

1990~2020年赤峰市土地利用变化及景观生态风险评价

图雅^{1*}, 敖登高娃^{1,2#}

¹内蒙古师范大学地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特

²内蒙古土地利用与整治工程研究中心, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2023年12月29日; 录用日期: 2024年2月24日; 发布日期: 2024年2月29日

摘要

本文以内蒙古赤峰市为研究区域, 利用1990、2000、2010和2020年4期土地利用数据分析40年间土地利用的数量变化、空间变化及程度变化分析, 在此基础上进行研究区的景观生态风险评价。结果表明: (1) 草地、耕地和林地是研究区主要地类, 四个时期草地均占总面积40%以上, 耕地和林地的占比分别为22%和14%左右, 在研究时期草地转移最大, 其次为林地、耕地、未利用地、建设用地和水域。赤峰市各类土地利用重心迁移具有差异性, 赤峰市各辖旗县区土地利用程度变化量和变化率均大于0, 表明赤峰市整体上土地利用程度加深, 处于发展时期, 整体土地利用效率不断提高。(2) 景观生态评价方面: 赤峰市1990~2020年的生态风险指数平均值分别呈逐年上升趋势, 表明随着土地利用结构的变化, 研究区生态安全状况趋于恶化。从景观生态风险空间分异来看, 研究区生态风险等级主要以中风险区和较高风险区为主。赤峰市1990~2020年的景观生态风险空间分布变化并无差异。整体风险由中心向四周梯度递减, 呈“较高-中-较低”的空间分布格局。

关键词

土地利用变化, 景观生态风险评价, 赤峰市

Land Use Change and Landscape Ecological Risk Assessment in Chifeng City from 1990 to 2020

Ya Tu^{1*}, Gaowa Aodeng^{1,2#}

¹College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot Inner Mongolia

²Inner Mongolia Research Center of Land Use and Regulation Engineering, Hohhot Inner Mongolia

*第一作者。

#通讯作者。

Abstract

In this paper, using the land use data of Chifeng City in 1990, 2000, 2010 and 2020, this paper analyzes the changes of the quantity, space and degree of land use in Chifeng City in the last 40 years. On this basis, the landscape ecological risk assessment was carried out in the study area. The results showed that (1) the research area was mainly composed of grassland, cultivated land and forest land, which accounted for more than 40% of the total area in the four periods, and cultivated land and forest land accounted for about 22% and 14% respectively. In the study period, grassland was the largest transfer, followed by woodland, cultivated land, unused land, construction land and water area. There are differences in the transfer of various types of land use center of gravity in Chifeng City. The change quantity and change rate of land use degree of all counties under the jurisdiction of Chifeng City are greater than 0, which indicates that the land use degree of Chifeng City is deepened on the whole, it is in the development period, and the overall land use efficiency is constantly improving. (2) Landscape ecological evaluation: The average ecological risk index of Chifeng City from 1990 to 2020 respectively increased year by year. It is pointed out that with the change of land use structure, the ecological environment security in the study area will often deteriorate. According to the spatial difference of landscape ecological environment risk, the ecological environment risk level in the study area is mainly in the middle risk and high risk. There is no difference in the spatial distribution of landscape ecological risk in Chifeng City from 1990 to 2020. The overall risk gradient decreases from the center to the periphery, showing a "high-medium-low" spatial distribution pattern.

Keywords

Land Use Change, Landscape Ecological Risk Assessment, Chifeng City

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

生态环境风险是指生态系统及其组成部分受到外部干扰和威胁的风险, 通过评估生态环境风险, 可以了解外部干扰对生态系统功能的危害和危险程度[1]。景观生态风险评价是对景观格局和生态环境受到自然及人类活动干扰相互作用产生的不利影响的评价, 作为生态风险评价的重要分支, 强调风险的尺度效应与时空异质性[2]。土地利用变化是自然环境与人类活动相互作用的结果, 不同土地利用类型和强度所产生的生态影响具有区域性和累积性, 因此, 不同景观组分抵御外界干扰的能力也存在明显差异[3]。

关于土地利用变化研究国内外已有较为成熟的研究。上世纪 90 年代, 国际地圈生物圈计划和全球变化人文计划联合共同提出了土地利用变化的概念, 研究内容从最初的空间 - 时间发展变化解释扩大到模型模拟、驱动机制和环境效益研究[4] [5]。我国对土地利用变化的研究相对滞后, 但随着我国对生态环境的日益重视, 认识到人类活动对全球变化和地表的重大影响, 我国的土地利用研究正在逐步完善[6] [7]。风险评价可以追溯到上世纪 30 年代, 在研究之初, 主要进行了环境评价。随着科学技术的发展, 美国开始进行生态风险评价, 为该地区环境恢复领域的资源管理政策提供重要的科学依据。20 世纪 70 年代以来, 美国发现了景观生态学, 并逐渐成为景观生态学的主流, 使其从欧洲转变为一门全球性、国际公认

的学科。由于景观生态学的成长和发展, 研究者将生态评价与景观生态学相结合, 从景观格局的角度研究区域生态风险的变化, 创建景观格局模型是目前研究生态风险评价的重要方法。

随着赤峰市经济社会的发展, 综合发展的质量不断提高, 该地区 and 景观的利用发生了重大变化。耕地被占领, 城市面积和农村发展迅速扩大, 土地利用变化带来的生态环境风险继续上升, 区域环境平衡也受到破坏。城市和生态系统发展之间明显的矛盾凸显, 本文通过对赤峰市土地利用变化和景观生态环境风险评价的研究, 以及景观利用演变分析, 反映了生态环境风险的时空划分, 建立了基于景观的生态风险评价体系。

2. 研究区概况与数据来源

2.1. 研究区概况

赤峰市位于内蒙古自治区东南部, 地理坐标北纬(41°7'10"~45°24'15"), 东经(116°07'43"~120°58'52")。西、北与锡林郭勒盟临近, 东、东南与通辽市和朝阳市相连, 西南连通承德市(见图 1)。辖区东西宽 375 km, 南北长 457.5 km, 总面积 90275 km²。下设三区七旗两县, 赤峰市行政区内所含 21 个街道办事处, 132 个苏木、乡镇[8]。

