

# 基于MODIS EVI数据分析2001~2020年 终南山植被变化特征

黄思玉<sup>\*</sup>, 常秋芳<sup>#</sup>

郑州师范学院地理与旅游学院, 河南 郑州

收稿日期: 2023年9月14日; 录用日期: 2023年12月6日; 发布日期: 2023年12月15日

## 摘要

为了了解终南山植被EVI (增强植被指数)的时空变化特征, 以MOD13A3数据为基础, 基于Hurst指数分析法、稳定性分析法、趋势分析法等方法, 探讨了终南山2001~2020年的EVI时空变化特征。结果表明: (1) 空间分布上, 绝大部分区域多年平均EVI值在0.4~0.7之间, 占总研究区面积的95.459%; 时间变化上, 终南山多年平均EVI值总体呈波动上升趋势, 年均EVI增长率为0.0032/a。 (2) EVI值稳定性分析结果表明, 研究区EVI值波动较稳定, 高波动与较高波动区域面积占比不足2%。 (3) 用Hurst指数法结合EVI多年变化趋势综合分析可知, 未来研究区EVI值预计以增长为主, 预测会改善的区域占总研究区面积的81.225%。

## 关键词

终南山, EVI, 相关性分析, 植被覆盖

# Analysis of Vegetation Variation Characteristics of MODIS EVI in Zhongnan Mountain from 2001 to 2020

Siyu Huang<sup>\*</sup>, Qiufang Chang<sup>#</sup>

School of Geography and Tourism, Zhengzhou Normal University, Zhengzhou Henan

Received: Sep. 14<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 6<sup>th</sup>, 2023; published: Dec. 15<sup>th</sup>, 2023

<sup>\*</sup>第一作者。

<sup>#</sup>通讯作者。

## Abstract

In order to understand the spatio-temporal change characteristics of vegetation EVI (Enhanced vegetation index) in Zhongnan Mountain, based on MOD13A3 data and Hurst index analysis, stability analysis and trend analysis methods, the spatio-temporal change characteristics of vegetation EVI in Zhongnan Mountain from 2001 to 2020 were discussed. The results showed that: (1) In spatial distribution, the average EVI value of most regions was between 0.4~0.7, accounting for 95.459% of the total study area; In terms of time variation, the annual average EVI value in Zhongnan Mountain showed a fluctuating upward trend, and the average annual EVI growth rate was 0.0032/a. (2) The stability analysis results of EVI value show that the fluctuation of EVI value in the study area is stable, and the proportion of the area with high fluctuation and high fluctuation is less than 2%. (3) The Hurst index method combined with the multi-year change trend of EVI shows that the EVI value in the future research area is expected to increase, and the predicted improvement area accounts for 81.225% of the total research area.

## Keywords

Zhongnan Mountain, EVI, Correlation Analysis, Vegetation Cover

---

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着全球气候变化和社会经济迅速发展,生态环境问题也日益突出,植被覆盖动态监测及其对气候变化的响应成为全球变化的主流研究方向之一[1]。归一化差值植被指数(NDVI)和增强植被指数都能反映植被生长变化情况[2], NDVI 目前应用广泛,但存在大气噪声去除不彻底、低植被覆盖区易受土壤背景的干扰、高植被覆盖区易饱和等问题[3] [4],而 EVI 则是对 NDVI 的算法进行了改进[5]。

近年来,随着全球生态环境问题的恶化,国内外学者基于 EVI 数据对不同地区的植被覆盖变化进行了研究。Setiawan 等[6]基于 2001~2007 年 MODIS-EVI 数据对印度尼西亚爪哇岛植被变化进行研究,结果表明 EVI 数据的高时间分辨率可以很好地预测未来植被覆盖变化趋势。李美丽等[7]对西南地区 2000~2015 年植被覆盖和 EVI 时空变化特征进行分析表明,西南地区近 15a 植被 EVI 整体呈波动增加趋势。此外,钟鼎杰和杨存建[8]对 2001~2020 年川西高原植被 EVI 时空变化特征进行分析,得出川西高原植被近 20a 植被 EVI 整体增加趋势,并与温度和降水成正相关的结论。

秦岭 - 淮河一线是中国比较公认的一条极为重要的南北地理分界线,学者们分别从不同的角度对秦岭地区的气候变化特征、植被覆盖区系、山地植被分布与环境梯度的关系,以及植被变化的时空差异进行了研究[9]。其中,在植被变化时空差异的研究方面:马新萍等[10]通过提取秦岭地区的物候参数,量化分析了气温对研究区植被物候的影响程度;张扬的研究[11]则是重点分析了极端气温变化对植被覆盖的影响程度;罗增奇等[12] [13]分析了秦岭不同地形区下植被 NDVI 指数变化情况;还有学者从人类活动与植被变化的角度进行分析,如杨亮彦[14]在提出了秦岭地区植被指数动态变化规律后,认为植被退化区主要受到了城镇化的影响。

