

文章编号: 1001-1749(2023)05-0670-11

# 成渝经济区植被生态质量演变特征及驱动力分析

王丽芝<sup>1</sup>, 杨鑫<sup>1,2</sup>, 郝利娜<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059;

2. 成都理工大学 地球勘探与信息技术教育部重点实验室, 成都 610059)

**摘要:** 利用 MODIS NDVI 数据反演成渝经济区 2005 年—2020 年植被覆盖度(VFC)、植被净初级生产力(NPP), 构建植被生态质量指数(Q)。通过趋势线性分析、相关性分析、残差分析, 研究 2005 年—2020 年成渝经济区植被生态质量时空变化特征, 探索成渝经济区植被生态质量与气候和人类活动等影响因素的关系。结果表明: ①2005 年—2020 年成渝经济区植被覆盖度达 95%, NPP 显著升高地区达 93%, 植被生态质量指数(Q)显著增加地区达 92%, 三者之间空间分布相对一致, 植被生态质量整体提升; ②通过趋势分析, 降水、温度增加的空间分布和植被生态质量指数(Q)增加的空间分布范围相对一致, 表明气候对改善植被生态质量有重要的驱动作用; 相关性分析显示, 植被生态质量指数(Q)与降水呈正相关, 与温度呈负相关, 且降水与植被生态质量指数(Q)的相关性强于温度; ③驱动分区显示, 成渝经济区植被生态质量变化约 14.35% 地区受气候因素驱动, 约 85.65% 地区受非气候因素(自然灾害和人类活动等)的驱动; 通过残差分析, 2005 年—2020 年成渝经济区人类活动对植被的正面作用大于负面作用, 说明成渝经济区植被生态质量的时空变化是气候因素和人类活动共同影响的结果。

**关键词:** 成渝经济区; 植被生态质量; 时空变化; 驱动力

**中图分类号:** P 237 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.05.14

## 0 引言

植被作为生态系统不可或缺的组成成分, 不仅有联结土壤、水文及环境的作用, 并且植被在区域初级净生产力、气候系统以及陆地碳平衡中发挥着重要作用, 对生态自然环境有较为直观的指示作用<sup>[1-2]</sup>。同时, 植被作为生态系统中的重要组成部分, 其具有丰富的生态过程、复杂的结构和生物多样性, 植被的变化影响到许多重要的生态系统服务功能, 在涵养水源、防风固沙、固碳释氧、维护生物多样性、调节气候和保持生态平衡等方面具有不可替代

的作用<sup>[3]</sup>。因此, 植被的生态环境质量(植被生态质量)是评价生态系统平衡状况和环境质量的一项重要指标。

植被生态质量的好坏决定着一个地区的环境质量及生态系统平衡状态。随着遥感技术的快速发展和广泛使用, 利用遥感对植被特征进行研究的技术与方法也越来越成熟。目前, 常用遥感手段, 采用单一指标法和多指标法监测植被生态质量。徐涵秋等<sup>[4]</sup>采用单一指标法, 利用不透水面盖度评价城市生态环境等; 伊博力等<sup>[5]</sup>采用单一指标法, 利用植被指数间接地对草地生态环境系统进行评价监测。单一指标只能片面的反应植被生态质量某一维度的变

收稿日期: 2022-04-18

基金项目: 中国博士后科学基金第 13 批特别项目(2020T13074)

第一作者: 王丽芝(1997—), 女, 硕士, 主要研究方向为“3S”技术与数字国土, E-mail: 2468449926@qq.com。

通信作者: 杨鑫(1984—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为“3S”技术在地学中的应用, E-mail: yangxin2012@cdut.edu.cn。

化特征,而植被生态系统是一个错综复杂的生态系统,需要综合各种指标才能较为完整的解释其变化特征。吴宜进等<sup>[6]</sup>,采用多指标法,引入改进的RSEI,以MODIS数据反演得到植被总初级生产力、叶面积指数、区域热度、改进的湿度与植被覆盖度5项指标为基础,提出基于主成分分析法的西藏植被生态质量评价方法;李超等<sup>[7]</sup>采用多指标法,以MODIS数据反演得到中国总初级生产力、叶面积指数、植被覆盖度、温度植被干旱指数和陆面温度5项指标,综合评价了中国植被生态质量。但是利用遥感数据构建多指标植被生态质量评价模型,会受到地区地势、时间及尺度上的限制,难以实现精确的评价,这就需要探索一种更适用的植被生态质量指数构建模型。

近年来,诸多学者对西南地区的植被动态变化研究诸多,单独针对成渝经济区植被动态变化的研究相对较少,多采用单一指标法对成渝经济区植被动态变化进行了分析<sup>[8-9]</sup>。但成渝经济区自然环境复杂,单一指标无法精确的反应成渝经济区植被生态质量的变化特征。笔者利用MODIS NDVI数据反演得到的成渝经济区2005年—2020年植被覆盖度(VFC)、植被净初级生产力(NPP)指标为基础,构建植被生态质量指数(Q),通过趋势线性分析、相关性分析、残差分析,分析了此16 a间成渝经济区植被生态质量时空变化特征,探究了气候变化和人为活动等驱动因素对成渝经济区植被生态质量时空变化的制约关系,为成渝经济区植被生态保护与防护提供理论基础和科学依据。

## 1 研究区及数据来源

### 1.1 研究区概况

成渝经济区由区域内的两大核心城市而得名,范围包括四川省15个市,以及重庆市31个区县(图1)。东部有三峡库区这一国家重点工程,西部有汶川地震灾后重建区,是长江中上游生态屏障的重要组成部分<sup>[8,10]</sup>。成渝经济区位于西南腹地、四川盆地核心地区,地貌以丘陵为主,中心为平原,四周山体环绕,由于其特殊的盆地地形,其内部热量不易扩散,从而使得成渝经济区的温度高于同纬度的其他地区,并且东部和南部气温整体高于西部和北部,降水量则表现为东多西少,盆地多高原少。成渝经济区属亚热带湿润季风气候,区内植被以亚热带常绿阔叶林和高原山地高寒草甸为主。