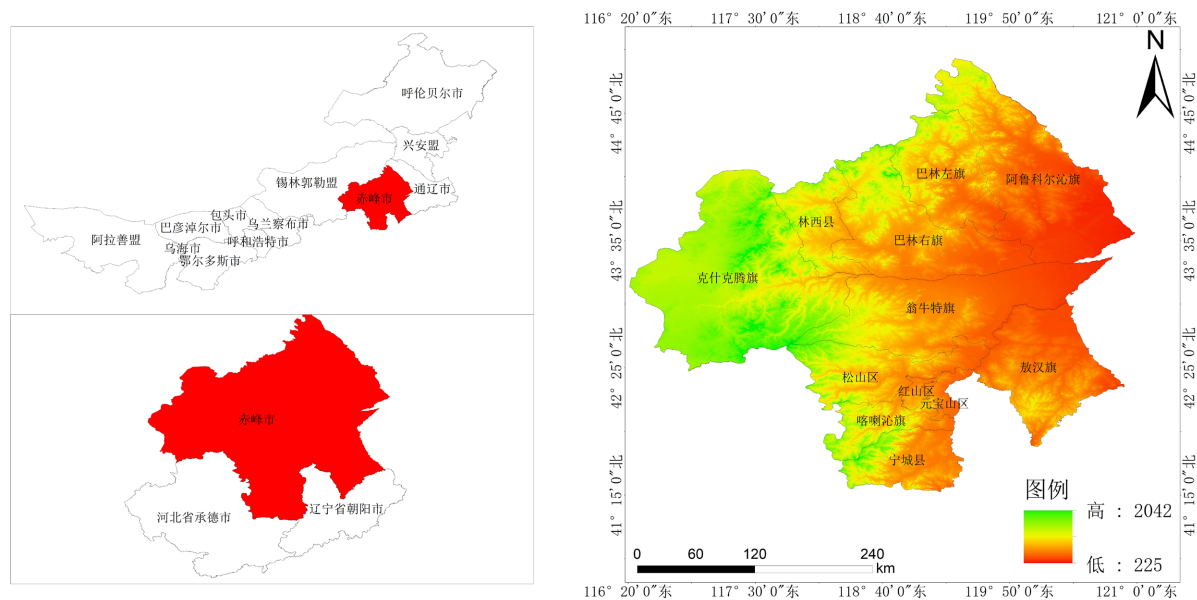


Figure 1. Administrative map of Chifeng City

图 1. 赤峰市行政图

2.2. 数据来源

通过阅读文献, 搜集相关资料, 本文所利用的土地利用数据来自中国科学院资源与环境科学数据中心, 分辨率为 30 米, 根据研究区实际和研究需要将土地利用类型归并为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 个一级地类。

3. 研究方法

3.1. 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵是一个指标, 表明土地利用的结构特征和数量方向的变化, 可以充分反映土地在

特定时期的变化方向[9] [10], 其表达式为:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix}$$

式中, n : 土地利用类型数, i : 研究时段内初期土地利用类型, j : 研究时段内末期土地利用类型, S_{ij} : 土地利用类型从 i 转变为 j 的转移面积。利用 1990~2020 年四期土地利用数据, 运用 ArcGIS 软件空间叠加功能, 获得研究区土地利用转移数据。

3.2. 重心迁移模型

土地利用重心迁移模型可从空间上阐述各土地类型的变化轨迹, 直观地反映土地利用变化的方向和速度[11], 重心坐标计算公式为:

$$X_i = \frac{\sum_{j=1}^n (C_{ij} \times X_{ij})}{\sum_{j=1}^n C_{ij}}$$

$$Y_i = \frac{\sum_{j=1}^n (C_{ij} \times Y_{ij})}{\sum_{j=1}^n C_{ij}}$$

式中, X_i 、 Y_i 分别为第 i 种地类重心经纬度, C_{ij} 为第 i 种地类中的第 j 个斑块面积, X_{ij} 、 Y_{ij} 分别为第 i 种地类中的第 j 个斑块的经纬度。利用 4 期土地利用数据和重心迁移模型[12], 可直观地反映研究区 40 年间土地利用变化方向和趋势。

3.3. 土地利用程度变化分析

土地利用程度变化模型可以根据城市土地利用程度进行量化分析[13] [14]。计算公式为:

$$\Delta L_{b-a} = L_b - L_a = \left[\sum_{i=1}^n A_i C_{ib} - \sum_{i=1}^n A_i C_{ia} \right] \times 100$$

式中: ΔL_{b-a} 为土地利用程度变化指数; L_a 和 L_b 时是分别 a 点和 b 时点的土地利用程度指数; A_i 为第 i 级土地利用程度分级指数; C_{ia} 和 C_{ib} 分别为 a 时点和 b 时点的第 i 级的土地利用程度面积比。若 $\Delta L_{b-a} > 0$, 则表明该区域土地利用处于发展时期, 反之, 则处于衰退或调整时期。

3.4. 划分景观生态风险单元

参照景观生态学观点和《地理格网国家标准 GB/T 12409》相关理论要求, 借鉴已有学者的研究, 根据研究区实际情况和各土地利用类型分布情况, 采用等间距系统抽样法将赤峰市土地利用数据划分为 $8 \text{ km} \times 8 \text{ km}$ 空间网格[15] [16], 共得到 1519 个风险单元。

3.5. 生态风险评价模型构建

本文参考相关研究并选取以下景观指数, 构建生态风险指数模型计算生态风险指数[15] [17] (见表 1)。通过计算景观干扰度指数、景观脆弱度指数和景观损失度指数来建立景观生态风险指数, 公式为:

$$ERI_k = \sum_{i=1}^n \frac{A_{ki} Z_i}{A_k}$$

ERI_k 为第 k 个风险单元的景观生态风险指数; n 为景观类型数量; A_{ki} 为第 k 个风险单元景观类型 i 的面积; A_k 为第 k 个风险单元的总面积; Z_i 为景观损失度指数[18]。

