

# 贵州省北盘江流域 2000—2018 年 NDVI 变化及其与地形梯度、人口分布的关系

尉文艺, 李旭东

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025)

**摘要:** [目的] 研究贵州省北盘江流域 NDVI 变化及其与地形梯度、人口分布的关系, 为喀斯特地区植被恢复、退耕还林开展、国土空间优化整治等提供科学参考。[方法] 采用 2000—2018 年贵州省北盘江流域 NDVI 数据, 分析其时空变化特征及与海拔、坡度、人口密度等影响因素的相互关系。[结果] ① 2000—2018 年北盘江流域 NDVI 值总体呈上升趋势, 且年均增长稳定, 植被呈现不断恢复的趋势。② 2000 年北盘江流域 NDVI 空间分布在东南部最高, 在西北部最低, NDVI 高值在中部地区分布较为破碎, 至 2018 年各地区 NDVI 值差距显著缩小, 其中在西北部和中部 NDVI 低值区转变最为明显。③ 2000—2018 年北盘江 NDVI 显著减少、轻微减少及轻微增加的地区面积较少, 面积比例不足 10%; 而显著增加地区面积为 19 986.04 km<sup>2</sup>, 比例为 90.93%。④ 2000—2018 年, 北盘江流域 NDVI 的海拔效应表现为阶段变化特点, 其中 2000—2010 年 NDVI 值随着海拔的上升总体呈现下降趋势; 2010—2018 年 NDVI 值随着海拔的上升总体呈现上升趋势; NDVI 值随坡度增加表现为上升—下降趋势; 而 NDVI 值随人口密度增加呈降低趋势。[结论] 地形因子奠定植被生长条件, 而社会和人为因子对 NDVI 值变化影响较大。

**关键词:** NDVI; 时空变化; 驱动因素; 北盘江; 贵州省

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2021)06-0361-08

**中图分类号:** K903, C924.2, P237

**文献参数:** 尉文艺, 李旭东. 贵州省北盘江流域 2000—2018 年 NDVI 变化及其与地形梯度、人口分布的关系[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 361-368. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2021.06.046; Wei Wenyi, Li Xudong. Changes of NDVI in Beipan River basin of Guizhou Province and its relationship with terrain gradient and population distribution during 2000—2018 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(6): 361-368.

## Changes of NDVI in Beipan River Basin of Guizhou Province and Its Relationship with Terrain Gradient and Population Distribution During 2000—2018

Wei Wenyi, Li Xudong

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

**Abstract:** [Objective] The changes of NDVI in the Beipan River basin of Guizhou Province and its relationship with terrain gradients and population distribution were studied in order to provide scientific reference for vegetation restoration, implementation of returning farmland to forest land, land space optimization and renovation in karst areas. [Methods] Based on NDVI data of the Beipan River basin in Guizhou Province from 2000 to 2018, the temporal and spatial change characteristics and their relationship with altitude, slope, population density and other influencing factors were analyzed. [Results] ① From 2000 to 2018, the NDVI of Beipanjiang River basin showed an overall upward trend, the annual average growth was stable, and the vegetation showed a trend of continuous recovery. ② In 2000, the spatial distribution of NDVI in the Beipanjiang River basin was the highest in the southeast while the lowest in the northwest. The distribution of the high NDVI area was fragmented in the central region. By 2018, the difference of NDVI values in different regions was significantly reduced, and the change was the most obvious in the low NDVI regions in the northwest and

收稿日期: 2021-04-04

修回日期: 2021-06-28

资助项目: 国家自然科学基金项目“西南山地流域城市化与生态环境的耦合关系研究: 以贵州乌江流域为例”(41261039); 贵州省科技厅项目(黔科合 J 字[2009]2253)

第一作者: 尉文艺(1996—), 女(汉族), 浙江省杭州市人, 硕士研究生, 研究方向为资源利用与低碳发展。Email: ebtvvy@163.com。

通讯作者: 李旭东(1969—), 男(汉族), 湖南省邵东县人, 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方面的研究。Email: 616507732@qq.com。

central region. ③ From 2000 to 2018, the areas with significant decrease, slight decrease and slight increase of NDVI in Beipanjiang were less than 10%. The area of the significantly increased region was 19 986.04 km<sup>2</sup>, accounting for 90.93%. ④ From 2000 to 2018, the altitude effect of NDVI in the Beipanjiang River basin was characterized by phase changes. Among them, the NDVI value from 2000 to 2010 showed an overall downward trend with the increase of altitude, while the NDVI value from 2010 to 2018 showed an overall upward trend with the increase in altitude. The value of NDVI showed an up-down trend with the increase of slope. The value of NDVI decreased with the increase of population density. [Conclusion] Topographic factors laid the foundation for vegetation growth, while social and human factors had great influence on the variation of NDVI.

