

# 基于 MODIS-EVI 的广西西江流域植被 时空变化特征及其影响因素

苏俊磊<sup>1,2</sup>, 罗为群<sup>1,3</sup>, 王广哲<sup>1</sup>, 杨奇勇<sup>1</sup>, 周永华<sup>1,3</sup>, 黄静<sup>1,3</sup>, 蒋忠诚<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院 岩溶地质研究所/自然资源部岩溶生态系统与石漠化治理重点实验室, 广西 桂林 541004;

2. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 3. 广西师范学院, 南宁 530001)

**摘要:** 基于 MODIS-EVI 数据对 2007—2016 年广西西江流域植被时空变化特征进行了分析, 进而探讨其影响因素。结果表明: 近 10 年来, 研究区月 EVI 呈周期性变化, 每年 7—8 月份最高, 1—2 月份最低, 明显受到季节性气候等自然因素控制。EVI 年际变化总体呈上升的趋势, 可能与一系列植被保护措施有关, 但存在两次骤然下降现象, 可能是受到重大自然灾害的影响。岩溶区与非岩溶区 EVI 变化趋势与全区基本一致。研究区 EVI 具有明显的空间差异, EVI 高值 ( $>0.4$ ) 主要分布于高海拔或人为破坏小的地区, 适合实施封山育林、人工造林等生态修复举措; EVI 低值 ( $\leq 0.4$ ) 主要分布于水系发达或城市中心地带等低海拔地区, 受到自然条件和城镇化发展的制约。另外, 研究区植被 EVI 与气温和降雨均呈显著正相关, 且与气温的相关性明显高于降雨, 对气温和降雨的响应均存在 1 个月的滞后期。

**关键词:** MODIS-EVI; 植被; 时空变化; 西江流域; 广西

中图分类号: Q948; TP75

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)03-0232-07

## Spatiotemporal Variation of Vegetation and Its Influencing Factors in Xijiang River Basin of Guangxi Based on MODIS-EVI

SU Junlei<sup>1,2</sup>, LUO Wei-qun<sup>1,3</sup>, WANG Guangzhe<sup>1</sup>, YANG Qiyong<sup>1</sup>,  
ZHOU Yonghua<sup>1,3</sup>, HUANG Jing<sup>1,3</sup>, JIANG Zhongcheng<sup>1</sup>

(1. Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Ecosystem and Treatment of  
Rocky Desertification, MNR, Guilin, Guangxi 541004, China; 2. China University of Geosciences

Based in Beijing, Beijing 100083, China; 3. Guangxi Teachers Education University, Nanning, 530001, China)

**Abstract:** Based on the MODIS-EVI data, the spatiotemporal variation of vegetation in Xijiang River Basin of Guangxi from 2007 to 2016 was analyzed and then its influencing factors were discussed. The results indicated that in recent decade, the monthly EVI in the study area periodically oscillated, and had the peak and nadir values from July to August and from January to February, respectively, which was clearly controlled by natural factors such as seasonal climate. The interannual variation of EVI was on the rise as a whole, and possibly related to a series of vegetation protection measures, but displayed two abrupt drops which might be affected by serious natural disasters in Southwest China. The variation trend of EVI in karst region and non-karst region was nearly consistent with that of the whole region. EVI of vegetation mainly ranging from 0.4 to 0.6 in the study area had obvious spatial differences. High EVI values ( $>0.4$ ) mainly distributed in the high altitude areas with little anthropogenic damage where the measures of forest reservation and artificial afforestation were feasible. Conversely, low EVI values ( $\leq 0.4$ ) were observed in the low altitude areas such as river system and urban center restricting the increase of vegetation coverage. In addition, EVI of vegetation showed a significant positive correlation with- and a one-month lag in response to both temperature and rainfall, and its correlation with temperature was higher than that with rainfall.

**Keywords:** MODIS-EVI; vegetation; spatiotemporal changes; Xijiang River Basin; Guangxi

植被作为陆地生态系统的主体<sup>[1]</sup>,是全球气候变化的敏感指示器<sup>[2-3]</sup>,不仅影响着地球—大气系统之间的能量平衡,还在气候、水文和生物地球化学循环过程中起着重要桥梁作用<sup>[4]</sup>。植被覆盖变化在一定程度上能够反映区域生态系统的演化状况,与气候变化和人类活动密切相关<sup>[5-6]</sup>。因此,研究某一区域的植被覆盖时空变化对评价该区域生态环境的演化和过程具有很好的指示意义<sup>[7]</sup>。植被指数是反映地表植被覆盖度与植被生长状况的重要指数,常用于区域乃至全球植被状态研究<sup>[8]</sup>。目前,较常见的植被指数主要有比值植被指数(RVI)、调整土壤亮度的植被指数(SAVI)、差值植被指数(DVI)、归一化植被指数(NDVI)、增强型植被指数(EVI)等,其中 NDVI 和 EVI 在多领域研究中得到广泛应用。然而,NDVI 本身存在易饱和、处理大气干扰能力有限、自动忽略土壤背景干扰、MVC 算法不能保证最佳像元等诸多不足<sup>[9-10]</sup>。因此,有关学者对其进行了改进和优化,即全面的大气校正和去云处理、以及残留的气溶胶和土壤背景干扰校正,从而解决了基于比值的植被指数饱和问题<sup>[9,11-13]</sup>,由此提出了增强型植被指数 EVI。有学者研究发现在湿润条件下的高植被覆盖区,EVI 指数比 NDVI 指数更能准确地反映植被的生长变化<sup>[9,14-15]</sup>。也有学者通过利用 EVI 指数和 NDVI 指数对湖南省 2005 年植被覆盖月季变化情况进行对比研究发现 MODIS-EVI 能更好地反映植被覆盖变化特征<sup>[16]</sup>。

