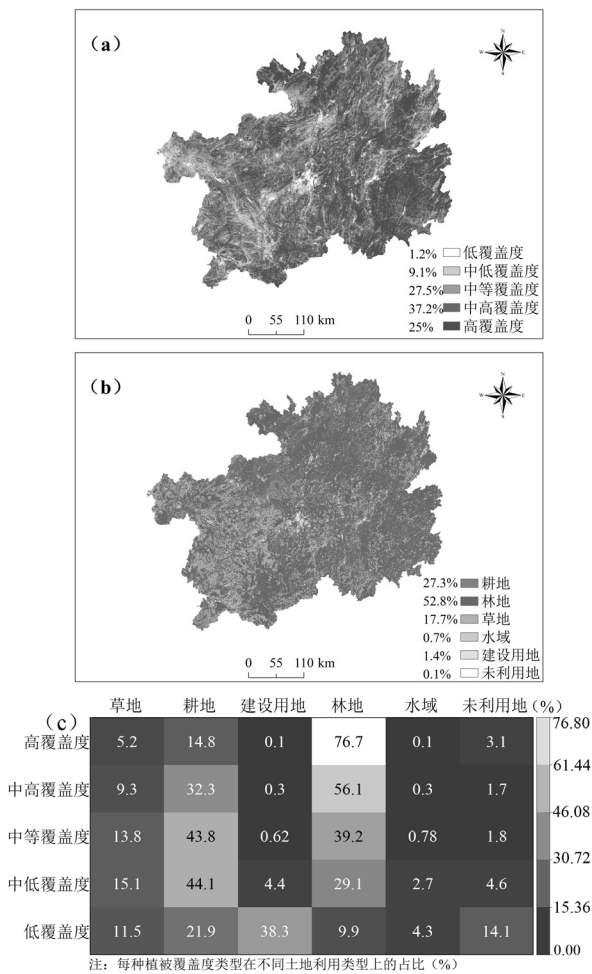


图3 贵州省 2000~2019 多年平均 FVC 空间分布与贵州省土地利用类型及 FVC 相对于土地利用的贡献度

Fig.3 The spatial distribution of average FVC in Guizhou Province from 2000 to 2019, the type of land use in Guizhou Province and the contribution of FVC to land use
a 和 b 分图中百分数表示对应类型的面积占比

2.2 植被覆盖度变化线性趋势特征分析

如图 4 所示,2000~2019 年贵州省 FVC 退化区域(轻微退化和严重退化)面积占比 12.25%,其中轻微退化占比 10.63%,严重退化占比 1.62%,主要集中在城镇周边区域;FVC 基本不变区域面积占比为 29.82%,空间分布比较聚集(主要集中分布在东部区域);FVC 改善区域(轻微改善和明显改善)面积占比为 57.93%,其中轻微改善区域占比 39.12%,明显改善区域占比 18.81%,轻微改善区域分布较为分散,明显改善区域主要分布西北地区(毕节威宁草海区域)、

西部地区(六盘水区域)、黔西南地区(晴隆、普安和贞丰区域)以及安顺市(关岭区域).贵州省 FVC 变化趋势以轻微改善、基本不变为主,两者面积占比之和为 68.94%,极少部分地区 FVC 出现退化现象.从总体空间演变格局来看,贵州省 FVC 总体动态变化趋势稳定且趋于向好改善.

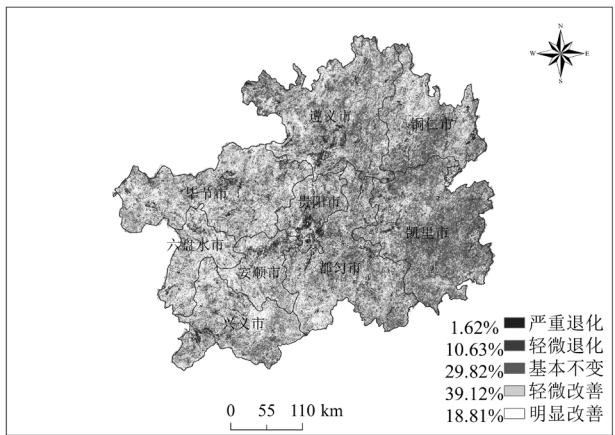


图 4 贵州省 2000~2019 年 FVC 变化趋势
Fig.4 Change trend of FVC in Guizhou Province from 2000 to 2019
百分数表示对应类型的面积占比

