

# 黄河流域河南段植被覆盖度变化及其驱动力

王琳<sup>1</sup>, 李娜<sup>1</sup>, 文广超<sup>2</sup>, 杨运航<sup>2</sup>

(1.黄河交通学院, 河南 焦作 454000; 2.河南理工大学, 河南 焦作 454000)

**摘要:** [目的] 探究黄河流域河南段的生态状况, 分析该区植被生长发育规律及其主控因素, 为该区乃至整个黄河流域生态保护和恢复提供理论依据和技术支持。[方法] 以黄河流域河南段为研究区, 利用2001—2020年MODIS-NDVI影像, 选取气象、地形、土地利用类型等因素, 采用像元二分模型、一元线性回归方程和地理探测器等方法开展黄河流域河南段植被覆盖度变化及其驱动力的研究。[结果] ①20 a间黄河流域河南段多年平均植被覆盖度由0.54增长到0.71, 年增长率为0.85%, 中等植被覆盖度( $0.45 < FVC \leq 0.6$ )、中低植被覆盖度( $0.3 < FVC \leq 0.45$ )、低植被覆盖度( $0.1 < FVC \leq 0.3$ )、裸地( $FVC \leq 0.1$ )向中高植被覆盖度( $0.6 < FVC \leq 0.75$ )、高植被覆盖度( $FVC \geq 0.75$ )转化, 等级面积分别增加12.60%, 75.49%; ②空间上, 高、中高植被覆盖度区域主要集中在西部伏牛山、北部太行山山区和东部平原区, 中等、中低、低植被覆盖度区域主要集中在中部洛阳至郑州段, 裸地主要分布在水系和黄河两岸; ③20 a间研究区植被覆盖度改善面积远大于退化面积, 极显著改善区域面积比例31.11%, 主要分布在西部伏牛山和北部太行山山区; 显著改善区域面积比例9.42%, 主要分布在极显著改善区域周边; 未发生明显变化区域比例52.35%; 显著退化和极显著退化区域面积比例分别为3.01%和4.11%, 主要分布在中部、东部平原的耕地和建筑物区; ④各因子对植被覆盖度的影响表现为: 土地利用类型 > 高程 > 坡度 > 降水量 > 气温, 土地利用类型与高程的交互协同作用对植被覆盖度空间格局分布的影响力达到0.52。[结论] 2001—2020年研究区植被覆盖度呈现显著改善趋势, 空间差异性明显, 土地利用类型是影响植被覆盖度的主要影响因子。

**关键词:** 植被覆盖; 驱动力; 黄河流域河南段

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)06-0393-07

中图分类号: TP79

**文献参数:** 王琳, 李娜, 文广超, 等. 黄河流域河南段植被覆盖度变化及其驱动力[J]. 水土保持通报, 2022, 42(6): 393-399. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20221017.002; Wang Lin, Li Na, Wen Guangchao, et al. Vegetation coverage changes and driving forces in He'nan section of the Yellow River basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(6): 393-399.

## Vegetation Coverage Changes and Driving Forces in He'nan Section of Yellow River Basin

Wang Lin<sup>1</sup>, Li Na<sup>1</sup>, Wen Guangchao<sup>2</sup>, Yang Yunhang<sup>2</sup>

(1. Huanghe Jiaotong University, Jiaozuo, He'nan 454000, China; 2. Henan Polytechnic University, Jiaozuo, He'nan 454000, China)

**Abstract:** [Objective] The ecological status of He'nan section of the Yellow River basin, the growth and development of vegetation in the area, and the main factors controlling vegetation coverage were determined in order to provide a theoretical basis and technical support for the ecological protection and restoration of the area and even the entire Yellow River basin. [Methods] We acquired MODIS-NDVI images for the Yellow River basin research area from 2001 to 2020 as well as meteorological, topographic, and land use type data. We used a pixel dichotomy model, univariate linear regression, and a geographic detector to determine changes in vegetation coverage and its driving forces in He'nan section of the Yellow River basin. [Results] ① Over the past 20 years, the annual average fractional vegetation coverage (FVC) in He'nan section of the Yellow River basin increased from 0.54 to 0.71, with an annual growth rate of 0.85%. Medium vegetation

收稿日期: 2022-04-21

修回日期: 2022-05-12

资助项目: 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室中心开放基金项目“面向生态的旱区区域地下水资源评价研究”(2014G1502022); 河南理工大学博士资助项目(B2020-54)

