

2008—2018 年土默特右旗景观格局变化及驱动力分析

钟安亚^{1,2}, 娄立峰³, 胡春明^{2*} (1. 华北理工大学矿业工程学院, 河北唐山 063210; 2. 中国科学院生态环境研究中心/城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 3. 中国贵州茅台酒厂(集团)有限责任公司, 贵州遵义 564500)

摘要 以内蒙古自治区土默特右旗为研究对象, 选取研究区 2008、2014、2018 年 Landsat 遥感影像为数据源, 采用 ENVI 5.3、ArcGIS 10.4、Fragstats 4.2 软件对 2008—2018 年土默特右旗进行土地利用类型的分类和景观格局指数的计算, 并进行驱动力分析。结果表明, 2008—2018 年土默特右旗总体表现为建设用地和林地土地面积有所增加, 分别增加了 182.10、31.49 km², 耕地、草地和未利用地面积分别减少了 26.04、30.79、160.32 km², 水域面积基本保持不变。各土地类型间的优势差异在缩小, 研究区景观具有较高均匀性, 但各点类型与形状较为复杂, 景观多样性相应增加。土默特右旗土地利用景观格局演进受自然、社会经济、政策三方面因素综合作用, 其中以政策因素为主要导向。

关键词 景观格局; 遥感; 驱动力; 土地利用; 土默特右旗

中图分类号 P 901 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)08-0063-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.08.015



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis of Landscape Pattern Changes and Driving Forces of Tumut Right Banner from 2008 to 2018
ZHONG An-ya^{1,2}, LOU Li-feng³, HU Chun-ming² (1. School of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei 063210; 2. National Key Laboratory for Urban and Regional Ecology, Ecological Environment Research Center of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085; 3. Guizhou Maotai Group Limited Liability Company, Zunyi, Guizhou 564500)

Abstract Taking Tumut Right Banner of Inner Mongolia Autonomous Region as the research object, the remote sensing images of Landsat in 2008, 2014 and 2018 in the study area were selected as the data source, and the classification of land use types and landscape pattern index of Tumut Right Banner from 2008 to 2018 were calculated by ENVI 5.3, ArcGIS 10.4 and Fragstats 4.2 software, and the driving force analysis was carried out. The results showed that from 2008 to 2018, the land area of construction land and forest land had increased, increasing by 182.10 and 31.49 km², respectively, and the area of cultivated land, grassland and unused land had decreased by 26.04, 30.79 and 160.32 km², respectively, and the area of water area had remained basically unchanged. The advantages between the land types were narrowing, and the landscape in the study area had higher uniformity, but the types and shapes of each point were more complex, and the diversity of landscapes increased accordingly. The evolution of the land use landscape pattern of Tumut Right Banner was affected by the comprehensive role of natural, socio-economic and policy factors, of which policy factors were the main guide.

Key words Landscape pattern; Remote sensing; Driving force; Land use; Tumut Right Banner

伴随城乡一体化发展, 人口从农村向城市流动, 城市逐渐成为人类主要集合地。逐渐呈现人口、住房、环境、经济等要素构成的复合型城市, 城市景观格局随城市化进程而产生变化, 土地利用类型和面积因地区而异^[1], 在空间规划和预测中并不总是能有效地进行尺度分析和适应性调整, 实现土地利用的动态变化。

近年来, 随着高新技术产业的发展, 土地利用规模及方式呈现多元化, 而结合景观模型分析已成为区域尺度格局研究最有效的方法^[2]。邓清等^[3]基于 2009—2015 年勐海县景观格局与自然因素、人为扰动因素之间内在联系研究, 认为人口及社会经济因子是影响当地景观格局变化的主要驱动因素, 而自然因素则影响不大。钱佳洋等^[4]通过对位于黄土丘陵区的永寿县 1998—2018 年土地利用格局研究, 得出社会经济和政策为景观格局变化的主导因素, 而气温、降水量等自然因素对当地景观格局演变也有一定影响。总体来说, 社会经济、政策与景观格局变化耦合度较高, 自然因素根据研究区的选择, 对景观格局或多或少有一定的影响。笔者以土默特右旗为研究区, 采用 ENVI 5.3、ArcGIS 10.4 和 Fragstats

4.2 软件对土默特右旗 2008—2018 年进行土地利用的分类及景观格局指数的计算^[5], 以期为促进土默特右旗的社会稳定与和谐发展提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 土默特右旗是内蒙古自治区包头市下属旗县, 位于内蒙古自治区中南部(图 1), 地理位置为 110°14′~111°07′E、40°14′~40°51′N, 总面积 2 368 km²。研究区位处大陆内部北纬中温带, 是一种典型大陆干旱季风气候, 年平均气温可达 7.5 ℃, 季节分明, 光照条件良好, 雨量较少但集中。

