

1986—2021年彬长矿区植被覆盖度 时空变化及其影响因子

文帆, 陈秋计, 黄兰, 王志国

(西安科技大学 测绘科学与技术学院, 陕西 西安 710054)

摘要: [目的] 分析彬长矿区植被覆盖度变化特征及空间分布影响因素, 判别矿区的生态状况, 为矿区复垦和生态恢复提供科学参考和理论依据。[方法] 基于 Google Earth Engine 云平台, 获取 1986—2021 年 30 m 分辨率 Landsat Surface Reflectance Tier 1 Data(地表反射率数据), 基于像元二分模型, 采用趋势分析法、 F 检验等方法对彬长矿区植被覆盖度多年时空变化作出定量分析; 在此基础上运用地理探测器对植被覆盖度的空间分异性进行地理因子解析。[结果] ① 1986—2021 年彬长矿区植被覆盖度改善状况较好, 总体呈现增长趋势, 平均增长率为 0.64%/a; 研究区多年平均植被覆盖度水平较高, 中覆盖度及以上面积占 87.14%, 空间分布上呈现“东南高, 西北低”的特点。② 植被覆盖度变化趋势上, 研究区以显著改善区域为主, 其面积所占比例为 56.65%, 但仍有些许地区植被显著退化, 主要集中在靠近城市河流道路区域。③ 各因子对植被覆盖度的影响大小排序为: 坡度 > 高程 > 年降水 > GDP > 人口密度 > 年均温 > 植被类型 > 土壤类型, 坡度与年降水交互作用对植被覆盖度空间分异性影响最强。[结论] 1986—2021 年彬长矿区植被覆盖状况良好, 整体呈现显著增长趋势, 植被改善情况明显, 坡度为影响研究区植被覆盖度空间分异性的主导因子。

关键词: 植被覆盖度; 彬长矿区; Google Earth Engine(GEE); 地理探测器

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)06-0304-07

中图分类号: X144, TP79, TD88

文献参数: 文帆, 陈秋计, 黄兰, 等. 1986—2021 年彬长矿区植被覆盖度时空变化及其影响因子[J]. 水土保持通报, 2023, 43(6): 304-310. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.06.036; Wen Fan, Chen Qiuji, Huang Lan, et al. Spatial-temporal variation of vegetation coverage and its influencing factors in Binchang mining area from 1986 to 2021 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(6): 304-310.

Spatial-temporal Variation of Vegetation Coverage and Its Influencing Factors in Binchang Mining Area from 1986 to 2021

Wen Fan, Chen Qiuji, Huang Lan, Wang Zhiguo

(College of Geometrics, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: [Objective] The change characteristics and influencing factors of vegetation coverage and its spatial distribution in the Binchang mining area were analyzed, and the ecological status of the mining area was evaluated in order to provide a scientific reference and theoretical basis for reclamation and ecological restoration of the mining area. [Methods] Landsat Surface Reflectance Tier 1 data (30 m resolution) from 1986 to 2021 were obtained from the Google Earth Engine cloud platform. Based on a pixel binary model, the trend analysis method and F -test were used to quantitatively analyze the temporal and spatial variation of vegetation coverage in the Binchang mining area over many years. Geodetector was used to analyze the spatial heterogeneity of vegetation coverage. [Results] ① Vegetation coverage in the Binchang mining area increased from 1986 to 2021, and the overall growth trend was good (average growth rate of 0.64%/a). The average multi-year vegetation coverage in the study area was relatively high, with the area of medium coverage and greater accounting for 87.14% of the total area. The spatial distribution was characterized as “higher in the

收稿日期: 2023-04-11

修回日期: 2023-05-20

资助项目: 陕西省软科学研究计划项目“陕西省黄河流域煤炭资源开发与生态环境协调发展研究”(2022KRM034)

第一作者: 文帆(1998—), 女(汉族), 湖南省益阳市人, 硕士生, 研究方向为矿区生态监测与评估。Email: 384697295@qq.com。

通信作者: 陈秋计(1970—), 男(汉族), 山西省运城市人, 博士, 教授硕导, 主要从事矿区土地复垦与生态恢复方面的研究。Email: qiujichen@163.com。

southeast and lower in the northwest". ② In terms of the change trend of vegetation coverage, the study area was dominated by significantly improved areas, accounting for 56.65% of the total area. However, there were still some areas with significant vegetation degradation, mainly concentrated in the area near urban river roads. ③ The factors influencing vegetation coverage followed the order of slope > elevation > annual precipitation > GDP > population density > annual average temperature > vegetation type > soil type. The interaction between slope and annual precipitation had the strongest influence on the spatial heterogeneity of vegetation coverage. [Conclusion] From 1986 to 2021, the vegetation coverage in the Binchang mining area was good, showing a significant growth trend as a whole, and the vegetation improvement was obvious. The dominant factor affecting the spatial heterogeneity of vegetation coverage in the study area was slope.

