

DOI: 10.5846/stxb201804080788

董天,肖洋,张路,肖焱,郑华,欧阳志云.鄂尔多斯市生态系统格局和质量变化及驱动力.生态学报,2019,39(2): - .

Dong T, Xiao Y, Zhang L, Xiao Y, Zheng H, Ouyang Z Y. Analysis of driving factors that influence the pattern and quality of the ecosystem in Ordos. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(2): - .

## 鄂尔多斯市生态系统格局和质量变化及驱动力

董 天<sup>1,2</sup>, 肖 洋<sup>1,2</sup>, 张 路<sup>1,2</sup>, 肖 焱<sup>1,2</sup>, 郑 华<sup>1,2</sup>, 欧阳志云<sup>1,2,\*</sup>

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域国家重点实验室,北京 100085

2 中国科学院大学,北京 100049

**摘要:**生态系统变化是生态问题产生的主要驱动力之一,研究生态系统格局与质量变化对于认识人类活动与生态系统关系具有重要意义。鄂尔多斯市能源资源丰富,但生态环境脆弱,2000 年以来,鄂尔多斯市在大规模开发能源的同时,也在不断加强生态环境的保护,而研究鄂尔多斯市生态系统格局与质量演变过程,对认识生态脆弱区发展与保护的关系有重要价值。应用遥感数据和 GIS 技术,评估了鄂尔多斯市生态系统类型与格局、生态系统质量的特征,以及 2000 年以来的时空变化趋势,分析了导致鄂尔多斯市生态系统格局与质量变化的驱动力因素。结果表明:(1)鄂尔多斯市的草地、荒漠裸地和农田为主要生态系统类型,分别占 2010 年市域面积的 64.46%、21.34%与 5.93%。(2)鄂尔多斯市城镇、灌丛、森林面积有所增加,草地、湿地、农田、荒漠裸地面积有所下降。城镇面积增幅最大,相对变化率增加 33.37%,草地面积降幅最大,相对变化率减少 0.78%,变化主要集中在中部、东北部。(3)鄂尔多斯市生态系统质量整体偏低,低等级与差等级的生态系统面积比例高达 98.91%。全市的生态系统质量没有明显改善,其中生态系统质量有不同程度改善的面积为 15.84%,质量降低的面积比例为 15.29%。(4)生态系统格局与质量变化的主要驱动力有城市扩张、农田开垦、退耕还林(草湿)、生态保护、矿山开采等,鄂尔多斯市生态系统质量与降水、退耕还草工程、道路密度、温度、GDP1、放牧因子相关性显著。

**关键词:**生态系统格局;生态系统质量;驱动力;鄂尔多斯市

## Analysis of driving factors that influence the pattern and quality of the ecosystem in Ordos

DONG Tian<sup>1,2</sup>, XIAO Yang<sup>1,2</sup>, ZHANG Lu<sup>1,2</sup>, XIAO Yi<sup>1,2</sup>, ZHENG Hua<sup>1,2</sup>, OUYANG Zhiyun<sup>1,2,\*</sup>

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China

**Abstract:** Ecosystem change is one of the main driving forces of ecological problems. Studies on ecosystem pattern and quality change have great significance in understanding the relationship between human activities and the ecosystem. Ordos has plenty of energy resources, but its ecological environment is fragile. Since 2000, simultaneously with extensive energy exploration, protection of the ecological environment in Ordos has also been strengthened. Therefore, it is important to study the relationship between the pattern and evolutionary quality of Ordos's ecosystem to understand the relationship between the development and protection of ecologically fragile areas. In this study, remote sensing data and GIS technology were used to evaluate the characteristics and pattern of the ecosystem in Ordos, and to analyze the characteristics of ecosystem quality, trend of spatio-temporal changes from 2000 to 2010 in the ecosystem, and factors determining the pattern and quality of the ecosystem. We obtained the following results: (1) The ecosystem in Ordos can be divided into seven types: forest, shrub, grassland, wetland, farmland, urban and deserted and bare lands. Grasslands, deserted and bare lands, and farmlands

基金项目:国家自然科学基金重点项目(71533005)

收稿日期:2018-04-08; 网络出版日期:2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

accounted for 64.46%, 21.34%, and 5.93%, respectively, of the city area in Ordos in 2010. (2) The areas of urban, shrub and forest lands increased during the study period, while those of grassland, wetland, farmland, and deserted and bare lands decreased. The increase in the area of the urban lands was the highest (33.37%). Simultaneously, the decrease in the area of the grasslands was the highest (0.78%). In the middle of Ordos city, the landscape pattern at the northeastern part changed to the greatest extent. It mainly concentrated in the central and northeastern of Ordos, which changed the most. (3) The quality of the Ordos ecosystem was low; 98.91% of its ecosystems were of low grade or poor grade. Furthermore, the overall ecosystem quality showed no significant improvement during the study period; quality improved in 15.84% of the area and declined in 15.29% of the area. (4) The main driving forces of the ecosystem structure and quality change in Ordos are urban expansion, farmland reclamation, converting farmland to forest (or to grass- or wetland), ecological protection, and mining. The correlations between the quality of the ecosystem and precipitation, converting farmland to grassland, road density, temperature, GDP1, and grazing factors were significant.

**Key Words:** ecosystem pattern; ecosystem quality; driving factors; Ordos

21 世纪初,中国粮食生产的持续增长,已经达到了世界纪录<sup>[1]</sup>。全球都面临着日益增长的人口需要充足的食物、充裕的生活空间,如何在农业开垦、资源开采、经济发展的同时,维护区域的可持续发展,成为国内外学者关注的研究热点问题。人类活动会影响生态系统的格局和质量<sup>[2-3]</sup>,因而研究生态系统的格局与质量是认识生态环境与人类活动关系的基础<sup>[4-5]</sup>。此外,生态保护是否会影响到农业生产,从而对人类福祉产生负面效果,成为生态学家关注的焦点。Malek 等在地中海的研究表明扩大生态保护区域网络,不会影响粮食生产,在提高粮食产量的同时改善水资源状况是可行的<sup>[6]</sup>。

2000 年以来,中国实施了生态保护和恢复相关政策,这些生态政策和工程的实施,对生态环境的影响如何,成为研究者们关注的关键问题。Xie 等研究了中国大规模退耕工程与区域可持续发展的关系,研究结果表明采用动态补贴的政策更有利于中国耕地的可持续利用<sup>[7]</sup>。Wang 等的研究显示,1984—2012 年间,中国不同区域的生态系统格局变化差异性较大,而经济社会因素是导致生态系统格局变化的重要原因,土地利用政策也对生态系统格局的时空演变造成了一定影响<sup>[8]</sup>。如何根据区域特征,来有针对性的实施差异化土地政策和生态保护政策成为关键问题。但目前还缺乏相关量化研究。

生态系统是人类赖以生存和发展的基础,因此,研究生态系统格局和质量的时空动态演变特征十分重要。生态系统格局与质量不仅直接影响生态系统服务功能的变化<sup>[9-10]</sup>,还将进一步影响人类福祉。所以,通过分析导致生态系统格局与质量时空动态演变的驱动力因素<sup>[11-12]</sup>,有助于量化分析已有生态保护和生态恢复政策措施实施的具体效果<sup>[13]</sup>,能够为今后的区域生态保护和生态恢复政策研究、城市发展战略制定提供可供参考的可靠科学依据<sup>[14]</sup>。