广西西江流域作为西南地区重要的水源涵养区,岩溶面积分布广泛,灾害频繁,是全球气候变化的敏感区域之一<sup>[17]</sup>。由于受自然因素和人类活动的共同影响,该流域内生态环境变得十分脆弱,这迫切需要快速且准确地动态监测。近年来,已有大量关于利用 MODIS-NDVI 数据研究广西地区植被变化的报道<sup>[18-20]</sup>。然而,关于利用 MODIS-EVI 对广西植被时空变化及演变趋势的研究较少,特别是对区内岩溶区与非岩溶区植被变化差异的对比研究更为罕见。因此,本文基于广西西江流域 MODIS-EVI 数据对比分析该区 2007—2016 年植被时空变化特征及其与气候因子和海拔的关系,旨在为该区植被监测和分区、石漠化综合治理以及生态工程实施效果与评价等提供理论依据。

## 1 研究区概况

西江作为华南地区最长的河流,是广西壮族自治区和广东省的重要水系。西江流域在广西区内的经纬度范围分别为  $21^{\circ}58'—26^{\circ}33' N$ ,  $104^{\circ}26'—112^{\circ}04' E$ ,区内河长 869 km,主要支流有南盘江、红水河、黔浔江、郁江、柳江、桂江、贺江、漓江等。流域总面积达 3.05 万  $km^2$ ,

其中广西区内流域集雨面积 2.17 万  $km^2$ ,占总流域集水面积的 85.68%。广西西江流域跨越北回归线,属于典型亚热带季风气候,年平均气温在  $16.5\sim 23.1^{\circ}C$ ,年降雨量为 1 080~2 760 mm<sup>[21]</sup>,日照充足、降雨充沛。地貌以山地、丘陵、峰丛洼地、峰林平原和谷地为主,地势北高南低(图 1),植被类型主要为森林、灌木林、灌丛林、草丛等。岩溶面积分布广泛,约占研究区总面积的 31%,集中分布于桂西南、桂西北、桂中、桂东北等,地层岩性以石灰岩和白云岩为主,石漠化问题突出,灾害频发。

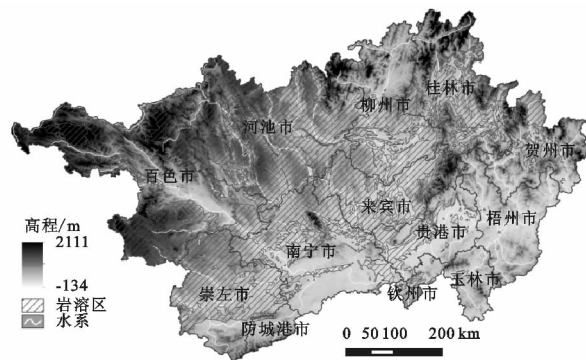


图1 研究区海拔变化和岩溶分布

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源与处理

本文中 MODIS-EVI 数据源于美国国家航空航天局 NASA(<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html/>)提供的 Terra 卫星 MOD13A3 数据(格式为 EOS-HDF)、地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>)提供的 DEM 数据、中国地质科学院岩溶地质研究所提供的 1:100 万岩溶分布数据以及中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.cn/>)提供的气象数据。其中 MODIS-EVI 数据为三级网格陆地植被数据,属于 30 d 合成产品,空间分辨率为 1 km;DEM 数据为数字高程数据,空间分辨率为 30 m;而气象数据则包括研究区内 25 个标准站点的月平均气温和月累积降雨量。本文首先选择广西西江流域行政区划矢量图作为掩膜,对 2007—2016 年内各月的 MODIS-EVI 数据进行裁剪,从而生成广西西江流域研究区植被月 EVI 图像,然后考虑到广西地区气候、水文及自然资源等特征,选择植被生长旺季(每年 4—10 月)的平均 EVI 作为研究区年均 EVI 值,而选择各年同 1 月份的 EVI 求平均值作为研究区 1—12 月的月均 EVI 值<sup>[10,22-23]</sup>;而区内岩溶区和非岩溶区的 EVI 图像则是以研究区 1:100 万岩溶分布矢量图为掩膜,通过裁剪工具得到的,EVI 值与研究区 EVI 值求法一致。

