

# 鄂尔多斯土地利用变化及驱动力分析

白玉婷

内蒙古师范大学地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2024年1月20日; 录用日期: 2024年2月24日; 发布日期: 2024年2月29日

## 摘要

土地利用/覆被变化(Land-Use and Land-Cover Change, LUCC)的监测及其驱动因素分析是土地变化科学的基础和关键。分析研究土地利用变化及其驱动力, 是理解土地利用变化过程、调整优化土地利用结构、完善土地管理体制, 推进多元化生态治理, 促进区域可持续发展的重要科学基础。本文选取鄂尔多斯为研究区, 基于2000、2010、2020年的CLCD土地利用数据和共15个驱动因素为支撑, 厘清研究区土地利用变化时空脉络, 刻画草地退化和恢复动态过程, 分析研究区重大生态治理工程、驱动因素、土地利用变化和草地退化/恢复之间的关系。研究结果表明: 在过去二十年期间, 约有20%的研究区国土面积发生土地利用转化, 主要表现为草地面积增加、裸地面积明显缩减、农田面积增加和不透水面面积扩张; 草地退化面积明显大于草地恢复面积, 退化过程集中在研究区西部旗县, 恢复过程集中在东部欠发达旗县; 研究区土地利用变化是由研究区重大生态治理工程和研究区社会经济驱动因素进程造成的。

## 关键词

土地利用/土地覆被变化, 驱动因素, 鄂尔多斯

# An Analysis of Land-Use Change and Driving Force in Ordos

Yuting Bao

College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot Inner Mongolia

Received: Jan. 20<sup>th</sup>, 2024; accepted: Feb. 24<sup>th</sup>, 2024; published: Feb. 29<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

The monitoring of Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) and its driver analysis are the basis and key of land change science. Analyzing and studying changes in land use and their driving forces are essential scientific foundations for understanding the process of land use change, adjusting and optimizing the structure of land use, improving land management systems, advanc-

ing diversified ecological governance, and promoting the sustainable development of the region. This article selects Ordos as the study area, based on the CLCD land use data for the years 2000, 2010, and 2020, supported by a total of 15 driving factors. It aims to clarify the spatiotemporal context of land use changes in the study area, depict the dynamic processes of grassland degradation and restoration, and analyze the relationships between major ecological governance projects, driving factors, land use changes, and grassland degradation/restoration in the study area. The research results indicate that over the past two decades, approximately 20% of the study area's national land area has undergone land use transformation. This is primarily manifested by an increase in grassland area, a significant reduction in bare land area, an expansion of farmland area, and an increase in impervious surface area. The area of grassland degradation is significantly greater than the area of grassland restoration. The degradation process is concentrated in the western counties of the study area, while the restoration process is concentrated in the underdeveloped counties in the east. The land use changes in the study area are a result of significant ecological governance projects and socioeconomic driving factors in the study area.

## Keywords

Land-Use and Land-Cover Change, Driving Factors, Ordos

Copyright © 2024 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

土地利用/覆被变化(Land-Use and Land-Cover Change, LUCC)及其对生态环境效应的影响是全球环境变化和可持续发展研究的核心内容[1] [2] [3]。土地利用/覆被转换过程、模式以及其驱动因子的研究得到了全球专家学者的关注和研究[4]。分析研究 LUCC 过程及驱动机制等问题,是完善土地管理体制、推进多元化生态治理、促进区域可持续发展的重要科学基础[5] [6]。高强度的土地利用变化具有多重影响,包括减少生物多样性[7]、威胁粮食安全[8]、引起土地退化[9]、影响生态系统的结构和功能等[5],是引发生地退化(包括草地退化)的主要因素之一。草地退化是蒙古高原 LUCC 变化的主要过程之一,也是该区域主要环境问题[10],对于草地退化过程、格局、机制的分析刻画是防止草地退化和促进草地恢复的关键。当前研究对于草地退化的概念、机制的研究有了足够的理论指导[11]。例如,生物多样性和生态系统服务政府间科学—政策平台(IPBES)对于土地退化和草地退化的定义[11]指出:在土地覆被完全或者未完全发生改变的情况下均可以引起退化。因此,本文在分析 2000~2020 年土地利用变化过程基础上,对研究区草地退化与恢复过程和格局进行刻画,厘清研究区基于土地转变过程的草地退化与恢复的时空过程,为研究区草地保护进程提供科学支持。

自从“西部大开发战略”和国家层面的大规模生态政策实施以来,鄂尔多斯取得了经济繁荣和生态保护突出的双重成就,是内蒙古地区经济开发与生态保护均受到高度重视的典型的生态环境脆弱区。因此,选取典型的脆弱区,探讨土地利用/覆盖变化及其相关政策问题,对于未来调整产业结构,促进研究区经济发展和生态保护双赢具有重要实践意义。

基于此,本文选取内蒙古鄂尔多斯为研究区,详细刻画研究区 2000 年以来土地利用变化和草地退化/恢复过程,提取研究区重要土地管理策略和关键驱动因素以及土地利用变化过程之间的关系链,为区域

可持续发展提供科学支持。具体而言，本研究的研究目标包括：(1) 分析基于 CLCD 分析鄂尔多斯地区 2000、2010、2020 年土地利用变化的时空变化特征。(2) 提炼基于土地利用覆被变化详细刻画该地区草地退化/恢复的时空演化格局。(3) 在归纳总结研究区关键土地管理政策的基础上，阐释研究区以土地管理策略为基础的 LUCC 变化；为促进鄂尔多斯市以生态保护、绿色发展的目标提供决策支持。

