

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2025.04.006

<https://xuebao.xaut.edu.cn>

引文格式: 王俊枝, 萨日盖, 窦银银, 郑洪伟, 张磊. 2000—2022年鄂尔多斯高原人类活动对植被覆盖变化的影响[J]. 西安理工大学学报, 2025, 41(4): 509-516.

WANG Junzhi, SA Rigai, DOU Yinyin, HENG Hongwei, HANG Lei. Effects of human activities on vegetation cover changes in the Ordos Plateau during 2000—2022[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2025, 41(4): 509-516.

2000—2022年鄂尔多斯高原人类活动对植被覆盖变化的影响

王俊枝¹, 萨日盖², 窦银银³, 郑洪伟⁴, 张磊¹

(1. 内蒙古自治区测绘地理信息中心, 内蒙古 呼和浩特 010010; 2. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010022; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101; 4. 内蒙古金润不动产评估咨询有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要: 为了监测生态脆弱区植被覆盖变化的时空特征, 揭示人类活动对其影响的时空轨迹具有重要的研究意义。本文以鄂尔多斯高原为研究区, 基于土地利用数据、植被覆盖、气象和统计年鉴等数据, 采用趋势分析法和残差分析法, 分析21世纪以来鄂尔多斯高原人类活动和植被NDVI时空变化特征, 并探究人类活动对植被的影响。研究表明, 2000—2022年鄂尔多斯高原人类活动导致城乡开发建设活动、耕地开垦和草地用地均有所增加。植被NDVI总体上呈波动上升趋势, 且2011—2022年快速上升。人类活动通过工矿开发、开垦、放牧、荒漠化改造、植树造林等改变了植被覆盖状况, 对植被正向影响的区域占比97.27%, 负向影响为2.73%。研究结果可为鄂尔多斯高原生态环境保护和建设国家可持续发展议程创新示范区提供科学参考。

关键词: 人类活动; 植被覆盖; 遥感监测; 生态脆弱区; 鄂尔多斯高原

中图分类号: P237

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2025)04-0509-08

Effects of human activities on vegetation cover changes in the Ordos Plateau during 2000—2022

WANG Junzhi¹, SA Rigai², DOU Yinyin³, ZHENG Hongwei⁴, ZHANG Lei¹

(1. Inner Mongolia Institute of Surveying, Mapping and Geoinformation, Hohhot 010010, China;
2. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China;
3. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
4. Inner Mongolia Jinrun Real Estate Evaluation Consulting Co., Ltd, Hohhot 010010, China)

Abstract: Monitoring the spatiotemporal characteristics of vegetation cover changes in the ecologically fragile areas of China and revealing the spatiotemporal trajectory of the impacts of anthropogenic activities on them are of great significance. The spatiotemporal changes in vegetation NDVI of human activities and vegetation in the Ordos Plateau are analyzed since the 21st century using the trend analysis and residual analysis methods based on land use data, vegetation cover, meteorology and statistical yearbook data. The impacts of human activities on vegetation are then explored. The results show an increase in the area of urban and rural built-up areas, cultivated land

收稿日期: 2024-04-08; 网络首发日期: 2024-06-20

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20240619.1139.002.html>

基金项目: 内蒙古自治区自然资源厅科技创新资助项目(CHZX-2023-45)

第一作者: 王俊枝, 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为测绘地理信息与遥感、测绘工程。E-mail: wangjunzhi1979@163.com

通信作者: 窦银银, 女, 博士, 助理研究员, 研究方向为地理信息系统技术与应用。E-mail: douyinyin@igsnnr.ac.cn

reclamation, and grassland caused by human activities in the Ordos Plateau. The vegetation NDVI generally shows a fluctuating upward trend, with a rapid upward trend in 2011—2022. Human activities change the vegetation cover through mining, reclamation and grazing, desertification transformation and afforestation. The proportion of areas where human activities positively impacted vegetation cover is 97.27%, while the negative impact is 2.73%. The results can provide scientific references for the ecological protection of the Ordos Plateau and the establishment of national innovation demonstration zones for the sustainable development agenda.

Key words: anthropogenic activities; vegetation cover; remote sensing monitoring; ecologically sensitive areas; Ordos Plateau

植被在陆地生态系统能量和物质循环过程中发挥着重要作用,是水土保持、气候调节、碳循环等方面不可或缺的重要因素^[1]。随着城乡开发建设、工矿用地扩张、耕地开垦、畜牧业发展、荒漠化治理等人类活动干扰加剧,植被的生长过程、物候、结构和功能受到影响^[2-3]。探究人类活动对植被覆盖的影响不仅可以揭示气候变化背景下植被对人类活动的敏感程度,而且可为生态保护有效管控和制定相关措施提供科学依据。