然而,以上研究均是针对大区域尺度下的秦岭以及部分典型高山作为研究区域,而鲜将终南山作为

秦岭中部典型地段的植被变化情况单独研究, 即使有研究也集中在历史文化领域。因此, 本文选取陕西省境内秦岭中段终南山及邻近县域作为研究区, 探讨秦岭典型地区植被覆盖时空变化特征及对地形因子的响应, 为下一步探讨植被覆盖度变化影响因素及生态保护方向提供材料分析。

## 2. 研究区域与研究方法

### 2.1. 研究区概况

终南山位于秦岭中段陕西省境内( $E107^{\circ}37' \sim 109^{\circ}49'$ ,  $N33^{\circ}41' \sim 34^{\circ}22'$ ), 东起蓝田山, 西至太白山, 总面积约  $4800 \text{ km}^2$ , 是秦岭主峰之一(图 1) [15]。本文选取的研究区平均海拔高度在  $200 \sim 3700 \text{ m}$  之间, 最高峰为太白山。研究范围涉及陕西省西安市蓝田县、长安区、鄠邑区、周至县, 商洛市柞水县, 安康市宁陕县, 汉中市佛坪县、宝鸡市眉县、太白县部分地区。

终南山地处中国南北大陆板块碰撞拼合的主体部位, 横贯东西, 是中国天然的南北气候、生态、地质、地理分界线[16]。终南山蕴含丰富的动植物资源, 调查显示, 终南山世界地质公园有中高等植物约 2400 种左右, 其中有珍稀植物 100~300 种, 药植约 600 种, 花卉 900 多种; 兽类 50 多种, 鸟类 50 多种, 有朱鹮、羚牛等保护动物, 有“中国天然动物园”、“亚洲天然植物园”之称。对秦岭而言有一定典型性和代表性, 研究价值很高。

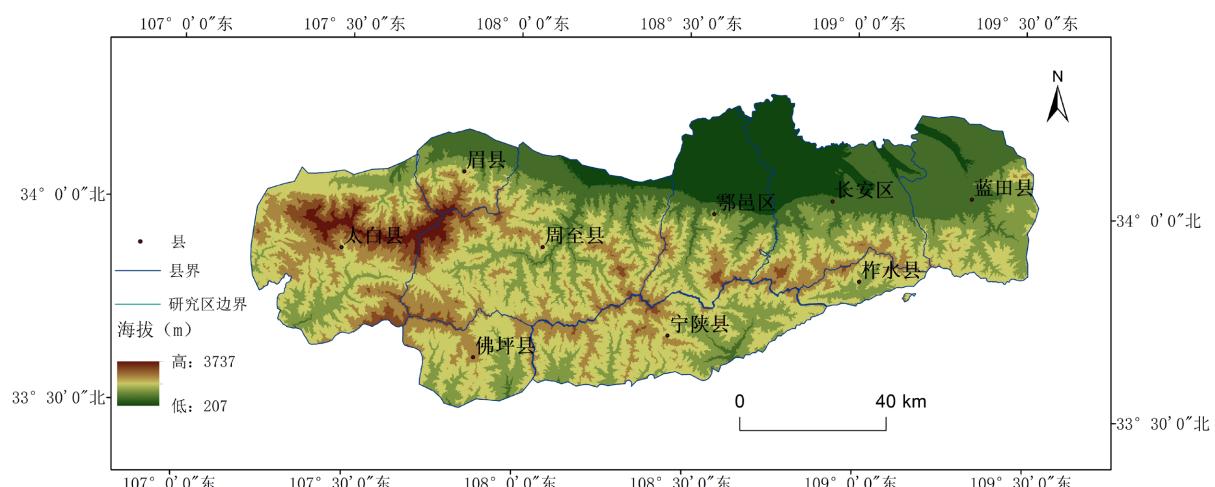


Figure 1. Scope of study area

图 1. 研究区范围

### 2.2. 数据来源与预处理

阅读文献发现[17], 当前用于测量反映植被变化的植被指数有很多, 其中 NDVI 是其中应用相对最广泛的一类, 但由于 NDVI 在高覆盖区容易饱和, 所以精度会受到一定的限制。程乾等[18]认为, 相比之下, 改进后的增强型植被指数(EVI)数据不容易饱和, 相比于 NDVI 对植被的监测性能更优, 更能区别对区域内的植被分布与变化, 提高对高生物量区的敏感度, 更适宜高生物量群体的监测。此外, 李文梅等[19]研究表明 MODIS EVI 相对于 MODIS NDVI 更考虑了土壤对植被指数的影响, 对气溶胶等也进行了进一步的校正, 精度有所提升。秦岭位于中国湿润区半湿润区分界线, 且植被密度高, 监测数据选择 MODIS EVI 相对来说更为合适。本文从 NASA 的官方数据档案中获取了研究区 2001~2020 年 Terra 卫星提供的 MODIS EVI 月合成植被指数数据, 数据集为 MOD13A3V006, 空间分辨率为  $1 \text{ km}$ 。通过 MODIS 处理工具 MRT 对 MODIS 数据进行坐标投影变换、拼接以及重采样处理, 处理后的数据转换成

WGS\_1984\_UTM\_Zone\_48N 投影, 空间分辨率为 250 m, 最后用 Arcgis 软件对研究区进行批量掩膜提取, 得到研究需要的终南山地段 2001~2020 年每月数据。

