

# 西南岩溶区 NDVI 时空变化及其与气候因子的关系

靖娟利<sup>1,2</sup>, 王永锋<sup>1,2</sup>

(1. 桂林理工大学 测绘地理信息学院, 广西 桂林 541004; 2. 广西空间信息与测绘重点实验室, 广西 桂林 541004)

**摘要:**利用 1998—2012 年 SPOT NDVI 数据和气象站点的温度和降水数据,采用趋势分析和相关分析法,研究了我国西南岩溶区 NDVI 时空变化特征,并分析了 NDVI 与气候因子的关系。结果表明:(1) 近 15 年来,西南岩溶区 NDVI 变化整体呈显著增加趋势,增速为 0.052/10 a,9 月份 NDVI 达到最大值,2 月份降到最小值;NDVI 增加的区域占 97.13%,其中显著增加( $p < 0.05$ )的区域占 17.60%,减少区域占 2.87%,显著减少( $p < 0.05$ )占 0.35%。(2) 从年际变化来看,NDVI 与温度和降水量的相关系数各异,其中 42.75%的地区 NDVI 与温度呈正相关,57.25%区域呈负相关;20.15%的地区 NDVI 与降水量呈正相关,而 79.85%区域呈负相关,说明温度对研究区植被生长的影响大于降水量。(3) 从年内变化来看,NDVI 与当月温度和降水量的相关系数高于年际,91.62%的 NDVI 与当月温度呈正相关性,其中显著正相关( $p < 0.05$ )约占 75.94%;94.29%的 NDVI 与当月降水量呈正相关,其中显著正相关( $p < 0.05$ )约占 51.05%;表明水热因子的季节变化对植被生长影响更大。NDVI 受前 1 个月温度和前 2 个月降水量的影响最显著,表现出明显的滞后效应。

**关键词:**西南岩溶区; NDVI; 气候因子; 相关分析

中图分类号: TP79; P463.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)05-0169-06

## Spatial and Temporal Variation of NDVI and Its Relations with Climate Factors in the Southwest Karst Area

JING Juanli<sup>1,2</sup>, WANG Yongfeng<sup>1,2</sup>

(1. College of Geomatics and Geoinformation, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Spatial Information and Geomatics, Guilin, Guangxi 541004, China)

**Abstract:** The spatial and temporal variation of NDVI and its relationship with climate factors in the southwest karst area of China during the period from 1998 to 2012 have been examined based on SPOT NDVI data and temperature/precipitation data from meteorological stations by using linear regression and correlation analysis. The results showed that: (1) during the past 15 years, NDVI overall increased significantly and with the growth rate of 0.052 per decade, maximum NDVI appeared in September and minimum in February, areas with NDVI increase accounted for 97.13% and about 17.60% of area increased significantly ( $p < 0.05$ ), the degraded areas accounted for 2.87% and with 0.35% passing  $p < 0.05$  significance test; (2) at the annual scale, correlations between NDVI and temperature/precipitation had the distinct spatial difference in the southwest karst area of China, the correlation of NDVI with temperature was positive in 42.75% of the total area, and negative in the rest area, while its correlation with precipitation was positive in 20.15% of the study area, and negative for the rest area, above analysis indicated that temperature affected growth more significantly than precipitation; (3) the correlations between NDVI and temperature/precipitation at the monthly scale were higher than the annual scale, the area with positive correlation between NDVI and temperature accounted for 91.62% of the total area, and area with significant positive correlation ( $p < 0.05$ ) accounted for 75.94% of the total area; 94.29% of NDVI was positively related with month precipitation, and significantly positive correlation ( $p < 0.05$ ) accounted for about 51.05%. The statistics reflected that the vegetation growth was mainly affected by the seasonal variation of hydro-thermal factors. NDVI was significantly affected by the preceding one month's temperature and the preceding two months' precipitation, and there was obvious lag-effect.