近年来,诸多学者运用遥感技术、结合大数据平台进行长时间序列和多尺度植被指数时空变化监测,在生态环境脆弱区也积极开展相关研究探索和实践。例如,内蒙古地区植被分布被发现呈现东部、中部和西部地带性规律^[4-6]。通过构建人类活动影响指标因子,采用协同变异系数法、残差分析法和地理探测器等方法,发现毛乌素沙地植被变化受到人类活动的影响大于气温、降水等自然因素^[7]。并且人类活动扰动原有自然生态系统,如城乡开发建设、开垦、过渡放牧等,造成植被覆盖度降低、植被破坏等负面影响^[8-9]。与此相反,国家和政府部门制定并实施的植被建设工程和生态保护与修复方案等人类活动,在一定程度促进植被健康成长^[10]。然而,当前人类活动对植被的正负向影响趋势及时空特征尚不清楚。因此,应对诸多人类活动对植被分布、形态特征等复杂多变的影响,持续开展生态脆弱敏感区域的植被遥感监测,阐明植被对人类活动的响应。

鄂尔多斯高原地处我国北方生态屏障区,是国家生态安全实施的重点区,“荒漠化防治与绿色发展”国家可持续发展议程创新示范区。开展鄂尔多斯高原人类活动对植被影响遥感监测及时空特征分析具有典型性和代表性。本研究基于土地利用数据,结合归一化植被指数,辅以气象和统计年鉴等数据,分析了 2000—2022 年鄂尔多斯高原城乡开发建设、工矿用地、耕地开垦、畜牧业发展、生态工程建设人类活动变化特征,监测高原植被动态变化规律与空间演化规律,在此基础上,分析人类活动对高原植

被的影响。研究将揭示高原地区人类活动诸多变化与空间轨迹,明晰植被覆盖变化的时空复杂性,探究人类活动对植被正向与负向影响区域,为深入理解人类活动对该地区资源开发利用的总体趋势,以及国土资源空间优化配置和生态工程环境建设提供重要参考依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

鄂尔多斯高原位于内蒙古高原西南部,黄河“几”字湾的腹地。鄂尔多斯高原主要包括内蒙古自治区的鄂尔多斯市、乌海市海勃湾区、陕西省的神木县、榆林县、横山县、靖边县、定边县的北部风沙区以及宁夏回族自治区的陶乐县和盐池、灵武 2 县的部分地区,土地面积约 $1.2 \times 10^{11} \text{ m}^2$ 。位于鄂尔多斯高原的主体部分为鄂尔多斯市^[11-12],因此本文选取行政区划上的鄂尔多斯市为研究区。鄂尔多斯高原的海拔在 1 100~1 500 m 之间,年累计降水量和平均气温分别约为 250~400 mm 和 $5^\circ\text{C} \sim 8^\circ\text{C}$ ^[13-14]。鄂尔多斯高原分布着库布其沙漠和毛乌素沙地,是典型的生态工程实施地。鄂尔多斯市具有丰富的煤炭资源,工矿开发建设程度较大,因此高原的人类活动频繁,对植被产生巨大的影响。

1.2 数据来源

本文使用的数据主要包括土地利用数据集、归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)数据和其他辅助数据。土地利用数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所(<http://www.igsnrr.ac.cn/>)。该数据集利用 Landsat TM/ETM+/OLI 和 HJ-1A/1B 遥感影像,采用人机交互目视解译和大数据方法产生^[15-16],在 2000—2020 年间以时序间隔 5 年为基础生产,空间分辨率 30 m,分类系统包含 6 个一级类和 26 个二级类型。为了及时获取土地利用地理图景,本研究以 2020 年数据为基础,将数据更新到了 2022 年。根据研究需要,原数据中的土地利用类型被重新进行划分。其

中,水田、旱地归为耕地;有林地、灌木林、疏林地和其他林地归为林地;高覆盖度草地、中覆盖度草地和低覆盖度草地归为草地;河渠、湖泊、水库坑塘、永久性冰川雪地、滩涂和滩地归为水体;城乡、居民和工矿用地中的3个二级类型被保留,分别归为城镇用地、农村居民点和其它建设用地。其中,其它建设用地包含厂矿、大型工业区、油田、盐场、采石场等用地,以及交通道路用地。通过 Open Street Map 的公路和铁路数据剔除原土地利用数据中的交通道路信息,厂矿、大型工业区、油田、盐场、采石场等被保留,并统称为工矿用地。结合研究区的地区特点,未利用地中的沙地被归为单独一类;其余的未利用地(戈壁、盐碱地、沼泽地、裸土地、裸岩石质地、其它)归并为其它用地。研究区的土地利用类型最终被划分为9类。

NDVI 数据来源于 Terra 遥感卫星 MODIS MOD13Q1 产品,时间和空间分辨率分别为 16 d 和 250 m。通过 Google Earth Engine(GEE)云计算平台,获取了鄂尔多斯高原范围内的 2000—2022 年 NDVI 数据产品。植被 NDVI 数据通过剔除城乡开发建设用地和水体数据获取。

辅助数据包括气象数据和统计年鉴。气象数据来源于中国气象数据共享网(<http://data.cma.cn/>),包括鄂尔多斯高原境内及附近 16 个气象台站 2000—2022 年每年 5—10 月的月平均温度和月降水量,通过 Kriging 插值方法获取了空间分辨率与 NDVI 数据一致的鄂尔多斯高原栅格化气象数据。统计年鉴数据来自 2000—2022 年鄂尔多斯统计年鉴,包括牛、羊、马、骆驼、绵羊、山羊等草畜动物年末牲畜数量等指标^[17-22]。