地形数据采用从地理空间数据云中获得的像元大小为 30 m × 30 m 的 DEM 高程数据。经过拼接、裁剪、投影变换等处理得到研究区 DEM 数据。然后综合考虑终南山范围高程和空间分辨率, 以 500 m 为间隔, 将研究区海拔进行重新分级。

### 2.3. 研究方法

#### 2.3.1. 最大值合成法

采用最大值合成法消除太阳高度角、云、气溶胶、大气等对 EVI 数据的影响[20]。利用 Arcgis 空间分析工具中的像元统计数据功能将预处理好的研究区月 EVI 数据进行最大值合成, 提取像元单位上一年内最大 EVI 指数, 合成的数据作为研究区 2001~2020 年 EVI 数据。

#### 2.3.2. 趋势分析法

趋势分析法是对指标不同时间段的变化趋势进行分析, 从而发现问题的一种分析方法[21]。论文通过分析植被覆盖年与年之间的变化特征来反映终南山地区 2001~2020 年间植被指数变化趋势及增长速率。公式为:

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n i \cdot C_i - \left( \sum_{i=1}^n i \right) \left( \sum_{i=1}^n C_i \right)}{n \cdot \sum_{i=1}^n i^2 - \left( \sum_{i=1}^n i \right)^2} \quad (1)$$

式中,  $n$  表示监测年数,  $C_i$  表示第  $i$  年的植被指数,  $\theta$  即为回归方程的斜率, 取值范围在 -1 到 1 之间, 当 slope 大于 0 时, 表示研究地区 EVI 值呈现增长趋势, 当 slope 小于 0 时, 则表示研究地区 EVI 值呈现降低趋势。

采用 F 检验进行趋势的显著性检验, 其中显著性表达的是趋势变化的可信程度[22]。公式为:

$$F = U \times \frac{n-2}{Q} \quad (2)$$

式中,  $U$  表示误差平方和,  $Q$  表示回归平方和, 公式为:

$$U = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (3)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4)$$

式中,  $y_i$  为第  $i$  年 EVI 值,  $\hat{y}_i$  为其回归值,  $\bar{y}$  为所研究时段的平均值,  $n$  为所研究的年数。根据趋势分析和 F 检验的结果将变化趋势划分为四个等级: 显著改善 ( $\theta_{\text{slope}} > 0, P < 0.05$ ); 显著退化 ( $\theta_{\text{slope}} < 0, P < 0.05$ ); 不显著改善 ( $\theta_{\text{slope}} > 0, P > 0.05$ ); 不显著退化 ( $\theta_{\text{slope}} < 0, P > 0.05$ )。

#### 2.3.3. 稳定性分析法

采用变异系数分析研究区 20 年 EVI 指数稳定性, 公式为:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{C}} \quad (5)$$

式中,  $\sigma$  为研究区 2001~2020 年的 EVI 年标准差, 公式为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2} \quad (6)$$

式中,  $C_i$  为研究区第  $i$  年 EVI 指数,  $\bar{C}$  为研究区多年平均植被指数。根据秦格霞等人的研究[23]将 EVI 指数波动性分为四个等级: 低波动( $C < 0.1$ ); 较低波动( $0.1 \leq C < 0.15$ ); 较高波动( $0.15 \leq C < 0.2$ ); 高波动( $C > 0.2$ )。

#### 2.3.4. Hurst 指数分析法

Hurst 指数是定量描述时间序列信息长期依赖性的有效方法[24]。Hurst 指数运算结果可以用来分析研究区未来植被指数变化趋势。定义  $t$  表示年份,  $T$  表示任意正整数,  $n$  表示总年数,  $x$  表示年植被指数,  $\bar{x}$  即为 2001~2020 年总平均植被指数。进行以下植被分析计算:

首先, 设立均值序列:

$$\bar{x}_{(T)} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T x_{(t)} \quad T = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

计算累积离差

$$P_{(t,T)} = \sum_{i=1}^T (x_{(i)} - \bar{x}_{(T)}) \quad 1 < t < T \quad (8)$$

计算极差

$$R_{(T)} = \max_{1 < t < T} P_{(t,T)} - \min_{1 < t < T} P_{(t,T)} \quad T = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

计算标准差

$$S_{(T)} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (x_{(t)} - \bar{x}_{(T)})^2} \quad T = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

对于比值  $R_{(T)}/S_{(T)} \triangleq R/S$ , 若存在  $R/S \propto T^H$ , 则说明分析的时间序列存在 Hurst 现象,  $H$  称为 Hurst 指数[25]。根据  $H$  值的计算结果可以推断 EVI 序列存在持续性或是反持续性。参照孙天瑶等[26]的分类,  $H$  的取值范围为在 0~1 之间, 以 0.5 为分界, 代表区域呈现持续性或反持续性, 其中  $H$  取值为 0.35~0.65 之间时, 区域植被变化呈现弱持续性。分为以下四种情况: (1) 当  $H$  取值为 0~0.35 时, 区域植被指数变化呈现强反持续特征。(2) 当  $H$  取值为 0.35~0.5 时, 区域植被指数变化呈现弱反持续特征。(3) 当  $H$  取值为 0.5~0.65 时, 区域植被指数变化呈现弱持续特征。(4) 当  $H$  取值为 0.65~1 时, 区域植被指数变化呈现强持续特征。

