

# 基于 GEE 云平台的黄河流域农牧交错区植被覆盖度时空变化特征

付镇, 张志敏, 苏娟, 张变第, 卞莹莹\* (宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021)

**摘要** [目的]通过监测黄河流域农牧交错区退耕还林还草工程实施前后植被覆盖时空变化规律,为该地区生态恢复和可持续生态建设提供理论依据。[方法]以 1990—2020 年遥感影像为基本数据源,利用像元二分模型估算研究区植被覆盖度,运用岭回归函数分析植被覆盖度变化趋势,采用 Hurst 指数预测植被覆盖度变化趋势。[结果]黄河流域农牧交错区年均植被覆盖度由 1990 年的 30.05% 增加至 2020 年的 49.19%,增速为 0.62%/a ( $P<0.05$ )。退耕还林还草工程实施以后,恢复面积增加至 53.11 百分点。Hurst 指数在  $0.75<H\leq 1.00$  的区域范围面积占研究区域 95% 以上。[结论]黄河流域农牧交错区植被覆盖度恢复面积远大于退化面积,植被整体呈恢复状态,且今后一段时间仍然保持恢复趋势。整体来看,黄河流域农牧交错区植被覆盖度不同等级土地面积发生转移的区域主要由低植被覆盖度向中低、中等植被覆盖度转移。生态工程的实施对黄河流域农牧交错区植被生长具有明显促进作用。

**关键词** 植被覆盖度;时空变化特征;黄河流域农牧交错区;Hurst 指数;Google earth engine (GEE)

中图分类号 X173

文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)04-0044-06

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.04.011



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Temporal and Spatial Variation of Vegetation Coverage in Agro-pastoral Ecotone of the Yellow River Basin Based on GEE Cloud Platform

FU Zhen, ZHANG Zhi-min, SU Juan et al (School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract** [Objective] To provide a theoretical basis for ecological restoration and sustainable ecological construction in the Yellow River Basin by monitoring the temporal and spatial changes of vegetation cover before and after the implementation of the project of returning farmland to forest and grassland in the farming pastoral ecotone. [Method] Using remote sensing images from 1990 to 2020 as the basic data source, the vegetation coverage in the study area was estimated by pixel dichotomy model, the change trend of vegetation coverage was analyzed by ridge regression function, and the change trend of vegetation coverage was predicted by Hurst index. [Result] The average annual vegetation coverage in the agro-pastoral ecotone of the Yellow River basin increased from 30.05% in 1990 to 49.19% in 2020, with a growth rate of 0.62%/a ( $P<0.05$ ). After the implementation of the project of returning farmland to forest and grassland, the area recovered increased to 53.11 percentage points. The area of areas with  $0.75<H\leq 1.00$  accounts for more than 95% of the study area. [Conclusion] The restoration area of fractional vegetation coverage in the agro-pastoral ecotone of the Yellow River Basin is much larger than the degraded area, and the vegetation is in a state of restoration as a whole, and will maintain the trend of different grades of land areas in the agro-pastoral ecotone of the Yellow River Basin shifted mainly shifted from low vegetation coverage to medium-low and medium fractional vegetation coverage. The implementation of ecological engineering has a significant role in promoting vegetation in the agro-pastoral ecotone of the Yellow River Basin.

**Key words** Fractional vegetation cover (FVC); Temporal and spatial variation characteristics; Agro-pastoral ecotone of the Yellow River Basin; Hurst index; Google earth engine (GEE)

黄河流域是我国重要的生态屏障和重要的经济地带,是打赢脱贫攻坚战的重要区域,在我国经济社会发展和生态安全方面具有十分重要的地位<sup>[1]</sup>。2019 年 9 月 18 日黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上,习近平总书记的讲话中把黄河流域的生态保护和高质量发展与京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设、长三角一体化发展一样,上升为重大国家战略,进一步说明了黄河流域在国家安全中的重要地位<sup>[2]</sup>。而黄河流域农牧交错区是草地与耕地、农业与畜牧业之间在空间上相互交错、在时间上相互重叠,且人类活动极其频繁,从而导致其生态系统的结构、功能、物质循环和能量流动具有一定的复杂性<sup>[3]</sup>。同时黄河流域农牧交错区也是我国典型的生态脆弱区和水土流失最为严重的地区之一<sup>[4]</sup>,为此我国在黄河流域农牧交错区实行了“退耕还林(草)”等一系列重大生态工程<sup>[5]</sup>,以达到改善生态环境的目的,但是凸显的生态问题仍然十分严峻。

植被覆盖度(fractional vegetation cover, FVC)是衡量地表植被生长状况的重要指标<sup>[6-7]</sup>,同时研究植被覆盖度及其时

空变化,也是评价生态环境质量的重要手段<sup>[8]</sup>。因此,研究植被覆盖度对黄河流域农牧交错区生态状况评价尤为重要。虽有学者对黄河流域植被覆盖有所研究,如何航<sup>[9]</sup>研究了黄河流域上中游植被覆盖变化及驱动因素,刘海等<sup>[10]</sup>研究了气候变化及人类活动对黄河流域植被覆盖的影响,但整体而言,目前对整个流域尤其是针对黄河流域农牧交错区生态状况长时序研究仍显滞后。