Keywords: vegetation coverage; Binchang mining area; Google Earth Engine (GEE); geodetector

目前,黄河流域生态保护和高质量发展已经成为国家重大战略。地处黄河流域中部的黄土高原是水土流失严重、生态环境最为脆弱的区域。而国家煤炭开采战略重心西移及集群化、高强度的开采方式,使得西部煤炭富集区域的地表生态环境呈现出强烈扰动的态势,使本就脆弱的生态环境日趋退化^[1]。因此,对于矿区的生态监测变得越来越重要。植被对环境的变化具有较高的敏感性,是反映研究区域生态环境状况的重要标志之一^[2-3],植被覆盖度定义为单位面积内植被冠层垂直投影所占的比例^[4],作为一种表示植被资源丰富程度及实现绿化程度的指标,能够较好地表明矿区植被覆盖情况,揭示矿区生态环境动态状况,为矿区地表复垦和生态恢复提供理论依据。

针对矿区植被覆盖度的研究,谭学玲等^[5]基于 MODIS 数据分析了 2005—2016 年榆神府矿区植被覆盖度时空分布特征和变化趋势,结果表明榆神府矿区植被改善面积占总面积 90% 以上。杜华栋等^[6]利用 7 期 Landsat 影像探究 1990—2019 年榆神府矿区黄土丘陵和覆沙地植被覆盖度的时空分布特征,表明研究区植被覆盖度整体呈现改善趋势,且驱动因子主要是人为因素和气候因素。钟琪等^[7]选取了 7 个时期的 Landsat 数据,结合像元二分模型,反演出 1998—2017 年大宁矿区的植被覆盖度,并利用 Sen+Mann-Kendall 趋势分析方法计算了矿区植被覆盖度变化趋势,发现研究区植被覆盖度与矿区开采活动在时间和空间上具有一致性。刘英等^[8]采用 2000—2016 年 Landsat 系列遥感影像,分析出神东矿区不同开采年份采区和非采区植被覆盖度的时序变化。王国芳等^[9]以 Landsat 为数据源,研究了长河井工煤矿、离柳井工煤矿、平朔露天煤矿 3 个不同气候带、不同地形地貌矿区的植被覆盖度,结果表明 3 个矿区植被覆盖度呈增长趋势。已有的对于矿区植被覆盖度的研究大多数仅采用了典型年份的遥感数据,缺少数据的连续性,以典型年份的数据来反演矿区长时间序列植被覆盖度变化趋势,结果可靠性稍显不足。

GEE 作为目前世界上最先进的基于云计算的地理信息处理平台,已经广泛应用于土地利用分类^[10]、湖泊生态^[11]、作物生产等^[12]方面,它能向用户免费提供海量卫星影像,并提供足够的算力进行数据处理,快速得出 NDVI 等植被指数^[13],能够实现长时序上的植被变化特征分析。因此使用 GEE 平台来研究植被长时序变化已成为一种新趋势。此外,彬长矿区虽属于国家 13 个大型煤炭基地主力矿区之一,但由于开发时间较晚,各方面研究不是很充分。查阅文献发现针对彬长矿区的研究主要集中于矿区地下水等^[14-15]方面,而对彬长矿区植被的研究很少。

为此,本文借助 GEE 平台,利用 30 m 分辨率 Landsat Surface Reflectance Tier 1 Data(地表反射率数据),分析彬长矿区 1986—2021 年植被覆盖度时空变化特征,并运用地理探测器分析研究区植被覆盖度空间分异性的主导因子,有助于揭示彬长矿区生态环境状况,可为矿区采矿综合治理及生态恢复提供理论依据,同时为其他西北半干旱矿区的生态环境治理提供参考。

1 研究区概况

根据相关文献^[16]可知,矿区的定义有狭义和广义两种。广义矿区是指“以开发利用矿产资源的生产作业区和职工及其家属生活区为主,并辐射一定范围而形成的经济与行政社区”。彬长矿区位于彬州市及长武县境内,本文为了便于与社会经济数据相结合从而分析影响植被覆盖度空间分布的因素,根据广义矿区定义,选取彬州市与长武县的行政区划范围作为研究彬长矿区植被覆盖度的基本单元,即研究区。彬长矿区煤炭资源丰富,早在 1997 年陕西省就对该地区的煤炭资源开发进行了规划,其建设开发,为陕西省能源建设储备了后续力量。研究区(34°30′—35°30′N, 107°30′—108°10′E)位于陕西省中西部地区,隶属咸阳市,总面积 1 766.7 km²,是连接陕西省和甘肃省的一

条重要纽带,其交通位置和战略位置都非常重要^[17]。该地区属于陇东黄土高原丘陵沟壑区,其海拔 732~1 487 m,气候属于温带季风气候,夏季多雨,冬季寒冷干燥,年降水 500~800 mm,年均气温 8.5~12.4 °C。矿区主要植被类型为栽培植被和温带落叶阔叶林,主要土壤类型为黄绵土、黏化黑垆土和黑垆土。本文主要针对研究区长时间植被覆盖度变化进行研究,并运用地理探测器对其植被覆盖度空间分异性主导因子进行分析。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与预处理

(1) 本文研究所需数据主要包括研究区矢量边界数据、Landsat 遥感影像数据、气象数据、土壤类型、植被类型、数字高程模型数据(DEM)、人口密度和人均生产总值(GDP)。其中 Landsat 遥感影像数据和 DEM 数据通过 Google Earth Engine 云平台(<https://code.earthengine.google.com/>)获取,应用 JavaScript 在线编程语言获取 1986—2021 年研究区 Landsat 地表反射率数据(Landsat 5, 7, 8 Surface Reflectance Tier 1 Data)分辨率为 30 m。其余数据均来自于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>)。