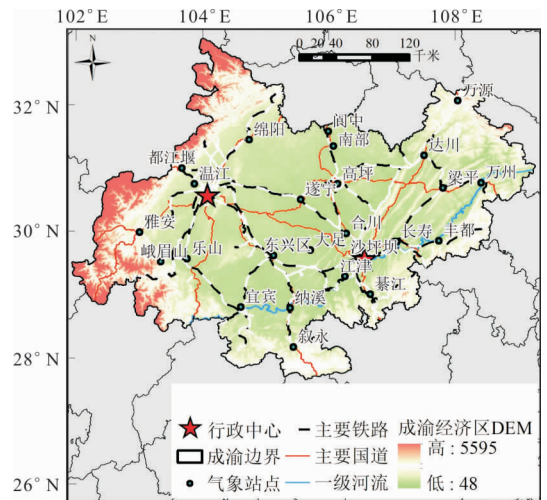


图1 成渝经济区地理位置及概况图

Fig. 1 Geographical location and general situation of Chengdu—Chongqing economic zone

### 1.2 数据来源及预处理

研究区MODIS NDVI和行政边界数据源自中科院资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn/>),气象数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>),选用成渝经济区15个气象站2005年1月—2020年12月的中国地面气候资料日值数据集。

对MODIS NDVI数据进行投影转换、镶嵌等处理,利用波段计算等方法反演得到植被覆盖度(VFC)和植被净初级生产力(NPP)。统计每个站点年降水量和年均温度,把气象站点坐标生成站点值数据,利用薄盘光滑样条函数分别生成研究区降雨和气温的空间分布图。将所有影像数据统一重采样为1 km分辨率数据,以便后续进行分析。

## 2 研究方法

### 2.1 植被覆盖度(VFC)

植被覆盖度(Vegetation Fractional Cover, VFC)指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占研究区总面积的百分比,它量化了植被的繁茂程度<sup>[11]</sup>。目前已有很多利用遥感监测手段估算植被覆盖度的方法,其中最为常见的是利用植被指数NDVI进行估算,其计算公式为式(1)。

$$VCF = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{(NDVI_{veg} - NDVI_{soil})} \quad (1)$$

式中:  $NDVI_{soil}$  为完全是裸土或无植被覆盖区域的NDVI值;  $NDVI_{veg}$  为完全被植被所覆盖的像元的

NDVI 值,即纯植被像元的 NDVI 值。

## 2.2 植被生态质量指数(Q)模型

利用植被净初级生产力  $NPP$  和植被覆盖度构成植被生态质量指数,综合监测评估植被生态质量的优劣,其值越大,表明植被生态质量越好<sup>[12]</sup>。植被生态质量指数(Q)模型为式(2)。

$$Q_i = (VFC_i + NPP_i/NPP_m \times 100)/2 \quad (2)$$

其中: $Q_i$  为第  $i$  年植被生态质量指数; $VFC_i$  为第  $i$  年植被覆盖度; $NPP_i$  为第  $i$  年植被  $NPP$ ;  $NPP_m$  为监测年份中  $NPP$  最大值,即当地最好气象条件下植被  $NPP$ 。

## 2.3 趋势线分析法

线性回归方程是最广泛应用于分析不同因子和研究对象之间的变化趋势方式<sup>[13]</sup>。计算公式为式(3)。

$$Slope = \frac{n \sum_{i=1}^n i x - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n x}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (3)$$

式中: $i$  为年份; $x$  为第  $i$  年的研究对象值; $n$  为时间长度; $Slope$  为  $n$  年时间内,影响因子的变化对应的研究对象总体变化趋势。

## 2.4 相关性分析法

相关性分析是指对两个或多个具备相关性的变量元素进行分析,从而衡量两个变量因素的相关密切程度。线性相关性分析的前提条件是相关性的元素之间需要存在一定的联系或者概率<sup>[14]</sup>。线性相关性分析  $R$  的计算公式为式(4)。

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

其中: $R_{xy}$  为  $x$ 、 $y$  之间的线性相关系数; $x_i$ 、 $y_i$  为两个影响因素在第  $i$  年的值; $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$  为两个影响因素  $n$  年的平均值。

偏相关分析是在线性相关的基础上,排除其他影响因素的干扰,计算某两个影响因素的相关性。偏相关系数计算公式为式(5)。

$$R_{x,y,z} = \frac{R_{xy} - R_{xz}R_{yz}}{\sqrt{1 - R_{xz}^2} \sqrt{1 - R_{yz}^2}} \quad (5)$$

式中: $R_{x,y,z}$  为将自变量  $z$  固定后,因变量  $x$  与自变量  $y$  的偏相关系数。

用  $t$  检验法进行显著性检验,公式为式(6)。

$$t = \frac{R_{x,y,z}}{\sqrt{1 - R_{x,y,z}^2}} \times \sqrt{n - m - 1} \quad (6)$$

式中: $n$  为样本数; $m$  为自变量个数。

为了综合考虑多个相关影响因素的共同作用,将两个或多个影响因素采用复相关分析法并入计算,计算公式为式(7)。

$$R_{x,y,z} = \sqrt{1 - (1 - R_{xy}^2)(1 - R_{xz,y}^2)} \quad (7)$$

式中: $R_{x,y}$  表示  $x$  与  $y$  的线性相关系数; $R_{x,z,y}$  为固定自变量  $y$ ;因变量  $x$  与自变量  $z$  之间的偏相关系数。

用  $F$  检验法进行显著性检验,公式为式(8)。

$$F = \frac{R_{x,y,z}^2}{1 - R_{x,y,z}^2} \times \frac{n - k - 1}{k} \quad (8)$$

式中: $n$  为样本数; $k$  为自变量个数。

## 2.5 残差分析法

残差趋势法(RESTREND)<sup>[15]</sup>是一种逐像元建立植被响应气候的线性回归模型,分别以预测值和残差值(实际值与预测值之差)随年份的变化趋势来表达自然和人为因素对植被生态质量的独立作用。