2.3 经济持续增速下维持植被恢复的驱动力分析

选取 10 种人类活动与自然环境因子进行因子探测器分析,如表 3 所示,解释力从大到小依次为 GDP、人口密度、土地利用、降水、坡度、坡向、岩性、DEM、气温、地表粗糙度.GDP 和人口密度的解释力 q 值是最大的,可以解释区域内 FVC 空间分布格局演变的 38.4%和 29.4%,对区域内 FVC 空间分布格局演变的解释力最强.土地利用的 q 值(0.165)与降水的 q 值(0.161)相接近,分别可以解释区域内 FVC 空间分布格局演变的 16.5%和 16.1%.解释力相对较弱的环境因子为坡度,坡向,岩性以及气温,解释力最弱的环境因子为地表粗糙度, q 值为 0.008.

表 3 环境因子对植被覆盖度空间分布的解释力 q 值
Table 3 Explanatory power q value of environmental factors on spatial distribution of vegetation coverage

项目	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
q	0.294	0.384	0.161	0.042	0.044	0.165	0.047	0.055	0.008	0.078
p	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000

注:X1 人口密度,X2GDP,X3降水,X4 气温,X5DEM,X6 土地利用,X7 岩性,X8坡向,X9地表粗糙度,X10坡度.

由图 5 可知,10 个环境影响因子在交互作用下对区域内 FVC 空间分布格局演变的解释力都是呈现双因子增强结果,表明多因子间相互作用的解释力大于单因子作用.其中 $X1 \cap X2$ (q 值 0.455), $X2 \cap X3$ (q 值 0.467), $X2 \cap X6$ (q 值 0.446)对区域 FVC 空间分布格局演变的解释力较大,由此可以看出, GDP 在与其它环境因子交互作用下对 FVC 空间分布格局演变的影响最大.GDP 与降水交互作用时对区域内 FVC 空间分布格局演变的解释力达到最大.交互探测结果表明,贵州省经济持续增速下植被恢复深受人类活动与自然环境因子的双重影响.

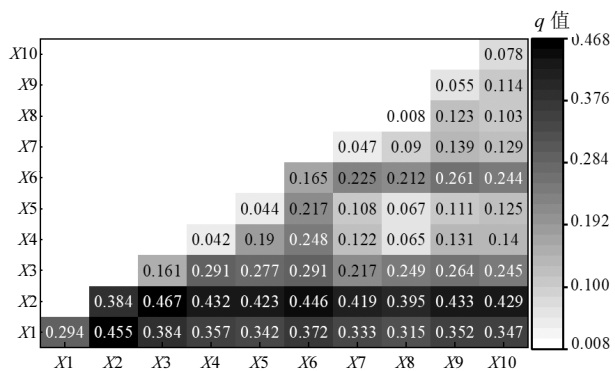


图 5 植被覆盖度与各环境影响因子间交互作用探测
Fig.5 interaction detection among environmental impact factors of vegetation coverage

风险探测可以反映各因子对 NDVI 分布变化的适宜范围或类型,为生态保护与修复提供科学依据,通过对 GDP 与降水两个环境因子风险探测(表 4),可以看出,当 GDP 在 21.24~943.17 亿元范围时,最有利于植被的恢复,且统计检验表明,该分区同其他分区具有显著性差异($P<0.05$).当降水在 1422.85~1645.36mm 范围内时,最有利于植被的恢复,且统计检验表明,该分区同其他分区也具有显著性差异($P<0.05$).