**Keywords:** southwest karst area; NDVI; climate factor; correlation analysis

植被是生态系统中联结土壤、大气和水分等自然要素的纽带<sup>[1]</sup>,在全球变化研究中充当“指示器”作用<sup>[2]</sup>。植被变化是地球内部(土壤母质、类型等)和外部(气温、降水、人类活动等)共同作用的结果<sup>[3]</sup>,植被动态变化监测及其与气候因子关系已成为全球变化研究的一个重要领域<sup>[4]</sup>。随着遥感对地观测技术的发展,遥感数据由于其时间序列和空间序列上都具有相对连续性,被证明是研究气候变化与植被关系的有效数据源之一。归一化植被指数(Normal Difference Vegetation Index, NDVI)能很好地反映植被覆盖、生物量及生态系统参数的变化<sup>[5]</sup>,已被国内外众多学者用于研究不同尺度的植被覆盖时空变化及其与气候因子的关系<sup>[6-12]</sup>,我国岩溶区也受到学者的关注<sup>[13-14]</sup>。

中国西南岩溶区处于东亚岩溶区域中心,是世界上最大的喀斯特连续带,该区地质环境脆弱性大、敏感度高,石漠化问题突出、自然灾害频繁发生,严重危及长江及珠江中下游地区生态安全。为了控制石漠化的扩展,1998年以来国家及地方政府实施退耕还林、还草政策。为评价西南岩溶区生态恢复效果,本文运用1998—2012年连续15 a的SPOT NDVI数据,研究NDVI的时空变化特征,分析NDVI与气候因子的关系。

## 1 研究区概况

中国西南岩溶区集中分布在以贵州为中心的滇黔桂湘鄂川渝地区,地理位置为东经 $97^{\circ}21'$ — $117^{\circ}20'$ ,北纬 $20^{\circ}12'$ — $34^{\circ}19'$ ,面积约54万 $\text{km}^2$ ,占全国岩溶面积的15.97%<sup>[15]</sup>。该地区居住着48个少数民族,总人口超过1亿,是我国南方的主要贫困地区<sup>[16]</sup>。地处中国地貌单元的第二级台阶区,地势西高东低;地貌类型复杂,发育多种岩溶地貌。属于热带、亚热带季风气候区,降雨量季节和区域差异明显。多年平均降水量520~1 960 mm,多年平均气温 $4.3\sim 23.4^{\circ}\text{C}$ ,大致都是由东南向西北递减。地带性土壤主要有红壤和黄壤。研究区内碳酸盐岩大面积出露,各种石灰土分布广泛。地带性植被为亚热带、热带常绿阔叶林。区内生物、矿产、水能、旅游资源丰富,但生态环境脆弱、人地矛盾尖锐。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源与预处理

遥感数据采用1998年4月—2012年12月的SPOT VGT NDVI数据,来源于<http://free.vgt.vito.be/>,空间分辨率为1 km,时间分辨率为逐旬。该数据已被广泛用于植被和生态环境的相关研究,并取得了很好的效果。基于ArcGIS 10.2软件平台,利

用公式 $\text{NDVI}=\text{DN}\times 0.004\sim 0.1$ 将原栅格DN数据进行NDVI真值恢复<sup>[17]</sup>。同时,采用最大值合成法<sup>[18-19]</sup>(Maximum Value Composites, MVC)对年中各旬数据取最大值,得到研究区各月NDVI值和年NDVI序列数据,进一步消除云、大气、太阳高度角等因素的部分干扰。以西南岩溶区范围对NDVI数据进行裁剪,获取研究区1998年4月—2012年12月共177个月1 km分辨率的NDVI数据集。

气象数据为1998—2012年西南岩溶区及周边地区内的164个站点的月平均气温和降水资料,其中研究区内的站点数为78个,数据来源于中国气象科学数据共享服务网<http://cdc.cma.gov.cn>。对收集到月平均气温和降水资料,在Excel软件中统计为年平均气温和年降水量,在ArcGIS 10.2中采用普通克里格法进行空间插值,生成与NDVI数据具有相同空间参考及尺度的栅格气象数据。

### 2.2 研究方法

采用趋势分析法<sup>[20]</sup>模拟1998—2012年研究区NDVI的变化趋势,并对变化趋势的显著性进行 $F$ 检验。根据NDVI变化趋势的斜率slope值和 $F$ 检验结果将NDVI变化趋势分为以下4种变化等级:显著减少( $\text{slope}<0, p<0.05$ )、不显著减少( $\text{slope}<0, p>0.05$ )、不显著增加( $\text{slope}>0, p>0.05$ )、显著增加( $\text{slope}>0, p<0.05$ )。

基于相关分析法研究NDVI变化与气候因子的相关性。分别基于年尺度和月尺度计算NDVI与温度和降水量的相关系数,并研究NDVI对气候因子的滞后效应,分别计算NDVI与前1个月、前2个月、前3个月气温、降水量的相关系数。