## 2. 数据与方法

### 2.1. 研究区概况

鄂尔多斯位于内蒙古自治区西南部，地处鄂尔多斯高原腹地，介于北纬 37°35'24"~40°51'40"，东经 106°42'40"~111°27'20"之间，东西长约 400 km，南北宽约 340 km，总面积 8.7 万 km<sup>2</sup>。研究区西、北、东三面被黄河环绕，境内湖泊、草原、沙漠、丘陵、高山等地质景观齐全。鄂尔多斯地区有两大沙漠，位于北部的库布齐沙漠和横跨内蒙古鄂尔多斯和陕西榆林的毛乌素沙地，大部分位于鄂尔多斯境内(图 1)。研究区属于半干旱大陆性气候，年平均气温在 5.3℃~8.7℃之间，极端最高气温可达 37.4℃~38℃ [12]。南部地区比中北部气温更高。此外，研究区东部年平均降水量为 300 至 400 毫米，而西部为 200 至 300 毫米，降水主要集中在 7 月和 9 月。鄂尔多斯市独特的地理位置与地形条件构成了我国北部生态屏障的重要组成部分。

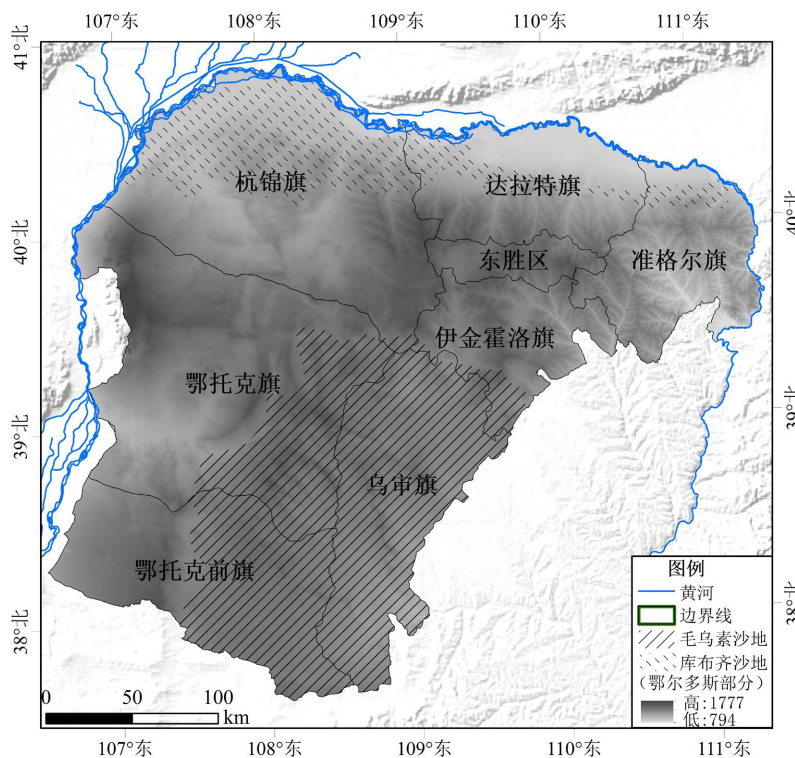


Figure 1. Location of ordos  
图 1. 研究区示意图

### 2.2. 数据来源

本文采用的 CLCD LUCC 数据集是基于 Google Earth Engine 平台的多传感器观测数据，该数据由武汉大学杨杰等人利用随机森林分类器处理得到，空间分辨率为 30 米，包含 1985 + 1990~2020 中国

逐年土地覆盖信息, 总体准确率达 80% [13]。为分析鄂尔多斯 2000 年以来草地退化和恢复状况, 本研究基于 CLCD LUCC 数据集 2000~2020 研究时段, 详细刻画研究区 LUCC 和草地退化回复时空规律。

鄂尔多斯地区 CLCD LUCC 土地利用数据共有 8 个一级类, 包括农田、森林、草地、裸地、湿地、水体、冰雪、不透水面。根据研究区景观特征, 本研究将 CLCD LUCC 数据按照一级地类重新分类如下: 农田、森林、草地、裸地、水域和不透水面(见表 1)。社会经济指标数据来自 2000~2020 年鄂尔多斯地区统计年鉴(<http://www.zgtjcs.com>), 部分数据来自如内蒙古统计年鉴(<http://tj.nmg.gov.cn/>)。

**Table 1.** Land-use classification

**表 1.** CLCD LUCC 土地利用分类

CLCD LUCC 一级类	重分类
农田	农田
森林	森林
草地	草地
裸地	裸地
湿地	水域 (包含湿地、水体、冰雪)
水体	
冰雪	
不透水面	不透水面

## 2.3. 研究方法

### 2.3.1. 土地利用覆被面积净变化和变化速率

土地利用覆被净变化是对期末土地利用覆被各类型面积与初期面积的差值进行处理、是土地利用类型数量的绝对变化[9]。

土地利用转移矩阵是马尔科夫模型在土地利用变化方面的应用。马尔科夫模型不仅可以定量地表明不同土地利用类型之间的转化情况, 还可以揭示不同土地利用类型间的转移速率[14]。

### 2.3.2. 草地退化与恢复评估

草地退化直观特征植被的覆盖度与生产力降低, 植物多样性减少, 植被结构也趋于简单化; 同时, 土壤的组成结构及理化性质发生改变, 包括砂质化、盐碱化、肥力下降等。草地退化的总体特征体现于其生产和生态等多功能的衰退, 即草地承载家畜能力显著降低, 其生态服务功能减弱[15]。草地恢复包括草地植被和土壤结构及理化性质的改善, 主要表现为草地植被覆盖度提升、优势建群种的恢复、土壤性质的改善等[15]。本文中, 作者依据草地退化和恢复的概念, 基于研究区土地利用变化过程对草地的退化和恢复进行评估。本文中草地退化和恢复的定义如下:

草地退化过程是指草地转变为其他土地利用类型(如农田、水域和裸地)的过程。

草地恢复是指草地面积的增加、其他土地利用类型(即农田、水域和裸地)转变为草地[16]。

### 2.3.3. 主成分分析

本文采用主成分分析法对社会经济驱动因素进行降维处理。主成分分析旨在将多个相关因素变量综合为少数新的综合指标, 以减少数据集的维度。通过数学运算, 将多个因素综合为少数综合指标, 根据实际需求选取这些综合变量以替代原指标。新的线性组合尽可能地保留了多个变量的信息, 体现为主要成分, 其方差越大, 包含的信息越丰富[17]。