1.2 数据来源 选用的数据资料包括包头市统计年鉴、Landsat TM 与 Landsat OLI 遥感影像数据(均从美国 USGS 网站获取)。为便于土地解译分类, 遥感影像选取夏季 6—8 月(表 1)。

1.3 遥感数据处理 此次影像数据处理所用的软件包括遥感影像处理软件 ENVI 5.3 版本、ArcGIS 10.4 版本以及景观格局分析软件 Fragstats 4.2 版本。利用 ENVI 软件中几何校正、辐射定标、大气校正、波段选择与组合、图像融合、图像裁剪等操作^[6-9]。

根据《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)将土默特右旗土地利用类型分为 6 类: 水域、建设用地、林地、未利用地、耕地、草地。对 2008、2014、2018 年土默特右旗遥感影像分别进行分类结果精度评价, 通过 GPS 野外人工取点验

基金项目 中国科学院国际合作局项目。
作者简介 钟安亚(1997—), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 研究方向: 生态恢复与环境评价。* 通信作者, 高级工程师, 博士, 从事湿地生态系统保护及水生生态修复技术研究。
收稿日期 2022-06-22

证,对分类结果进行精度检验,采用 Kappa 系数^[10](用于一致性检验,也可以用于衡量分类精度)进行分类检验,Kappa 系数均大于 0.85,满足土地利用研究需要。

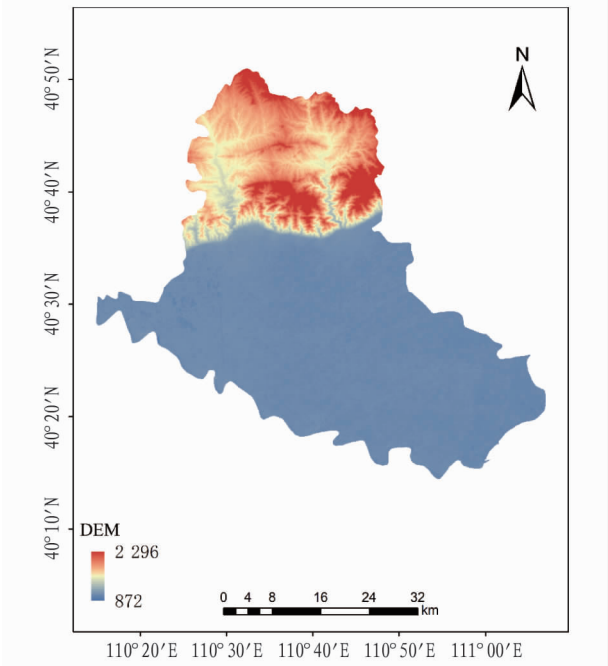


图 1 研究区地理位置

Fig.1 Geographical location of the study area

表 1 遥感数据资料

Table 1 Remote sensing data

影像 传感器 Image sensor	行列号 Row number	成像时间 Imaging time	成像质量 Imaging quality
TM	142/30	2008 年 7 月 29 日 04:00	云覆盖度 4%、质量较好
OLI	142/30	2014 年 7 月 30 日 18:00	云覆盖度 0、质量好
OLI	142/30	2018 年 6 月 23 日 17:00	云覆盖度 3%、质量较好

1.4 研究方法

1.4.1 马尔代夫转移矩阵。运用 ArcGIS 软件的叠加分析模块,将 3 景遥感影像的土地利用类型数据进行叠加计算,求出研究区 6 类土地利用类型在空间上互相转化数据,最后构建土地利用类型转移矩阵^[11]。数学表达式如下:

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1j} \\ \vdots & & \vdots \\ Y_{i1} & \cdots & Y_{ij} \end{bmatrix} \quad (i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, n)$$

式中, Y_{ij} 表示土地类型*i*转化成土地类型*j*的转移面积。

1.4.2 景观指数选取。景观指数主要综合有关景观模式的信息,按不同景观的空间顺序排列,作为异质性和景观的有形表现,包括不同水平运行的生态过程扰动。根据该研究目的与研究区实际景观情况,选择 7 个景观格局指数进行分析^[12-13],景观水平尺度选取最大斑块指数(LPI)、香农均匀度指数(SHEI)和蔓延度指数(CONTAG);景观类型尺度选取斑块密度(PD)、边缘密度(ED)、景观形状指数(LSI)、斑块类型面积比重(PLAND),选取景观指数具体解释及意义见文献^[14-18]及表 2。

表 2 景观指数选取

Table 2 Landscape index selection

景观指数 Landscape index	公式 Formula	生态意义 Ecological significance
PD	$PD = \frac{n_i}{A}$	描述边界密度的指数
ED	$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A}$	表示景观异质性及破碎度指数
PLAND	$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} \times 100\%$	景观中该类型区域特异性面积比重
LPI	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} \times 100\%$	表示景观总面积最大景观纵横比,为衡量优势水平指标
CONTAG	$CONTAG = \left[1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{R_i P_{ij} \ln(P_{ij})}{2 \ln(N)} \right] \times 100\%$	表示景观斑块聚合程度及趋势
LSI	$LSI = \frac{E}{\min E}$	表示一种对斑块聚散程度的度量
SHEI	$SHEI = \frac{-\sum_{i=1}^n (p_i \ln p_i)}{\ln m}$	反映不同类型区域景观中点面积的权重与其最大值之间比值关系