## 3 结果与分析

### 3.1 NDVI时间变化特征

将年NDVI数据取像元平均值,并制作NDVI年际变化曲线图(图1A),可以反映当年植被的总体状态。从图1A可见,1998—2012年西南岩溶区NDVI总体呈增加趋势,增加速率为0.052/10 a, NDVI与年份的相关系数0.93,通过 $p<0.01$ 显著性检验,表明研究区植被覆盖逐步得到改善,且变好趋势显著。研究时段内,研究区NDVI在0.698~0.771波动变化,具有明显的阶段性。1998—2002年NDVI从0.698波动增长到0.711;2002—2004年,NDVI从0.711快速增加到0.752,增幅达0.041,占总体增加幅度的56.16%;2005—2012年,NDVI从0.746波动增加到0.771。

对月NDVI均值进行统计分析发现(图1B),月

NDVI 均值季节变化比较明显,其值在 0.362~0.572 波动,最小值出现在 2 月,然后逐渐升高,从 3 月份开

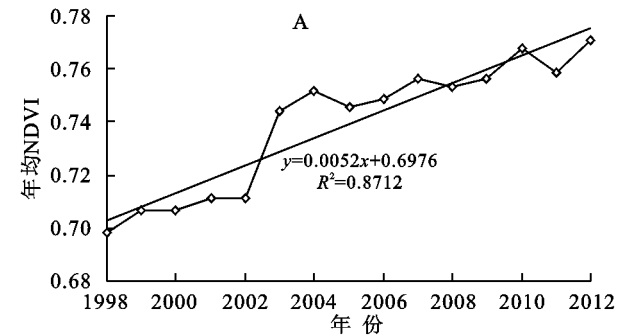
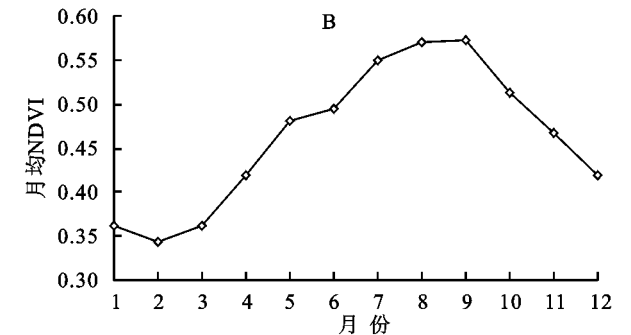


图1 西南岩溶区 NDVI 年际变化趋势、月变化趋势

始迅速上升,到 9 月份达到最大值,此后迅速回落,直至最小值。



3.2 NDVI 空间演变特征

基于西南岩溶区 1998—2012 年的 NDVI 数据,采用趋势分析法研究了 NDVI 时空演变特征,并结合  $F$  显著性检验结果,将 NDVI 变化分为 4 个级别(表 1)。结合表 1 和图 2 可以看出,西南岩溶区近 15 年 NDVI 整体得到改善,局部地区恶化,空间差异明显。NDVI 增加( $\text{slope}>0$ )的区域占总面积的 97.13%,其中不显著增加( $p>0.05$ )占 79.53%,显著增加( $p<0.05$ )占 17.60%,主要分布在四川南部、云南西部、湖南西北部和贵州、广西、重庆、广东大部分地区。NDVI 改善区域中坡度 $>25^\circ$ 的区域占 21.31%, $15^\circ\sim25^\circ$ 的区域占 26.87%, $8^\circ\sim15^\circ$ 的区域占 24.67%, $<8^\circ$ 的区域占 27.15%。这间接反映了国家及地方退耕还林(草)工程取得的成效。NDVI 减少( $\text{slope}<0$ )的区域占总面积的 2.87%,其中不显著减少( $p>0.05$ )占 2.52%,显著减少( $p<0.05$ )占 0.35%,主要分布在四川西部和北部、贵州中部、云南东部、广西和湖南等市(县)辖区,这与近年的城市化建设有一定关系。上述分析结果表明,近 15 年研究区植被覆盖发展良好,改善区域大于退化区域,生态环境得到显著改善,石漠化扩张趋势得到有效控制。

表 1 西南岩溶区 NDVI 变化趋势

NDVI 变化趋势	变化程度	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
$\text{slope}<0, p<0.05$	显著减少	1761.0	0.35
$\text{slope}<0, p>0.05$	不显著减少	12619.0	2.52
$\text{slope}>0, p>0.05$	不显著增加	398909.0	79.53
$\text{slope}>0, p<0.05$	显著增加	88282.0	17.60