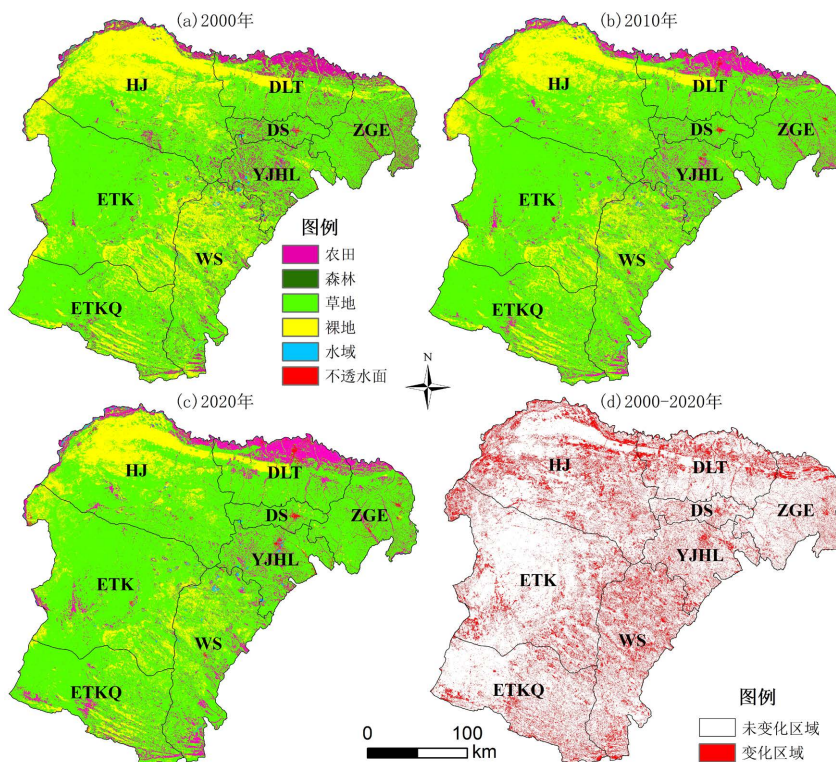
### 3. 结果与分析

#### 3.1. LUCC 构成及变化

在 2000~2020 年期间，鄂尔多斯市共有 17473.02 km<sup>2</sup> 的国土面积发生变化，约占研究区国土面积的 20% (包含 6 种土地利用/覆被类型) (图 2(d))。研究区 LUCC 变化较为明显，但地类种类和空间分布并无明显演替。裸地和草地仍是鄂尔多斯主要土地利用类型，分别约占研究区总面积的 13.46% 和 75.65% (2020 年)，农田约占少于 9.53%，是研究区的第三大地类，不透水面、森林和水域约占研究区总面的 1.35% (表 2)。各个地类具有明显的空间分布特征：其中，裸地主要分布在杭锦旗；草地则主要分布在研究区东部和东南部旗县；农田空间分布较为集中，主要分布在“黄河几字弯”(图 2(a)~(c))。

**Table 2.** Area of different land use types in 2000 and 2020  
**表 2.** 2000、2010、2020 年鄂尔多斯市土地利用/覆被面积统计表

	2000 年		2010 年		2020 年		2000~2020 年	
	面积 (km <sup>2</sup> )	% 总面积	面积 (km <sup>2</sup> )	% 总面积	面积 (km <sup>2</sup> )	% 总面积	净面积变化(km <sup>2</sup> )	% 总面积
不透水面	191.81	0.22%	450.30	0.52%	725.96	0.84%	534.15	0.62%
草地	59789.80	68.90%	64074.82	73.84%	65645.12	75.65%	5855.31	6.75%
裸地	18630.33	21.47%	14646.18	16.88%	11683.12	13.46%	-6947.22	-8.01%
农田	7819.76	9.01%	7226.42	8.33%	8273.14	9.53%	453.38	0.52%
森林	0.32	0.00%	0.89	0.00%	20.98	0.02%	20.66	0.02%
水域	343.06	0.40%	376.47	0.43%	426.78	0.49%	83.72	0.10%



**Figure 2.** Land use maps in 2000 and 2020  
**图 2.** 鄂尔多斯市土地利用现状及变化图

### 3.2. 2000 年以来 LUC 时空动态过程

如图 3 所示, 2000 年以来的三个阶段(2000~2010, 2010~2020, 2000~2020), 鄂尔多斯土地利用变化主要包括四个过程: 分别为草地面积增加、裸地面积减少、农田面积增加和不透水面面积扩张。同时, 在过去二十年期间, 研究区森林面积持续增加, 水域面积轻微增加。

在 2000~2020 年期间, 研究区草地净面积增加最多, 为 5855 km<sup>2</sup>, 占研究区总面积的 6.75% (图 3), 增加的草地主要来源于裸地和农田, 面积分别为 8419.5 km<sup>2</sup> 和 2882.3 km<sup>2</sup> (表 4), 增加的草地在整个研究区均有大面积分布。在 2000~2010 和 2010~2020 年两个研究时段期间, 转入的草地同样来源于裸地和农田, 变化趋势保持一致(见表 3)。

裸地是 2000 年以来变化最大的土地类型, 2000~2020 年期间裸地净面积减少为 6947.2 km<sup>2</sup>, 占总面积的 8.01% (图 3), 减少的裸地主要是转变为草地和农田, 面积分别为 8419.5 km<sup>2</sup> 和 157.7 km<sup>2</sup>, 其次是林地、水域和不透水面(表 3), 减少的裸地面积在研究区各个旗县均有分布。在 2000~2010 和 2010~2020 年期间, 裸地变化趋势与 2000~2020 年整体变化趋势保持一致(见表 3)。