(2) Landsat 遥感数据的预处理包括对影像进行时间上的筛选,时间周期为每年 1 月 1 日至当年 12 月 31 日,利用 QA 波段进行去云处理,并通过上传至平台的研究区边界矢量数据对影像进行裁剪,随后计算归一化植被指数(NDVI),为消除大气、云雾以及传感器角度对遥感数据带来的不利影响,运用 Quality Mosaic 算法对影像进行最大值合成(maximum value composition, MVC)构建年 NDVI 数据集,最后运用像元二分模型^[18]计算得出研究区植被覆盖度,以上所有预处理工作均在 GEE 云平台上完成。

(3) 本文选取的评价指标为 GDP、人口密度、土壤类型、植被类型、坡度、高程、年均温和年降水 8 种,其中高程和坡度提取自数字高程模型(DEM)数据。利用自然间断点法对评价指标进行分类,土壤类型分为 6 类,植被类型分为 10 类,其余指标都分为 9 类。基于 ArcGIS 10.4 软件创建渔网工具,生成 500 m×500 m 的采样点共计 7 000 余个,按照采样点对上述评价指标进行提取分析,去除异常值后,余下有效采样值 6 732 个,将所得属性数据导入地理探测器软件进行探测分析。

2.2 研究方法

2.2.1 像元二分模型 归一化植被指数(normalized

difference vegetation index, NDVI)可描述植被的生长状况,是定量评价植被盖度常用指标之一^[19],其计算方法为:

$$NDVI = \frac{N_{NIR} - N_{red}}{N_{NIR} + N_{red}} \quad (1)$$

式中: N_{NIR} 为近红外波段的反射值; N_{red} 为红光波段的反射值。

使用最大值合成法(maximum value compositing, MVC)^[20]得出研究区年度最大归一化植被指数值(NDVI),计算公式为:

$$NDVI_n = \max NDVI_m \quad (2)$$

式中: $NDVI_n$ 为第 n 年的 NDVI 最大合成值; $NDVI_m$ 为每个像元上在第 n 年内的每幅影像的 NDVI 值; m 为研究区的第 n 年的遥感影像总数。

像元二分模型不受地域、地形等客观因素限制,对于地表实测数据的依赖性不强,可以通过相关的计算来减少或消除因大气和土壤类型等诸多因素带来的误差^[21],因此像元二分模型广泛应用在基于遥感影像数据的植被覆盖度研究上,其计算公式为:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (3)$$

式中:FVC 为植被覆盖度; $NDVI_{soil}$, $NDVI_{veg}$ 分别为裸地或无植被覆盖和纯植被覆盖地表的 NDVI 值。本文根据研究区植被现状,分别选取累计频率为 5% 和 95% 的 NDVI 值作为 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 。

2.2.2 年均植被覆盖度计算 在研究区内第 i 年 FVC 的均值计算方法为:

$$FVC_i = \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s f_{ij} \quad (4)$$

式中: FVC_i 为研究区第 i 年的植被覆盖度均值; f_{ij} 为研究区内第 i 年中第 j 个像元的 FVC 取值; i 为年的序列号($i=1, 2, \dots, 36$); s 为像元总个数。参考前人的划分标准^[22-23],并结合研究区的实际情况,将植被覆盖度分为 5 个等级:极低覆盖度(0%~10%),低覆盖度(10%~30%),中覆盖度(30%~60%),高覆盖度(60%~80%),极高覆盖度(80%~100%)。

2.2.3 趋势分析法 每个像元的植被覆盖度随着时间的变化可表现为整体的上升、不变或下降趋势,本研究采用一元线性回归分析方法^[24],通过线性拟合每个像元近 36 a 间的植被覆盖度变化趋势,计算变化率,从而得到研究区植被覆盖度的时空变化趋势,计算公式为:

$$\theta_{slope} = \frac{n \sum_{i=1}^n i f_i - (\sum_{i=1}^n i) (\sum_{i=1}^n f_i)}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (5)$$

式中: θ_{slope} 为斜率; n 为监测年数; f_i 为对应 i 年份的 FVC 值。当 $\theta_{\text{slope}} > 0$ 时,表示植被覆盖度呈现上升趋势,反之呈现下降趋势。一元线性回归的趋势性检验采用 F 检验法^[25],即

$$F = \frac{U}{Q/(n-2)} \quad (6)$$

式中: U 为回归平方和; Q 为误差平方和; $n=36$ 为监测年数。根据回归和显著性检验结果,将研究区分为 6 个部分:极显著增加地区($\theta_{\text{slope}} > 0, p < 0.01$);显著增加地区($\theta_{\text{slope}} > 0, 0.01 < p < 0.05$);不显著增加地区($\theta_{\text{slope}} > 0, p > 0.05$);极显著减少地区($\theta_{\text{slope}} < 0, p < 0.01$);显著减少地区($\theta_{\text{slope}} < 0, 0.01 < p < 0.05$);不显著减少地区($\theta_{\text{slope}} < 0, p > 0.05$)。