为了进一步分析西南岩溶区近 15 年 NDVI 的动态变化特征,将 2012 年 NDVI 值减去 1998 年 NDVI 值,除以 1998 年 NDVI 值,得到 1998—2012 年研究区内每个像元 NDVI 值的动态变化率。统计结果表明,15 年间 NDVI 变化率均值为 0.113/a,占总面积 94.36%的区域 NDVI 的变化率为正,主要分布在贵州、广西、云南、湖北等地;仅有 5.64%区域 NDVI 变化率为负,在研究区各地均有零星分布。NDVI 动态变化率空间分布基本与年际变化趋势一致,进一步说明 1998—2012 年西南岩溶区 NDVI 整体呈增加趋势。

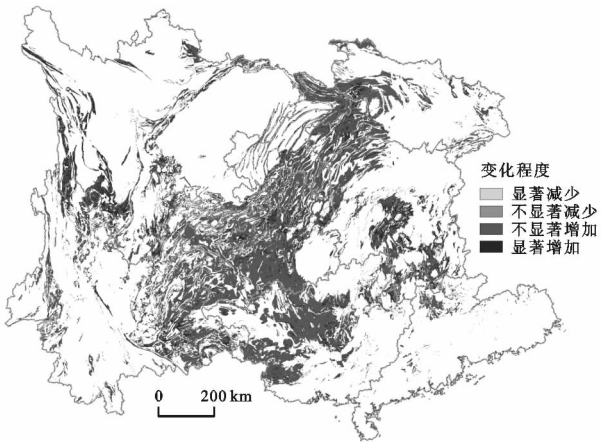


图2 西南岩溶区 NDVI 变化空间分布格局

3.3 NDVI 与温度、降水量的年际关系

1998—2012 年,西南岩溶区年均温度呈不显著降低趋势( $R=0.19, n=15, p>0.05$ ),平均下降速率约为  $0.143^\circ\text{C}/10\text{ a}$ (图 3A);15 年间 NDVI 与温度在年际尺度上的正相关性和负相关性并存(图 4A)。正相关占整个研究区的 42.75%,其中主要表现为不显著正相关( $p>0.05$ ),约占 39.73%,达到显著正相关( $p<0.05$ )的面积约占 2.23%,达到极显著正相关( $p<0.01$ )的面积仅占 0.79%;主要分布在云南大部分地区、四川南部、重庆东部、广西东部和西部、湖北西部、湖南中部地区。这些地区主要分布高原草甸、灌丛、农业植被,温度的升高可以促进植被的光合作用,延长植被的生长季。NDVI 与温度呈负相关的地区占 57.25%,主要表现为不显著负相关( $p>0.05$ )约占 54.02%;显著负相关( $p<0.05$ )约占 2.69%,极显著负相关( $p<0.01$ )约占 2.69%;主要分布在贵州大部分地区、广西北部、广西、四川中部和北部、重庆东南部、湖北中部和西南部、湖南西南部。这是因为碳酸盐岩分布区地表土壤瘠薄、基岩大面积裸露,加之地表地下具有双层结构,渗漏严重,保水能力差,气温的升高会增大该区的地表蒸发量,因而对植被的生长有抑制作用。

1998—2012 年,西南岩溶区年降水量呈显著减少趋势( $R=0.55, n=15, p<0.05$ ),平均减少速率约

为 13.155 mm/a(图 3B), NDVI 与年降水量总体呈负相关(图 4B), 约占 79.85%, 其中不显著负相关( $p>0.05$ )占 70.83%, 显著负相关( $p<0.05$ )占 6.62%, 极显著负相关( $p<0.01$ )占 2.40%。NDVI 与年降水量呈负相关的区域在研究区广泛分布, 主要因为这些地区处于热带、亚热带, 降雨丰沛, 雨天的增加会减弱植被的光合作用, 抑制植被生长。NDVI 与年降水量呈正相关的区域占 20.15%, 其中不显著正

相关( $p>0.05$ )的区域占 19.69%, 达到显著正相关( $p<0.05$ )的面积占 0.37%, 达到极显著正相关( $p<0.01$ )的面积仅占 0.09%。在研究区各地均有零星分布, 这些地区主要分布高寒草地、灌丛, 农业植被、降水量的增加可减缓水分对植被生长的限制。

