

气候变化和人类活动对陕西省植被NDVI变化的影响分析

杨超贞

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2025年8月19日; 录用日期: 2025年10月21日; 发布日期: 2025年10月31日

摘 要

本文基于2000~2022年MODIS NDVI数据, 结合气象资料与残差分析法, 定量揭示陕西省植被覆盖变化的时空特征及驱动机制。结果表明: (1) 全省NDVI以0.005/a速率显著上升, 空间上陕北增速 > 陕南 > 关中; (2) 气温与NDVI正相关性($R = 0.469$)强于降水($R = 0.0359$), 其中气温对陕南影响最显著, 降水对陕北贡献最大; (3) 人类活动整体促进植被恢复, 退耕还林政策区NDVI提升显著, 关中城市扩张区呈局部负效应。研究表明, 气候变化是陕西省NDVI变化的强相关因子, 人类活动也是造成陕西省NDVI变化的重要因素。

关键词

植被NDVI, 气候变化, 时空变化, 人类活动

Impact Analysis of Climate Change and Human Activities on NDVI Changes in Vegetation in Shaanxi Province

Chaozhen Yang

College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: August 19, 2025; accepted: October 21, 2025; published: October 31, 2025

Abstract

Based on MODIS NDVI data from 2000 to 2022, combined with meteorological data and residual analysis, this paper quantitatively reveals the spatiotemporal characteristics and driving mechanisms of vegetation cover change in Shaanxi Province. The results showed that: (1) the NDVI in the province increased significantly at a rate of 0.005/a, and the growth rate in northern Shaanxi was > southern Shaanxi > Guanzhong; (2) The positive correlation between temperature and NDVI ($R = 0.469$) was stronger than that of precipitation ($R = 0.0359$), among which temperature had the most significant effect on southern Shaanxi and precipitation contributed the most to northern Shaanxi. (3) Human activities promote vegetation restoration as a whole, and the NDVI in the policy area of returning farmland to forest has increased significantly, while the urban expansion area in Guanzhong has a local negative effect. The results show that climate change is a strong correlation factor for NDVI change in Shaanxi Province, and human activities are also an important factor for NDVI change in Shaanxi Province.

Keywords

Vegetation NDVI, Climate Change, Spatiotemporal Change, Human Activities

Copyright © 2025 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

自 20 世纪 70 年代开始, 全球平均气温上升了 0.74°C , 伴随着全球气候变化的加剧和人类活动的区域不断增加, 全球变暖和环境破坏及其带来的影响已然成为各国面临的重要挑战[1]-[3]。植被是陆地生态系统的重要组成部分[4], 良好的植被覆盖对于维持气候稳定、促进陆地水循环和碳平衡以及改变地表条件等方面发挥着重要作用[5] [6], 通常作为区域生态环境变化的“指标” [7] [8]。气候和人类活动是控制和影响植被空间分布及其变化的基本驱动力[9] [10]。归一化植被指数 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)是包括对草地、农田和森林等各种生态系统的植被群落的数量进行计算, 并将其植被指数乘以一个系数作为植被覆盖率指标, 可以反映群落中植被覆盖面积的平均程度, 通常用来评价植被覆盖度[11], 定量地反映植被净初级生产力、冠层覆盖面积和生物量等信息, 为植被的生长状况提供客观评价[12] [13]。近年来, 许多学者基于 NDVI 数据对不同区域的植被变化及其影响因素开展了研究, 发现植被变化受到气候变化和人类活动的双重影响, 并呈现明显的空间异质性[14] [15]。对陕西省植被 NDVI 时空分布特点及变化趋势进行研究, 有利于认识陕西省植被覆盖的分布规律[16], 了解植被覆盖变化与自然因子和人类活动间的协同影响[17], 对陕西省如何响应气候变化及区域研究具有重要意义[18]。

2. 研究区概况与数据方法

2.1. 研究区概况

陕西省是我国的省级行政区, 省会是西安, 简称为“陕”或者“秦”, 位于我国中部, 介于东经 $105^{\circ}29' \sim 111^{\circ}15'$, 北纬 $31^{\circ}42' \sim 39^{\circ}35'$ 之间(见图 1)。地域狭长, 地势南北高, 中间低[19]。地形由高原、山地、平原和盆地等组成。陕西南北绵延至 800 公里以上, 横跨三种气候带, 陕西省境内南北间气候的特