第一作者: 王琳(1995—), 女(汉族), 山西省吕梁市人, 硕士研究生, 助教, 主要从事流域生态学与区域生态评价研究。Email: 136794517@qq.com。

coverage ( $0.45 < FVC \leq 0.6$ ), medium and low vegetation coverage ( $0.3 < FVC \leq 0.45$ ), low vegetation coverage ( $0.1 < FVC \leq 0.3$ ), bare land ( $FVC \leq 0.1$ ) changed to medium and high vegetation coverage ( $0.6 < FVC \leq 0.75$ ) and high vegetation coverage ( $FVC \geq 0.75$ ), and the grade area increased by 12.60% and 75.49% respectively. ② Spatially, the areas with high and medium-high vegetation coverage were mainly concentrated in the Funiu Mountains in the west, the Taihang Mountains in the north, and the eastern plain. The areas with medium, medium-low, and low vegetation coverage were mainly concentrated in the central section from Luoyang to Zhengzhou City. The bare land was mainly located in the water system and both banks of the Yellow River. ③ Over the past 20 years, the area of increased vegetation coverage was much larger than the degraded area, and the area of extremely significant improvement accounted for 31.11%, which was mainly located in the Western Funiu Mountains and the Northern Taihang Mountains. The significantly improved areas accounted for 9.42% of the total area, and were mainly located around the extremely significant improved area. The area with no significant change accounted for 52.35% of the total area. The area of significantly degraded and extremely significantly degraded areas accounted for 3.01% and 4.11%, respectively, of the total area, and were mainly located in the cultivated land and built-up areas of the central and eastern plains. ④ The magnitude of the effects of various factors on vegetation coverage followed the order of land use type > elevation > slope > precipitation > temperature. The interaction and synergy of land use type and elevation had an impact on the spatial pattern distribution of vegetation coverage of 0.52. [Conclusion] Vegetation coverage in the study area significantly increased from 2001 to 2020, with obvious spatial differences. Land use type was the main factor affecting vegetation coverage.

**Keywords:** vegetation coverage; driving force; He'nan section of Yellow River basin

植被是陆地生态系统的重要组成部分,作为全球生态环境质量状况的重要“指示器”,在气候调节、物质循环、水土保持等方面起着不可或缺的作用<sup>[1-3]</sup>。植被覆盖度(fractional vegetation coverage, FVC)是反映植被生长状况和健康程度的重要参数之一,能够直观地表征区域生态环境的状况,是评价生态系统的—一个重要指标。

黄河是中华民族的母亲河,黄河流域在中国经济社会发展和生态安全方面具有十分重要的地位<sup>[4]</sup>。2019年召开的黄河流域生态保护和高质量发展座谈会,对加强黄河治理保护、推动黄河流域高质量发展作出重大部署。因此,探究黄河流域植被覆盖度的时空演变特征及其驱动力可以更好地了解黄河流域生态环境现状,为黄河流域生态治理和保护提供有力的科学依据。近年来,国内外学者针对黄河流域植被覆盖度变化及影响因素进行大量研究,并取得累累硕果。张志强等<sup>[5]</sup>基于MOD13 Q1数据和降雨数据,分析了黄河流域近20 a植被覆盖度时空变化特征,得出近几十年黄河流域植被覆盖度主要呈现增长趋势,并且未来依旧发展趋势较好;李晶等<sup>[6]</sup>基于Google Earth Engine(GEE)平台,通过构建Landsat黄河流域植被覆盖度大数据,探究了黄河流域植被覆盖度变化特征及煤炭国家规划矿区对流域内植被覆盖度变化的影响,结果表明流域内植被覆盖度整体呈现出南高北低、由东南向西北递减的规律,并且煤炭

国家规划区内对植被覆盖度影响较大的因素为高程和气温;贺振等<sup>[7]</sup>利用1982—2013年GIMMS-NDVI时序数据分析黄河流域植被覆盖度时空格局和演化趋势,得出研究区植被覆盖整体呈现出不断改善的趋势,并且持续改善占总面积的58.81%;孙高鹏等<sup>[8]</sup>通过研究2000—2020年黄河流域植被动态变化特征,得出区域内植被覆盖度整体呈显著增长趋势,气温、降水和CO<sub>2</sub>浓度等对植被生长起到正向促进作用。

针对黄河流域植被覆盖度的研究,大多数学者以整片流域作为研究区,探究流域内植被覆盖度的变化特征和影响因素,却忽略不同区域下地理位置、人文条件、区域气候对植被生长发育的影响不同。

河南段作为黄河中下游的重要转折地,在国家防洪安全、生态保护、经济发展、文化传承和粮食安全等方面战略地位极为突出。据此,本文以黄河流域河南段为研究区,对其植被覆盖度时空演变特征及驱动力进行探究,为河南段乃至整个黄河流域生态环境的治理和保护提供理论依据和技术支撑。

## 1 研究区概况

黄河流域河南段位于河南省中北部,地理范围为北纬33°41′—36°6′,东经110°21′—116°6′,流经三门峡、洛阳、济源、焦作、郑州、开封、新乡、安阳、濮阳9市28个县(市、区),全长711 km,面积约 $3.62 \times 10^4$  km<sup>2</sup><sup>[9]</sup>,处于中国地势第二阶梯和第三级阶梯的过渡地带,