从整个研究区域来看, 温度和降水量的微弱变化并没有影响植被覆盖的减少, 说明短期内气候因子的变化对植被覆盖变化影响不显著。

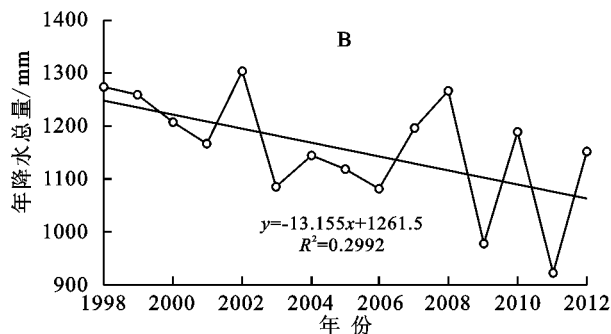
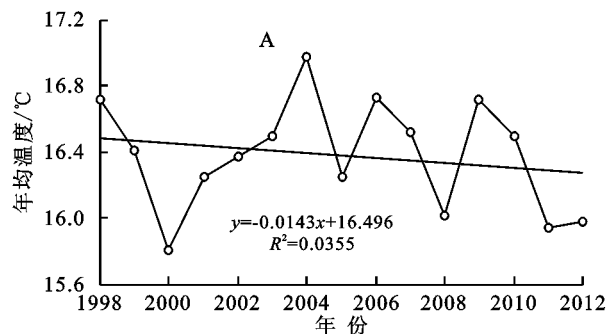


图3 西南岩溶区年均温度、年降水量变化趋势

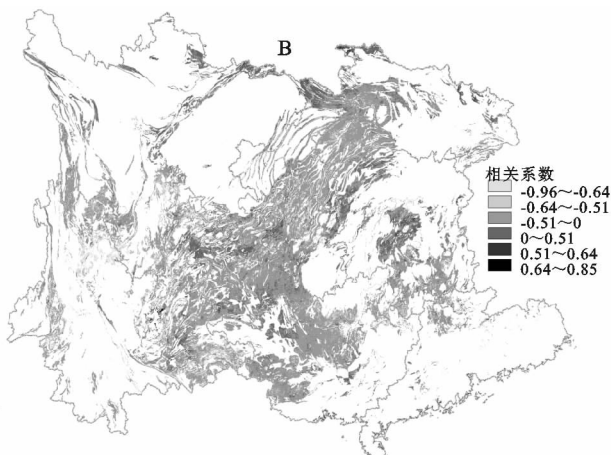
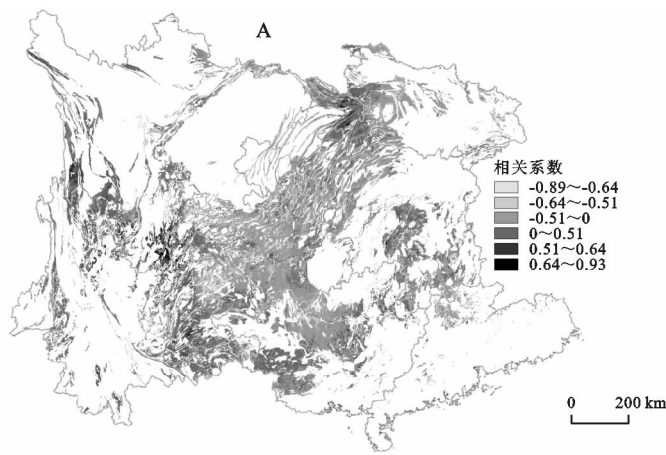


图4 西南岩溶区 NDVI 与温度(A)、降水量(B)相关系数空间分布

### 3.4 NDVI 与温度、降水量的年内关系

分析 NDVI 对温度和降水量的年内时间响应特征, 有利于进一步认识植被与气候因子之间的关系。根据 1998—2012 年西南岩溶区 NDVI 和温度、降水量不同月份的多年平均值, 计算 NDVI 与前 0~3 个月温度、降水量的相关系数(图 5—6)。

NDVI 与当月气温的相关系数为 0.67( $p<0.05$ ), 高于年水平(图 5A)。统计分析表明, 91.62% 的 NDVI 与当月温度呈正相关性, 其中通过  $p<0.05$  和  $p<0.01$  检验的面积比重分别为 9.89% 和 66.05%, 这说明植被生长受年内月温度变化的影响较显著。NDVI 与前 0~3 个月温度的相关系数均值分别为 0.67, 0.81, 0.72, 0.43, 与前 1 个月温度的相关系数最大, 具有明显的滞后效应。进一步统计发现, NDVI 与前 1~3 个月温度呈正相关的面积分别为 96.90%, 99.17% 和 98.85%, 其中通过  $p<0.01$  检验的面积比重分别为 82.23%, 55.15% 和 19.64%。