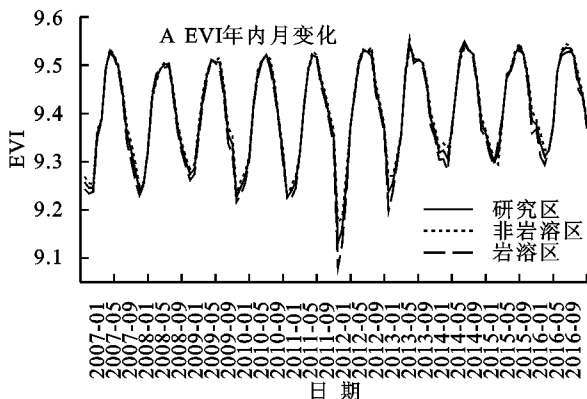
## 2.2 研究方法

2.2.1 植被指数动态变化趋势分析 一元线性回归分析法可模拟每个像元的变化趋势,还能反映不同时间段内植被变化的空间特征<sup>[24-26]</sup>。利用该方法模拟研究区内每个像元的 EVI 在 2007—2016 年的空间变化趋势,本文以年时间单位  $t$  为自变量,以年平均 EVI 和时间序列为因变量建立一元线性回归方程,计算公式如下<sup>[24]</sup>:

$$\text{Slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times \overline{\text{EVI}}_i) - (\sum_{i=1}^n i) \times (\sum_{i=1}^n \overline{\text{EVI}}_i)}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中: $i$  为年序号(1,2,3,..., $n$ ); $n$  为总年数,本文为 10 a; $\overline{\text{EVI}}_i$  为第  $i$  年的 EVI 平均值;Slope 为一元线性回归的斜率;Slope 反映了连续 10 a 研究区植被覆盖的变化趋势和幅度。如果  $\text{Slope} > 0$ ,则表明研究区 EVI 在 10 a 内的变化趋势整体上是增加的;如果  $\text{Slope} < 0$ ,则 EVI 的变化趋势是减少的;如果  $\text{Slope} = 0$ ,则 EVI 变化趋势基本保持不变。其中斜率的绝对值越大,代表植被覆盖增加或减少的幅度越大。

2.2.2 植被指数波动分析 标准差是衡量各项数据偏离平均值或中间值的一项统计指标,反映了数据的离散程度。利用标准差分析研究区近 10 a 来的 EVI 均值,若标准差越大,则表明研究区在该时间段内植被指数 EVI 年际波动越大,即植被覆盖变化越大。标准差的计算,见式(2)<sup>[27]</sup>:



$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{EVI}_i - \overline{\text{EVI}})^2} \quad (2)$$

式中: $i$  为年序号(1,2,3,..., $n$ ); $n$  为总年数,本文为 10 a; $\text{EVI}_i$  为第  $i$  年的 EVI 值; $\overline{\text{EVI}}$  为多年 EVI 平均值; $S$  为标准差。

## 3 结果与分析

### 3.1 植被覆盖时间变化特征

3.1.1 周期变化 广西西江流域植被类型主要为常绿阔叶林,尽管该类型植被变化较小,但同样遵循物候新陈交替的自然规律,即月 EVI 指数呈周期变化。由 2007—2016 年月 EVI 变化特征(图 2A)可知,EVI 指数呈周期性变化,每年 7 月或 8 月份 EVI 指数高,1 月或 2 月份 EVI 指数低。除 2012 年 1 月 EVI 值为 10 a 内最低值外,近 10 a EVI 值呈现缓慢增加的趋势,且每年的最高值与最低值的差值呈现出逐渐减小的趋势。从图 2B 可看出,近 10 a 研究区 1—12 月的平均 EVI 指数呈“先升高后降低”的态势:1—3 月 EVI 值较小,4 月以后随着气温上升和降雨增加,植被生长茂盛,EVI 值也迅速增大,到 7 月或 8 月份达到最高值,9 月以后植物开始落叶、农作物开始成熟,植被覆盖逐渐降低,EVI 值也减小至次年 1 月或 2 月份的最低值。岩溶区和非岩溶区月均 EVI 变化趋势与研究区基本保持一致,EVI 大小表现为:非岩溶区 > 研究区 > 岩溶区。

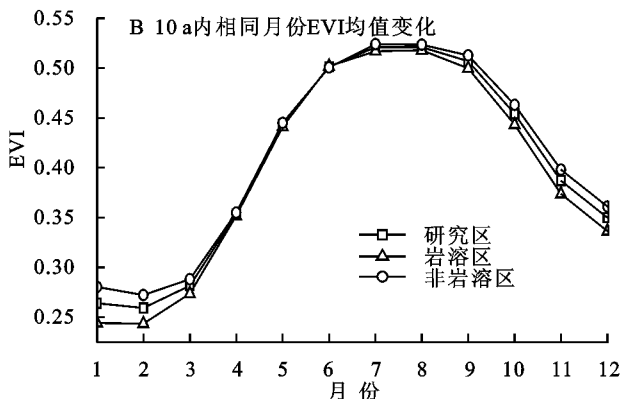


图2 研究区 2007—2016 年内 EVI 月际变化特征

3.1.2 年际变化 由图 3 可知,2007—2016 年内研究区年均 EVI 值均在 0.4 以上,总体呈上升趋势( $p < 0.001$ );2011 年 EVI 均值最小(0.45),2016 年 EVI 均值最大(0.49)。具体来看年均 EVI 变化趋势大致可分为 2 个阶段:(1) 2007—2011 年波动阶段,期间年均 EVI 整体上呈下降态势,其原因可能是该时间段内出现多次严重自然灾害,导致植被与农作物遭到严重破坏,进而使得植被覆盖度降低。(2) 2011—2016 年期间年均 EVI 增加阶段,这可能与广西地区推进绿化造林工程、石