西高东低,地形变化显著。研究区属于典型的大陆性季风气候,四季分明,多年平均降雨量为 597 mm,主要集中在 5—9 月,全年平均气温为 15.4 ℃。区域内主要以耕地和林地为主,种有小麦、玉米、松柏、银杏、牡丹等多类植物,自然条件较好,适合多种动植物的生长和发育。

## 2 材料与方法

### 2.1 数据来源与预处理

本研究使用数据与预处理过程主要为:①2001—2020 年研究区 6—8 月 16 d 合成的 MOD13Q1 数据,来源于美国国家航天局 NASA (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>),空间分辨率为 250 m × 250 m。利用 MODIS Reprojection Tool 对 NDVI 数据进行拼接、投影转换和裁剪后,采用最大值合成法得到年 NDVI 数据用于计算植被覆盖度。②DEM 数据为 ASTER GDEM 30 m 影像,来源于地理空间数据云 (<https://www.gscloud.cn>),重采样为 250 m × 250 m,并用于提取坡度。③土地利用类型数据为美国国家航空航天局 NASA 提供的 MCD12Q1 产品,时间为 2020 年,空间分辨率为 250 m × 250 m,将其重分类为 6 个一级类别:耕地、林地、草地、水域、建筑用地和未利用地。④2001—2020 年三门峡、孟津、新乡等 10 个气象站点的降水量和气温数据,来源于中国气象数据网 (<http://data.cma.cn>),采用 Kriging 插值法得到空间分辨率为 250 m × 250 m 的平均降水和气温栅格数据。

### 2.2 研究方法

2.2.1 植被覆盖度估算 基于 MODIS-NDVI 数据,采用像元二分模型<sup>[10]</sup>(公式 1)计算研究区的植被覆盖度。

$$FVC = \frac{NDVI - N_{soil}}{N_{veg} - N_{soil}} \quad (1)$$

式中:FVC 为植被覆盖度;NDVI 为植被指数; $N_{soil}$  为纯裸土像元的 NDVI 值; $N_{veg}$  为纯植被像元或高植被覆盖度区域的 NDVI 值。根据像元二分模型的定义, $N_{soil}$  和  $N_{veg}$  采用研究区 NDVI 值统计结果 5% 和 95% 处的值,低于纯裸土像元值的 NDVI 值用  $N_{soil}$  替代,高于纯植被像元值的用  $N_{veg}$  替代。

2.2.2 趋势分析法 年际植被覆盖度 FVC 变化趋势  $K$ ,采用一元线性回归模型<sup>[11]</sup>进行计算。

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^n i \cdot FVC_i - \sum_{i=1}^n i \cdot \sum_{i=1}^n FVC_i}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (2)$$

式中: $K$  为斜率; $n$  为研究时间序列长度,本文为 20; $i$  为时间序列,取值范围为 1~20; $FVC_i$  为第  $i$  年的植被覆盖度。 $K > 0$  时,植被覆盖度变化趋势为增加,反之则为减少,  $|K|$  越大,变化趋势越明显。

采用  $t$  检验法进行显著性检验,结合趋势分析结果,将本文植被覆盖度变化趋势划分为极显著改善 ( $K > 0, p < 0.01$ )、显著改善 ( $K > 0, 0.01 < p < 0.05$ )、无显著变化 ( $p > 0.05$ )、显著退化 ( $K < 0, 0.01 < p < 0.05$ )、极显著退化 ( $K < 0, p < 0.01$ ) 5 类。

2.2.3 地理探测器 地理探测器 (geodetector) 是探测空间分层异质性,揭示其背后驱动因子的一种新的统计学方法<sup>[12]</sup>,是目前用于分析驱动因子较好的方法之一。地理探测器包括 4 类探测器,本文主要使用分异及因子探测器和交互作用探测器。分异及因子探测器的原理是探测因变量的空间异质性及每个自变量因子对因变量空间分异的影响大小,利用值域为  $[0, 1]$  的  $q$  值来衡量, $q$  值越大说明因变量的空间分异性越明显,自变量对其的影响也越大,反之  $q$  值越小,因变量的空间分异性越不明显,自变量对其的影响也越小。 $p$  值代表自变量的显著性, $p$  值越小,说明自变量对因变量是有影响这一推断的可靠性越高。交互作用探测器可以识别不同自变量因子的交互作用,即评估自变量因子  $X_1$  和  $X_2$  共同作用时是否会增加或减弱对因变量  $Y$  的解释力,或这些因子对  $Y$  的影响是否相互独立。