现有研究表明,google earth engine (GEE) 云平台在植被指数分析<sup>[11]</sup>、土地利用覆盖<sup>[12]</sup>和其他土地利用遥感信息提取及分类<sup>[13]</sup>等方面与传统的遥感分析手段相比更具有明显的特色优势,尤其是在长时间序列、大范围的遥感监测研究中,GEE 云平台的优势更加凸显。但在整个黄河流域,应用 GEE 平台开展研究刚刚起步,如李晶等<sup>[14]</sup>基于 GEE 云平台对黄河流域植被覆盖度时空变化特征进行了研究。但对黄河流域农牧交错区基于 GEE 平台的长时序植被覆盖度变化监测鲜见报道,对其生态变化时空差异认知缺乏研究数据支撑,流域生态变化特征及机理尚不明晰<sup>[9]</sup>。笔者以黄河流域农牧交错区为研究对象,基于 GEE 遥感云平台,采用陆地卫星地表反射率数据(landsat surface reflectance data)分析黄河流域农牧交错区 1990—2020 年植被覆盖度的时空变化规律,通过监测黄河流域农牧交错区退耕还林还草工程实施前

**基金项目** 国家自然科学基金青年基金项目(71904093)。

**作者简介** 付镇(1994—),男,宁夏石嘴山人,硕士研究生,研究方向:森林生态。\*通信作者,副教授,博士,硕士生导师,从事森林生态方面研究。

**收稿日期** 2022-04-01

后植被覆盖时空变化规律,以期为该地区生态恢复和可持续生态建设提供理论依据。

# 1 资料与方法

**1.1 研究区概况** 黄河流域农牧交错区位于 35°~42°N、102°~114°E(图 1),面积约 45 万 km<sup>2</sup>。黄河流域农牧交错区内山脉众多,地貌差别较大,从西到东横跨青藏高原、内蒙古

高原、黄土高原和黄淮海平原 4 个地貌单元<sup>[15]</sup>。域内气候差异显著,以温带季风气候为主,年均气温 12~14℃,降水时空分布不均、年际差异较大,年降水量 200~600 mm<sup>[16]</sup>。黄河流域植被的分布趋同于降水的分布,从西到东依次为稀疏灌木草原、草原、阔叶林和农作物,域内土壤种类丰富,主要有草甸土、栗钙土、黄绵土和棕壤土等<sup>[17]</sup>。

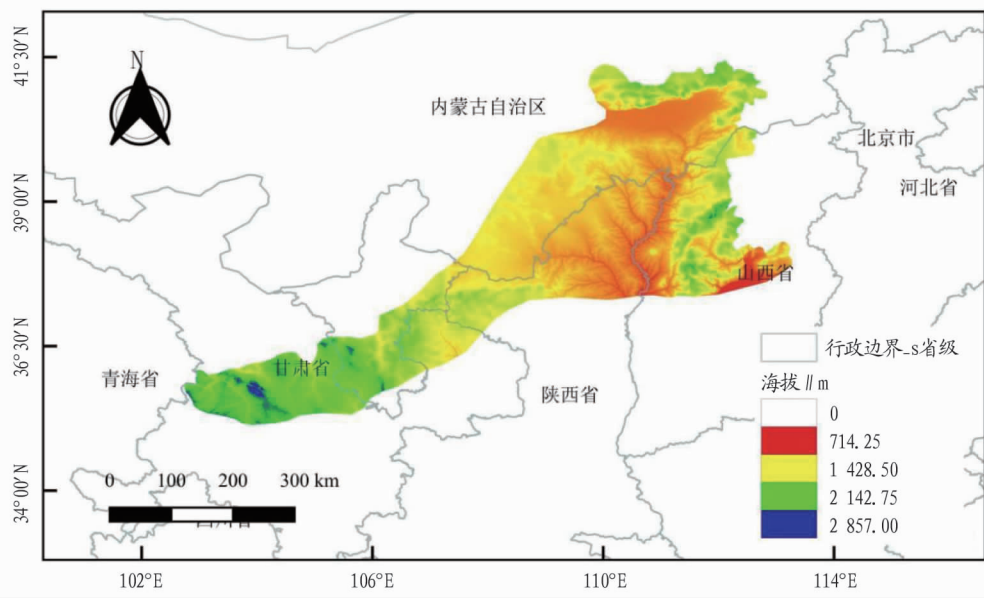


图 1 研究区地理位置

Fig.1 Location map of the study area

**1.2 数据源与预处理** 该研究采用 GEE 平台提供的 T1 级别的 Landsat 地表反射率数据产品 SR (surface reflectance)。该数据已通过大气校正算法消除大气反射、散射和吸收等干扰因素引起的误差,空间分辨率为 30 m,时间分辨率为 16 d。由于 Landsat 5、Landsat 7、Landsat 8 卫星服务年限不同,1990—2011 年选用 Landsat 5 影像,2012 年选用 Landsat 7 影像,2013—2020 年选用 Landsat 8 影像。气象数据源自 GEE 平台的 NOAA\_CFSV2\_FOR6H 产品,数据获取时期为 1990—2020 年。中国北方农牧交错区域矢量边界图源自全球变化科学研究数据出版系统(<http://www.geodoi.ac.cn/>)。

