

李明志,莫建飞,蒋健,等.桂西喀斯特区植被覆盖度变化趋势及其地形效应[J].气象研究与应用,2024,45(3):99-105.
LI mingzhi,MO Jianfei,JIANG Jian, et al.Vegetation coverage change trends and their topographic effects in the karst region of western Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(3):99-105.

桂西喀斯特区植被覆盖度变化趋势及其地形效应

李明志¹, 莫建飞^{2*}, 蒋健¹, 黄秋芹¹, 陈燕丽²

(1.百色市气象局, 广西百色 533000; 2.广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022)

摘要:利用2000—2020年MODIS卫星遥感数据和数字高程模型(DEM),运用趋势分析和地形效应的方法,以桂西喀斯特区百色市为研究区,探讨桂西喀斯特地区植被变化的高程、坡度和坡向等因素的空间差异性。结果表明:(1)桂西喀斯特区百色市植被覆盖度总体状况良好。以中度植被覆盖度(59.19%)和中高度植被覆盖度(37.71%)为主,两者面积变化明显,前者区域面积减少33.2%,后者区域面积增加29.8%。中低度植被覆盖度仅为2.10%。(2)地形因子对桂西喀斯特区植被生态的影响明显。在地势低、坡度小的平坦区域和地势高、坡度大的陡峭区域,植被覆盖度以减少为主导,在地势较高,坡度 2° ~ 15° 的区域,植被覆盖度变化以增加为主导。地形从阴坡过渡到阳坡,植被覆盖度的恢复趋势有所提升,但在幅度上表现得相对较为平缓。

关键词:植被覆盖度;变化特征;地形因子

中图分类号: P49

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.3.15

作为土地表层覆盖的核心要素,植被的动态变化对于全球能量平衡以及物质的生物地球化学循环产生显著影响^[1]。植被生长与地形紧密相连,地形的多维性体现在其包含诸如高程、坡面朝向和坡度等多种因素,这些因素通过调节土壤特性及水分和温度条件,进而对植物生长产生影响。地形因素对植被覆盖的影响力差异显著。目前不少地区的植被覆盖度随地形变化研究已取得较好进展。朱林富等^[2]探讨重庆地区植被覆盖的地形相关变化,详细分析在高程、坡度和坡向这几个维度上,重庆植被覆盖的空间分布如何呈现差异。刘立文等^[3]分析晋城市植被覆盖的时空变化特征及其与地形因子耦合。张会霞等^[4]使用2005—2020年的数据对汾河流域植被覆盖度变化趋势进行分析。刘尧文等^[5]针对平潭岛进行植被覆盖度与地形因子关系研究。肖建勇等^[6]分析2000—2016年喀斯特地区的NDVI时空变化特征;杨艳萍^[7]结合气象和地形数

据,分析植被NDVI对地形、气候变化和土地利用的响应;童晓伟^[8]对河池市植被与气候、地形的关系进行研究。但目前针对桂西喀斯特地区百色市的植被覆盖变化与地形效应的相关研究鲜有报道。

MODIS-NDVI (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer-Normalized Difference Vegetation Index)作为一种重要的遥感数据源,已被广泛应用于全球和区域尺度上的植被监测。MODIS-NDVI数据具有时间分辨率高(几乎每日覆盖)、空间分辨率适中(250 m至1 km),且数据获取稳定、连续性好等优点,使其成为研究植被动态变化的理想工具。利用MODIS-NDVI进行植被覆盖度监测,不仅可以高效地捕捉到植被的时空动态变化,还可以通过长时间序列数据分析,揭示植被对环境变化的响应机制。例如,Li等^[9]通过分析MODIS-NDVI数据,研究全球范围内的植被变化趋势,并评估不同生态系统对气候变化的响应。此外,MODIS-NDVI数据还被

收稿日期:2023-12-28

基金项目:广西科技重点研发计划项目(桂科AB23026052、桂科AB21238010)、广西气象科研计划项目(桂气科2023Z03)