表 4 主导因子风险探测

Table 4 Leading factor risk detection

影响因子类型	因子	FVC(%)	适宜范围
人类活动	GDP	67.2	21.24~943.17(亿元)
自然环境	降水	69.4	1422.85~1645.36(mm)

3 讨论

3.1 植被覆盖度时空演变

时间上来看,贵州省从 2000~2019 年来 FVC 整体表现为稳定持续向好改善.对于降低年份(尤其是 2002~2006 年),可能主要受到人类活动的影响,尤其是政策变化的驱动.贵州省从 2000 年开始大力实施退耕还林还草生态工程^[22],并投入了大量的环保资金确保对政策的落实.而 2002~2006 年,可能伴随着政策驱动力度以及环保资金投入力度的降低(图 6),植被的恢复效果受到了较大的影响.但随后大量环保资金的继续投入,贵州省的植被又得到了逐步稳定的恢复,与此同时,伴随着前几年退耕还林还草效果的体现,植被连续大幅度降低的情况也没有再出现.空间上来看,西北地区(威宁草海区域)、西部地区(六盘水区域)、黔西南地区(晴隆、普安和贞丰区域)以及安顺市(关岭区域)FVC 改善明显,这与这些地区近些年在生态环境治理与保护、生态旅游资源开发以及石漠化改善治理方面取得的显著成绩有关^[23-27].严重退化和 GDP 高风险区主要集中分布在贵阳附近区域,其原因主要是贵阳作为省会城市,在实现快速发展的过程中,局部区域的 GDP 虽然得到了快速提升,但是对区域生态环境的破坏也是最为严重的地方.

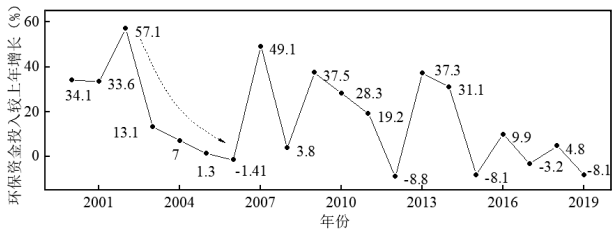


图 6 2000~2019 年环保资金投入增长变化
Fig.6 Growth and change of environmental protection capital investment from 2000 to 2019

3.2 人类活动与自然环境主导因子对植被恢复的驱动响应

由图 7a 可以看出,近 20 年来三大产业对 GDP 的贡献率大小依次为第三产业>第二产业>第一产业.平均贡献率分别为 51%, 36%, 13%.由图 7b 可以看出,第三产业增加值与 FVC 之间呈现显著的正相关关系($R^2=0.71$).另外,参考朱玉杰等^[28]的方法获取了贵州省近 20 年来的产业结构升级程度(图 7c),可以看出近 20 年来贵州省产业结构呈现出不断优化升级的趋势.因此,贵州省积极的产业结构优化转型升级,尤其是对第三产业的大力发展对于该地区实

现经济增速与植被恢复协调发展的“双赢”格局做出了积极贡献.第三产业的集聚发展不仅能够降低城市污染^[29]、改善地区环境现状以及促进环境效率的提升^[30],而且还能影响不同产业结构的优化升级,以促进经济与生态环境的协调发展,对于实现经济的可持续发展和加强生态文明建设具有重要的理论和现实意义^[31-32].

降水对区域内 FVC 空间分布演变格局的影响表现出一定的异质性,但整体上表现为正向作用(图 7d).降水与 FVC 呈正相关面积占 70.6%,负相关面积占

29.4%.西部地区正向作用表现最为明显,这可能与贵州省西高东低的地形分布有关,因为高海拔地区植被对气候因素的响应较低海拔地区要快^[33],使得高海拔地区植被对于降水的需求更加敏感.贵州省虽然年均降水量较为丰沛,但其独特的喀斯特地貌和上下二元空间结构使其地形破碎和溶蚀裂隙特征较为突出,地表水流失与地下水漏失较为严重,导致地表的实际储水能力较弱,真正能够提供给植被吸收利用的有效水分并不充裕^[34-35],所以区域植被恢复对于降水的依赖程度相较于其它气候要素类要强.