## 3 结果与分析

### 3.1 植被覆盖度时空演变特征

3.1.1 植被覆盖度时间变化特征 基于像元二分模型,计算得到研究区 2001—2020 年植被覆盖度,并统计得到其平均值(图 1)。从中可以看出,2001—2005 年研究区内植被覆盖度呈现一个明显的上升趋势。2006—2010 年植被覆盖度并未发生明显的变化,整体呈现出小幅度的上升。2015—2020 年,研究区内植被覆盖度波动明显,2017 和 2019 年植被覆盖度较前一年呈现下降,2018 和 2020 年植被覆盖度较前一年呈现上升,近 5 a 植被覆盖度变化明显,波动幅度在  $-11.17\% \sim 13.08\%$ 。2011—2015 年研究区内植被覆盖度整体呈现出下降的趋势,特别是在 2014 年,河南省遭遇 63 a 来最严重的“夏旱”<sup>[13]</sup>,年平均降雨量仅为 90 mm<sup>[14]</sup>,导致该年植被覆盖度较前几年出现明显的下降。整体上看,20 a 间研究区植被覆盖度由 0.54 增长到 0.71,增长率为 31.49%,增速为 0.85%/a,植被生长发育随着时间呈现一个明显增加的趋势。

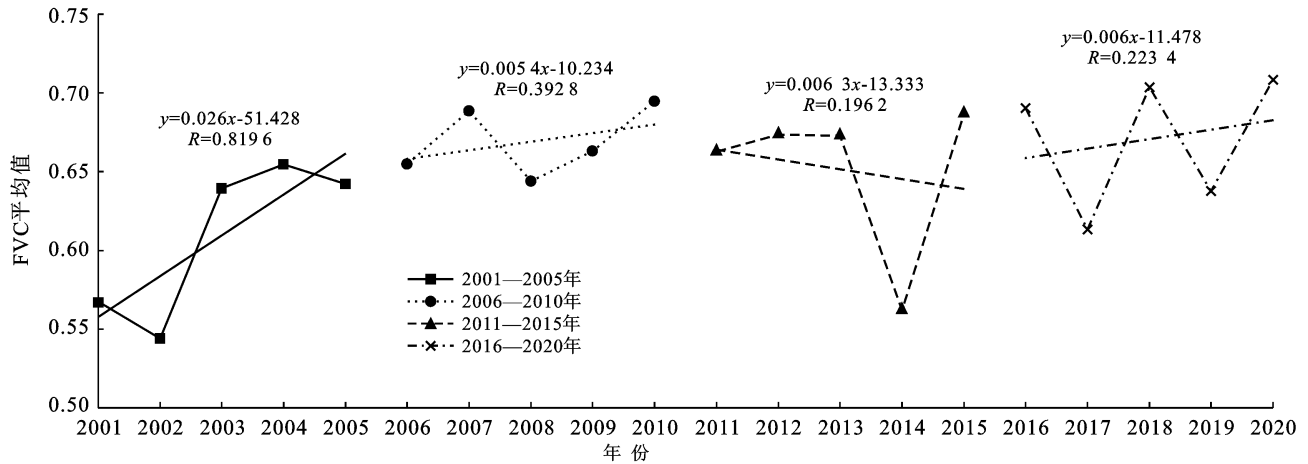


图 1 研究区 2001—2020 年植被覆盖度 (FVC) 年平均值及其线性拟合

2001—2020 年研究区植被覆盖度除特定年份出现较大差异,其余年份并未发生明显的变化。根据《土壤侵蚀分级分类标准(SL190-2007)》<sup>[15]</sup>(表 1),将研究区植被覆盖度进行分级,统计得到不同年份不同等级植被覆盖度面积所占比例(图 2)。由图 2 可以得出,20 a 间高覆盖度面积比例整体呈现一个增加的趋势,后 10 a 较前 10 a 面积比例上升 6.83%,其中在 2014 年受降雨减少的影响,该年份高覆盖度面积比例骤减,除高覆盖度面积减少外,其他等级植被覆盖度面积均增加。由此可以得出,研究区内植被高覆盖度区受降雨影响较大,区域内种植的主要为粮食和经济作物,大旱年份导致经济作物生长不佳,植被覆盖度下降。20 a 间研究区内裸地、低覆盖度、中低覆盖

度、中等覆盖度面积比例明显下降,2020 年较 2001 年分别减少 44.37%,66.46%,58.88%和 35.80%,主要向中高覆盖度和高覆盖度转化,等级面积分别增加 12.60%,75.49%。近 10 a,中国提出绿色、协调、可持续发展的经济模式,2015 年发布了 17 项涵盖环境和生态维度的发展目标<sup>[16]</sup>,在此大背景下,黄河流域作为河南省关键的经济长廊,更加注重绿色发展的模式。河南省作为一个矿产资源大省,在黄河流域内分布有多处矿山,在“退耕还林还草”政策的持续推进和“绿水青山就是金山银山”的理念下,人们将采矿用地和耕地进行修复,将其维护成林地和草地,并在裸地等未利用地开展植树造林等工程活动,使得黄河流域河南段的植被覆盖度呈现出转好的趋势。