漠化治理工程等植被保护措施有着较大的关系。岩溶区和非岩溶区年均 EVI 变化趋势、变化速率与研究区基本一致,通过对比发现,除 2014 年外,非岩溶区年均 EVI 均高于岩溶区。

### 3.2 植被覆盖空间变化特征

3.2.1 植被指数空间差异分析 由表 1 和图 4 可看出,研究区 EVI 均值主要介于 0.4~0.6,空间分布差异显著。其中  $\text{EVI} > 0.5$  的高值区主要集中在研究区西北部,零星分布于中—东部和西南部等地区;

EVI 值介于 0.4~0.5 的区域几乎覆盖了整个研究区; EVI 值介于 0.3~0.4 的区域主要沿着南盘江、右江、红水河、郁江、漓江等水系分布; 而  $EVI < 0.3$  的低值区主要分布于南宁、柳州、桂林等城市中心地带, 受人类活动干扰强度较大。岩溶区与非岩溶区 EVI 值均以大于 0.4 为主, 对于  $EVI > 0.5$  的高值区而言, 非岩溶区所占比明显高于岩溶区。总体来看, 2007—2016 年广西西江流域植被 EVI 均值整体较高, 植被生长状况较良好, 非岩溶区 EVI 均值稍高于岩溶区。

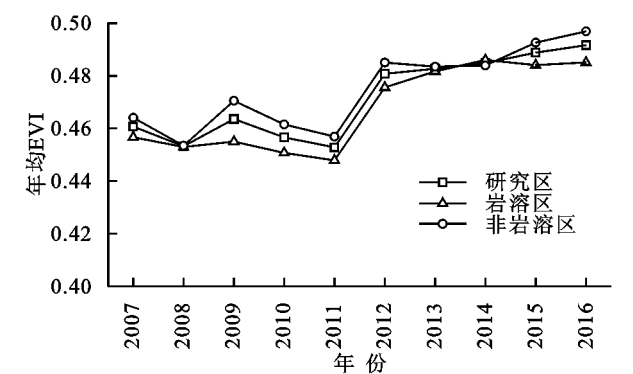


图 3 研究区 2007—2016 年 EVI 年际变化特征

表 1 2007—2016 年广西西江流域 EVI 均值分布面积比例

EVI 等级	面积比例/%		
	研究区	岩溶区	非岩溶区
$EVI < 0.3$	1.00	0.68	1.26
$0.3 \leq EVI < 0.4$	5.49	5.72	5.31
$0.4 \leq EVI < 0.5$	64.83	69.54	61.09
$EVI \geq 0.5$	28.68	24.06	32.34
总计	100	100	100

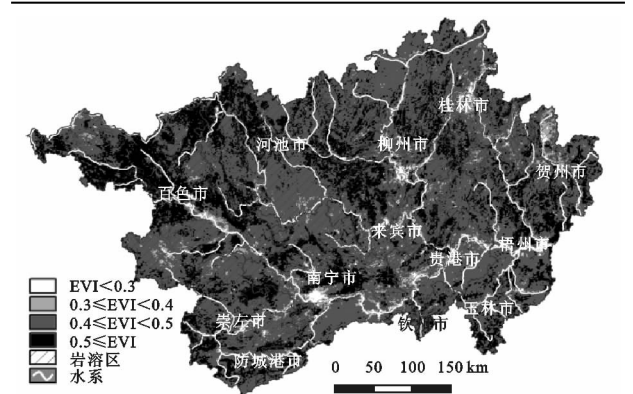


图 4 研究区 2007—2016 年 EVI 均值空间分布特征

3.2.2 植被指数空间分布动态变化趋势 利用一元回归模型对近 10 a 广西西江流域植被变化趋势进行分析, 参考邱海军和靖娟利植被变化趋势划分标准<sup>[28,29]</sup>, 将研究区植被变化趋势划分为严重退化、中度退化、基本不变、中度改善以及显著改善 5 个等级 (图 5), 并在 GIS 中统计各等级面积比例 (表 2)。由图 5 和表 2 可知, 2007—2016 年研究区植被覆盖总

体得到改善, 仅局部地区仍在退化。EVI 呈中度改善和显著改善的区域占总面积的 50.74%, 主要分布于研究区中部及东北部等地区; EVI 呈中度退化和严重退化的区域较小, 零星分布于水系和南宁、百色及桂林等市辖区, 明显受到城市化发展的影响; 其他地区植被 EVI 呈基本不变趋势, 占比 47.66%, 广泛分布于研究区西部、北部及东南部等地区。岩溶区与非岩溶区 EVI 主要以基本不变、中度改善为主, 岩溶区呈中度改善和显著改善的区域占比明显高于非岩溶区, 以上现象表明近 10 a 来研究区内岩溶石漠化治理、绿化造林等一系列生态保护工程的实施取得了较显著的成效。

