昆明学院学报　2018，40（6）：77～82　ISSN 1674－5639　CN 53－1211/G4
Journal of Kunming University

# 1982—2015 年云南省植被时空变化及其影响因子研究

刘　群，陈振华
（中国能源建设集团湖南省电力设计院有限公司 水环中心，湖南 长沙 410125）

**摘要**：基于长时间序列遥感数据、气象数据和社会经济数据，并应用 Pearson 相关分析和地理加权回归等方法分析了自然与人为因素对云南省植被变化影响的时空差异．结果表明：1）1982—2015 年云南省植被覆盖度呈增加趋势；在空间上，云南省西南部是植被覆盖高值聚集区，东北部是植被覆盖低值聚集区；2）云南省植被变化与气象因素在年际变化上无显著相关性，但在空间上具有较高的一致性；3）气温和降水对植被生长具有促进作用，人口增加将抑制植被生长．

**关键词**：云南省；植被指数；相关性；人为因素
**中图分类号**：Q948　**文献标识码**：A　**文章编号**：1674－5639（2018）06－0077－06
**DOI**：10.14091/j.cnki.kmxyxb.2018.06.015

## Study on Spatial and Temporal Change of Vegetation and Its Impact Factors in Yunnan Province during 1982—2015

LIU Qun，CHEN Zhenhua
（Water Environment Center，China Energy Engineering Group Hunan Electric Power Design Institute Co.，Ltd，Changsha，Hunan，China　410125）

**Abstract**：The paper analyzed spatial and temporal differences between natural and anthropic factors on vegetation change with Pearson correlation analysis and GWR models，based on the long time serial remote sensing images，meteorological data and socio-economic data．The results are as follows：1）At the scale of time，the vegetation coverage of Yunnan province has increased in 1982—2015．In terms of spatial scale，the southwest Yunnan province is a high value accumulation area of vegetation coverage，while the northeast Yunnan province is a low value accumulation area；2）There is no significant correlation between vegetation change and meteorological factors in inter-annual change in Yunnan province，but there is a high consistency in spatial distribution；3）Temperature and precipitation have an active impact on the growth of vegetation，but there will be a negative effect on vegetation when population increases.
**Key words**：Yunnan province；vegetation index；correlation；anthropic factors

自 2000 年试点以及 2002 年全面启动退耕还林工程以来，云南省生态工程区的生态环境质量持续改善，退耕农户收入明显增加．累积到 2013 年，全省生态效益总价值达 739.5 亿元，是工程投入的 6 倍．同时，在云南省开展的一系列天保工程、陡坡生态治理和石漠化综合治理等重大生态工程，使云南省石漠化面积大幅减少，抑制了石漠化范围的持续扩张．但云南省作为国家滇桂黔石漠化治理最主要的片区之一，石漠化土地面积减少程度仍低于广西和贵州，其原因不仅是由于 3 个省在生态工程投入方面存在差异，而且云南省与桂黔两省在气候条件和社会经济发展程度等方面也存在显著差异．

植被是陆地生态系统的重要组成部分，它既是重要的自然资源，又对生态环境变化具有指示作用[1]，同时也对气候条件产生积极的响应[2]．而对于植被状况的定性、定量评价通常采用植被指数[3]．此外，由于青藏高原的巨大隆起，云南省呈现出北高南低的复杂山原地貌，在气候变化的背景下，云南省植被覆盖和类型在时间和空间上均呈现出不同变化差异[4]．有研究[1]发现，云南省植被覆盖在 1982—2001 年间呈增加趋势，且植被指数在滇东北地区最低，在滇西南地区最高．冯国艳

**收稿日期**：2018－07－03
**作者简介**：刘群（1987—），男，湖南涟源人，工程师，硕士，主要从事水土保持和生态环境保护研究．

等[5]基于 MODIS 数据分析了我国西南地区植被覆盖变化，发现近 16 a 西南喀斯特地区植被变化以改善为主，其中云南省增幅最小. 因此，基于前人研究，本研究拟基于生长季归一化植被指数（Normalized Difference Vegetation Index，NDVI）进一步探讨 1982—2015 年云南省植被覆盖时空变化，并明确云南省植被时空变化对水热条件变化和人类活动强度变化有怎样的响应关系.