表 1 植被覆盖度分级

等级	裸地	低覆盖度	中低覆盖度	中等覆盖度	中高覆盖度	高覆盖度
FVC	$\leq 0.1$	0.1~0.3	0.3~0.45	0.45~0.6	0.6~0.75	$\geq 0.75$

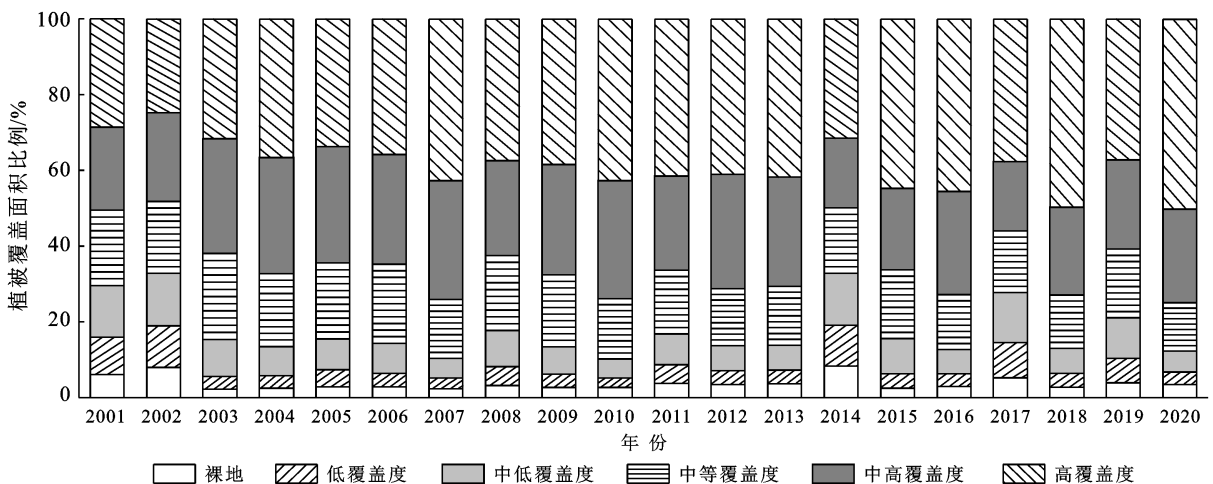


图 2 研究区 2001—2020 年各级植被覆盖面积比例



### 3.1.2 植被覆盖度空间变化特征

(1) 空间分布特征。2001—2020 年, 研究区植被覆盖度空间分布差异显著, 在 ArcGIS 中利用栅格计算器计算得到近 20 a 植被覆盖度平均值, 并进行分级(图 3)。从图 3 可以看出, 高植被覆盖度、中高植被覆盖度区域主要集中在研究区西部伏牛山、北部太行山山区以及东部平原区, 该区域分布有大量的林地和耕地, 植被长势较好。中等植被覆盖度、中低植被覆盖度、低植被覆盖度区域主要集中在研究区中部洛阳至郑州段, 该区域处于丘陵向平原过渡地带, 土地利用类型以耕地为主, 分布有大量矿山, 采矿活动比较频繁, 致使植被覆盖度较低。裸地主要分布在水系和黄河两岸, 该区域植被覆盖度最小。

(2) 空间变化特征。采用一元线性回归模型计算得到 2001—2020 年研究区植被覆盖度变化情况, 经过  $t$  分布检验, 将结果划分为 5 类(图 4), 并对各等级变化面积百分比进行统计(表 2)。结合图 4 和表 2 可知, 2001—2020 年黄河流域河南段植被覆盖度极显著改善区域面积比例 31.11%, 主要分布在西部伏牛山和北部太行山山区, 以林地和草地为主, 极少量

分布在东部平原; 显著改善区域面积比例 9.42%, 主要分布在极显著改善区域周边; 52.35% 的区域未发生明显变化, 处于相对稳定状态; 显著退化和极显著退化区域面积比例分别为 3.01% 和 4.11%, 主要分布在中部、东部平原的耕地和建筑物地区。总体来说, 近 20 a 研究区植被覆盖度改善面积远大于退化面积, “封山育林”政策的稳步落实及绿色矿山建设的全面覆盖是河南省植被覆盖度改善的主要原因; 植被退化主要由城镇化快速发展所致。