**Keywords:** NDVI; spatiotemporal variation; driving factor; Beipan River; Guizhou Province

植被是连接土壤、大气和水分等自然要素的纽带,其对于促进地表物质能量转化、调节全球碳氧平衡、保持水土、环境治理等方面都具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。植被变化能够在很大程度上表征区域生态环境的演变,并在全球气候变化研究中起着“指示器”的作用<sup>[3]</sup>。植被覆盖的提升对于区域生态环境恢复具有重要意义,在如今区域生态环境恶化和全球极端气候增加的大背景下,对于植被变化的相关研究愈加成为焦点。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是量化和表征植被生长、覆盖、生物量等特征的权威指示因子<sup>[4]</sup>,其常用于区域植被和农作物长势监测、环境质量评估以及自然灾害监测等方面<sup>[5-6]</sup>。NDVI在植被变化相关研究中已占有十分重要地位,许多学者进行了不同空间尺度的NDVI相关研究,其研究主要涉及行政区划<sup>[7]</sup>或山地<sup>[8]</sup>、流域等<sup>[9]</sup>自然层面的划分。目前对于NDVI相关研究内容涉及较为广泛,主要集中于NDVI的农作物长势动态监测<sup>[10-11]</sup>、区域NDVI变化对气温和降水等气候因子的响应<sup>[12-13]</sup>、NDVI时空变化及影响因素研究<sup>[14-15]</sup>,等等。例如王利民等<sup>[10]</sup>利用NDVI加权指数进行了冬小麦种植面积遥感监测;赵鸿雁等<sup>[12]</sup>研究了甘肃省中东部植被生长季NDVI时空变化及其对气候因子的响应;王林林等<sup>[14]</sup>研究了柴达木盆地NDVI时空变化及其影响因素。就NDVI时空变化及影响因素相关研究而言,多数研究的影响因素切入因子多为气温和降水等气候因子,也有部分学者将研究视角着重于地形因子或人类活动等社会因子。如熊亚兰等<sup>[15]</sup>认为NDVI空间分布特征由高程、坡度和坡向共同决定,但各因子对NDVI的实际影响随尺度变化而变化。程东亚等<sup>[16]</sup>认为随人口密度上升,植被覆盖度总体处于下降趋势。但目前综合考虑海拔、坡度等地形因子以及人口密度等社会经济因子,以此来探究NDVI变化的影响因素的相关研究还较为缺乏。再者,贵州北盘江流域是典型的喀斯特山地流域,其石漠化问题较为突出,地形条件复杂,生态环境

较为脆弱。而植被恢复是流域生态环境治理的重要一环,研究北盘江流域NDVI变化对揭示其植被恢复状况和检验生态环境治理成效等具有现实意义。因此,本文基于2000—2018年贵州省北盘江流域NDVI数据,分析其时空变化特征,并讨论了其与地形梯度、人口分布的相互关系,以期对喀斯特地区植被恢复、退耕还林开展、国土空间优化整治等提供科学借鉴。

## 1 研究区概况、数据来源

### 1.1 研究区概况

贵州省北盘江流域位于贵州省西南部(26.83°—24.85°N, 103.91°—106.23°E),流域内主要包括六盘水市、安顺市、黔西南州等市州。流域地势西高东低,北高南低,海拔最高达2 848 m,最低达295 m,相对高差超过2.5 km,地形起伏较大。东南部为流域下游,水系相对发达。流域位于亚热带季风气候区,冬暖夏凉,气候宜人。雨季明显,降水较多,晴天少,阴天多。气候不稳定,灾害性天气种类多。北盘江流域人口较多,其中少数民族比例大,曾是“脱贫攻坚”开展的重要地区,经济欠发达。

### 1.2 数据来源与处理

NDVI数据是来自中国科学院资源环境数据云平台(<http://www.resdc.cn>)基于连续时间序列的SPOT/VEGETATION NDVI卫星遥感数据,数据名称为中国年度植被指数空间分布数据集<sup>[17]</sup>。该数据是采用最大值合成法生成的年度数据,其分辨率为1 km,本研究选取数据时间年限为2000—2018年。DEM数据来自地理空间数据云(<http://www.resdc.cn>),其数据精度为30 m。人口数据来自于《贵州统计年鉴2001—2019年》<sup>[18]</sup>,县域面积数据来自《中国县域统计年鉴2019年》,人口密度数据由县域面积和人口数量数据计算得出。北盘江人口密度分布特征图是将人口密度数据赋值于县级行政中心并进行反距离权重插值得到,为避免县级行政点过少而导致人口密度插值分析的结果不理想,故将2000, 2010和

2018 年贵州省所有县域人口密度数据赋值于贵州各县级行政中心后再进行反距离权重插值分析,最后根据北盘江流域矢量边界裁剪得到该图。坡度数据是基于 DEM 数据,采用 ArcGIS 10.04 表面分析中坡度分析提取。为减少数据计算处理的误差,将各类数据进行统一投影,空间参考均定义为 WGS\_1984\_UTM\_Zone\_48N,再利用贵州北盘江流域矢量边界将各数据集进行裁剪,得到北盘江流域 2000—2018 年 NDVI 空间分布栅格数据、海拔、坡度等数据。

## 2 NDVI 时空变化特征

### 2.1 NDVI 时间变化特征

2000—2018 年贵州省北盘江流域 NDVI 值总体呈上升趋势(表 1)。具体而言,2000 年贵州省北盘江流域 NDVI 年平均值为 0.679,2010 年为 0.757,2018 年为 0.809。2000—2010 年 NDVI 变化值为 0.078,年均变化值为 0.008,为变化最明显阶段;2010—2018 年 NDVI 变化值为 0.052,年均变化值最小,变化值为 0.006;纵观全研究时段,2000—2018 年 NDVI 变化值为 0.130,年均变化值为 0.007。可见 2000—2018 年北盘江流域 NDVI 值增长较为稳定,植被呈现不断恢复的趋势。

表 1 贵州省北盘江流域 2000—2018 年 NDVI 平均值变化

年份	NDVI 年 平均值	阶 段	NDVI 变化	年均 变化
2000	0.679	2000—2010 年	0.078	0.008
2010	0.757	2010—2018 年	0.052	0.006
2018	0.809	2000—2018 年	0.130	0.007