在 GEE 平台中获取 1990、1995、2000、2005、2010、2015、2020 年黄河流域农牧交错区上空的 Landsat 影像批量去云处理,计算植被归一化植被指数 NDVI (normalized difference vegetation index),采用以 95% 为最大值对每年的 NDVI 影像进行融合,合成每一年的 NDVI 影像,并使用黄河流域农牧交错区矢量图进行裁剪,获得研究区每年的 NDVI 最大值影像。利用像元二分模型合成年 FVC 影像,并用 QGIS 3.14 进行处理。

# 1.3 研究方法

**1.3.1 像元二分模型。**像元二分模型是计算植被覆盖度的常见方法<sup>[18]</sup>,该方法的优势在于可以大幅减小大气和土壤背景等因素对植被类型的影响。首先假定单个像元所对应的地表分别由有植被覆盖和无植被覆盖两部分组成,然后计算有植被覆盖部分与该像元的面积比例,该比例即为该像元

的植被覆盖度,计算公式如下:

$$FVC = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (1)$$

式中,FVC 为植被覆盖度;NDVI<sub>soil</sub> 为无植被覆盖区域的 NDVI,理论上趋近于 0;NDVI<sub>veg</sub> 为完全植被覆盖区域的 NDVI。

**1.3.2 岭回归函数。**岭回归是 A.E.Hoerl 在 1962 年提出来的,后又系统地发展为回归分析方法,是在最小二乘估计法方程系数阵 X<sup>T</sup>PX 的主对角线上加上一个常数 k,从而得到误差更低、精度更高、更为稳定的模型<sup>[19]</sup>。

**1.3.3 Hurst 指数。**该研究利用 Hurst 指数对黄河流域农牧交错区植被覆盖度未来变化趋势进行预测。基于重标极差 (R/S) 分析方法基础上的 Hurst 指数 (H) 是定量分析时间序列数据游走性的分析方法,该方法可对黄河流域农牧交错区 FVC 未来变化进行预测,当 0.50<H≤0.75 时为弱一致性,当 0.75<H≤1.00 时为强一致性,具体算法见文献<sup>[20]</sup>。

# 2 结果与分析

**2.1 FVC 时空变化特征** 由图 2 可知,1990—2020 年黄河流域农牧交错区年均 FVC 呈显著增加趋势 (P<0.01),增速为 0.62 %/a,由 1990 年的 30.05% 增加至 2020 年的 49.19%。

我国水利部 2008 年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》<sup>[21]</sup> 中将植被覆盖度划分为 5 个等级:I 级低植被覆盖度 [0,0.30]、II 级中低植被覆盖度 (0.30,0.45]、III 级中等植被覆盖度 (0.45,0.60]、IV 级中高植被覆盖度 (0.60,0.75]、V 级高植被覆盖度 (0.75,1.00]。为了更清晰地凸显出 1990、2000、2010、2020 年研究区域植被覆盖度的组成,绘制图 3,由图 3

可知,1990 年,研究区域以低植被覆盖度、中低植被覆盖度为主;到 2000 年,低植被覆盖区域面积有所增加,但仍以低植被覆盖度、中低植被覆盖区域为主;2010 年,低植被覆盖度面积明显减少,中低植被覆盖度、中等植被覆盖度面积明显增加;2020 年中等植被覆盖度区域面积超过其他几类植被覆盖区域。说明在这 31 年间该地区植被覆盖生长情况明显改善。

从图 4 可以看出,1990—2020 年研究区植被覆盖度西部低东部高。2000 年前 I 级植被覆盖度主要分布在鄂尔多斯市北部、吴忠市南部、中卫市南部、白银市南部、榆林市西部等地区,2000 年后鄂尔多斯市北部、吴忠市南部、中卫市南部、白银市南部、榆林市西部等地区植被恢复明显,大部分地