2.2.4 地理探测器 地理探测器是王劲峰等^[26]提出的探测事物空间分异性及其驱动力一组统计方法,其核心思想是基于这样的假设:如果某个自变量对某个因变量有重要影响,那么自变量和因变量的空间分布应该具有相似性。地理探测器的优势之一是既可以探测数值型数据,也可以探测定性数据;另一大优势是探测两因子交互作用于因变量。地理探测器已广泛应用于自然和社会科学多领域。地理探测器主要包括因子探测器、交互作用探测器、风险探测器和生态探测器。本文主要应用地理探测器的因子探测器及交互作用探测器研究影响植被覆盖度的地理因子。

(1) 分异及因子探测器。探测植被覆盖度的空间分异性,即探测某因子对植被覆盖度空间分异的解释力大小,本文取植被覆盖度为因变量 Y ,选取年降水、年均温、高程、坡度、植被类型、土壤类型、人口密度和 GDP 合计 8 个因子为 $X_s (s=1 \cdots 8)$ 。计算公式为:

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (7)$$

式中: q 为地理因子 X 的对植被覆盖度解释力; h 为因变量 FVC 或地理因子 X 的分类或分区, ($h=1 \cdots L$); N 为分区 h 和全区的单元数; σ_h^2, σ^2 分别为分区 h 和全区的 Y 值的方差。 q 取值范围为 $[0, 1]$, q 的取值越大表示地理因子 X 对植被覆盖度空间分异的解释力越强。

(2) 交互作用探测。识别不同影响因子之间的交互作用,即评估各因子两两交互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 的影响是相互独立的。两个因子之间的关系可分为非线性减弱、单因子非线性减弱、双因子增强、独立和非线性增强 5 类。

3 结果与分析

3.1 植被覆盖度年际时序变化特征

根据研究区 1986—2021 年各年份的植被覆盖度均值绘制出多年研究区植被覆盖度均值变化趋势图(图 1)。由图 1 可以看出,1986—2021 年研究区植被覆盖度总体呈现增长趋势,平均增长率为 $0.64\%/a$,植被覆盖度最低出现在 1986 年为 0.40,最高出现在 2021 年为 0.66;其中年均植被覆盖度在 1986—1999 年趋于稳定,其值在 0.40 至 0.47 之间波动,波动幅度较小。1990—1999 年先显示逐年下降,而后开始回升,区间平均增长率为 $0.18\%/a$;在 1999—2021 年研究区植被覆盖度呈现波动式增长,在 2005 和 2008 年有两次小回落,之后稳步上升,区间平均增长率为 $0.93\%/a$,区域总体植被状况得到明显改善。

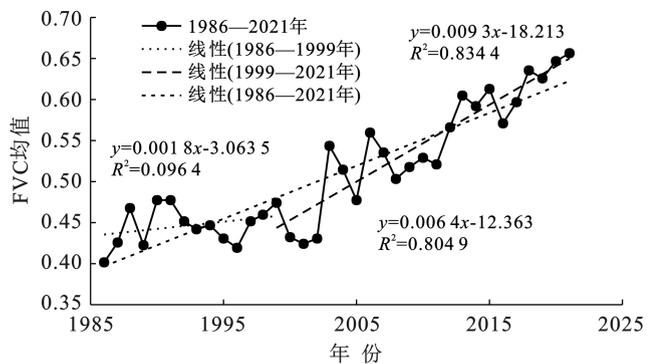


图 1 彬长矿区 1986—2021 年植被覆盖度均值变化

Fig.1 Mean variation of vegetation coverage in Binchang mining area from 1986 to 2021

3.2 植被覆盖度空间分布特征

研究区 1986—2021 年平均植被覆盖度空间分布极具规律性(图 2),整体上来看高覆盖度地区分布在西南部即泾河以西以南,黑河以南,而低覆盖度地区主要沿泾河和黑河沿岸分布,同时以团片状聚集在彬州市和长武县城市中心地区,而其余大部分是中覆盖度地区,说明城市的发展在一定程度上对植被覆盖度的空间分布造成了一定影响。据统计可知,研究区整体多年平均植被覆盖度较高,表现在中覆盖度及以上($FVC > 0.3$)所占面积较大,达总面积的 87.14% 。

3.3 植被覆盖度变化趋势分析

从图 3 可知,跟 1986 年相比,2021 年研究区植被覆盖度有大幅度增长,直观地可以表现在高覆盖度地区不只集中于研究区西南部,而是布满了整个研究区。根据表 1 可知高覆盖度及以上($FVC > 0.6$)地区面积由 1986 年的 387.59 km^2 增加到 2021 年的 1149.88 km^2 ,增长幅度为 1986 年的 196.67% ,低覆

盖度和极低覆盖度($FVC < 0.3$)地区面积由 1986 年的 718.75 km^2 降低到 2021 年的 198.65 km^2 , 降低幅度为 72.36% 。尽管低覆盖度地区面积有明显减少, 但对比图 3 可知, 长武县和彬州市城市中心以及泾河周边地区的低植被覆盖度面积在扩张。根据 1986—2021 年研究区植被覆盖变化趋势图(图 4)和 1986—2021 年不同趋势面积比例(表 2)可以验证以上观点, 显著增加区域面积为 997.98 km^2 , 占研究区总面积的 56.65% , 其中极显著增加区域的占比例 47.52% , 它们主要分布在泾河东北部, 西部和南部, 这部分地区植被得到显著改善; 而显著减少区域的面积为 131.19 km^2 , 占总面积的 7.45% , 其中极显著减少区域比例为 5.52% , 虽然所占面积不大, 但主要分布在长武县和彬州市城市中心和靠近泾河、X304 县道、X305 县道等而发展起来的村镇, 其他植被状况较稳定(不显著减少、增加)地区面积为 632.43 km^2 , 所占比例为 35.9% 。可以知道自 1999 年退耕还林政策实施以来, 研究区整体植被覆盖度确实是有显著提升,