1)利用研究区植被生态质量指数  $Q$  和气象数据建立回归方程计算模拟  $Q$  值。

$$Q = a + x_1 T + x_2 P \quad (9)$$

式中: $a$  表示回归系数; $x_1$ 、 $x_2$  为常数; $T$  为温度; $P$  为降水。

2)求解回归系数和常数为式(10)~式(12)。

$$\sum_{i=1}^n (T - \bar{T})_i^2 x_1 + \sum_{i=1}^n (T - \bar{T})_i (P - \bar{P})_i x_2 = \sum_{i=1}^n (T - \bar{T})_i (Q - \bar{Q})_i \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n (P - \bar{P})_i^2 x_2 + \sum_{i=1}^n (T - \bar{T})_i (P - \bar{P})_i x_1 = \sum_{i=1}^n (P - \bar{P})_i (Q - \bar{Q})_i \quad (11)$$

$$a = \bar{Q} - x_1 \bar{T} - x_2 \bar{P} \quad (12)$$

3)将计算出的回归系数和常数带入回归方程得到模拟植被生态质量指数  $Q$  值,用实际  $Q$  值减去模拟  $Q$  值得到  $Q$  残差值。

## 3 实验与分析

### 3.1 成渝经济区 VFC 时空变化

利用 Slope 趋势分析方法对 VFC 变化的趋势进行分析计算,对成渝经济区植被覆盖度变化趋势进行分析,结合研究区实际情况对 VFC 进行分级,如表 1 所示。



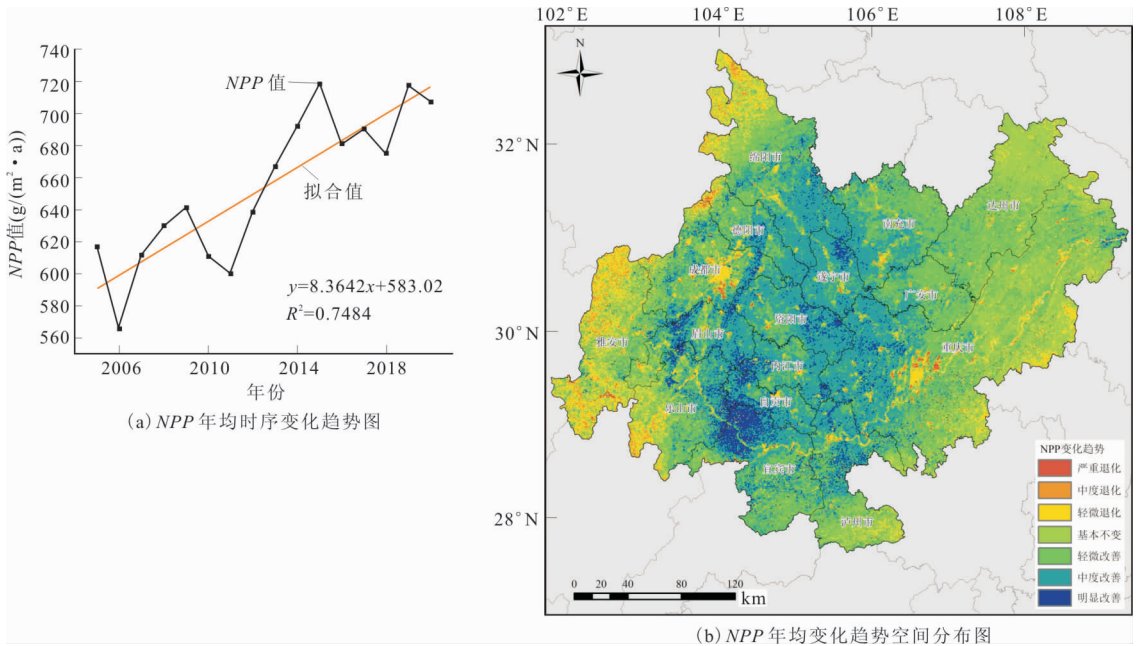


图 3 2005 年—2020 年  $NPP$  年均变化曲线及时序变化趋势图

Fig. 3  $NPP$  annual average change curve and sequential change trend from 2005 to 2020

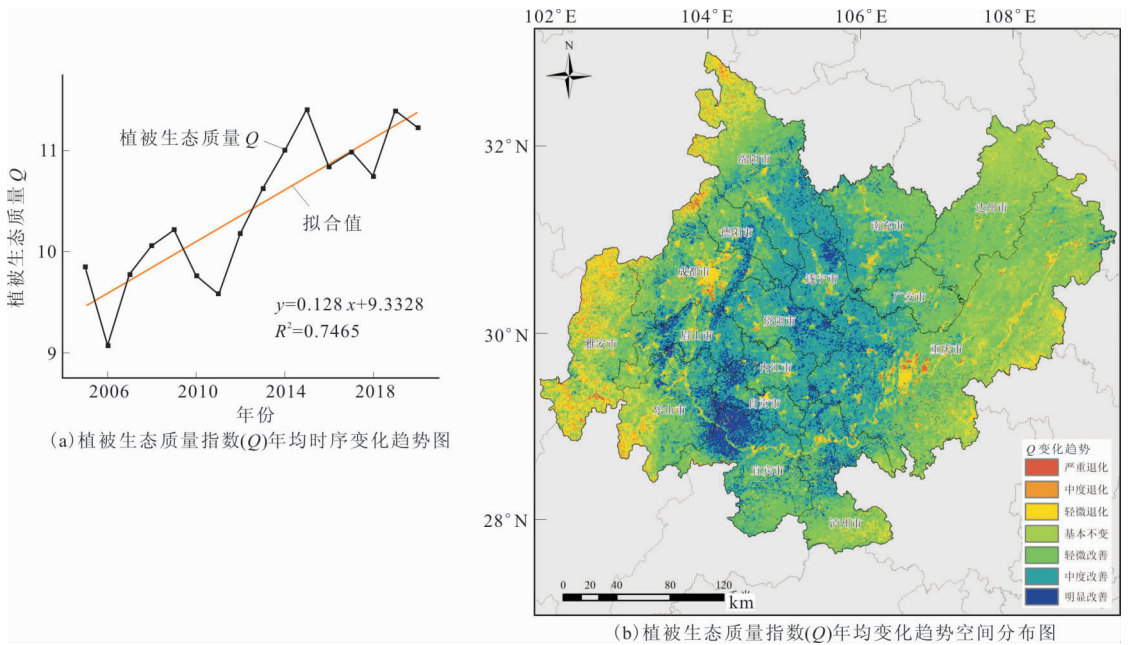


图 4 2005 年—2020 年植被生态质量指数(Q)年均变化曲线及时序变化趋势图

Fig. 4 Annual change curve of vegetation ecological quality index (Q) from 2005 to 2020