第一作者:李明志(1987-),工程师,从事天气预报及生态气象服务。E-mail:174676972@qq.com

*通讯作者:莫建飞(1978-),正高级工程师,主要从事生态遥感与GIS气象应用研究工作。E-mail:mojfei@163.com

广泛应用于退耕还林工程、生态恢复和土地利用变化等研究领域,提供重要的科学依据。

百色市是桂西喀斯特地貌覆盖面积和石漠化程度相对较高的几个地区之一,是国家、广西重点关注的石漠化生态脆弱区^[10]。2001年以百色市田东县为试点,百色市开始实施退耕还林工程。2011年百色市已有9个县列入全区35个石漠化综合治理重点县。2012年全市全部县(市、区)覆盖石漠化治理,生态环境得到较大改善。但是喀斯特地区地形复杂,土地贫瘠,土层薄,水土涵养能力差,开展生态恢复治理难度大,因此针对喀斯特地区植被生态恢复治理成效也成为关注的问题。鉴于此,本文利用MODIS卫星遥感数据及DEM为数据基础,通过趋势分析和地形效应评估模型,探讨2000—2020年百色市植被覆盖在不同地形下的变化趋势,旨在掌握桂西喀斯特地区近些年实施退耕还林、石漠化治理等生态工程的成效,以及了解该地区植被覆盖时空变化趋势及植被覆盖随地形变化的特征,为桂西喀斯特地区生态建设提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

研究区位于云贵高原东南缘,广西西部,地处低纬(22°51′~25°03′N,104°26′~107°51′E)。境内地形复杂,中部以河谷为主,海拔高度100~200 m;南部和北部以山地、丘陵居多,海拔高度280~980 m,最高秦王老山2 062 m。属亚热带季风气候,年降雨量1 085~1 707 mm,平均气温16.5~22.1℃,平均日照时数1 370~1 823 h。

1.2 数据及处理

研究数据主要包括卫星遥感产品数据、数字高程模型资料、基础地理信息数据。栅格数据统一空间分辨率为250 m×250 m、投影方式为CGCS2000_GK_Zone_18。

1.2.1 MODIS-NDVI数据

NDVI数据源自NASA的EOS/MODIS MOD13Q1数据集,时间为2000—2020年,空间分辨率为250 m×250 m,时间分辨率为16 d。采用国际通用的最大值合成法MVC(Maximum Value Composites)将MOD13Q1产品数据生成时间分辨率为月尺度的NDVI数据;利用MRT(Modis Reprojection Tool)工具将覆盖研究区的图像进行拼接、裁剪等一系列预处理,获得研究区月尺度NDVI数据,用于计算植被覆盖度。

1.2.2 地理信息数据

基础地理信息包括广西气象信息中心提供的1:250 000比例尺的百色市行政边界和行政区划点;广西的数字高程模型(DEM)数据,分辨率为30 m,源自地理空间数据云,利用GIS技术经几何校正、拼接、镶嵌、裁剪和投影变换处理获得研究区海拔高度、坡度、坡向等地形数据。

1.3 研究方法

1.3.1 植被覆盖度估算方法

植被覆盖度反映地表植物的垂直投影面积占据的地面总面积的百分比,是评价生态植被程度的一个关键量化指标。基于MODIS NDVI数据,采用基于像元线性分解法,估算植被覆盖度,公式如下所示^[10]:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_0}{NDVI_g - NDVI_0} \quad (1)$$

式中:植被覆盖度为FVC;NDVI₀为裸土地或完全无植被区域的NDVI值;NDVI_g代表完全覆盖植被的区域的NDVI值^[11]。

1.3.2 植被覆盖度变化趋势分析方法

为了深入探究研究区2000—2020年间植被覆盖度的时空演变趋势,对植被覆盖度随时间的变化趋势进行分析。运用一元线性回归模型,并通过最小二乘法确定变化趋势的斜率,具体公式为^[12]:

$$\theta_{slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times C_i - \sum_{i=1}^n i \times \sum_{i=1}^n C_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (2)$$

式中: θ_{slope} 表示研究期间植被覆盖度的线性变化趋势; n 代表研究涵盖的总年数,即21 a; C_i 表示第*i*年植被覆盖度。其中 θ_{slope} 正值表明植被覆盖度有所提升,负值则植被覆盖度有所下降,零值则指示植被覆盖度保持不变。

