DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2025.02.036; CSTR:32311.14.rswc.2025.02.036.
冯达, 段亚锋, 李婷婷. 黔桂地区 20 年间植被时空变化及其对地理环境的响应[J].水土保持研究,2025,32(2):255-262.
Feng Da, Duan Yafeng, Li Tingting. The vegetation spatiotemporal evolution and the response to geographical environment of Qian-Gui region in 20 years[J]. Research of Soil and Water Conservation,2025,32(2):255-262.

黔桂地区 20 年间植被时空变化及其对地理环境的响应

冯 达[1], 段亚锋[2], 李婷婷[1]
(1.湖南省测绘科技研究所, 长沙 410007; 2.湖南省长沙生态环境监测中心, 长沙 410000)

摘 要:[**目的**]研究黔桂地区植被时空变化及其对地理环境的响应,为区域生态恢复工程效益评估和进一步恢复提供科学参考。[**方法**]基于 NDVI 数据,结合植被本底值和变化趋势,将区域植被分为 9 种状态类型;利用均一化面积指数分析不同状态类型植被对岩性、地貌、土壤和地形位指数等地理特征的响应。[**结果**](1) 2001—2020 年 NDVI 年均值波动增加,平均趋势率为 1.8×10^{-3}/a,恢复趋势、退化趋势和稳定状态的植被面积分别占 30.8%,9.1%和 60.1%;(2) 稳定型植被在低、中、高覆盖植被中面积占比逐渐降低,而退化型和恢复型的面积占比均依次增加;(3) 纯碳酸盐岩上高覆盖植被均一化面积指数低于均值、低覆盖植被高于均值,而碎屑岩正好相反;(4) 植被对红壤和水稻土的响应与本底覆盖度相关;(5) 低覆盖稳定型植被在岩溶峡谷区集中分布,峰丛洼地的高覆盖植被优势明显;(6) 低覆盖植被与地形位的响应关系明显,中覆盖植被受地形位影响较小。[**结论**]黔桂地区植被总体呈改善趋势,不同植被状态类型空间分布不均,赤红壤和岩溶峡谷上的植被相对稳定,黄壤区和峰林平原的高覆盖植被单向退化较为明显,高覆盖和低覆盖植被分别集中分布于地形位中值和低值区。

关键词:黔桂地区; 喀斯特; 植被状态类型; 地理环境; 响应
中图分类号:Q948.113; Q948.114 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-3409(2025)02-0255-08

The vegetation spatiotemporal evolution and the response to geographical environment of Qian-Gui region in 20 years

Feng Da[1], Duan Yafeng[2], Li Tingting[1]
(1.*Surveying and Mapping Research Bureau*, *Changsha* 410007, *China*;
2.*Changsha Environmental Monitoring Center of Hunan Province*, *Changsha* 410001, *China*)

Abstract: [**Objective**] The aims of this study are to examine the spatiotemporal changes of vegetation in the Qian-Gui region and its response to the geographical environment, and to provide the scientific reference for the benefit assessment of regional ecological restoration projects and further restoration efforts. [**Methods**] Based on NDVI data, combined with the baseline and trend of vegetation, regional vegetation was categorized into nine status types. The response of vegetation in different status types to geographical characteristics such as lithology, topography, soil, and topographic position index was analyzed by using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). [**Results**] (1) From 2001 to 2020, the annual mean NDVI exhibited a fluctuating increase, with an average trend rate of 1.8×10^{-3} per year. The vegetation areas in recovery, degradation, and stable states accounted for 30.8%, 9.1%, and 60.1%, respectively. (2) The proportion of stable vegetation types gradually decreased across low, medium, and high coverage vegetation, while the proportions of degraded and recovering types increased sequentially. (3) On pure carbonate rocks, the normalized area index for high coverage vegetation was below the mean, and for low coverage vegetation, it was above the mean, whereas clastic rocks showed the opposite pattern. (4) The response of vegetation to

收稿日期:2024-07-11 **修回日期:**2024-08-02 **接受日期:**2024-08-25
资助项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0502401);湖南省自然科学基金项目(2023JJ60558)
第一作者:冯达(1978—),男,湖南省岳阳市人,硕士,高级工程师,研究方向为耕地保护与自然资源利用。E-mail:fengda2000@126.com
通信作者:段亚锋(1979—),女,湖南省益阳市人,博士,高级工程师,研究方向为资源利用与环境保护。E-mail:206511@qq.com

red soil and paddy soil was correlated with the background coverage degree. (5) Low coverage stable vegetation was concentrated in karst gorge areas, with high coverage vegetation showing a clear advantage in peak cluster depressions. (6) The response relationship between low coverage vegetation and topography was significant, while the influence of topography on medium coverage vegetation was less pronounced. [**Conclusion**] The vegetation in the Qian-Gui region generally shows an improving trend, with uneven spatial distribution across different vegetation states types. The vegetation on lateritic red soil and karst canyons is relatively stable, while the high coverage vegetation in the yellow soil areas and peak forest plains shows a more noticeable unidirectional degradation. High coverage and low coverage vegetation are concentrated in areas of medium and low topographic values, respectively.