植被生态质量是衡量一个地区自然生态状态和环境质量的关键指标。从图 4(a)来看,成渝经济区植被生态质量指数(Q)整体呈明显的增加趋势,但存在一定的波动,表明成渝经济区植被生态质量整体处于变好的趋势。2005 年—2020 年成渝经济区植被生态质量指数(Q)介于 0.76~50.43 之间,平

均值为 10.37,平均年际增长速率为 0.15/a。2006 年植被生态质量指数(Q)最小,与气候灾害和人为因素(城市基础建设等)有关,2015 年植被生态质量指数(Q)最大,与人类活动(退耕还林还草、植树造林等)有关。从图 4(b)看,成渝经济区植被生态质量指数(Q)从西向东呈退化—改善—基本不变的空

间格局。植被生态质量退化的地区主要分布在成渝经济区西部(绵阳、成都、雅安、乐山);植被生态质量明显改善的地区主要分布在成渝经济区中心地区(眉山市、资阳市、内江市和重庆市以西);植被生态质量基本不变的地区主要分布在成渝经济区东部地区。整体上,成渝经济区植被生态质量呈退化状态的地区占全区的 7.33%,呈改善和不变状态的地区占全区的 92.67%。年际变化趋势表明,成渝经济区 2005 年—2020 年植被生态质量总体呈变好趋势。

表 3 植被生态质量指数(Q)退化分级表

Tab. 3 Vegetation ecological quality index (Q) degradation classification table

退化等级	slope 值
Severe degeneration	$\text{slope} \leq -0.2$
Moderate degeneration	$-0.2 < \text{slope} \leq -0.05$
Slight degeneration	$-0.05 < \text{slope} \leq 0.02$
Basically unchanged	$0.02 < \text{slope} \leq 0.08$
Slight improvement	$0.08 < \text{slope} \leq 0.17$
Moderate improvement	$0.17 < \text{slope} \leq 0.24$
Noticeably improved	$\text{slope} > 0.24$

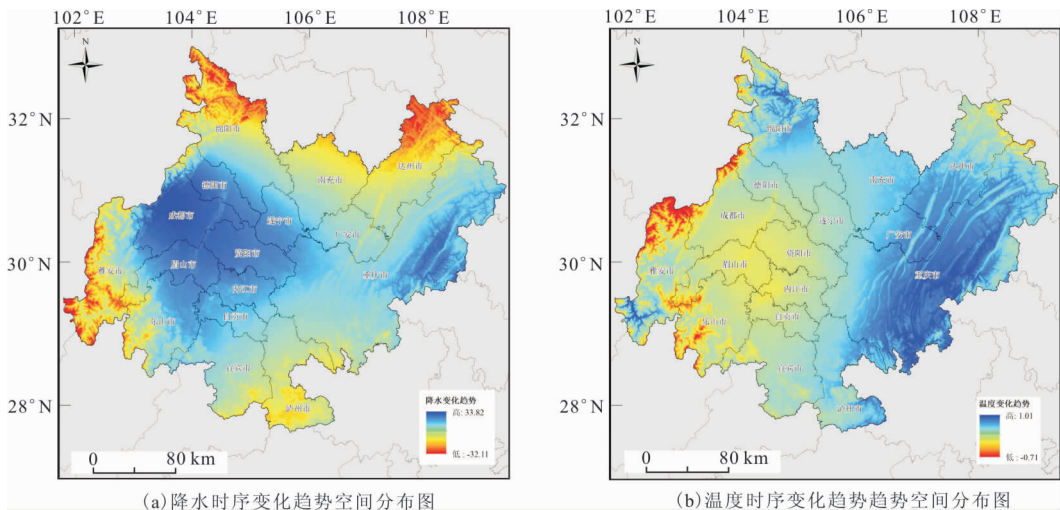


图 5 2005 年—2020 年降水与温度时序数据变化趋势分析图

Fig. 5 Change trend analysis of precipitation and temperature time series data from 2005 to 2020

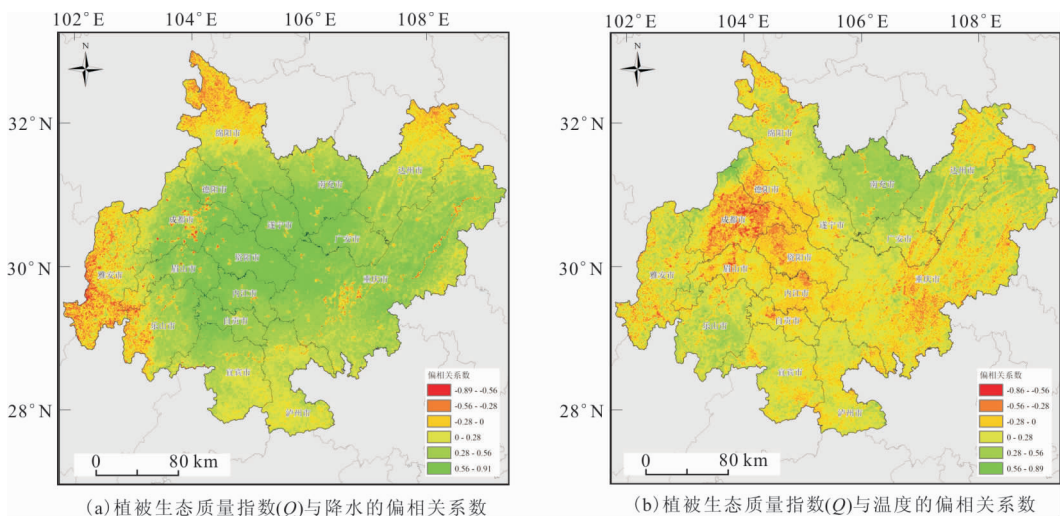


图 6 2005 年—2020 年植被生态质量指数(Q)与降水、温度的偏相关系数空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of partial correlation coefficient between vegetation ecological quality index (Q) and precipitation and temperature from 2005 to 2020