2000~2020 年期间, 不透水面和农田净面积分别增加 534 km<sup>2</sup> 和 453 km<sup>2</sup> (图 3), 占研究区总面积的 0.62% 和 0.52%。其中不透水面面积不断扩张, 2010~2020 年农田面积增幅比例大于 2000~2010 年的农田增幅(图 3, 表 3)。

森林面积在三个研究时段(2000~2010, 2010~2020, 2000~2020)增长趋势保持一致, 增幅差别较小(图 3)。2000~2020 年, 森林净面积增加 21 km<sup>2</sup>, 增加的森林面积主要来源于草地和农田, 面积分别为 11.4 km<sup>2</sup> 和 8.3 km<sup>2</sup>, 其空间分布主要在杭锦旗、达拉特旗等北部地区。水域净面积为 84 km<sup>2</sup>, 占总面积的 0.10% (图 3)。

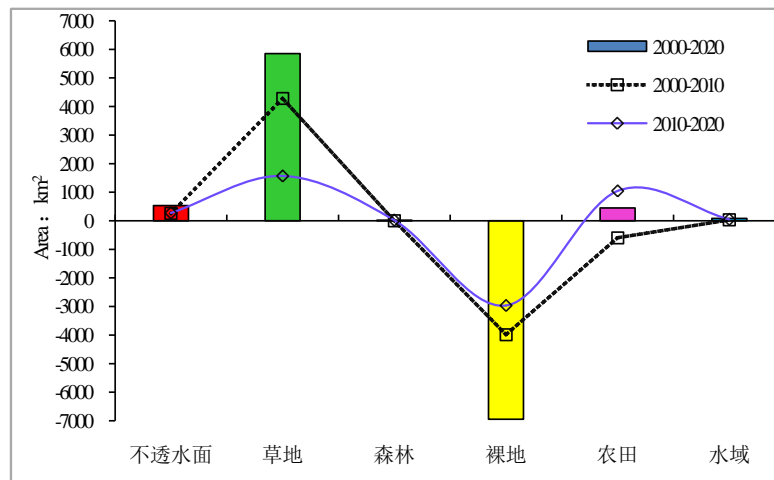


Figure 3. Net change in land use and land cover (2000~2020, 2000~2010, 2010~2020)  
图 3. 鄂尔多斯市土地利用/覆被净变化(2000~2020, 2000~2010, 2010~2020)

Table 3. Transition matrix of land-use change in 2000~2020 (Unit: km<sup>2</sup>)  
表 3. 鄂尔多斯市土地利用/覆被转移矩阵(2000~2010, 2010~2020)

		2020 年						
		不透水面	草地	裸地	农田	森林	水域	减少面积
2000 年	不透水面	191.8						0.0
	草地	292.2	54299.0	1718.1	3379.7	11.4	89.5	5490.8

续表

	裸地	79.1	<b>8419.5</b>	9929.8	<b>157.7</b>	1.0	43.3	8700.6
	农田	138.1	<b>2882.3</b>	18.0	4683.2	8.3	89.9	3136.5
	森林		0.0		0.0	0.3		0.0
	水域	24.8	44.2	17.3	52.5	0.0	204.2	138.9
	增加面积	534.1	11346.1	1753.4	3589.9	20.7	222.6	86775.1
2010 年								
	总面积	不透水面	草地	裸地	农田	森林	水域	减少面积
	不透水面	191.8						0.0
	草地	147.9	56175.1	1614.2	1785.7	0.3	66.6	3614.7
	裸地	36.6	<b>5527.3</b>	13008.4	<b>33.7</b>	0.0	24.4	5622.0
2000 年	农田	62.2	<b>2331.9</b>	4.7	5358.1	0.2	62.8	2461.7
	森林		0.0		0.0	0.3		0.0
	水域	11.8	40.5	18.9	49.0	0.1	222.7	120.3
	增加面积	258.5	7899.7	1637.8	1868.3	0.6	153.7	86775.1
2020 年								
	总面积	不透水面	草地	裸地	农田	森林	水域	减少面积
	不透水面	446.7						0.0
	草地	162.6	59482.1	1613.0	2749.2	7.8	60.2	4592.9
	裸地	38.3	<b>4478.3</b>	10049.6	<b>55.8</b>	0.0	24.3	4596.6
2010 年	农田	63.6	<b>1645.6</b>	5.5	5422.3	12.4	77.2	1804.4
	森林	0.0	0.0		0.2	0.7		0.2
	水域	24.9	38.9	14.8	46.2	0.0	254.9	124.8
	增加面积	289.4	6162.9	1633.3	2851.3	8.5	161.6	86775.1

### 3.3. 草地退化与恢复

2000~2020 年期间, 研究区草地生态状况趋于良好, 草地恢复面积(11346.1 km<sup>2</sup>)大于草地退化面积(5490.8 km<sup>2</sup>)。2000~2010 和 2010~2020 两个研究时段内, 草地恢复趋势与 2000~2020 年整体保持一致, 草地恢复态势明显。恢复面积分别为 7899.7 km<sup>2</sup> 和 6162.9 km<sup>2</sup>, 退化面积为 3614.7 km<sup>2</sup> 和 4592.9 km<sup>2</sup>。2000~2010 年研究时段内, 在空间分布特征是草地恢复主要集中在鄂托克旗, 鄂托克前旗, 杭锦旗, 草地退化在鄂托克旗和鄂托克前旗; 2010~2020 年研究时段内, 草地恢复与退化空间分布与 2000~2010 年保持一致(见图 4)。

### 3.4. 研究区社会经济驱动因素分析

土地利用是自然生态和社会经济等多种因素影响下的产物, 融合了人类活动和生态系统相互作用的结果。本文主要从社会经济的方面来分析鄂尔多斯市土地利用的变化驱动力, 以找出对其土地利用产生影响的主要驱动因素。