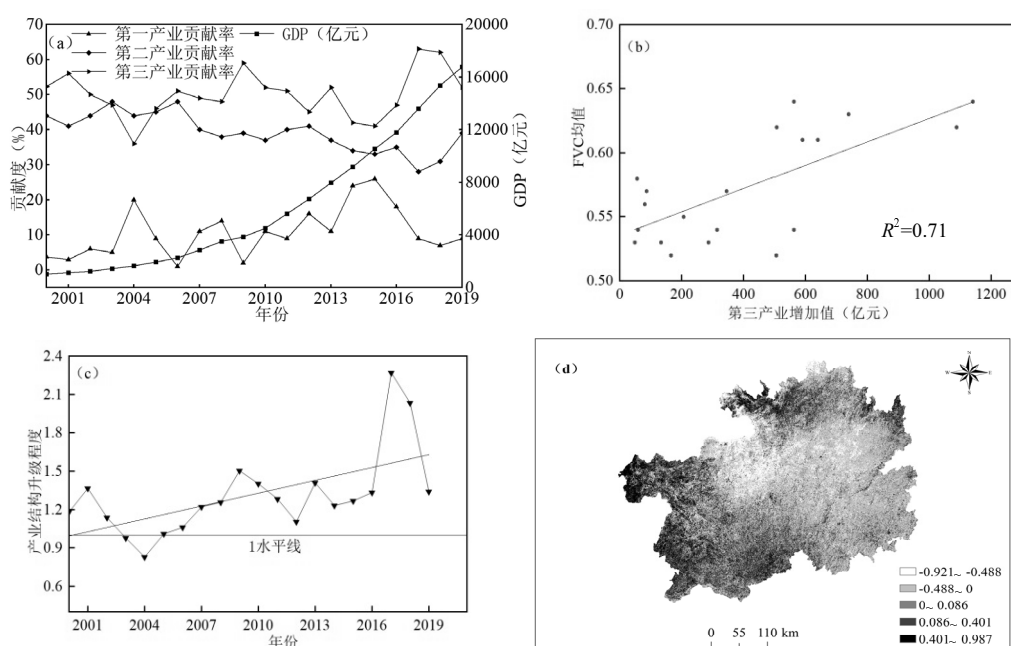


图 7 2000~2019 年 GDP 对三大产业的贡献度(a)、第三产业增加值与 FVC 的二维关系(b)、2000~2019 年产业结构升级程度变化趋势(c)、降水与植被覆盖度的相关系数(d)

Fig.7 Contribution of GDP to the three major industries from 2000 to 2019(a), The two-dimensional relationship between the added value of the tertiary industry and FVC(b), Change trend of industrial structure upgrading degree from 2000 to 2019(c), The correlation coefficient between precipitation and vegetation coverage(d)

3.3 贵州省如何实现经济增速与植被恢复“双赢”

2000~2019 这 20 年间,贵州省 GDP 从 1029.92 亿元提升到 16769.34 亿元,增加了高达 16 倍之多,与之相伴的是近 20 年来植被恢复也提升了 15.87%.经济的快速发展进一步带动了人均收入的显著增加,这一结果所带来的最大好处就是极大程度上改变了人们传统的习惯和不良行为(用植被作为生物燃料),从而使人们对植被的破坏得到极大程度的减小,并且在政府的支持鼓励下,人们对于生态环境的保护意识也会变得更加强烈^[36].因此,贵州省在实现

经济增速的同时植被能够得到有效恢复,主要还体现在以下几个方面.一,经济发展推动了更多生态环境保护政策的出台;二,经济发展投入了更多环保资金用来重建或是改善自然生态环境;三,经济发展改善了人们的收入来源与生活方式,推动了人们环保意识的进一步树立;四,经济发展促进了资源的循环利用,使得资源利用效率得到了极大提升.

3.4 可靠性分析与不足

本文研究结果表明,贵州省自 2000 年以来植被恢复整体呈现出不断向好的趋势,这一结果与之前众多研究学者相一致^[37-39].植被退化区域主要是由

于城镇扩张所致,另外,关于维持驱动力方面,人类活动影响对于贵州省植被恢复的贡献作用要强于自然环境因子,这与 Wei 等^[40]的研究结果相一致,与此同时,自然环境因子中降水对于植被覆盖的影响整体表现为正相关关系。另外,在不足方面,数据的空间分辨率、分析方法以及时期的选择可能都会对研究结果产生一定的误差^[41],地理探测器方法连续因子的离散化无明确标准,致使其分类结果可能会对模型运算结果产生一定的影响^[42]。本文主要采用自然间断点分级法来进行分类,尽可能避免了人为分类的主观性,但是,分类方法与数量对研究结果的影响仍需要做进一步的探究。另外,对于人类活动与自然环境因子类型的选取依然有待进一步增加与细化,主导驱动力的内在维持驱动机理也有待进一步的深入探讨。