Table 1. Landscape pattern index construction model table

表 1. 景观格局指数构建模型表

名称	计算公式	指数含义
景观干扰度(E_i)	$E_i = aC_i + bF_i + cD_i$	某类土地景观抵御外面的干扰能力和自我恢复能力可以被称为景观干扰度指数。 a 、 b 、 c 分别为破碎度、分离度、优势度的权重。
景观破碎度(C_i)	$C_i = \frac{N_i}{A_i}$	表示自然分割及人为切割的景观破碎化程度, 值越大, 表明景观单元内部稳定性越低, 破碎程度越高。式中, N_i 为景观类型斑块数量; A_i 为景观类型斑块面积。
景观分离度(F_i)	$F_i = \frac{\sqrt{S_i}}{2P_i}$, $S_i = N_i/A_i$, $P_i = A_i/A$	代表景观类型中不同斑块个体在空间上的离散程度, 其值越大, 表明景观分布越分散、越复杂, 生态稳定性越低。式中, P_i 为景观类型相对盖度; S_i 为景观类型距离指数。
景观优势度(D_i)	$D_i = dL_i + eP_i$, $L_i = N_i/N$	代表某种景观类型在样区内的重要程度, 值越大, 表明其对景观格局形成和格局稳定性的作用越大。 L_i 为景观类型相对密度, d 、 e 分别为 L_i 和 P_i 的权重。
景观脆弱度(Q_i)	归一化处理	代表不同景观类型受到外界干扰的敏感性, 与景观生态风险指数呈正相关。结合相关研究成果, 并根据研究区特点, 分别对六类景观类型赋值, 将未利用地赋为 6, 水域赋为 5, 耕地赋为 4, 草地赋为 3, 林地赋为 2, 建设用地赋为 1, 并进行归一化处理。
景观损失度(R_i)	$R_i = \sqrt{E_i + Q_i}$	代表不同景观类型受到自然环境或人类活动等外界干扰时所造成的生态损失程度。

4. 土地利用变化分析

4.1. 土地利用数量变化分析

从表 2 可以看出 1990~2000 年间, 赤峰市土地利用类型发生了明显的变化。一方面草地、水域、未利用地总体减少, 分别减少了 1974.44 km²、89.37 km²、28.21 km²、430.66 km²; 耕地、林地和建设用地面积增加, 增加面积分别为 2444.38 km²、29.40 km²、20.91 km²。2000~2010 年间耕地、林地、建设用地面积持续增加, 分别为 1134.79 km²、7137.53 km²、225.66 km²。相比于 1990~2000 年林地面积扩大最多, 建设用地相对增加了较多面积, 在这一时期, 社会经济的快速发展和人口的快速增长对建筑用地产生了强烈的需求。除此水域和未利用地也增加了, 增加面积分别为 63.35 km² 和 585.86 km²。而草地面积持续较少状态, 减少面积为 9146.83 km²。2010~2020 年间除了草地面积其余各类土地面积全部减少, 耕地、林地、水域、建设用地、未利用地依次减少为 376.52 km²、7120.74 km²、91.04 km²、592.81 km²。而草地面积增加了 8269.97 km²。

总体来看, 赤峰主要以草地、耕地和林地为主, 1990~2020 年间草地面积均占总面积百分之 40% 以上, 耕地面积每时段占总面积的 18% 以上, 林地均占 14% 以上, 三类土地占总面积的三分之二以上土地, 研究区建设用地占比最少, 其次为水域用地。1990~2010 年间耕地面积持续增加状态, 2010~2020 年间变化较少, 而建设用地无太大扩张反而较稳定发展, 说明近年来, 主要是通过严格的土地管理规划和审批, 积极规范新建建设用地和结构控制, 实施耕地保护、环境保护等举措得以改善(见表 2)。

Table 2. Land use area and proportion in the study area from 1990 to 2020
表 2. 1990~2020 年研究区各土地利用面积与占比表

类型	1900 年	占比	2000 年	占比	2010 年	占比	2020 年	占比
耕地	17448.32	19.87%	19892.70	22.65%	21027.49	23.94%	20650.97	23.52%
林地	12416.33	14.14%	12445.73	14.17%	19583.26	22.30%	12462.52	14.19%
草地	47124.06	53.66%	45149.62	51.41%	36002.79	41.00%	44272.77	50.41%
水域	1636.49	1.86%	1547.12	1.76%	1610.47	1.83%	1519.44	1.73%
建设用地	1709.90	1.95%	1730.82	1.97%	1956.48	2.23%	1863.35	2.12%
未利用地	7485.85	8.52%	7055.19	8.03%	7641.05	8.70%	7048.23	8.03%

Table 3. Land use transfer change in the study area
表 3. 研究区土地利用转移变化

时段	类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1990~2000	耕地	17266.24	66.68	93.81	3.96	13.67	3.97
	林地	141.20	12259.32	14.76	0.97	0.02	0.05
	草地	2284.09	111.81	44683.36	5.07	7.11	32.62
	水域	75.44	1.11	12.43	1521.27	0.57	25.66
	建设用地	0.48	0.03	0.15	0.02	1709.19	0.03
	未利用地	125.22	6.63	345.07	15.83	0.24	6992.85
2000~2010	耕地	14926.04	1144.85	2904.43	216.49	478.45	222.45
	林地	595.59	9981.26	1687.31	35.07	43.01	103.49
	草地	4513.36	8127.02	29126.21	171.99	287.08	2923.96
	水域	273.66	45.59	86.49	1044.80	9.53	87.05
	建设用地	322.59	66.53	182.19	16.18	1104.67	38.66
	未利用地	396.17	217.93	2016.04	125.93	33.70	4265.42
2010~2020	耕地	15349.72	528.05	4137.48	261.41	384.83	365.57
	林地	1107.24	10121.97	8018.68	43.96	75.41	213.23
	草地	3284.99	1635.66	28897.00	77.65	205.31	1901.36
	水域	218.74	33.66	169.49	1048.41	16.31	123.73
	建设用地	453.07	42.54	276.13	10.38	1141.75	32.56
	未利用地	237.21	100.64	2773.99	77.63	39.74	4411.78

根据表 3 可知, 1990~2000 年间, 草地转出面积最大, 转为耕地面积为 2284.09 km², 其次为未利用地、耕地和林地, 未利用地转出和转入面积分别为 492.99 km² 和 62.33 km², 耕地转出面积为 182.08 km², 而转入面积 2626.43 km², 林地转出面积为 157.01 km², 转入面积为 186.26 km², 草地面积大幅度减少, 转出面积和转入面积分别为 2440.70 km² 和 466.22 km², 水域用地和建设用地波动较少, 转出面积和转入面积分别为 115.22 km² 和 25.84 km², 建设用地变动较为稳定。2000~2010 年间, 各类土地转移较大, 耕地转出和转入面积分别为 4966.67 km² 和 6101.37 km², 林地转出和转入面积分别 2464.48 km² 和 9610.92 km², 草地面积依然减少, 转出面积为 16023.41 km², 其中转变为林地面积最大, 草地转入面积为 6876.48 km², 水域用地转出和转入面积较均匀, 建设用地转出面积和转入面积分别为 626.15 km² 和 851.78 km², 未利用地转入面积比转出面积大 585.83 km²。2010~2020 年间, 林地转出面积最大,