1.3.3 植被变化趋势地形效应评估模型

利用地形效应评估模型,探究地形因素如何影响植被的变化,分析不同地形特征如何决定植被变化类型的分布和其趋势,其计算公式为^[8]:

$$K = \frac{S_{ie}}{S_e} \frac{S_i}{S} \quad (3)$$

式中: S_{ie} 指*i*变化类型在*e*地形特定条件下的面积; S_i 指*i*变化类型总面积; S_e 指*e*地形总面积; S 为研究区总面积; $\frac{S_{ie}}{S_e}$ 指*e*地形下*i*变化类型面积比, $\frac{S_i}{S}$

为研究区*i*变化类型面积比。 $K>1$,表示*i*变化类型在e地形为优势分布; $K=1$,表示*i*变化类型在e地形分布平稳; $K<1$,表示*i*变化类型在e地形非优势分布。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖度分布特征与变化趋势

依据《土壤侵蚀分类分级标准》,选取植被覆盖度年平均值,将研究区植被覆盖度值划分为5个等级:0%~30%为低植被覆盖度;30%~45%为较低植被覆盖度;45%~60%为中等植被覆盖度;60%~75%为较高植被覆盖度;>75%为高植被覆盖度,综合反映研究区的植被覆盖的变化。

百色市植被覆盖度总体状况良好。植被覆盖度呈现山地高、河谷低的趋势;以中高植被覆盖度和中度植被覆盖度为主,占比分别为59.19%和37.71%,而中低植被覆盖度仅为2.10%,主要集中在各个县(市、区)的城区,该地区以城乡、居民用地等建设用地为主。

逐年植被覆盖度监测变化图可知(图1),21 a来百色市植被覆盖度总体上呈现明显的增长趋势,上升速率为 $4.08 \cdot (10a)^{-1}$ ($p<0.5$),植被覆盖改善明显。2000—2020年,百色市年平均植被覆盖度在50%~70%之间,平均值为60.66%,年最大值出现在2016年(68.76%),年最小值出现在2012年(53.10%)。

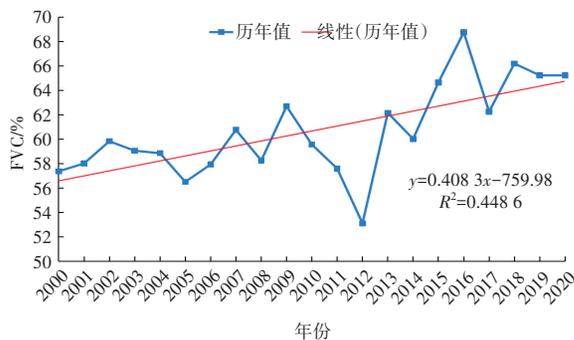


图1 2000—2020年百色市植被覆盖度逐年变化

以5 a为一个时期(以2000年至2005年为首个周期)对百色市各时期的植被覆盖度进行统计分析(表1)。结果显示,全市的植被覆盖情况得到改善,植被由低一级向高一级变化,其中,中覆盖度和中高覆盖度变化最为明显,中等植被覆盖区域的面积下降33.2%,而中到高植被覆盖区域的面积上升29.8%,高植被覆盖区域的面积同样呈现6.4%的增长。2000—2005年,植被主要集中在中覆盖度

(50.3%)和中高覆盖度(44.6%),低和高覆盖度较少,仅占0.4%。到2006—2010年,中高覆盖度增加至54.2%,中覆盖度降至41.5%,表明植被向更高质量转移,同时高覆盖度略增至0.7%。2011—2015年期间,中覆盖度回升至45.0%,中高覆盖度小幅减至51.5%,2016—2020年中覆盖度大幅减少至17.1%,而中高覆盖度显著增加至74.4%,高覆盖度增至6.7%。综合分析,百色市的植被覆盖度呈现出由较低等级向较高等级转变的明显趋势,这一变化反映该区域生态环境的持续优化以及植被质量的整体提升。

表1 2000—2020年各时期百色市植被覆盖度变化(单位:%)