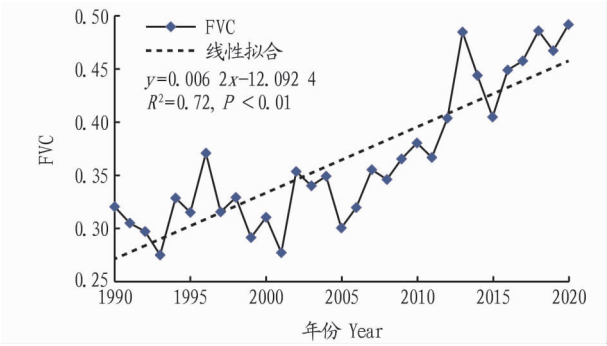


图 2 1990—2020 年 FVC 年际变化  
Fig.2 Interannual variation of FVC from 1990 to 2020

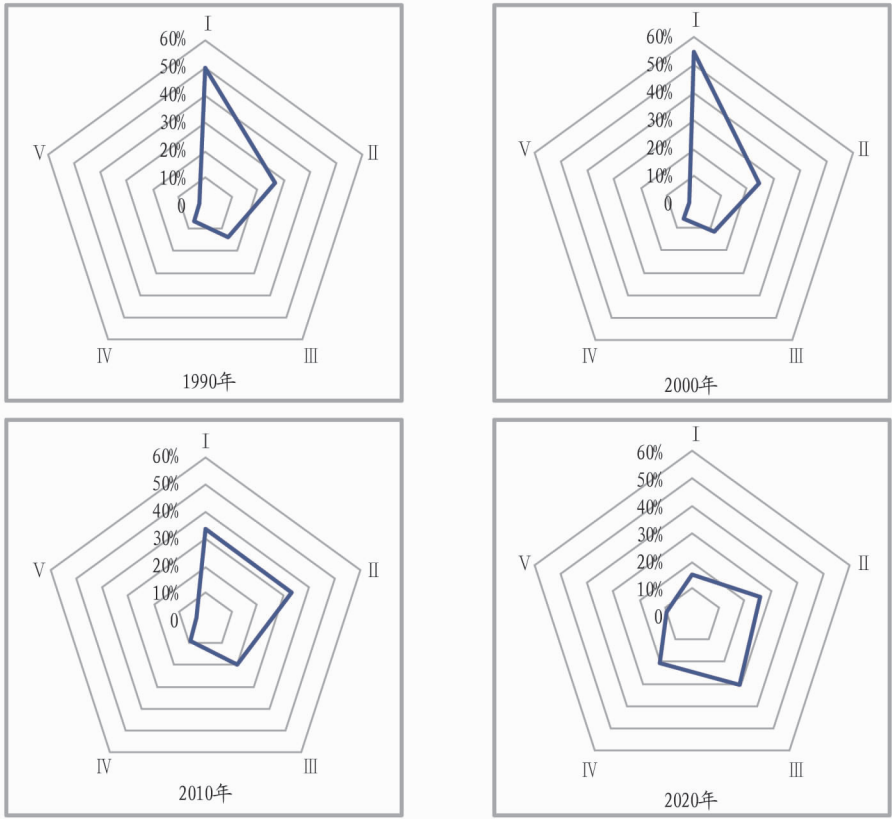


图 3 不同等级 FVC 分布  
Fig.3 Distribution of different FVC grades

区植被从 I 级转化到了 II、III 级;植被覆盖度较好的区域主要分布在吕梁市和太原市。植被覆盖度在 2010 年后好转最为明显,整体来看,1990—2020 年研究区植被覆盖度普遍提高,其中研究区东南部地区较为明显,黄河流域农牧交错区植被覆盖度呈现恢复趋势。

**2.2 FVC 不同等级面积转移矩阵** 从表 1~2 可以看出,1990—2000 年 FVC 未发生变化的面积占研究区总面积的 73.77%,未发生面积变化区域主要集中在植被覆盖的等级为 I 级的区域;FVC 升高的面积占研究区总面积的 21.53%,提升面积区域主要集中在植被覆盖的等级为 II 级的区域;退化面积占研究区总面积的 4.70%。2000—2020 年 FVC 未发生变化的面积占研究区总面积的 24.49%,未发生面积变化区域主要集中在植被覆盖的等级为 I 级的区域;FVC 升高的面

积占研究区总面积的 74.64%,提升面积区域主要集中在植被覆盖的等级为 II、III、IV 级的区域;退化面积占研究区总面积的 0.87%。对比来看,2000—2020 年,FVC 未发生变化的面积明显减少,减少了 49.28 百分点;提升面积明显升高,增加了 53.11 百分点;而退化面积变化不明显,减少了 3.83 百分点。

**2.3 FVC 时空变化趋势特征** 从图 5 可以看出,1990—2020 年黄河流域农牧交错区大部分区域 FVC 呈恢复趋势,且恢复趋势最显著的区域为榆林市的中东部地区;而退化趋势比较明显的地区为包头市南部地区、呼和浩特中西部地区等。

将 FVC 变化趋势划分为显著提升、未显著变化、显著退化 3 个等级。由图 6 可见,1990—2020 年研究区 FVC 整体呈



现上升趋势,且空间差异明显,FVC 显著提升区域面积占研究区总面积的 73.73%,主要分布在鄂尔多斯市、榆林市、呼和浩特市南部等地区;FVC 未显著变化区占研究区总面积的 25.77%,主要分布在庆阳市北部、吴忠市南部、中卫市南部、