## 1 研究区域概况

云南位于中国西南边陲（21°8′22″N ~ 29°15′4″N，97°32′3″E ~ 106°11′38″E），东邻贵州省、广西壮族自治区，北连四川省，西北接西藏自治区，南部和老挝、越南毗邻. 全省总人口 4714 万人，是我国少数民族最多的省份，现辖 8 个地级市和 8 个自治州. 云贵高原和青藏高原结合部是联结大西南和东南亚国家的重要枢纽. 该省地势西北高，东南低，自北向南呈阶梯状逐级下降. 地形为起伏和缓的低山和浑圆丘陵，平均海拔在 2 000 m 上下[1]. 云南地处低纬度高原，全省气候深受西南季风的影响，干、湿季分明，年温差小而日温差大[4]. 年平均降水量 1 260 mm，季节分配不匀，80% 集中在雨季. 全省气候水平分异明显，气候类型丰富多样，加上复杂的地貌类型，使得云南省植被类型水平地带和垂直地带分异明显. 此外，该省生物种类繁多，素有“植物王国”之美誉. 云南省土地面积为 39.40 万 $km^2$，岩溶面积达 11.09 万 $km^2$，占全省土地面积的 28.14%. 截止 2011 年底，全省岩溶地区石漠化土地面积高达 2.84 万 $hm^2$，占我国石漠化土地总面积的 23.70%，主要分布在岩溶峡谷、岩溶断陷盆地、峰丛洼地和中高山等喀斯特地貌类型区（图 1）.

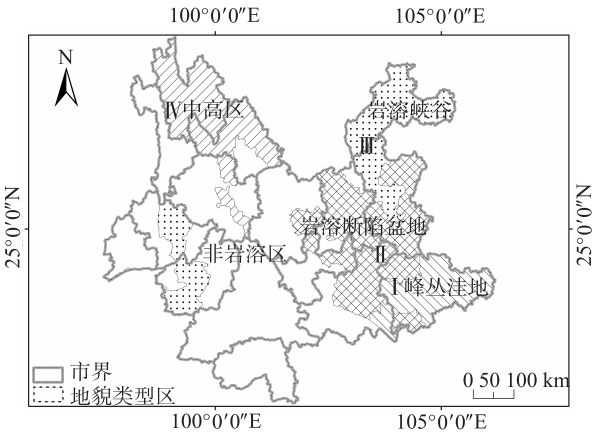


**图1 研究区概况**

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本研究生长季 NDVI 数据采用的是空间分辨率为 8 km、时间分辨率为 15 d 的 GIMMS NDVI3g 数据产品，时间序列为 1982—2015 年，共 792 期影像[6]. 该数据集版本已在旧版本的基础上进行了改进与延伸[6]. 此外，本研究还利用最大值合成法（Maximum Synthesis Method，MVC）来减少云和大气造成的影像噪音问题，即将每月两期数据中的最大值作为当月 NDVI 值. 并依据云南省干、湿季分明的特点，将每年 4—11 月的平均值 NDVI 作为当年生长季 NDVI 值[7].

为研究影响云南省植被时空变化的影响因素，选取了年均降水量、年均气温和标准化降水蒸散指数（SPEI）等自然因素以及人口密度和 GDP 等人为因素. 而 1980—2015 年年平均降水量和年均气温以及 1990，1995，2000，2005，2010 年 5 期人口密度和 GDP 数据均从中国科学院资源环境数据中心（http：/ /www. resdc. cn/）下载. 1981—2014 年 SPEI 数据源自全球 SPEI 数据库（http：// spei. csic. es/database. html）.

将生长季 NDVI 和各影响因素的栅格数据提取到 30 km × 30 km 的网格中，用云南省边界对网格进行裁剪，去除边缘无数据的细小网格，在空间上共生成 498 个网格数据.