2 结果与分析

2.1 土地利用类型动态分析 从 2008—2018 年土默特右旗土地利用分类(图 2)可以看出,耕地一直为土默特右旗主要土地利用类型,其次为未利用地、建设用地、林地,水域、草地则占比极少。土默特右旗北部为大青山生态保护区,南部为开阔平坦的土默川平原,土地多为盐碱地。

从土默特右旗各类土地景观面积变化(表 3)可以看出,2008—2018 年总体趋势表现为耕地、草地与未利用地面积减少,分别减少了 26.04、30.79 和 160.32 km²;林地与建设用地面积有所增加,分别增加了 31.49 和 182.10 km²;这一时期主要是退耕还林政策的大力倡导以及城市化发展的影响,水域面积基本无大幅度变化。2008—2014 年,草地、未利用地面积有所减少,分别减少 43.10 和 201.52 km²;耕地和建设用地面积有所增加,分别增加 101.59 和 112.48 km²;林地和水域的变化程度较小,几乎未发生变化。2014—2018 年,耕地面积减少 127.63 km²,林地、草地、建设用地、未利用地面积有所增加,分别增加 11.60、12.31、69.62、41.20 km²。

2.2 土地转移矩阵分析 从土默特右旗各土地利用类型转移面积矩阵(表 4~5)可以看出,2008—2014 年土地利用类型主要是耕地转化为林地、建设用地转化为未利用地、未利用地主要转化为耕地,转化面积分别是 147.39、128.64、70.91 km²,其余土地利用类型转化较少;就转移面积而言,转出面积贡献最高的是耕地,达 212.73 km²,转入面积最高为未利用地,达到 189.38 km²,表明这一时期人为扰动对环境影响较大。2014—2018 年土地利用类型主要是未利用地与耕地、建设用地之间的转化,其中,有 155.01 km² 未利用地转化为耕地,73.89 km² 未利用地转化为建设用地,70.81 km² 耕地转化为未利用地,67.07 km² 建设用地转化为未利用地;就转移面积而言,耕地的转入面积最高,为 220.49 km²,而转出面积最高的是未利用地,达 268.65 km²,表明这一时期人们对土地

需求较高,其余土地利用类型转化程度不明显。

就转移程度而言,2008—2014 年各土地利用类型转移面积总计 1 113.38 km²;2014—2018 年各土地利用类型转移面积总计 1 073.68 km²。总体来看,各土地利用类型转移强度呈下降趋势,土地利用类型排布渐趋稳定。

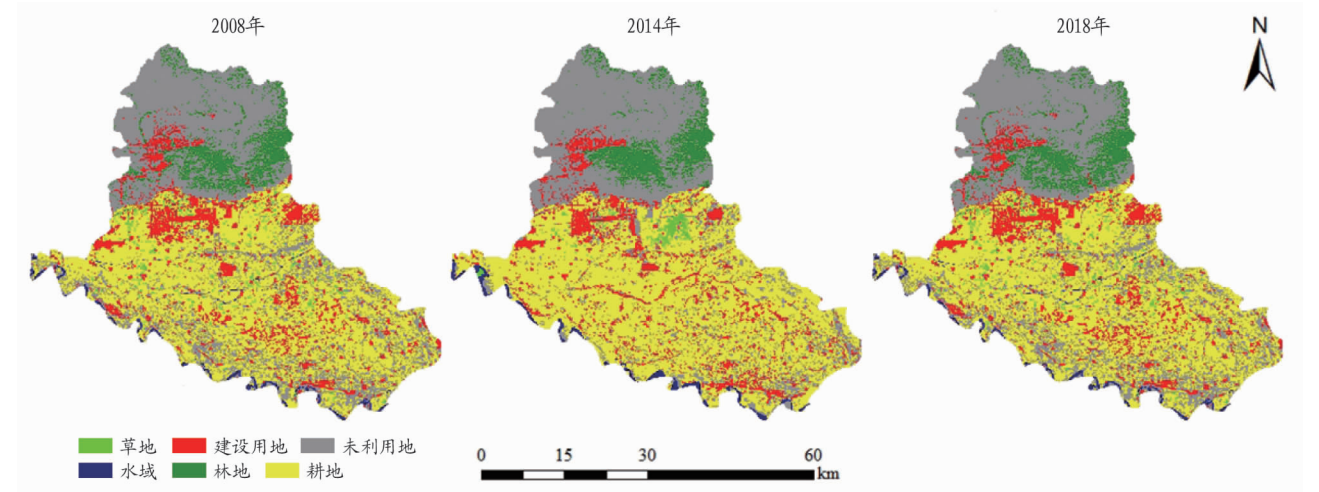


图 2 2008—2018 年土默特右旗土地利用分类

Fig.2 Land use classification of Tumet Right Banner from 2008 to 2018

表 3 2008—2020 年土默特右旗各类土地景观面积变化

Table 3 Changes in landscape area of various types of land in Tumet Right Banner from 2008 to 2020