Keywords: Qian-Gui region; karst; vegetation condition types; geographical environment; response

黔桂地区位于我国西南裸露型喀斯特区域,是世界上面积最大、最集中连片分布区,也是国家重要的生态安全屏障,人地矛盾尖锐[1]。在缺水、少土的条件下,喀斯特区域植被生长速度缓慢,植被生产力低,森林恢复周期长,加上人类活动的影响,部分以石漠化为特征的土地退化严重,是典型的生态脆弱区[2-3]。自2000年国务院将"推进石漠化综合整治"列入国民经济和社会发展第十个五年计划以来,国家在西南喀斯特区实施了一系列生态建设工程,生态环境状况得到一定改善[4]。

针对我国西南喀斯特地区植被变化,相关学者从不同尺度研究区域植被时空变化特征[5-6];气候变化对植被的影响[7-8];植被的演替规律和驱动因素[9-10];不同植被的土壤特征[11-12];生态服务功能和工程效果评估等[13-14]方面开展了大量研究,鲜见从自然地理要素角度对喀斯特植被影响的研究[15],未见深入分析不同覆盖度和变化趋势植被对自然地理要素响应的研究。而由于特殊的地质背景和强烈的岩溶作用,喀斯特地区植被的空间分布受环境及地形、地貌、岩性、土壤等多方面的制约[16-17],区分不同状态类型植被对自然地理因素的响应,探究相似条件下人类活动的影响,对评估区域生态恢复工程建设效益和提出更有针对性的植被恢复措施有重要意义。

本研究采用的归一化植被指数NDVI,在研究不同区域植被时空变化及其驱动因素时被广泛使用[18-21],是长时间序列遥感数据开展大区域尺度植被恢复演变与趋势的有效技术手段[22-23],基于2001—2020年MODIS NDVI时间序列数据,分析20年间黔桂地区植被时空变化,结合植被本底覆被状况和植被变化趋势,将研究区植被分为9种状态类型。利用地形、地貌、岩性及土壤类型数据,探讨研究区植被覆盖总体增加的形势下,不同状态类型植被变化的空间格局差异及其对自然地理要素的响应。

1 研究区概况

黔桂地区包括广西壮族自治区和贵州省(20°54′—29°13′N,103°36′—112°04′E),总面积41.38万km^2。属于亚热带季风气候区,气候温暖湿润、降水丰富、雨热同季。区域海拔高差大,范围为-132~2 890 m,地势由西北向东南倾斜,地形从中山丘陵逐步过渡到低山盆地,喀斯特地貌突出。按照喀斯特地貌划分标准将研究区岩性归为纯碳酸盐岩类、不纯碳酸盐岩类和碎屑岩类。研究区喀斯特地貌组合类型分为峰丛洼地、峰林平原、岩溶高原、岩溶峡谷、岩溶槽谷和岩溶断陷盆地。土壤类型以黄壤、石灰(岩)土、红壤、赤红壤和水稻土为主。植被类型以常绿落叶阔叶混交林为主,因受喀斯特生境的影响,植被具有旱生性、石生性和喜钙性等特点。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与数据处理

本文使用的研究数据主要包括遥感数据和地理数据。其中MODIS NDVI数据来源于MOD13Q1产品,时间范围为2001年1月—2020年12月,空间分辨率为250 m。逐月MODIS NDVI数据集通过最大合成法(MVC)获得。

DEM数据从国际科学数据服务平台获得(http://datamirror.csdb.cn),空间分辨率为30 m,利用最邻近方法重采样到250 m,形成与MODIS NDVI具有相同分辨率的数据,并提取研究区高程、坡度等因子。1∶50万地质地貌图数据来源于中国地质科学院岩溶地质研究所;1∶100万土壤类型数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心;岩性数据来源于茂兰喀斯特森林科学考察集,并经过数字化处理。在进行响应分析时,均用最临近方法重采样到1 000 m,形成具有相同分辨率的数据。

2.2 研究方法

2.2.1 *趋势分析* 通过一元线性回归分析模拟每个栅格的变化趋势,综合研究区内单个像元时间变化特征,反映区域植被时空格局变化。年均植被NDVI与时间之间的线性回归斜率(slope)表明植被NDVI变化的趋势方向和大小[15,24]。其计算公式如下:

$$\text{Slope}=\frac{n\times\sum_{i=1}^{n}i\times\text{NDVI}_i-(\sum_{i=1}^{n}i)(\sum_{i=1}^{n}\text{NDVI}_i)}{n\times\sum_{i=1}^{n}i^z-(\sum_{i=1}^{n}i)^z}\qquad(1)$$

式中:变量 i 为年序号;NDVI_i 表示第 i 年的年均 NDVI 值;slope 表示时间序列上 NDVI 的变化趋势,若 slope>0,表明植被的变化趋势是增加的,反之则是减少,slope=0 表示植被无变化趋势。

对斜率的显著性进行 F 检验,并依据 F 值将植被变化趋势划分为不显著($p\geqslant0.05$)和显著($p<0.05$)两种。利用植被变化趋势和显著性检验的叠加分析,将研究区的植被变化分为退化(slope<0,且 $p<0.05$),稳定($p\geqslant0.05$)和恢复(slope>0,且 $p<0.05$)3 种类型。

2.2.2　植被状态类型划分　以 2001 年为基础年,根据基础年 NDVI 年均值所反映的植被状况和研究时段回归斜率所反映的植被变化趋势类型,将研究区植被按覆被状况和变化趋势的组合,分为 9 种状态类型:高覆盖退化型 HD、高覆盖稳定性 HS、高覆盖恢复型 HI、中覆盖退化型 MD、中覆盖稳定性 MS、中覆盖恢复型 MI、低覆盖退化型 LD、低覆盖稳定性 LS、低覆盖恢复型 LI(表 1)。

表 1　基于不同覆被状况和变化趋势的植被状态类型划分

Table 1　Classification of vegetation condition types based on different cover conditions and changing trends