转为草地面积的为 8018.68 km², 林地转入面积为 2354.30 km², 其中草地转入面积最大, 为 15375.77 km², 耕地、水域和建设用地转出和转入面积相差不大, 未利用地转出面积比转入面积大 592.76 km² (见表 3)。

4.2. 土地利用空间变化分析

从图 2 可以看出赤峰市四期的土地利用类型重心迁移轨迹, 很好地反映了赤峰市 6 大地类的时空演变过程。1990~2020 年赤峰市各类土地利用重心迁移具有差异性, 根据图可知, 赤峰市耕地, 林地, 草地, 水域和建设用地土地利用重心均在翁牛特旗, 而未利用地土地利用重心在巴林右旗(见图 2)。

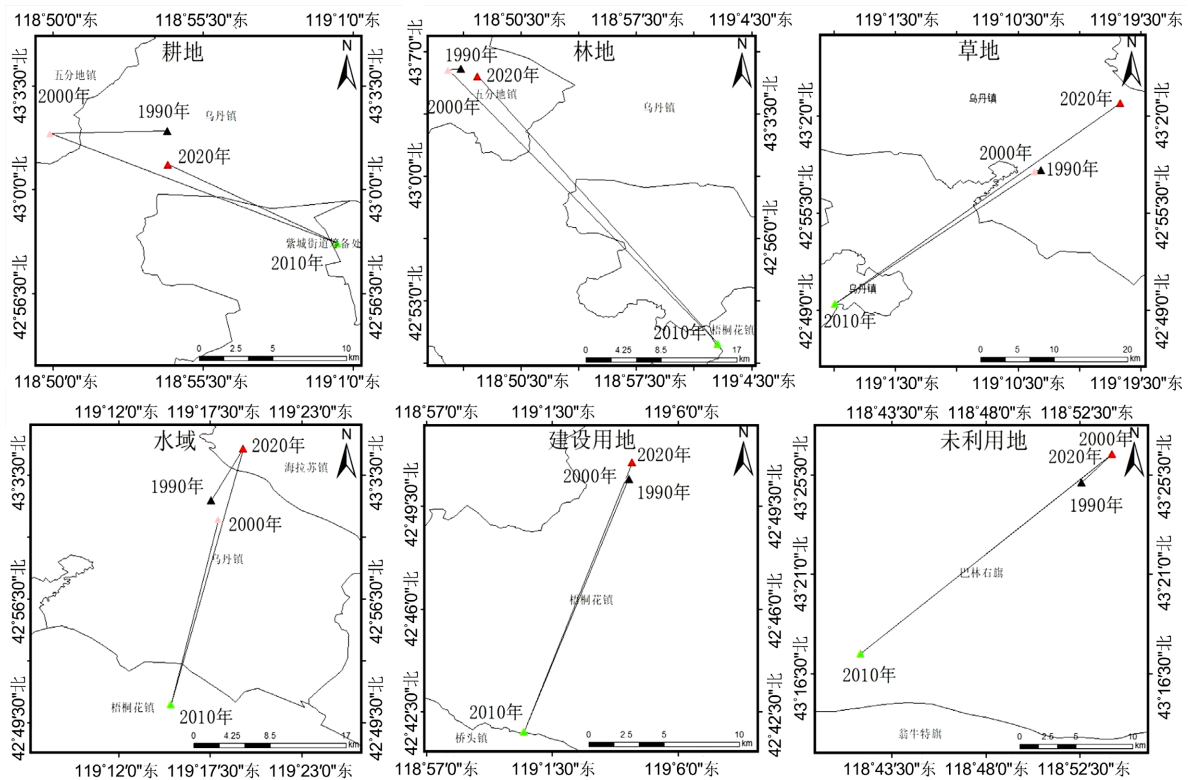


Figure 2. Land use type gravity shift map of Chifeng City from 1990 to 2020

图 2. 1990~2020 年赤峰市土地利用类型重心迁移图

耕地重心迁移特征

1990~2020 年耕地重心向南方向迁移了 2.07 km, 1990~2000 年向西偏南方向迁移了 5.86 km; 2000~2010 年耕地重心向东偏南方向迁移了 15.87 km, 该时期是重心迁移距离最大且最快的时期, 2010~2020 年耕地重心向西偏北方向迁移了 9.76 km。

林地重心迁移特征

1990~2020 年林地重心向南偏东方向迁移了 1.58 km。其中 1990~2000 年迁移方向为西偏南; 2000~2010 年林地重心迁移方向为南偏东, 迁移距离为 37.19 km, 该时期是林地重心迁移距离最大且迁移最快的时期; 2010~2020 年林地重心迁移方向为北偏西, 迁移距离为 34.18 km。

草地重心迁移特征

1990~2020 年草地重心从西南向东北方向迁移, 迁移距离为 11.45 km。其中 1990~2000 年向西南方向迁移了 0.67 km, 该时期是重心迁移距离最小、重心迁移最慢的时期; 2000~2010 年草地重心向西偏南

迁移了 25.77 km; 2010~2020 年草地重心迁移方向为南偏西, 迁移距离为 0.32 km。

水域重心迁移特征

1990~2020 年水域重心向北偏东迁移了 6.14 km。其中 2010~2020 年是水域重心迁移距离最大且最快的时期, 迁移距离为 25.55 km, 迁移方向为北偏东; 1990~2000 年是水域重心迁移距离最小、重心迁移最慢的时期, 迁移距离为 2.05 km, 迁移方向为东南; 2000~2010 年水域重心向南偏西迁移了 19.53 km。

建设用地重心迁移特征

1990~2020 年建设用地重心向北迁移了 1.09 km。其中 1990~2000 年向西迁移了 0.09 km, 该时期是重心迁移最慢的时期; 2000~2010 年建设用地重心迁移方向为南偏西, 迁移距离 16.82 km; 2010~2020 年建设用地重心向北偏东迁移了 17.82 km, 该时期是建设用地重心迁移最快的时期。

未利用地重心迁移特征

1990~2020 年未利用地重心向东北迁移了 3.11 km。其中 1990~2000 年向东北方向迁移了 3.15 km, 2010 年未利用地重心与 2020 年的重心几乎重合, 2000~2010 年未利用地重心向西偏南迁移了 23.42 km, 该时期是未利用地重心迁移最快的时期; 2010~2020 年未利用地重心迁移方向为向东偏北。