鄂尔多斯市位于中国北部的内蒙古西南部地区,是我国北部重要的生态屏障,同时也是我国重要的农牧业生产基地,因其丰富的煤炭资源,社会经济发展迅速,创造了“鄂尔多斯经济现象”<sup>[15]</sup>。与此同时,由于鄂尔多斯市生态环境十分脆弱,人类活动对土地利用、生态环境特征演变的影响成为研究热点问题。鄂尔多斯市草地退化、土地沙化显著,高覆盖度草地转化为中、低覆盖度草地,中覆盖度草地转化为低覆盖度草地和沙地,低覆盖度草地转化为沙地,降水、人口、牲畜数量增加,共同作用影响鄂尔多斯市生态环境变化<sup>[16-17]</sup>。

2000 年以来,鄂尔多斯市政府实施了生态保护工程,如退耕还林还草、禁牧和休牧等生态政策,鄂尔多斯市生态环境退化程度逐年减轻并向轻度改善转变<sup>[18]</sup>。这些变化必然会影响鄂尔多斯市的生态系统格局与质量状况,进而影响鄂尔多斯市区域经济和生态环境的可持续发展。本研究试图探索资源开发、城市化发展与生态保护等多重驱动因素对生态敏感脆弱区域的生态系统演变规律的具体作用,为生态系统恢复、生态系统质量提高、中国北部地区的生态屏障构建提供可信的科学数据、可实施的政策建议。

本研究的目的是:深入了解鄂尔多斯市生态系统格局与质量状况和十年间的时空演变趋势<sup>[19-25]</sup>,客观认

识鄂尔多斯市生态系统结构与功能,确定鄂尔多斯市目前存在的潜在生态威胁和生态问题,探讨鄂尔多斯市生态系统格局和质量变化的驱动因素,量化分析鄂尔多斯市生态保护工程和政策对鄂尔多斯市的实际影响,对实现鄂尔多斯市区域经济的可持续发展与生态保护的平衡具有重要的现实意义。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区域概况

鄂尔多斯市地处鄂尔多斯高原腹地,37°18′—40°17′N,106°27′—111°27′E,总面积 8.68 万 km<sup>2</sup>,属于温带大陆性气候,年平均气温 5.5—9.1℃,年降水量仅 170—350 mm,蒸发量高达 2000—3000 mm<sup>[26]</sup>。地形西高东低,平均海拔在 1000—1500 m 之间,北部为黄河冲积平原,东部为丘陵沟壑水土流失区和砒砂岩裸露区,中部为毛乌素沙地和库布其沙漠<sup>[18]</sup>(图 1)。

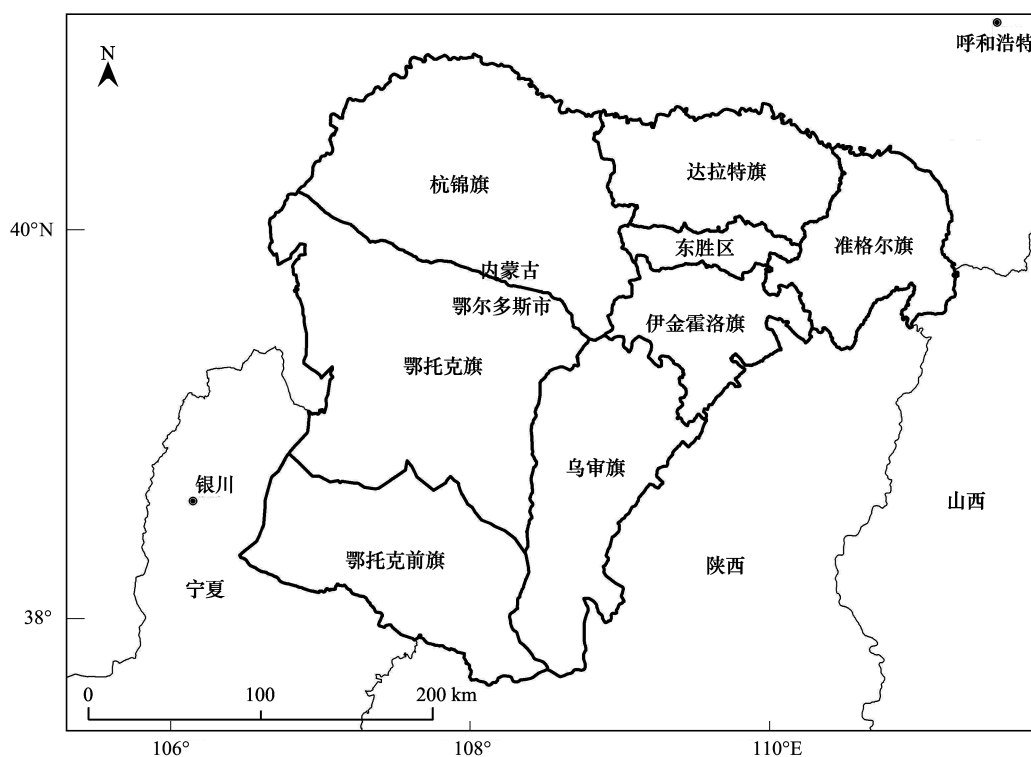


图 1 鄂尔多斯市在全国的位置

Fig.1 The position of erdos in China

鄂尔多斯市位于我国北方的农牧交错带<sup>[27]</sup>,主要生态系统类型有草地、荒漠裸地、农田、湿地、森林、城镇等。由于地处干旱地区,具有生态承载力低、生态环境脆弱,沙漠化严重的特点,研究区域内频繁发生自然灾害<sup>[17-18,28]</sup>。

鄂尔多斯市还是典型的资源型城市,全市 70% 的地表下埋藏着煤,探明煤储量约占全国总储量的 1/6<sup>[24]</sup>,2015 年天然气供应量约占全国总量 31.7%<sup>[29]</sup>,羊绒质量居全国之首,羊绒产量约占全国总产量的 10.25%<sup>[30]</sup>。其中,煤炭开采约占鄂尔多斯市 GDP 的 80%,煤炭与羊绒产业对鄂尔多斯市经济发展的影响巨大<sup>[24]</sup>,对鄂尔多斯市的生态环境造成巨大压力。空间分布上,鄂尔多斯市中东部地区以煤矿开采为主,西部地区以畜牧业为主<sup>[24]</sup>。

### 1.2 生态系统分类体系

鄂尔多斯市生态系统分类以全国生态环境调查评估的生态系统分类体系为基础<sup>[31]</sup>,根据鄂尔多斯市的生态系统特征进行分类,共分一级森林、灌丛、草地、湿地、荒漠裸地、农田、城镇共 7 类,在一级分类的基础上

将生态系统划分二级共 18 类(表 1)。

### 1.3 数据来源

鄂尔多斯市的生态系统类型、生物量、植被覆盖数据来自“全国十年生态调查与评估”项目数据库<sup>[32]</sup>。本研究使用面向对象的分类技术,基于 Landsat TM 数据,采用了一级、二级生态系统分类数据得到了鄂尔多斯市 2000 年和 2010 年的生态系统类型分布图,根据数据精度检验报告说明,鄂尔多斯市一级生态系统分类精度达到 96%,二级生态系统分类精度达到 90%。鄂尔多斯市 DEM 数字高程模型来自国际科学数据服务平台,空间分辨率为 30 m。