1.3 研究方法

基于遥感大数据和云平台等技术方法,结合人机交互解译,更新土地利用数据至 2022 年。在 GEE 平台,采用最大值合成法提取鄂尔多斯高原植被 NDVI 数据。在此基础上,开展鄂尔多斯高原人类活动时空特征和植被 NDVI 年际变化时空特征分析,并进一步结合残差分析和空间叠置分析方法,探究鄂尔多斯高原人类活动对植被 NDVI 的影响。

1.3.1 趋势分析法

本文采用趋势分析法来分析植被覆盖的变化^[12],一元线性回归方程的斜率可以反映出植被 NDVI 年际变化趋势,计算公式如下:

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n i I_i - (\sum_{i=1}^n i)(\sum_{i=1}^n I_i)}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \times 100\% \quad (1)$$

式中: k 为一元线性回归斜率,表示 2000—2022 年的平均变化率; n 为年份序号,取值为 1~23; $i=1$ 时表示 2000 年,以此类推至 2022 年; I_i 为第 i 年的植被 NDVI 值。

依据植被 NDVI 变化趋势的程度大小,区域划分为明显改善区($k > 0.015$)、一般改善区($0.015 \leq k < 0.005$)、无变化区($-0.005 \leq k \leq 0.005$)、一般退化区($-0.015 \leq k < -0.005$)和明显退化区($k < -0.015$)^[11]。

1.3.2 城镇用地扩张比例分析法

城镇用地扩张比例指特定时间段内城镇用地变化占初始年份城镇面积的比例,计算公式如下:

$$R_{t_1 t_2} = \frac{A_{t_2} - A_{t_1}}{A_{t_1}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $R_{t_1 t_2}$ 为 t_1 至 t_2 时段城镇用地扩张比例(%); A_{t_1} 和 A_{t_2} 分别为 t_1 年和 t_2 年城镇用地面积(km^2)。

1.3.3 残差分析法

残差分析法可用来分析人类活动对植被生长的影响^[12]。在像元尺度上,首先建立温度和降水回归模型获得逐年 NDVI 预测值(见式(3))。然后,假设将从遥感影像提取的 NDVI 值为实测值,用 NDVI 实际值减去预测值得到逐年残差(见式(4))。

$$I' = aT + bP + c \quad (3)$$

$$\epsilon = I - I' \quad (4)$$

式中: I 和 I' 分别为遥感观测的 NDVI 实测值和模型计算的 NDVI 预测值; T 为生长季平均温度; P 为生长季累计降水量; a 和 b 分别为回归系数; c 为常数; ϵ 为残差。

2 结果与分析

2.1 2000—2022 年鄂尔多斯高原人类活动变化特征分析

2000—2022 年,鄂尔多斯高原城乡开发建设活动呈现持续增长趋势,总增量 914.35 km^2 ,到 2022 年达到 1 789.21 km^2 ,增幅 104.51%。其中,2010—2022 年城乡建设活动增长速率是 2000—2010 年的 2.05 倍,呈现不同时间段的差异特征(见图 1 和图 2)。鄂尔多斯高原工矿用地增长了 781.72 km^2 ,到 2022 年工矿用地面积达到 845.00 km^2 ,主要分布在准格尔旗、伊金霍洛旗、东胜区、鄂

托克旗和达拉特旗。其中,2000—2010 年工矿用地扩张速率为 $18.25 \text{ km}^2/\text{a}$,2010—2015 年快速达到 $116.75 \text{ km}^2/\text{a}$,2015—2022 年降至 $15.49 \text{ km}^2/\text{a}$,呈现“缓慢增长—快速增长—缓慢增长”的趋势特征。

鄂尔多斯高原耕地开垦活动频繁且呈现增长趋势。2022 年鄂尔多斯高原耕地面积达到 $5\,266.21 \text{ km}^2$,占总面积的 6.07% ,主要分布在高原东部的达拉特旗和准格尔旗。耕地面积在不同时段呈现不同的阶段性特征。2005—2010 年,耕地年均变化率最大,增量 $84.98 \text{ km}^2/\text{a}$,2010—2015 年受退耕还林还草生态工程影响,耕地净减少了 52.35 km^2 ,而 2015—2022 年耕地又呈现增加趋势,特别是 2020—2022 年增幅较大,净增量 80.39 km^2 。

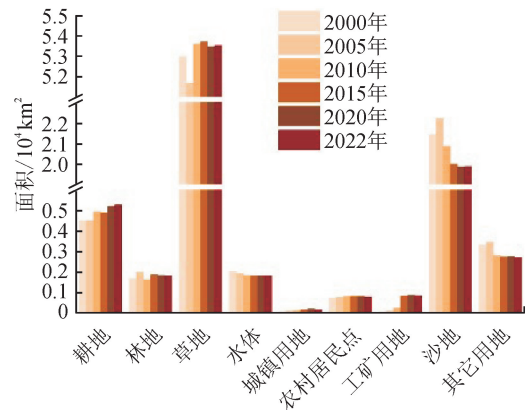


图 1 2000—2022 年鄂尔多斯高原各类土地利用类型面积
Fig. 1 Area of various land use types in the Ordos Plateau during 2000—2022