白银市南部、兰州市南部等地区;FVC 显著退化的面积占研究区总面积的 0.50%,主要分布在呼和浩特市北部、太原市南部等部分地区。

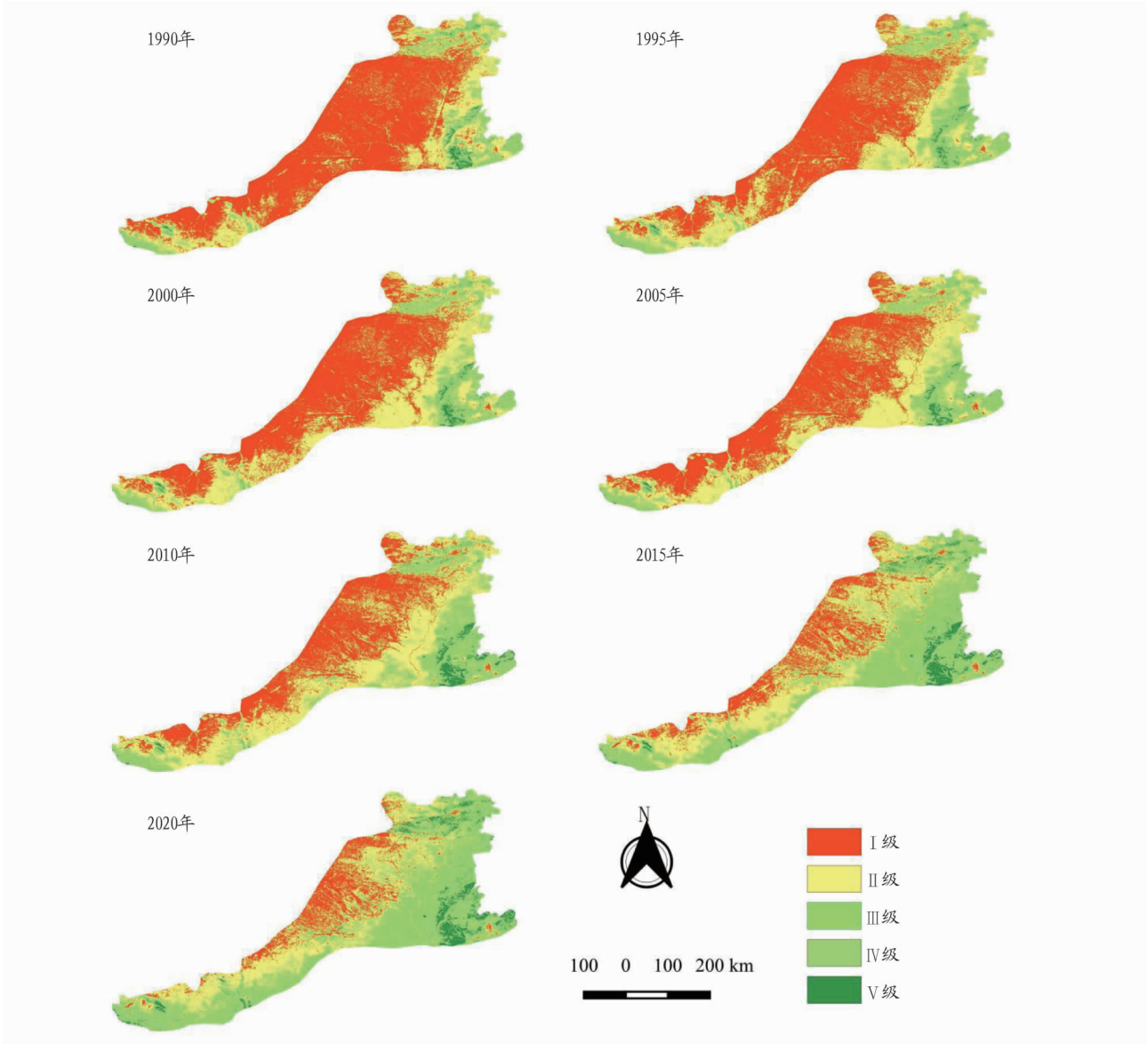


图 4 1990—2020 年黄河流域农牧交错区 FVC 等级空间分布特征

Fig.4 Spatial distribution characteristics of FVC classification in agro-pastoral ecotone of the Yellow River Basin from 1990 to 2020

表 1 1990—2000 年不同等级植被覆盖度土地面积占比转移矩阵

Table 1 Transfer matrix of land area proportion of vegetation coverage at different levels from 1990 to 2000 单位: %

| 1990 年          | 2000 年      |               |                 |               |             |
|-----------------|-------------|---------------|-----------------|---------------|-------------|
|                 | I 级 I level | II 级 II level | III 级 III level | IV 级 IV level | V 级 V level |
| I 级 I level     | 43.52( 不变)  | 15.07( 升高)    | 0.21( 升高)       | 0.02( 升高)     | 0           |
| II 级 II level   | 2.24( 退化)   | 19.71( 不变)    | 4.57( 升高)       | 0.13( 升高)     | 0           |
| III 级 III level | 0.03( 退化)   | 1.32( 退化)     | 6.38( 不变)       | 1.27( 升高)     | 0           |
| IV 级 IV level   | 0           | 0.02( 退化)     | 0.80( 退化)       | 3.42( 不变)     | 0.26( 升高)   |
| V 级 V level     | 0           | 0             | 0               | 0.29( 退化)     | 0.74( 不变)   |