国内生产总值、人口、放牧等社会经济数据来自鄂尔多斯市统计年鉴,道路密度等数据来自相关政府部门,城市扩张、农田开垦、退耕还林、草、湿、生态恢复、矿山开采、生态退化等数据通过遥感数据和实地调查获得。

### 1.4 生态系统格局分析方法

#### (1) 生态系统类型面积比例

通过计算生态系统分类系统中各种类型生态系统面积( $S_{ij}$ )占总面积的比例得到鄂尔多斯市生态系统类型的面积比例<sup>[33]</sup>。

$$T_{ij} = \frac{S_{ij}}{TS} \quad (1)$$

式中, $T_{ij}$ :土地利用类型中第  $i$  类生态系统在第  $j$  年的面积比例; $S_{ij}$ :生态系统类型中第  $i$  类生态系统在第  $j$  年的面积; $TS$ :评价区域的总面积。

#### (2) 生态系统类型变化方向

利用生态系统类型转移矩阵<sup>[33]</sup>定量分析鄂尔多斯市 2000 年、2010 年两个时段生态系统类型构成变化、转变方向与相互转变面积与数量。

$$A_{ij} = \frac{a_{ij} \times 100}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$B_{ij} = \frac{a_{ij} \times 100}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3)$$

$$R_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (4)$$

式中, $i$ :2000 年生态系统类型; $j$ :2010 年生态系统类型; $a_{ij}$ :生态系统类型的面积; $A_{ij}$ :2000 年第  $i$  类生态系统类型转变为 2010 年第  $j$  类生态系统类型的比例; $B_{ij}$ :2000 年的第  $i$  类生态系统类型转变为 2010 年第  $j$  类生态系统类型的比例; $R_{ij}$ :生态系统类型变化方向。

### 1.5 生态系统质量评估方法

以遥感数据为基础,分析鄂尔多斯市生态系统地上生物量与植被覆盖度数据,计算鄂尔多斯市相对生物量密度,评估 2010 年鄂尔多斯市的森林、灌丛与草地生态系统质量。通过比较 2000 年与 2010 年鄂尔多斯市森林、灌丛与草地生态系统质量的时空变化趋势,确定鄂尔多斯市生态系统质量改善与退化显著的区域空间分布特征。

在评价鄂尔多斯市森林、灌丛、草地生态系统质量时,使用基于像元的相对生物量密度方法<sup>[11]</sup>。使用植被指数-生物量法得到地上生物量数,评价鄂尔多斯市森林生态系统质量;使用累积 NPP 法,基于像元二分模型通过 MODIS 影像反演得植被覆盖度数据<sup>[34-36]</sup>,使用 CASA 模型得到累积 NPP 法<sup>[37]</sup>,通过累加草地生长期

(开始生长与结束生长的时间段)内的 NPP 估算植被覆盖度,评价鄂尔多斯市草地生态系统质量。

$$Q_j = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ij} \times A_s}{S} \quad (5)$$

$$R_{ij} = \frac{B_{ij}}{CB_j} \times 100\% \quad (6)$$

$$F = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \quad (7)$$

式中, $i$ :像元数量; $j$ :生态系统类型; $Q_j$ :第  $j$  类生态系统质量指数; $R_{ij}$ :第  $j$  类生态系统  $i$  像元的相对生物量密度; $A_s$ :每个像元的面积; $S$ :评价区域内第  $j$  类生态系统的总面积。 $B_{ij}$ :第  $j$  类生态系统  $i$  像元的生物量,由鄂尔多斯市遥感数据得到; $CB_j$ :第  $j$  类生态系统顶级群落每像元的生物量,由鄂尔多斯市生态系统长期定位观测数据和样地调查数据得到; $F$ :植被覆盖度; $NDVI$ :由鄂尔多斯市遥感影像的近红外波段、红光波段的发射率计算得到。 $NDVI_v$ :纯植被像的  $NDVI$  值; $NDVI_s$ :完全无植被覆盖像元的  $NDVI$  值。

将鄂尔多斯市森林、灌丛生态系统质量分为 5 个等级<sup>[11]</sup>:(1)优(相对生物量密度  $R$  值  $\geq 80\%$ );(2)良( $60\% \leq$  相对生物量密度  $R$  值  $\leq 80\%$  之间);(3)中( $40\% \leq$  相对生物量密度  $R$  值  $\leq 60\%$ );(4)低( $20\% \leq$  相对生物量密度  $R$  值  $\leq 40\%$ );(5)差(相对生物量密度  $R$  值  $\leq 20\%$ )。将鄂尔多斯市草地生态系统质量分为 5 个等级<sup>[11]</sup>:(1)优(植被覆盖度  $F$  值  $\geq 80\%$ );(2)良( $60\% \leq$  植被覆盖度  $F$  值  $\leq 80\%$ );(3)中( $40\% \leq$  植被覆盖度  $F$  值  $\leq 60\%$ );(4)低( $20\% \leq$  植被覆盖度  $F$  值  $\leq 40\%$ );(5)差(植被覆盖度  $F$  值  $\leq 20\%$ )。

## 1.6 驱动力分析

为了探讨气候与人类活动对鄂尔多斯市生态系统格局与质量的影响机制,以生态系统类型为单位对鄂尔多斯市生态系统格局驱动力进行分析,以县域为单位使用 SPSS 软件分析鄂尔多斯市生态系统质量驱动力。其中,气候驱动力主要考虑温度、降水,人类活动主要考虑国内生产总值 GDP(Gross domestic product、GDP1 农业生产总值、GDP2 工业生产生产总值、GDP3 服务业生产总值)、人口、放牧、道路密度、城市扩张、农田开垦、退耕还林、草、湿、生态恢复、矿山开采、生态退化等因素。

## 2 结果与分析

### 2.1 生态系统格局与演变

#### 生态系统分布与构成

2010 年,鄂尔多斯市草地、荒漠裸地和农田 3 类生态系统类型面积之和约占市域面积的 91.73%。其中,草地是鄂尔多斯市面积最大的生态系统类型,面积为 55971.34  $\text{hm}^2$ ,约占市域面积的 64.46%,包括草原、草甸,分别占草地面积的 99.25%与 0.75%,主要分布在鄂尔多斯市东北、西部、西南地区。荒漠裸地生态系统面积为 18530.06  $\text{hm}^2$ ,约占市域面积的 21.34%,包括沙漠、荒漠裸岩、荒漠裸土,分别占荒漠面积的 96.20%、0.01%、3.78%,主要分布在鄂尔多斯市北部、东南地区。农田生态系统面积为 5147.69  $\text{hm}^2$ ,占市域面积的 5.93%,以耕地为主,园地面积很少,主要分布在鄂尔多斯市北部、东北、东南地区(图 2)。