4.3. 土地利用程度变化分析

Table 4. Change quantity and change rate of land use degree in Chifeng City and its districts

表 4. 赤峰市及其各辖区土地利用程度变化量和变化率

区域	1990~2000	变化率	2000~2010	变化率	2010~2020	变化率	1990~2020	变化率
阿鲁科尔沁旗	4.05	2.00%	3.87	1.87%	1.03	0.49%	8.95	4.41%
敖汉旗	8.95	3.69%	-0.43	-0.17%	0.56	0.22%	9.07	3.74%
巴林右旗	1.90	0.95%	2.94	1.45%	-1.82	-0.88%	3.03	1.51%
巴林左旗	3.65	1.61%	4.20	1.82%	-2.82	-1.20%	5.04	2.22%
喀喇沁旗	3.11	1.34%	1.83	0.78%	-1.94	-0.82%	3.01	1.29%
克什克腾旗	1.06	0.52%	-3.77	-1.85%	3.69	1.84%	0.97	0.48%
林西县	1.71	0.76%	5.45	2.39%	-5.25	-2.25%	1.91	0.84%
宁城县	3.87	1.60%	2.21	0.90%	-2.36	-0.95%	3.71	1.53%
翁牛特旗	3.66	1.83%	0.89	0.44%	0.13	0.06%	4.68	2.35%
元宝山区	3.50	1.33%	7.82	2.94%	-3.97	-1.45%	7.36	2.80%
红山区	2.05	0.75%	5.56	2.03%	-2.16	-0.77%	5.45	2.00%
松山区	3.16	1.31%	1.70	0.70%	-1.62	-0.66%	3.24	1.34%

根据表 4 来看, 1990~2020 年期间赤峰市各辖旗县区土地利用程度变化量和变化率均大于 0, 这表明, 赤峰市的土地利用程度总体上升, 普遍提高。其中阿鲁科尔沁旗、敖汉旗、巴林左旗、翁牛特旗、元宝山区和红山区土地利用变化量大于平均变化量, 这表明, 这些地区的经济增长速度更快, 土地利用正在发生巨大变化。而克什克腾旗土地利用变化量小于 1, 处于衰退期, 其余区域变化量均大于 1, 但整体小于平均变化量, 说明处于发展期, 发展状况低于上述六个区域。

分时期来看, 1990~2000 年赤峰市全部区域土地利用程度变化量均是正数, 最为突出的区域集中在非中心城区敖汉旗, 土地利用程度变化量达到 8.95, 变化率为 3.69%, 其次是阿鲁科尔沁旗、巴林左旗、宁城县、翁牛特旗、元宝山区土地利用程度变化量均大于该时期平均程度; 而巴林右旗、克什克腾旗、

林西县和红山区的土地利用程度变化较不明显, 变化率均不到 1%。

2000~2010 年期间, 赤峰市敖汉旗和克什克腾旗土地利用程度变化量和变化率小于 0, 说明该阶段两个区域土地利用处于调整期或衰退期; 而元宝山区土地利用程度的涨幅相对较大, 处于快速发展期, 变化量在该阶段中最大, 变化率为 2.94%。相比于 1990~2000 年红山区和林西县土地利用程度的涨幅也较大, 此外喀喇沁旗、翁牛特旗、宁城县和松山区土地利用程度发展较慢, 变化量均低于平均变化量。其余区县变化量均大于 2.69, 说明处于快速发展期。

2010~2020 年期间, 赤峰市整体处于缓慢发展, 平均土地利用程度变化两位-1.38。其中克什克腾旗相比于前两段时期快速发展, 是土地利用程度变化较为剧烈的地区, 增幅明显, 远高于平均变化量, 变化率为 1.84%。此外阿鲁科尔沁旗、敖汉旗、翁牛特旗变化量为正数, 发展较快。其余区县土地利用程度变化量和变化率小于 0, 该阶段这些区域土地利用处于调整期或衰退期(见表 4)。

5. 赤峰市景观生态风险评价

5.1. 景观格局指数变化分析

(1) 景观格局指数分析

Table 5. Landscape pattern index of each land use type in Chifeng City in the fourth phase

表 5. 赤峰市四期各用地类型景观格局指数

景观类型	时间	面积	斑块数目	景观破碎度	景观分离度	景观优势度	景观干扰度	景观损失度
耕地	1990	1744832.07	5874	0.0034	0.0651	0.2033	0.0619	0.1086
	2000	1989240.93	5818	0.0029	0.0568	0.3043	0.0794	0.1230
	2010	2102691.15	3833	0.0018	0.0436	0.1857	0.0511	0.0987
	2020	2065097.16	6267	0.0030	0.0568	0.2173	0.0620	0.1087
林地	1990	1241633.16	7508	0.0060	0.1034	0.2149	0.0770	0.0856
	2000	1244322.90	7480	0.0060	0.0515	0.1980	0.0563	0.0732
	2010	1958084.91	4640	0.0024	0.0480	0.1090	0.0374	0.3561
	2020	1246251.78	7709	0.0062	0.1044	0.2083	0.0761	0.0851
草地	1990	4712406.48	4401	0.0009	0.0209	0.3074	0.0682	0.0987
	2000	4514862.51	4433	0.0010	0.0219	0.5051	0.1081	0.1242
	2010	3600278.55	4531	0.0013	0.0277	0.2703	0.0630	0.0949
	2020	4427276.76	5414	0.0012	0.0246	0.3081	0.0696	0.0997
水域	1990	163648.89	560	0.0034	0.2143	0.0193	0.0698	0.1290
	2000	154702.08	531	0.0034	0.2207	0.0253	0.0730	0.1318
	2010	160938.45	453	0.0028	0.1960	0.0180	0.0638	0.1232
	2020	151943.58	546	0.0036	0.2279	0.0177	0.0737	0.1325
建设	1990	170990.28	7545	0.0441	0.7527	0.1669	0.2813	0.1157
	2000	173080.89	7519	0.0434	0.7423	0.1749	0.2794	0.1153
	2010	195627.51	10115	0.0517	0.7618	0.2462	0.3036	0.1202
	2020	186335.19	7746	0.0416	0.6998	0.1608	0.2629	0.1119
未利用	1990	748584.90	2565	0.0034	0.1002	0.0882	0.0494	0.1188
	2000	705518.28	2574	0.0036	0.1066	0.1187	0.0575	0.1282
	2010	764107.29	2008	0.0026	0.0869	0.0819	0.0438	0.1118
	2020	704823.39	2839	0.0040	0.1120	0.0879	0.0532	0.1233