因此, 植被生长受前 1 个月热量条件影响最明显。

NDVI 与当月降水量的相关系数为 0.55( $p<0.05$ ), 高于年水平(图 6A), 94.29% 的 NDVI 与当月降水量呈正相关, 其中通过  $p<0.05$  和  $p<0.01$  检验的面积分别为 13.46% 和 37.59%。NDVI 与前 1~3 个月降水量的相关系数均值分别为 0.75, 0.75, 0.56, 表现出明显的滞后效应。进一步统计发现, NDVI 与前 1~3 个月降水量呈正相关的面积分别为 97.63%, 99.37% 和 99.61%, 其中通过  $p<0.01$  检验的面积分别为 72.41%, 70.16% 和 27.17%。整体而言, 植被生长受前 2 个月降水量的影响较大。

比较 NDVI 与温度的相关系数和与同期降水量的相关系数发现, 在前 0~1 个月, NDVI 与温度的相关系数大于与同期降水量的相关系数, 而前 2~3 个月, 情况正好相反, 这说明对整个西南岩溶区而言, NDVI 对温度变化的响应程度较为显著, 但时间较短, 而对降水量变化的响应相对不显著, 但持续的时间较长。

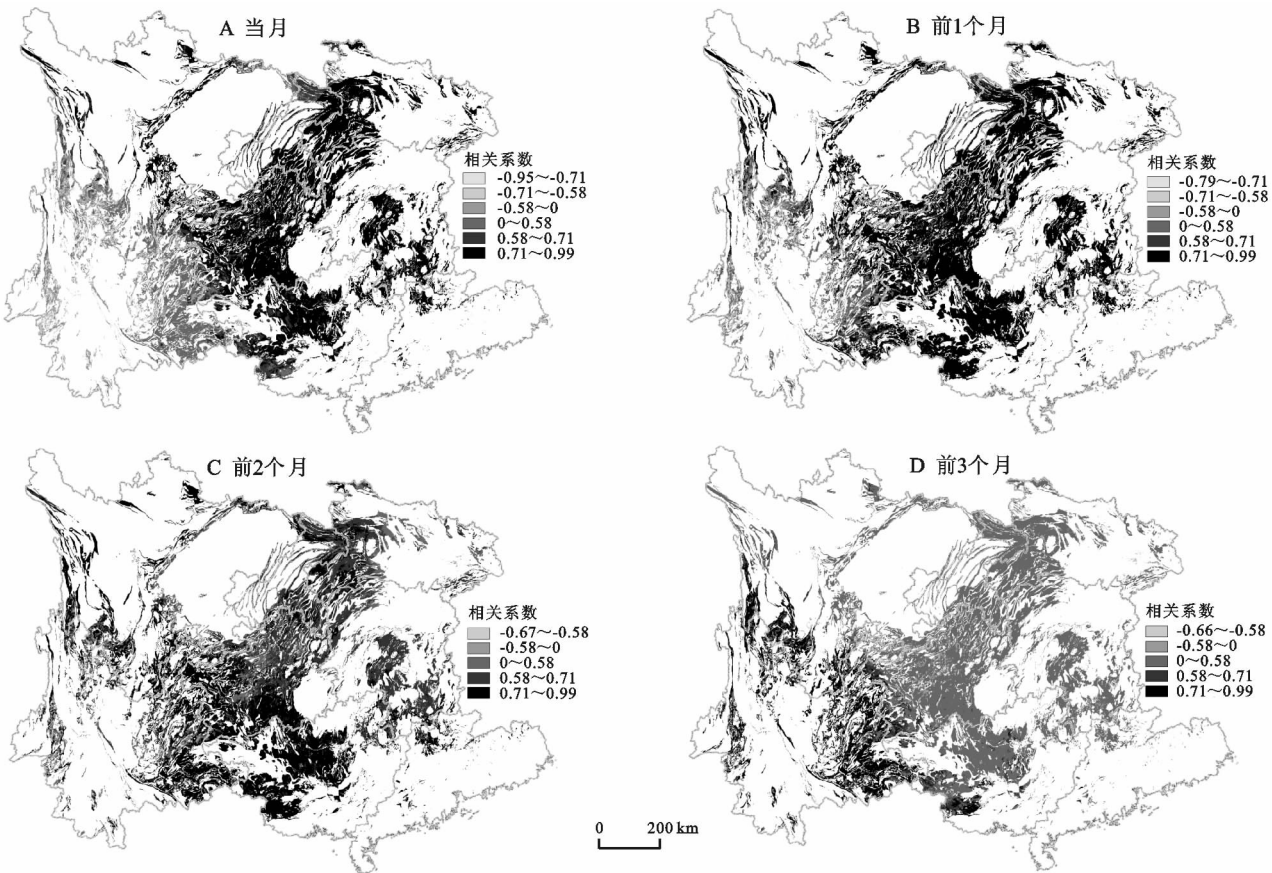


图 5 西南岩溶区月 NDVI 与当月、前 1 个月、前 2 个月和前 3 个月温度相关系数空间分布

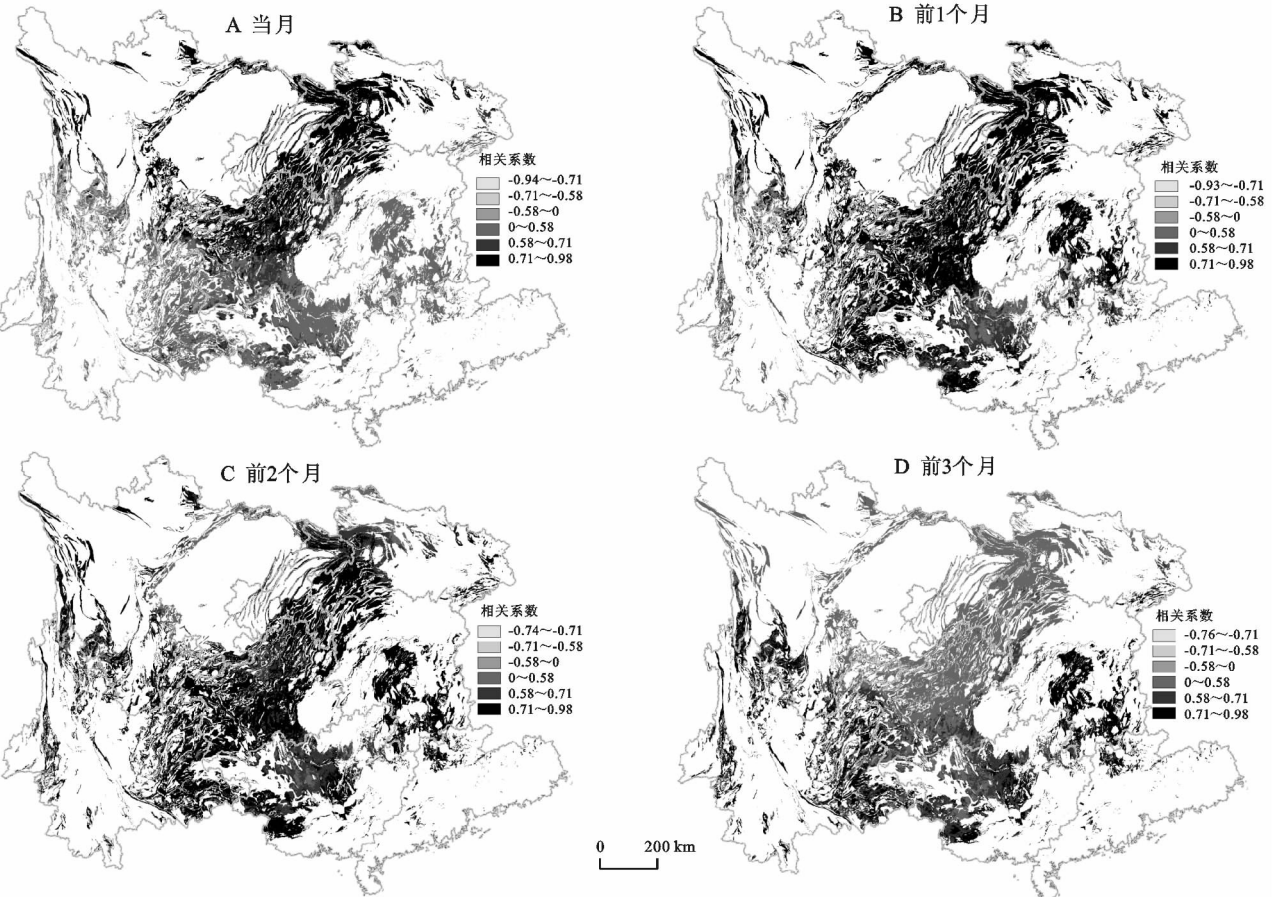


图 6 西南岩溶区月 NDVI 与当月、前 1 个月、前 2 个月和前 3 个月降水量相关系数空间分布

## 4 结论

1998—2012年西南岩溶区NDVI总体呈增加趋势( $R^2=0.8712$ ),增速为 $0.052/10\text{ a}$ ,通过 $p<0.01$ 显著性检验。研究时段内,植被覆盖恢复显著,占总面积97.13%的地区NDVI得到改善,集中分布在贵州、广西和云南等地区;退化区域占总面积的2.87%,主要分布在贵州、云南、四川、广西和湖南等市(县)辖区。NDVI动态变化率空间分布与年际变化趋势基本一致。