森林生态系统面积为 1282.98  $\text{hm}^2$ ,占市域面积的 1.48%,包括落叶阔叶林、常绿针叶林,分别占鄂尔多斯市森林面积的 99.97%、0.03%。灌丛生态系统面积为 4299.18  $\text{hm}^2$ ,占市域面积的 4.95%,包括落叶阔叶灌木林、常绿针叶灌木林,分别占灌丛面积的 99.80%、0.20%,分布在鄂尔多斯市东北、中部地区。湿地生态系统面积为 489.73  $\text{hm}^2$ ,仅占市域面积的 0.56%,包括沼泽、湖泊、水库 3 类,分别占湿地面积的 13.17%、34.58%、52.25%,分布在鄂尔多斯市北部、中部地区。城镇生态系统面积为 1107.76  $\text{hm}^2$ ,占市域面积的 1.28%,包括居住地、城市绿地、工业与交通用地 3 类,分别占城镇面积的 29.96%、2.98%、67.06%,分布在鄂尔多斯市北部、东北、中部地区(表 1)。

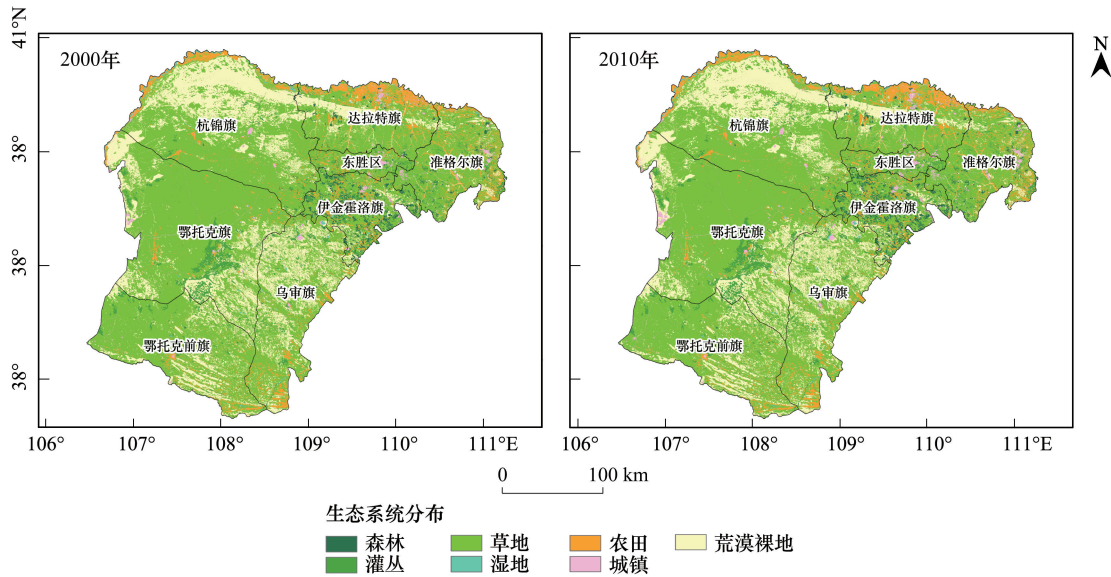


图2 鄂尔多斯市生态系统分布(2000—2010年)

Fig.2 Distribution of ordos ecosystem (2000—2010)

表1 鄂尔多斯市生态系统构成(2010年)

Table 1 The composition of ordos ecosystem (2010)

I级代码 Code I	I级分类 Classification I	面积比例 Area ratio/%	II级代码 Code II	II级分类 Classification II	面积比例 Area ratio/%
1	森林生态系统	1.48	11	落叶阔叶林	1.48
2	灌丛生态系统	4.95	12	常绿针叶林	0.00
3	草地生态系统	64.46	21	落叶阔叶灌木林	4.94
4	湿地生态系统	0.56	22	常绿针叶灌木林	0.01
5	农田生态系统	5.93	31	草甸	0.48
6	城镇生态系统	1.28	32	草原	63.98
7	荒漠裸地生态系统	21.34	41	沼泽	0.07
			42	湖泊	0.20
			43	水库	0.29
			51	耕地	5.93
			52	园地	0.00
			61	居住地	0.38
			62	城市绿地	0.04
			63	工业与交通用地	0.86
			71	沙漠	20.53
			72	荒漠裸岩	0.00
			73	荒漠裸土	0.81

## (2) 生态系统格局演变

2000—2010年,鄂尔多斯市城镇、灌丛、森林面积有所增加,而草地、湿地、农田、荒漠裸地面积有所下降。其中,城镇面积增幅最大,增加33.37%,而草地面积降幅最大,减少0.78%,鄂尔多斯市灌丛、森林面积分别增加了4.57%、3.51%,湿地、农田、荒漠裸地分别减少了8.49%、0.18%、0.06%,市域内发生了变化的生态系统面积为508.57 km<sup>2</sup>(表2)。

表 2 鄂尔多斯市各类生态系统类型面积构成变化(2000—2010 年)

Table 2 The composition of changes of ecosystem types in ordos (2000—2010)

生态系统类型 Ecosystem classification	2000 年面积比例 Area ratio in 2000/%	2010 年面积比例 Area ratio in 2010/%	变化量 Change amount/hm <sup>2</sup>	相对变化率 Relative rate of change/%
森林生态系统 Forest ecosystem	1.43	1.48	4355.37	3.51
灌丛生态系统 Shrub ecosystem	4.73	4.95	18783.72	4.57
草地生态系统 Grass ecosystem	64.97	64.46	-44274.06	-0.78
湿地生态系统 Wetland ecosystem	0.62	0.56	-4542.48	-8.49
农田生态系统 Cultivated ecosystem	5.94	5.93	-951.93	-0.18
城镇生态系统 Urban ecosystems	0.96	1.28	27718.2	33.37
荒漠裸地生态系统 Desert and bare land ecosystems	21.35	21.34	-1088.82	-0.06

城镇生态系统中,居住地和工业与交通过地有所增加,城市绿地略有降低,变化面积分别为 41.66、235.95、0.43 hm<sup>2</sup>。其中,城镇新增面积主要来源于草地、荒漠裸地、农田、灌丛,分别占总新增城镇面积的 49.39%、21.98%、12.98%、11.00%。新增居住地主要由二级生态系统类型中的耕地、草原、沙漠、阔叶灌丛转化,转化面积分别占新增居住地面积的 39.78%、35.10%、14.19%、11.65%。城市绿地减少了 0.43 hm<sup>2</sup>,转化为居住地的面积占减少城市绿地面积的 45.45%,新增城市绿地主要由居住地、耕地转化而来。新增工业与交通过地主要由草原、沙漠、阔叶灌丛转化,分别占新增工业与交通过地的 51.82%、18.87%、10.77%(表 3)。

草地减少面积最大,减少面积 442.74 hm<sup>2</sup>,主要转换为灌丛、城镇、荒漠裸地、森林,分别占减少草地面积的 49.40%、30.92%、15.02%、14.01%。灌丛面积增加 187.84 hm<sup>2</sup>,主要来源于草地,占新增面积的 116.43%,而灌丛主要转化为城镇。新增加森林主要从草地转化而来,主要由草原转化为阔叶林。减少的荒漠裸地主要转化为城镇、湿地、草地,新增荒漠裸地主要由草地转化。减少的农田面积主要转化成湿地、城镇、草地,新增农田主要由草地转化。减少的湿地主要转化为草地、农田、新增湿地主要由农田、荒漠裸地、草地转化;减少的草地主要转化为灌丛、城镇、荒漠裸地(表 3)。