征明显不同。陕西省春季干燥，降水量较少，回温快，风沙天气较多；夏季气温高且降水较多；秋季凉爽且较湿润；冬季寒冷干燥，气温低，雨雪较少。

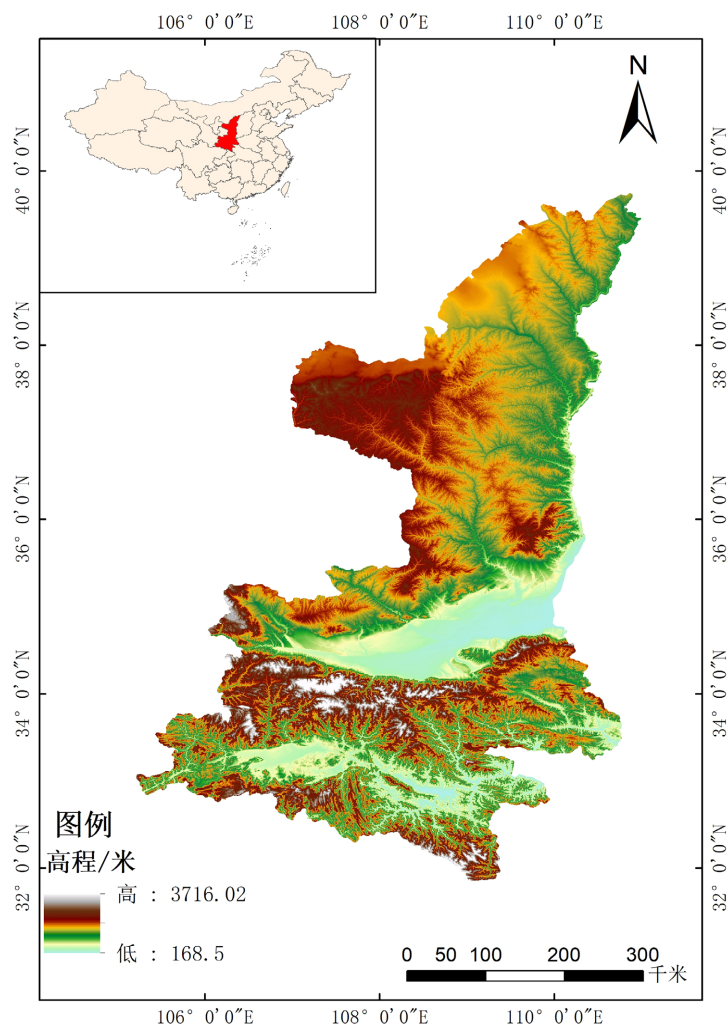


Figure 1. Study area profile
图 1. 研究区概况图

2.2. 数据来源与处理

本文使用的植被覆盖数据是 2000 年到 2022 年的 MODIS NDVI 数据，出自美国国家航空航天局 NASA 发布的 MODIS 数据产品，空间分辨率为 250 m，时间分辨率为 16 d。为了降低了云、雾、雨和雪等因素对数据的影响，用 ERDAS 软件对图像进行了空间校正、辐射校正以及水、云、重气溶胶等预处理，保证了数据质量。再通过 EXCEL 进行计算获得陕西省 2000~2022 年平均 NDVI 值。

气温和降水数据来源于国家气象信息中心(<http://data.cma.cn/>)。选取了陕西省 2000~2022 年各气象站点的监测数据，包括每个站点的生长季月均温及降水量等气象数据。在 ArcGIS 中将得到的数据先统一坐标系及其行列值，再经过掩膜处理裁剪数据，最后在栅格计算器中输入公式，分析出气温和降水与植被 NDVI 的相关性，同时生成相关性关系图。气温与降水量数据与植被 NDVI 的相关性系数图将陕西省 NDVI 与气温和降水量的关系可视化，使人们能更加直观地看出其关系的紧密程度。

2.3. 研究方法

2.3.1. Pearson 相关分析法

为了分析自然因子对植被 NDVI 的影响程度, 本文采用皮尔逊(Pearson)相关分析法对每一个像元的植被 NDVI 数据与气温和降水进行相关性分析, 相关性分析法可以表达出两个变量之间的相关关系即联系的紧密程度, 从而分析气候因素对全省 NDVI 的影响。其计算公式为:

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

其中, R_{xy} 是变量 x 和 y 之间的相关系数, 其阈值为 $[-1, 1]$; x_i 表示第 i 年的平均 NDVI 值; y_i 表示第 i 年的自然因子数据; $\bar{x}$ 表示陕西省 NDVI 的年平均值; $\bar{y}$ 表示自然因子的年均值; n 为总年数, 本文选取 2000~2022 年数据, 共 23 年, 即在该研究中 $n = 23$ 。当 $R_{xy} > 0$ 时, 呈正相关关系; 当 $R_{xy} < 0$ 时, 呈负相关关系。

2.3.2. 一元线性趋势分析法

为反映 NDVI 的变化, 本文采用一元线性趋势分析法分析研究 2000~2022 年陕西省植被 NDVI 数据年际变化特征、三大地理区的变化差异以及随季节变化的特征, 以单个像元时间变化特征反映整个空间变化规律综合反映区域时空格局演变[20]。计算公式为:

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

其中, θ_{slope} 代表 NDVI 的变化斜率, i 代表年份即第几年, n 为研究年数, 本文中 $n = 23$; $NDVI_i$ 为第 i 年的 NDVI 值。

另外, 本研究采用系数 R^2 来判断回归模型的拟合度。 R^2 的计算公式如下:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - e_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

其中, x_i 为第 i 年 NDVI 的实际值; e_i 为第 i 年的 NDVI 预估值; $\bar{x}$ 为真实数据的平均值; n 为研究年数, 本文中 $n = 23$ 。

2.3.3. 最大值 MVC 法

首先利用 MRT 工具对原始数据进行批量拼接、投影、转换等处理; 然后在 ArcGIS10.8 中利用陕西省行政区划矢量边界进行裁剪, 最后将 4~10 月及 1~12 月的数据分别取均值得到陕西省月 NDVI 数据及年 NDVI 数据[21]。

$$NDVI_i = \text{Max}(NDVI_{ij})$$

上述公式中: $NDVI_i$ 是第 i 月的 NDVI 值, $NDVI_{ij}$ 是第 i 年第 j 月的 NDVI 值。

2.3.4. 残差分析法

为了研究 2000~2022 年陕西省 NDVI 受人类活动影响的变化, 采用残差分析法揭示出人类活动对陕西省 NDVI 变化的影响[22] [23], 其公式为:

$$D_{xy} = NDVI_{xy}^{t1} - NDVI_{xy}^{t2}$$

其中, D_{xy} 为第 x 行 y 列像元的差值; 其中 t_1 、 t_2 为不同图像间的时间; x 、 y 表示的是图像内第 x 行 y 列栅格。

3. 结果与分析

3.1. 陕西省植被覆盖度时间变化特征

根据陕西省 2000 年~2022 年月 NDVI 数据计算得陕西省年平均 NDVI 数据来代表当年的 NDVI 情况, 得到陕西省植被覆盖度年际变化趋势曲线, 如图 2 所示。从陕西省年平均植被覆盖 NDVI 数据可得, 2000~2022 年陕西省 NDVI 整体呈稳步上升的趋势, 但年际间有微小波动, 增长速率为 0.005/a, 增长幅度为 28.95%。年平均 NDVI 最小值为 0.40103, 出现在 2001 年, 最大值为 0.51712, 出现在 2021 年。其中, 2012~2014 年植被覆盖度变化趋势较大, 这可能是陕西省大力实施生态工程建设的结果[24]。总体上来看, 2000 年~2022 年陕西省年植被 NDVI 呈现出在 0.4~0.52 之间小范围的波动。

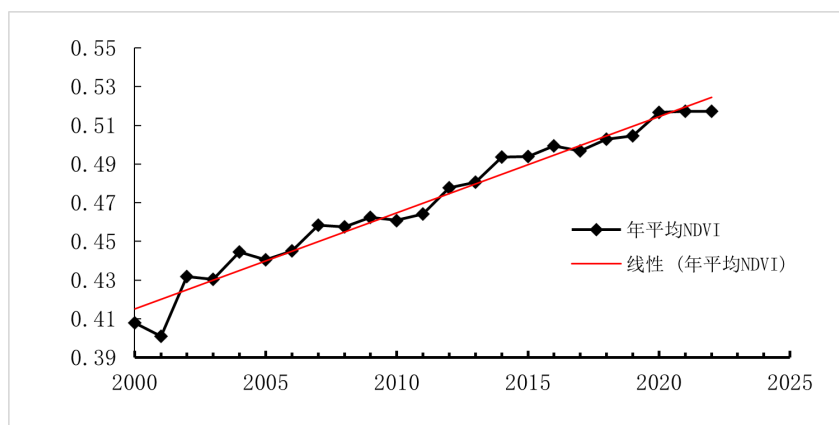


Figure 2. Trend chart of average NDVI change from 2000 to 2022

图 2. 2000~2022 年平均 NDVI 变化趋势图

3.2. 陕西省植被覆盖度空间变化特征

陕西省位于我国中西部地区, 按照地貌特征可以分为三个地理区域, 分别是陕北、关中和陕南[25]。三个地理区域的气候、地势、风俗等各不相同。陕北是指陕西省北部地区, 地势由西北向东南倾斜, 包括延安市和榆林市两个市区。关中地区位于陕西的中部, 地势平坦, 包括六个市区。陕西的南部地区被称为陕南, 位于秦岭-淮河线以南, 秦岭淮河线是我国南北方的分界线, 所以陕南与关中和陕北的气候和环境差异很大。由于三大地理区域的地区差异较大, 因此将陕西省 NDVI 的变化分别从这三个区域入手。

根据 2000~2022 年 NDVI 变化的趋势图(如图 3)可以得出, 陕北地区 NDVI 呈逐步上升的趋势, 并且增长速度达到了 6.4%。其中, 最高数值出现在 2022 年, 植被覆盖率达到了 38.5%。最小数值出现在 2000 年, 植被覆盖率达到 24%。22 年间陕北地区植被覆盖度增长了 14.5%。关中地区 NDVI 呈逐步上升的趋势, 增长速度达到了 3.9%, 相对于陕北地区来说增速较慢且波动较大。其中, 最高数值出现在 2020 年, 植被覆盖率达到了 53.7%。最小数值出现在 2001 年, 植被覆盖率达到 43.7%。23 年间关中地区植被覆盖度增长了 10%。陕南地区 NDVI 呈逐步上升的趋势, 增长速度达到了 4.8%。其中, 最高数值出现在 2020 年, 植被覆盖率达到了 65.5%。最小数值出现在 2001 年, 植被覆盖率达到 54.1%。23 年间陕南地区植被覆盖度增长了 11.4%。