表 2 2007—2016 年广西西江流域 EVI 变化趋势

Slope 阈值	EVI 变化程度	面积比例/%		
		研究区	岩溶区	非岩溶区
$Slope \leq -0.009$	严重退化	0.35	0.31	0.38
$-0.009 < Slope \leq -0.0045$	中度退化	1.25	1.03	1.43
$-0.0045 < Slope \leq 0.0045$	基本不变	47.66	41.82	52.46
$0.0045 < Slope \leq 0.009$	中度改善	39.47	42.46	37.02
$Slope > 0.009$	显著改善	11.27	14.38	8.71

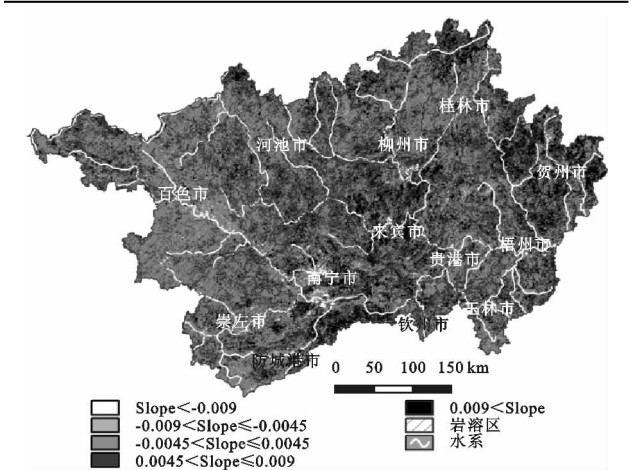


图 5 研究区 2007—2016 年 EVI 变化的空间分布

3.2.3 植被指数空间分布波动特征 从数理统计分析角度, 按照标准差与均值中的最小值作为等级划分间隔的标准<sup>[30-31]</sup>, 将研究区 EVI 标准差划分 5 个等级, 分别为低、较低、中、较高和高 (图 6), 并在 GIS 中统计各个等级所占面积比例 (表 3)。

2007—2016 年研究区 EVI 标准差介于 0.005~0.126 之间, 空间波动幅度较大, 地域分异明显 (图 6), 以较低波动为主, 中等、低波动次之, 高、较高波动少。空间分布波动特征为: (1) 低波动区零散分布于研究区的西部及东北部, 占比约为 14.17%, 该地区主要为人类活动干扰小且海拔较高的山地、丘陵地带。 (2) 较低波动区广泛分布于研究区西部、北部及东南部等地区, 占比约为 74.35%, 与 EVI 呈基本不变的区域基

本相吻合。(3) 中等波动区与 EVI 呈中度退化、中度改善的地区相一致,占比约为 10.93%。(4) 较高—高波动区占比小,零星分布于城市化快速发展的地区,人类活动影响大,EVI 波动明显。由此可见,植被覆盖变化趋势越明显,EVI 空间波动性越大。

表 3 2007—2016 年广西西江流域 EVI 波动特征

标准差阈值	EVI 波动程度	面积比例/%		
		研究区	岩溶区	非岩溶区
$0 \leq S < 0.022$	低	14.17	14.14	14.20
$0.022 \leq S < 0.030$	较低	74.35	72.85	76.89
$0.030 \leq S < 0.038$	中	10.93	12.53	8.28
$0.038 \leq S < 0.049$	较高	0.52	0.47	0.58
$S \geq 0.049$	高	0.03	0.01	0.05

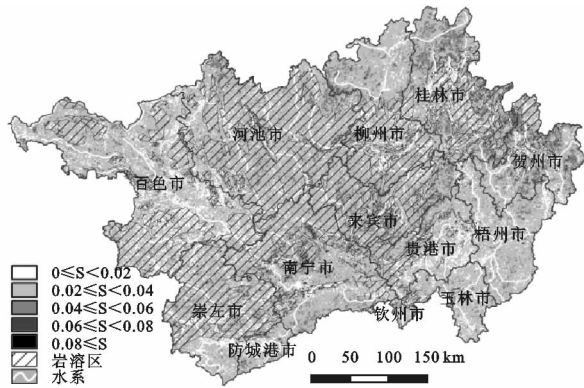


图 6 研究区 2007—2016 年 EVI 波动性空间分布

3.3 EVI 与气候因子的关系

由于植被指数对气候因子的响应往往存在不同程度的滞后效应<sup>[32-35]</sup>,所以本文对广西西江流域 2007—2016 年植被月 EVI 与月平均气温和月累积降雨量进行偏相关分析。

从研究区植被 EVI 与气候因子的相关分析可看出(表 4),研究区 2007—2016 年植被月 EVI 与月平均气温、月累积降雨量均呈显著正相关关系,且与月平均气温的相关性明显高于月累积降雨量,相关系数数值均在前 1 个月达到最大,结果表明研究区植被生长受气温的影响明显大于降雨,这可能是由于研究区位于热带及亚热带地区,降雨充沛,水分相对于植被十分充足,利于减少植被对水分的依赖性,因此植被生长对气温的需求要高于降雨。就前 1 个月的相关系数数值来看,非岩溶区 EVI 与月平均气温、月累积降雨量的相关性略高于岩溶区。