单位:km²

土地利用类型 Land use type	2008 年	2014 年	2018 年	2008—2014 年	2014—2018 年	2008—2018 年
耕地 Cultivated land	1 059.44	1 161.03	1 033.40	101.59	-127.63	-26.04
林地 Forest	106.80	126.69	138.29	19.89	11.60	31.49
草地 Grassland	60.86	17.76	30.07	-43.10	12.31	-30.79
建设用地 Construction land	123.37	235.85	305.47	112.48	69.62	182.10
水域 Water area	18.94	29.60	22.50	10.66	-7.10	3.56
未利用地 Unused land	998.59	797.07	838.27	-201.52	41.20	-160.32

表 4 2008—2014 年土默特右旗土地利用类型转移面积矩阵

Table 4 Land type transfer area matrix of Tumet Right Banner from 2008 to 2014

单位:km²

土地利用类型 Land use type	耕地 Cultivated land	草地 Grassland	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land	水域 Water area	林地 Forest	转出 Rolloff
耕地 Cultivated land	940.99	0.22	45.89	16.02	3.21	147.39	212.73
草地 Grassland	6.74	8.64	0.07	1.76	0.05	0	8.62
建设用地 Construction land	27.45	2.07	73.40	128.64	2.26	0.89	161.31
未利用地 Unused land	70.91	3.60	29.00	670.81	2.53	14.59	120.63
水域 Water area	5.31	0	4.05	9.40	10.62	0	18.76
林地 Forest	0.74	0.26	0.08	33.56	0	90.40	34.64
转入 Shift to	111.15	6.15	79.09	189.38	8.05	162.87	556.69

2.3 景观格局变化分析

2.3.1 景观类型尺度指数分析。从表 6 可看出,未利用地斑块密度 (PD) 最高,受人为扰动最大,从 2008 年的 3.46 个/hm² 上升至 2018 年的 6.98 个/hm²;边缘密度(ED)与景观形状指数(LSI)呈现逐年增加的趋势,说明景观异质性增强,这一时期,政府大力发展工业,并斥巨资实施基础设施建设工程,因此对未利用地进行大面积开发,以致景观破碎度增加。

建设用地边缘密度(ED)呈现先增加后减小的趋势。经资料查阅,2008—2014 年人为活动较为频繁,致使草地与建设用地边界复杂,因此数值较高。建设用地景观形状指数(LSI)总体呈上升趋势,说明斑块形状趋向复杂,离散度

增加。

耕地和林地边缘密度(ED)呈逐年递增趋势,表现为景观异质性增强,可认为受外界环境干扰较低。耕地景观形状指数(LSI)呈现先上升后下降的趋势,政府在这一时期对农牧业开始施行集约化、规模化管理,在 2014 年后农业用地趋于平稳。

草地边缘密度(ED)呈现先减小后增加的趋势,草地景观形状指数(LSI)总体为下降趋势,表明这种地型斑块受人为干扰,以致斑块形状简单。水域各指标基本变化不大。

2.3.2 景观水平尺度指数分析。从表 7 可以看出,2008—2018 年香农均匀度指数(SHEI)呈上升趋势,表明在研究区域中斑块类型数量增加,面积比重趋于平衡,各类斑块在景

观中分布表现为愈来愈均匀、多样化。就研究区蔓延度指数 (CONTAG) 而言,从 2008 年的 59.92% 减少至 2018 年的 57.98%,说明研究区各土地类型斑块的连通性逐渐减小,斑

块破碎化程度增加,斑块数量逐步增多,优势景观类型被其他土地类型分割。

表 5 2014—2018 年土默特右旗土地利用类型转移面积矩阵

Table 5 Land type transfer area matrix of Tumet Right Banner from 2014 to 2018

单位:km²

土地利用类型 Land use type	耕地 Cultivated land	草地 Grassland	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land	水域 Water area	林地 Forest	转出 Rolloff
耕地 Cultivated land	934.14	0.22	15.15	70.81	2.88	1.40	90.46
草地 Grassland	19.44	1.07	0.49	1.43	0.05	0.02	21.43
建设用地 Construction land	43.07	0.23	142.29	67.07	0.14	0.14	110.65
未利用地 Unused land	155.01	0.77	73.89	611.84	10.49	28.49	268.65
水域 Water area	2.97	0.02	2.22	1.62	15.26	0	6.83
林地 Forest	0	0	0.05	38.77	0	94.94	38.82
转入 Shift to	220.49	1.24	91.80	179.70	13.56	30.05	536.84