### 2.2 NDVI 空间变化特征

2000 年贵州省北盘江流域 NDVI 空间分布在东南部最高(图 1),在西北部最低,NDVI 高值在中部地区分布较为破碎;2010 年北盘江流域 NDVI 高值在东南部分布较为集中,低值在东北部、西南部地区分布相对集中,NDVI 高值在中部地区分布相对稀疏。2018 年北盘江流域 NDVI 空间分布特征表现为 NDVI 值较往年普遍提升,仅在东北部、西南部及中部的少数地区分布较低,NDVI 高值分布连续性增强。期间北盘江流域西北部整体 NDVI 变化最明显,2000 年 NDVI 低值区分布面积较大,在西南部、东北部以及中部地区 NDVI 高值较为破碎。而 2018 年低值区面积较小,且呈现向高值区转变趋势。2000—2018 年北盘江流域 NDVI 整体趋势呈现上升状态,2018 年各地区 NDVI 值差距显著缩小,在西北部和中部 NDVI 低值区转变最为明显。

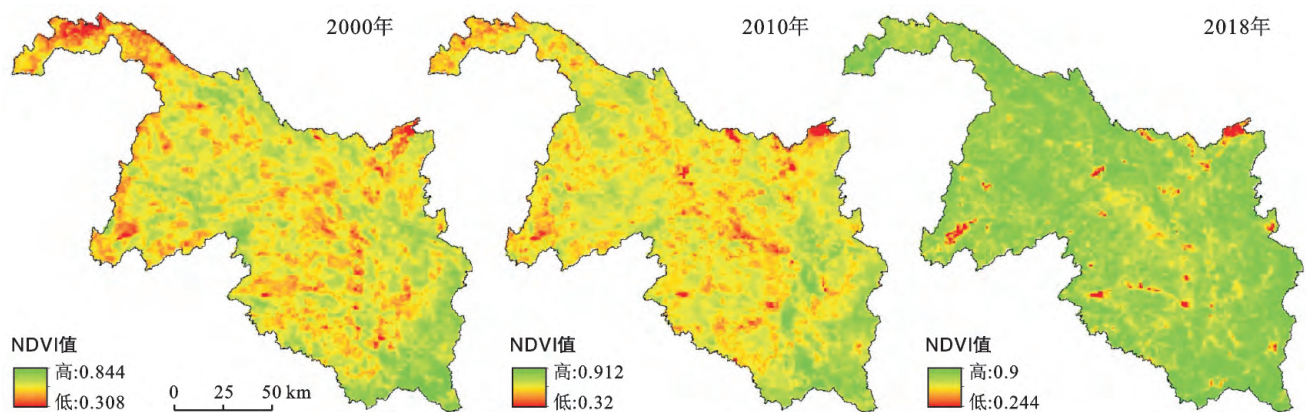


图 1 贵州省北盘江流域 2000—2018 年 NDVI 空间变化特征

### 2.3 NDVI 不同时段变化程度

2000—2010 年贵州省北盘江 NDVI 显著减少的地区在北部及西部分布相对密集(图 2),其余地区分布较为破碎;轻微减少的地区在北部及中部地区分布较为集中;轻微增加地区主要分布在西部及北部。2000—2010 年北盘江 NDVI 显著减少的地区面积最小,面积为 52.96 km<sup>2</sup>,比例仅为 0.24%(表 2);NDVI 轻微减少的地区面积较小,面积为 664.47 km<sup>2</sup>,所占比例不足 4%;NDVI 轻微增加的面积较大,面积为 4 575.35 km<sup>2</sup>,占比 20.82%;NDVI 显著增加的面积

最大,面积为 16 686.67 km<sup>2</sup>,所占比例 75.92%。2010—2018 年北盘江 NDVI 显著减少、轻微减少以及轻微增加的地区面积显著增加,所占比例均有较大提升。其中 NDVI 显著减少的地区面积为 1 223.02 km<sup>2</sup>,所占比例 5.56%;NDVI 轻微减少的地区面积为 2 743.81 km<sup>2</sup>,所占比例 12.48%;NDVI 轻微增加的地区面积为 5 927.27 km<sup>2</sup>,所占比例 26.97%。而 NDVI 显著增加的地区面积减少较多,面积为 12 085.35 km<sup>2</sup>,所占比例降为 54.99%。总体来看,2000—2018 年北盘江 NDVI 显著减少、轻微减少及轻微增加的

地区面积较少,面积分别为 396.68 km<sup>2</sup>,419.66 km<sup>2</sup>,1 177.06 km<sup>2</sup>,总体所占比例面积不足 10%;NDVI 显著增加的面积最大,面积为 19 986.04 km<sup>2</sup>,所占比

