

新疆自然保护区景观格局时空演变与生态风险定量评价

任彦芳*, 李珂欣, 袁秋霞, 王全强

新疆理工职业大学人工智能学院, 新疆 图木舒克

收稿日期: 2026年2月28日; 录用日期: 2026年4月13日; 发布日期: 2026年4月27日

摘要

目的: 基于土地利用变化背景, 定量识别新疆自然保护地景观格局与生态风险的时空演变特征及其空间关联性, 为分区管控与生态安全格局优化提供依据。方法: 基于1992、2000、2010和2020年土地利用/覆被数据, 利用Fragstats 4.2提取景观格局指数构建景观生态风险模型, 结合空间自相关方法分析生态风险的时空分布特征和空间集聚特征。结果: ① 1992~2020年土地利用结构以裸地(57%)和草地(30%)为主, 转化集中于裸地-草地-灌丛之间, 灌丛比例由4.6%增至7.2%。② 低生态风险区面积占比始终超过24%, 总体呈上升趋势。中等及以上等级面积分别净增723.87 km²、499.68 km²和884.52 km², 高质量生境占比1.34%。③ 综合生态风险指数长期维持在0.08以下, 1992~2010年高风险区面积显著下降, 2010~2020年局部区域出现回升。④ Moran's I指数稳定在0.5以上, 呈显著正空间自相关, 高-高与低-低风险区块状集聚特征明显。结论: 研究期内新疆自然保护地景观结构整体稳定, 生态风险处于低值区间, 风险演变与裸地-草地-灌丛结构调整密切相关。2010年后局部风险回升表明景观格局对气候波动与局地扰动具有阶段性响应特征, 需加强重点区域动态监测与分级管控。

关键词

新疆自然保护区, 景观格局, 生态风险评价

Quantifying Spatiotemporal Landscape Patterns and Ecological Risks in Nature Reserves of Xinjiang

Yanfan Ren*, Kexin Li, Qiuxia Yuan, Quanqiang Wang

School of Artificial Intelligence, Xinjiang Vocational University of Technology, Tumushuke Xinjiang

Received: February 28, 2026; accepted: April 13, 2026; published: April 27, 2026

*通讯作者。

文章引用: 任彦芳, 李珂欣, 袁秋霞, 王全强. 新疆自然保护区景观格局时空演变与生态风险定量评价[J]. 地理科学研究, 2026, 15(2): 287-300. DOI: 10.12677/gser.2026.152028

Abstract

Objective: This study aims to quantitatively characterize the spatiotemporal evolution and spatial correlation of landscape patterns and ecological risks in Xinjiang's protected areas against a backdrop of land use change, thereby providing a scientific basis for zonal management and the optimization of ecological security patterns. **Methods:** Landscape ecological risk indices were constructed using landscape pattern metrics derived from land use/cover data for 1992, 2000, 2010, and 2020 via Fragstats 4.2. The spatiotemporal distribution and spatial clustering characteristics of ecological risk were subsequently analyzed using spatial autocorrelation methods. **Results:** The results showed that: (1) From 1992 to 2020, the land use structure was dominated by barren land (57%) and grassland (30%), with primary conversions occurring among barren land, grassland, and shrubland. The proportion of shrubland increased from 4.6% to 7.2%. (2) Low ecological risk zones consistently accounted for more than 24% of the study area and showed a general upward trend over time. The extents of moderate, high, and very high risk classes increased by 723.87 km², 499.68 km², and 884.52 km², respectively. High-quality habitats comprised only 1.34% of the total area. (3) The comprehensive ecological risk index remained consistently below 0.08. A significant decline in high-risk areas was observed from 1992 to 2010, followed by a localized rebound between 2010 and 2020. (4) Moran's I index remained above 0.5, indicating significant positive spatial autocorrelation, with distinct agglomerations of high-high and low-low risk patches. **Conclusion:** Over the study period, the landscape structure of Xinjiang's protected areas remained relatively stable, with ecological risks confined to a low range. Risk evolution was closely linked to the dynamic adjustments among barren land, grassland, and shrubland. The localized increase in risk post-2010 suggests a periodic response of the landscape pattern to climatic fluctuations and local disturbances, underscoring the need for enhanced dynamic monitoring and differentiated management in key areas.