表 6 2008—2018 年土默特右旗景观类型尺度指数

Table 6 Landscape type scale index of Tumet Right Banner from 2008 to 2018

年份 Year	土地利用类型 Land use type	边缘密度 ED m/hm ²	斑块密度 PD 个/hm ²	景观形状 指数 LSI	斑块类型面积 比重 PLAND// %
2008	耕地	39.31	0.97	38.19	44.75
	草地	4.98	0.42	0.60	2.57
	建设用地	13.77	1.86	1.52	5.21
	未利用地	46.84	3.46	21.41	42.17
	水域	1.62	0.11	0.08	0.79
2014	林地	7.11	0.58	1.47	4.51
	耕地	42.26	1.56	43.24	49.10
	草地	3.35	0.24	0.12	0.72
	建设用地	26.68	3.72	1.35	9.96
	未利用地	56.15	5.94	22.18	33.66
2018	水域	1.67	0.04	0.21	1.25
	林地	11.02	1.57	1.12	5.31
	耕地	52.17	1.97	17.28	44.19
	草地	6.15	1.93	0.02	0.94
	建设用地	25.19	3.66	2.28	10.78
	未利用地	64.50	6.98	25.25	37.44
	水域	1.65	0.24	0.07	0.95
	林地	13.51	1.66	1.70	5.69

2.4 驱动力分析

2.4.1 自然因素。土默特右旗土地利用类型变化自然因素中主要受气候、雨水的影响。该旗地理位置为大陆内部北纬中温带,是一种典型的大陆干旱季风气候,季节分明,光照条件良好,雨量较少但集中。该研究通过查阅包头市统计年鉴以及中国气象数据共享网数据,结果发现(图 3),2008—2018 年年均气温与降雨量总体呈波动上升趋势,这 10 年间平均气温为 8.0℃,平均降雨量为 353.2 mm。该地区地面水主要依靠大气降雨进行补给,降雨量增减幅度直接影响了河流径流量,耕地与水域类型受其影响范围较大,作为农业大县,水资源重要性不言而喻,为土默特右旗景观变化的重要自然因素。

2.4.2 社会经济因素。第一,人口数量呈上升趋势,包头市统计年鉴表明,土默特右旗 2008 年的人口数量为 30.69 万,2014 年则上升至 28.65 万,2018 年人口数量达到了 36.29 万,即这 10 年中人口增长了 5.60 万。并且非农人口比重逐年攀升,人口的增加势必占用更多的土地资源。随着该旗的经济

与城镇化发展,愈来愈多的未利用地被开发成各类用地。

表 7 2008—2018 年土默特右旗景观水平尺度指数

Table 7 Landscape horizontal scale index of Tumut Right Banner landscape from 2008 to 2018

年份 Year	香农均匀度指数 SHEI	蔓延度指数 CONTAG// %	最大斑块 指数 LPI// %
2008	0.64	59.92	70.78
2014	0.66	58.18	76.86
2018	0.68	57.98	80.83

第二,产业结构调整与转型,统计年鉴数据表明(图 4),土默特右旗 2008—2018 年的总体经济走势为上升趋势,国内生产总值(GDP)由 2008 年的 101.92 亿元增长至 2018 年的 181.02 亿元,第一、第二、第三产业生产总值分别得到不同程度提高,其中 2014 年 GDP 达到峰值。相关资料表明,第二产业中采矿业占比较大,2008—2014 年神华集装站完成全封闭工程,山路换装站、嘉华集装站完成全封闭基础施工,为该旗 GDP 作出突出贡献。2014—2018 年 GDP 呈下降趋势,主要是煤矿事故、停产等原因。土默特右旗属于资源型城市,采矿等相关行业的萎靡一定程度对该地经济造成了影响。

2014 年作为一个突变点,其 GDP 大幅度波动与景观格局类型联系密切。这一时期耕地、建设用地面积增加,未利用地与草地面积减少。表明土默特右旗在大力挖掘土地潜力,同时侧重对第二产业的投入力度,尤其在采矿业,这也造成后续一系列采矿污染安全问题。2014 年以后通过各级政府调控,产业趋向多元化,第一、第二、第三产业生产总值比例趋于均衡。

2.4.3 政策因素。自 2012 年 11 月,党的十八大提出“生态文明建设”决策。为响应国家政策号召,该旗政府将“生态旗”纳入《土默特右旗国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》,后续又颁布了《土默特右旗生态旗建设规划》,该文件提出在“十一五”时期到 2015 年要在发展经济的同时,注重生态环境保护与可持续发展。通过遥感解译可看出,2008—2014 年建设用地增幅较高,未利用地减少较快,受人为扰动较大。2009 年开始,土默特右旗政府从行政、经济、政治等方面坚持开展“生态旗”建设,并取得一定成绩。近些年