覆被状况	退化	稳定	恢复
高覆盖植被(NDVI≥0.7)	高覆盖退化型(HD)	高覆盖稳定型(HS)	高覆盖恢复型(HI)
中覆盖植被(0.7>NDVI≥0.5)	中覆盖退化型(MD)	中覆盖稳定型(MS)	中覆盖恢复型(MI)
低覆盖植被(NDVI<0.5)	低覆盖退化型(LD)	低覆盖稳定型(LS)	低覆盖恢复型(LI)

2.2.3　地形位指数　地形位指数(TNI)是综合区域内高程与坡度来描述地形的一种因子,能有效反映高程和坡度对景观空间分布的综合影响作用[25]。计算公式为:

$$T=\lg\left[\left(\frac{H}{H_{\text{mean}}}+1\right)\times\left(\frac{S}{S_{\text{mean}}}+1\right)\right]\qquad(2)$$

式中:T 为地形位;H 和 H_{mean} 分别为区域内任一点的高程值和平均高程值;S 和 S_{mean} 分别为区域内任一点的坡度值和平均坡度值。显然,高程低、坡度小的区域地形位指数小,而高程高、坡度大的地区地形位指数大,其他组合情况(高程低而坡度大或者高程高而坡度小)地形位指数居于中等水平。本文在相关研究基础上[26-27]结合研究区特点,将地形位指数按照从小到大的顺序以 0.1 的间距等分,便于显示与分析。

2.2.4　归一化面积指数　由于每一种类型植被的绝对面积差别较大,为了更好地体现响应关系,减小绝对面积对响应关系的干扰,本文在对不同类型的响应面积进行归一化处理的基础上讨论其对地理环境特征的响应。

$$S_x=(S_{xm}-S_{xn})/S_{xn}\qquad(3)$$

式中:S_x 为归一化处理后的面积指数;x 指本文划分的不同状态类型植被;S_{xm} 为某种状态类型植被在响应类型中的面积占比;S_{xn} 为某种状态类型植被在整个研究区的面积占比。当 S_x 越接近 0,表示该状态类型植被在响应对象中的占比越接近整个研究区的平均水平;S_x 为负表示均一化面积指数低于均值;S_x 为正表示均一化面积指数高于均值。

3　结果与分析

3.1　植被时空变化

3.1.1　植被空间分布变化

(1) NDVI 多年均值空间分布。研究区 NDVI 多年均值≥0.5 的面积占区域总面积 86%以上,其中,高(NDVI≥0.7)、中(0.7>NDVI≥0.5)、低(NDVI<0.5)覆盖植被分别约占 13.2%,72.9%和 13.9%。高覆盖植被在广西境内和贵州北部广泛分布;低植被覆盖区域以广西中部、贵州中部和西北部较为集中;广西境内 NDVI 均值的空间差异较贵州大(图 1)。

(2) 不同状态类型植被空间分布。从空间分布看,研究区南、西南和西北区域植被较稳定;植被恢复范围主要集中在北部和东部,其他区域零星分布;退化区域在空间上与恢复区交错分布,但范围较恢复区小(图 2)。9 类不同覆被状况植被变化趋势类型中,中覆盖稳定型面积最大,约占总面积的 45%,其次为中覆盖恢复型(约 22%)和低覆盖稳定型(约 10%),其他类型面积占比均在 10%以内,面积大小依次为:MS>MI>LS>HI>MD>HS>HD>LI>LD。

不同变化趋势植被在不同覆盖度的栅格中占比不同(图 3)。植被退化现象在高、中、低 3 类植被覆盖区均仍存在。稳定型植被在低、中、高覆盖植被中面积占比逐渐降低:78%,60%,30%,而退化型和恢复型的面积占比均依次增加,分别为 6%,8%,19%和 16%,32%,51%。稳定型植被在覆盖度低的区域面积占比大,恢复型和退化型植被在覆盖度高的区域占比大:低植被覆盖度的喀斯特区域,稳定型植被占比最大,而恢复型和退化型植被占比最小。中等植被覆盖度喀斯特区域也以稳定型植被为主,但其占比相对低覆盖度区域减小,恢复型和退化型植被占比增加。植被高覆盖度本底的喀斯特区,恢复型植被占比最大,稳定型植被占比进一步减小,退化型植被占比相对中等覆盖度本底区域进一步增加。

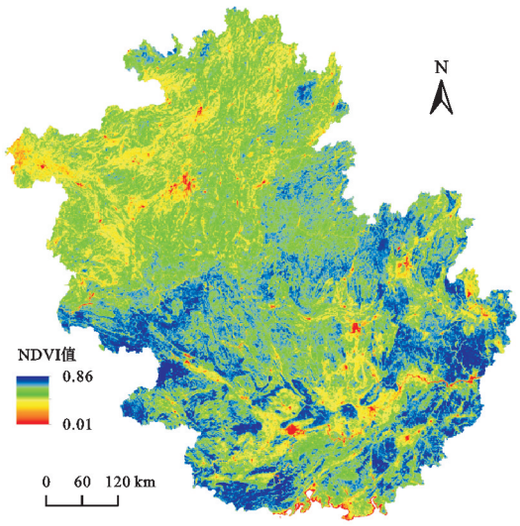

图 1 NDVI 多年均值空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of NDVI multi-year mean values