Keywords

Nature Reserves of Xinjiang, Landscape Pattern, Ecological Risk Assessment

Copyright © 2026 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

新疆位于干旱—半干旱区，生态系统类型多样，包括沙漠、草原和高山草甸等典型景观[1]。特殊的地理位置和大尺度空间格局形成了复杂的生态结构与生物多样性分布特征[2]，近年来，在资源开发和经济活动增强背景下，区域生态系统面临持续压力[3]。新疆以绿洲经济为主导，生态环境安全对区域可持续发展具有基础性意义。

在人类活动强化与气候变化背景下，生境破碎化与土地利用结构变化加剧了生物多样性风险。自然保护区被认为是缓解生境丧失和生态退化的重要空间管理工具。截至目前，新疆共设立自然保护区 52 个，总面积 20.47 万 km²，占全区国土面积的 12.3% [4]-[7]。然而新疆的保护区虽在面积和数量方面快速扩张，但国内对自然保护区的研究中主要是集中在东部经济发达地区，对于其他地区保护区的研究相对较少，尤其是针对新疆自然保护地的研究就更加稀少，在少量的对新疆自然保护地的研究中，大部分研究还主要是针对新疆单个自然保护地的研究，例如崔学文[8]针对阿勒泰北部自然保护地的生境质量研究；吴洪

潘[9]和陈艳[10]针对卡拉麦里山保护区有蹄类野生动物的研究；朱宇航[11]对喀纳斯国家自然保护区马鹿的研究和萨根古丽[12]对新疆罗布泊野骆驼的研究等，且研究内容基本上集中在关于濒危动植物的资源调查和研究中，对新疆整体的自然保护地的生态环境及生态风险上的研究是空白的[13]，同时人类活动在一定程度上可能会导致区域土地利用结构失衡，从而对区域的生态环境系统产生威胁，开展土地利用生态风险评价具有重要意义[14][15]。生态风险指生态系统结构与功能在自然或人为干扰下发生改变并引发生态服务能力下降的概率过程。生态风险评价通过构建指标体系与空间模型，实现风险源识别与风险水平量化，为生态恢复与管理决策提供依据[15]。因此为了提高新疆自然保护区的资源和自然生态环境，亟需针对新疆整体自然保护地的生态变化方面的研究。本论文通过对新疆自然保护地生态风险进行评价来去科学化生态环境在数据上的变化，通过数据变化能有效识别新疆保护区中的敏感地带，从而优化新疆整体自然保护地的管理和规划，动植物生态环境的改善，并推动质量建设，完善基础设施，以实现人与自然的和谐发展[13]。

基于上述研究背景，本研究以新疆自然保护地为研究对象，采用 1992、1995、2000、2005、2010、2015 和 2020 年 ESA CCI 300 m 分辨率土地利用数据，利用 ArcGIS 10.2 和 Fragstats 4.2 提取土地利用类型变化与景观格局指数，构建生态风险评价模型。结合空间自相关分析，对 1992~2020 年新疆自然保护地生态风险的时空分布特征及聚集性进行识别与定量分析。研究结果可为新疆自然保护地的分区管理、生态风险管控及生态安全格局优化提供量化支持。