3.4 EVI 与海拔的变化关系

本文参照广西地区植被类型垂直地带分布及其与高程的关系<sup>[36]</sup>,将研究区海拔变化划分为 4 个等级:低海拔(<700 m)、中—低海拔(700~1 000 m)、中—高海拔(1 000~1 300 m)和高海拔(>1 300 m)(表 5)。其中小于 700 m 的区域占研究区总面积的 36.98%,700~1 000 m 的区域占 13.42%,1 000~

1 300 m 和大于 1 300 m 的区域分别占 13.42%,36.18%。通过表 5 中 EVI 与海拔之间的变化关系不难发现,随着海拔的升高,EVI 呈中度改善和显著改善的区域面积均减少,呈基本不变的区域面积明显增加,而呈中度退化和严重退化的区域面积变化不大;在同一海拔变化范围内,EVI 呈改善的区域面积明显大于呈退化的区域面积。

表 4 研究区 2007—2016 年月 EVI 与月平均气温、月累积降雨量的偏相关系数

相关系数	时间段	研究区	岩溶区	非岩溶区
月平均气温	当月	0.753 **	0.767 **	0.733 **
	前 1 个月	0.800 **	0.773 **	0.813 **
	前 2 个月	0.391 **	0.351 **	0.425 **
	前 3 个月	-0.008	-0.036	0.017
月累积降雨量	当月	0.169	0.174	0.159
	前 1 个月	0.450 **	0.427 **	0.458 **
	前 2 个月	0.343 **	0.330 **	0.352 **
	前 3 个月	0.273 **	0.267 **	0.276 **

注: \*\* 表示在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的。

研究区 EVI 均值与海拔的变化关系显示(图 7),EVI 随着海拔上升呈先增大后减小的趋势,具体表现为:0~600 m,EVI 随着海拔的升高而迅速增大;600~2 200 m,EVI 随着海拔的上升而缓慢减小,但仍然高于低海拔(<200 m)地区的 EVI。岩溶区、非岩溶区与全区的 EVI 随海拔高度变化而变化的趋势基本一致。

表 5 不同海拔高度下 EVI 变化程度所占面积比例

EVI 变化 程度	面积比例/%			
	<700 m	700~1 000 m	1 000~1 300 m	>1 300 m
严重退化	0.39	0.11	0.06	0.18
中度退化	1.34	0.87	1.31	1.77
基本不变	44.87	50.91	56.57	57.47
中度改善	41.97	37.75	32.27	31.30
显著改善	11.43	10.36	9.79	9.28

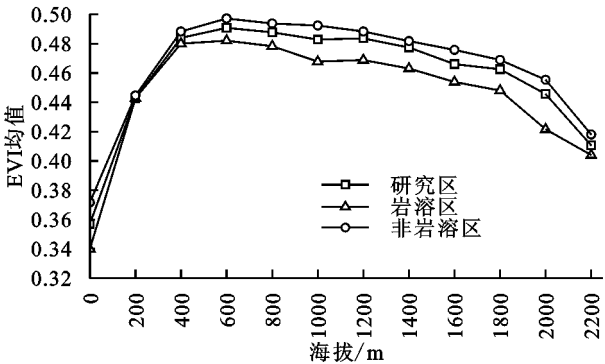


图 7 不同海拔高度下 EVI 均值变化特征

4 讨论

研究区植被时空变化特征受到自然因素与人为

因素的共同影响<sup>[35]</sup>。在时间上,一方面,研究区月 EVI 呈周期性变化(图 2A),在每年 1—2 月份最低,7—8 月份最高(图 2B),明显受到季节性气候等自然因素的控制;除 2012 年 1 月 EVI 为 10 a 内最低值外,相同月份的 EVI 总体上呈逐年增加的趋势(图 2A),这可能与广西地区实施绿化造林等植被保护措施,导致植被覆盖增加有关。另一方面,研究区 EVI 年际变化总体呈上升趋势,但存在明显的波动(图 3),岩溶区和非岩溶区 EVI 变化趋势、变化速率与研究区基本一致,这与王永锋等<sup>[37]</sup>和杨绍镠等<sup>[38]</sup>的研究结果一致。2008 年,国家启动实施岩溶地区石漠化综合治理试点工程,其主要目标是恢复植被,改善生态环境。10 a 来,广西地区通过封山育林、人工造林、退耕还林、公益林管护、补植补种和发展沼气能源等举措取得了显著成效。然而,在此期间,广西曾遭遇多次重大自然灾害,造成植被受到不同程度的破坏,从而导致年际 EVI 呈波动变化。2008 年初,我国南方发生大范围的低温、雨雪、冰冻等自然灾害,其中广西成为受灾最为严重的地区之一,植被与农作物严重受损,因此 EVI 处于明显较低水平。伴随岩溶地区石漠化综合治理工程的启动实施,2009 年研究区植被 EVI 缓慢增加。然而,2010 年我国西南五省市(云南、贵州、广西、四川及重庆)地区发生百年一遇的特大旱灾,气温高、降水少、水资源极其缺乏,导致植被及农作物严重受损。2011 年我国西南地区又遭遇持续性夏秋连旱灾害。因此,研究区 2010—2011 年植被 EVI 持续降低。2011 年末,我国加大对西南岩溶地区石漠化治理的力度,并扩大石漠化治理的地区范围,据 2012 年全国第二次石漠化监测显示,西南岩溶地区生态状况改善的面积为 408 万  $\text{hm}^2$ ,其中广西石漠化减少面积最多,为 45.3 万  $\text{hm}^2$ 。同时广西地区又全力推进“绿满八桂”造林绿化工程建设,据国家林业局统计,截至到 2012 年底,广西区完成城镇绿化 2006 万  $\text{m}^2$ ,山上造林 26.83 万  $\text{hm}^2$ ,义务植树 9 766.2 万株等,全区森林覆盖率达 58%。因此,在短暂的一年内研究区植被 EVI 迅速上升。2012—2016 年植被 EVI 基本上呈缓慢上升的趋势,可能原因有两点:一是导致植被破坏的重大自然灾害基本没有发生;二是广西区各级政府和部门继续推进区内岩溶地区石漠化治理工程(2006—2015 年)及“绿满八桂”工程(2011—2016 年)等生态保护工程,并取得了显著成效。