例为 90.93%。2000—2018 年北盘江流域 NDVI 显著增加地区面积总体呈增加趋势,且增加幅度明显,表明北盘江流域生态环境综合治理取得了一定成效。

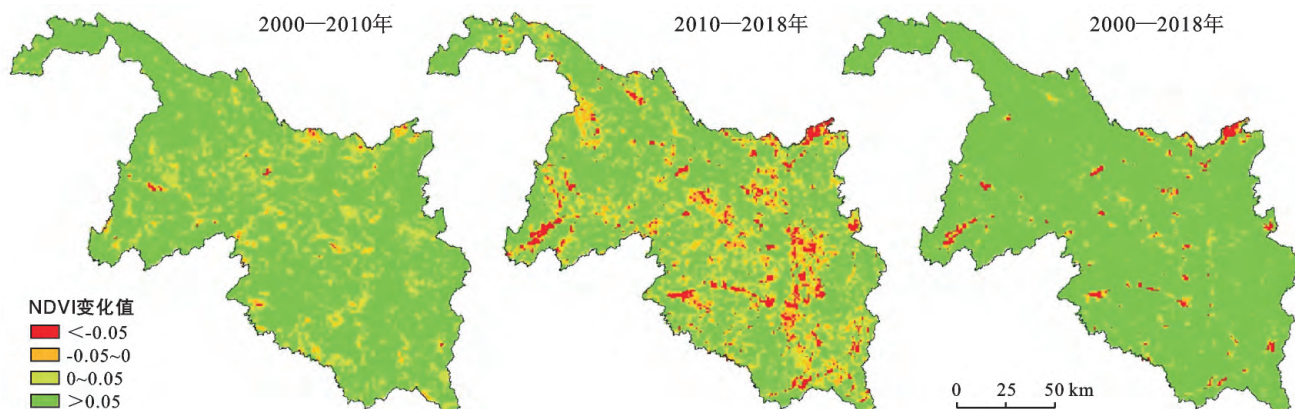


图 2 贵州省北盘江 2000—2018 年 NDVI 阶段变化特征

表 2 贵州省北盘江流域不同时段 NDVI 变化程度

NDVI 变化范围	NDVI 变化程度	2000—2010 年		2010—2018 年		2000—2018 年	
		面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
<-0.05	显著减少	52.96	0.24	1 223.02	5.56	396.68	1.80
-0.05~0	轻微减少	664.47	3.02	2 743.81	12.48	419.66	1.91
0~0.05	轻微增加	4 575.35	20.82	5 927.27	26.97	1 177.06	5.36
>0.05	显著增加	16 686.67	75.92	12 085.35	54.99	19 986.04	90.93

### 3 NDVI 变化的地形效应

#### 3.1 北盘江流域地形特征

贵州省北盘江流域地形条件复杂,除中部和东南部河谷部分地区外,海拔大致表现为由西北向东南部减少特征(图 3)流域坡度特征表现为西北部和东南部坡度较陡,西南部、中部以及南部坡度相对平缓。具体来看,北盘江流域河谷地带海拔较多小于 1 200 m,海拔较低地区位于流域东南部地区的河流下游;流域西北部和西部大部分地区海拔在 1 400 m

以上,特别是在流域西北部的北盘江上游地带,绝大部分地区海拔大于 1 800 m。例如威宁和水城所在地区为流域海拔最高地区。坡度小于 10°的地区在流域中部和南部分布较广,坡度为 20°~30°地区在流域东南部分布最广,而大于坡度 30°地区主要分布在流域西北部。流域内山高坡陡,海拔东西差异较大,由于流域喀斯特地貌发育较广泛,坡度表现出较大差异。这种特殊的流域自然地理环境为动植物生长提供了不同的水热组合条件,植被生长也可能会因此产生一定地域差异。

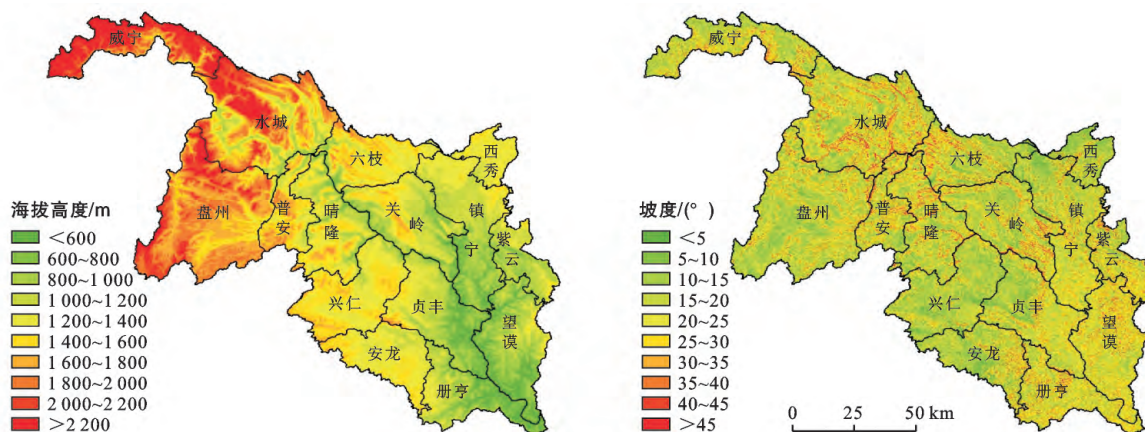


图 3 贵州省北盘江流域海拔与坡度分布特征



### 3.2 NDVI变化的海拔效应

通过对比幂函数、指数函数、线性函数等各项函数分析结果后,选取了拟合结果较好的线性函数。2000—2018年贵州省北盘江流域NDVI值和海拔拟合优度较好,2000,2010和2018年拟合优度分别为0.8715,0.8276,0.7534(图4)。2000—2018年北盘江流域NDVI的海拔效应表现为阶段变化特点,其中2000—2010年NDVI值随着海拔的上升总体呈现下降趋势,2010—2018年NDVI值随着海拔的上升总体呈现上升趋势。具体来看,2000和2010年的NDVI值在海拔低于1200~1400m时,随海拔上升呈下降趋势;NDVI值在海拔高于1200~1400m而低于1600~1800m时,随海拔上升呈上升趋势;

NDVI值在海拔高于1600~1800m时,随海拔上升呈快速下降趋势。2018年NDVI值在海拔低于800~1000m时,随海拔升高呈上升趋势;NDVI值在海拔高于800~1200m而低于1200~1400m时,随海拔上升而下降明显;NDVI值在海拔高于1200~1400m时,随海拔上升呈波动上升趋势。2000—2018年北盘江流域NDVI随海拔升高而具有时段差异性,例如2000—2010年在海拔较高地区NDVI值相对较低,而2010—2018年流域内NDVI最高值出现在高海拔地区,其中原因可能由多种因素造成。2000—2010年流域高海拔地区NDVI值较低部分原因可能在于水城、盘州等地为流域海拔最高地区,其城市化快速发展、建设用地扩张不可避免的会导致部分植被遭到破坏。