由鄂尔多斯市 2000~2020 年的统计年鉴中提供的数据和鄂尔多斯市在 2000~2020 年的土地利用变化特点, 运用主成分分析的相关性筛选出以下 15 个因素 X<sub>1</sub> 生产总值(亿元)、X<sub>2</sub> 第一产业总值(亿元)、X<sub>3</sub> 第三产业总值(亿元)、X<sub>4</sub> 人均 GDP(万元)、X<sub>5</sub> 城市化率(%)、X<sub>6</sub> 农牧民纯收入(万元)、X<sub>7</sub> 城镇居民人均收

入(元)、 $X_8$ 年末人口(万人)、 $X_9$ 年末牲畜总量(万只)、 $X_{10}$ 城镇总人口(万人)、 $X_{11}$ 建筑业(万元)、 $X_{12}$ 牛肉产量(吨)、 $X_{13}$ 羊肉产量(吨)、 $X_{14}$ 粮食产量(吨)、 $X_{15}$ 玉米(吨)。对 15 个影响因素的标准化后使用 SPSS 分析软件进行主成分分析处理数据, 获得影响区域土地利用变化的主要驱动力。

在因子分析前, 首先要进行 KMO 和 Bartlett 检验。检验结果(见表 4)显示, KMO 值为 0.830, 显著性远小于 0.05。这表明变量之间存在强相关性, 适合进行因子分析, 为接下来的主成分分析提供了基础。

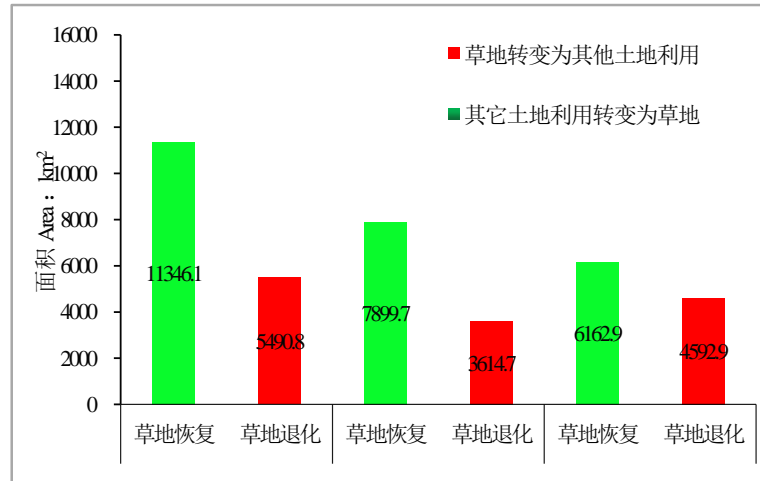


Figure 4. Grassland degradation and restoration in 2000~2010, 2010~2020, 2000~2020

图 4. 2000~2010、2010~2020、2000~2020 年草地退化与恢复

Table 4. KMO and Bartlett tests  
表 4. KMO 和 Bartlett 检验结果

KMO 取样適切性量数。		0.830
Bartlett 球形度检验	近似卡方	958.601
	自由度	105
	显著性	0.000

由原始数据得到相关系数矩阵如表 5 所示, 可知  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ 、 $X_{14}$ 、 $X_{15}$  和  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ 、 $X_{14}$ 、 $X_{15}$  之间的相关系数大于 91%, 表明这些因素之间存在极强的正相关关系, 同时  $X_{10}$  和  $X_5$ ,  $X_{11}$  和  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ 、 $X_{14}$ ,  $X_{12}$  和  $X_{13}$ ,  $X_{13}$  和  $X_5$ 、 $X_8$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{14}$ 、 $X_{15}$  之间的相关系数大于 90%, 表明这些因素之间有较强的相关性。它们的相关性可以满足主成分分析的要求。

Table 5. Correlation matrix  
表 5. 相关性矩阵

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$
$X_1$	1	0.995	0.998	0.999	0.945	0.989	0.999	0.950	0.529	0.882	0.979	0.689	0.790	0.917	0.917
$X_2$	0.995	1	0.994	0.994	0.941	0.991	0.996	0.946	0.548	0.876	0.975	0.700	0.809	0.924	0.924
$X_3$	0.998	0.994	1	0.996	0.938	0.994	0.998	0.941	0.537	0.876	0.967	0.685	0.784	0.920	0.922
$X_4$	0.999	0.994	0.996	1	0.959	0.985	0.998	0.962	0.555	0.892	0.983	0.713	0.810	0.926	0.925



续表

X <sub>5</sub>	0.945	0.941	0.938	0.959	1	0.916	0.949	0.994	0.686	0.909	0.965	0.828	0.906	0.943	0.937
X <sub>6</sub>	0.989	0.991	0.994	0.985	0.916	1	0.992	0.920	0.554	0.854	0.947	0.688	0.787	0.926	0.930
X <sub>7</sub>	0.999	0.996	0.998	0.998	0.949	0.992	1	0.952	0.553	0.884	0.975	0.709	0.805	0.929	0.929
X <sub>8</sub>	0.950	0.946	0.941	0.962	0.994	0.920	0.952	1	0.667	0.887	0.973	0.812	0.905	0.944	0.936
X <sub>9</sub>	0.529	0.548	0.537	0.555	0.686	0.554	0.553	0.667	1	0.520	0.539	0.819	0.848	0.779	0.779
X <sub>10</sub>	0.882	0.876	0.876	0.892	0.909	0.854	0.884	0.887	0.520	1	0.874	0.743	0.730	0.820	0.821
X <sub>11</sub>	0.979	0.975	0.967	0.983	0.965	0.947	0.975	0.973	0.539	0.874	1	0.719	0.838	0.904	0.897
X <sub>12</sub>	0.689	0.700	0.685	0.713	0.828	0.688	0.709	0.812	0.819	0.743	0.719	1	0.902	0.819	0.812
X <sub>13</sub>	0.790	0.809	0.784	0.810	0.906	0.787	0.805	0.905	0.848	0.730	0.838	0.902	1	0.919	0.911
X <sub>14</sub>	0.917	0.924	0.920	0.926	0.943	0.926	0.929	0.944	0.779	0.820	0.904	0.819	0.919	1	0.997
X <sub>15</sub>	0.917	0.924	0.922	0.925	0.937	0.930	0.929	0.936	0.779	0.821	0.897	0.812	0.911	0.997	1