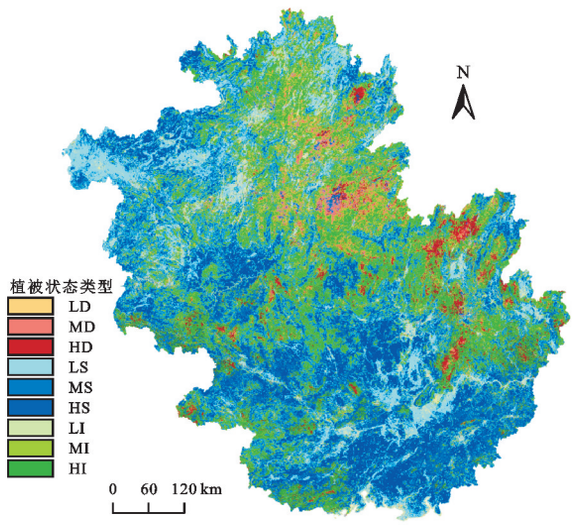

图 2 不同状态类型植被空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of different vegetation condition types vegetation

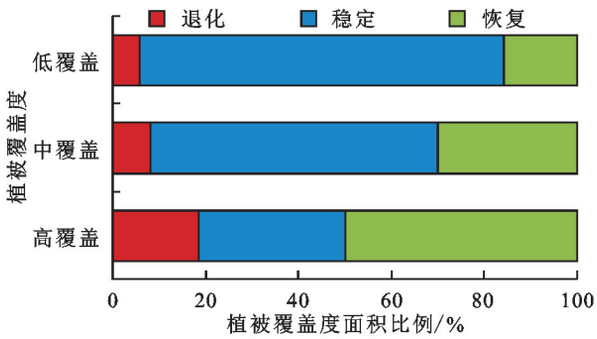

图 3 不同变化趋势植被在不同本底覆盖度区域的面积比

Fig. 3 The area rate of different trends vegetation at different vegetation cover

3.1.2 2001—2020 年 NDVI 均值变化 MODIS NDVI 时间序列分析表明，呈恢复趋势、退化趋势和稳定状态的植被分别占 30.8%，9.1% 和 60.1%。自 2000 年以来国家在西南喀斯特实施的退耕还林、生态公益林保护、天然林保护、生态移民、异地移民搬迁、石漠化综合治理工程等一系列生态修复工程对西南地区 NDVI 值增加有积极作用。

2001—2020 年研究区 NDVI 年均值在 0.6 上下浮动，平均趋势率为 1.8×10^{-3}/a，呈波动增加的趋势（图 4）。其中，NDVI 值上升的年份为 9 a，下降的年份为 10 a，NDVI 值的年际变化率绝对值在0.006～0.18之间。年际变化率最小值出现在 2011—2012 年之间，变化率为－0.09；最大值出现在 2012—2013 年之间，变化率为 0.18。20 年间，NDVI 最低值为0.59，出现在 2005 年，最大值为 0.69，出现在 2017 年。2005 年和 2012 年 NDVI 年均值明显低于其他年份，可能与 2005—2006 年西南地区的干旱天气和 2010—2014 年出现的山洪灾害有关。

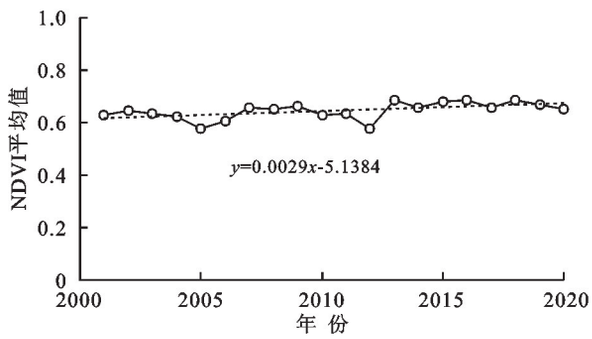

图 4 NDVI 年均值变化

Fig. 4 NDVI annual mean change chart

3.2 不同状态类型植被分布对地理特征的响应

3.2.1 对岩性的响应 根据 1∶50 万地质图，研究区范围主要成土母岩为纯碳酸盐岩和碎屑岩，两类母岩约占区域总面积的 85%，本文区域岩性归为纯碳酸盐岩、不纯碳酸盐岩，碎屑岩三大类进行分析。高覆盖和低覆盖植被相对中覆盖植被表现出与岩性更明显的响应关系（图 5）。具体而言：在纯碳酸盐岩响应区，HI，HS，HD 和 MD 的均一化面积指数均低于研究区均值；LI，LS，LD，MI 和 MS 的均一化面积指数均高于研究区均值。在碎屑岩分布区，响应关系与纯碳酸盐岩分布区正好相反。在不纯碳酸盐岩分布区，HS，MS 和 LI 的均一化面积指数低于研究区均值；LS 接近均值；其他类型均高于研究区均值。

叠加植被分布图发现，研究区纯碳酸盐岩上植被类型主要为灌丛，而碎屑岩上以阔叶林和混交林为主，本底植被类型对岩性的响应有主导型影响，解释了纯碳酸盐岩上高覆盖植被低于均值、低覆盖植被高于均值，碎屑岩上正好相反的响应。在不纯碳酸盐岩上，高覆盖植被数据图像表现出较明显的人类干扰特征，其恢复型和退化型面积占比均较大，稳定型面积指数低于均值。

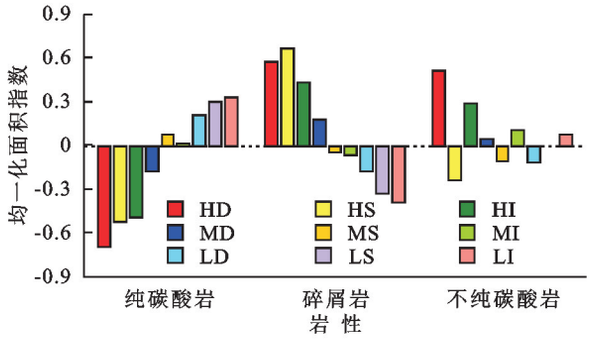

图 5　不同状态类型植被的均一化面积指数对岩性的响应

Fig. 5　Response of the homogenized area index of different vegetation condition types to lithology