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 Pearson 相关分析

为了明确生长季 NDVI 与各因素间在时间序列上是否具有相关性，本研究利用 SPSS 软件中的 Pearson 相关分析方法来分析 1982—2014 年间生长季 NDVI 与年均降水量、年均气温和 SPEI 之间的相互关系. Pearson 相关系数是由 Karl Pearson 提出：相关系数的绝对值越大，相关性越强；相关系数越接近于 0，相关性越弱[8].

#### 2.2.2 空间自相关分析

生长季 NDVI 属于地理空间数据，因而它在空间上具有独特的格局特征. 研究其空间自相关性，可以了解云南省植被的空间分布格局，进而分析造成植被空间变化过程的影响因素. 变量的局部空间自相关性可由局部莫兰指数（Local Moran′s I）统计量[9]来分析每个样本与周围样本

间的空间差异性.

2.2.3　GWR 模型

地理空间数据之间具有相互依赖性，在空间上表现出非平稳性特征[10]. 用传统的全局统计方法分析空间数据时只能得到一个全局参数，从而忽略地理数据的这种特性[11]. GWR 模型（地理加权回归）考虑了地理数据的位置信息，通过计算特定位置的局部回归参数，可以很好地表明地理数据间的空间非平稳性和区域特性，并取得更好的拟合效果. GWR 模型具体计算公式为：

$$y_i = \beta_{io}(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^{n} \beta_{ik}(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i, \quad (1)$$

式中：$y_i$ 为因变量，本研究中指的是生长季 NDVI；$(u_i, v_i)(i = 1,2,3,\cdots,n)$ 表示样本数据的地理坐标；$x_{ik}$ 为第 $i$ 个自变量第 $k$ 个样本数据值；$\beta_{io}$ 和 $\beta_{ik}$ 分别为常数项和样本数据的回归系数；$\varepsilon_i$ 表示符合正态分布的随机误差项.

本研究将多年平均生长季 NDVI 作为 GWR 模型中的被解释变量，将归一化后的多年平均降水量、多年平均气温、SPEI、人口密度和 GDP 共 5 个因子作为模型的自变量，分析影响云南省植被变化影响因素的空间差异性. 归一化公式为：

$$x_{ino} = \frac{x_i - x_{i_{\min}}}{x_{i_{\max}} - x_{i_{\min}}}, \quad (2)$$

式中：$x_{ino}$ 表示第 $i$ 个归一化后的自变量（$i = 1,2,3,\cdots,n$）；$x_i$ 表示第 $i$ 个归一化前的自变量；$x_{i_{\max}}$ 和 $x_{i_{\min}}$ 分别表示第 $i$ 个自变量的最大值和最小值.

## 3　结果分析

### 3.1　1982—2015 年云南省植被指数时空变化特征

从 1982—2015 年生长季 NDVI 时间变化趋势（图 2）可以看出，1982—2015 年云南省生长季 NDVI呈增加趋势，增长率为 0.000 7. 表明 1982—2015 年云南省植被覆盖呈增加趋势. 云南省生长季 NDVI 全局莫兰指数（Global Moran′s I）为 0.81，Z（I）为 19.21，表现出显著的空间自相关性. 从云南省生长季 NDVI［图 3（a）］及其局部空间分布格局［图 3（b）］可以看出，从东北向西南生长季 NDVI 逐渐增多，滇中和滇东北是生长季 NDVI 的低值聚集区，滇西南是 NDVI 的高值聚集区. 由此看出，云南省植被空间分布存在一定的差异性，这可能是由于地域间的自然和人文因素的差异性造成的. 接下来本研究将利用 Pearson 相关性分析和 GWR 模型进一步研究影响植被时空变化差异的原因.