表 3 鄂尔多斯市各类生态系统类型转移矩阵(2000—2010 年)/hm<sup>2</sup>

Table 3 Types of ecosystem type transfer matrix in ordos (2000—2010)

生态系统类型 Ecosystem classification	森林生态系统 Forest ecosystem	灌丛生态系统 Shrub ecosystem	草地生态系统 Grass ecosystem	湿地生态系统 Wetland ecosystem	农田生态系统 Cultivated ecosystem	城镇生态系统 Urban ecosystems	荒漠裸地生态系统 Desert and bare land ecosystems	合计 Total(2000)
森林生态系统 Forest ecosystem	122060.79	6.66	37.35	2.34	11.34	1819.62	4.32	123942.42
灌丛生态系统 Shrub ecosystem	4.86	407588.67	353.07	5.13	47.61	3047.67	86.94	411133.95
草地生态系统 Grass ecosystem	6202.98	21869.91	5588312.31	859.41	3822.57	13689.90	6651.27	5641408.35
湿地生态系统 Wetland ecosystem	0.54	175.23	5416.83	42373.17	4255.02	463.50	831.06	53515.35
农田生态系统 Cultivated ecosystem	10.71	36.09	1465.92	3906.63	506573.55	3597.39	130.23	515720.52
城镇生态系统 Urban ecosystems	11.07	208.71	517.68	80.10	33.66	82066.59	140.13	83057.94
荒漠裸地生态系统 Desert and bare land ecosystems	6.84	32.40	1031.13	1746.09	24.84	6091.47	1845162.00	1854094.77
合计 Total(2010)	128297.79	429917.67	5597134.29	48972.87	514768.59	110776.14	1853005.95	8682873.30

鄂尔多斯市二级生态系统类型包括工业与交通过地、居住地、湖泊、落叶阔叶灌木林、落叶阔叶林、常绿针叶灌木林、草原、草甸等,相对变化率分别增加:46.55%、14.36%、7.29%、4.58%、3.52%、0.49%、0.21%,而沼泽、水库、城市绿地、草原、根底、荒漠裸土、沙漠的相对变化率分别减少:18.30%、14.24%、1.27%、0.79%、0.48%、0.18%、0.05%,其中,园地、荒漠裸岩相对变化率很小(表4)。鄂尔多斯市生态系统变化主要集中在中部、东北部,大部分区域的生态系统变化率较低,变化率较高的生态系统是城镇生态系统中的工业与交通过地、灌丛生态系统中的落叶阔叶灌木林(图3)。

表4 鄂尔多斯市生态系统变化面积( $\text{hm}^2$ )及总体变化率(%) (2000—2010年)

Table 4 Change area ( $\text{hm}^2$ ) and total rate of change (%) of ordos ecosystem (2000—2010)

I级代码 Code I	I级分类 Classification I	变化面积 Change area/ $\text{hm}^2$	相对变化率 Relative rate of change/%	II级代码 Code II	II级分类 Classification II	变化面积 Change area/ $\text{hm}^2$	相对变化率 Relative rate of change/%
1	森林生态系统	4355.37	3.51	11	落叶阔叶林	4355.55	3.52
				12	常绿针叶林	-0.18	-0.48
2	灌丛生态系统	18783.72	4.57	21	落叶阔叶灌木林	18779.58	4.58
				22	常绿针叶灌木林	4.14	0.49
3	草地生态系统	-44274.06	-0.78	31	草甸	88.38	0.21
				32	草原	-44362.44	-0.79
4	湿地生态系统	-4542.48	-8.49	41	沼泽	-1444.41	-18.30
				42	湖泊	1150.74	7.29
				43	水库	-4248.81	-14.24
5	农田生态系统	-951.93	-0.18	51	耕地	-951.93	-0.18
				52	园地	0.00	0.00
6	城镇生态系统	27718.20	33.37	61	居住地	4166.10	14.36
				62	城市绿地	-42.57	-1.27
				63	工业与交通过地	23594.67	46.55
7	荒漠裸地生态系统	-1088.82	-0.06	71	沙漠	-959.49	-0.05
				72	荒漠裸岩	0.00	0.00
				73	荒漠裸土	-129.33	-0.18

## 2.2 生态系统质量与演变

### (1) 生态系统质量

2010年,鄂尔多斯市生态系统总体质量较低,优、良、中等级生态系统面积占总面积比例分别为0.02%、0.06%、1.02%,低、差等级生态系统面积占总面积比例分别为37.21%、61.70%。其中,草地生态系统优、良、中、低、差等级的面积分别为8.94、36.63、649.00、23931.38、33201.69  $\text{km}^2$ ,灌丛生态系统优、良等级的面积分别为1.50、1.00  $\text{km}^2$ ,灌丛和森林生态系统低、差等级的面积较多,森林生态系统全部属于低、差等级(图4)。

### (2) 生态系统质量变化

2000—2010年,鄂尔多斯市生态系统质量总体略有改善,东部、中部、南部大地区生态系统质量有所提高,仅有小部分地区生态系统质量有所降低。优等级增加了2.63  $\text{km}^2$ ,其中草地、灌丛增加了2.19  $\text{km}^2$ 、0.38  $\text{km}^2$ ;良等级减少了14.06  $\text{km}^2$ ,其中草地减少了14.63  $\text{km}^2$ ,而灌丛增加了0.59  $\text{km}^2$ ;中等级增加了249.13  $\text{km}^2$ ,其中草地、灌丛分别增加了252.56、1.25  $\text{km}^2$ ,森林减少了0.31  $\text{km}^2$ ;低等级面积增加了13262.88  $\text{km}^2$ ,草地、灌丛、森林分别增加了13458.94、3.94、0.06  $\text{km}^2$ ;差级的生态系统面积减少了13500.56  $\text{km}^2$ ,草地、灌丛分别减少了13699.06、1.50  $\text{km}^2$ ,仅森林增加了0.25  $\text{km}^2$ (图4)。

## 2.3 生态系统格局和质量变化的驱动力分析

在气候变化与人类活动的共同影响下,鄂尔多斯市生态系统格局和质量发生了巨大变化。本文通过对有可能影响生态系统格局和质量变化的驱动力因素进行相关性分析,研究发现鄂尔多斯市生态系统格局与城市