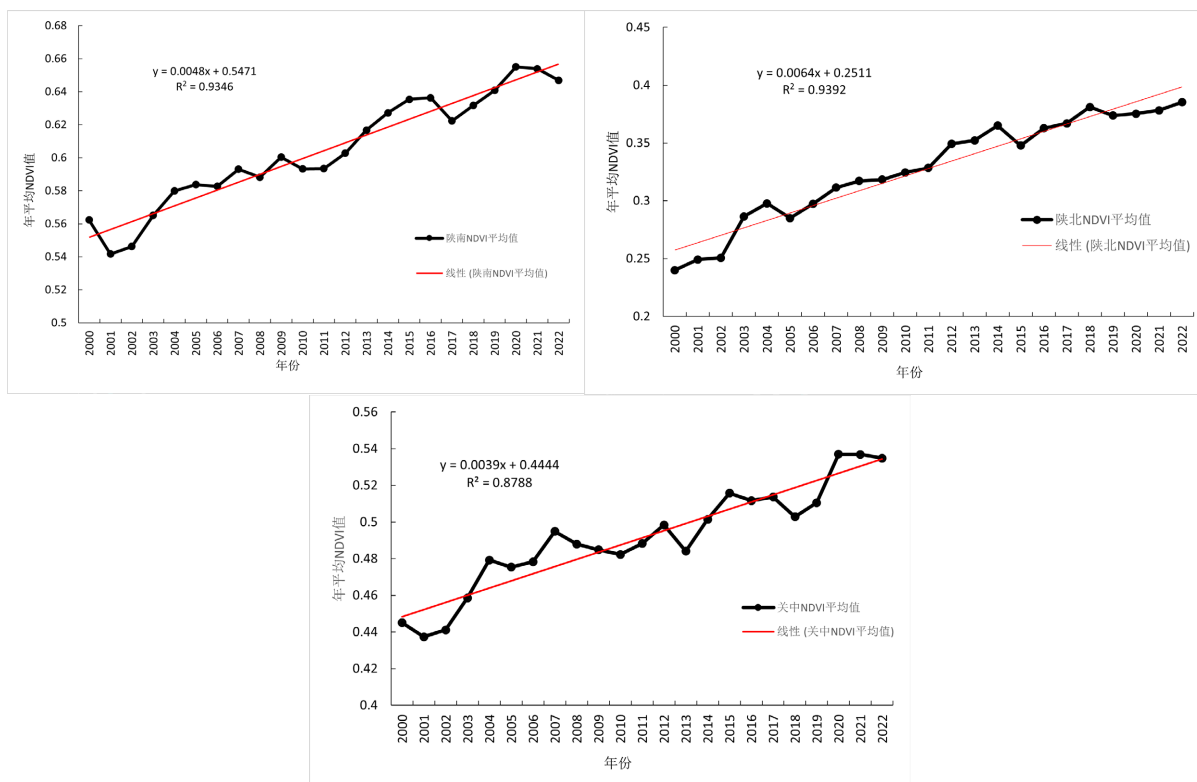


Figure 3. 2000~2022 NDVI trend chart of northern Shaanxi, Guanzhong and southern Shaanxi

图 3. 2000~2022 陕北、关中、陕南 NDVI 变化趋势图

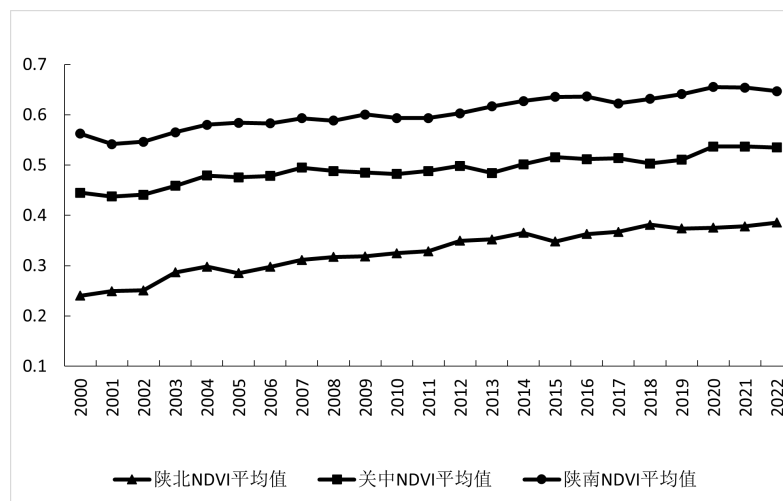


Figure 4. 2000~2022 annual average NDVI trend chart of northern Shaanxi, Guanzhong and southern Shaanxi

图 4. 2000~2022 陕北、关中、陕南年平均 NDVI 趋势图

根据陕西省市级 NDVI 数据以及三大地理区域的植被覆盖变化趋势图,如图 4,可得出以下信息:陕南的植被覆盖率最大,植被覆盖度约在 50%~70%之间;其次是关中地区,植被覆盖度约在 40%~55%之间;最后是陕北地区,其植被覆盖度约在 20%~40%之间。2000 年~2022 年间陕北、关中和陕南 3 个地区的植被覆盖度的变化速度不尽相同。其中,陕北地区改善最为明显,增速在三个地区中是最大,其植被 NDVI 从 2000 年的 24.0%增加到 2022 年的 38.5%,年增加幅达 0.0063/a;陕南地区植被 NDVI 也呈现出

增长的趋势,但是陕南地区的植被覆盖增速较为缓和,植被覆盖度从2000年的56.2%增加到2022年的64.7%,年平均增加幅达0.085/a;而关中地区植被覆盖呈波动式增长的趋势,植被覆盖度从2000年的44.5%增加到2022年的53.5%,上升了9%。

总的来说,陕西省2000~2022年植被NDVI在空间上呈现出整体增长的趋势,但增长速度不一,其植被覆盖度增长速度陕北>陕南>关中。即变化趋势具有区域性和阶段性的特点。

3.3. 气候变化对植被NDVI的影响

气温和降水的变化会影响到植被的生长情况。为了探究陕西省植被覆盖率NDVI变化对气温和降水的响应机制,利用Pearson相关性分析法从年际尺度上对陕西省2000~2022年平均NDVI与年降水量和年平均气温进行相关性分析并检验,从而分析气候变化对陕西省植被覆盖率NDVI空间分布的影响。

由图5可以得出,2006年的气温最高,最低气温出现在2003年。总体趋势在2014年出现变化,2014年之前气温变化的幅度较大,2014年之后气温保持稳步增长的状态。由此可以表明陕西省的气温呈现出上升的趋势,但增长幅度不大且有波动。