从年际尺度来看,NDVI对温度和降水因子响应具有明显的空间异质性,温度对植被生长的影响较降水量大。从月季尺度看,NDVI与温度、降水量月相关性高于年际水平,表明植被生长受水热因子的季节变化影响更大。NDVI受温度的影响较降雨量大,NDVI受前1个月热量条件的影响最显著,受前2个月的降水量的影响最大,并表现出明显的滞后效应。

植被覆盖变化是自然与人类活动综合作用的结果。近15年来西南岩溶区温度和降水量总体呈下降趋势,而植被覆盖呈显著增加趋势,说明在短时间内气候因素对植被覆盖的影响不大,而人类活动可能是影响植被覆盖变化的主要原因。这进一步说明近年来国家及地方政府实施的退耕还林还草、封山育林等一系列生态恢复工程取得了显著成效。在本研究中,只分析了NDVI变化对气候变化的响应,没有考虑人类活动、地形地貌、地质因素等对其变化的影响。因此,进一步研究NDVI与人类活动等因子耦合关系,这对深入认识西南岩溶区植被覆盖的空间格局及过程具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 孙红雨,李兵.中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系[J].遥感学报,1998,2(3):204-210.
- [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.
- [3] 严恩萍,林辉,党永峰,等.2000—2012年京津风沙源治理区植被覆盖时空演变特征[J].生态学报,2014,34(17):5007-5020.
- [4] 马明国,王建,王雪梅.基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J].遥感学报,2006,10(3):421-431.
- [5] 赵志平,邵全琴,黄麟.2008年南方特大冰雪冻害对森林损毁的NDVI响应分析:以江西省中部山区林地为例[J].地球信息科学学报,2012,11(4):535-540.
- [6] Myneni R B, Tucker C J, Asrar G, et al. Interannual variations in satellite-sensed vegetation index data from 1981 to 1991[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1998,103(D6):6145-6160.
- [7] 方精云,朴世龙,贺金生,等.近20年来中国植被活动在增强[J].中国科学:C辑,2003,33(6):554-565.
- [8] Eklundh L. Estimating relations between AVHRR NDVI and rainfall in East Africa at 10-day and monthly time scales[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998,19(3):563-570.
- [9] 龚道溢,史培军,何学兆.北半球春季植被NDVI对温度变化响应的区域差异[J].地理学报,2002,57(5):505-514.
- [10] 李晓兵,史培军.中国典型植被类型NDVI动态变化与气湿,降水变化的敏感性分析[J].植物生态学报,2000,24(3):379-382.
- [11] 冯敏,孙艳玲,刘斌,等.华北地区植被NDVI与不同气候指标的相关分析[J].水土保持通报,2014,34(1):246-251.
- [12] 蒲蕾,任志远.陕西省不同地区NDVI变化与气候因子的关系及响应研究[J].水土保持通报,2013,33(2):265-270.
- [13] 蒙古军,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):857-866.
- [14] 张勇荣,周忠发,马士彬,等.基于NDVI的喀斯特地区植被对气候变化的响应研究:以贵州省六盘水市为例[J].水土保持通报,2014,34(4):114-117.
- [15] 李阳兵,侯建筠,谢德体.中国西南岩溶生态研究进展[J].地理科学,2002,22(3):365-370.
- [16] 张殿发,王世杰.西南喀斯特地区的开发潜力、制约因素及其战略措施[J].农村生态环境,2001,17(3):9-12.
- [17] 杜灵通,李国旗.利用SPOT数据进行干旱监测的应用研究[J].水土保持通报,2008,28(2):153-156.
- [18] Stow D A, Hope A, McGuire D, et al. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems [J]. Remote Sensing of Environment, 2004,89(3):281-308.
- [19] Hope A S, Boynton W L, Stow D A, et al. Interannual growth dynamics of vegetation in the Kuparuk River watershed, Alaska based on the Normalized Difference Vegetation Index[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003,24(17):3413-3425.
- [20] 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):1111-1117.