4 结论

4.1 时间演变特征上,2000~2019 年来贵州省 FVC 整体上呈现上升趋势,降低年份主要受人类活动影响作用,FVC 在 0.52~0.64 之间变化,平均 FVC 为 0.53,年均增长率为 0.52%。

4.2 空间演变特征上,贵州省 FVC 分布整体水平较高,呈现由西部向东部上升的趋势,主要以中等、中高等和高度覆盖为主,三者面积占比之和约为 89.7%。总体演变格局以轻微改善、基本不变为主,两者面积占比之和为 68.94%,近 20 年来 FVC 改善区域面积占比 57.93%,西部区域植被恢复得到明显改善和提升,退化区域面积占比 12.25%,主要集中在城镇化周边区域,FVC 总体动态变化稳定且趋于向好改善。

4.3 驱动力分析表明,贵州省 FVC 分布格局演变特征深受人类活动与自然环境因子的双重影响,且人类活动对于贵州省植被恢复的驱动作用强于自然环境因子,各因子的解释力排序依次为: GDP>人口密度>土地利用>降水>坡度>坡向>岩性>DEM>气温>地表粗糙度。其中,GDP 是维持植被恢复的人类活动主导因子,且当 GDP 在 21.24~943.17 亿元范围内时,植被恢复最好,降水是维持植被恢复的自然环境主导因子,且当降水在 1422.85~1645.36mm 范围内时,植被恢复最好。

4.4 国家生态文明试验区(贵州)经济增速与植被恢复能够实现协调发展,主要还是得益于积极的人

类活动以及自身经济的快速提升与生态环境改善二者之间的相互促进,积极推动产业结构优化升级、大力推进第三产业快速发展以及不断贯彻落实退耕还林还草政策等积极的人类活动为贵州省实现经济增速与植被恢复协调发展的“双赢”局面做出了巨大贡献。

参考文献:

- [1] Yin G, Hu Z Y, Chen X, et al. Vegetation dynamics and its response to climate change in Central Asia [J]. *Journal of Arid Land*, 2016,8(3): 375-388.
- [2] 甘春英,王兮之,李保生,等.连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析 [J]. *地理科学*, 2011,31(8):1019-1024.
Gan C Y, Wang X Z, Li B S, et al. Changes of vegetation coverage during recent 18 years in Lian jiang River Watershed [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011,31(8):1019-1024.
- [3] 游 珍,李占斌,袁 琼,等.干旱区植被覆盖度的建设阈值分析 [J]. *水土保持研究*, 2005,(3):88-90.
You Z, Li Z B, Yuan Q, et al. Study on the threshold of vegetation coverage in arid area [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005,(3):88-90.
- [4] 杨世凡,安裕伦.生态恢复背景下喀斯特地区植被覆盖的时空变化——以黔中地区为例 [J]. *地球与环境*, 2014,42(3):404-412.
Yang S F, An Y L. Spatial and temporal variations of vegetation coverage in karst areas under the background of ecological recovery: A case study in the central area of Guizhou Province [J]. *Earth and Environment*, 2014,42(3):404-412.
- [5] 刘垚霖,曾 鹏,张 然,等.基于 GEE 和 BRT 的 1984~2019 年长三角生态绿色一体化发展示范区植被覆盖度变化 [J]. *应用生态学报*, 2021,32(3):1033-1044.
Liu Y Y, Zeng P, Zhang R, et al. Vegetation coverage change of the demonstration area of ecologically friendly development in the Yangtze River Delta, China based on GEE and BRT during 1984~2019 [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021,32(3):1033-1044.
- [6] Li J, Peng S, Zhi L. Detecting and attributing vegetation changes on China's Loess Plateau [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2017,247:260-270.
- [7] Liu H, Zhang M, Lin Z, et al. Spatial heterogeneity of the relationship between vegetation dynamics and climate change and their driving forces at multiple time scales in Southwest China [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018,256-257:10-21.
- [8] 金 凯,王 飞,韩剑桥,等.1982~2015 年中国气候变化和人类活动对植被 NDVI 变化的影响 [J]. *地理学报*, 2020,75(5):14.
Jin K, Wang F, Han J Q, et al. Contribution of climatic change and human activities to vegetation NDVI change over China during 1982~2015 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020,75(5):14.
- [9] 韩双喜.贵州成为首批国家生态文明试验区 [J]. *当代贵州*, 2016,(32):4-5.
Han S X. Guizhou has become one of the first batch of national ecological civilization pilot zone [J]. *Guizhou Today*, 2016,(32):4-5.
- [10] 安吉平,王 济,蔡雄飞,等.西南喀斯特二元结构下土壤流失研究进