3.2.2　对土壤类型的响应　研究区土壤类型达 13 种,其中黄壤、石灰(岩)土、红壤、赤红壤、水稻土面积 5 种占比合计 82%,其他 8 种类型土壤面积占比均在 5%以下。本文选取面积占比排前五的土壤进行分析。总体上,除黄壤区的低覆盖植被、石灰(岩)土区的中、低覆盖植被、红壤区和水稻土区的中覆盖植被响应关系不显著外,其他状态类型植被在不同土壤类型区均有较明显的响应表现(图 6)。具体而言:在黄壤区,HD,MD,MI 和 LI 的均一化面积指数高于研究区均值,LS 接近均值,其他类型均低于均值;在石灰(岩)土区,高覆盖植被响应关系表现更为明显,MS,MI 和 LI 的均一化面积指数略高于研究区均值,其他类型均低于均值;在红壤区,高覆盖植被各类型的均一化面积指数高于研究区均值、中覆盖植被接近均值、低覆盖植被各类型均低于均值;在赤红壤区,HS,HI 和 MS 的均一化面积指数高于研究区均值,其他状态类型均低于均值;在水稻土区,高覆盖植被各类型的均一化面积指数低于研究区均值、中覆盖植被接近均值、低覆盖植被各类型均高于均值。

植被对红壤和水稻土的响应呈现与植被本底覆盖度相关的形态,而石灰(岩)土、黄壤和赤红壤区响应关系相对复杂。红壤区高覆盖植被相对集中,人类的双向干扰使得高覆盖植被区恢复和退化同时存在;在水稻土区,人类与土地紧密的耕作关系使高覆盖植被面积指数明显小于区域均值,低覆盖植被分布相对集中且恢复和退化趋势双向表现明显;在石灰(岩)土区,高覆盖植被占比少,受土壤特征限制,恢复难度大;黄壤区中覆盖植被分布较为集中,高、中覆盖植被的恢复型面积指数高;赤红壤区以稳定型植被为主。

3.2.3　对地貌特征的响应　总体上,高覆盖植被的均一化面积指数除在峰丛洼地中高于研究区均值外,在其他各地貌类型中均低于均值;低覆盖植在峰丛洼地中的表现与之相反(图 7)。具体而言:在岩溶峡谷区,除 LI、LS 均一化面积指数显著高于均值外,其他状态类型植被均一化面积指数均低于均值;在峰丛洼地区,HI,HS,HD 和 MS 均一化面积指数高于均值,MI,LI,LS 和 LD 均一化面积指数均低于均值;在峰林平原区,HI 和 LS 均一化面积指数高于均值,HD,MI 和 MD 低于均值;在岩溶断陷区,HI,HS,HD,MI 和 MD 均一化面积指数高于均值,MS 和 LS 均一化面积指数高于均值;在岩溶槽谷和岩溶高原区,HI,HS,HD 和 MS 面积均一化指数低于均值,其他各类型均高于均值。

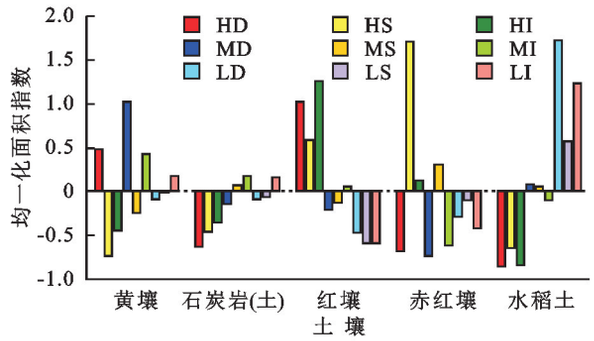

图 6　不同状态类型植被的均一化面积指数对土壤类型的响应

Fig. 6　Response of the homogenized area index of different vegetation condition types to Soil types

高覆盖植被主要分布在峰丛洼地;中覆盖植被的退化和恢复型主要分布在岩溶槽谷和岩溶高原,稳定型主要分布在岩溶断陷和峰林平原;低覆盖植被除峰丛洼地分布较少之外,其他地貌类型中均有分布,其中岩溶峡谷中的稳定性植被占比优势明显,退化型和恢复型主要分布在岩溶槽谷和岩溶高原。

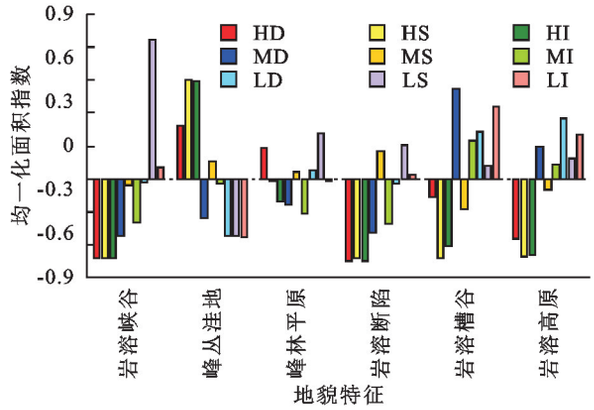

图 7　不同状态类型植被的均一化面积指数对地貌特征的响应

Fig. 7　Response of the homogenized area index of different vegetation condition types to landforms