年份	低覆盖度	中低覆盖度	中覆盖度	中高覆盖度	高覆盖度
2000—2005年	0.4	4.3	50.3	44.6	0.4
2006—2010年	0.5	3.0	41.5	54.2	0.7
2011—2015年	0.6	2.5	45.0	51.5	0.4
2016—2020年	0.5	1.2	17.1	74.4	6.7

2000—2020年百色各县(市、区)植被覆盖度变化趋势可以看出(表2),百色市各个县(市、区)整体植被覆盖度呈现出显著的提升趋势。百色市整体植被覆盖增加趋势的占比较大,达到71.3%,其中植被增加区主要集中在隆林、乐业、田东、西林,增加面积占比均在80%以上;植被覆盖度下降趋势的占比为28.7%,较大的区域为凌云、田林、右江区,占比

表2 2000—2020年百色市各县(市、区)植被覆盖度变化占比(单位:%)

县份	下降	不变	增加
德保县	25.3	0.0	74.7
靖西市	25.6	0.0	74.4
乐业县	13.2	0.0	86.8
凌云县	48.0	0.0	52.0
隆林县	7.0	0.0	93.0
那坡县	25.8	0.0	74.2
平果市	24.6	0.0	75.4
田东县	16.5	0.0	83.5
田林县	43.9	0.0	56.1
田阳区	29.7	0.0	70.3
西林县	19.3	0.0	80.7
右江区	52.7	0.0	47.3
百色市	28.7	0.0	71.3

40%~50%;植被覆盖度保持不变趋势在各县(市、区)中占比较小,均小于0.1%。

2.2 植被覆盖度的地形效应分析

从高程、坡度和坡向三个维度来探讨地形如何影响植被覆盖的变化。高程上,依据研究区的具体情况,通过自然断点分级法将其分为五个等级: $<300\text{ m}$ 、 $300\sim 600\text{ m}$ 、 $600\sim 900\text{ m}$ 、 $900\sim 1\,200\text{ m}$ 、 $>1\,200\text{ m}$ 。坡度上,按照《第二次全国土地调查技术规程》的标准,划分为5个区间: $<2^\circ$ 、 $2^\circ\sim 6^\circ$ 、 $6^\circ\sim 15^\circ$ 、 $15^\circ\sim 25^\circ$ 、 $>25^\circ$ 。坡向的分类则基于相关文献[11]的研究,将其细分为平地、北坡($315^\circ\text{—}45^\circ$)、东坡($45^\circ\text{—}135^\circ$)、南坡($135^\circ\text{—}225^\circ$)和西坡($225^\circ\text{—}315^\circ$),分别对应平地、阴坡、半阴坡、阳坡和半阳坡。

2.2.1 高程

由图2可知百色市的地形特征为:南北较高、中间较低,整体地势从西北向东南逐渐倾斜,高程主要在 $400\sim 1\,200\text{ m}$ 之间,占比为79.7%。高程变化对于气温和水分分布产生一定的影响,同时也对人类活动施加限制,进而引起植被的垂直带状分布模式的变化^[13-14]。参照相关研究^[15],将高程以 100 m 为步长,共分割成20个高程带,分别统计各高程带的平均植被覆盖度。

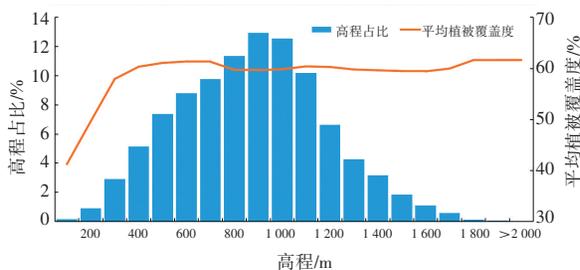


图2 植被覆盖度在不同高程的分布情况

植被覆盖度监测结果显示(图2),随着高程的变化,平均植被覆盖度也随之变化,在 $0\sim 300\text{ m}$ 之间,平均植被覆盖度随着高程增加而增大且变化明显,同时该区域为河谷、平原和丘陵过渡地带,植被类型由农田向灌草、森林转变频率较高;在 $300\sim 2\,000\text{ m}$ 之间,平均植被覆盖度变化平稳,数值处在 $60\%\sim 65\%$ 之间,可能原因是随着高程的增加,该区域地形以丘陵和山地为主,植被类型以森林和灌草为主,同时人类活动对植被的影响减少,因此平均植被覆盖度变化不大。