2.4 FVC 未来演变趋势预测 从图 7 可以看出,Hurst 指数为 0.50<H<1.00,因此未来几年黄河流域农牧交错区 FVC 变化趋势与 1990—2020 年黄河流域农牧交错区 FVC 变化趋势具有一致性,其中 0.50<H≤0.75 的区域范围面积较少,因此

未来几年黄河流域农牧交错区 FVC 变化趋势与 1990—2020 年黄河流域农牧交错区 FVC 变化趋势具有弱一致性的区域面积较少;而 0.75<H≤1.00 的区域范围面积较多,占研究区域总面积的95%以上,因此未来几年黄河流域农牧交错区

表 2 2000—2020 年不同等级植被覆盖度土地面积占比转移矩阵

Table 2 Transfer matrix of land area proportion of vegetation coverage at different levels from 2000 to 2020

单位: %

| 2000 年          | 2020 年      |               |                 |               |             |
|-----------------|-------------|---------------|-----------------|---------------|-------------|
|                 | I 级 I level | II 级 II level | III 级 III level | IV 级 IV level | V 级 V level |
| I 级 I level     | 13.62(不变)   | 23.24(升高)     | 8.41(升高)        | 0.48(升高)      | 0.04(升高)    |
| II 级 II level   | 0.31(退化)    | 5.58(不变)      | 24.03(升高)       | 6.03(升高)      | 0.17(升高)    |
| III 级 III level | 0.08(退化)    | 0.28(退化)      | 2.44(不变)        | 8.15(升高)      | 1.00(升高)    |
| IV 级 IV level   | 0.02(退化)    | 0.04(退化)      | 0.12(退化)        | 1.86(不变)      | 3.09(升高)    |
| V 级 V level     | 0           | 0             | 0               | 0.02(退化)      | 0.99(不变)    |

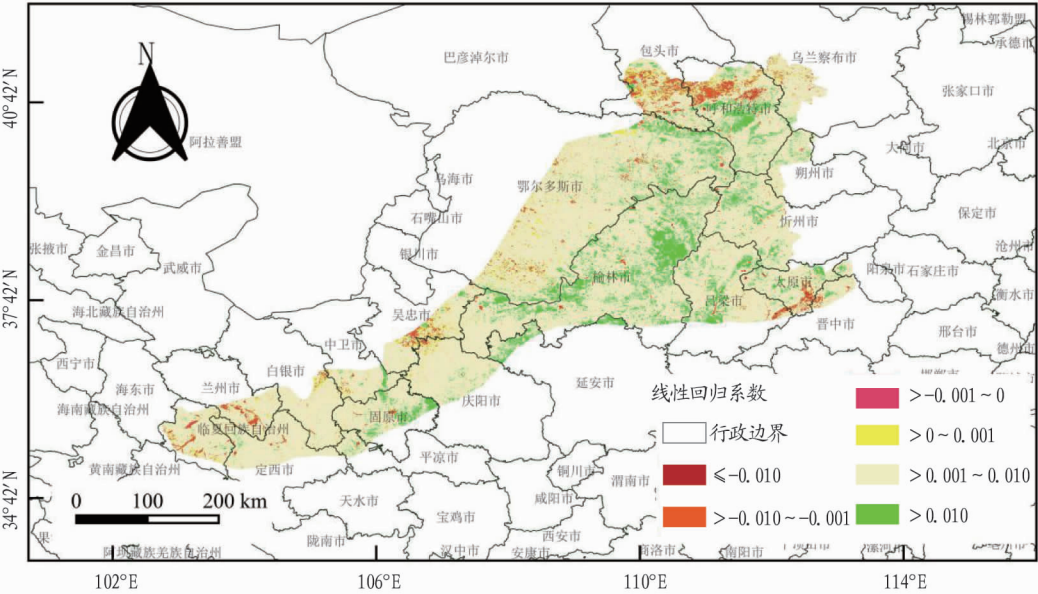


图 5 1990—2020 年黄河流域农牧交错区 FVC 变化趋势

Fig.5 Trend of FVC in agro-pastoral ecotone of the Yellow River Basin from 1990 to 2020