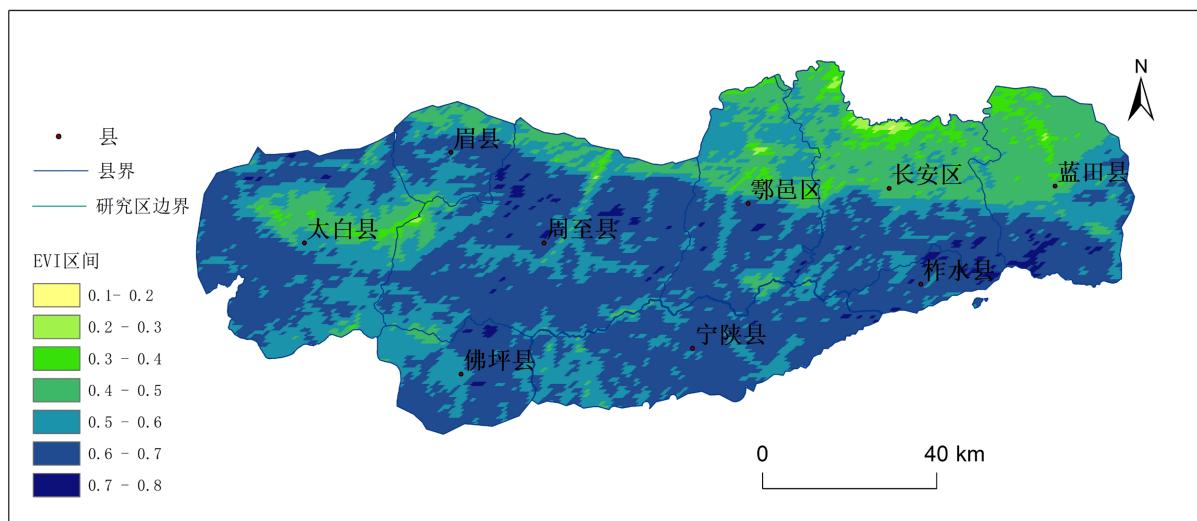
### 3. 结果与分析

#### 3.1. 空间分布特征及时间变化趋势

2001~2020 年间, 终南山地区多年平均 EVI 存在显著的空间差异(图 2): 研究区总体植被覆盖情况良好, 蓝色区域在图上分布占比较大, 主要连片出现在 1000~2500 m 海拔范围内的中高地区, 北部中低海拔地区分布较为零散; 绿色区域和黄色区域在图上分布占比较小, 主要分布在太白山附近高海拔区域以及蓝田县西北部、长安区、鄠邑区北部低海拔地区。

表 1 显示, 绝大部分区域多年平均植被指数在 0.4~0.7 区间内, 占总区域面积的 95.459%。其中植被指数在 0.6~0.7 之间的地区在研究区占比最大, 约为 49.782%, 其次是植被指数在 0.5~0.6 的地区, 约

占研究区的 28.042%，植被指数在 0.4~0.5 的地区约占研究区的 17.635%。而植被指数在 0.4 以下或 0.7 以上的地区占比较少，加起来不到 5%。表明研究区年均 EVI 值分布情况较为良好。



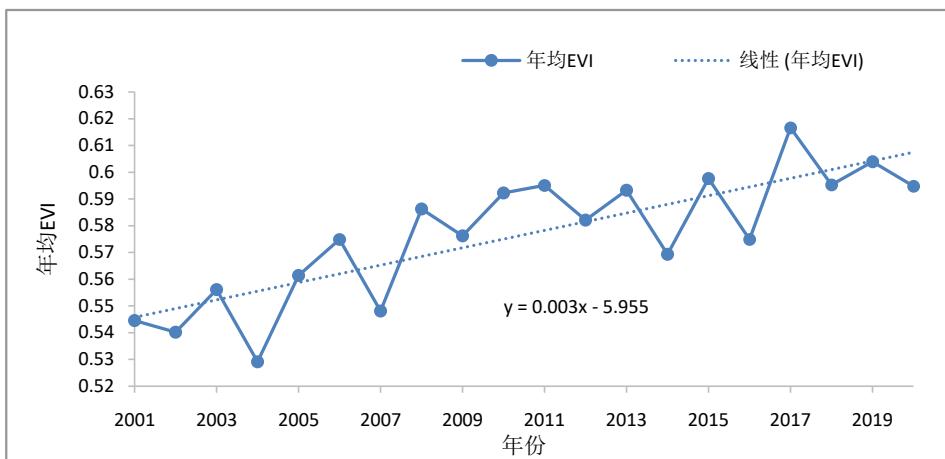
**Figure 2.** Spatial distribution of multi-year mean EVI in the study area  
**图 2.** 研究区多年平均 EVI 空间分布