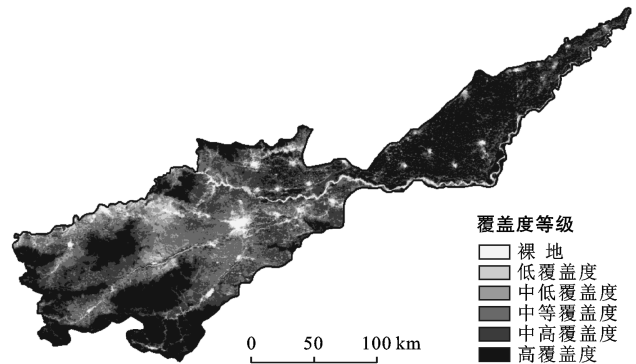


图 3 研究区 2001—2020 年年平均植被覆盖度空间分布

表 2 植被覆盖度变化面积百分比

指标	极显著改善	显著改善	无明显变化	显著退化	极显著退化
面积/km <sup>2</sup>	11 582.75	3 506.50	19 491.75	1 121.50	1 530.25
比例/%	31.11	9.42	52.35	3.01	4.11

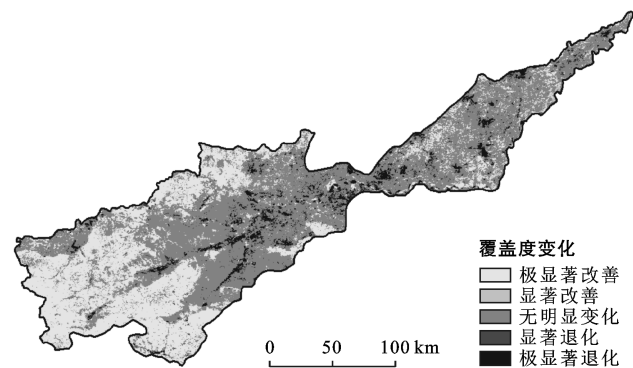


图 4 研究区 2001—2020 年植被覆盖度变化趋势

### 3.2 植被覆盖度影响因素分析

在 ArcGIS 中, 将多年平均降水量、气温、高程、坡度、土地利用类型 5 个因子数据进行离散化处理, 多年平均降水量等间距分成 5 类 (<560 mm, 560~580 mm, 580~600 mm, 600~620 mm, >620 mm); 多年平均气温分为 5 类 (<14.4 °C, 14.4~14.7 °C, 14.7~15 °C, 15~15.3 °C, >15.3 °C); 高程分为 5 类 (<250 m, 250~500 m, 500~750 m, 750~1 000 m, >1 000 m); 坡度分为 5 类 (<3°, 3°~8°, 8°~15°, 15°~25°, >25°), 土地利用类型分成 6 类(耕地、林地、草地、水域、建筑用地和未利用地)。以多年平均植被覆盖度值作为因变量, 将多年平均降水量、气温、高程、坡度、土地利用类型数据作为自变量在地理探测器中运行并分析。

15°~25°, >25°), 土地利用类型分成 6 类(耕地、林地、草地、水域、建筑用地和未利用地)。以多年平均植被覆盖度值作为因变量, 将多年平均降水量、气温、高程、坡度、土地利用类型数据作为自变量在地理探测器中运行并分析。

3.2.1 因子影响力分析 根据分异及因子探测器计算得到各因子对植被覆盖度的影响力  $q$  值, 且均通过  $p$  值显著性检验, 结果详见表 3。

各因子对植被覆盖度的影响力大小为: 土地利用类型 > 高程 > 坡度 > 降水量 > 气温。土地利用类型的  $q$  值 0.26, 为最大值, 是影响植被覆盖度空间格局分布的主要因素; 其次是高程,  $q$  值为 0.24, 坡度、降雨、气温的  $q$  值均在 0.1 以下; 气温的  $q$  值最小, 对植被覆盖度空间格局分布的影响最小。黄河流域河南段西部山区自然条件好, 西部为伏牛山, 北部为太行山, 土地利用类型主要以林地为主、草地为辅, 高程为全区域最高, 可达 2 365 m, 坡度为全区域最大, 可达 30.5°, 复杂的地形地貌使得该地区自然环境优越, 人类活动干扰少, 植被覆盖度高。中部及东部地区地势平缓, 属于黄淮海平原, 土地利用类型以耕地和建筑

物为主,区域内人类耕种活动、采矿活动等偏多,对自然植物的生长具有抑制作用,因此覆盖度低。

表3 植被覆盖度影响因子探测结果

指标	降水量	气温	高程	坡度	土地利用类型
$q$	0.066 1	0.022 1	0.243 9	0.068 4	0.263 2
$p$	0	0	0	0	0

3.2.2 因子交互作用分析 植被覆盖度变化往往受多种因素的共同影响,交互作用探测器结果(表4)显示,两个自变量因子交互协同作用会增强对植被覆盖度空间格局分布的影响力。土地利用类型与高程交互协同作用后,对植被覆盖度的影响力达到0.52, $q$ 值翻倍增长,其他因子的交互作用 $q$ 值也均在0.1以上,明显大于其分别单独作用时的 $q$ 。由此可见,植被覆盖度的变化是自然因素和人类活动的共同作用的结果。