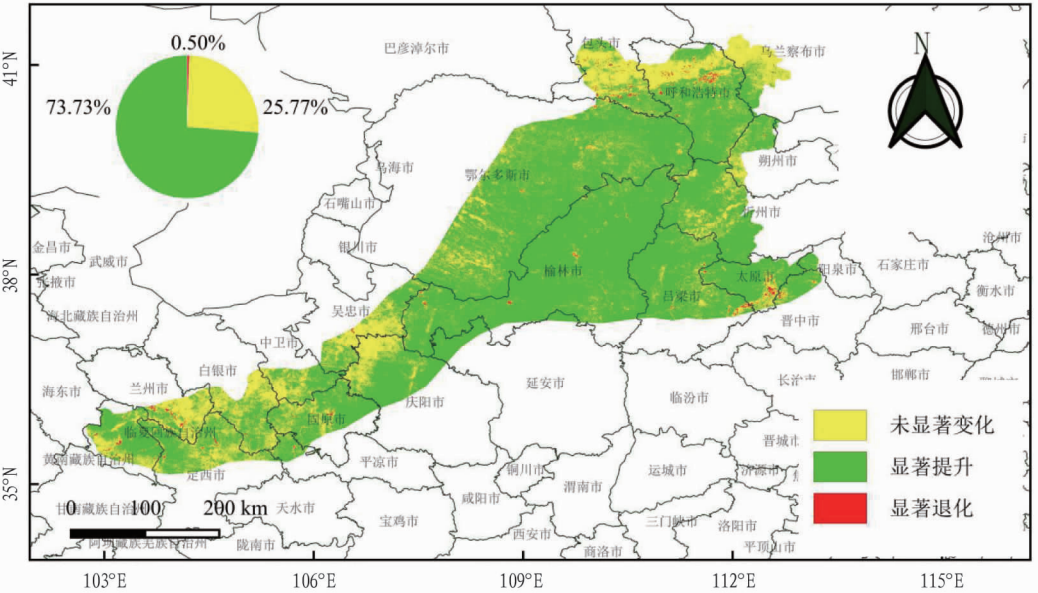


图 6 1990—2020 年黄河流域农牧交错区 FVC 显著性检验

Fig.6 Significance test of FVC in agro-pastoral ecotone of the Yellow River Basin from 1990 to 2020

FVC 变化趋势与 1990—2020 年黄河流域农牧交错区 FVC 变化趋势具有强一致性的区域面积较多。

3 讨论与结论

该研究利用 GEE 平台获取了 FVC 数据探讨了黄河流域农牧交错区 FVC 的空间分布状况,随着时间的推进黄河流

域农牧交错区植被覆盖度有显著性增加,植被覆盖度呈现西部低东部高,其中南部地区增长较大,这与众多学者研究的北方农牧交错区植被覆盖度时空变化结果具有一致性<sup>[22]</sup>。1990—2000 年植被覆盖度恢复面积虽有增加,但恢复面积等级主要集中在 II 级中低植被覆盖度,研究区植被覆盖度整体

仍处于较低水平;2000—2020 年植被覆盖度恢复面积显著增加,恢复面积等级主要集中在 II 级中低植被覆盖度、III 级中等植被覆盖度和 IV 级中高植被覆盖度,研究区植被覆盖度整

体处于中高水平;对比 1990—2000 年与 2000—2020 年,退化面积减少了 3.83 百分点,升高面积增加了 53.11 百分点,结果表明 2000 年后植被的恢复力度有明显增强,这与我国在

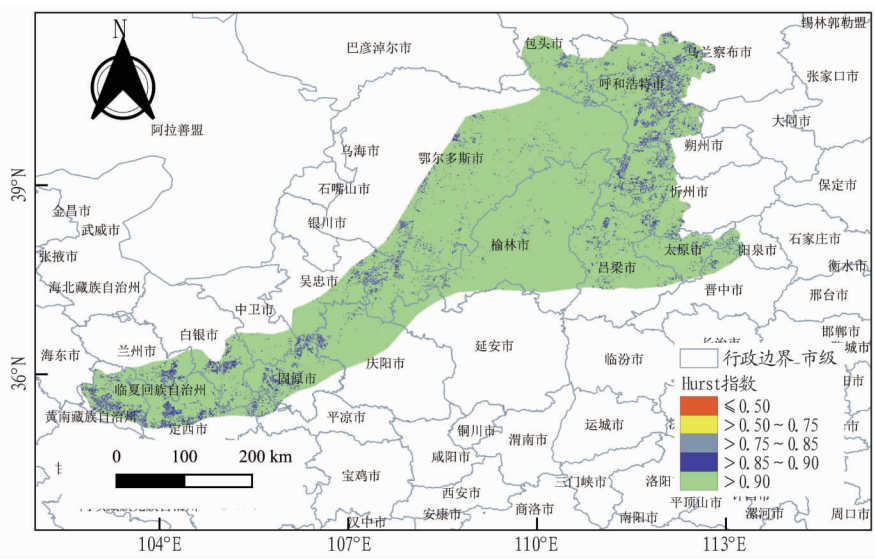


图 7 黄河流域农牧交错区 FVC 变化趋势预测

Fig.7 Change trend prediction of FVC in the agro-pastoral ecotone of the Yellow River Basin