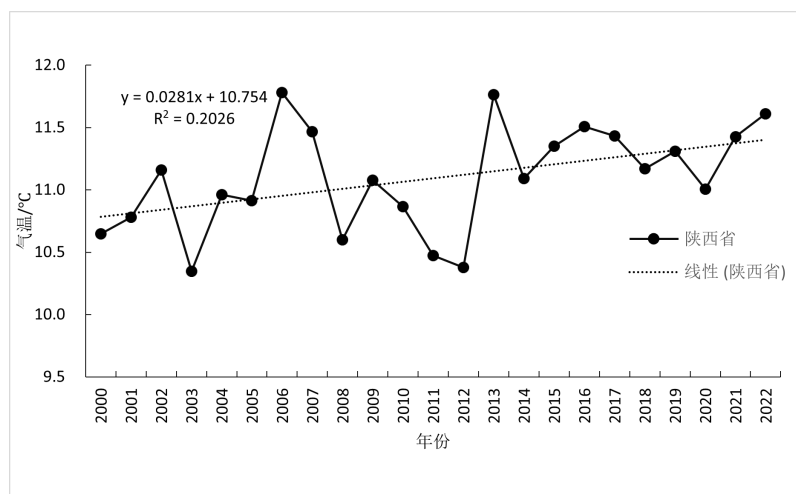


Figure 5. Temperature change trend map of Shaanxi Province from 2000 to 2022
图5. 2000~2022年陕西省气温变化趋势图

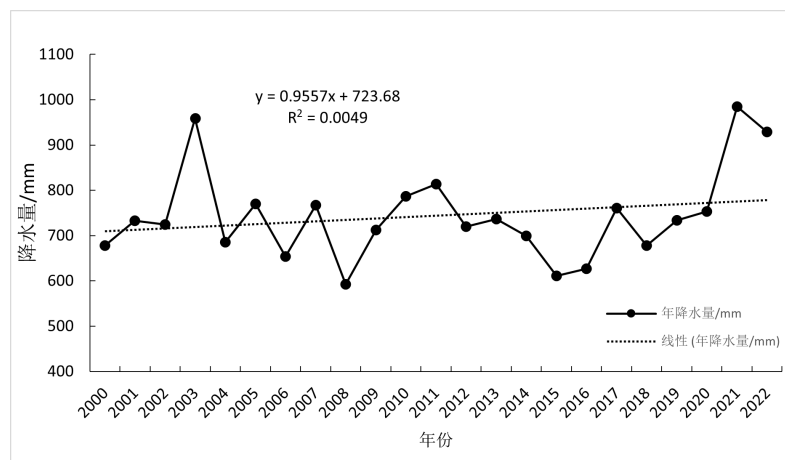


Figure 6. Trend of precipitation in Shaanxi Province during growing season from 2000 to 2022
图6. 2000~2022年陕西省生长季降水量变化趋势图

水也是影响植被覆盖率的主要因子。本文选取了生长期(4~10月)的降水量数据。由图6可以看出,陕西省年降水量的变化幅度总体呈现出波动的趋势,2008年降水量最低,降水量只有592.44 mm;2021年降水量最高,达到984.47 mm。自2015年以后生长季降水量呈现增长趋势,2022年降水量有所下降。

根据Excel CORREL函数算得陕西省2000至2022年平均NDVI与年平均气温的相关系数为0.469,说明陕西省NDVI与气温呈正相关关系。陕西省2000~2022年平均NDVI与年平均气温的相关性分析结果如图7所示,由图可知呈负相关关系的区域主要分布在陕北榆林市的西部、延安市中部以及关中地区大部分,其余地区均以正相关为主,且正相关的区域大于负相关的区域。此外,陕南的正相关程度最强。经过显著性检验,陕西省通过显著性检验($p < 0.05$)的区域主要分布在陕南地区,主要在商洛市和安康市的山区。由此可以说明陕西省气温对陕南地区的植被覆盖变化的影响强于陕西省的其他地区,其中西安市和渭南市植被覆盖受到气温的影响最小。并且,陕西省三大地理区域NDVI受气温影响程度为陕南 > 陕北 > 关中。由此可以说明气温是影响陕西省NDVI的主要因素之一。