**Table 1.** Proportion of EVI index area of different grades in the study area  
**表 1.** 研究区不同等级 EVI 指数面积占比

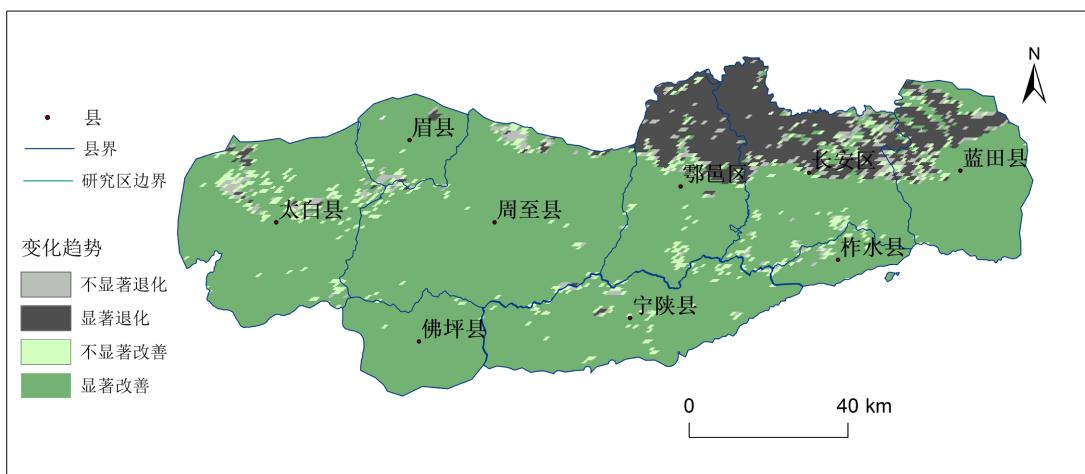
EVI 区间	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
0.1~0.2	0.875	0.008%
0.2~0.3	36.188	0.322%
0.3~0.4	328.938	2.930%
0.4~0.5	1980.063	17.635%
0.5~0.6	3148.5	28.042%
0.6~0.7	5589.438	49.782%
0.7~0.8	143.938	1.282%

如图3所示,终南山2001~2020年EVI指数呈波动上升趋势,年均EVI增长率为0.0032/a,最高值出现在2017年,EVI指数为0.6166,最低值出现在2004年,EVI指数为0.5291,两者相差0.0875。

随后,对研究区植被 EVI 变化趋势进行分析。利用 Arcgis 棚格计算器对终南山 2001~2020 年 EVI 数据进行趋势分析及显著性检验,得到近 20 年的 EVI 变化趋势图(图 4)。将绿色区域作为改善区,灰色区域为退化区,其中深色区域为变化趋势显著区域,浅色区域为变化趋势不显著区域。图中显示代表显著改善的深绿色区域占比最大,代表显著退化的深灰色区域其次,表明研究区植被覆盖变化趋势具有显著性,且以显著性改善为主,其中北部鄂邑区、长安区以及蓝田县西部低海拔地区呈现大面积的显著退化趋势。代表变化趋势不显著的浅色区域分布较为零散,且占比较少,各个县域皆有分布,其中长安区、蓝田县北部、鄂邑区、宁陕县以及西部太白山海拔 2000 m 以上区域分布较密集。



**Figure 3.** Annual trend of EVI index in the study area  
**图 3.** 研究区 EVI 指数年均变化趋势



**Figure 4.** Multi-year variation trend of EVI value in the study area  
**图 4.** 研究区 EVI 值多年变化趋势

基于研究区 20 年 EVI 值趋势分析结果, 将变化趋势分为四个等级。如表 2 所示: 按显著性与非显著性变化区分, 92.588% 的区域 EVI 值变化显著, 7.412% 的区域 EVI 值变化不显著, 表明研究区多年 EVI 值变化趋势呈现显著性特征; 按改善与退化趋势区分, 85.693% 的区域多年 EVI 值呈现上升趋势, 14.307% 的区域多年 EVI 值呈现下降趋势, 表明研究区多年 EVI 值总体呈现向好改善的趋势。其中 81.246% 的区域 EVI 值呈显著改善趋势, 占比最大。

**Table 2.** Area proportion of different changing trends  
**表 2.** 不同变化趋势区域面积占比

变化程度 (Change Degree)	面积/km <sup>2</sup> (Area/km <sup>2</sup> )	百分比/% (Percentage %)
不显著退化(slope < 0, P > 0.05)	332.813	2.965%
显著退化(slope < 0, P < 0.05)	1273.188	11.342%
不显著改善(slope > 0, P > 0.05)	499.188	4.447%
显著改善(slope > 0, P < 0.05)	9120.25	81.246%