3.2.4　对地形位指数的响应　从曲线波动幅度看,低覆盖植被的 3 种类型(LI,LS 和 LD)波动幅度较大,中覆盖植被的 3 种类型(MI,MS 和 MD)波动幅度较小。总体上,中覆盖植被对地形位指数的响应相对弱,低覆盖植被与地形位的响应关系表现更明显。

将不同状态类型植被的均一化面积指数对地形

位的响应特征，按曲线图形分为3类(图8)：U型、倒U型和波动下降型。U型包括MS和LS两种类型。表现为在地形位低值和高值区，均一化指数大于零，植被分布相对集中；地形位中段均一化指数小于零。倒U型包括HI，HS，HD，MI和MD共5种类型。表现为在地形位低值和高值区，植被均一化指数较小，除HD以0.6为节点、倒U型主要位于零以上外，其他4种类型的植被均一化指数在地形位低值和高值区均小于零；其中HI，MI和MD的地形位中值区段均在0.5～1.0之间，HS地形位中值段在0.2～0.7之间。波动下降型包括LI和LD两种类型，均表现为随地形位指数增加，植被均一化面积指数减小；植被均一化指数在地形位指数小于0.3区间下降明显，0.3～0.7间波动变化，大于0.7区间持续下降。

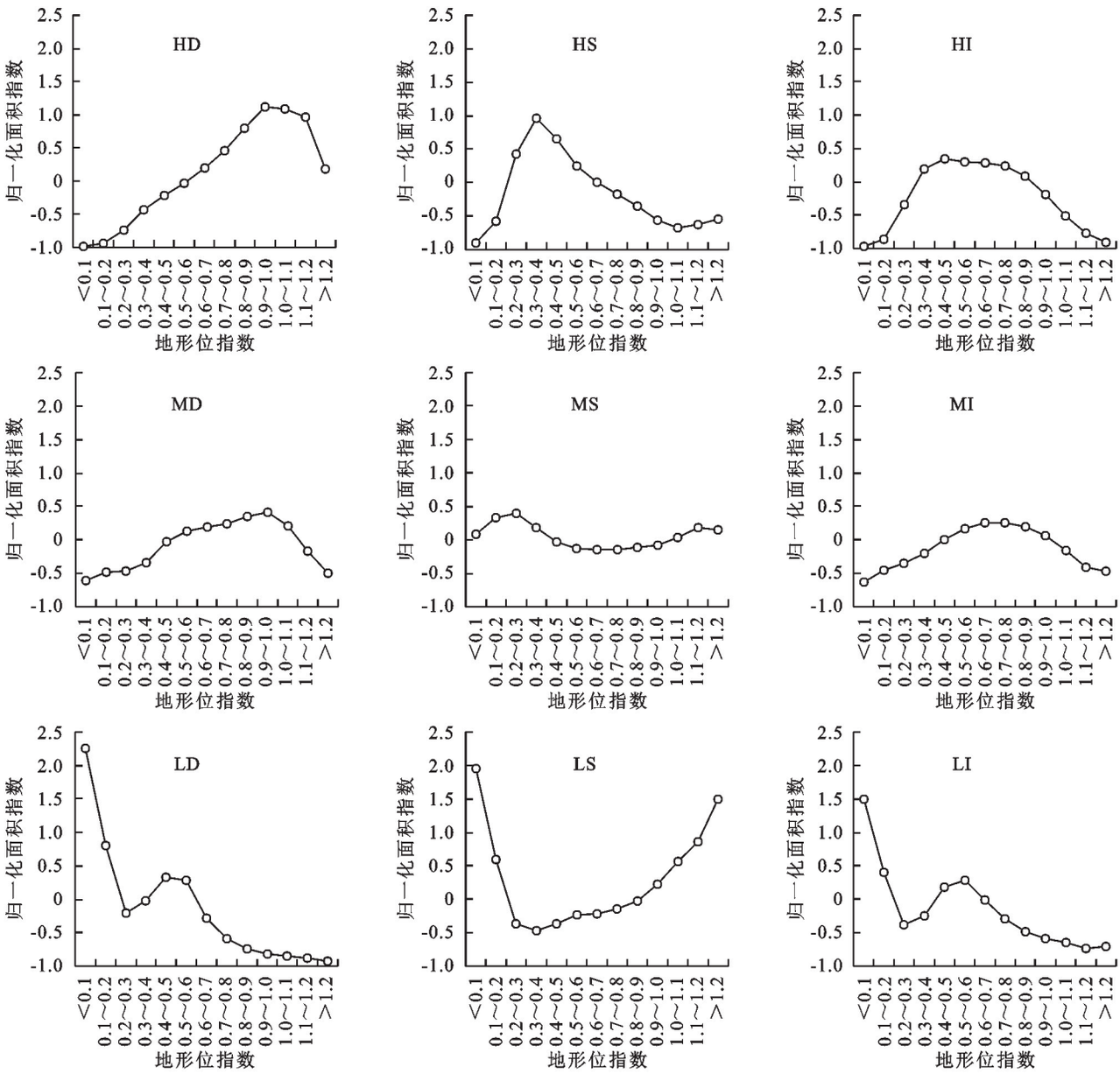

图8 不同状态类型植被的均一化面积指数对地形位的响应

Fig. 8 Response of the homogenized area index of different vegetation condition types to terrain niche

4 结论与讨论

(1) 20年间，NDVI值呈增加趋势；空间上以稳定型和恢复型植被为主：NDVI年均值波动增加，平均趋势率为1.8×10^{-3}/a；空间上，广西中部为NDVI高值区，贵州省中部和西部低值区相对集中。