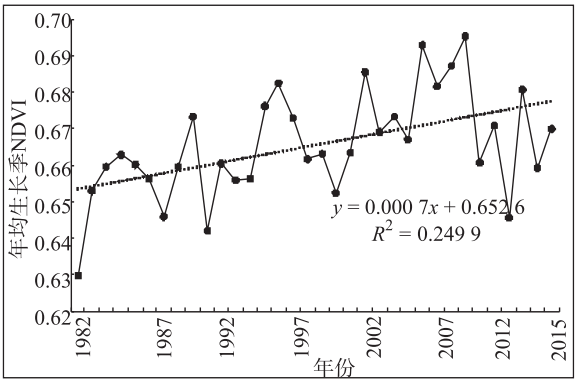


图2　1982—2015年云南省生长季NDVI年季变化趋势

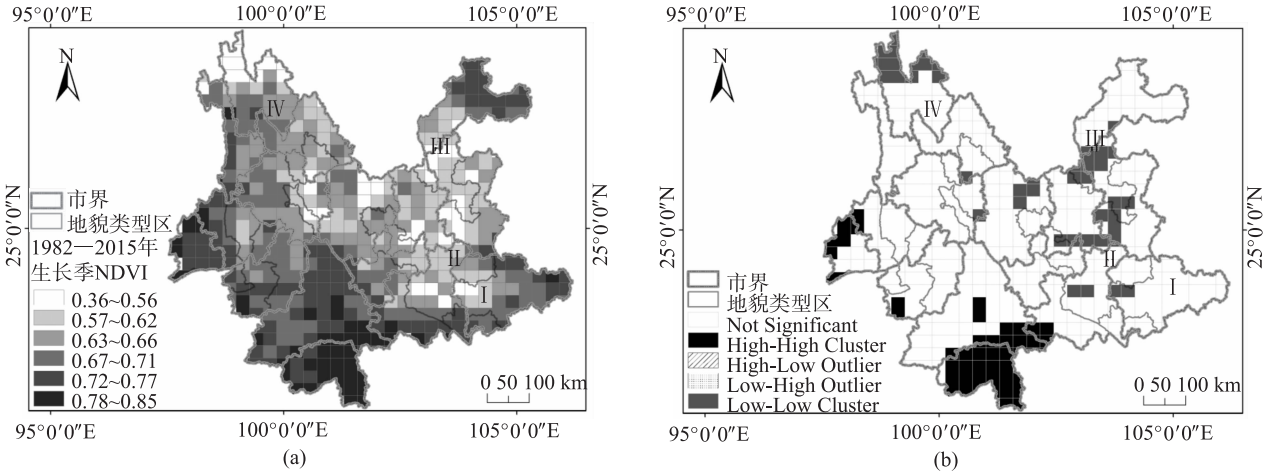


图3　1982—2015年云南省平均生长季NDVI及其空间分布格局

### 3.2 云南省生长季 NDVI 与气象因素之间的关系初探

云南省植被时空变化是由多因素共同作用的结果. 在时间序列上，1982—2015 年云南省植被变化与气候变化的相关性不显著（表 1）. 在空间上，云南省植被空间变化与气候因素和人为因素都具有显著的相关性（表 2）. 生长季 NDVI 与气候因素均呈正相关性，与年均降水量（MAP）、年均温（MAT）和 SPEI 的相关系数分别为 0.71，0.54 和 0.42；生长季 NDVI 与人为因素均呈负相关性，与人口密度（PD）和 GDP 的相关系数分别为 -0.28 和 -0.24.

**表 1 云南省生长季 NDVI 与气候变化的 Pearson 相关性分析**

| 分析结果 | MAT | MAP | SPEI |
|---|---|---|---|
| Pearson 相关性 | 0.28 | -0.09 | -0.01 |
| 显著性（双侧） | 0.12 | 0.61 | 0.95 |
| 样本量 | 33 | 33 | 33 |

**表 2 云南省生长季 NDVI 与气象因素之间在空间上的 Pearson 相关性分析**

| 分析结果 | MAP | MAT | SPEI | PD | GDP |
|---|---|---|---|---|---|
| Pearson 相关性 | 0.71** | 0.54** | 0.42** | -0.28** | -0.24** |
| 显著性（双侧） | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 样本量 | 498 | 498 | 498 | 498 | 498 |

注：** 表示在 0.01 水平（双侧）上显著相关.