该地区 2000 年实施退耕还林还草、封山育林等政策密不可分<sup>[23]</sup>,2000 年后我国陆续实施了一系列生态恢复工程<sup>[24]</sup>,通过人工造林、人工播草、草原围封、禁牧等措施,减少了人为活动对植被干扰<sup>[25]</sup>,使植被覆盖度增加,可看出生态工程的实施对黄河流域农牧交错区植被具有明显促进作用。但生态工程的实施,使农村剩余劳动力增加<sup>[26]</sup>,农村人口流向城市,促进了城镇发展使得研究区内的城镇区域植被覆盖度出现退化现象。整体来看,1990—2020 年黄河流域农牧交错区植被覆盖度退化面积远远小于恢复面积,植被整体处于恢复阶段,通过 Hurst 指数的方法,发现在经过的一段时间内,植被仍处于恢复阶段。这也进一步证明了我国在该地区实施一系列生态恢复工程取得的功效和生态工程实施的可行性。

参考文献

[1] 周升强,赵凯.北方农牧交错区农牧民生计资本与生计稳定性的耦合协调分析:以宁夏盐池县与内蒙古鄂托克旗为例[J].干旱区资源与环境,2022,36(2):9-15.

[2] 高国力,贾若祥,王继源,等.黄河流域生态保护和高质量发展的重要进展、综合评价及主要导向[J].兰州大学学报(社会科学版),2022,50(2):35-46.

[3] 坚定不移走生态优先、绿色发展的现代化道路[N].人民日报,2021-10-24(001).

[4] 仲俊涛,王蓓,米文宝,等.禁牧对盐池县草地覆被变化的影响[J].草业科学,2018,35(12):2855-2864.

[5] 王丹嫻,李跃进,张昊,等.农牧交错带退耕还草区不同土壤类型的植被群落特征研究[J].北方农业学报,2019,47(1):97-104.

[6] JIANG W G, YUAN L H, WANG W J, et al. Spatio-temporal analysis of vegetation variation in the Yellow River Basin [J]. Ecological indicators, 2015, 51: 117-126.

[7] TONG X W, WANG K L, BRANDT M, et al. Assessing future vegetation trends and restoration prospects in the Karst regions of southwest China [J]. Remote sensing, 2016, 8(5): 1-17.

[8] LIU H Y, ZHANG M Y, LIN Z S, et al. Spatial heterogeneity of the relationship between vegetation dynamics and climate change and their driving forces at multiple time scales in southwest China [J]. Agricultural and forest meteorology, 2018, 256/257: 10-21.

[9] 何航.黄河流域上中游植被覆盖变化及驱动因素研究[D].兰州:西北师范大学,2020.

[10] 刘海,刘凤,郑粮.气候变化及人类活动对黄河流域植被覆盖变化的影响[J].水土保持学报,2021,35(4):143-151.

[11] LUO C, LIU H J, LU L P, et al. Monthly composites from Sentinel-1 and Sentinel-2 images for regional major crop mapping with Google Earth Engine [J]. Journal of integrative agriculture, 2021, 20(7): 1944-1957.

[12] 杨淑萍,韩海东.基于地理探测器的甘肃省 NDMI 驱动因子定量分析[J].甘肃农业大学学报,2019,54(4):115-123.

[13] ZHOU Y, DONG J W, XIAO X M, et al. Continuous monitoring of lake dynamics on the Mongolian Plateau using all available Landsat imagery and Google Earth Engine [J]. Science of the total environment, 2019, 689: 366-380.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 谷同辉,管晓丹,高照远,等.黄河流域蒸散发与气温和降水以及风速的相关性分析[J].气象与环境学报,2022,38(1):48-56.

[17] 郭艳华.文旅融合视角下黄河流域旅游文化保护与传承研究:评《黄河流域旅游文化及其历史变迁》[J].人民黄河,2022,44(2):165-166.

[18] 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.

[19] 杨泽康,田佳,李万源,等.黄河流域生态环境质量时空格局与演变趋势[J].生态学报,2021,41(19):7627-7636.

[20] 姜丽霞,王琰琰,吕佳佳,等.基于 Hurst 指数的黑龙江省作物生长季降水趋势研究[J].气象与环境学报,2020,36(2):70-77.

[21] 中华人民共和国水利部.土壤侵蚀分类分级标准:SL 190—2007[S].北京:中国水利水电出版社,2008.

[22] 王丽霞,史园莉,张宏伟,等.2000—2020 年北方农牧交错区植被生态功能变化及驱动因子分析[J].生态环境学报,2021,30(10):1990-1998.

[23] 靳小莲,赵巍,李梦迪,等.黄土高原退耕还草土壤水分对植物地上部化学计量特征的影响[J].水土保持研究,2022,29(2):57-63.

[24] 刘虎,武威市古浪县退耕还林还草效益评价与补偿政策研究[D].兰州:兰州大学,2014.

[25] 曹宁,韩颖娟,马宁.荒漠化及植被盖度监测变化分析:以宁夏盐池县为例[J].农业网络信息,2013(10):123-125.

[26] 康雄,曹俊涛,陈成,等.不同趋势法的宁夏长时序植被变化分析[J].测绘通报,2020(11):23-27.