2. 数据来源与研究方法

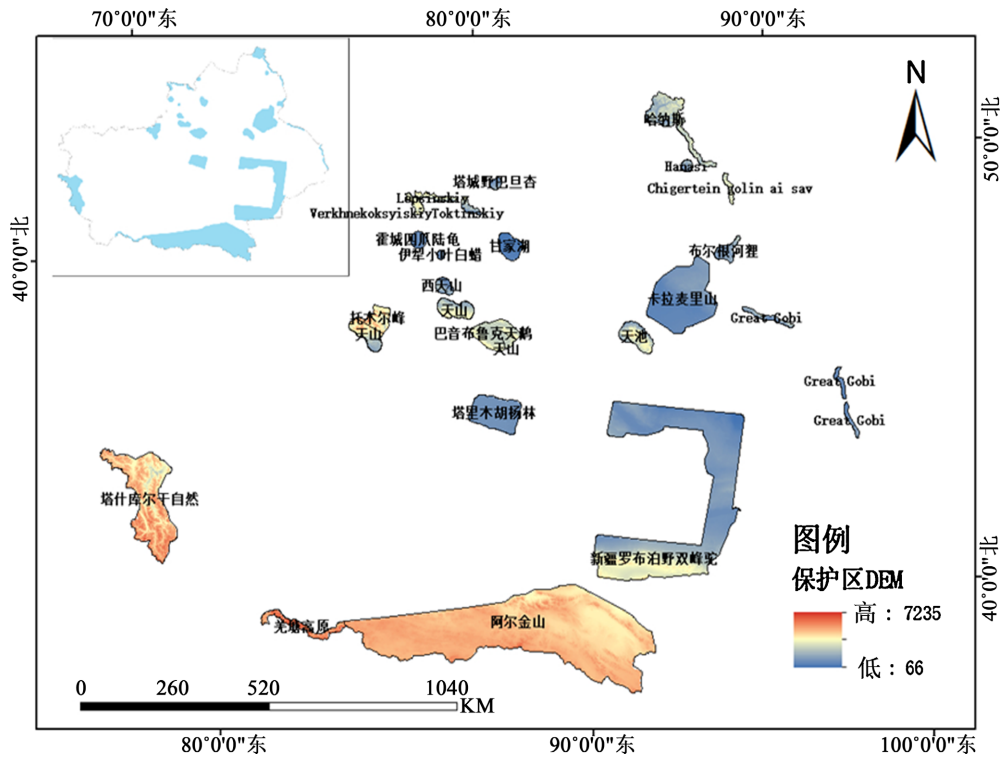
2.1. 研究区概况

截至 2018 年 5 月，新疆境内已建立 52 个自然保护区，总面积为 20.47 万平方千米，其中包括 15 个国家级自然保护区和 37 个省级自然保护区[7] (图 1)。新疆自然保护地体系在空间布局上涵盖了阿尔泰山、天山、昆仑山—阿尔金山及准噶尔盆地等主要地貌单元，构成了西北地区的重要生态安全屏障。新疆自然保护地内动植物资源种类繁多，其中包括多个濒危物种，如雪豹、北山羊、岩羊、野双峰驼、紫貂、松鸡和哲罗鲑等。在生态环境层面，这一保护地体系记录了干旱区地质演化的关键过程。例如，天山博格达片区保存了从现代冰川到高山湖泊、雪岭云杉林和山地草原的垂直带谱，展示了典型的高山带生态特征；阿尔金山保护区则保留了高原荒漠、沙漠与湖泊复合地貌，提供了地貌演化的重要信息；卡拉麦里荒漠区中的硅化木群为研究古环境变迁提供了关键地质证据。

2.2. 数据来源和处理

本研究使用的 2017 年新疆自然保护地数据是来自 Protected Planet，它是关于保护区和其他有效的基于区域的保护措施(OECM)的最新和最完整的数据来源(<https://www.protectedplanet.net/en>)。新疆 LUCC 数据来自欧洲航天局(ESA)提供的，包括 1992 年至 2020 年的 300 m 分辨率土地利用/覆被变化数据。本文中对数据处理的软件主要是使用 ArcGIS10.8 对土地利用数据进行面积，地类转换以及克里金插值等处理；Fragstats4.2 主要是对景观格局指数进行计算和处理；GeoDa 是对生态风险评价进行相关性的处理和分析。

为了精确量化生态风险并实现指数的空间表达，在考虑新疆自然保护地斑块尺寸、样本采集的工作量与风险单元精度的多重因素后，本研究采取等距离系统抽样方法。通过运用 ArcGIS10.8 中的网格生成工具，研究区被细分成了 1149 个网格单元，每个 20 * 20 km 大小。若边缘的地块被切割得不规则，且其大小超过标准样区的一半，则单独列为一个样区；否则，将其并入邻近样区。最终，每个风险单元内的生态风险指数通过评价模型计算后，用于克里金空间插值分析，从而得到整个研究区域的生态风险分布(图 2)。



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为GS(2019)3333号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 1. Elevation map of the study area of Nature Reserves of Xinjiang