从景观破碎度指数来看, 各地类在研究时段内的破碎度均小于 0.05, 说明研究区整体景观破碎化程度较低, 建设用地破碎化程度在整体景观中最高, 但呈现不稳定趋势。1990~2000 年破碎度指数变化最为明显的用地类型为耕地, 表明在此时段内研究区耕地破碎化程度大, 其他地类破碎度相对稳定。2000~2010 年草地和建设用地破碎化程度增加, 耕地、林地、水域和未利用地的破碎度则表现为降低的态势。2010~2020 年研究区破碎度趋势与上一阶段相反, 耕地、林地、水域和未利用地的破碎度增大(见表 5)。

从景观分离度指数来看, 各景观类型的景观分离度指数差异较大, 建设用地受外界影响较大, 面积小, 且分散分布, 分离度指数最大。1990~2000 年草地、水域和未利用地受人类活动影响, 分离度指数增幅较大, 表明分布分散, 而耕地、林地、建设用地的分离度指数下降, 表明斑块间距缩小。2000~2010 年草地和建设用地分离度上升, 说明离散程度增大, 其他地类则呈现下降趋势, 2010~2020 年与上一阶段相反, 耕地、林地、水域和未利用地分离度指数明显增加, 草地和建设用地分离度指数则减少(见表 5)。

从景观优势度指数来看, 各地类的优势度指数变化不稳定。1990~2000 年草地优势度下降, 其他地类优势度均有所增加。2000~2010 年建设用地优势度指数增加, 其他地类均下降。2010~2020 年耕地、林地、草地和未利用地优势度上升, 水域和建设用地指数则下降。景观优势度指数显示了它对景观结构的重要性, 随着景观优势度指数的增加, 景观稳定的影响也在增加(见表 5)。

景观损失度是景观干扰度与景观脆弱度的直接表现, 脆弱度指数从大到小为: 未利用地 > 水域 > 耕地 > 草地 > 林地 > 建设用地。研究时段内各地类的景观干扰度指数相差不大, 建设用地在每个时期内干扰度最大, 主要地类面积和斑块数目均较少, 分布较为分散, 且受到外界干扰的程度减小。水域和未利用地破碎度和脆弱度都较高, 受外界干扰最明显, 损失度较大, 耕地、林地、草地是研究区占比面积最大的三个地类, 受人类活动和自然环境影响较大, 损失度不稳定(见表 5)。

(2) 景观生态风险值变化特征

基于构建的景观生态风险评价模型, 计算研究区三个时期内 1519 个样区的生态风险指数可得, 赤峰市四个时期的生态风险指数平均值分别为 0.012234、0.012516、0.012244 和 0.012267, 1990~2000 和 2010~2020 年上升, 结果表明, 由于土地使用利用结构的变化, 研究地区的生态安全恶化。

根据表 6 分析各土地利用类型的景观生态风险指数可知, 1990~2020 年各地类的景观生态风险平均值均小于 0.025。其中, 虽然水域和未利用地景观的损失度较高, 但由于面积相对较小, 不会对生态环境安全构成威胁。1990~2000 年耕地、林地、草地和水域的景观生态风险指数呈增加的趋势, 而建设用地和未利用地生态风险指数下降, 这表明生态安全正在改善。2000~2010 年耕地、林地和未利用地景观生态风险指数下降, 林地指数增加, 水域则稳定不变。2010~2020 年耕地、草地和水域景观生态风险指数增加, 林地和建设用地指数下降, 而未利用不变(见表 6)。

Table 6. Ecological risk index of each land use type in four periods of Chifeng City

表 6. 赤峰市四个时期各用地类型生态风险指数

时间	耕地	林地	草地	水域	建设	未利用	平均值
1990	0.0217	0.0130	0.0524	0.0023	0.0097	0.0217	0.0201
2000	0.0274	0.0139	0.0631	0.0025	0.0023	0.0100	0.0199
2010	0.0232	0.0170	0.0384	0.0025	0.0026	0.0097	0.0156
2020	0.0251	0.0129	0.0497	0.0026	0.0023	0.0097	0.0171

5.2. 生态风险指数的时空分异

为对比四个时期景观生态风险的时空演变, 通过 ArcGIS 软件中的克里金插值法得到赤峰市四个时期

的生态风险空间分布状况, 并通过自然间断点分级法将其划分为五个等级: 低生态风险区($ERI \leq 0.0081$)、较低生态风险区($0.0081 < ERI \leq 0.0109$)、中生态风险区($0.0109 < ERI \leq 0.0137$)、较高生态风险区($0.0137 < ERI \leq 0.0165$)和高生态风险区($ERI > 0.0165$) (见图 3)。