主成分特征值及贡献率的结果如表 6 所示，取主成分特征值大于 1，第一主成分的特征值为 13.212、贡献率 88.078%、累计贡献率 88.078%，说明鄂尔多斯市土地利用结构的变化与社会经济发展密切相关；第二主成分的特征值为 1.138、贡献率 7.589%、累计贡献率 95.668%，说明牲畜数量变化、牛肉产量等民生发展是影响鄂尔多斯市土地利用结构变化的一个重要因素。因此，影响鄂尔多斯市的主要驱动力因子为：经济社会发展、民生发展，同时，草地相关政策对研究区域的土地利用有重要的影响作用。

Table 6. Principal component eigenvalues and principal component load table

表 6. 主成分特征值与主成分载荷表

主成分	主成分特征值			驱动因素	主成分载荷	
	特征值	贡献率	累积贡献率 %		第一主成分	第二主成分
1	13.212	88.078	88.078	X <sub>5</sub>	0.984	0.028
2	1.138	7.589	95.668	X <sub>8</sub>	0.983	0.007
3	0.298	1.986	97.653	X <sub>4</sub>	0.98	-0.192
4	0.154	1.024	98.678	X <sub>7</sub>	0.978	-0.195
5	0.101	0.672	99.350	X <sub>2</sub>	0.974	-0.199
6	0.048	0.319	99.669	X <sub>1</sub>	0.972	-0.225
7	0.029	0.193	99.862	X <sub>14</sub>	0.972	0.134
8	0.009	0.061	99.923	X <sub>3</sub>	0.97	-0.221
9	0.005	0.035	99.958	X <sub>15</sub>	0.97	0.128
10	0.003	0.019	99.977	X <sub>11</sub>	0.969	-0.169
11	0.002	0.015	99.992	X <sub>6</sub>	0.964	-0.197
12	0.001	0.005	99.997	X <sub>13</sub>	0.901	0.37
13	0.000	0.002	100.000	X <sub>10</sub>	0.897	-0.12
14	0.000	0.000	100.000	X <sub>12</sub>	0.82	0.459
15	0.000	0.000	100.000	X <sub>9</sub>	0.693	0.678

根据因子得分系数和原始变量的标准化值，可得第一主成分与第二主成分的表达式：

$$Y_1 = 0.267X_1 + 0.268X_2 + 0.267X_3 + 0.27X_4 + 0.271X_5 + 0.265X_6 + 0.269X_7 + 0.27X_8 + 0.191X_9 + 0.247X_{10} + 0.267X_{11} + 0.226X_{12} + 0.248X_{13} + 0.267X_{14} + 0.267X_{15}$$

$$Y_2 = -0.211X_1 - 0.187X_2 - 0.207X_3 - 0.18X_4 + 0.026X_5 - 0.185X_6 - 0.183X_7 + 0.007X_8 + 0.636X_9 - 0.112X_{10} - 0.158X_{11} + 0.43X_{12} + 0.347X_{13} + 0.126X_{14} + 0.12X_{15}$$

以对每个主成分的特征值所占主成分的总特征值之和的比例作为权重，计算出主成分综合得分，即计算主成分的得分公式为：

$$Y = \lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 = 0.921Y_1 + 0.079Y_2$$

经过计算得到社会经济驱动力的综合得分表 7。

**Table 7.** 2000~2020 Annual driving force comprehensive score table

**表 7.** 2000~2020 年驱动力综合得分表

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
得分	0.05	0.07	0.19	0.4	0.75	1.01	1.26	1.53	1.78	1.78	2.04	2.21	2.34	2.55	2.6	2.65	2.78	2.9	3.1	3.32	3.51

由表 7，在 2000 年到 2020 年间，社会经济的驱动力综合得分为正数，逐年升高，这是由于鄂尔多斯市的经济结构趋于合理，对土地利用的影响逐渐变大。这反映了社会经济因素对鄂尔多斯市土地利用的驱动力不断变大。

### 3.5. 研究区 LUCC 变化相关政策讨论

过去几十年，鄂尔多斯经历了经济迅速发展和自然生态保护的双重成就，土地利用政策也在多年社会发展过程中不断调整 and 变化，从大面积开垦“以粮为纲”到现在坚持“生态优先，绿色发展”的发展之路，研究区社会经济发生深刻变化，土地利用强度和方式都发生了显著变化。

2000 年以来，覆盖到研究区的各项重大生态工程措施见表 8。其中季节性轮牧、禁牧、休牧、舍饲、科学饲养等措施促使年末牲畜总量和乡村人口总量下降，减少草地承载压力，从而促进草地自然恢复。生态移民等措施对于严重退化的地区的居民，通过提高生态补偿的方式鼓励牧民迁移，既减轻严重退化区域草地压力，又提升农牧民收入，鼓励牧民向城镇迁移。该措施一方面遏制了草地退化态势，提高草场质量；另一方面改变了人口结构，鼓励牧民迁入城市，也拉大了研究区农村人口和城镇人口数量差距，促进了城镇化进程，间接导致草地退化。植树造林、沙地治理的各项措施不但直接增加了植被面积，也改善改变了农村发展理念、发展模式及生产生活方式，增加了农村就业岗位，提高了农牧民收入，加快了民生发展。综上所述，各项生态功能过程措施不仅直接作用于草地退化区域，更通过作用于人类活动，如改变人口结构、减少牲畜压力、促进民生发展等遏制草地退化态势，提高草地质量。