由于 NDVI 数据、气候因素和人为因素都属于地理空间数据，因此使用简单的全局分析模型进行分析，其结果的可靠性较差. 另外，通过相关分析可以看出，在空间上影响植被变化的影响因素之间的相关系数都小于 0.80，因素之间不存在多重共线性，因此可以使用考虑空间位置的 GWR 模型来准确判断不同地理位置上影响因素是如何影响植被变化的.

本研究对比单因素 GWR 模型的结果（表 3）发现：人为因素的全局拟合优度（Global $R^2$）高于自然因素；自然因素与植被变化的关系以正相关为主，在空间上占 50% 以上；人为因素与植被变化的关系以负相关为主，在空间上占 70% 以上. 对比单因素 GWR 模型与综合因素 GWR 模型的局部拟合优度（Local $R^2$）（图 4）可知，综合自然因素和人为因素的 GWR 模型的局部拟合优度在总体上高于单因素 GWR 模型的局部拟合优度. 单因素 GWR 模型中，年均降水量的局部拟合优度比其他因素的局部拟合优度高且更稳定，而人为因素的全局拟合优度高于自然因素的全局拟合优度. 以上结果说明，1982—2015 年云南省植被空间分布是由自然因素和人为因素的共同作用决定的.

**表 3 基于不同因子的单因素 GWR 模型**

| Factors | Global $R^2$ | +/% | -/% |
|---|---|---|---|
| MAP | 0.59 | 100.00 | 0.00 |
| MAT | 0.66 | 91.97 | 8.03 |
| SPEI | 0.83 | 59.24 | 40.76 |
| PD | 0.89 | 13.25 | 86.95 |
| GDP | 0.89 | 28.71 | 71.29 |

注：“+”表示正相关区域占整个研究区域的面积比例；“-”表示负相关区域占整个研究区域的面积比例.

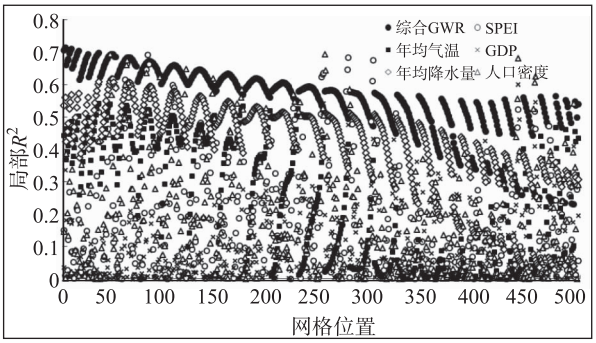


**图4 综合变量GWR模型局部$R^2$与单变量GWR模型局部$R^2$对比**

从可视化综合因素 GWR 模型中影响因素的回归系数（图 5）可以看出，年均降水量和年均气温对植被变化的影响在空间上均大于 0，说明云南省适宜的气候条件对植被生长具有促进作用. 另外，降水量对植被的影响与降水量的空间分布相反，气温对植被的影响与气温的空间分布基本一致，说明气候较干燥的滇中地区降水量增加将促进植被的生长. 人口密度对植被的影响均为负值，说明人口增加将抑制植被生长. 而社会经济发展对植被的影响既有正作用也有负作用，正作用主要集中在滇中和滇南地区，说明制定科学合理经济发展目标有利于植被恢复，可促进经济与生态环境的协调发展.