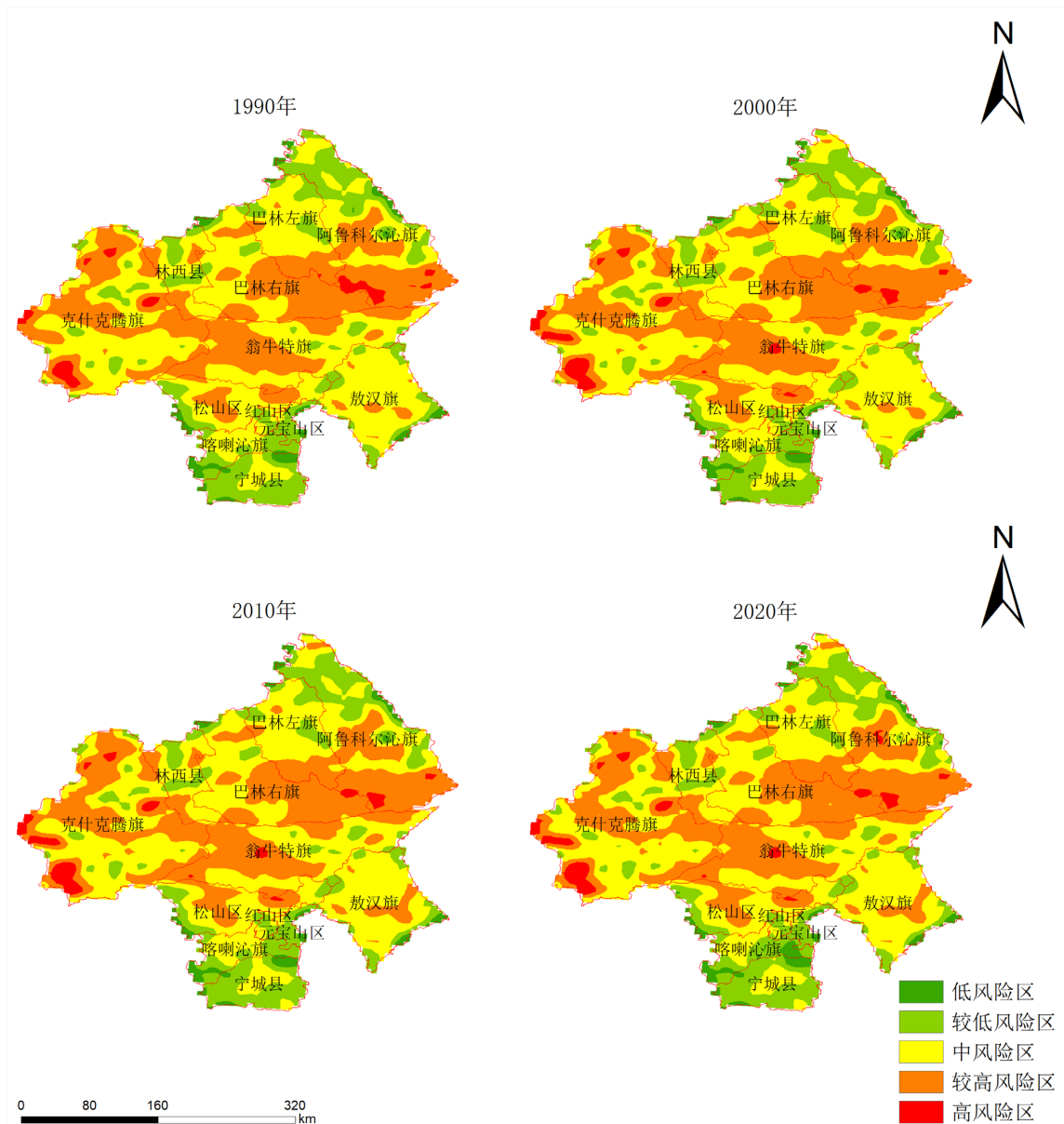


Figure 3. Spatial distribution of ecological risks of land use in Chifeng City in 1990, 2000, 2010 and 2020

图 3. 赤峰市 1990、2000、2010、2020 年土地利用的生态风险空间分布

由图 3 可知, 研究区生态风险等级主要以中风险区和较高风险区为主。从各景观生态风险在各旗县的分布看, 整体上赤峰市 1990~2020 年的景观生态风险空间分布变化并无差异。其中, 中风险区分布在研究每一个旗县, 整体风险由中心向四周梯度递减, 呈“较高-中-较低”的空间分布格局, 即研究区整体风险表现为西部及中部地区景观生态风险值较大。低和较低生态风险等级区主要分布在南部区域及边缘区域, 与中生态风险等级、较高生态风险等级紧邻并占区域全部风险等级的少部分。在研究时期研

究区耕地、草地、建设用地、未利用地分散分布, 而耕地和建设用地的破碎度和分离度较大, 明显高于区域内其他用地类型, 因此该区域整体处于中和较高风险区。其中生态风险区较高风险区分布在阿鲁科尔沁旗中南部、巴林左旗南部、巴林右旗东南部、敖汉旗中部、翁牛特旗及克什克腾旗, 高风险区主要分布在克什克腾旗、松山区、翁牛特旗中部和阿鲁科尔沁旗西南部, 而较低和低风险区分布在研究区南部、阿鲁科尔沁旗北部, 分布比较分散, 中风险区几乎分布在研究区每一个区域, 分布范围最广, 所占面积最大。

(3) 景观生态风险等级变化分析

为进一步解释赤峰市不同等级生态风险区的变化, 对 1990、2000、2010 和 2020 年生态风险空间分布图进行空间分析, 得到赤峰市 1990~2020 年各生态风险等级的面积、比例及转移面积矩阵(见表 7、表 8)。

Table 7. Area and proportion of each ecological risk level in Chifeng City in four periods

表 7. 赤峰市四个时期各生态风险等级面积及比例

生态风险等级	1900 年	占比	2000 年	占比	2010 年	占比	2020 年	占比
低风险	2036.29	2.33%	1868.07	2.14%	1790.79	2.05%	2093.28	2.40%
较低风险	15157.86	17.37%	15058.73	17.25%	14915.48	17.09%	15171.55	17.38%
中风险	40029.48	45.86%	39445.95	45.20%	38812.78	44.47%	38390.46	43.99%
较高风险	28410.84	32.55%	28908.67	33.12%	29737.95	34.07%	29578.08	33.89%
高风险	1643.49	1.88%	1996.54	2.29%	2020.96	2.32%	2044.59	2.34%

据表 7 可知在四个时期研究区中风险区占比最高, 占总面积 45%左右, 其次为较高风险区, 占比为 33%左右, 低风险和高风险区占比最低。1990~2000 年研究区高风险区面积增加, 增幅为 0.41%, 增加面积为 353.05 km², 其余等级风险区面积均减少。2000~2010 年低风险、较低风险和低风险区面积持续减少, 减少面积分别为 77.28 km²、143.24 km²和 633.17 km², 降幅分别为 0.09%、0.16%和 0.73%, 中风险和高风险区分别增加 829.28 km²和 24.41 km², 占比分别从原来的 33.12%、2.29%增到 34.07%和 2.32%。2010~2020 年低风险、较低风险区面积增加, 增幅分别为 0.35%和 0.29%, 除此高风险区面积持续增加, 增加面积为 23.63 km², 而中风险和较高风险区面积减少, 减少面积分别为 422.32 km²和 159.87 km²。

Table 8. Area transfer matrix of ecological risk grade in Chifeng City from 1990 to 2020 km²

表 8. 赤峰市 1990~2020 年生态风险等级转移面积矩阵(km²)

生态风险	低风险	较低风险	中风险	较高风险	高风险
低风险	1710.86	346.03	23.18	0	0
较低风险	284.83	13862.78	959.86	3.09	0
中风险	19.14	858.26	36736.62	722.09	0
较高风险	0	8.21	2262.67	26777.73	450.68
高风险	0	0	9.27	824.91	1189.85