(2) 9种植被状态类型中，研究区南部、西南部和西部区域植被较稳定；北部和东部恢复区与退化区交错分布区。植被覆盖程度越低的区域，稳定型植被占比越大，而恢复型和退化型植被占比越小。

(3) 在本研究的时间跨度中，赤红壤和岩溶峡谷上的植被相对稳定。黄壤区和峰林平原的高覆盖植被

单向退化较为明显。纯碳酸盐岩上高覆盖植被低于均值、低覆盖植被高于均值,碎屑岩与之相反,在不纯碳酸盐岩上,高覆盖植被数恢复型和退化型面积指数较大,人为干扰明显;红壤是高覆盖植被主要集中分布的区域,水稻土区低覆盖植被集中分布;岩溶峡谷区是低覆盖稳定型的集中分布区;峰丛洼地的高覆盖植被优势明显;低覆盖植被集中在地形位低值区,高覆盖植被主要在中值段,中覆盖植被稳定型集中在高值区。

本文在分析不同状态类型植被的变化时,发现部分区域植被恢复的同时伴随植被退化,尤以高覆盖植被区表现明显,存在"高覆盖—高动态"现象。在喀斯特区域,气候环境相似的情况下,对于同一响应对象,如果相同覆被度、不同趋势类型植被的均一化面积指数值差别明显,可能意味着人类活动对植被的变化有重要作用。当人类影响发生时,往往表现为双向影响:植被覆盖度较高的区域,往往更具备有利于植被恢复的自然地理条件,生态恢复工程在植被高覆盖区进展更明显,同时,受资源利用效率和经济效益的影响,人类活动引起的植被高覆盖区植被退化也更明显,植被高覆盖区域呈现以恢复为主、恢复和退化并存的状况;而低植被覆盖区之所以以稳定型植被为主,一方面受地质、土壤等自然条件限制,恢复相对缓慢,另一方面,本底值较低叠加保护政策,退化不明显。国家和地方政策、耕作方式、经济发展水平等人为因素如何在不同植被状态类型区促进恢复、减少人为因素的退化发生,是细化治理措施,突破喀斯特植被恢复瓶颈值得探讨的方向。

参考文献(References):

[1] 白晓永,冉晨,陈敬安,等.中国喀斯特生态系统健康诊断的方法、进展与展望[J].科学通报,2023,68(19):2550-2568.
Bai X Y, Ran C, Chen J A, et al. Methods, progress and prospect for diagnosis of karst ecosystem health in China-An overview[J]. Chinese Science Bulletin, 2023, 68(19):2550-2568.

[2] 肖露梅,张伟,王彩艳,等.典型喀斯特区不同植被恢复方式苔藓功能性状及其对土壤因子的响应[J].生态学报,2022,42(23):9769-9779.
Xiao L M, Zhang W, Wang C Y, et al. Functional traits of bryophytes and their response and adaptation to soil factors in different vegetation restoration methods in a typical karst area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022,42(23):9769-9779.

[3] 王克林,岳跃民,陈洪松,等.喀斯特石漠化综合治理及其区域恢复效应[J].生态学报,2019,39(20):7432-7440.
Wang K L, Yue Y M, Chen H S, et al. The comprehensive treatment of karst rocky desertification and its regional restoration effects[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019,39(20):7432-7440.

[4] 徐劲原,胡业翠,王慧勇.近 10 a 广西喀斯特地区石漠化景观格局分析[J].水土保持通报,2012,32(1):181-184.
Xu J Y, Hu Y C, Wang H Y. Landscape patterns of rocky desertification land in Karst Region of Guangxi Zhuang autonomous region in recent 10 years[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012,32(1):181-184.

[5] 张雪梅,王克林,岳跃民,等.生态工程背景下西南喀斯特植被变化主导因素及其空间非平稳性[J].生态学报,2017,37(12):4008-4018.
Zhang X M, Wang K L, Yue Y M, et al. Factors impacting on vegetation dynamics and spatial non-stationary relationships in Karst regions of southwest China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017,37(12):4008-4018.

[6] 王栋华,田义超,张亚丽,等.峰丛洼地流域植被覆盖度时空演变及其归因[J].中国环境科学,2022,42(9):4274-4284.
Wang D H, Tian Y C, Zhang Y L, et al. Spatiotemporal evolution and attribution of vegetation coverage in the peak-cluster depression basins[J]. China Environmental Science, 2022,42(9):4274-4284.

[7] 蒙吉军,王钧.20 世纪 80 年代以来西南喀斯特地区植被变化对气候变化的响应[J].地理研究,2007,26(5):857-865.
Meng J J, Wang J. The response of vegetation dynamics to climate change in the southwestern Karst Region of China since the early 1980s[J]. Geographical Research, 2007,26(5):857-865.

[8] 靖娟利,邓棋方,和彩霞,等.1999—2019 年西南喀斯特地区 NDVI 时空变化及其气候驱动[J].水土保持研究,2023,30(3):232-239.
Jing J L, Deng Q F, He C X, et al. Spatiotemporal evolution of NDVI and its climatic driving factors in the southwest Karst Area from 1999 to 2019[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023,30(3):232-239.

[9] 宋同清,彭晚霞,曾馥平,等.桂西北喀斯特人为干扰区植被的演替规律与更新策略[J].山地学报,2008,26(5):597-604.
Song T Q, Peng W X, Zeng F P, et al. Vegetation succession rule andregeneration stratigies in disturbed Karst Area, northwest Guangxi [J]. Mountain Research, 2008,26(5):597-604.