表4 植被覆盖度影响因子交互作用探测结果

指标	降水量	气温	高程	坡度	土地利用类型
降水量	0.066 1				
气温	0.164 3	0.022 1			
高程	0.359 5	0.346 9	0.243 9		
坡度	0.127 3	0.128 6	0.276	0.068 4	
土地利用类型	0.320 1	0.360 9	0.515 4	0.356 9	0.263 2

## 4 讨论

黄河流域河南段西部山区植被类型以乔木群落、灌木群落、草本群落为主,东部平原以小麦、玉米为主,植被长势较好,中部地区同样以耕地为主,但大型水利枢纽工程、采矿活动等居多<sup>[17]</sup>,植被长势欠佳,证明频繁的人类活动会减弱植被的生长发育,甚至出现蚕食现象<sup>[18]</sup>。随着研究的深入,发现植被改善面积表现为:西部山区>东部平原>中部地区,该结果与刘丽娜等<sup>[19]</sup>、张静等<sup>[20]</sup>、余玉洋<sup>[21]</sup>的研究结果一致,并且在整个黄河流域也呈现出相似的特征<sup>[22]</sup>。

植被覆盖度作为地表生态系统特征的关键指示因子<sup>[23-24]</sup>,其变化不仅受单个因素作用,还受到多种因素交叉影响,因此选择新的统计方法—地理探测器分析植被覆盖度的影响因子,不但考虑了每个单因子对植被覆盖度空间格局分布的影响力,还探究了多因子的共同作用。研究区内主要以耕地和林地为主,不同的土地利用类型对于植被的生长发育影响较大,其次为地形因素,最后为气象因素,该结果与余玉洋<sup>[21]</sup>在河南省所得出的结论稍有出入,考虑到研究中所使用的遥感数据年份差异,不同年份不同因素对植被影

响的差异,以及多源数据空间分辨率、时间分辨率不是完全一致,从而导致结果出现不一致的情况。

## 5 结论

(1) 2001—2020年黄河流域河南段平均植被覆盖度值呈现波动增长趋势,年增长率为0.85%,中等植被覆盖度、中低植被覆盖度、低植被覆盖度、裸地向中高植被覆盖度、高植被覆盖度转化,等级面积分别增加12.60%,75.49%。

(2) 研究区高、中高植被覆盖度区域主要集中在西部伏牛山、北部太行山山区和东部平原区,中等、中低、低植被覆盖度区域主要集中在中部洛阳至郑州段,裸地主要分布在水系和黄河两岸,植被覆盖度较小。

(3) 近20a研究区植被覆盖度改善面积远大于退化面积,极显著改善区域面积比例31.11%,主要分布在西部伏牛山和北部太行山山区,极少量分布在东部平原;显著改善区域面积比例9.42%,主要分布在极显著改善区域周边;未发生明显变化区域比例52.35%,处于相对稳定状态;显著退化和极显著退化区域面积比例分别为3.01%和4.11%,主要分布在中部、东部平原的耕地和建筑物地区。

(4) 各因子对植被覆盖度的影响力大小顺序为:土地利用类型>高程>坡度>降水量>气温。土地利用类型和高程是影响植被覆盖度的主要因素,坡度、降水量、气温是次要影响因素。两个自变量因子交互协同作用会增强对植被覆盖度空间格局分布的影响力,土地利用类型与高程的交互协同作用对植被覆盖度的影响力达到0.52。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 庞家泰,段金亮,张瑞,等.2000—2019年渭河流域植被覆盖度时空演变特征及气候响应[J].水土保持研究,2021,28(5):230-237.
- [2] 陆荫,张强,李晓红,等.黄河流域甘肃段植被覆盖度时空变化及对气候因子的响应[J].水土保持通报,2020,40(2):232-238.
- [3] Wookey P A, Aerts R, Bardgett R D, et al. Ecosystem feedbacks and cascade processes: Understanding their role in the responses of Arctic and alpine ecosystems to environmental change [J]. Global Change Biology, 2010,15(5):1153-1172.
- [4] 陈耀,张可云,陈晓东,等.黄河流域生态保护和高质量发展[J].区域经济评论,2020(1):8-22.
- [5] 张志强,刘欢,左其亭,等.2000—2019年黄河流域植被覆盖度时空变化[J].资源科学,2021,43(4):849-858.