2000 年以来，研究区草地退化态势仍在持续。西部大开发战略的实施，极大带动了区域经济发展，推动了研究区城镇化/工业化进程。伴随着城镇化/工业化发展，大量劳动力涌向城镇，导致了人口结构和数量的改变。截至 2014 年鄂尔多斯市城镇化速率已经达到 72 %，高于全国平均水平 23%，鄂尔多斯市城镇化水平达到高速发展水平阶段[18]。尤其 2000 年以后，鄂尔多斯市煤的开采量呈现幂次方增长[19]，煤矿的开采使得大量人口迁移入城市，与之对应的 GDP 总量、第二产业总值、城市人口等趋势。工业化和产业结构的改变促进了鄂尔多斯市城市的扩展，城镇化、工业化发展又促进了道路的建设，以及与矿业发展相关的次生产业的发展。鄂尔多斯市典型能源型城市，约 70% 的鄂尔多斯国土面积下有煤炭资源。大规模的矿业发展导致土地资源直接被破坏，煤炭产业发展过程中固体肥料占用土地资源，地面塌陷破坏土地资源。同时，煤炭发展的一系列衍生产业，例如为了煤炭运输需要加大发展道路建设，这直接破

坏道路草地，促使草地退化或者破碎化。煤炭发电产业、煤炭化工产业等污染空气，同时也消耗大量水资源，进而导致内蒙古地区地下水位下降，水体面积减少等一系列土地利用/覆被变化[20] [21]。因此，在带动地方经济发展的同时，更多的生态环境保护措施，例如提高煤炭工业用水效率，发展绿色能源等减少资源消耗的政策应该吸引更多广泛的关注。

**Table 8.** Based on key land-use management strategies  
**表 8.** 基于关键土地利用管理策略

年份	草地相关政策	主要措施	引起社会经济等驱动因素变化趋势	引起土地利用变化过程
1978~2050	三北防护林体系建设工程[22]	① 改善生态环境 ② 改善农牧业生产		林地面积增加
1978	家庭联产承包责任制[23]	① 土地集体所有权与经营权的分离 ② 草地使用权由公有制变成私有制	人口、牲畜数量增加	草地退化
1985.10.1	中华人民共和国草原法[24]	① 保护、建设和合理利用草原 ② 禁止乱垦、乱挖和乱伐	控制牲畜数量	促进草地恢复
2000	西部大开发[25]	① 完善差别化的经济和基础设施建设 ② 生态环境保护修复和建立生态文明 ③ 发展特色优势产业和稳步推进城镇化建设 ④ 重点地区发展和改革扩大开放	促进社会经济、民生等发展，研究区工矿迅速发展	城镇化/工业化发展，草地退化
2001~2010	京津风沙源治理工程[26]	① 植树造林 ② 沙漠治理	植被面积增加，促进民生发展	草地恢复
2003	退耕还林还草工程[27]	① 退耕还林、还草 ② 恢复贫瘠地区植被。	农田转换为草地	草地恢复
2001~2008	围封转移工程[28]	① 禁牧、轮牧 ② 转移牧民 ③ 推动高产农田发展，饲养高经济价值牲畜。	抑制牲畜数量，控制退化区人口、牲畜数量	草地恢复
2001~2020	生态系统服务补偿工程[29]	① 加大禁牧补助 ② 草畜平衡 ③ 生态移民。	抑制牲畜数量，促进民生发展，抑制农牧区人口数量	草地恢复

#### 4. 结论

本文基于 CLCD 土地利用变化数据集，选取鄂尔多斯为研究区，首先厘清了研究区 2000~2020 年土地利用变化过程，在此基础上刻画了研究区草地退化和恢复的过程；其次根据驱动因素的综合性、层次性等特征，定量分析了研究区共 15 个驱动因素的动态变化；最后归纳总结了研究区 1978 年以来重大土地利用管理策略和生态保护工程，及该政策框架沿各驱动因素和关键 LUCC 的作用路径。研究结果表明：(1) 2000~2020 年鄂尔多斯约有 20% 的国土面积发生变化，主要表现为草地面积增加、裸地面积明显缩减、农田面积增加和不透水面面积扩张；(2) 草地恢复面积远大于草地退化面积，分别为 11346.1 km<sup>2</sup> 和 5490.8 km<sup>2</sup>；(3) 在过去二十年研究区社会经济驱动因素均显著增长，驱动因素整体促进了研究区剧烈的土地利用变化。

研究结果表明，重要政策对土地利用变化，特别是草地退化和恢复具有显著影响。2000 年以来，在

可持续发展 and 西部大开发政策下, 经济、人口和牲畜都增加了。这导致草地退化或者会转变为其它土地利用类型, 如带来耕地扩张。针对草地退化现象中央和地方政府推出了一系列生态政策来对抗退化。其重要措施一般概括为减少使用者、控制牲畜压力等。与这些环境政策相对应, 2000 年后, 研究区草原面积增长, 草地也得到了恢复, 生态环境逐渐得到改善。本研究将草地恢复过程分为草地覆盖度增加和草地面积增加。

本文基于 2000~2020 年 CLCD 土地利用变化数据, 详细刻画了鄂尔多斯土地利用变化时空过程, 在此基础上综合评估了研究区草地退化与恢复的过程。基于 LUCC 过程对于草地退化/恢复过程的刻画弥补了先前研究中基于单一遥感指标或者小范围野外调研等对草地退化/恢复过程监测的不足, 符合 IGPG 对于草地退化的定义, 丰富了大范围草地退化的监测和评估方法, 对于研究区生态治理具有现实意义。