- 展 [J]. 湖北农业科学, 2017,56(9):1605-1610.
- An J P, Wang J, Cai X F, et al. Research progress of soil loss under the dual structure of southwest Karst [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2017,56(9):1605-1610.
- [11] 黎良财,陆灯盛,张晓丽,等.基于时序遥感的喀斯特山区植被覆盖研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2017,37(7):11-17.
- Li L C, Lu D S, Zhang X L, et al. Study on the dynamics of vegetation coverage in the karst mountainous area based on multi-temporal remote sensing images [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2017,37(7):11-17.
- [12] Liu H, Han B, Wang L. Modeling the spatial relationship between urban ecological resources and the economy [J]. Journal of Cleaner Production, 2016.
- [13] 赵维清,李经纬,褚琳,等.近 10 年湖北省植被指数时空变化特征及其驱动力[J].生态学报, 2019,39(20):7722-7736.
- Zhao W Q, Li J W, Chu L, et al. Analysis of spatial and temporal variations in vegetation index and its driving force in Hubei Province in the last 10 years [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019,39(20):7722-7736.
- [14] 赵安周,裴韬,曹森,等.京津冀城市扩张对植被和地表城市热岛的影响 [J]. 中国环境科学, 2020,40(4):1825-1833.
- Zhao A Z, Pei T, Cao S, et al. Impacts of urbanization on vegetation growth and surface urban heat island intensity in the Beijing-Tianjin-Hebei [J]. China Environmental Science, 2020,40(4):1825-1833.
- [15] 白子怡,薛亮,薛东前,等.关中-天水经济区人类活动对植被覆盖变化的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2020,25(2):151-159.
- Bai Z Y, Xue L, Xue D Q, et al. Impact of human activities on the vegetation cover change in Guanzhong-Tianshui economic zone [J]. Journal of China Agricultural University, 2020,25(2):151-159.
- [16] 樊涵,杨朝辉,王丞,等.贵州省自然保护区时空演变特征及影响因素 [J]. 应用生态学报, 2021,32(3):1005-1014.
- Fan H, Yang C H, Wang C, et al. Temporal-spatial variation and the affecting factors of protected areas in Guizhou, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021,32(3):1005-1014.
- [17] 容丽,杨龙.贵州的生物多样性与喀斯特环境 [J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2004,(4):1-6.
- Rong L, Yang L. Biodiversity of Guizhou Province and its karst environment [J]. Journal of Guizhou Normal University(Natural Sciences), 2004,(4):1-6.
- [18] 王文辉,马祥庆,邹显花,等.2000~2010 年福建省植被覆盖度的时空演变特征 [J]. 水土保持研究, 2017,24(4):234-239,246.
- Wang W H, Ma X Q, Zou X H, et al. Spatiotemporal variations of vegetation change in Fujian Province from 2000 to 2010 [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017,24(4):234-239,246.
- [19] 祝聪,彭文甫,张丽芳,等.2006~2016 年岷江上游植被覆盖度时空变化及驱动力 [J]. 生态学报, 2019,39(5):1583-1594.
- Zhu C, Peng W F, Zhang L F, et al. Study of temporal and spatial variation and driving force of fractional vegetation cover in upper reaches of Minjiang River from 2006 to 2016 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019,39(5):1583-1594.