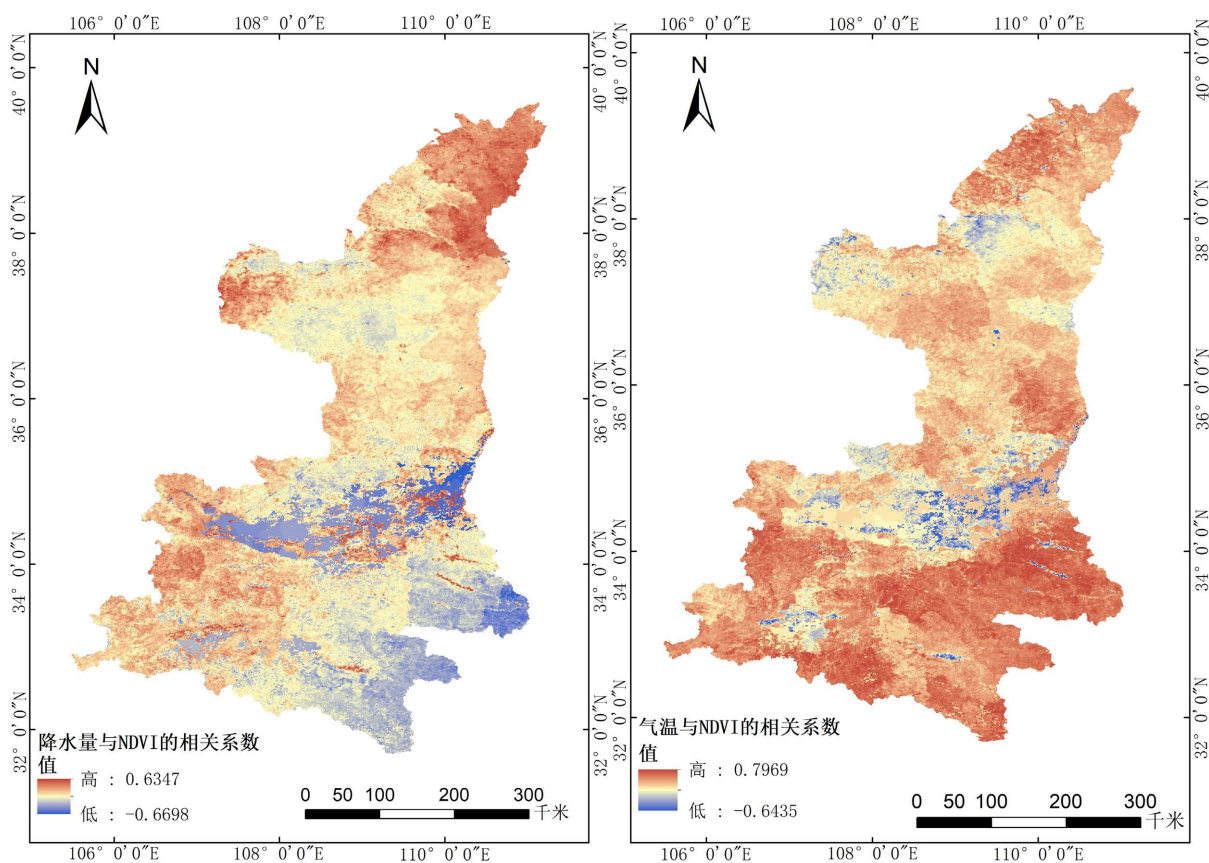


Figure 7. Correlation coefficients between NDVI and air temperature and precipitation in growing season

图 7. 生长季 NDVI 与气温、降水的相关系数

根据Excel CORREL函数算得陕西省2000至2022年平均NDVI与生长季降水量的相关系数为0.0359,说明陕西省生长季NDVI与降水量呈正相关关系,但相关性小于与气温的相关性。陕西省年平均NDVI与降水量的相关性分析结果如图7所示,由图可知陕西省生长季NDVI与其降水量之间存在正相关区域主要分布在陕北地区关中部分地区以及陕南的少部分地区,并且正相关区域大于负相关区域。此外,陕西省三大地理区域生长季NDVI受降水量影响的程度为陕北 > 关中 > 陕南。通过显著性检验($p < 0.05$)

的区域主要分布在陕北榆林以及陕南汉中的部分地区,由此说明降水是影响陕西省生长季 NDVI 的因素。

基于气温、降水量双因子的 NDVI 多元线性回归分析(图 8),进一步揭示了气候因子对植被生长的协同机制:从回归模型的决定系数(R^2)的空间分布来看,陕北、关中、陕南三大区域的气温与降水对植被 NDVI 的驱动差异显著。陕北地区气候偏干旱,气温与降水共同解释了该区域 NDVI 变异的 61% ($R^2 = 0.61$),其中气温回归系数($\beta = 0.38, p < 0.01$)略高于降水($\beta = 0.32, p < 0.01$),表明在干旱半干旱背景下,气温升高带来的生长季延长与降水增加带来的水分补给形成协同效应,共同成为 NDVI 提升的主导气候因子;关中地区作为人口密集、人类活动强烈的农业与城市化核心区,气温与降水对 NDVI 的影响显著下降,决定系数仅为 42% ($R^2 = 0.42$),且回归系数绝对值较小(气温 $\beta = 0.21$, 降水 $\beta = 0.18$, p 均 < 0.05),反映该区域 NDVI 变化受农业耕作调整、城市建设用地扩张等人类活动干扰更强,气候因子的主导作用被削弱;陕南地区地处秦巴山地,降水充沛,气温与降水对 NDVI 的联合解释力为 58% ($R^2 = 0.58$),其中降水回归系数($\beta = 0.45, p < 0.01$)远高于气温($\beta = 0.13, p > 0.05$),说明在水分条件充足的湿润环境中,降水并非植被生长的限制因子,其对 NDVI 的正向驱动作用更显著,而气温因已处于植被适宜生长区间,对 NDVI 的影响较弱。

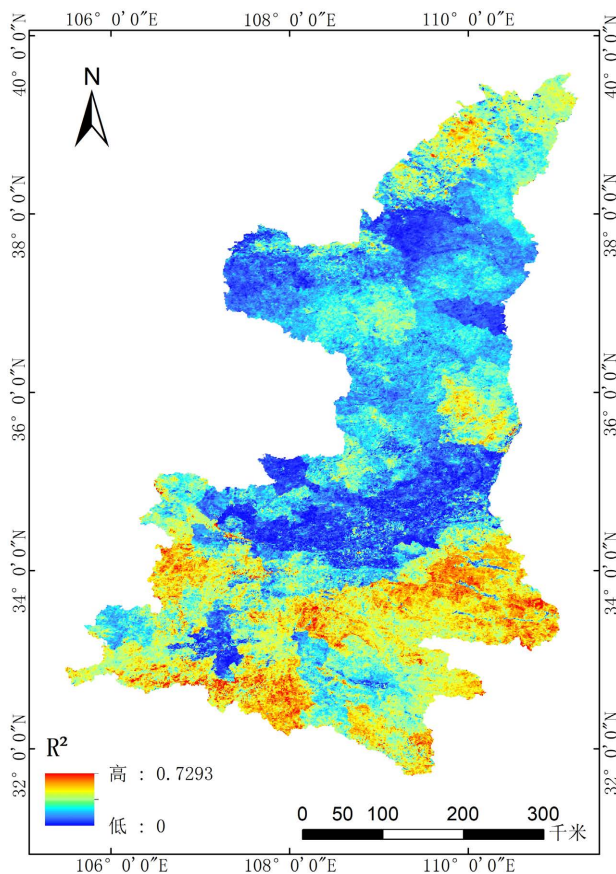


Figure 8. Coefficient of determination of the multiple linear regression between NDVI and temperature and precipitation
图 8. 气温与降水的 NDVI 多元线性回归的决定系数