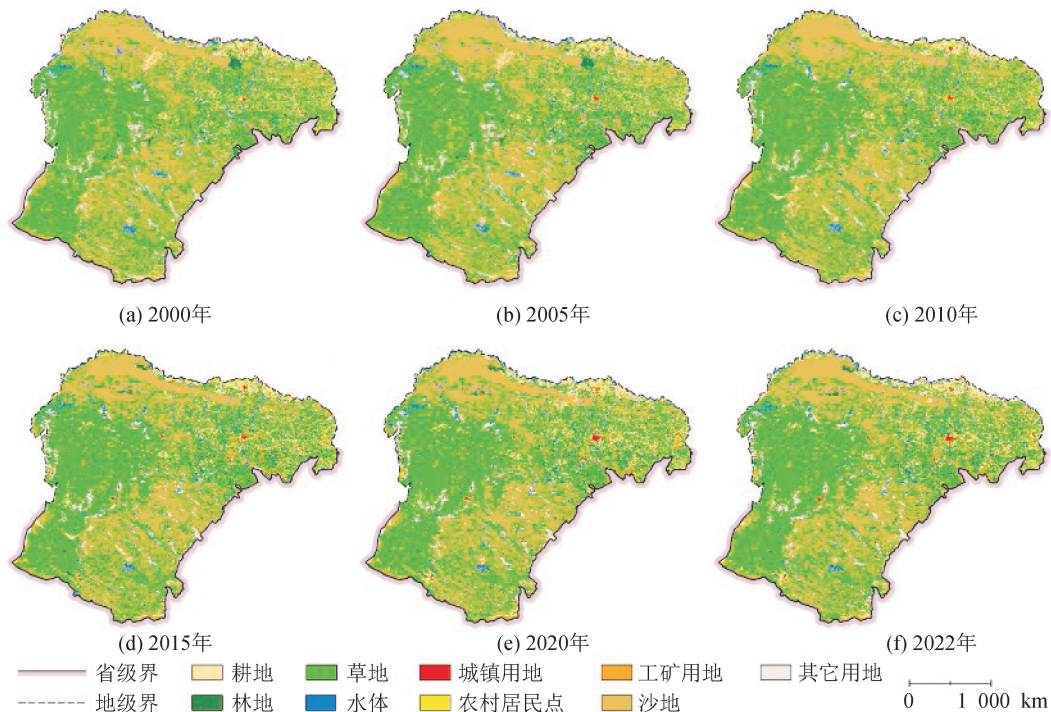


图 2 2000—2022 年鄂尔多斯高原土地利用的分布

Fig. 2 Distributions of land use in the Ordos Plateau during 2000—2022

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号蒙 S(2020)028 号的标准地图制作,底图无修改。

鄂尔多斯高原草地面积在 2010 年前波动性较大,主要是耕地、草地和沙地间的转化,2010 年后草地面积稳定在 $53\,544 \text{ km}^2$ 。鄂尔多斯高原畜牧业发展与草地面积变化密切相关。2010 年前为波动上升趋势,其中 2006 年牛、羊、马等牲畜数量达到最高,为 850.50×10^4 只。2010—2018 年,牲畜数量变化较稳定,稳定在 $700 \times 10^4 \sim 790 \times 10^4$ 只。2019 年突破了 850×10^4 只,2022 年牲畜总量达到最大值,为 882.60×10^4 只。

2000—2022 年鄂尔多斯高原沙地净减少面积达到 $1\,570.58 \text{ km}^2$ 。到 2022 年,沙地占鄂尔多斯高

原总面积的 22.91% ,分布在杭锦旗、达拉特旗、乌审旗、鄂托克旗和鄂托克前旗。其中 2005—2020 年沙地面积持续减少,年变化率为 $-156.79 \text{ km}^2/\text{a}$,说明过去十几年生态工程在鄂尔多斯高原取得显著成效。然而,2020—2022 年沙地面积反而有所增加 (16.89 km^2),应尤其关注其对生态环境的影响。

2000—2022 年,鄂尔多斯高原土地利用变化主要以林地、草地、耕地和沙地的相互转化为主。其中沙地转草地面积为 $2\,468.84 \text{ km}^2$,而沙地转耕地和林地的面积分别为 270.43 km^2 和 217.66 km^2 (表 1)。草地转为耕地和沙地的面积分别为 894.33

km²和1 245.95 km²。在此期间,鄂尔多斯高原工矿开发建设面积较大,主要来源为草地(514.94 km²)和沙地(101.17 km²)。虽然在退耕还林还草、防沙治沙等生态工程的影响下,沙地总面积