在空间上,近 10 a 研究区植被覆盖具有明显的空间差异。大部分植被 EVI 介于 0.4~0.6(表 1 和图 4),以基本不变和中度改善为主(表 2 和图 5),这些区域主要分布于相对高海拔或人为活动破坏小的地区,这是由于高海拔地区适合封山育林、人工造林、退耕还林等石漠化治理措施的实施,而相对偏僻的低

海拔地区,如峰丛洼(谷)地,以农作物种植为主,在一定程度上增加了植被覆盖度;岩溶区呈中度改善和显著改善的区域占比明显高于非岩溶区(表 2 和图 5),这与近 10 a 来岩溶地区实施石漠化治理工程(一期、二期等)等工程有关。少部分植被 EVI 小于 0.4(表 1 和图 4),呈退化或严重退化(表 2 和图 5),主要分布于水系或城市中心地带等低海拔地区,受到自然条件的约束和城镇化发展的明显影响。

另外,气候因子(气温和降雨)是影响植被覆盖变化的重要因素之一,研究区植被 EVI 与月平均气温和月累积降雨量均具有显著的正相关关系,但其对气温和降雨的响应存在一定的滞后效应,滞后时间均约为 1 个月(表 4),这与前人的研究结论稍有不同。杨绍镠等<sup>[38]</sup>和王永锋等<sup>[37]</sup>认为广西地区植被 NDVI 对气温的最大响应滞后时间约为 1~2 个月,而对降水变化的最大响应滞后时间约 2~3 个月。造成结论不同的原因可能是前人是运用 NVDI 变化和气候因子变化的趋势进行叠加分析,而本文是通过月 EVI 与月平均气温、月累积降雨量的偏相关系数来确定响应时间。

## 5 结论

(1) 2007—2016 年广西西江流域月 EVI 呈周期性变化,每年 7—8 月最高,1—2 月最低,明显受季节性气候等自然因素控制。EVI 年际变化总体呈波动上升的趋势,这与广西发生重大自然灾害及实施一系列植被保护措施有关。岩溶区与非岩溶区 EVI 变化趋势与全区基本一致。

(2) 近 10 a,研究区 EVI 具有明显的空间分布差异,大部分地区 EVI 介于 0.4~0.6,非岩溶区 EVI 高于岩溶区,变化程度以基本不变和中度改善为主,空间波动性较小;少部分地区 EVI 小于 0.4 或大于 0.6,变化程度分别是退化—严重退化或显著改善,空间波动性较大。EVI 高值( $>0.4$ )主要分布于高海拔或人为破坏小的地区,与封山育林、人工造林等治理措施有关;EVI 低值( $\leq 0.4$ )主要分布于水系发达或城市中心地带等低海拔地区,受自然条件和城镇化发展的约束。

(3) 研究区 EVI 与气温和降雨呈显著正相关,且与气温的相关性明显高于降雨,相关系数值均在前 1 个月达到最大。就前 1 个月的相关系数值来看,非岩溶区 EVI 与气温、降雨的相关性略高于岩溶区。

### 参考文献:

- [1] Bar-On Y M, Phillips R, Milo R. The biomass distribution on Earth[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018,1-6.