旗政府开展了“清四乱、保母亲河”公益专项行动,颁布了《关于对河湖“四乱”问题实行“一问题两单制”的通知》等有关举措,保护境内河流。此外,当地政府近年来对北山煤矿坑的管理采取了一系列政策,按照有关规定有序地拆除矿区洗

煤设施,投入 1.5 亿元,对总面积 22.8 km² 的后山矿区进行生态恢复和环境治理,林地面积逐年增加。总体来说,在土默特右旗相关政府部门与人民的通力合作下,土默特右旗生态环境得到极大改善。

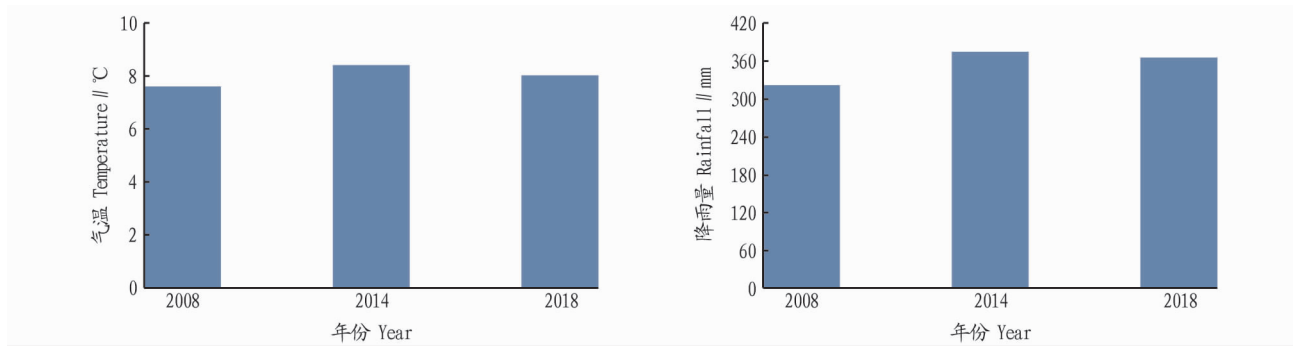


图 3 土默特右旗年均气温、降雨量变化
Fig.3 Changes of annual average temperature and rainfall in Tumet Right Banner

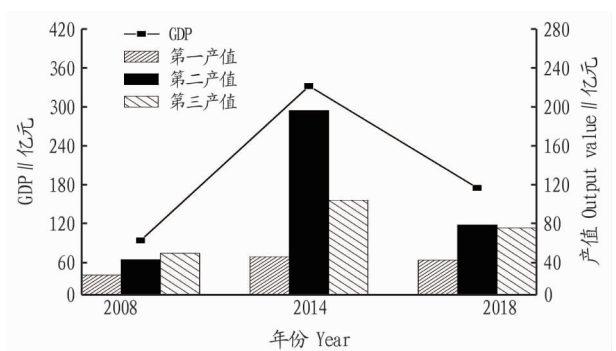


图 4 土默特右旗 GDP、各产业产值变化
Fig.4 Changes of GDP and industrial output value of Tumet Right Banner

3 结论与讨论

以景观生态学原理为基础,对土默特右旗 2008、2014、2018 年 3 期遥感影像进行土地利用分类及景观格局分析,并讨论驱动力因素,结果如下:

(1) 土默特右旗土地利用类型以耕地、未利用地、建设用地及林地为主,其他地类占比极低。2008—2018 年耕地面积呈现先增加后减少趋势,未利用地面积总体呈减少趋势,建设用地面积呈持续增长态势,林地面积逐年增加;草地及水域面积呈波动平稳趋势,基本没有变化。

(2) 土默特右旗土地扰动及转移程度以建设用地、未利用地、耕地为主要类型。就土地利用类型转移矩阵而言,2008—2014 年土地利用类型主要为耕地转化为林地、建设用地转化为未利用地、未利用地转化为耕地,转化面积分别是 147.39、128.64、70.91 km²,其余土地利用类型转化较少;就转移面积而言,2008—2014 年转出面积贡献最高的是耕地,达 212.73 km²,转入面积最高为未利用地,达到 189.38 km²,表明这一时期人为扰动对环境影响较大。2014—2018 年土地利用类型主要是未利用地、耕地及建设用地之间的转化。其中,155.01 km² 未利用地转化为耕地,73.89 km² 未利用地转化为建设用地,70.81 km² 耕地转化为未利用地,67.07 km² 建设用地转化为未利用地。

(3) 土默特右旗地类斑块的景观指数总体表现出均匀化、破碎化趋势。香农均匀度指数 (SHEI) 和最大斑块指数 (LPI) 持续上升,蔓延度指数 (CONTAG) 持续下降。其中未利用地斑块密度 (PD) 最高,受人为扰动最大;其余土地利用类型斑块密度各自呈现波动式增长。耕地、林地及未利用地边缘密度 (ED) 呈逐年递增趋势,表现为景观异质性增强。此外,耕地景观形状指数 (LSI) 总体呈下降趋势,表明此土地利用类型斑块受人为干扰,以致斑块形状简单。建设用地与未利用地景观形状指数总体呈上升趋势,说明斑块形状趋向复杂,离散度增加。