总之,气温和降水对陕西省三大区域的植被 NDVI 变化大多呈正向关联,且从整体趋势来看,植被 NDVI 与气温的相关程度普遍强于与降水的相关程度;与此同时,呈正相关的区域和呈负相关的区域在空间分布上展现出明显的南北差异,这种差异与陕北、关中、陕南各区域的气候背景差异及人类活动强度

的空间分异特征高度契合。

3.4. 人类活动对植被 NDVI 的影响

植被覆盖度的变化不仅与气候变化等因子有关系，还与人类活动有一定的关系。前文描述了自然因子与植被 NDVI 动态变化之间的相关关系，但是自然因子对植被覆盖度变化的时间跨度是很长的，短时间内不能引起改变，而人类活动对植被的影响和破坏力相较于自然因素是比较强的。随着城镇化进程的发展，陕西省的经济实力水平在逐步增强，但是生态环境却逐步恶化，乱砍滥伐，乱占耕地，造成了黄土高原水土流失，土地沙漠化等许多问题。这些问题在陕北地区尤为常见。随着人们保护环境意识的提高，并响应国家颁布的一系列保护生态环境的相关政策，陕西省的生态环境在逐年的好转。因此，研究人类活动对植被覆盖的变化也有重要的意义。本文采用残差分析的方法来建立气温和降水对陕西省的植被覆盖变化的多元回归模型。用真实的植被覆盖减去气候变化影响的植被覆盖得到的部分，即为人类活动对植被覆盖率的影响。其结果会有正值还有负值，正值的含义是人类活动对该区域的影响为正向的，而负值则相反，指的是人类活动对该区域的影响为负向的，即产生的是负影响。

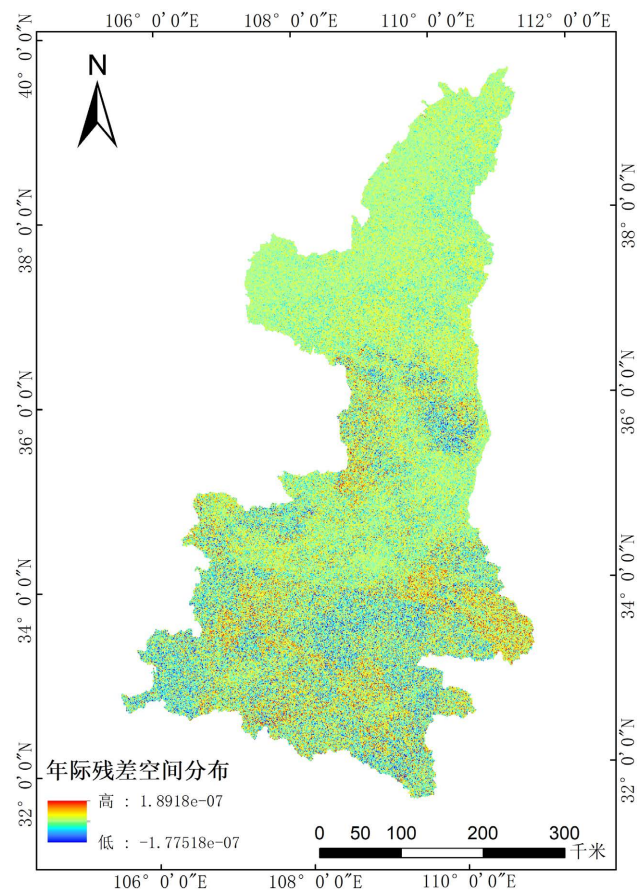


Figure 9. Distribution map of NDVI residuals in Shaanxi Province
图 9. 陕西省 NDVI 残差年际变化分布图

对陕西省 2000~2022 年 NDVI 与气温数据进行残差分析可知，陕西省近 23 年间的残差值多数以正数为主(如图 9)，这表明在该区域人类活动对大部分地区的植被覆盖产生的是正向影响，即促进作用，仅对少部分地区起到抑制作用。其中，人类活动对植被 NDVI 起到正向影响的区域主要分布在陕南的绝大部

分地区、关中的北部以及陕北延安和榆林东部；人类活动对植被 NDVI 起到负向影响的区域主要分布在关中南部、陕北西部以及各市中心周围地区。陕北地区受到土地荒漠化和沙化的影响，生态环境脆弱，农业等生产活动对植被覆盖产生了干扰作用。关中平原城市一带，这些区域人类活动强度大，经济发展速度较快，城镇化进程也较为迅速，城市面积向外扩张，部分土地利用类型被迫转为建筑用地，致使植被覆盖面积有所减少。而陕南地区的负残差可能也与当地的城市发展、农业生产等原因有关。但这类区域面积占比相对较小，所以从整体上看，人类活动对陕西省的植被覆盖起到了促进作用。

4. 结论

本文对陕西省 2000~2022 年 NDVI 数据以及 NDVI 时空变化特征与气候等自然因子以及人类活动等因子的相关性分析研究，探究了气候变化与人类活动对全省 NDVI 变化的影响。2000~2022 年间，NDVI 整体呈上升趋势，陕西省每年的 NDVI 平均增加速率为 0.005。陕西省 NDVI 的变化趋势具有区域性、季节性和阶段性的特点。陕西省降水和气温对 NDVI 均以正向促进为主，且与气温的相关性强于降水，气温与降水量协同作用对 NDVI 有正向驱动。自 2000 年退耕还林还草政策的实施以来，陕西省植被覆盖度基本呈现增加的趋势，其中，自然因素中气温和降水是主要的驱动力因子。人类活动对陕西省部分地区植被覆盖变化起到了明显的促进作用，特别是退耕还林还草、西部大开发等相关政策的实施所带来的人工林的增加，以及城市绿化度的增加，这些都在一定程度上影响着植被 NDVI，促进了该区域植被的生长。因此，可以说明气候变化和人类活动都对陕西省 NDVI 有一定影响。