- [2] Menzel A, Fabian P. Growing season extended in Europe[J]. *Nature*, 1999, 397(6721): 659.
- [3] Schwartz M D. Green-wave phenology [J]. *Nature*, 1998, 394(6696): 839-840.
- [4] 郭锐. 植被指数及其研究进展[J]. *干旱气象*, 2003, 21(4): 71-75.
- [5] 信忠保, 许炯心, 郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. *中国科学*, 2007, 37(11): 1504-1514.
- [6] 徐茜, 任志远, 杨忍. 黄土高原地区归一化植被指数时空动态变化及其与气候因子的关系[J]. *陕西师范大学学报: 自然科学版*, 2012, 40(1): 82-87.
- [7] 冯莉莉, 何贞铭, 刘学锋, 等. 基于 MODIS-NDVI 数据的吉林省植被覆盖度及其时空动态变化[J]. *中国科学院大学学报*, 2014, 31(4): 492-499.
- [8] 李开丽, 蒋建军, 茅荣正, 等. 植被叶面积指数遥感监测模型[J]. *生态学报*, 2005, 25(6): 1491-1496.
- [9] 王正兴, 刘闯, Huete A. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI[J]. *生态学报*, 2003, 23(5): 979-987.
- [10] 赵丽苹. 基于 MODIS 数据的喀斯特地区石漠化时空演变特征研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
- [11] Sjöström M, Ardö J, Arneth A, et al. Exploring the potential of MODIS EVI for modeling gross primary production across African ecosystems [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(4): 1081-1089.
- [12] Pan Y, Li L, Zhang J, et al. Winter wheat area estimation from MODIS-EVI time series data using the Crop Proportion Phenology Index[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 119(3): 232-242.
- [13] 叶琦, 赵萍, 孙静. 基于 MODIS/NDVI 与 EVI 的皖江流域植被覆盖比较分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(3): 361-368.
- [14] 郭鹏. 基于 MODIS 的青藏高原地表参数时空变化研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2010.
- [15] 李红军, 郑力, 雷玉平, 等. 基于 EOS/MODIS 数据的 NDVI 与 EVI 比较研究[J]. *地理科学进展*, 2007, 26(1): 26-32.
- [16] 林辉, 熊育久, 万玲凤, 等. 湖南省 MODIS 遥感植被指数的时空变化[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(3): 581-585.
- [17] 董丹, 倪健. 利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力[J]. *生态学报*, 2011, 31(7): 1855-1866.
- [18] 杨绍镠, 谭裕模, 胡钧铭. 基于 NDVI 的广西近十年植被变化特征分析[J]. *南方农业学报*, 2012, 43(11): 1783-1788.
- [19] 韦振锋, 任志远, 张翀. 近 12 年广西植被覆盖与降水和气温的时空响应特征[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(5): 33-44.
- [20] 陈燕丽, 黄敏堂, 莫伟华, 等. 基于 MODIS NDVI 的广西西南典型生态区植被变化对比监测[J]. *气象科学*, 2015, 35(1): 93-99.
- [21] 孙光, 罗遵兰, 徐靖, 等. 用指数平衡法对广西西江流域水资源承载能力的分析[J]. *中国农业大学学报*, 2013, 18(5): 57-61.
- [22] Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7(11): 1417-1434.
- [23] 刘宪锋, 朱秀芳, 潘耀忠, 等. 1982—2012 年中国植被覆盖时空变化特征[J]. *生态学报*, 2015, 35(16): 5331-5342.
- [24] Stow D, Daeschner S, Hope A, et al. Variability of the Seasonally Integrated Normalized Difference Vegetation Index Across the North Slope of Alaska in the 1990s[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(5): 7.
- [25] 戴声佩, 张勃, 王海军, 等. 中国西北地区植被覆盖变化驱动因子分析[J]. *干旱区地理*, 2010, 33(4): 636-643.
- [26] 李小亚, 张勃, 靳自宝. 基于 MODIS-NDVI 的甘肃河东地区植被覆盖度动态监测[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(1): 112-115.
- [27] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [28] 靖娟利, 王永锋. 1998—2012 年中国西南岩溶区植被覆盖时空变化分析[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(4): 163-167.
- [29] 邱海军, 曹明明. 基于 SPOT VEGETATION 数据的中国植被覆盖时空变化分析[J]. *资源科学*, 2011, 33(2): 335-340.
- [30] 周成虎, 万庆, 黄诗峰, 等. 基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J]. *地理学报*, 2000, 55(1): 15-24.
- [31] 周峰, 许有鹏, 吕慧华. 基于 MODIS-EVI 数据的长江三角洲地区植被变化的特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(11): 1363-1369.
- [32] 鲍雅静, 宋国宝, 李政海, 等. 纵向岭谷区植被覆盖的空间分异及其对气候的时滞效应[J]. *科学通报*, 2007, 52(S2): 37-42.
- [33] Goward S N, Prince S D. Transient effects of climate on vegetation dynamics: satellite observations [J]. *Journal of Biogeography*, 1995, 22(2/3): 549-564.
- [34] 何奕萱, 易桂花, 张廷斌, 李景吉, 别小娟, 闫利, 郑飞鸽. 红河流域“通道—阻隔”作用下 2000—2014 年植被 EVI 变化趋势与驱动力[J]. *生态学报*, 2018, 38(6): 2056-2064.
- [35] 宋富强, 邢开雄, 刘阳, 等. 基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价[J]. *生态学报*, 2011, 31(2): 354-363.
- [36] 李先琨, 苏宗明, 吕仕洪, 等. 广西岩溶植被自然分布规律及对岩溶生态恢复重建的意义[J]. *山地学报*, 2003, 21(2): 129-139.
- [37] 王永锋, 靖娟利. 广西近 15 a 植被覆盖变化及其对气候因子的响应[J]. *农业现代化研究*, 2017, 38(6): 1086-1096.
- [38] 杨绍镠, 廖雪萍, 谭裕模, 等. 广西近十年植被 NDVI 变化及其对降水的响应特征分析[J]. *西南农业学报*, 2013, 26(2): 766-771.