植被变化的地形效应评估结果显示(图3),总

体上百色市植被分布的地形效应差异明显,植被覆盖度变化的地形效应主要是显著增加和减少类型,不变类型比例较小。随着高程的增加,植被覆盖度减少类型先降低后增加,在大于 $1\,900\text{ m}$ 的区域 K 最高,占比为76.7%,次之在小于 100 m ,占比为58.1%, K 最小在 $1\,500\sim 1\,600\text{ m}$,占比为15.2%。而植被覆盖增加类型则先增加后减少并稳定在 $K=1$ 附近, K 在大于 $1\,900\text{ m}$ 占比最小为23.33%,其中在 $1\,500\sim 1\,600\text{ m}$ 占比最大为84.8%。植被覆盖度不变类型占比很少,均小于0.1%。不同高程区间看,植被覆盖的变化趋势(K 值大于1)表现不同。在 $<300\text{ m}$ 、 $500\sim 900\text{ m}$ 和 $1\,800\sim 2\,000\text{ m}$ 的区域内,植被覆盖度减少趋势占据优势,而在 $300\sim 500\text{ m}$ 和 $900\sim 1\,800\text{ m}$ 的区域内,植被覆盖度呈显著增加。具体看,在海拔 300 m 以下的区域,植被减少现象较明显(K 值在 1.08 至 2.03 之间),这表明该区域植被呈减少态势;在 $300\sim 500\text{ m}$ 高程,植被的增加趋势较为显著(K 值在 1.02 至 1.03 之间); $500\sim 900\text{ m}$ 的区域也呈现出植被减少的明显趋势(K 值在 1.02 至 1.14 之间); $900\sim 1\,800\text{ m}$ 的高程区域则表现更为明显的植被增长(K 值在 1.01 至 1.18 之间);在 $1\,800\text{ m}$ 以上的高海拔区域,植被减少成为主要趋势(K 值在 1.4 至 2.7 之间)。

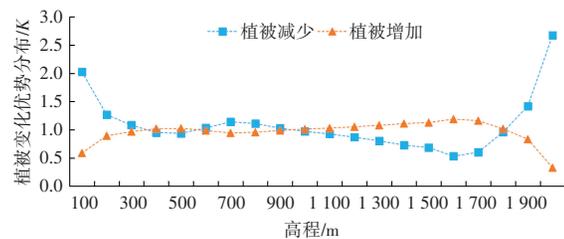


图3 植被覆盖度优势分布随高程的变化趋势

综上所述,植被覆盖度的变化与高程变化密切相关,同时受到自然和人为因素的显著影响:在 300 m 以下的地区,尽管气候条件如温度和水分有利于植被生长,但由于人类活动如农业耕作、城镇建设、交通和水库建设等的影响,植被覆盖度明显减少;在 $300\sim 1\,800\text{ m}$ 的区域,海拔较高,人类活动较少,加之退耕还林政策的实施,植被覆盖度总体呈增长态势;而在超过 $1\,800\text{ m}$ 的高海拔区域,地形崎岖,植被生长条件较差,因此在这些区域植被覆盖度呈现减少的趋势。

2.2.2 坡度

利用百色市高程数据,依据分级指标,利用GIS

技术生成坡度, 统计分析各级坡度的平均植被覆盖度。结果显示, 在不同的坡度范围内, 植被主要表现为增长的趋势, 植被不变类型比例较小。植被增加类型在整个坡度变化趋势为先增加后减少, 植被减少类型先减少后缓慢增加, 植被不变类型缓慢增加, 但占比小于 0.1%。植被增加的情况占比较大, 在 67.3%~73.1% 之间。特别是在 2° ~ 6° 的坡度区间, 比例最高, 达到 73.1%, 而在小于 2° 的坡度中, 比例最低, 仅为 63.7%。植被减少情况而言, 在小于 2° 的坡度中所占比例最高, 达到 32.7%, 而在 2° ~ 6° 的坡度中比例最低, 为 26.9%。在坡度增加的过程中, 植被的变化呈现出一定的规律: 初始阶段植被减少的类型减少, 随后逐步增加; 而植被增加的类型则先增后减(见表 3)。具体而言, 在坡度小于 2° 的区域中, 植被减少的情况较为显著(K 值为 1.14); 在 2° ~ 6° 的范围内, 植被增加的类型占据优势(K 值为 1.02); 6° ~ 15° 区间内, 植被增加和减少的类型分布较为均衡(K 值为 1.00); 而在坡度超过 15° 的地区, 植被减少的情况再次显著(K 值在 1.01 至 1.02 之间)。