据表 8 可知赤峰市生态风险等级保持不变的区域最大, 面积为 80277.84 km², 约占总面积的 92.22%; 生态风险等级降低的区域面积 4267.29 km², 生态风险等级升高的区域总面积为 2504.93 km²。具体而言, 较高生态风险区向中生态风险区转移面积最多, 达到 2262.67 km²; 其次是较低生态风险区转向中生态风险区、中生态风险区向较高生态风险区以及高风险区向较高风险区转移, 转移面积分别为 959.86 km²和 858.26 km²和 824.91 km²。由此表明: 研究期间内赤峰市低风险和较低风险区面积占比虽小, 但景观生态

风险等级呈无太大升高趋势。

6. 结论

(1) 土地利用变化方面: 草地、耕地和林地是研究区主要地类, 四个时期草地均占总面积 40% 以上, 耕地和林地的占比分别为 22% 和 14% 左右。研究区建设用地占比最少, 其次为水域。在研究时期草地转移最大, 其次为林地、耕地、未利用地、建设用地和水域。从土地利用空间变化来看, 在研究时期耕地重心整体向南方向迁移, 林地重心整体向南偏东方向迁移, 草地重心整体从西南向东北方向迁移, 水域重心整体向北偏东迁移了, 建设用地重心整体向北迁移了, 未利用地重心整体向东北方向迁移了。从土地利用程度变化上在研究期间赤峰市各辖旗县区土地利用程度变化量和变化率均大于 0, 表明赤峰市整体上土地利用程度加深, 处于发展时期, 城市化进程加快, 人口增加, 建筑物密度变大, 整体土地利用效率不断提高。

(2) 景观生态评价方面: 赤峰市水域和建设用地的破碎度、分离度较大, 建设用地景观干扰度最大, 受人类干扰程度最大。水域、建设用地和未利用地景观损失度较大于其他地类, 其受干扰程度和造成生态损失的程度较大。总体而言, 赤峰市 1990~2020 年的生态风险指数平均值分别为逐年上升, 表明随着土地利用结构的变化, 研究区生态安全状况趋于恶化。从景观生态风险空间分异来看, 研究区生态风险等级主要以中风险区和较高风险区为主。赤峰市 1990~2020 年的景观生态风险空间分布变化并无差异。整体风险由中心向四周梯度递减, 呈“较高-中-较低”的空间分布格局。根据研究区景观生态环境风险评价结果, 提出了优化土地利用和控制生态风险的建议, 以促进区域生态系统与社会经济系统的协调发展:

① 提高土地利用效率, 合理规划土地利用是优化土地利用的重要途径。合理的土地规划既避免了土地资源的浪费, 并提高效率。在城市化进程中, 由于缺乏对土地的科学规划, 土地的随意使用、过度开发和利用等现象时有发生。研究区未利用土地面积约占总面积的 8%, 从而通过科学的规划管理、土地整治修复等, 避免土地开发对生态造成的破坏和污染。

② 生态补偿机制在保护土地资源和生态方面也发挥着重要作用。生态补偿是通过对生态损害行为进行经济和资源补偿进而激励, 以改善土地资源的利用和保护。生态补偿可以通过生态保护补贴、生态补偿、环境补偿、环境修复基金等多种方式实现。实施此机制需要完善法律法规和政策体系, 并根据需要予以支持和保障, 建立强有力的监管和测试机制。引入生态补偿机制, 可以鼓励人类社会更加重视土地利用和生态保护, 为恢复和改善环境做出贡献。

资助项目

国家自然科学基金项目(NJSZ20017); 内蒙古自治区自然科学基金项目(2020MS04019); 内蒙古师范大学高层次人才科研启动项目(2018YJRC039)。

参考文献

- [1] 马世瑛, 陈英, 裴婷婷. 基于土地利用变化的兰州市景观生态风险评价[J]. 国土与自然资源研究, 2023(6): 31-36. <https://doi.org/10.16202/j.cnki.tnrs.2023.06.007>
- [2] 彭建, 党威雄, 刘焱序, 等. 景观生态风险评价研究进展与展望[J]. 地理学报, 2015, 70(4): 664-677.
- [3] 许妍, 高俊峰, 高永年. 基于土地利用动态变化的太湖地区景观生态风险评价[J]. 湖泊科学, 2011, 23(4): 642-648.
- [4] 黄钰清, 李骁尧, 于强, 黄华国, 等. 1995-2018 年黄河流域土地利用变化及驱动力分析[J]. 西北林学院学报, 2022, 37(6): 113-121.
- [5] 徐敏. 太湖县土地利用变化与生态环境质量的空间关系研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽建筑大学, 2022.

- [6] 艾克旦·依萨克. 阿克苏河流域土地利用变化及生态安全预警研究[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2022.
- [7] 黄欣婷, 韦燕飞, 童新华, 等. 2005-2020 年南宁市土地利用变化及驱动力研究[J]. 绿色科技, 2022, 24(13): 187-190+200.
- [8] 刘楠. 乡村振兴背景下赤峰市资源环境承载力研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020.
- [9] 杨军军, 刘宇峰, 蔺鹏飞, 朱喜, 等. 基于不透水面的城市景观格局时空特征研究[J]. 地理空间信息, 2021, 19(9): 61-66+7.
- [10] 毛鸿欣, 贾科利, 高曦文, 张俊华, 等. 1980-2018 年银川平原土地利用变化时空格局分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(20): 8008-8018.
- [11] 牛亚文. 基于适宜性评价和 FLUS 模型的土地利用空间优化配置研究[D]: [硕士学位论文]. 株洲: 湖南工业大学, 2022.
- [12] 周启刚, 陈丹, 陈倩, 等. 重庆山地都市区 1985-2010 年土地利用重心迁移研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(4): 189-193.
- [13] 郭健斌, 张英, 张志伟, 等. 西藏林芝市土地利用程度变化及其空间异质性分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2023, 38(3): 511-519.
- [14] 李健, 张文春. 近 30 年大庆市土地利用变化特征分析[J]. 吉林建筑大学学报, 2021, 38(3): 21-27.
- [15] 程严, 李伊黎, 常中兵, 等. 基于土地利用变化的景观生态风险评价——以广东省海岸带为例[J]. 环境生态学, 2022, 4(11): 23-33.
- [16] 白舒婷. 基于土地利用变化的吉林西部景观生态风险评价研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [17] 熊苗, 李镇南, 张建华, 等. 基于土地利用变化的嘉禾县景观生态风险评价[J]. 绿色科技, 2023, 25(10): 171-175+181.
- [18] 袁雪. 基于 PLUS 模型的武汉市土地利用变化情景模拟与景观生态风险研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 东华理工大学, 2022.