- [6] 李晶,闫星光,闫萧萧,等.基于GEE云平台的黄河流域植被覆盖度时空变化特征[J].煤炭学报,2021,46(5):1439-1450.
- [7] 贺振,贺俊平.近32年黄河流域植被覆盖时空演化遥感监测[J].农业机械学报,2017,48(2):179-185.
- [8] 孙高鹏,刘宪锋,王小红,等.2001—2020年黄河流域植被覆盖变化及其影响因素[J].中国沙漠,2021,41(4):205-212.
- [9] 范彦淳.河南省黄河流域水土保持生态建设成效及做法[J].中国水土保持,2016(10):24-26.
- [10] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等.密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J].资源科学,2004,26(4):153-159.
- [11] 赵子娟,范蓓蕾,王玉庭,等.2000—2018年西辽河流域植被覆盖度时空变化特征及影响因素研究[J].中国农业资源与区划,2021,42(12):75-88.
- [12] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- [13] 夏兴生,朱秀芳,潘耀忠,等.农作物干旱灾害实时风险监测研究:以2014年河南干旱为例[J].自然灾害学报,2016,25(5):28-36.
- [14] 刘晓璐,周廷刚,温莉,等.基于VSWI和SPI的2000—2016年河南省干旱特征研究[J].干旱区地理,2018,41(5):984-991.
- [15] 中华人民共和国水利部. SL 665-2014 北方土石山区水土流失综合治理技术标准[S].北京:中国水利水电出版社,2014:1-27.
- [16] 陈绪钰,李明辉,王德伟,等.采煤诱发地质灾害发育特征与成因机制[J].煤炭技术,2016,35(2):137-139.
- [17] 金玉玲,耿丽艳,齐庆超.河南矿山环境恢复治理遥感调查与分析[J].矿产保护与利用,2021,41(4):23-27.
- [18] 王新闯,刘文锴,杨会军,等.河南省植被覆盖度及其景观格局时空变化[J].水土保持通报,2015,35(6):241-247.
- [19] 刘丽娜,魏杰,马云霞,等.基于时空变化的黄河流域河南段生态环境评价研究[J].环境科学与管理,2021,46(2):169-173.
- [20] 张静,杜加强,盛芝露,等.1982—2015年黄河流域植被NDVI时空变化及影响因素分析[J].生态环境学报,2021,30(5):929-937.
- [21] 余玉洋.河南省植被NDVI时空变化及其驱动因子研究[D].河南开封:河南大学,2018.
- [22] 颜明,贺莉,王随继,等.基于NDVI的1982—2012年黄河流域多时间尺度植被覆盖变化[J].中国水土保持科学,2018,16(3):86-94.
- [23] 徐浩杰,杨太保,曾彪.黄河源区植被生长季NDVI时空特征及其对气候变化的响应[J].生态环境学报,2012,21(7):1205-1210.
- [24] 杨运航,文广超,谢洪波,等.柴达木盆地典型地貌单元归一化植被指数变化特征[J].水土保持通报,2020,40(4):133-139.

(上接第392页)

- [30] 李莉,史学建,杨吉山,等.次暴雨下小理河流域淤地坝拦沙能力分析[J].中国水土保持,2020(12):31-33,5.
- [31] 魏艳红,焦菊英.黄土丘陵沟壑区不同土地利用方式下小流域侵蚀产沙特征[J].水土保持学报,2021,35(3):96-103.
- [32] 张效锋.影响无人机航测高程精度因素的研究[J].现代测绘,2021,44(3):31-33.
- [33] 吕薛锋,王程.陕西黄土高原地区淤地坝蓄水问题探讨[J].陕西水利,2022(2):176-177.
- [34] 杨媛媛.黄河河口镇一潼关区间淤地坝拦沙作用及其拦沙贡献率研究[D].陕西 杨凌:西安理工大学,2021.
- [35] 魏艳红.延河与皇甫川流域典型淤地坝淤积特征及其对输沙变化的影响[D].北京:中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心,2017.
- [36] 郭庆华,胡天宇,刘瑾,等.轻小型无人机遥感及其行业应用进展[J].地理科学进展,2021,40(9):1550-1569.
- [37] 王朝辉,吴昊,孟将.无人机倾斜摄影像控布点方案研究及精度分析[J].测绘通报,2021(5):102-105,110.
- [38] 吴坤鹏,刘时银,朱钰,等.基于无人机摄影测量的梅里雪山明永冰川末端表面高程动态监测[J].地理科学进展,2021,40(9):1581-1589.
- [39] 李哲.基于无人机倾斜摄影测量技术的废弃矿山测量[D].河北 唐山:华北理工大学,2020.
- [40] 蔡嘉伦,贾洪果,刘国祥,等.对比传统低空航测的无人机倾斜摄影测量精度评估[J].测绘通报,2022(2):31-36.
- [41] 曲佳.机载激光雷达点云数据精度分析与评价研究[D].陕西 西安:长安大学,2010.
- [42] 孙健,王君杰,王雁昕,等.无人机LiDAR技术在矿区大坝监测中的应用研究[J].矿山测量,2021,49(6):50-54.
- [43] 张永庭,徐友宁,梁伟,等.基于无人机的采煤沉陷监测技术方法:以宁东煤矿基地马连台煤矿为例[J].地质通报,2018,37(12):2270-2277.
- [44] 汤伏全,芦家欣,韦书平,等.基于无人机LiDAR的榆神矿区采煤沉陷建模方法改进[J].煤炭学报,2020,45(7):2655-2666.