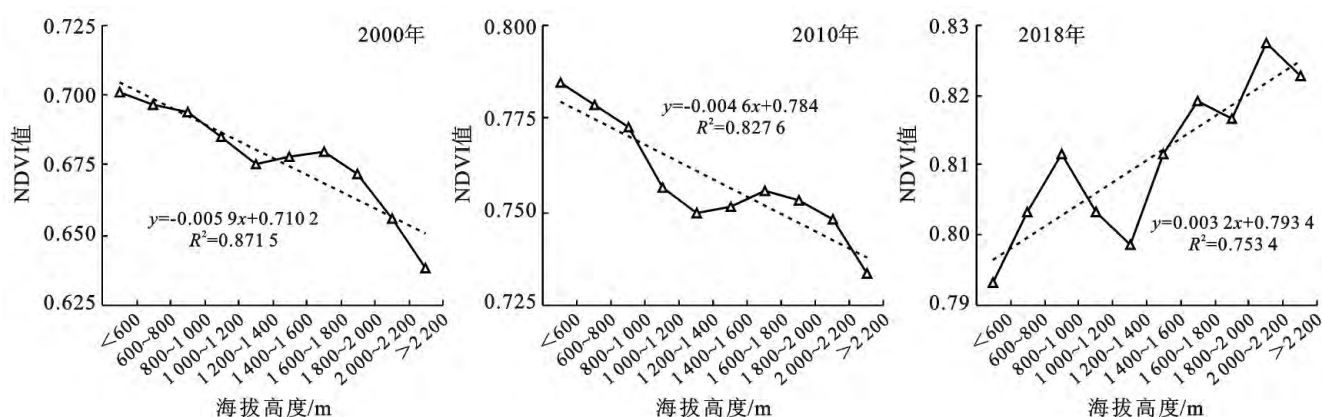


图4 贵州省北盘江流域2000—2018年NDVI与海拔的关系

### 3.3 NDVI变化的坡度效应

2000,2010和2018年贵州省北盘江流域NDVI值和坡度拟合优度分别为0.6968,0.5325,0.8322(图5)。

总体来看,2000—2018年北盘江流域NDVI值随坡度增加表现为“上升—下降”趋势,但NDVI值总体趋于上升。具体来看2000年、2010年的NDVI值在坡度小于35°~40°时,随坡度增大而呈升高趋势;

2018年的NDVI值在坡度小于30°~35°时,随坡度增大呈快速上升趋势;在坡度介于30°~40°时,NDVI值大致持平;在坡度大于40°时NDVI值呈“下降—上升”趋势。2000,2010和2018年北盘江流域NDVI最大值均出现在坡度为35°~40°时,最大值分别为0.689,0.765,0.825。而最小值均出现在坡度小于5°时,最小值分别为0.671,0.744,0.786。可见坡度对于NDVI值有一定影响,二者总体呈正相关关系。

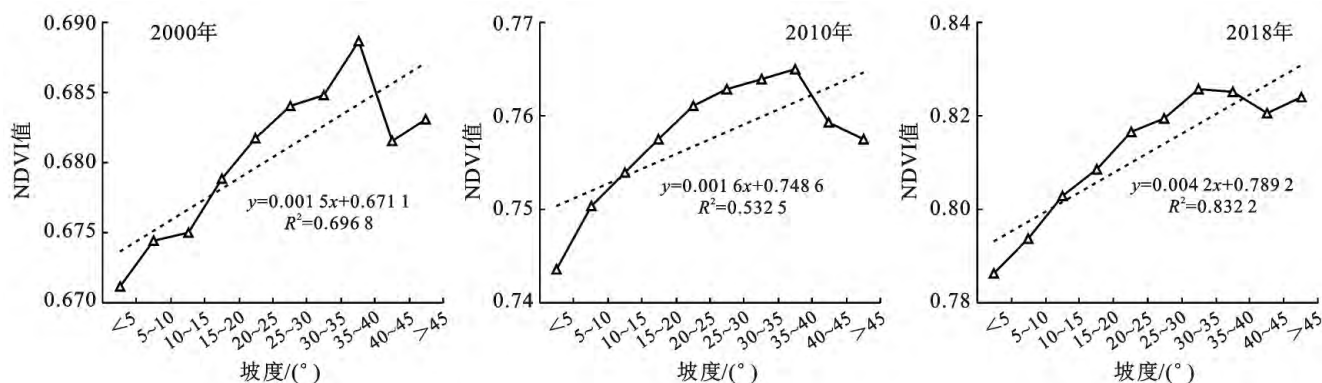


图5 贵州省北盘江流域2000—2018年NDVI与坡度的关系

## 4 NDVI 变化与人口的关系

### 4.1 贵州北盘江流域人口分布特征

总体来看,2000—2018 年北盘江流域人口密度呈“北密南疏,西密东疏”分别格局(图 6),期间在流域北部人口密度大于 300 人/ $\text{km}^2$  地区面积扩张明显。从各年份人口密度分布变化来看,2000 年北盘江流域人口小于 100 人/ $\text{km}^2$  地区分布面积最小,且主要分布在流域东南部;人口密度 100~200 人/ $\text{km}^2$  地区分布面