植被状况得到了明显改善, 这点跟王逸男等^[27]研究得到的结果基本一致, 而根据上述结果可以得知的是研究区的城市发展对当地的植被覆盖度的变化趋势和空间分布都是有一定影响。

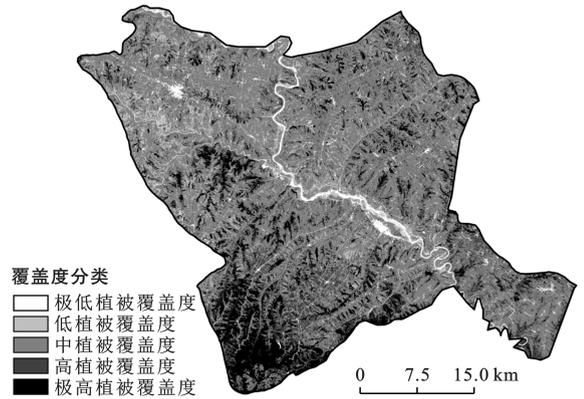


图 2 彬长矿区 1986—2021 年多年平均植被覆盖度

Fig.2 Multi-year average vegetation coverage in Binchang mining area from 1986 to 2021

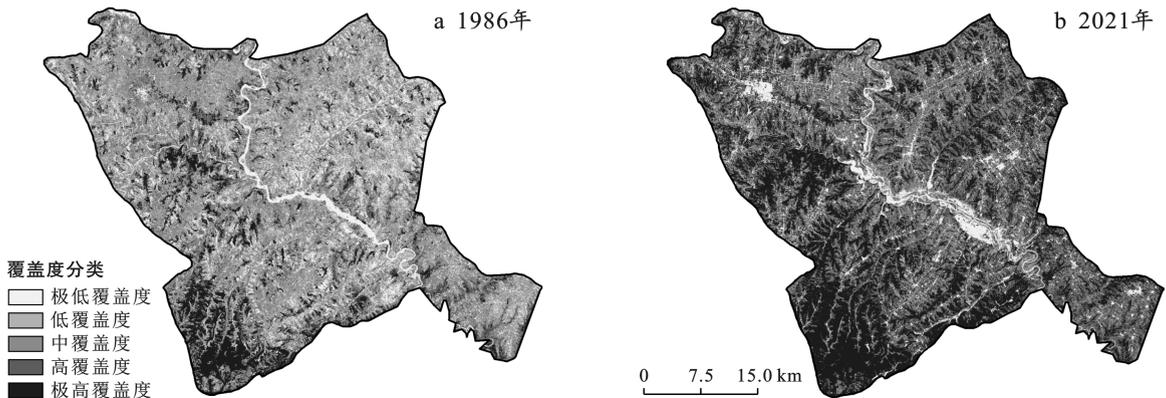


图 3 彬长矿区 1986 和 2021 年植被覆盖度分类

Fig.3 Vegetation coverage classification maps of Binchang mining area for 1986 and 2021

表 1 彬长矿区 1986 和 2021 年不同植被覆盖度分类面积及比例

Table 1 Classification area and percentage of different vegetation coverage in Binchang mining area in 1986 and 2021

覆盖度等级	1986 年		2021 年	
	面积/ km^2	比例/ $\%$	面积/ km^2	比例/ $\%$
极低覆盖度	220.67	12.49	110.70	6.27
低覆盖度	498.08	28.20	87.95	4.98
中覆盖度	660.15	37.37	418.15	23.67
高覆盖度	204.18	11.56	531.43	30.08
极高覆盖度	183.41	10.38	618.46	35.01

研究区域 1986—2021 年植被覆盖度转移矩阵详见表 3。从表 3 可以看出, 绝大多数区域的植被覆盖发生了改善。由 1986 年极低和低植被覆盖度转入 2021 年中、高和极高植被的面积分别为 172.96 和

429.53 km^2 占原本覆盖度类型总面积的 78.36% 和 86.25% , 1986 年中覆盖度转入 2021 年高、极高覆盖度占 65.73% , 面积为 433.89 km^2 。1986 年高植被覆盖度区域面积 204.15 km^2 中除了 60.74 km^2 , 面积比例约 30% 保持原类型不变, 剩下 52.88% 面积的转成极高植被覆盖度。1986 年极高植被覆盖度面积的 87.24% 在 2021 年继续保持极高植被覆盖度, 整体而言, 1986—2021 年植被覆盖度发生向比原有植被覆盖度更低类型转变的面积(即转移矩阵下三角面积)仅占总体面积的 9.07% 。因此可以判断 1986—2021 年的 36 a 间, 有 90.93% 面积朝比自己原有植被覆盖度类型更好的方向转变, 说明研究区植被覆盖是朝极好的方向改善。