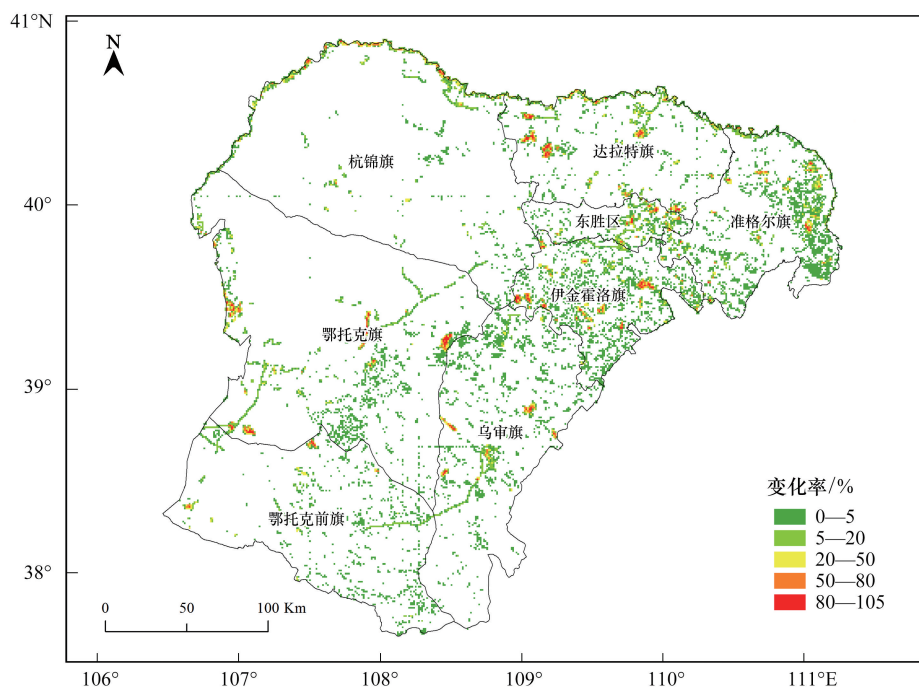


图3 鄂尔多斯市生态系统变化率(%) (2000—2010年)

Fig.3 Change rate (%) of ordos ecosystem (2000—2010)

扩张、农田开垦、退耕还林、草、湿、生态恢复、矿山开采、生态退化相关性显著(表5);鄂尔多斯市生态系统质量与降水、退耕还草工程、道路密度、温度、GDP1、放牧因子相关性显著(图5)。

表5 鄂尔多斯市生态系统变化面积及总体变化率(2000—2010年)

Table 5 Change area and total rate of change of ordos ecosystem (2000—2010)

驱动因素 Driving factors	森林 Forest/ hm <sup>2</sup>	灌丛 Shrub/ hm <sup>2</sup>	草地 Grass/ hm <sup>2</sup>	湿地 Wetland/ hm <sup>2</sup>	农田 Cultivated/ hm <sup>2</sup>	城镇 Urban/ hm <sup>2</sup>	荒漠裸地 Desert and bare land/ hm <sup>2</sup>	合计 Total	
								面积 Area/hm <sup>2</sup>	比例 Ratio/%
城市扩张 Urban expansion	11.07	208.71	517.68	80.1	33.66	—	140.13	991.35	0.32
农田开垦 Farmland reclamation	11.34	47.61	3822.57	4255.02	—	33.66	24.84	8195.04	2.65
退耕还林、草、湿 Returning farmland to forest, grass, wet land	10.71	—	1465.92	3906.63	—	—	—	5383.26	1.74
生态恢复 Ecological restoration	28.62	277.2	3014.73	5732.82	58.5	—	—	9111.87	2.95
矿山开采 Mining	10.08	207.9	240.48	0.27	0.99	—	7.38	467.1	0.15
生态退化 Ecological degradation	706.25	2218.75	261825	2175	7237.5	3100	7568.75	284831.25	92.18
合计 Total	778.07	2960.17	270886.38	16149.84	7330.65	3133.66	7741.1	308979.87	100.00

鄂尔多斯市生态系统质量与降水、退耕还草工程、道路密度呈现明显的正相关( $R^2 = 0.3159$ ,  $P < 0.01$ ;  $R^2 = 0.0529$ ,  $P < 0.01$ ;  $R^2 = 0.2494$ ,  $P < 0.01$ )。然而,与温度、GDP1、放牧呈现明显的负相关( $R^2 = 0.6358$ ,  $P < 0.01$ ;  $R^2 = 0.165$ ,  $P < 0.01$ ;  $R^2 = 0.2575$ ,  $P < 0.01$ )。其中,生态系统质量与退耕还草工程实施区域内、外的相关性存在显著差异。在实施退耕还草工程区内,生态系统质量变化退耕还草、保护管理等措施密切相关,而受温度、降水、GDP1、放牧等其他驱动力的影响较小;而实施退耕还草工程区外,鄂尔多斯市生态系统质量的

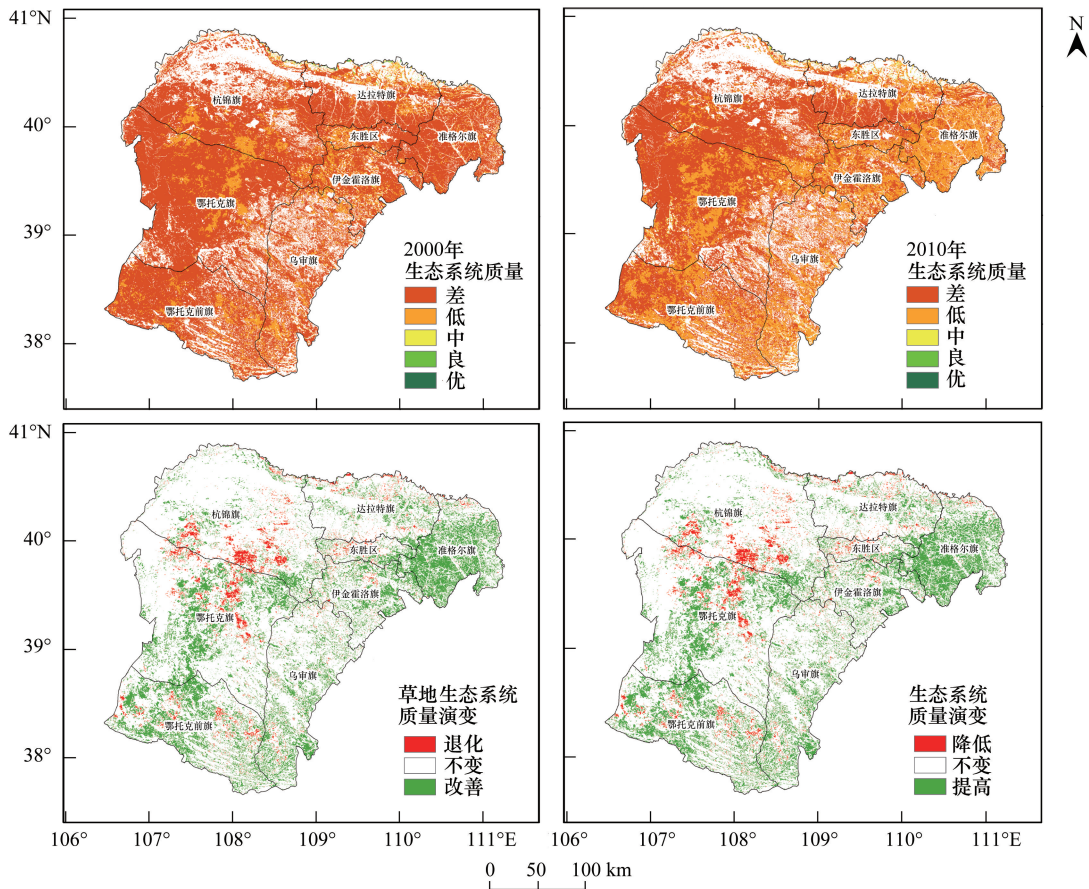


图 4 鄂尔多斯市生态系统质量时空演变(2000—2010年)