参考文献

- [1] 金岩松, 金凯, 王飞, 等. 气候变化和人类活动对东部沿海地区 NDVI 变化的影响分析[J]. 环境科学, 2023, 44(6): 3329-3342.
- [2] 金凯, 王飞, 韩剑桥, 等. 1982-2015 年中国气候变化和人类活动对植被 NDVI 变化的影响[J]. 地理学报, 2020, 75(5): 961-974.
- [3] Piao, S., Wang, X., Park, T., Chen, C., Lian, X., He, Y., et al. (2019) Characteristics, Drivers and Feedbacks of Global Greening. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 14-27. <https://doi.org/10.1038/s43017-019-0001-x>
- [4] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报, 1998(3): 204-210.
- [5] Hu, Y., Wang, H., Niu, X., Shao, W. and Yang, Y. (2022) Comparative Analysis and Comprehensive Trade-Off of Four Spatiotemporal Fusion Models for NDVI Generation. *Remote Sensing*, 14, Article 5996. <https://doi.org/10.3390/rs14235996>
- [6] Zhu, L., Sun, S., Li, Y., Liu, X. and Hu, K. (2023) Effects of Climate Change and Anthropogenic Activity on the Vegetation Greening in the Liaohe River Basin of Northeastern China. *Ecological Indicators*, 148, Article ID: 110105. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110105>
- [7] Sun, S., Zhu, L., Hu, K., Li, Y. and Nie, Y. (2022) Quantitatively Distinguishing the Factors Driving Sediment Flux Variations in the Daling River Basin, North China. *CATENA*, 212, Article ID: 106094. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106094>
- [8] 朱长明, 李均力, 沈占锋, 等. 基于 MODIS 密集时间序列数据的塔里木河下游植被活动过程监测[J]. 资源科学, 2019, 41(3): 591-600.
- [9] 殷崎栋, 柳彩霞, 田野. 基于 MODISNDVI 数据的陕西省植被绿度时空变化及人类活动影响[J]. 生态学报, 2021, 41(4): 1571-1582.
- [10] Yang, L., Guan, Q., Lin, J., Tian, J., Tan, Z. and Li, H. (2021) Evolution of NDVI Secular Trends and Responses to Climate Change: A Perspective from Nonlinearity and Nonstationarity Characteristics. *Remote Sensing of Environment*, 254, Article ID: 112247. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112247>
- [11] 戴声佩, 张勃, 王海军. 中国西北地区植被 NDVI 的时空变化及其影响因子分析[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(3): 315-321.
- [12] Li, P., Wang, J., Liu, M., Xue, Z., Bagherzadeh, A. and Liu, M. (2021) Spatio-Temporal Variation Characteristics of

- NDVI and Its Response to Climate on the Loess Plateau from 1985 to 2015. *CATENA*, **203**, Article ID: 105331. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105331>
- [13] Wang, R., Cherkauer, K. and Bowling, L. (2016) Corn Response to Climate Stress Detected with Satellite-Based NDVI Time Series. *Remote Sensing*, **8**, Article 269. <https://doi.org/10.3390/rs8040269>
- [14] 马炳鑫, 和彩霞, 靖娟利, 等. 1982-2019 年中国西南地区植被变化归因研究[J]. 地理学报, 2023, 78(3): 714-728.
- [15] 许丽, 高光耀, 王晓峰, 等. 气候变化和人类活动对中国北方旱区植被变绿的定量贡献[J]. 生态学报, 2023, 43(17): 7274-7283.
- [16] 程兀杰, 孟妮娜, 蔡昕楠, 等. 陕西省 NDVI 时空变化及其对气候和人类活动的响应[J]. 人民黄河, 2023, 45(4): 28-34.
- [17] 白建军, 白江涛, 王磊. 2000-2010 年陕北地区植被 NDVI 时空变化及其与区域气候的关系[J]. 地理科学, 2014, 34(7): 882-888.
- [18] 宋佳颖. 西北五省植被 NDVI 的时空变化及驱动力研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 西北师范大学, 2021.
- [19] 呼海涛, 畅易飞, 王凯博. 2000-2020 年陕西省植被覆盖时空变化多尺度分析[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 345-352.
- [20] 刘绿柳, 肖风劲. 黄河流域植被 NDVI 与温度、降水关系的时空变化[J]. 生态学杂志, 2006(5): 477-481, 502.
- [21] 吕缀. 基于 MODIS 数据的陕西省 2015 年 NDVI 变化分析[J]. 甘肃科技, 2019, 35(1): 53-55.
- [22] 阿多, 赵文吉, 宫兆宁, 等. 1981-2013 华北平原气候时空变化及其对植被覆盖度的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 576-592.
- [23] 张亮, 丁明军, 张华敏, 等. 1982-2015 年长江流域植被覆盖度时空变化分析[J]. 自然资源学报, 2018, 33(12): 2084-2097.
- [24] 谢楠. 陕西省植被覆盖度变化对气候变化与人类活动的双重响应[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2021.
- [25] 王欣毅, 杨洁, 林良国, 等. 基于 Sen + Mann-Kendall 陕西省植被覆盖度时空变化规律研究[J]. 农业与技术, 2023, 43(7): 62-66.