(4) 依据土默特右旗土地类型景观变化,从自然、社会经济及政策三方面归纳驱动因素。这三方面综合作用于土默特右旗土地景观格局演化。降雨量、气温等自然因素对研究区土地利用类型变化有一定影响,但相对较小;就社会经济而言,产业结构调整转型对土地利用方式有着直接影响;而政策因素对景观格局演变起较强的主导作用。未来政府应继续以生态文明建设为导向,坚持土地资源合理开发利用,强化土地管理,规范调整土地市场。强化土地利用法律法规,确保法律权威,监督惩戒土地破坏行为,完善公示制度与政府听政制度。

参考文献

[1] 李红波,黄悦,高艳丽.武汉城市圈生态网络时空演变及管控分析[J].生态学报,2021,41(22):9008-9019.
[2] 范田芳,阿如早,秦富仓,等.内蒙古武川县土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].内蒙古大学学报(自然科学版),2019,50(1):104-112.
[3] 邓清,欧朝蓉,邓志华,等.勐海县景观格局变化及驱动因素分析[J].西南林业大学学报(自然科学),2019,39(5):118-126.
[4] 钱佳洋,秦富仓,王迪海,等.1998—2018 年永寿县景观格局变化及驱动力分析[J].西北林学院学报,2020,35(6):279-286.
[5] 邓雪纯,张绿水,刘纯青.以南昌市中心城区为例分析城市绿地植被覆盖度及景观格局[J].北方园艺,2021(12):70-78.
[6] 张爽,杨春鹏,李蒙,等.松辽分水岭隆起带近 30 年景观格局变化及驱动力分析[J].江苏农业科学,2021,49(18):207-215.
[7] 张晓东,刘乃静,赵银鑫,等.银川市 2000—2020 年土地利用时空变化特征及预测[J].科学技术与工程,2021,21(24):10156-10164.

环境质量进行监测。该研究采用传统统计学方法研究了2016—2020年九里山矿矽石山和朱村矿矽石山周边土壤中

Cd元素空间分布特征,并进行了对比分析。

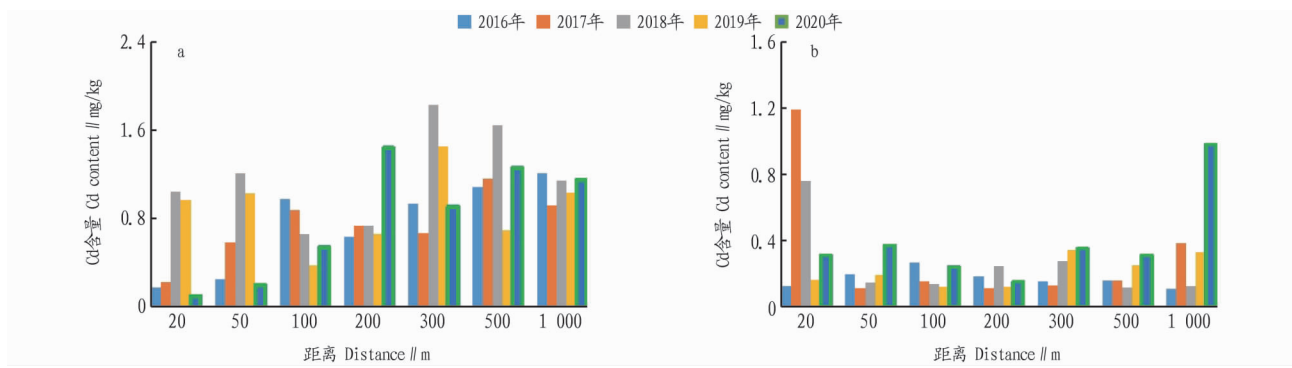


图3 九里山矿(a)和朱村矿(b)矽石山地下水流方向土壤剖面中Cd含量随距离变化

Fig.3 Change of Cd content in soil profiles along the direction of groundwater flow of the gangue hill of Jiulishan Coal Mine(a) and Zhucun Coal Mine(b) with distance

(1)研究区土壤偏碱性,均可检出Cd元素,表明煤矽石受淋溶、风化作用造成的重金属排放和迁移直接或间接污染了周边土壤的生态环境。矽石山周边土壤中Cd含量均超出当地背景值,煤矽石不断析出的Cd造成周边土壤Cd污染持续增大,部分监测点位土壤达到Cd轻度污染等级。采取一定生态修复措施后,土壤中Cd含量有明显的降低趋势。

(2)单考虑雨水淋溶作用,矽石山析出的重金属Cd对土壤的污染主要集中在浅层表面,即土壤中Cd含量随着埋深加大呈现出减小趋势。

(3)矽石山周边土壤剖面中Cd含量变化的影响因素较多,主要包括当地主风向、土地利用类型、化肥施用等,但是地下水流方向的影响相对微弱。

(4)不同的土地利用类型导致矽石山周边土壤中Cd含量变化趋势出现差异,鉴于Cd元素威胁人体健康,矽石山周边下风向和地下水流方向应减少农作物种植,应种植重金属耐性强的树木。

(5)矿山地质环境生态修复工程亟待开展,构筑隔离带、客土复绿、扶苗栽树等措施都能够有效地减弱矽石山对周边土壤的重金属污染。

参考文献

[1] 王心义,杨建,郭慧霞.矿区煤矽石堆放引起土壤重金属污染研究[J].