表 3 K 随坡度的变化趋势

坡度	减少	增加
0° ~ 2°	1.14	0.94
2° ~ 6°	0.94	1.02
6° ~ 15°	1.00	1.00
15° ~ 25°	1.03	0.99
$>25^{\circ}$	1.01	0.99

综上可知, 在地势平缓的区域(坡度 $<2^{\circ}$), 由于是人类活动密集的地区, 主要包括耕地和城市, 因此植被覆盖度较低, 植被减少的现象较为突出。在 2° ~ 6° 的坡度区域, 地势逐渐变得不平坦, 人类活动有所减少, 该区域土壤具有较好的保水能力和养分, 更有利于植被生长, 因此植被增加的类型占优势。在 6° ~ 15° 的坡度区间, 随着坡度的进一步增大, 植被的水分保持能力减弱, 植被变化趋于平衡。当坡度超过 15° 时, 由于地势陡峭, 尤其是在百色市喀斯特地形较多的区域, 不利于水分保持, 导致植被减少类型的分布更加明显, 而增加类型的分布相对减少。

2.2.3 坡向

对不同坡向植被变化的分析显示(表 4), 植被增加类型是主导趋势, 植被不变类型较少。横向

看, 各坡向上植被的变化并没有表现出一致的趋势。研究发现, 大多数坡向上植被增加类型的占比显著, 约为 70%。特别是在阴坡区域, 植被减少的比例最大, 高达 30.2%, 而在其他坡向上, 这一比例普遍低于 30%。在所有坡向中, 植被保持不变的类型所占比例均不超过 0.1%。在平坦地区, 植被的减少趋势更为显著(K 值为 1.02), 而植被增加的趋势相对较弱(K 值为 0.99), 这表明平坦地区植被的减少是主要趋势, 受人类活动的影响较大。随着坡向从阴坡向阳坡转变, 植被的增加趋势逐渐变得更加明显, 而减少的趋势则相应减弱。具体而言, 植被减少的类型在阴坡和半阴坡更为普遍, 而在阳坡和半阳坡区域, 植被增加的类型占据主导地位。

表 4 K 随坡向的变化趋势

坡向	减少	增加
平地	1.02	0.99
阴坡	1.05	0.98
半阴坡	1.00	1.00
阳坡	0.97	1.01
半阳坡	0.99	1.00

总体来看, 平地区域的植被变化十分显著, 这主要与平地作为人类活动密集区域(如建筑用地、水体等)的特性相关。在阳坡和半阳坡区域, 植被增加的类型占据显著优势, 而在阴坡和半阴坡区域, 则植被减少的类型更为常见。这种现象表明从阴坡转向阳坡时, 随着太阳辐射的加强, 植被恢复的趋势也随之增加, 尽管变化的幅度相对较小。

3 结论

本研究利用 2000—2020 年 MODIS NDVI 数据分析百色市 21 a 来的植被覆盖度变化与地形因子的关系, 取得主要结论:

(1) 近 21 a 来, 百色市植被覆盖度总体上植被覆盖度状况良好。植被覆盖度呈现山地高、河谷低的趋势, 以中植被覆盖度和中高度植被覆盖度为主, 分别为 59.19% 和 37.71%, 而中低植被覆盖度为 2.10%; 百色市植被覆盖度平均值在 50%~70% 之间波动, 总体呈现波动式上升趋势, 上升速率为 $4.08 \cdot (10a)^{-1}$; 植被由低一级向高一级变化, 其中, 中覆盖度和中高覆盖度变化最为明显, 中覆盖度区域面积减少 33.2%, 中高覆盖度区域面积增加 29.8%,