[10] 穆彪,杨立美,张莉.喀斯特植被恢复过程的群落演替特征[J].西南大学学报(自然科学版),2008,30(6):91-95.
Mu B, Yang L M, Zhang L. Characteristics of community succession in Karst vegetation-restoration process [J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2008,30(6):91-95.

[11] 冯汉华,吴斌,伍国清,等.喀斯特不同植被类型土壤细菌群落与功能特征[J].森林与环境学报,2024,44(2):148-156.
Feng H L, Wu B, Wu G Q, et al. Characteristics and functions of soil microbial communities under different

vegetation types in karst areas[J]. Journal of Forest and Environment, 2024,44(2):148-156.

[12] 刘家齐,梁燕,肖凡,等.西南喀斯特区域不同植被恢复阶段土壤磷主要来源及其季节变化[J].应用生态学报,2023,34(12):3313-3321.
Liu J Q, Liang Y, Xiao F, et al. Main sources of soil phosphorus and their seasonal changes across different vegetation restoration stages in karst region of southwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023,34(12):3313-3321.

[13] 文疆回,李瑞.贵州省生态系统服务价值时空演变及其对景观格局变化的响应[J].应用生态学报,2022,33(11):3075-3086.
Wen J H, Li R. Temporal and spatial variation of ecosystem service value and its response to landscape pattern change in Guizhou Province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022,33(11):3075-3086.

[14] 赵筱青,石小倩,李驭豪,等.滇东南喀斯特山区生态系统服务时空格局及功能分区[J].地理学报,2022,77(3):736-756.
Zhao X Q, Shi X Q, Li Y H, et al. Spatio-temporal pattern and functional zoning of ecosystem services in the karst mountainous areas of southeastern Yunnan [J]. Acta Geographica Sinica, 2022,77(3):736-756.

[15] 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.
Tong X W, Wang K L, Yue Y M, et al. Trends in vegetation and their responses to climate and topography in northwest Guangxi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014,34(12):3425-3434.

[16] 丁智强,王平,李玉辉.基于面积—高程积分值的喀斯特地貌演化动力机制研究[J].第四纪研究,2021,41(6):1546-1557.
Ding Z Q, Wang P, Li Y H. Dynamic mechanism of karst geomorphology evolution based on Hypsometric Index[J]. Quaternary Sciences, 2021,41(6):1546-1557.

[17] 邢愿,贺中华.基于NDVI的贵州省植被覆盖时空特征分析[J].华南师范大学学报:自然科学版,2021,53(2):84-95.
Xing Y, He Z H. An NDVI-based analysis of the temporal and spatial characteristics of vegetation coverage in Guizhou Province[J]. Journal of South China Normal University: Natural Science Edition, 2021,53(2):84-95.

[18] 李霞,王孝康,刘秀花,等.2000—2020年陕西省植被NDVI时空_变化及气候因子探测[J].水土保持研究,2024,31(2):443-453.
Li X, Wang X K, Liu X H, et al. Spatiotemporal variation of vegetation NDVI and climate factor detection in Shaanxi Province from 2000—2020 [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024,31(2):443-453.

[19] Hou W J, Gao J B, Wu S H, et al. Interannual variations in growing-season NDVI and its correlation with climate variables in the southwestern Karst Region of China[J]. Remote Sensing, 2015,7(9):11105-11124.

[20] 孙晓鹏,王天明,寇晓军,等.黄土高原泾河流域长时间序列的归一化植被指数动态变化及其驱动因素分析[J].植物生态学报,2012,36(6):511-521.
Sun X P, Wang T M, Kou X J, et al. Normalized difference vegetation index dynamic change and its driving factor analysis with long time series in the Jinghe River watershed on the Loess Plateau of China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012,36(6):511-521.

[21] 朴世龙,方精云.最近18年来中国植被覆盖的动态变化[J].第四纪研究,2001,21(4):294.
Piao S L, Fang J Y. Dynamic vegetation cover change over the last 18 years in China [J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(4):294.

[22] Harris A, Carr A S, Dash J. Remote sensing of vegetation cover dynamics and resilience across southern Africa [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014,28:131-139.

[23] Fensholt R, Proud S R. Evaluation of Earth Observation based global long term vegetation trends—Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series[J]. Remote Sensing of Environment, 2012,119:131-147.

[24] 贺忠华,张育慧,何月,等.浙江省近20年植被变化趋势及驱动因子分析[J].生态环境学报,2020,29(8):1530-1539.
He Z H, Zhang Y H, He Y, et al. Trends of vegetation change and driving factor analysis in recent 20 years over Zhejiang Province[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2020,29(8):1530-1539.

[25] 喻红,曾辉,江子瀛.快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究[J].地理科学,2001,21(1):64-69.
Yu H, Zeng H, Jiang Z Y. Study on distribution characteristics of landscape elements along the terrain gradient [J]. Scientia Geographica Sinica, 2001,21(1):64-69.

[26] 张玉,张道军.地形位指数模型改进及其在植被覆盖评价中的应用[J].地理学报,2022,77(11):2757-2772.
Zhang Y, Zhang D J. Improvement of terrain niche index model and its application in vegetation cover evaluation[J]. Acta Geographica Sinica, 2022,77(11):2757-2772.

[27] 王平,丁智强,华红莲,等.云南省老山自然保护区地貌特征及其对土地利用类型分布的影响[J].水土保持通报,2021,41(5):287-295.
Wang P, Ding Z Q, Hua H L, et al. Geomorphological characteristics and their impacts on land use patterns in Laoshan Nature Reserve of Yunnan Province[J]. Bulletin of Soiland Water Conservation, 2021,41(5):287-295.