表 2 1986—2021 年彬长矿区不同植被覆盖度变化趋势面积比例

Table 2 Proportion of area with different vegetation coverage trends in Binchang mining area from 1986 to 2021

趋势类型	极显著减少	显著减少	不显著减少	不显著增加	显著增加	极显著增加
面积比例/%	5.52	1.93	11.84	24.06	9.13	47.52

表 3 彬长矿区 1986—2021 年不同植被覆盖度转移矩阵

Table 3 Transfer matrix of different vegetation coverage in Binchang mining area from 1986 to 2021 km²

项目	1986 年					面积总计
	极低植被覆盖度	低植被覆盖度	中植被覆盖度	高植被覆盖度	极高植被覆盖度	
2021 年 极低植被覆盖度	29.85	17.91	70.90	64.14	37.92	220.71
低植被覆盖度	34.66	33.81	159.62	165.78	104.13	498.01
中植被覆盖度	36.45	30.68	159.09	225.84	208.05	660.11
高植被覆盖度	7.17	4.43	23.54	60.74	108.27	204.15
极高植被覆盖度	2.42	1.14	4.95	14.89	160.00	183.41
面积总计	110.55	87.96	418.09	531.40	618.38	1 766.38

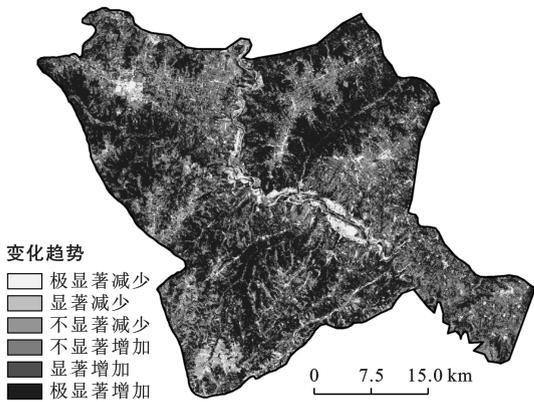


图 4 彬长矿区 1986—2021 年植被覆盖度变化趋势图

Fig.4 Trend map of vegetation coverage change in Binchang mining area from 1986 to 2021

3.4 地理因子对植被 FVC 的贡献

3.4.1 探测因子单因素分析 本文总体从自然环境

条件和社会经济条件两个方面出发,选取年降水、年均温、高程、坡度、植被类型、土壤类型、人口密度和 GDP 8 个地理因子。先对各因子进行编码(表 4),随后利用自然间断点法对各因子进行分类,再利用地理探测器模型计算各因子对植被覆盖度的解释力。对影响研究区植被覆盖度空间分异性的地理因子进行探测,计算结果如表 4 所示。各因子对植被覆盖度空间分布影响程度排序为:坡度>高程>年降水>GDP>人口密度>年均温>植被类型>土壤类型(各因子探测结果 p 值皆为 0)。环境因子中坡度的影响力在 10% 以上,为研究区植被覆盖度的主要影响因素,其次高程的影响力接近于 10%,对植被覆盖度的影响较强,降水、GDP 值、人口密度和年均温的影响力在 4%~7% 之间,说明对研究区的植被覆盖度有一定的影响,而植被类型和土壤类型则对植被覆盖度影响较小。

表 4 各因子编码及 q 值

Table 4 Codes for each factor and q value

编码	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
驱动因子	GDP	人口密度	土壤类型	植被类型	坡度	高程	年均温	年降水
q 值	0.063 6	0.058 5	0.025 7	0.033 3	0.144 5	0.087 1	0.046 5	0.067 0

3.4.2 因子交互作用分析 通过各因子交互作用探测直观可知(图 5),土壤类型与植被类型,高程与 GDP、土壤类型、植被类型,年均温与 GDP、人口密度、土壤类型、坡度,年降水与土壤类型、高程皆为非线性增强,说明两因子的交互极大增加了单因子对植被覆盖度空间分布的影响,而其余两因子相交结果都为双因子增强,不存在减弱。这表明研究区所选因子两两交互作用皆比单一因子对植被覆盖度空间分布的影响强。同时在交互结果中,坡度与其他因子的

交互作用解释力几乎都大于 15%,都高于其他因子之间的交互作用,其中最大值为坡度与年降水($q=0.207 7$),其次为坡度与高程($q=0.206 3$),侧面说明了坡度为主导因子。

4 讨论与结论

(1) 在 1986—1999 年期间彬长矿区植被覆盖度较为稳定,1999—2021 年间植被覆盖度波动式增长,36 a 间整体呈现增长趋势;研究区整体多年平均植被