煤炭学报,2006,31(6):808-812.
[2] 张明亮,王海霞.煤矽石山周边土壤重金属污染特征与规律[J].水土保持学报,2007,21(4):189-192.
[3] 乔爱萍.煤矽石山周边土壤环境质量影响[J].山西科技,2020,35(3):66-68.
[4] 王高辉.矿区煤矽石山周围土壤重金属分布规律研究[J].能源环境保护,2008,22(2):11-14,18.
[5] 张妍,李发东,欧阳竹,等.黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估[J].环境科学,2013,34(1):121-128.
[6] 刘伟,邵允兵,周艳兵,等.农田土壤重金属空间变异多尺度分析:以北京顺义土壤Cd为例[J].农业环境科学学报,2019,38(1):87-94.
[7] 庞妍,同延安,梁连友,等.矿区农田土壤重金属分布特征与污染风险研究[J].农业机械学报,2014,45(11):165-171.
[8] 王爱雯,申娅,杨建波,等.秀山县农业区域土壤重金属分布特征及生态风险研究[J].安徽农业科学,2017,45(17):53-56.
[9] 邵丰收,周皓韵.河南省主要元素的土壤环境背景值[J].河南农业,1998(10):29.
[10] 李东艳,方元元,任玉芬,等.煤矽石堆周围土壤重金属污染特征分析:以焦作市中马村矿为例[J].煤田地质与勘探,2004,32(5):15-17.
[11] 管建慧,雒亚洲.长期施肥对土壤及玉米籽粒中Cd和As累积的影响[J].贵州农业科学,2015,43(12):95-99.
[12] 郑袁明,罗金发,陈同斌,等.北京市不同土地利用类型的土壤镉含量特征[J].地理研究,2005,24(4):542-548.
[13] 陈宇云,贾瑞,杨胜利,等.建筑垃圾中镉和砷的释放特征研究[J].环境科学与技术,2016,39(9):50-55,111.
[14] KHAN M A,KHAN S,KHAN A,et al.Soil contamination with cadmium, consequences and remediation using organic amendments[J].Science of the total environment,2017,601/602:1591-1605.
[15] 陈同斌,陈志军.水溶性有机质对土壤中镉吸附行为的影响[J].应用生态学报,2002,13(2):183-186.
[16] YUAN C L,LI Q,SUN Z Y,et al.Effects of natural organic matter on cadmium mobility in paddy soil:A review[J].Journal of environmental sciences,2021,104:204-215.

(上接第67页)

[8] 孙家柄.遥感原理与应用[M].3版.武汉:武汉大学出版社,2013.
[9] 邓书斌,陈秋锦,杜会建,等.ENVI 遥感图像处理方法[M].北京:高等教育出版社,2014.
[10] 辛雨琼,曹文侠,王世林,等.1988—2018年东祁连山农牧交错区景观格局变化及驱动因素[J].草业科学,2020,37(10):1941-1951.
[11] 马慧娟,高小红,谷晓天.随机森林方法支持的复杂地形区土地利用/土地覆被分类研究[J].地球信息科学学报,2019,21(3):359-371.
[12] 贾琦.土默特右旗土地利用变化及其驱动力研究[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2009,37(S1):101-102.
[13] 布仁仓,胡远满,常禹,等.景观指数之间的相关分析[J].生态学报,

2005,25(10):2764-2775.
[14] 李付杰,杨彩云,高艳妮,等.2010—2018年辽河保护区土地利用格局时空变化特征[J].环境工程技术学报,2020,10(6):1063-1071.
[15] 张建,雷刚,漆良华,等.2003—2018年土地利用变化对丹江口市景观格局与生态服务价值的影响[J].生态学报,2021,41(4):1280-1290.
[16] 薛嵩嵩,高凡,何兵,等.1989—2017年乌伦古河流域景观格局及驱动力分析[J].生态科学,2021,40(3):33-41.
[17] 梁庆璇,廖超明,滕永核,等.南宁市主城区土地利用景观格局变化及驱动力研究[J].江苏农业科学,2021,49(2):187-193.
[18] 马亚鑫,丛辉,周维博,等.西安市土地利用景观格局动态演变及驱动力分析[J].西北林学院学报,2017,32(4):186-192.