### 3.4 植被生态质量与气候因素的相关性分析

气候是植被生长的自然条件,植被是气候变化的反馈者。从图 5 可知,成渝经济区年降水量变化趋势从北向南呈减少—增加—减少趋势,年均温度变化趋势呈明显增加—减少趋势。成渝经济区内 87.01% 的地区年降水量呈明显增长趋势,尤其是成渝经济区城镇集中地区年降水量增加尤为明显;成渝经济区内 12.99% 的地区年降水量呈明显下降趋势,雅安市、绵阳市和达州市年降水量下降的最为明显。成渝经济区温度上升地区占 44.32%,温度下降的地区占 55.68%,其中成都市及其周边地区温度逐年上升,重庆市温度逐年下降。

2005 年—2020 年成渝经济区年降水与植被生态质量指数(Q)的偏相关系数介于 $-0.89 \sim 0.91$ 之间,平均值为 0.33(图 6(a)),表明成渝经济区植被生态质量与降水呈显著正相关关系。其中呈负相关的地区主要集中在雅安市、绵阳市等,约占全区面积的 15.41%。呈正相关的地区主要集中在成都市、资阳市以及重庆市等城镇集聚地,约占全区面积的 84.59%。 $t$  双侧检验表明,通过 0.05 显著性检验水平的地区主要分布在成渝经济区中心地区(如成都市、资阳市及其重庆市城市群等),约占正相关区域面积的 29.58%。

温度与植被生态质量指数(Q)的偏相关系数介于 $-0.86 \sim 0.89$ 之间,平均值为 $-0.07$ (图 6(b)),表明成渝经济区植被生态质量与温度呈不显著负相关关系。其中呈负相关的区域约占全区面积的 37.56%,主要集中在成都市、德阳市、资阳市以及重庆市等城市群;其余地区均呈正相关,约占全区面积的 62.44%。 $t$  双侧检验表明,通过 0.05 显著性检验水平的地区主要集中在成渝经济区东北部和西北部地区,约占正相关区域面积的 0.03%。综上所述,成渝经济区植被生态质量指数(Q)与降水的相关性显著强于温度,说明降水对植被生态质量的影响程度大于温度。

### 3.5 植被生态质量指数(Q)与气候因素的驱动分析

植被生态质量指数(Q)与降水、温度的复相关系数介于 $0 \sim 0.93$ 之间,平均值为 0.49,大部分地区的植被生态质量指数(Q)与降水、温度的复相关性较为明显(图 7)。资阳市、遂宁市和重庆市西北部等地复相关性较强,绵阳市、泸州市及雅安市等地复相关性最弱。总体上,成渝经济区从北向南复相关性呈弱—强—弱的趋势。F 检验结果表明,植被生态质量通过 0.05 显著性水平检验的地区约占全区

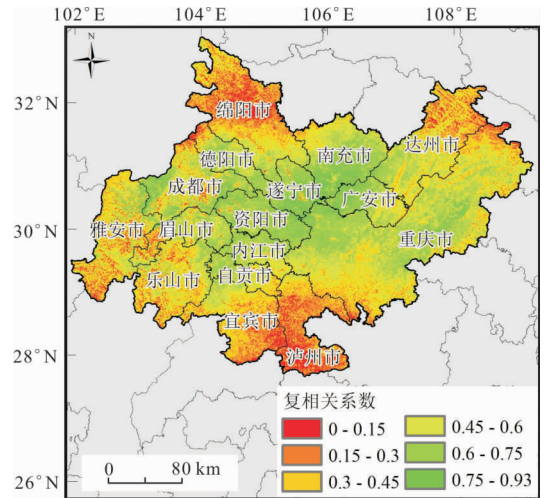


图 7 2005 年—2020 年植被生态质量指数(Q)与降水、温度的复相关

Fig. 7 Complex correlation between vegetation ecological quality index (Q) and precipitation and temperature from 2005 to 2020

面积的 14.35%。

采用驱动分区方法<sup>[19-20]</sup>(表 4)对成渝经济区植被生态质量的变化进行驱动力分析。2005 年—2020 年成渝经济区植被生态质量驱动分区(图 8)结果显示,气候对成渝经济区植被生态质量的影响较为明显。2005 年—2020 年成渝经济区植被生态质量变化受降水、温度共同影响的面积约占全区面积的 1.15%;温度主驱动区域约占全区面积的 0.03%;降水主驱动区域约占全区面积的 12.81%;其余非气候因素(自然灾害和人类活动等)影响区域约占全区面积的 85.65%。综上所述,成渝经济区植被生态质量变化约 14.35% 的地区受气候因素驱动,约 85.65% 的地区受非气候因素(自然灾害和人类活动等)驱动。整体上,2005 年—2020 年成渝经济区植被生态质量驱动机制表现为非气候因素驱动。

### 3.6 人类活动对植被生态质量的影响

残差分析是分离自然和人类活动对植被覆盖变化的影响。从图 9 成渝经济区植被生态质量指数 Q 的残差值线性变化趋势可知,在研究时段内,残差值呈波动上升趋势,并且残差值由负逐渐转为正,说明人类活动对成渝经济区的植被生态质量影响由负面逐渐转为正面。2006 年残差值最低,说明这一年人类活动对植被生态质量的负面作用最为明显;从 2013 年开始残差值为正并持续上升,到 2015 年达到最大,说明在这段时间内人类活动对植被生态质