覆盖度较高,在空间上呈现东南部地区高,西北地区低的特点。

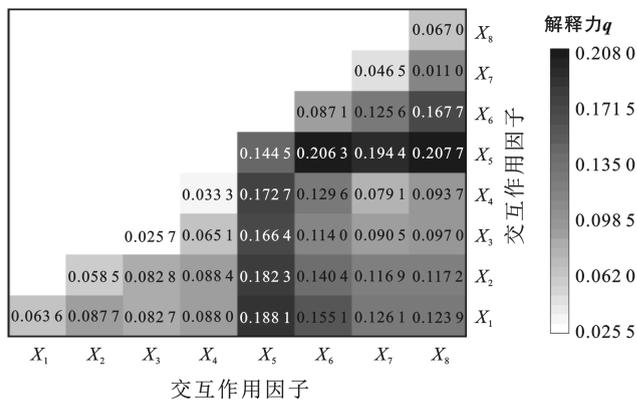


图 5 各地理因子交互作用探测结果

Fig.5 Results of geographic factor interaction detection

(2) 1986—2021 年植被覆盖度变化趋势中,面积最大的为显著增加的区域,占比为 56.65%,超过了总面积的一半,其次为变化趋势稳定区域比例为 35.9%,显著减少区域比例最低仅为 7.45%。显著减少区域主要沿河流及交通要道呈线状或面状分布。此外,超过 90% 的面积朝比自己原有植被覆盖度类型更好的方向转变,研究区整体植被覆盖改善明显。

(3) 各因子对植被覆盖度影响力大小排序为:坡度>高程>年降水>GDP>人口密度>年均温>植被类型>土壤类型。坡度和高程为影响植被覆盖度空间分异性的主要地理因子。因子间的交互作用以非线性增强为主,其余皆为双因子增强,其中坡度与其他因子的交互作用最强,说明坡度为主导因子。

与传统下载数据至本地再处理的方法相比,本研究运用的 GEE 在线云平台能够更加快速高效地处理大量数据,提高研究效率,同时数据的连续性亦增强了研究结果的可靠性。1986—2021 年彬长矿区植被覆盖度变化趋势在整体上与黄土高原变化趋势类似,多年植被覆盖度均值分为两个阶段,1999 年之前相对平稳。自 1999 年开始彬长矿区植被覆盖度均值呈现波动式增长,可以直观说明,1999 年开始实施的退耕还林还草的生态工程成效十分显著。运用地理探测器探测 8 个因子对植被覆盖度空间分布的影响,得出的结论与王一等^[28]研究的主导黄土高原植被覆盖度空间分异性的地理因子有所不同,彬长矿区尽管属于黄土高原地区,但影响其植被覆盖度空间分布的主要因子不是降水,而是坡度。造成这种差异的原因可能是彬长矿区处在黄土高原和关中平原过渡重叠台坡面上,丘陵沟壑区,海拔坡度变化波动和地形起伏较大,在坡度小的地区,如靠近水域河流等地势平缓

区域人口集聚较多,容易形成乡村和城市,人类聚落的生活习惯容易导致地表景观格局的变化,从而影响地表植被覆盖度的分布;随着坡度增大,雨水冲刷作用越强,土壤持水力越弱,自然降水与土壤矿物质更容易流失从而影响植被的覆盖。

本文尽管得到了明确结论,但仍存在一些不足。本文只对 1986—2021 年彬长矿区的植被覆盖度情况进行了研究分析,而没有根据历史数据对该研究区未来的植被覆盖度变化趋势进行预测,缺少前瞻性;此外,使用地理探测器探测影响彬长矿区植被覆盖度空间分异性时,选取的因子数量不够多,以自然环境因子为主,人类活动因子只有 GDP 和人口密度,种类较少。分析得到的人类活动对彬长矿区植被覆盖度空间分布影响程度会比实际要低。因此本研究未来的探索方向是植被覆盖度变化趋势预测以及更加完善的影响因子评价系统。

[参 考 文 献]

- [1] 卞正富,雷少刚,刘辉,等.风积沙区超大工作面开采生态环境破坏过程与恢复对策[J].采矿与安全工程学报,2016,33(2):305-310.
- [2] 陈昫琳.基于 Landsat 和 MODIS NDVI 时序数据的青海湖流域植被覆盖度提取及其变化分析[D].北京:中国地质大学(北京),2019.
- [3] 张远东,张笑鹤,刘世荣.西南地区不同植被类型归一化植被指数与气候因子的相关分析[J].应用生态学报,2011,22(2):323-330.
- [4] 李卓,孙然好,张继超,等.京津冀城市群地区植被覆盖动态变化时空分析[J].生态学报,2017,37(22):7418-7426.
- [5] 谭学玲,闫庆武,王瑾,等.榆神府矿区植被覆盖的动态变化及其影响因素[J].生态学杂志,2018,37(6):1645-1653.
- [6] 杜华栋,宁本燕,拜梦童,等.1990—2019 年榆神府矿区不同地貌植被覆盖度变化及驱动力探究[J].林业资源管理,2021(5):121-130.
- [7] 钟琪,胡晋山,康建荣.基于像元二分法的大宁矿区植被覆盖度研究[J].金属矿山,2021(11):197-203.
- [8] 刘英,雷少刚,陈孝杨,等.神东矿区植被覆盖度时序变化与驱动因素分析及引导恢复策略[J].煤炭学报,2021,46(10):3319-3331.
- [9] 王国芳,毕如田,张吴平,等.典型矿区植被覆盖度时空分布特征及影响因素[J].生态学报,2020,40(17):6046-6056.
- [10] 董欣,刘鹏程.基于 GEE 的土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究:以京津冀地区为例[J].华中师范大学学报(自然科学版),2020,54(4):670-678.
- [11] 黄珏,李正茂,张珂,等.基于 GEE 的中国湖泊浮游植物生物量时空动态分析[J].地理学报,2021,76(7):1693-1707.