减少,生态工程得到显著成效,但受到气候干暖化、工矿开发建设等影响,鄂尔多斯高原草地退化现象依然存在。

表1 2000—2022年鄂尔多斯高原土地利用变化转移矩阵

Tab.1 Changes of land use in the Ordos Plateau during 2000—2022

单位:km²

2000年	2022年								
	耕地	林地	草地	水体	城镇用地	农村居民点	工矿用地	沙地	其它用地
耕地	—	116.63	420.29	44.64	34.17	17.76	74.07	6.63	18.72
林地	65.33	—	300.86	9.50	12.09	8.90	46.79	190.70	17.07
草地	894.33	416.81	—	77.58	65.93	108.43	514.94	1 245.95	268.75
水体	125.16	16.69	193.41	—	0.43	3.74	39.16	37.31	64.53
城镇用地	0.00	0.00	0.00	0.00	—	0.00	0.00	0.00	0.00
农村居民点	7.48	1.33	13.76	1.96	5.14	—	4.64	3.83	3.50
工矿用地	0.81	0.00	2.25	9.94	3.87	0.05	—	2.20	0.02
沙地	270.43	217.66	2 468.84	13.55	4.38	18.96	101.17	—	20.75
其它用地	104.89	18.04	679.59	77.14	0.49	5.54	20.10	75.22	—

2.2 2000—2022年鄂尔多斯高原植被动态变化特征分析

2000—2022年鄂尔多斯高原植被NDVI呈现波动上升趋势,由2000年的0.23增长到2022年的0.42(见图3)。其中,2000—2010年植被NDVI的增长速度较缓慢,增速和平均值分别为0.0061/a和0.28,植被NDVI变化波动较小;2011—2022年植被NDVI的上升波动性较大(0.0073/a),植被NDVI的平均值达到0.34。

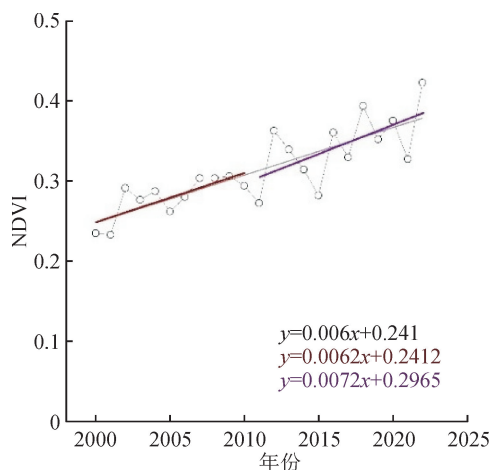


图3 2000—2022年鄂尔多斯高原植被NDVI的年际变化趋势

Fig.3 Annual changes of vegetation NDVI in the Ordos Plateau during 2000—2022

2000—2010年,鄂尔多斯高原植被NDVI改善面积占比较大,占研究区总面积的88.73%,植被

NDVI退化面积仅占比为11.27%(图4(a)和图4(c))。其中,明显改善区的面积占比为15.05%,分布在鄂尔多斯高原东部和东南部的准格尔旗和伊金霍洛旗;一般改善区的面积占比为44.82%,分布在中部、北部和东部区的杭锦旗、鄂托克旗和达拉特旗;无变化区的面积占比为37.17%,分布在杭锦旗北部和鄂托克前旗;一般退化区的面积占比为2.53%,分布在鄂托克前旗、乌审旗南部,零星分布在达拉特旗和杭锦旗;而明显退化区面积占比为0.43%。

2011—2022年,鄂尔多斯高原植被NDVI呈增长趋势的面积占比进一步增加,在整个研究区的占比高达92.96%,植被NDVI退化区的面积占比下降到7.04%(图4(b)和图4(d))。其中,明显改善区的面积占比为8.16%,分布在鄂尔多斯高原东南部的准格尔旗北部和达拉特旗北部;一般改善区的面积占比为50.84%,分布广泛;无变化区的面积占比为39.64%,分布在杭锦旗北部、鄂托克旗和鄂托克前旗;一般退化区面积占比为1.09%,分布在鄂托克前旗、准格尔旗南部以及北部沿黄河流域区;明显退化区面积占比为0.28%。

通过对比2000—2010年和2011—2022年两个时段,植被NDVI在后一时段的增长趋势面积高于前一时段,且明显改善区、一般改善区、无变化区、一般退化区和明显退化区的空间格局在两个时段也具有较大差异。