积较小,其连接小于 100 人/ $\text{km}^2$  地区向西北延伸;人口密度 200~250 人/ $\text{km}^2$  地区分布面积最广,且主要分布在中部地区;250~300 人/ $\text{km}^2$  地区分布在流域西部和北部,350~400 人/ $\text{km}^2$  地区分布在北部,而大于 400 人/ $\text{km}^2$  地区主要分布在西秀区所在地区。

2010—2018 年人口密度总体分布格局变化不显著,人口小于 200 人/ $\text{km}^2$  地区和大于 300 人/ $\text{km}^2$  地区均向流域中部扩张,200~250 人/ $\text{km}^2$  地区面积呈减小趋势。

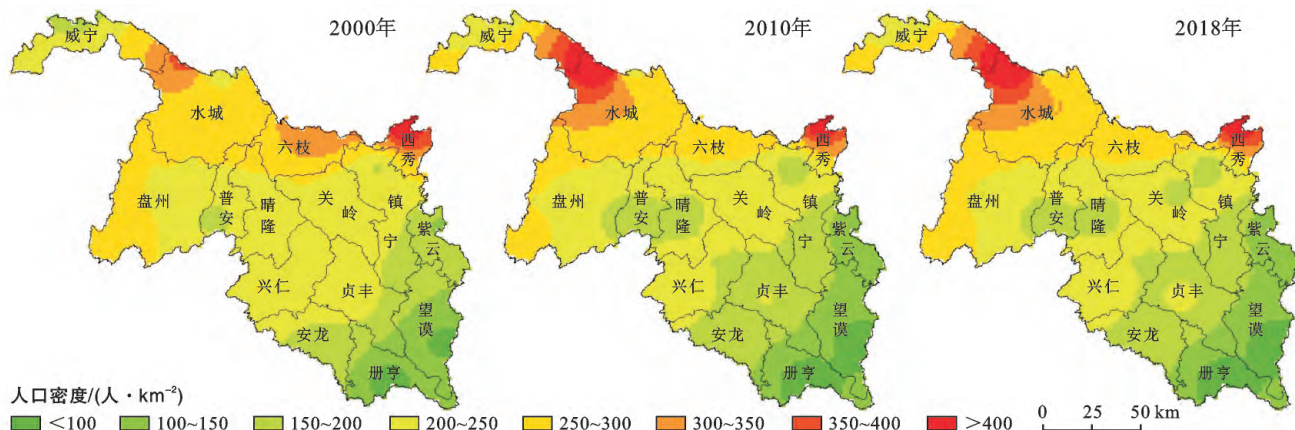


图 6 贵州省北盘江流域人口密度分布特征

### 4.2 NDVI 年度变化与人口的关系

2000, 2010 和 2018 年拟合优度分别为 0.813 0, 0.591 3, 0.414 0(图 7)。

总体来看,2000—2018 年北盘江流域 NDVI 值在人口密度小于 200~250 人/ $\text{km}^2$  时,随人口密度增大总体呈下降趋势;在人口密度大于 200~250 人/ $\text{km}^2$  时,随人口密度增大总体呈现“上升—下降”趋势。具体来看,2000 年的 NDVI 值在人口密度小于 200~250 人/ $\text{km}^2$  时,随人口密度增大下降速度减缓;在人口密度 250~300 人/ $\text{km}^2$  时,随人口密度增大呈缓慢上升趋势;在人口密度大于 300~400 人/ $\text{km}^2$  时,

随人口密度增大呈快速下降趋势。2010 年的 NDVI 值在人口密度小于 150~200 人/ $\text{km}^2$  时,随人口密度增大而呈快速下降趋势;在人口密度 200~300 人/ $\text{km}^2$  时,随人口密度增大下降速度减缓;在人口密度 300~350 人/ $\text{km}^2$  时,随人口密度增大呈上升趋势;在人口密度大于 350 人/ $\text{km}^2$  时,随人口密度增大而不断下降。2018 年的 NDVI 值在人口密度小于 200~250 人/ $\text{km}^2$  时,随人口密度增大而呈快速下降趋势;在人口密度 250~350 人/ $\text{km}^2$  时,随人口密度增大呈上升趋势;在人口密度大于 400 人/ $\text{km}^2$  时,随人口密度增大呈下降趋势。