## 参考文献

- [1] Lambin, E.F. and Meyfroidt, P. (2011) Global Land Use Change Economic Globalization and the Looming Land Scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **108**, 3465-3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>
- [2] Sun, Q., Qi, W. and Yu, X. (2021) Impacts of Land Use Change on Ecosystem Services in the Intensive Agricultural Area of North China Based on Multi-Scenario Analysis. *Alexandria Engineering Journal*, **60**, 1703-1716. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.11.020>
- [3] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念, 方法与进展[J]. 地理科学进展, 2014(4): 6.
- [4] He, C., Huang, Z. and Wang, R. (2014) Land Use Change and Economic Growth in Urban China: A Structural Equation Analysis. *Urban Studies*, **51**, 2880-2898. <https://doi.org/10.1177/0042098013513649>
- [5] 白娥, 薛冰. 土地利用与土地覆盖变化对生态系统的影响[J]. 植物生态学报, 2020, 44(5): 543-552.
- [6] Hasnat, G.N. and Hossain, M. (2020) Examining International Land Use Policies, Changes, and Conflicts. IGI Global, Pennsylvania. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4372-6>
- [7] Wang, D., Huang, Z., Zhang, Y., et al. (2020) Extremely Low Thermal Conductivity from Bismuth Selenohalides with 1D Soft Crystal Structure. *Science China Materials*, **63**, 1759-1768. <https://doi.org/10.1007/s40843-020-1407-x>
- [8] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69: 3-14.
- [9] Nacun, B., Nendel, C., Hu, Y., et al. (2018) Land-Use Change and Land Degradation on the Mongolian Plateau from 1975 to 2015—A Case Study from Xilingol, China. *Land Degradation & Development*, **29**, 1595-1606. <https://doi.org/10.1002/ldr.2948>
- [10] 乌兰图雅. 蒙古高原草地利用特征及其国别差异[J]. 地理学报, 2021, 76(7): 1722-1731.
- [11] 郭晓娜, 陈睿山, 李强, 等. 土地退化过程、机制与影响——以土地退化与恢复专题评估报告为基础[J]. 生态学报, 2019, 39(17): 6567-6575.
- [12] Jia, X., You, G., McKenzie, S., et al. (2022) Inter-Annual Variations of Vegetation Dynamics to Climate Change in Ordos, Inner Mongolia, China. *PLOS ONE*, **17**, e0264263. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264263>
- [13] Yang, J. and Huang, X. (2021) The 30 M Annual Land Cover Dataset and Its Dynamics in China from 1990 to 2019. *Earth System Science Data*, **13**, 3907-3925. <https://doi.org/10.5194/essd-13-3907-2021>
- [14] 刘瑞, 朱道林. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J]. 资源科学, 2010, 32(8): 1544-1550.
- [15] 王德利, 王岭, 辛晓平, 等. 退化草地的系统性恢复: 概念、机制与途径[J]. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2532-2540.
- [16] Hu, Y. and Nacun, B. (2018) An Analysis of Land-Use Change and Grassland Degradation from a Policy Perspective in Inner Mongolia, China, 1990-2015. *Sustainability*, **10**, Article 4048. <https://doi.org/10.3390/su10114048>
- [17] 童其慧. 主成分分析方法在指标综合评价中的应用[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2002, 4(1): 59-61.
- [18] Lubing, W. (2017) Main Eco-Environmental Problems of Urbanization in Ordos Area. Ph.D. or Master's Thesis, Inner Mongolia University, Hohhot. (In Chinese)
- [19] 董宁, 韩兴国, 邬建国. 内蒙古鄂尔多斯市城市化时空格局变化及其驱动力[J]. 应用生态学报, 2012, 23(4): 1097-1103.

- [20] Tana, Q., Bagan, H., Kinoshita, T., *et al.* (2014) Spatial-Temporal Analyses of Surface Coal Mining Dominated Land Degradation in Hologol, Inner Mongolia. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **7**, 1675-1687. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2301152>
- [21] Yang, X., Scuderi, L., Wang, X., *et al.* (2015) Groundwater Sapping as the Cause of Irreversible Desertification of Hushandake Sandy Lands, Inner Mongolia, Northern China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **112**, 702-706. <https://doi.org/10.1073/pnas.1418090112>
- [22] 黄麟, 祝萍, 肖桐, 等. 近 35 年三北防护林体系建设工程的防风固沙效应[J]. 地理科学, 2018, 38(4): 600-609.
- [23] Akram, M., Zhang, Q. and Li, W. (2008) Policy Analysis in Grassland Management of Xilingol Prefecture, Inner Mongolia. In: Lee, C. and Schaaf, T., Eds., *The Future of Drylands*, Springer, Dordrecht, 493-505. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6970-3\\_45](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6970-3_45)
- [24] Han, J., Zhang, Y., Wang, C., *et al.* (2008) Rangeland Degradation and Restoration Management in China. *The Rangeland Journal*, **30**, 233-239. <https://doi.org/10.1071/RJ08009>
- [25] 周珂, 王权典, 陈特. 我国西部生态安全的法制保障[J]. 中国人民大学学报, 2002, 16(4): 98-104.
- [26] Zeng, X., Zhang, W., Liu, X., *et al.* (2014) Change of Soil Organic Carbon after Cropland Afforestation in ‘Beijing-Tianjin Sandstorm Source Control’ Program Area in China. *Chinese Geographical Science*, **24**, 461-470. <https://doi.org/10.1007/s11769-014-0701-6>
- [27] Liu, D., Chen, Y., Cai, W., *et al.* (2014) The Contribution of China’s Grain to Green Program to Carbon Sequestration. *Landscape Ecology*, **29**, 1675-1688. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0081-4>
- [28] Bijoor, N., Li, W., Zhang, Q., *et al.* (2006) Small-Scale Co-Management for the Sustainable Use of Xilingol Biosphere Reserve, Inner Mongolia. *Ambio*, **35**, 25-29. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-35.1.25>
- [29] Démurger, S. and Pelletier, A. (2015) Volunteer and Satisfied? Rural Households’ Participation in a Payments for Environmental Services Programme in Inner Mongolia. *Ecological Economics*, **116**, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.04.012>