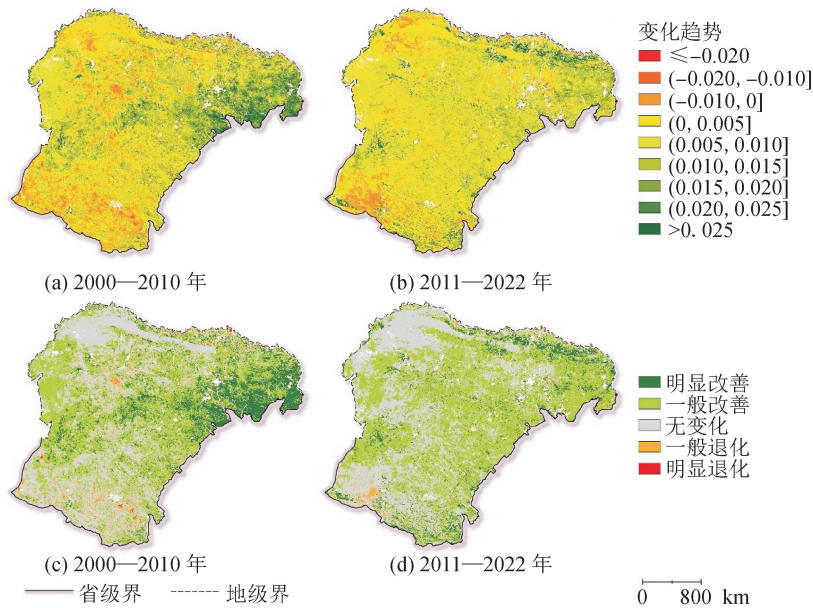


图 4 2000—2022 年鄂尔多斯高原植被 NDVI 的年际变化

Fig. 4 Changes in annual vegetation NDVI in the Ordos Plateau during 2000—2022

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号蒙 S(2020)028 号的标准地图制作,底图无修改。

2.3 人类活动对植被的影响分析

鄂尔多斯高原位于干旱半干旱区,气候变化是影响植被的主要因素。随着社会经济的发展,人类活动通过开矿、开垦放牧、荒漠化改造、植树造林等明显改变了植被覆盖状况。

本研究通过残差分析来量化人类活动对鄂尔多斯高原的影响。2000—2022 年,鄂尔多斯高原植被 NDVI 残差值呈上升趋势的面积占 97.27%,分布广泛。由此可见,鄂尔多斯市人类活动对植被 NDVI 的正面影响区域面积较大。

鄂尔多斯高原植被 NDVI 残差值呈减少趋势的面积占 2.73%,虽然面积不大,但人类活动负面影响区主要分布在城乡开发建设和工矿开采区附近、沿黄河旗县以及西南部等生态环境脆弱区(图 5)。其中,准格尔旗西部和东部、鄂托克旗西部的露天煤矿开采活动是当地及周边植被 NDVI 减少的主要原因。达拉特旗、准格尔旗、杭锦后旗沿黄河区的人类活动对植被 NDVI 的负面影响与耕地面积增加有关。2000—2022 年,达拉特旗、准格尔旗、杭锦后旗耕地面积分别增加了 406.29 km²、100.53 km²和 32.37 km²。鄂托克前旗的植被 NDVI 减少面积由 2000—2010 年的 809.13 km²,减少至 2011—2022 年的 440.31 km²。鄂托克前旗西部地区人类活动的负面影响较大,可能一方面受当地的草地生态系统脆弱性易受到气候变化影响,另一方面也与牲畜数量、耕地开垦活动增加等有关。

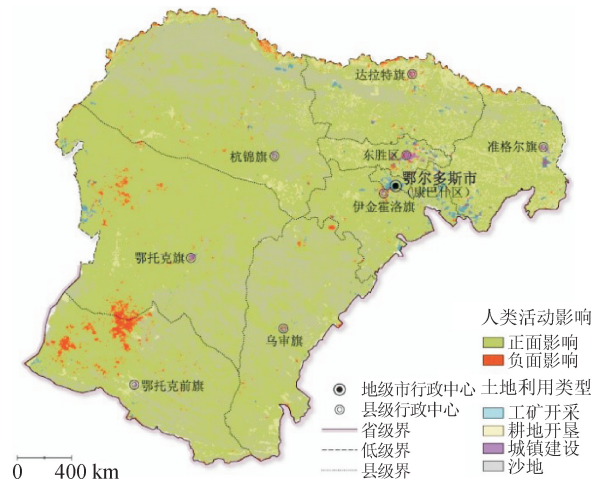


图 5 2000—2022 年鄂尔多斯高原人类活动影响的空间分布

Fig. 5 Spatial patterns of anthropogenic activities impacts in the Ordos Plateau during 2000—2022

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号蒙 S(2020)028 号的标准地图制作,底图无修改。

3 讨论与结论

3.1 讨论

2000—2022 年鄂尔多斯高原人类活动的城乡开发建设活动呈现持续增长趋势和沙地面积显著减少。该研究结果与马苏等^[23]和苏宁等^[24]的研究结果一致。城乡开发建设活动主要占用耕地、草地和沙地。然而,本研究发现鄂尔多斯高原耕地开垦活动频繁,耕地面积在持续增加,与前人在 2018 年以前耕地面积减少的结论不一致^[23-25],这可能跟数据源的不同有关。

2000—2022年鄂尔多斯高原植被NDVI呈波动上升趋势。通过防沙治沙等生态工程的实施,鄂尔多斯高原沙地治理成效显著,对植被生长具有显著正面作用^[10-11]。本研究通过分时段分析发现,2000—2010年和2011—2022年两个时段的植被NDVI时空特征具有较大差异。其中,2000—2010年植被NDVI的增速和平均值分别为0.006 1/a和0.28,植被NDVI变化波动较小,2011—2022年植被NDVI快速增长(0.007 3/a),植被NDVI的平均值达到0.34,植被NDVI变化波动较大。