Fig.4 Spatiotemporal evolution of Ordos ecosystem (2000—2010)

变化主要受降水、温度、道路密度、GDP、放牧等驱动力的影响(图 5)。

2000—2010 年间,鄂尔多斯市生态系统质量的变化与温度的相关性最大( $R^2 = 0.6358, P < 0.01$ ),是区域生态系统质量变化的主要驱动力(图 5)。由于鄂尔多斯市生态系统类型以草地为主,适宜的温度有利于植被生长,因此温度成为控制草地植被的生长情况的主要气候因素。虽然降水与生态系统质量的关系没有温度明显,但鄂尔多斯市属于干旱地区,降水对研究区内的生态系统质量影响也比较重要。

在人类活动强度较低的区域,生态系统质量主要受降水、温度等气候驱动力影响。而矿产资源开发、放牧等人类活动对生态系统有一定干扰作用,随着道路密度的增加,城市扩张对生态系统格局和质量造成一定压力。而退耕还林、退耕还湿、退耕还草等生态工程的实施,减轻了人类活动对鄂尔多斯市生态系统造成的负面影响,对鄂尔多斯市生态系统质量的改善有积极作用。禁牧,合理利用草地资源,对鄂尔多斯市草地生态系统质量的恢复有所帮助。因此,需要从气候、矿产资源开发、放牧、生态保护工程建设等多方面综合考虑对鄂尔多斯市生态系统格局和质量的影响。

### 3 结论与讨论

本文基于鄂尔多斯市生态系统类型、生物量、植被覆盖遥感数据、社会经济数据,分析了 2000—2010 年鄂尔多斯市生态系统格局与质量状况,量化评价了气候变化和人类活动对鄂尔多斯市生态系统格局与质量演变的影响。

研究结果表明:(1)2000—2010 年,鄂尔多斯市城镇、灌丛、森林面积有所增加,草地、湿地、农田、荒漠裸地面积有所下降。其中,城镇面积增幅最大,草地面积降幅最大。生态系统变化主要集中在鄂尔多斯市中部、

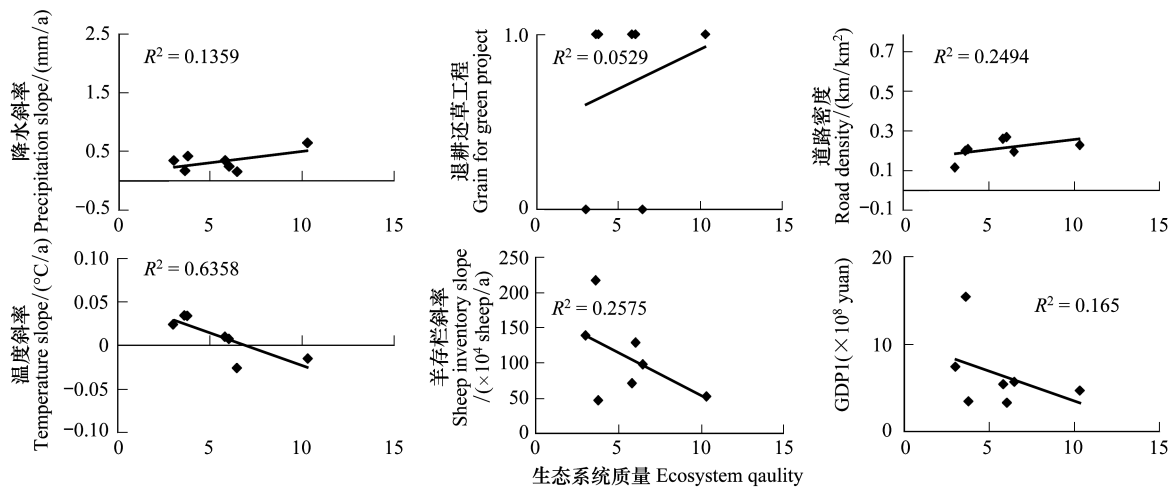


图5 鄂尔多斯市2000—2010年生态系统质量变化驱动力分析

Fig.5 Relation between ecosystem quality and driving factors from 2000 to 2010 in Ordos

东北部地区,大部分区域的生态系统变化率较低,而城镇生态系统中的工业与交通用地、灌丛生态系统中的落叶阔叶灌木林变化率较高。

(2)鄂尔多斯市生态系统质量总体略有改善,东部、中部、南部大地区生态系统质量有所提高,仅有小部分地区生态系统质量有所降低。其中,优、中等级增加了 251.76 km<sup>2</sup>,良等级减少了 14.06 km<sup>2</sup>,低等级面积增加了 13262.88 km<sup>2</sup>。

(3)鄂尔多斯市生态系统格局变化的主要驱动力有城市扩张、农田开垦、退耕还林、草、湿、生态恢复、矿山开采、生态退化等因素。鄂尔多斯市生态系统质量与降水、退耕还草工程、道路密度呈现明显的正相关,与温度、GDP、放牧呈现明显的负相关。生态系统质量与退耕还草工程实施区域内、外的相关性存在显著差异。

(4)鄂尔多斯市生态系统受到气候变化和人类活动的双重影响,退耕还林、草、湿、禁牧、轮牧等措施对鄂尔多斯市草地生态系统质量的恢复起到了积极作用,而城市发展、矿产开发对生态环境造成了较大压力。

为了更合理保护鄂尔多斯市生态环境并提高生态系统质量,实现经济的可持续发展,本研究从以下三方面提出政策建议与保护对策:

(1)从区域尺度而言,可以根据鄂尔多斯市目前的生态系统格局和质量变化情况,对鄂尔多斯市生态脆弱敏感区(包括:达拉特旗西南部,杭锦旗中部、南部,鄂托克旗西北部、鄂托克前旗西北部区域的草地生态系统)进行生态恢复与重建,在实现地区可持续发展的同时,改善当地生态环境。

(2)从产业发展而言,畜牧业的禁牧措施、放牧区域限制仍需进行。对草地退化极严重,生态系统质量较差的区域(包括:达拉特旗西南部,杭锦旗中部、南部,鄂托克旗西北部、鄂托克前旗西北部区域的草地生态系统)禁止放牧;对于草地退化有所减缓,生态系统质量为中等水平以上的区域可以适当放牧(包括:准格尔旗东南部,乌审旗中部、东南部,鄂托克前旗东南部区域的草地生态系统)。农业发展、沙产业、矿产业仍需控制,让生态环境恢复的同时进行合理适度经济发展,达到经济发展和生态保护的平衡。

(3)从政策实施而言,退耕还林、草、湿、生态恢复等生态保护工程仍需进行,结合鄂尔多斯市自然地理环境和气候条件特点,对于局部生态问题突出的典型地区,濒危动物栖息地等生态敏感脆弱区域仍需重点加强生态保护和恢复工程建设,有利于鄂尔多斯市生态环境的恢复及生态质量的优化。具体包括:对矿山开采严重的区域,进行生态恢复工程;对于生态退化严重,生态系统质量极差的生态敏感区进行退耕还林、草、湿。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Song W, Han Z, Deng X Z. Changes in productivity, efficiency and technology of China's crop production under rural restructuring. Journal of