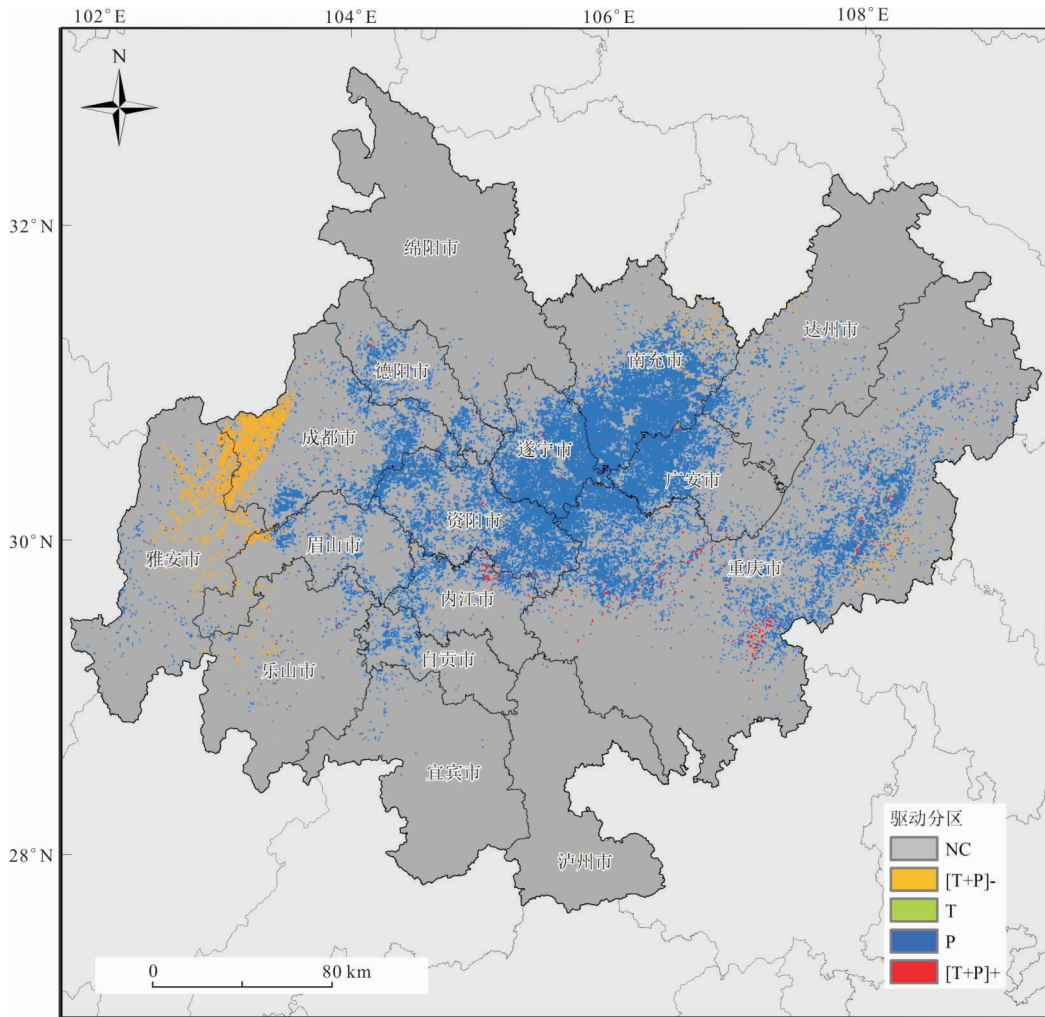


图 8 2005 年—2020 年植被生态质量指数(Q)与降水、温度的驱动分区

Fig. 8 Driving zones of vegetation ecological quality index (Q) and precipitation and temperature from 2005 to 2020

表 4 植被生态质量变化影响因子分区规则

Tab. 4 Zoning rules of influencing factors of vegetation ecological quality change

项目	驱动因子	驱动准则		
		$t$ 检验(降水)	$t$ 检验(温度)	$F$ 检验
Climatic factors	$[T+P]+$	$ t  > t_{0.05}$	$ t  > t_{0.05}$	$F > F_{0.05}$
	$T$		$ t  > t_{0.05}$	$F > F_{0.05}$
	$P$	$ t  > t_{0.05}$		$F > F_{0.05}$
	$[T+P]-$	$ t  < t_{0.05}$	$ t  < t_{0.05}$	$F > F_{0.05}$
Non-climatic factors	NC			$F < F_{0.05}$

$[T+P]+$  温度、降水强驱动;  $T$  温度主驱动;  $P$  降水主驱动;  $[T+P]-$  温度、降水弱驱动;  $NC$  非气候因子驱动

量的正面作用在不断加强,对成渝经济区的生态保护有了全新的认识;2016 年—2020 年残差值虽有下降,但残差值仍为正,对植被生态质量仍起正面作

用。整体看,人类活动在时间序列上对研究区内植被生态质量的正面作用大于负面作用,植被生态质量呈改善状态。

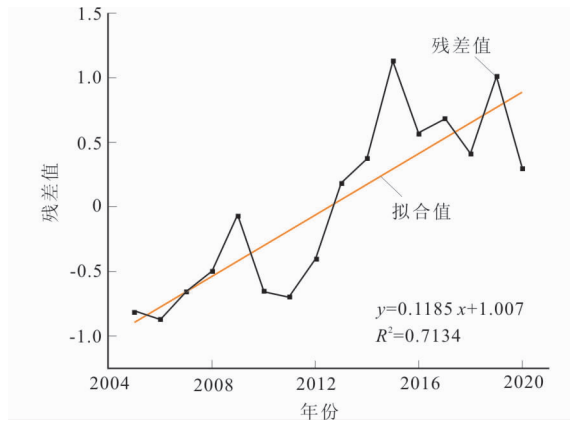


图9 成渝经济区植被生态质量指数Q的残差值线性变化趋势

Fig. 9 Linear variation trend of residual value of vegetation ecological quality index Q in Chengdu Chongqing economic zone