鄂尔多斯高原人类活动通过城乡开发建设、开垦放牧、荒漠化改造、植树造林等改变了植被覆盖状况,人类活动对植被NDVI的正面影响区域面积较大,植被NDVI残差值呈上升趋势的面积占97.27%。虽然残差值呈减少趋势的面积仅占2.73%,但这些人活动负面影响区主要分布在城乡开发建设活动区附近、沿黄河旗县以及西南部生态环境脆弱区,需特别关注这些脆弱区的生态环境保护。综上所述,本研究建议:①鄂尔多斯高原人类活动要注重城乡开发建设活动的速度和开发规模,在干旱半干旱区持续开展工矿开发和耕地开垦要注重水资源的消耗;②在前二十年防沙治沙等生态工程得到显著成效的基础上,结合本研究2020—2022年沙地面积略增加的结果,采取合理的管理和政策法规。

人类活动直接影响地球表层的土地利用变化。本研究采用残差分析揭示人类活动对植被NDVI的影响,研究仍存在一些不足。如在残差分析时只采用温度和降水自然因素,该地区位于蒙古高原防风固沙治理区,受风速、湿度等自然因素的影响较大,因此后期研究中需纳入多项自然因素。快速城镇化扩张、工矿开采和耕地开垦导致脆弱的生态环境恶化、植被生产力减弱、生态系统被破坏等一系列问题^[26-27]。因此,关注生态脆弱区人类活动及植被动态变化对可持续发展、“美丽中国”建设及区域高质量发展具有重要的意义。

3.2 结 论

本研究基于遥感监测与统计数据相结合,分析鄂尔多斯高原人类活动和植被动态时空分布及人类活动对植被NDVI的影响。研究发现2000—2020年鄂尔多斯高原城乡开发建设活动在持续增加,植被NDVI呈现上升趋势。然而,鄂尔多斯高原局部城乡开发建设活动的工矿开采、耕地开垦和过渡放牧等人类开采活动仍对植被NDVI存在负面影响。鄂尔多斯高原人类活动侵占草地,进而影响草地植被覆盖。这对于全面建成生态治理典范区的“双提

高”(提高森林覆盖率、草原植被盖度)的目标仍存在挑战。此外,我们也发现2020—2022年鄂尔多斯高原沙地面积有所增加,持续推进荒漠化和沙化土地“双减少”是鄂尔多斯高原未来关注的热点之一。及时监测生态脆弱区土地利用变化对植被的影响,对于生态环境变化和粮食安全评估等具有重要的先导意义。

参考文献:

- [1] GAO Wande, ZHENG Ce, LIU Xiuhua, et al. NDVI-based vegetation dynamics and their responses to climate change and human activities from 1982 to 2020: a case study in the Mu Us Sandy Land, China[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 137: 108745.
- [2] ZHAO Guosong, REN Lijie, YE Zilong. Vegetation dynamics in response to climate change and human activities in a Typical Alpine Region in the Tibetan Plateau[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(19): 12359.
- [3] MENG Meng, HUANG Ni, WU Mingquan, et al. Vegetation change in response to climate factors and human activities on the Mongolian Plateau[J]. *PeerJ*, 2019, 7: e7735.
- [4] 朴世龙,方精云. 1982—1999年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异[J]. *地理学报*, 2003, 58(1): 119-125.
PIAO Shilong, FANG Jingyun. Seasonal changes in vegetation activity in response to climate changes in China between 1982 and 1999[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1): 119-125.
- [5] LI Shuang, XU Liang, JING Yinghong, et al. High-quality vegetation index product generation: a review of NDVI time series reconstruction techniques[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2021, 105: 102640.
- [6] 周伟,刚成诚,李建龙,等. 1982-2010年中国草地覆盖度的时空动态及其对气候变化的响应[J]. *地理学报*, 2014, 69(1): 15-30.
ZHOU Wei, GANG Chengcheng, LI Jianlong, et al. Spatial-temporal dynamics of grassland coverage and its response to climate change in China during 1982-2010[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(1): 15-30.
- [7] 穆少杰,李建龙,陈奕兆,等. 2001-2010年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. *地理学报*, 2012, 67(9): 1255-1268.
MU Shaojie, LI Jianlong, CHEN Yizhao, et al. Spatial differences of variations of vegetation coverage in Inner Mongolia during 2001-2010[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(9): 1255-1268.
- [8] 陈淑君,许国昌,吕志平,等. 中国植被覆盖度时空演变及其对气候变化和城市化的响应[J]. *干旱区地理*, 2023, 46(5): 742-752.
CHEN Shujun, XU Guochang, LÜ Zhiping, et al. Spatiotemporal variations of fractional vegetation cover