高覆盖度区域面积也增加6.4%。

(2)地形因子对植被生态的影响明显。在地势低($<300\text{ m}$)、坡度小($<2^\circ$)的平坦区域,地势高($>1\ 800\text{ m}$)、坡度大($>25^\circ$)的陡峭区域,以植被减少为主导;在地势较高($300\sim 500\text{ m}$ 、 $900\sim 1\ 800\text{ m}$)、坡度 $2^\circ\sim 15^\circ$ 的区域,以植被增加为主导;当地形从阴坡过渡到阳坡,植被的恢复趋势有所升高,但恢复趋势在幅度上表现得相对较为平缓。

参考文献:

- [1] 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):961-974.
- [2] 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.
- [3] 刘立文,徐立帅,段永红,等. 晋城市植被覆盖时空变化与地形效应耦合[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(8): 1-6, 11.
- [4] 张会霞,李永梅,张娜. 汾河流域植被覆盖度时空特征与地形因子的关系[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 353-359, 368.
- [5] 刘尧文,沙晋明. 基于Landsat影像的多时相植被覆盖度与地形因子关系研究:以平潭岛为例[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2016, 32(4): 89-98.
- [6] 肖建勇,王世杰,白晓永,等. 喀斯特关键带植被时空变化及其驱动因素[J]. 生态学报, 2018, 38(24): 8799-8812.
- [7] 杨艳萍,陈建军,覃巧婷,等. 2000—2018年广西植被时空变化及其对地形、气候和土地利用的响应[J]. 农业工程学报, 2021, 37(17):234-241.
- [8] 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.
- [9] LIU Y, LI Y, LI S, et al. Spatial and temporal patterns of global NDVI trends: correlations with climate and human factors[J]. Remote Sensing, 2015.
- [10] 叶骏菲,陈燕丽,莫伟华,等. 典型喀斯特区植被变化及其与气象因子的关系:以广西百色市为例[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(5):106-113.
- [11] 莫建飞,莫伟华,陈燕丽. 基于净初级生产力的广西喀斯特区生物多样性维护功能评价[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(29):371-377.
- [12] 覃弼勇,黄肖寒,陈燕丽,等. 近20年河池市植被覆盖度时空演变特征[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(2): 41-45.
- [13] 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.
- [14] 邓元杰,姚顺波,侯孟阳,等. 长江流域中上游植被NDVI时空变化及其地形分异效应[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(1):66-78.
- [15] 赵婷,白红英,邓晨晖,等. 2000—2016年秦岭山地植被覆盖变化地形分异效应[J]. 生态学报, 2019, 39(12): 4499-4509.

Vegetation coverage change trends and their topographic effects in the karst region of western Guangxi

LI mingzhi¹, MO Jianfei^{2*}, JIANG Jian¹, HUANG Qiuqin¹, CHEN Yanli²

(1. Baise Meteorological Bureau, Guangxi Baise 533000, China;

2. Guangxi Institute of Meteorological Sciences, Nanning 530022, China)

Abstract: Based on MODIS satellite remote sensing data and the Digital Elevation Model (DEM) from 2000 to 2020, this study investigates the spatial variations of vegetation change in terms of elevation, slope, and aspect in the Baise region of the karst region of the western Guangxi using trend analysis and topographic effect methods. The results show that: (1) the overall condition of Baise's vegetation coverage is in good condition. It is dominated by medium vegetation cover (59.19%) and medium-high vegetation coverage (37.71%), both of which have obvious changes in area, with the area of the former decreasing by 33.2% and the area of the latter increasing by 29.8%. The area of medium-low vegetation cover is only 2.10%. (2) There is obvious influence of topographic factors on the vegetation ecology of karst areas in western Guangxi. In flat areas with low elevation and moderate slopes, as well as steep areas with high elevation and steep slopes, the change of vegetation cover tends to decrease. In contrast, there is a noticeable increase in vegetation covering in regions with moderate elevation and slopes of $2^{\circ} \sim 15^{\circ}$. In the terrain transitioning from shady slopes to sunny slopes, the recovering tendency of the vegetation cover is increased, but it shows a relatively more moderate in magnitude.

Key words: vegetation coverage; variation characteristics; terrain factor