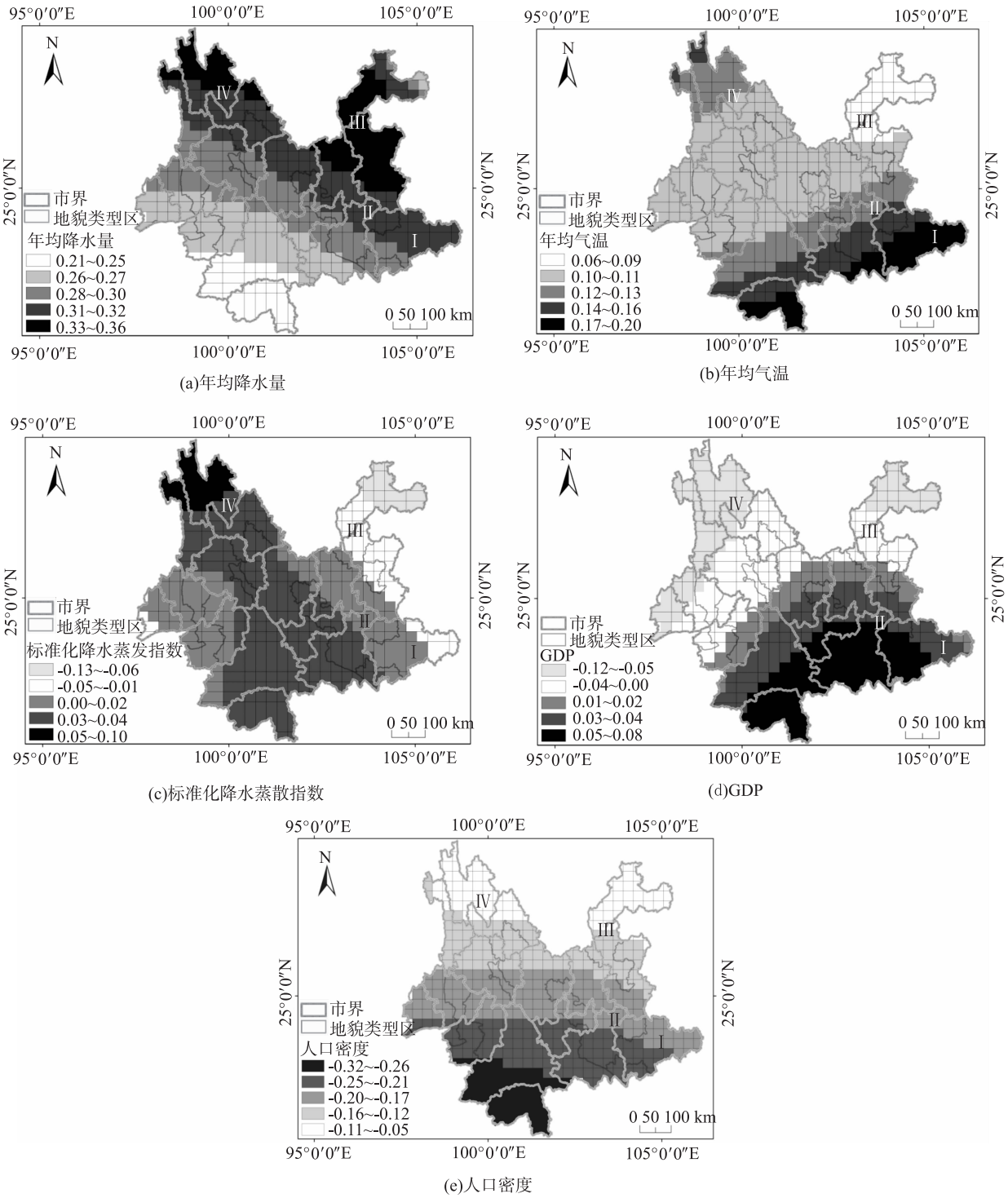


**图5　综合因素GWR模型中影响因素的回归系数**

## 4　讨论

在时间和空间两个维度上探究了云南省植被的时空变化及其影响植被变化的影响因素．首先，在空间上，云南省植被分布与降水分布基本一致，气候因素与植被变化相互作用的空间差异也随气候条件的变化发生递变，表明气候因素对植被的影响不可替代．其次，在时间序列上，1982—2015 年，云南省植被呈增加趋势．近年来，云南省气候有变干热现象[12]，而在整体上气候变化与植被变化之间无显著相关性，因此人类活动等因素对植被的影响不可忽略．另外，2000 年以来，云南省开始大规模地实施了一系列生态工程，且工程成效显著，这对植被恢复具有积极作用[5]，但由于数据缺失

和研究尺度不对应，本研究没有考虑生态工程因素对植被变化的影响.