- and its response to climate change and urbanization in China[J]. *Arid Land Geography*, 2023, 46(5):742-752.
- [9] 博文静,沈钰仟,王馨悦,等. 植被覆盖度对夏季降温效应的影响:以内蒙古为例[J]. *生态学报*, 2022, 42(22):9165-9174.
- BO Wenjing, SHEN Yuqian, WANG Xinyue, et al. The influence of vegetation coverage on cooling effect in summer: a case study of the Inner Mongolia[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(22): 9165-9174.
- [10] YAO Rui, WANG Lunche, GUI Xuan, et al. Urbanization effects on vegetation and surface urban heat islands in China's Yangtze River Basin[J]. *Remote Sensing*, 2017, 9(6): 540.
- [11] 郑颖娟,刘军会,刘洋,等. 2000—2018 年鄂尔多斯市植被覆盖度变化及驱动因素分析[J]. *环境科学研究*, 2022, 35(11):2458-2468.
- ZHENG Yingjuan, LIU Huijun, LIU Yang, et al. Analysis of vegetation coverage change and driving factors in Ordos city from 2000 to 2018[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2022, 35(11): 2458-2468.
- [12] 苗旭,李九一,宋小燕,等. 2000—2020 年鄂尔多斯市植被 NDVI 变化格局及归因分析[J]. *水土保持研究*, 2022, 29(3):300-307.
- MIAO Xu, LI Jiuyi, SONG Xiaoyan, et al. Analysis on change pattern and attribution of vegetation NDVI in Ordos City from 2000 to 2020[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(3): 300-307.
- [13] 梁植,孙若辰,段青云. 黄河水源涵养区植被 NDVI 时空变化特征及其驱动因子[J]. *地理科学进展*, 2023, 42(9):1717-1732.
- LIANG Zhi, SUN Ruochen, DUAN Qingyun. Spatio-temporal variation of NDVI in the Yellow River water conservation zone and its driving factors[J]. *Progress in Geography*, 2023, 42(9): 1717-1732.
- [14] 刘冬冬,潘萍,付佳,等. 2000—2020 年赣南植被覆盖时空变化特征及驱动因素[J]. *应用生态学报*, 2023, 34(11):2919-2928.
- LIU Dongdong, PAN Ping, FU Jia, et al. Spatiotemporal variation and driving factor of vegetation coverage from 2000 to 2020 in southern Jiangxi Province, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, 34(11): 2919-2928.
- [15] 刘纪远,宁佳,匡文慧,等. 2010—2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. *地理学报*, 2018, 73(5):789-802.
- LIU Jiyuan, NING Jia, KUANG Wenhui, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010—2015[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 789-802.
- [16] 匡文慧,张树文,杜国明,等. 2015—2020 年中国土地利用变化遥感制图及时空特征分析[J]. *地理学报*, 2022, 77(5):1056-1071.
- KUANG Wenhui, ZHANG Shuwen, DU Guoming, et al. Remotely sensed mapping and analysis of spatio-temporal patterns of land use change across China in 2015—2020[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(5): 1056-1071.
- [17] 鄂尔多斯市统计局. 鄂尔多斯统计年鉴 2000[M]. 北京:中国统计出版社,2001.
- [18] 鄂尔多斯市统计局. 鄂尔多斯统计年鉴 2005[M]. 北京:中国统计出版社,2006.
- [19] 鄂尔多斯市统计局. 鄂尔多斯统计年鉴 2010[M]. 北京:中国统计出版社,2011.
- [20] 鄂尔多斯市统计局. 鄂尔多斯统计年鉴 2015[M]. 北京:中国统计出版社,2016.
- [21] 鄂尔多斯市统计局. 鄂尔多斯统计年鉴 2020[M]. 北京:中国统计出版社,2021.
- [22] 鄂尔多斯市统计局. 鄂尔多斯统计年鉴 2022[M]. 北京:中国统计出版社,2023.
- [23] 马苏,刘军会,康玉麟,等. 鄂尔多斯市防风固沙功能时空变化及驱动因素分析[J]. *环境科学研究*, 2022, 35(11): 2477-2485.
- MA Su, LIU Junhui, KANG Yulin, et al. Spatio-temporal changes of sand-fixing function and its driving factors in the Ordos[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2022, 35(11): 2477-2485.
- [24] 苏宁,丁国栋,杜林芳,等. 人类活动对资源型城市生态系统服务价值的影响——以鄂尔多斯为例[J]. *生态学报*, 2022, 42(16): 6543-6553.
- SU Ning, DING Guodong, DU Linfang, et al. Impact of human activities on ecosystem services value of resource-based city: a case study in Ordos, the Inner Mongolia[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(16): 6543-6553.
- [25] 黄露,周伟,李浩然,等. 土地利用/覆被变化对鄂尔多斯市草地生态系统净初级生产力的影响[J]. *水土保持通报*, 2018, 38(4): 46-52, 59.
- HUANG Lu, ZHOU Wei, LI Haoran, et al. Effect of land use/cover change on grassland NPP in grassland ecosystem of Ordos city[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2018, 38(4): 46-52, 59.
- [26] 陈利顶,傅伯杰,王军. 黄土丘陵区典型小流域土地利用变化研究:以陕西延安地区大南沟流域为例[J]. *地理科学*, 2001, 21(1):46-51.
- CHEN Liding, FU Bojie, WANG Jun. Study on land use change in a small typical catchment in loess hilly area—a case study in Danangou catchment, Yan'an, Shaanxi Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(1): 46-51.
- [27] 匡文慧. 新时代国土空间格局变化和美丽愿景规划实施的若干问题探讨[J]. *资源科学*, 2019, 41(1):23-32.
- KUANG Wenhui. Issues regarding on spatial pattern change of national land space and its overall implementation on beautiful vision in new era[J]. *Resources Science*, 2019, 41(1): 23-32.

(责任编辑 王绪迪)