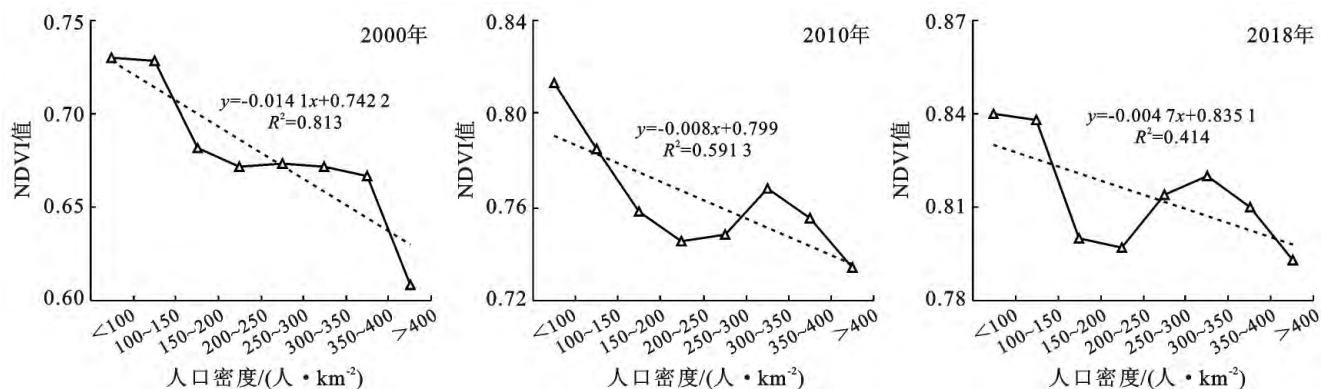


图 7 贵州省北盘江流域 2000—2018 年 NDVI 与人口密度的关系

5 NDVI 变化与各因子相关关系

2000 年贵州省北盘江流域海拔、人口密度与 NDVI 呈极显著负相关关系, 相关系数分别为  $-0.926$ ,  $-0.901$ (表 3); 坡度与 NDVI 呈极显著正相关关系, 相关系数为  $0.835$ 。2010 年海拔与 NDVI 呈极显著负相关关系, 相关系数为  $-0.919$ ; 人口密度与 NDVI 呈显著负相关关系, 相关系数为  $-0.767$ ; 坡度与 NDVI 呈显著正相关关系, 相关系数为  $0.740$ 。2018 年北盘江流域海拔、坡度与 NDVI 呈正相关关系, 相关系数分别为  $0.855$ ,  $0.916$ ; 人口密度与 NDVI 呈负相关关系, 相关系数为  $-0.640$ 。2000—2018 年北盘江流域 NDVI 和海拔相关关系表现出时段差异性, 可能是受 2000—2010 年流域内开发利用山区土地资源强度较大影响。例如, 在快速城市化阶段建设用地扩张, 侵占绿地和植被, 导致植被覆盖度在海拔相对较高的地区有所降低; 而 2010—2018 年, 随时代进步和社会发展, 生态环境保护和“绿水青山就是金

山银山”的观念深入人心, 封山育林政策在海拔相对较高地区取得了较大成果, 植被覆盖度呈现不断恢复趋势。坡度总体和 NDVI 值呈现正相关关系, 一般来说, 随着坡度增大, 人类进行耕作和城市建设等生活生产活动所受到的限制也会增大, 且随坡度增大所面临的水土流失问题也更为严峻<sup>[19]</sup>。加之北盘江流域石漠化问题较为突出, 坡度相对较大地区不适于作为耕地以及城市建设用地。因此为巩固水土, 在坡度较大地区进行植树造林, 封山育林等是水土流失和石漠化治理的关键<sup>[20]</sup>。期间在坡度较大的地区治理成果较为明显, 植被覆盖度呈现不断恢复趋势。而人口密度与 NDVI 总体呈极显著负相关关系, 一般来说人口密度越大地区对应的人类活动强度就越大, 因此随着人口密度增大, 人类对于下垫面改造的力度和强度也会相应增大。具体表现为城市化推进引起的建设用地扩张、滥垦、滥伐等人类活动对绿地的侵占和植被的破坏增强。所以人口密度较大地区, 植被覆盖度相对较小。

表 3 贵州省北盘江流域 2000—2018 年 NDVI 与各因子相关关系

因子	2000 年 NDVI		2010 年 NDVI		2018 年 NDVI	
	相关系数	显著性(双尾)	相关系数	显著性(双尾)	相关系数	显著性(双尾)
海拔	$-0.926^{**}$	0	$-0.919^{**}$	0	$0.855^{**}$	0.001
坡度	$0.835^{**}$	0.003	$0.740^{*}$	0.014	$0.916^{**}$	0
人口密度	$-0.901^{**}$	0.002	$-0.767^{*}$	0.026	$-0.640$	0.087

注: \*\* 表示相关性在 0.01 级别显著(双尾)。

6 讨论与结论

6.1 讨论

贵州省北盘江流域是典型的喀斯特山地流域, 其石漠化问题较为严峻, 进行生态环境治理和植被恢复显得尤为重要。北盘江流域在 2000—2018 年 NDVI 值总体呈上升趋势, 且年均增长稳定, 植被呈现不断恢复的趋势, 这归功于时段内封山育林、退耕还林等政策取得良好成效。其中 2008 年贵州省封山育林面积为  $13.07\text{ km}^2$ , 至 2018 年累计完成封山育林面积为  $125.89\text{ km}^2$ <sup>[18]</sup>, 森林覆盖率由  $39.3\%$  提升至  $57.0\%$ , 而北盘江流域作为贵州省生态环境治理的重要开展地, 在期间内植被也得到较好恢复。此外, 由于北盘江流域面积较广, 在研究时段初期流域内各地区 NDVI 值差距显著较大, 但至 2018 年时此差距明显缩小。这是由于流域的区域生态环境综合治理成果显著, 区域植被覆盖状况差异性有所减弱, 在未来还需继续推进北盘江流域石漠化治理、生态环境修复等工作。

区域 NDVI 变化特征受到气候、地形、人类活动等因素共同影响。本文选取海拔、坡地两种地形因子和人口密度探讨了贵州省北盘江流域 NDVI 变化的影响因素。发现 NDVI 与海拔、坡度等地形因子总体趋于正相关关系, 而与人口密度总体呈负相关关系。部分学者在研究 NDVI 变化影响因素时也发现了以上类似规律。例如, 王静等<sup>[2]</sup>在研究南方丘陵山地带 NDVI 变化驱动因子时指出城市化进程的加速及生态建设的重视等人类活动是影响植被覆盖变化空间差异的另一重要因素; 程东亚等<sup>[16]</sup>在研究喀斯特地区植被覆盖度变化及地形与人口效应研究时发现, 随海拔和坡度上升植被覆盖度总体处于稳定上升趋势、而随人口密度上升, 植被覆盖度总体处于下降趋势。