### 3.2. 稳定性分析

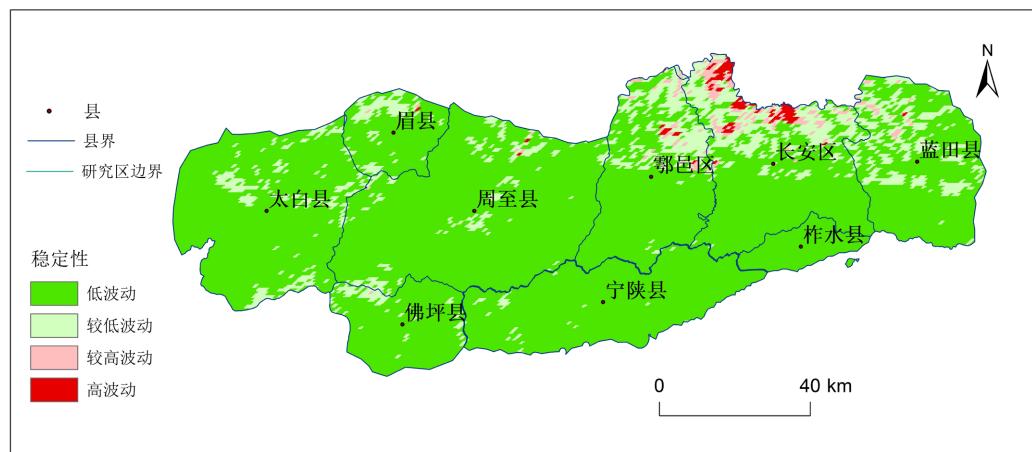
研究区变异系数平均值为 0.079, 小于 0.15, 表明变化相对稳定, 但在空间分布上仍存在一定的分异。基于终南山地区 20 年 EVI 值稳定性分析计算结果和实际情况, 将变异分为四个等级。如表 3 所示: 终南山变异系数集中分布在小于 0.1 的区间, 面积约为  $9535.813 \text{ km}^2$ , 占总面积的 84.929%, 该地区植被指数处于低波动状态。12.982% 地区变异系数在 0.1~0.15 之间, 面积约为  $1457.563 \text{ km}^2$ , 该地区植被指数处于较低波动状态, 二者共占总研究区面积的 97.911%, 剩下的植被指数高波动与较高波动区域面积占比不到 2% [27], 表明研究区多年 EVI 值不稳定区域占比极少。

**Table 3.** The proportions of different levels of EVI stability in the study area

**表 3.** 研究区 EVI 值不同等级稳定性占比

稳定性	面积/ $\text{km}^2$	百分比/%
低波动( $C_V < 0.1$ )	9535.813	84.929%
较低波动( $0.1 \leq C < 0.15$ )	1457.563	12.982%
较高波动( $0.15 \leq C < 0.2$ )	160.688	1.431%
高波动( $C > 0.2$ )	73.875	0.658%

随后, 对终南山地区多年平均 EVI 植被指数稳定性空间差异进行分析(图 5): 绿色区域代表低波动区域, 变异系数小于 0.15, 其中深绿色区域变异系数小于 0.1, 在研究区中占比最大, 表明研究区大部分地区 EVI 指数变化稳定, 红色区域代表高波动区域, 变异系数大于 0.15, 代表区域 EVI 指数存在离散现象, 在研究区中占比较小, 主要分布在蓝田县、长安区和鄠邑区北部部分地区。



**Figure 5.** EVI values for stability in the study area

**图 5.** 研究区 EVI 值多年稳定性

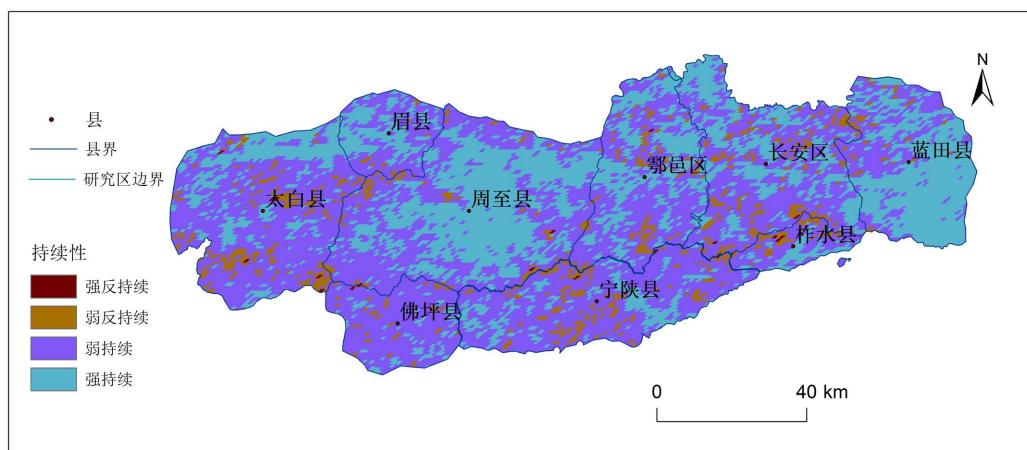
### 3.3. 未来变化趋势预测

研究区 EVI 的 Hurst 均值为 0.61, 表明终南山地区 EVI 值变化与目前总体保持一致。基于研究区 20 年 EVI 值 Hurst 指数运算结果, 将变异划分为四个等级。如表 4 所示: 大部分地区植被指数变化呈现弱持续性, 面积为  $6312.625 \text{ km}^2$ , 占总区域面积的 56.22%, 部分区域植被指数呈现强持续性, 面积为  $4213.063 \text{ km}^2$ , 占总区域面积的 37.52%, 表明 93.74% 区域变化趋势将会持续到未来, 6.26% 区域未来变化趋势与现在相反。