本研究既探讨了单因素对植被变化的空间影响，也综合分析了自然因素和人为因素对植被空间变化的共同作用. 而云南省是我国西南地区最为典型的喀斯特山区省份之一，具有山多地少的地理环境和人多地少的问题，这使得云南省生态环境问题更加突出[13]. 在空间上，滇中及滇西北州（市）人地关系进一步紧张、城镇无序扩张和经济不协调发展等原因使这些区域植被与社会经济发展呈现负的相互作用. 而临沧、玉溪以及云南中南部等地区人地关系紧张问题趋于好转，具备了人与自然和谐发展的潜力[14].

GWR 模型是研究具有空间特征的两个或多个变量间数量关系的方法，该模型将数据的空间特性引入模型中，假定变量间的相互关系是其样本点空间位置的函数，因而在了解变量间在不同区域位置上的相互关系的细节特征和空间差异上比普通的全局模型更具优势.

## 5 小结

本文基于长时间序列遥感数据，研究了气候变化背景下云南省 1982—2015 年间植被变化趋势，并利用 Pearson 相关分析初步探究了云南省植被变化与气候变化之间的关系. 同时，为了进一步了解云南省植被变化的原因，本文还利用 GWR 模型分析了自然因素和人为因素对植被变化的空间影响. 主要得出以下结论：

1）1982—2015 年，云南省植被总体上呈增加趋势，且植被增长与气候变化无显著相关性.

2）在空间上，云南省植被空间分布沿东北－西南方向呈现高－低－高的梯度变化，其分布与年均降水量的空间分布基本一致，NDVI 高值区主要集中在云南省降水量较多的南部和西南部等地区，低值区集中在云南省降水偏少的中部和西北部等地区.

3）云南省植被变化主要受自然因素和人为因素的共同影响，气温和降水量对植被生长具有促进作用. 人口密度增加在一定程度上会抑制植被生长，科学合理的社会经济发展在一定程度上有利于植被恢复.

## ［参考文献］


［1］王金亮，高雁. 云南省近 20 年植被动态变化遥感时序分析［J］. 云南地理环境研究，2010，22（6）：1－7.

［2］温都日娜. 基于 MODIS 数据的蒙古高原植被覆盖变化及其对水热条件的响应［D］. 呼和浩特：内蒙古师范大学，2017.

［3］张慧，李平衡，周国模，等. 植被指数的地形效应研究进展［J］. 应用生态学报，2018，29（2）：669－677.

［4］姜汉侨. 云南植被分布的特点及其地带规律性［J］. 云南植物研究，1980（1）：22－32.

［5］冯国艳，马明国，时伟宇. 2001—2016 年西南喀斯特地区植被动态变化分析［J］. 广东农业科学，2017，44（12）：94－102，173.

［6］TONG X，WANG K，BRANDT M，et al. Assessing future vegetation trends and restoration prospects in the karst regions of southwest China［J］. Remote Sensing，2016，8（5）：357.

［7］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.

［8］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）：33－38，44.

［9］鲁凤，徐建华. 中国区域经济差异的空间统计分析［J］. 华东师范大学学报（自然科学版），2007（2）：44－51，80.

［10］PENG J，LIU J，LIU Z，et al. Mapping spatial non-stationarity of human-natural factors associated with agricul tural landscape multifunctionality in Beijing-Tianjin-Hebei region，China［J］. Agriculture Ecosystems & Environment，2017，246：221－233.

［11］韩雅，朱文博，李双成. 基于 GWR 模型的中国 NDVI 与气候因子的相关分析［J］. 北京大学学报（自然科学版），2016，52（6）：1125－1133.

［12］陈恩波，广键梅，张开源. 1961—2010 年云南省气候变化特征分析［J］. 农学学报，2017，7（5）：60－68，95.

［13］赵兴国，潘玉君，丁生. 云南省区域人地关系及其空间差异实证研究［J］. 云南地理环境研究，2010，22（4）：34－39，51.

［14］朱明. 基于土地利用的云南省人地关系研究［D］. 昆明：云南财经大学，2014.