本文研究 2000—2018 年北盘江流域 NDVI 时空变化特征, 可揭示区域植被覆盖恢复和区域生态环境差异性变化情况, 探究了 NDVI 变化和海拔、坡度、人口密度等影响因素的相互关系, 研究结果可为喀斯特地区植被恢复、生态环境治理、国土空间优化整治等提供一定借鉴意义。同时本文也存在一定不足, 由于

对 NDVI 时空变化研究更倾向于高空间分辨率和长时间序列的 NDVI 数据,文章采用了 2000、2010 和 2018 年 3 期 NDVI 数据能满足研究需要,但时间连续性稍显不足。再则,在影响因子选取上还不够充分,目前还缺乏对于降水、气温等气象因子的探讨。因此在今后的相关研究中,可采用高空间分辨率和长时间序列的 NDVI 数据、以及满足各研究时段所需时间精度的影响因子数据做进一步的探讨。

## 6.2 结 论

(1) 2000—2018 年贵州省北盘江流域 NDVI 值总体呈上升趋势,且年均增长稳定,植被呈现不断恢复的趋势。可见北盘江流域生态环境恢复工作取得了一定成果,相关生态环境保护政策需要继续坚持和贯彻。

(2) 2000 年贵州省北盘江流域 NDVI 空间分布在东南部最高,在西北部最低,NDVI 高值在中部地区分布较为破碎,至 2018 年各地区 NDVI 值差距显著缩小,其中在西北部和中部 NDVI 低值区转变最为明显。表明北盘江流域的区域生态环境综合治理成果显著,植被覆盖整体恢复状态良好,区域植被覆盖状况差异性有所减弱。

(3) 2000—2018 年贵州省北盘江 NDVI 显著减少、轻微减少及轻微增加的地区面积较少,面积比例不足 10%;而显著增加地区面积为 19 986.04 km<sup>2</sup>,比例为 90.93%。

(4) 2000—2018 年贵州省北盘江流域 NDVI 的海拔效应表现为阶段变化特点,其中 2000—2010 年 NDVI 值随着海拔的上升总体呈现下降趋势,2010—2018 年 NDVI 值随着海拔的上升总体呈现上升趋势。2000—2018 年北盘江流域 NDVI 值随坡度增加表现为“上升—下降”趋势,但 NDVI 值总体趋于上升。而 NDVI 值随人口密度增加表现为降低趋势。地形因子奠定植被生长条件,而社会和人为因子对 NDVI 值变化影响较大。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 刘斌,孙艳玲,王中良,等.华北地区植被覆盖变化及其影响因子的相对作用分析[J].自然资源学报,2015,30(1): 12-23.
- [2] 王静,王克林,张明阳,等.南方丘陵山地带 NDVI 时空变化及其驱动因子分析[J].资源科学,2014,36(8): 1712-1723.
- [3] 元志辉,包刚,银山,等.2000—2014 年浑善达克沙地植被覆盖变化研究[J].草业学报,2016,25(1):33-46.
- [4] 丁海勇,丁昕玮.基于 SPOT-NDVI 的甘肃省植被覆盖变化及其与气候、地形因子的关系[J].长江流域资源与环境,2020,29(12):2665-2678.
- [5] Xiao Xiangming, Stephen B, Liu Jiyan, et al. Characterization of forest types in Northeastern China, using multi-temporal SPOT-4 VEGETATION sensor data [J]. Remote Sensing of Environment, 2002,82(2):335-348.
- [6] 王永前,施建成,刘志红,等.微波植被指数在干旱监测中的应用[J].遥感学报,2014,18(04):843-867.
- [7] 何月,樊高峰,张小伟,等.浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应[J].生态学报,2012,32(14):4352-4362.
- [8] 张静静,郑辉,朱连奇,等.豫西山植被 NDVI 及其气候响应的多维变化[J].地理研究,2017,36(4):765-778.
- [9] 张景华,封志明,姜鲁光,等.澜沧江流域植被 NDVI 与气候因子的相关性分析[J].自然资源学报,2015,30(9): 1425-1435.
- [10] 王利民,刘佳,杨玲波,等.基于 NDVI 加权指数的冬小麦种植面积遥感监测[J].农业工程学报,2016,32(17): 127-135.
- [11] 苗翠翠,江南,彭世揆,等.基于 NDVI 时序数据的水稻种植面积遥感监测分析:以江苏省为例[J].地球信息科学学报,2011,13(2):273-280.
- [12] 赵鸿雁,陈英,周翼,等.甘肃中东部植被生长季 NDVI 时空变化及其对气候因子的响应[J].干旱区地理, 2019,42(6):1427-1435.
- [13] 李奇虎,陈亚宁.1981—2006 年西北干旱区 NDVI 时空分布变化对水热条件的响应[J].冰川冻土,2014,36 (2):327-334.
- [14] 王林林,刘普幸,王允.近 14 年来柴达木盆地 NDVI 时空变化及其影响因素[J].生态学杂志,2015,34(6): 1713-1722.
- [15] 罗敏,古丽·加帕尔,郭浩,等.2000—2013 年塔里木河流域生长季 NDVI 时空变化特征及其影响因素分析 [J].自然资源学报,2017,32(1):50-63.
- [16] 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.
- [17] 徐新良.中国年度植被指数(NDVI)空间分布数据集 [M].北京:中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统,2018. DOI:10.12078/2018060601.
- [18] 贵州省统计局,国家统计局贵州调查总队.贵州统计年鉴(2001—2019)[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [19] 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.
- [20] 杜文鹏,闫慧敏,甄霖,等.西南岩溶地区石漠化综合治理研究[J].生态学报,2019,39(16):5798-5808.