- [20] 裴杰,牛铮,王力,等.基于 Google Earth Engine 云平台的植被覆盖度变化长时间序列遥感监测 [J]. 中国岩溶, 2018,37(4):608-616.
- Pei J, Niu Z, Wang L, et al. Monitoring to variations of vegetation cover using long-term time series remote sensing data on the Google Earth Engine cloud platform [J]. Carsologica Sinica, 2018,37(4):608-616.
- [21] 符静,秦建新,张猛,等.2001~2013 年洞庭湖流域植被覆盖度时空变化特征 [J]. 地球信息科学学报, 2016,18(9):1209-1216.
- Fu J, Qin J X, Zhang M, et al. Spatial-temporal variations of vegetation coverage in the Lake Dongting Basin from 2001 to 2013 [J]. Journal of Geo-information Science, 2016,18(9):1209-1216.
- [22] 李光平,游涌.贵州省政协提出退耕还林还草“十五字方略”省委政府领导称其为“一项重要的指导原则” [N]. 人民政协报, 2000-08-18(001).
- Li G P, You Y. The CPPCC Guizhou Provincial Committee proposed the "15character general plan" of returning farmland to forests and grasslands, which the leaders of the provincial Party committee and government called "an important guiding principle"[N]. Journal of the Chinese People's Political Consultative Conference, 2000-08-18(001).
- [23] 付玉林.毕节试验区生态治理政策的变迁 [J]. 乡村科技, 2020,(7):119-121.
- Fu Y L. Changes of ecological governance policies in Bijie Experimental Area [J]. Rural science and technology, 2020,(7):119-121.
- [24] 顾羊羊,徐梦佳,杨悦,等.喀斯特石漠化区生态保护红线划定——以贵州省威宁县为例 [J]. 生态学报, 2021,41(9):3462-3474.
- Gu Y Y, Xu M J, Yang Y, et al. Delineation of ecological conservation redline in karst rocky desertification areas: A case study of Weining County, Guizhou Province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021,41(9):3462-3474.
- [25] 李如海.西部地区资源型城市生态旅游发展探索——以贵州省六盘水市为例 [J]. 六盘水师范学院学报, 2015,27(3):9-13.
- Li R H. Research on the eco-tourism development of resources-based cities in the western part——Take Liupanshui City in Guizhou as an example [J]. Journal of Liupanshui Normal University, 2015,27(3):9-13.
- [26] 叶鑫,顾羊羊,张琨,等.西南喀斯特地区石漠化治理现状分析与对策研究——以贵州省黔西南州为例 [J]. 环境保护, 2020,48(22):30-34.
- Ye X, Gu Y Y, Zhang K, et al. Current situation analysis and countermeasures of rocky desertification control in southwest Karst Region: A case study of Qianxinan prefecture in Guizhou Province [J]. Environmental Protection, 2020,48(22):30-34.
- [27] 姚永慧,索南东主,张俊瑶,等.2010~2015 年贵州省关岭县石漠化时空演变及人类活动影响因素 [J]. 地理科学进展, 2019,38(11):1759-1769.
- Yao Y H, Suo N D Z, Zhang Z Y, et al. Spatiotemporal characteristics of karst rocky desertification and the impact of human activities from 2010 to 2015 in Guanling County, Guizhou Province [J]. Progress in Geography, 2019,38(11):1759-1769.
- [28] 朱玉杰,倪晓然.金融规模如何影响产业升级:促进还是抑制?——基于空间面板 Durbin 模型(SDM)的研究:直接影响与空间溢出 [J]. 中国软科学, 2014,(4):180-192.
- Zhu Y J, Ni X R. How can financial scale affect industrial upgrading:

- Facilitating or inhibiting? research based on spatial panel Durbin Model: Direct effects and spatial spillover [J]. *China Soft Science*, 2014,(4):180-192.
- [29] 杨 敏.产业集聚对工业污染排放影响的实证研究——基于制造业集聚和服务业集聚对比的研究 [J]. *求实*, 2018,(2):59-74,111.
Yang M. Empirical research on the influence of industrial agglomeration on industrial pollution emission: Based on the comparison of manufacturing agglomeration and service industry agglomeration [J]. *Truth Seeking*, 2018,(2):59-74,111.
- [30] 周杰文,蒋正云,赵 月.生态文明视角下旅游产业集聚对环境污染的影响——以西部地区为例 [J]. *生态经济*, 2019,35(4):132-139.
Zhou J W, Jiang Z Y, Zhao Y. The impact of tourism industry agglomeration on environmental pollution from the perspective of ecological civilization: Taking the western region as an example [J]. *Ecological Economy*, 2019,35(4):132-139.
- [31] 王 娅,杨国靖,周立华,祁连山北麓牧区社会-生态系统脆弱性诊断——以甘肃省南裕固族自治县为例 [J]. *冰川冻土*, 2021,43(2):370-380.
Wang Y, Yang G J, Zhou L H. The vulnerability diagnosis of the pastoral area social-ecological system in northern Qilian Mountains:a case study on the Sunan Yugur Autonomous County in Gansu Province [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2021,43(2):370-380.
- [32] 余玉冰.我国省会城市第三产业集聚对环境效率的影响研究 [D]. 成都:成都理工大学, 2020.
Yu Y B. Study on the impact of the third industry agglomeration on the environmental efficiency of Chinese provincial capital cities [D]. Chengdu : Chengdu University of Technology, 2020.
- [33] 张顾萍,陈国民,邵怀勇,等.近 16 年金沙江流域植被覆盖时空特征及其对气候的响应 [J]. *长江流域资源与环境*, 2021,30(7):1638-1648.
Zhang G P, Chen G M, Shao H Y, et al. Spatial-temporal characteristics of vegetation coverage and its response to climate from 2000 to 2015 in Jinsha River Basin, China [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021,30(7):1638-1648.
- [34] Jiang Z, Liu H W, et al. Bedrock geochemistry influences vegetation growth by regulating the regolith water holding capacity [J]. *Nature Communications*, 2020.
- [35] 彭大为,周秋文,谢雪梅,等.下垫面因素对喀斯特地区水分利用效率的影响 [J]. *地理科学进展*, 2021,40(12):2086-2100.
- Peng D W, Zhou Q W, Xie X M, et al. Effect of underlying surface factors on water use efficiency in the karst area [J]. *Progress in Geography*, 2021,40(12):2086-2100.
- [36] Hu M, Xia B. A significant increase in the normalized difference vegetation index during the rapid economic development in the Pearl River Delta of China [J]. *Land Degradation & Development*, 2019, 30(4).
- [37] Tian Y, Bai X, Wang S, et al. Spatial-temporal changes of vegetation cover in Guizhou Province, Southern China [J]. *Chinese Geographical Science*, 2017,27(1):25-38.
- [38] 许玉凤,陈发辉,傅良同.近 15 年贵州高原植被变化时空格局分析 [J]. *西部林业科学*, 2019,48(1):1-6.
Xu Y F, Chen F H, Fu L T. Analysis on vegetation coverage change and its spatio-temporal pattern in Guizhou Plateau during recent 15years [J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2019,48(1):1-6.
- [39] 张蓓蓓,蔡 宏,田鹏举,等.2000-2017 年贵州省植被覆盖时空变化特征及其对气候变化的响应 [J]. *地球与环境*, 2020,48(4):461-470.
Zhang B B, Cai H, Tian B J, et al. Spatiotemporal variation of the vegetation coverage in Guizhou from 2000 to 2017 and its response to the climate change [J]. *Earth and Environment*, 2020,48(4):461-470.
- [40] Wei X C, Zhou Q W, Luo Y, et al. Vegetation dynamics and its response to driving factors in typical karst regions, Guizhou Province, China [J]. *Frontiers of Earth Science*, 2021,15(1):167-183.
- [41] Zhang Y, Zhang C, Wang Z, et al. Vegetation dynamics and its driving forces from climate change and human activities in the Three-River Source Region, China from 1982 to 2012 [J]. *Science of the Total Environment*, 2016,563-564(1):210-220.
- [42] 孟 琪,武志涛,杜自强,等.基于地理探测器的区域植被覆盖度的定量影响——以京津风沙源区为例 [J]. *中国环境科学*, 2021,41(2):826-836.
Meng Q, Wu Z T, Du Z Q, et al. Quantitative influence of regional fractional vegetation cover based on geodetector model——Take the Beijing-Tianjin sand source region as an example [J]. *China Environmental Science*, 2021,41(2):826-836.

作者简介: 黎 喜(1993-),男,贵州遵义人,贵州师范大学硕士研究生,主要从事生态水文遥感研究.发表论文 2 篇.