**Table 4.** Area proportion of EVI index under different levels of persistence  
**表 4. 不同等级持续性下 EVI 指数面积占比**

持续性	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
强反持续	16.563	0.148%
弱反持续	685.688	6.107%
弱持续	6312.625	56.222%
强持续	4213.063	37.523%

研究区多年平均 EVI 植被指数持续性分析(图 6): 根据 Hurst 指数运算结果进行重分类, 蓝色区域(Hurst 指数大于 0.5)代表区域 EVI 指数变化呈现持续性, 占研究区的绝大部分; 棕色部分(Hurst 指数小于 0.5)代表区域 EVI 指数变化呈现反持续性变化, 呈零散分布。



**Figure 6.** Persistence analysis of EVI index in the study area  
**图 6. 研究区 EVI 指数持续性分析**

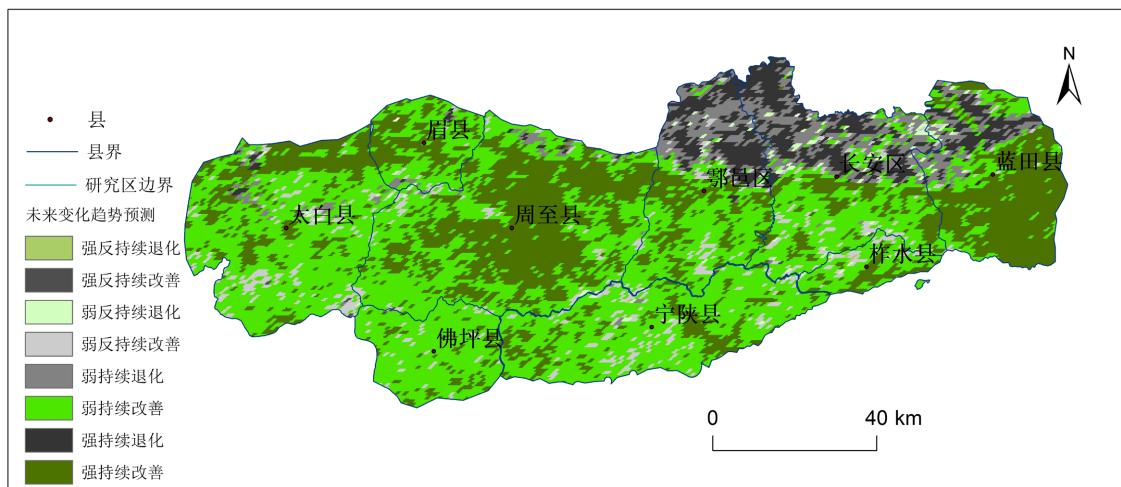
将 EVI 植被指数变化趋势与 Hurst 指数进行叠加分析, 预估未来变化。

表 5 显示, 研究区未来 EVI 指数预测会改善的地区占总面积的 81.225%, 预测会退化的区域占总面积的 18.775%。其中 49.334% 地区呈现弱持续改善, 接近总区域面积的一半, 占比最大, 其次是呈现强持续改善趋势的地区, 占总面积的 30.998%, 而预测退化强烈的区域占总面积的 6.617%。

**Table 5.** The area proportion of different future change trends of EVI index in the study area  
**表 5. 研究区 EVI 指数未来不同变化趋势面积占比**

未来变化趋势	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
强反持续退化	5.25	0.047%
强反持续改善	11.3125	0.101%
弱反持续退化	95	0.846%
弱反持续改善	590.6875	5.262%
弱持续退化	774.1875	6.896%
弱持续改善	5538.4375	49.334%
强持续退化	731.5625	6.516%
强持续改善	3479.9375	30.998%

随后, 对研究区未来 EVI 指数预测趋势空间差异进行分析: 图 7 中, 绿色区域代表 EVI 指数预测会改善的地区, 灰色区域代表 EVI 指数预测会退化的区域。未来植被退化区依旧集中在北部鄂邑区、长安区以及蓝田县西部低海拔地区。



**Figure 7.** Prediction of future change trend of EVI index in the study area  
**图 7.** 研究区 EVI 指数未来变化趋势预测

#### 4. 结论

本文以秦岭典型地段终南山为主要研究区域, 基于 MOD13A3 数据中的 EVI 指数以及 ASTER GDEM 数据处理结果分析了终南山 2001~2020 年植被覆盖度时空变化特征及研究区植被指数变化对地形因子的响应。主要结论如下:

- (1) 总体上, 研究区绝大部分多年平均植被指数在 0.4~0.7 之间, 占总面积的 95.459%, 年均 EVI 呈现波动上升的总趋势, 年均 EVI 增长率为 0.0032/a, 区域植被变化也以显著性改善为主要趋势, 显著改善区占总面积的 81.246%, 表明终南山地区总体 EVI 分布情况良好。
- (2) 年 EVI 值大部分地区波动较低, 稳定性良好, 变异系数在 0.15 以下的地区约占研究区总面积的 97.91%, 表明研究区 EVI 指数总体稳定性良好。叠加分析 Hurst 指数与 EVI 值变化趋势, 结果表明, 研究区未来 EVI 值变化趋势以大面积改善为主, 预测会改善的区域占总区域面积的 81.225%。
- (3) 低海拔的鄂邑区、长安区北部、蓝田县西部以及高海拔的太白山附近县域植被覆盖情况堪忧, 植被指数波动较高, 大面积区域呈现退化趋势, 且未来仍会持续, 植被呈现低覆盖、高波动以及显著性退化的特征。

#### 项目资助

2023 年度河南省社科联调研课题(SKL-2023-963); 郑州师范学院“课程思政”示范课程(KCSZSFKC-222030)。

#### 参考文献

- [1] 伍良旭, 王晗, 邵怀勇, 等. 川西高原植被时空格局及其对气候变化的响应[J]. 水土保持研究, 2021, 28(1): 171-178.
- [2] 陈燕丽, 罗永明, 莫伟华, 等. MODIS NDVI 与 MODIS EVI 对气候因子响应差异[J]. 自然资源学报, 2014, 29(10):

- 1802-1812.
- [3] 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.
- [4] Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., et al. (2007) Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-Density Cypress Forest. *Sensors*, 7, 2636-2651. <https://doi.org/10.3390/s7112636>
- [5] Brando, P.M., Goetz, S.J., Baccini, A., et al. (2010) Seasonal and Interannual Variability of Climate and Vegetation Indices across the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 14685-14690. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908741107>
- [6] Setiawan, Y., Yoshino, K. and Prasetyo, L.B. (2014) Characterizing the Dynamics Change of Vegetation Cover on Tropical Forestlands Using 250m Multitemporal MODIS EVI. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 132-144. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.06.008>
- [7] 李美丽, 尹礼昌, 张园. 基于 MODIS-EVI 的西南地区植被覆盖时空变化及驱动因素研究[J]. 生态学报, 2021, 41(3): 1138-1147.
- [8] 钟鼎杰, 杨存建. 2001-2020 年川西高原植被 EVI 时空变化特征及气候因子驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2022, 29(4): 223-230.
- [9] 覃巧婷, 陈建军, 杨艳萍, 等. 黄河源植被时空变化及其对地形和气候的响应[J]. 中国环境科学, 2021, 41(8): 3832-3841.
- [10] 马新萍, 白红英, 贺映娜, 等. 基于 NDVI 的秦岭山地植被遥感物候及其与气温的响应关系-以陕西境内为例[J]. 地理科学, 2015, 35(12): 1616-1621.
- [11] 张扬. 近 56a 秦岭极端气温时空变化及其对植被覆盖的影响[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2018.
- [12] 罗增奇, 成军锋, 仇宽彪, 等. 2000-2017 年秦岭地区植被覆盖时空变化特征研究[J]. 陕西林业科技, 2018, 46(4): 14-21.
- [13] 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.
- [14] 杨亮彦. 秦岭地区植被指数动态变化研究[J]. 绿色科技, 2020(13): 35-36.
- [15] 张德丽, 王匆. 西安终南山人文资源的保护、利用和开发[J]. 西安建筑科技大学, 2011, 29(2): 125-127.
- [16] 马骞, 王世超, 杨建平. 地质公园科普宣传现状及发展对策——以秦岭终南山世界地质公园为例[J]. 产业与科技论坛, 2014, 13(6): 137-138.
- [17] 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.
- [18] 程乾, 黄敬峰, 王人潮. MODIS 和 NOAA/AVHRR 植被指数差异初步分析[J]. 科技通报, 2005, 21(2): 205-209.
- [19] 李文梅, 覃志豪, 李文娟, 等. MODIS NDVI 与 MODIS EVI 的比较分析[J]. 遥感信息, 2010(6): 73-78.
- [20] 邓晨晖, 白红英, 马新萍, 等. 2000-2017 年秦岭山地植被物候变化特征及其南北差异[J]. 生态学报, 2021, 41(3): 1068-1080.
- [21] 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.
- [22] 杨强, 王婷婷, 陈昊, 等. 基于 MODIS EVI 数据的锡林郭勒盟植被覆盖度变化特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(22): 191-198.
- [23] 秦格霞, 芦倩, 孟治元, 等. 1982-2015 年中国北方草地 NDVI 时空动态及其对气候变化的响应[J]. 水土保持研究, 2021, 28(1): 101-108, 117.
- [24] 刘宪锋, 任志远, 林志慧, 等. 2000-2011 年三江源区植被覆盖时空变化特征[J]. 地理学报, 2013, 68(7): 897-908.
- [25] 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等. 2000-2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7798-7806.
- [26] 孙天瑶, 李雪梅, 许民, 等. 2000-2018 年塔里木河流域植被覆盖时空格局[J]. 干旱区地理, 2020, 43(2): 415-424.
- [27] 王群, 赵卫丽, 张运鑫. 基于 FVC 指数的松嫩平原生态环境变化研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(S1): 164-167.