- Earth System Science Data, 2021,13(6):2753-2776.
- [14] 方东平,李在上,李楠,等.城市韧性:基于“三度空间下系统的系统”的思考[J].土木工程学报,2017,50(7):1-7.
- [15] 陈全通,殷浩然,李艳红,等.秦巴山地景观生态风险的时空分异[J].水土保持通报,2022,42(3):239-246.
- [16] 陈集景,周蕾,迟永刚,陆地生态系统稳定性空间格局及影响机制研究综述[J].中国农业气象,2021,42(7):552-560.
- [17] 高玉琴,刘云苹,闫光辉,等.秦淮河流域水系结构及连通度变化分析[J].水利水电科技进展,2020,40(5):32-39.
- [18] 许凤娇,吕晓.基于土地利用变化的江苏沿海地区生态风险格局[J].生态学报,2018,38(20):7312-7325.
- [19] 王云才.上海市城市景观生态网络连接度评价[J].地理研究,2009,28(2):284-292.
- [20] 朱诗洁,毛劲乔,戴会超.资料缺乏地区水系连通工程效益评价方法研究[J].水力发电学报,2021,40(2):12-19.
- [21] 邵丽亚,陈荣蓉,侯俊国,等.城镇建设用地生态适宜性评价研究:以重庆市荣昌县为例[J].中国农业资源与区划,2013,34(6):86-92.
- [22] 杨璐迪,曾晨,焦利民,等.基于生态足迹的武汉城市圈生态承载力评价和生态补偿研究[J].长江流域资源与环境,2017,26(9):1332-1341.
- [23] 邱寿丰,朱远.基于国家生态足迹账户计算方法的福建省生态足迹研究[J].生态学报,2012,32(22):7124-7134.
- [24] 张中浩,聂甜甜,高阳,等.长江经济带生态系统服务与经济社会发展耦合协调关联时空特征研究[J].长江流域资源与环境,2022,31(5):1086-1100.
- [25] 许玉洁,刘曙光.黄河流域绿色创新效率空间格局演化及其影响因素[J].自然资源学报,2022,37(3):627-644.
- [26] 姜悦,侯现慧,刘国彬,等.黄土高原生态—经济—社会耦合协调发展研究:以长武县、绥德县、神木市和淳化县为例[J].水土保持通报,2022,42(4):234-243.
- [27] 王宇琦,沈润平,黄安奇,等.2001—2017年中国不同耕作区重建 MODIS LAI 时空动态[J].地球信息科学学报,2021,23(4):658-669.
- [28] Yangfan Li, Yi Li, Yan Zhou, et al. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment [J]. Journal of Environmental Management, 2012,98:127-133.

(上接第310页)

- [12] 曹娟,张朝,张亮亮,等.基于 Google Earth Engine 和作物模型快速评估低温冷害对大豆生产的影响[J].地理学报,2020,75(9):1879-1892.
- [13] 郭永强,王乃江,褚晓升,等.基于 Google Earth Engine 分析黄土高原植被覆盖变化及原因[J].中国环境科学,2019,39(11):4804-4811.
- [14] 霍高普,薛喜成,武超,等.彬长矿区直罗组砂岩含水层孔隙结构及分形特征研究[J].煤矿安全,2023,54(2):189-194.
- [15] 肖乐乐,胡嵩岩,牛超,等.彬长矿区地下水化学特征及突(涌)水源判别[J].西安科技大学学报,2022,42(4):724-732.
- [16] 汤万金,胡乃联,李祥仪,等.矿区可持续发展的评价[J].北京科技大学学报,1999,21(2):119-124.
- [17] 何倩.彬长地区地质灾害特征及风险评价[D].陕西西安:西安科技大学,2018.
- [18] 刘宪锋,杨勇,任志远,等.2000—2009年黄土高原地区植被覆盖度时空变化[J].中国沙漠,2013,33(4):1244-1249.
- [19] Fern R R, Foxley E A, Bruno A, et al. Suitability of NDVI and OSAVI as estimators of green biomass and coverage in a semi-arid rangeland [J]. Ecological Indicators, 2018,94:16-21.
- [20] Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1986,7(11):1417-1434.
- [21] 李苗苗.植被覆盖度的遥感估算方法研究[D].北京:中国科学院遥感应用研究所,2003.
- [22] 林妍敏,李文慧,南雄雄,等.基于地理探测器的宁夏贺兰山植被覆盖度时空分异及驱动因子[J].应用生态学报,2022,33(12):3321-3327.
- [23] Barsi J A, Schott J R, Hook S J, et al. Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration [J]. Remote Sensing, 2014,6(11):11607-11626.
- [24] 李登科,范建忠,王娟.陕西省植被覆盖度变化特征及其成因[J].应用生态学报,2010,21(11):2896-2903.
- [25] 曹俊忠.一元线性回归显著性检验方法分析[J].西安工程科技学院学报,1988(增刊):78-82.
- [26] 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.
- [27] 王逸男,孔祥兵,赵春敬,等.2000—2020年黄土高原植被覆盖度时空格局变化分析[J].水土保持学报,2022,36(3):130-137.
- [28] 王一,郝利娜,许强,等.2001—2019年黄土高原植被覆盖度时空演化特征及地理因子解析[J].生态学报,2023,43(6):1-11.