## 4 结论

笔者利用2005年—2020年MODIS NDVI数据反演得到的VFC、NPP构建植被生态质量指数(Q),结合成渝经济区15个气象站的气温、降水数据,分析了成渝经济区植被生态质量时空变化特征,探讨了植被生态质量与气温降水和人类活动等影响因素的制约关系,主要结论如下:

1)成渝经济区2005年—2020年植被覆盖度达95%以上,植被覆盖度较高。VFC增加的区域占全区的66.51%,VFC减少的区域占全区的33.49%。6.67%的地区NPP减少,93.33%的地区NPP增加。植被生态质量呈退化状态的区域占全区的7.33%,呈改善和不变状态的区域占全区的92.67%。VFC、NPP和植被生态质量指数(Q)的年度趋势变化空间分布相对一致。整体来看,成渝经济区2005年—2020年植被生态质量良好并在逐年改善。

2)趋势分析显示,降水和温度升高的空间分布区域和植被生态质量指数(Q)升高的空间分布区域相对一致。定量分析了植被生态质量指数(Q)与气温和降水的相关性,结果表明植被生态质量与降水呈正相关、与温度呈负相关,说明成渝经济区植被生态质量受降水和气温的共同制约,但降水的相关性强于温度。

3)驱动分区表明,植被生态质量受气候因素驱动的区域约占14.35%,其中降水主驱动占比最大,

约占12.81%;约85.65%的地区受非气候因素(自然灾害和人类活动等)的驱动,说明2005年—2020年成渝经济区植被生态质量驱动机制表现为非气候因素驱动。

4)由于驱动分区的局限性,不能准确地说明人类活动对植被生态质量的正负面影响,所以通过残差分析,研究发现2005年—2013年,人类活动对成渝经济区的植被生态质量起负面作用;2014年—2020年,人类活动对研究区植被生态质量起正面作用。整体来看,人类活动对植被生态质量的正面作用强于负面作用,说明在成渝经济区大力发展、扩张城市的同时,对植被生态的保护意识逐渐加强。成渝经济区植被生态质量逐年改善,其时空变化是气候因素和人类活动共同影响的结果。综上,成渝经济区的植被生态质量正在逐年改善,人们对植被生态的保护意识在逐渐加强。但成渝经济区植被生态质量仍然存在空间分布不均的现象,有些地方植被生态质量相对较低,各市县还需有针对性地出台一些政策加强植被生态质量相对偏差区域的植被生态保护和治理力度。气候条件是植被生态质量好坏的前置条件,成渝经济区的气候条件相对较好,比较有利于植被的生长,但旱灾洪灾仍有发生,对植被生态质量有着不利的影响,应适时做好防洪防旱工作,保护植被生长环境。

## 参考文献:

- [1] 赵杰,杜自强,武志涛,等.中国温带昼夜增温的季节性变化及其对植被动态的影响[J].地理学报,2018,73(3):395-404.  
ZHAO J, DU Z Q, WU Z T, et al. Seasonal variation of diurnal warming in temperate zone of China and its impact on vegetation dynamics[J]. Journal of Geography, 2018, 73 (3): 395-404. (In Chinese)
- [2] JIA K, LIANG S, ZHANG L, et al. Forest cover classification using Landsat ETM+ data and time series MODIS DVI data[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014 (33): 32-38.
- [3] 梁浩.近40年来克拉地峡东西海岸带红树林变化遥感监测与对比分析[D].呼和浩特:内蒙古大学,2016.  
LIANG H. Remote sensing monitoring and comparative analysis of mangrove changes in the East and west coast of Kela isthmus in recent 40 years [D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2016. (In Chinese)
- [4] 徐涵秋.基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析[J].生态学报,2011,31(14):3890-3901.