- Rural Studies, 2016, 47: 563-576.
- [ 2 ] Plakidas K, Schall D, Zdun U. Evolution of the R software ecosystem; Metrics, relationships, and their impact on qualities. *Journal of Systems and Software*, 2017, 132: 119-146.
- [ 3 ] Finlayson C M. Millennium ecosystem assessment//Finlayson C M, Everard M, Irvine K, McInnes R J, Middleton B A, van Dam A A, Davidson N C, eds. *The Wetland Book*. Dordrecht: Springer, 2016: 1-5.
- [ 4 ] 胡云锋, 艳燕, 于国茂, 刘越, 阿拉腾图雅. 1975—2009 年锡林郭勒盟生态系统宏观格局及其动态变化. *地理科学*, 2012, 32(9): 1125-1130.
- [ 5 ] 徐新良, 刘纪远, 邵全琴, 樊江文. 30 年来青海三江源生态系统格局和空间结构动态变化. *地理研究*, 2008, 27(4): 829-839.
- [ 6 ] Malek Ž, Verburg P H, Geijzendorffer I R, Bondeau A, Cramer W. Global change effects on land management in the Mediterranean region. *Global Environmental Change*, 2018, 50: 238-254.
- [ 7 ] Xie H L, Wang W, Zhang X M. Evolutionary game and simulation of management strategies of fallow cultivated land: a case study in Hunan province, China. *Land Use Policy*, 2018, 71: 86-97.
- [ 8 ] Wang J, He T, Lin Y F. Changes in ecological, agricultural, and urban land space in 1984-2012 in China: Land policies and regional social-economical drivers. *Habitat International*, 2018, 71: 1-13.
- [ 9 ] Gao J, Li F, Gao H, Zhou C B, Zhang X L. The impact of land-use change on water-related ecosystem services: a study of the Guishui River Basin, Beijing, China. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 163(S1): S148-S155.
- [ 10 ] Schirpke U, Kohler M, Leitinger G, Fontana V, Tasser E, Tappeiner U. Future impacts of changing land-use and climate on ecosystem services of mountain grassland and their resilience. *Ecosystem Services*, 2017, 26: 79-94.
- [ 11 ] 肖洋, 欧阳志云, 王莉雁, 饶恩明, 江凌, 张路. 内蒙古生态系统质量空间特征及其驱动力. *生态学报*, 2016, 36(19): 6019-6030.
- [ 12 ] Siteur K, Siero E, Eppinga M B, Rademacher J D M, Doelman A, Rietkerk M. Beyond turing: the response of patterned ecosystems to environmental change. *Ecological Complexity*, 2014, 20: 81-96.
- [ 13 ] Jiang C, Zhang L B. Ecosystem change assessment in the Three-river Headwater Region, China: patterns, causes, and implications. *Ecological Engineering*, 2016, 93: 24-36.
- [ 14 ] Zölch T, Wamsler C, Pauleit S. Integrating the ecosystem-based approach into municipal climate adaptation strategies: the case of Germany. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 170: 966-977.
- [ 15 ] 安树伟. “鄂尔多斯经济现象”与我国西部开发. *青海民族研究: 社会科学版*, 2002, 13(3): 1-5.
- [ 16 ] 罗海江, 白海玲, 方修琦, 王文杰, 李增慧, 申文明, 熊文成, 张峰. 农牧交错带近十五年生态环境变化评价——以鄂尔多斯地区为例. *干旱区地理*, 2007, 30(4): 474-481.
- [ 17 ] 李增慧, 刘惠清. 基于遥感的鄂尔多斯农牧交错区生态环境变化研究. *农业与技术*, 2005, 25(5): 68-70.
- [ 18 ] 蒙古军, 赵春红, 刘明达. 基于土地利用变化的区域生态安全评价——以鄂尔多斯市为例. *自然资源学报*, 2011, 26(4): 578-590.
- [ 19 ] 战金艳, 邓祥征, 岳天祥, 包玉海, 赵涛, 马胜男. 内蒙古农牧交错带土地利用变化及其环境效应. *资源科学*, 2004, 26(5): 80-88.
- [ 20 ] 董宁, 韩兴国, 郭建国. 内蒙古鄂尔多斯市城市化时空格局变化及其驱动力. *应用生态学报*, 2012, 23(4): 1097-1103.
- [ 21 ] 崔桂凤. 基于 GIS 的鄂尔多斯市生态环境监测与评价[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2010.
- [ 22 ] 原凯旋, 朱元洪, 张晶晶, 王涛, 肖勇. 鄂尔多斯某区域石油开发生态环境变化分析. *油气田环境保护*, 2013, 23(2): 52-54.
- [ 23 ] 鲁丽波. 鄂尔多斯市土地生态状况调查与评估分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2013.
- [ 24 ] 张鹏飞, 潮洛濛. 资源型城市城镇化水平格局及驱动因素研究——以鄂尔多斯为例. *资源与环境*, 2016, 32(1): 31-36.
- [ 25 ] 刘祗坤. 鄂尔多斯能源开发区土地利用生态红线划定研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2015.
- [ 26 ] 宋乃平, 张凤荣. 鄂尔多斯农牧交错土地利用格局的演变与机理. *地理学报*, 2017, 62(12): 1299-1308.
- [ 27 ] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 周瑞莲. 北方农牧交错带的地理界定及其生态问题. *地球科学进展*, 2002, 17(5): 739-747.
- [ 28 ] 贾宝全, 王国柱, 慈龙骏. 景观格局分布特征的区域差异分析——以鄂尔多斯高原伊金霍洛旗为例. *干旱区研究*, 2003, 20(3): 168-174.
- [ 29 ] 王伟锋, 刘鹏, 郑玲, 周晓光, 姜帅. 鄂尔多斯盆地天然气储量和产量预测分析. *天然气地球科学*, 2014, 25(9): 1483-1490.
- [ 30 ] 乌云. 鄂尔多斯市羊绒产业发展及其对策研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2008.
- [ 31 ] 欧阳志云, 张路, 吴炳方, 李晓松, 徐卫华, 肖燧, 郑华. 基于遥感技术的全国生态系统分类体系. *生态学报*, 2015, 35(2): 219-226.
- [ 32 ] 肖燧, 中国科学院生态环境研究中心. 中国生态系统评估与生态安全数据库. (2014-11-19) [2017-11-27]. <http://www.ecosystem.csdb.cn/>.
- [ 33 ] 欧阳志云, 徐卫华, 肖燧. 中国生态系统格局、质量、服务与演变. 北京: 科学出版社, 2016.
- [ 34 ] Leprieux C, Verstraete M M, Pinty B. Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR data. *Remote Sensing Reviews*, 1994, 10(4): 265-284.
- [ 35 ] Qi J, Marsett R C, Moran M S, Goodrich D C, Heilman P, Kerr Y H, Dedieu G, Chehbouni A, Zhang X X. Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River basin area. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 105(1/3): 55-68.
- [ 36 ] Jiapaer G, Chen X, Bao A M. A comparison of methods for estimating fractional vegetation cover in arid regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2011, 151(12): 1698-1710.
- [ 37 ] 朴世龙, 方精云, 郭庆华. 利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力. *植物生态学报*, 2001, 25(5): 603-608.