- XU H Q. Analysis of urban heat island effect based on the change of urban surface parameters [J]. *Journal of Ecology*, 2011, 31 (14): 3890—3901. (In Chinese)
- [5] 伊博力. 基于神经网络的牧户尺度草地草量监测研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2018.
- YI B L. Study on grassland yield monitoring of herdsman scale grassland based on neural network [D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2018. (In Chinese)
- [6] 吴宜进, 赵行双, 奚悦, 等. 基于 MODIS 的 2006—2016 年西藏生态质量综合评价及其时空变化[J]. *地理学报*, 2019, 74(7): 1438—1449.
- WU Y J, ZHAO X S, XI Y, et al. Comprehensive evaluation of ecological quality and its temporal and spatial changes in Tibet from 2006 to 2016 based on MODIS [J]. *Journal of Geography*, 2019, 74 (7): 1438—1449. (In Chinese)
- [7] 李超, 李雪梅. 2000—2018 年中国植被生态质量时空变化特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(9): 2155—2165.
- LI C, LI X M. Temporal and spatial variation characteristics of vegetation ecological quality in China from 2000 to 2018 [J]. *Resources and Environment of the Yangtze River Basin*, 2021, 30 (9): 2155—2165. (In Chinese)
- [8] 陈付国, 孙荣, 梁少民. 成渝经济区陆地植被碳储量动态及碳汇战略研究[J]. *环境科学与管理*, 2017, 42 (06): 164—166.
- CHEN F G, SUN R, LIANG S M. Study on carbon storage dynamics and carbon sink strategy of terrestrial vegetation in Chengdu Chongqing Economic Zone [J]. *Environmental Science and Management*, 2017, 42 (06): 164—166. (In Chinese)
- [9] 李茜荣, 杨东, 冯磊, 等. 成渝经济圈 2000—2018 年植被 NDVI 的动态变化[J]. *生态学杂志*, 2021, 40(09): 2967—2977.
- LI X R, YANG D, FENG L, et al. Dynamic changes of NDVI of vegetation in Chengdu Chongqing economic circle from 2000 to 2018 [J]. *Journal of Ecology*, 2021, 40 (09): 2967—2977. (In Chinese)
- [10] 金凡琦, 程志刚, 靳立亚, 等. 成渝城市群热环境效应与植被覆盖度关系研究[J]. *成都信息工程大学学报*, 2019, 34(3): 308—315.
- JIN F Q, CHENG Z G, JIN L Y, et al. Study on the relationship between thermal environment effect and vegetation coverage of Chengdu Chongqing urban agglomeration [J]. *Journal of Chengdu University of Information Engineering*, 2019, 34 (3): 308—315. (In Chinese)
- Chinese)
- [11] 汲玉河, 周广胜, 王树东, 等. 2000—2019 年秦岭地区植被生态质量演变特征及驱动力分析[J]. *植物生态学报*, 2021, 45(06): 617—625.
- JI Y H, ZHOU G S, WANG S D, et al. Evolution characteristics and driving forces of vegetation ecological quality in Qinling region from 2000 to 2019 [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2021, 45 (06): 617—625. (In Chinese)
- [12] 黄林峰, 田鹏举, 帅士章, 等. 2000—2016 年赤水河流域植被生态质量变化分析[J]. *中低纬山地气象*, 2018, 42(5): 20—24.
- HUANG L F, TIAN P J, SHUAI S Z, et al. Analysis of vegetation ecological quality change in Chishui River Basin from 2000 to 2016 [J]. *Mountain Meteorology in Middle and Low Latitudes*, 2018, 42 (5): 20—24. (In Chinese)
- [13] BRUNSDON C, FOTHERINGHAM A S, CHARLTON M E. Geographically weighted regression: A method for exploring spatial nonstationarity[J]. *Geographical Analysis*, 1996, 28(4): 281—298.
- [14] 穆少杰, 李建龙, 周伟, 等. 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系[J]. *生态学报*, 2013, 33(12): 3752—3764.
- MU S J, LI J L, ZHOU W, et al. Temporal and spatial pattern of net primary productivity of vegetation in Inner Mongolia from 2001 to 2010 and its relationship with climate[J]. *Journal of Ecology*, 2013, 33 (12): 3752—3764. (In Chinese)
- [15] EVANS J, GEERKEN R. Discrimination between climate and human-induced dryland degradation[J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57(4): 535—554.
- [16] NING PAN, SHUAI WANG, FANGLI WEI, et al. Inconsistent changes in NPP and LAI determined from the parabolic LAI versus NPP relationship[J]. *Ecological Indicators*, 2021, DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.108134
- [17] 杨婷婷, 韦丹, 马祥庆, 等. 基于随机森林模型长汀县植被覆盖度的影响因子[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2017, 46(6): 641—647.
- YANG T T, WEI D, MA X Q, et al. Influencing factors of vegetation coverage in Changting County based on random forest model [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2017, 46 (6): 641—647. (In Chinese)
- [18] 方精云, 唐艳鸿, 林俊达. 全球生态学: 气候变化与生态响应[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- FANG J Y, TANG Y H, LIN J D. *Global ecology*:

- climate change and ecological response [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000. (In Chinese)
- [19] 叶红,张廷斌,易桂花,等. 2000—2014 年黄河源区 ET 时空特征及其与气候因子关系[J]. 地理学报, 2018, 73 (11): 2117—2134.
- YE H, ZHANG T B, YI G H, et al. Temporal and spatial characteristics of ET in the source area of the Yellow River from 2000 to 2014 and its relationship with climate factors[J]. Journal of Geography, 2018, 73 (11): 2117—2134. (In Chinese)
- [20] 艾则孜提约麦尔·麦麦提, 玉素甫江·如素力, 姜红, 等. 2000—2014 年博斯腾湖流域 NPP 时空变化特征及影响因子分析[J]. 草业科学, 2018, 35(7): 1743—1753.
- AIZEZITIYUEMAIER · MAIMAITI, YUSUFUJIANG · RUSULI, JIANG H, et al. Temporal and spatial variation characteristics and influencing factors of NPP in Bosten Lake Basin from 2000 to 2014 [J]. Grassland Science, 2018, 35 (7): 1743—1753. (In Chinese)

## Evolution characteristics and driving forces of vegetation ecological quality in the Chengdu—Chongqing economic zone

WANG Lizhi<sup>1</sup>, YANG Xin<sup>1,2</sup>, HAO Lina<sup>2</sup>

(1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Key Laboratory of Earth Exploration and Information Technology, Ministry of Education, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** MODIS NDVI data were used to invert vegetation fractional coverage (VFC) and net primary productivity (NPP) of the Chengdu—Chongqing Economic Zone from 2005 to 2020, and the vegetation ecological quality index (Q) was constructed. Through trend linear analysis, correlation analysis, and residual analysis, the temporal and spatial variation characteristics of vegetation ecological quality of the Chengdu—Chongqing Economic Zone from 2005 to 2020 were studied, and the relationship between vegetation ecological quality of Chengdu—Chongqing Economic Zone and influencing factors such as climate and human activities was explored. The results showed that: (1) From 2005 to 2020, the vegetation fractional coverage of the Chengdu—Chongqing Economic Zone reached 95%, the NPP significantly increased area reached 93%, and the vegetation ecological quality index (Q) significantly increased area reached 92%. The spatial distribution of the three was relatively consistent, and the vegetation ecological quality was improved as a whole. (2) Through trend analysis, the spatial distribution of the increase of precipitation and temperature is relatively consistent with the increase of vegetation ecological quality index (Q), indicating that climate plays a vital role in driving the improvement of vegetation ecological quality; correlation analysis showed that vegetation ecological quality index (Q) was positively correlated with precipitation and negatively correlated with temperature, and the correlation between precipitation and vegetation ecological quality index (Q) was more substantial than that of temperature. (3) The driving zoning shows that about 14.35% of the changes in vegetation ecological quality in the Chengdu—Chongqing Economic Zone are driven by climate factors, and about 85.65% are driven by non-climate factors (natural disasters and human activities, etc.); through residual analysis, the positive effect of human activities on vegetation in Chengdu—Chongqing Economic Zone from 2005 to 2020 is greater than the negative effect, indicating that the temporal and spatial variation of vegetation ecological quality in Chengdu—Chongqing Economic Zone is the result of the combined influence of climate factors and human activities.

**Keywords:** Chengdu—Chongqing economic zone; ecological quality of vegetation; change of time and space; driving force