图 1. 新疆自然保护地研究区高程图

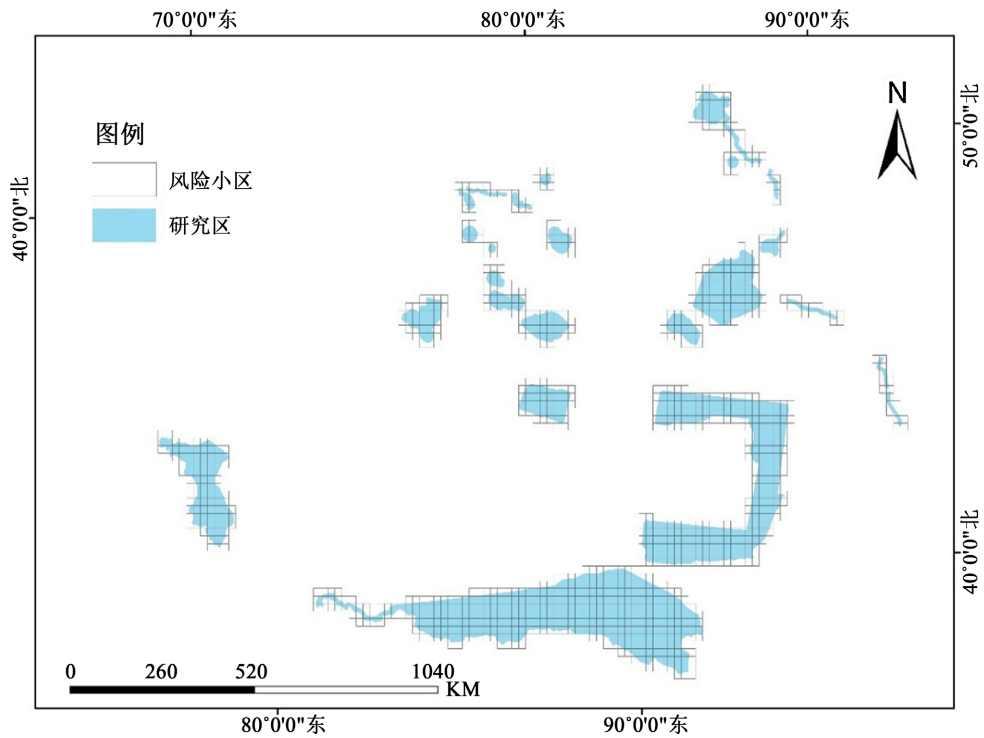


Figure 2. Ecological risk communities in Nature Reserves of Xinjiang

图 2. 新疆自然保护地生态风险小区

2.3. 研究方法

2.3.1. LUCC 转换矩阵

定量研究不同 LUCC 类型数量和方向转换的主要方法，它能具体反映不同 LUCC 类型变化的结构特征和传递方向[16]。该转移矩阵的数学模型如下：

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中， P_{mn} 为 n 周期第 i 种 LUCC 类型转换为 $n+1$ 周期第 n 种 LUCC 类型面积的比例； P 指的是转移矩阵。

对 1992, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 年七個不同时期的土地类型数据进行不同土地利用类型间转换面积的计算和统计，量化不同地类之间流动方向和组成。

2.3.2. 景观生态风险评价模型

景观生态风险评价模型是分析和预测生态风险的重要工具，其重要性在于能够量化生态系统的易损性与潜在威胁，从而指导生态保护与土地规划。构建该模型通常利用景观格局指数来揭示景观变化对生态系统的影响，主要是使用破碎度、分离度和优势度，这些指数反映了景观的组成和配置。通过综合考虑斑块大小、形状、多样性和边缘效应等因素，通过这些指数来构建干扰度指数，之后再结合脆弱度构建损失度模型，计算新疆自然保护地的景观生态风险指数值(Ecological Risk Index, ERI)。模型能准确评估生态风险，为生态管理和规划提供建议，以实现生态系统健康和可持续利用的目标。具体计算公式及含义解释见(表 1)。

Table 1. Ecological risk assessment model construction formula and meaning

表 1. 生态风险评价模型构建公式及含义

景观指数	公式	参数意义	生态意义
干扰度[17]	$E_i = aC_i + bN_i + cD_{oi}$	在景观指标的赋权中，权重系数 a 、 b 、 c 根据具体的区域特征及前述研究成果确定[18] 分配比例依次为 0.5、0.3、0.2。破碎度[17] (C_i)、分离度[17] (N_i)、分维数[17] (D_{oi})	表示不同景观所代表的生态系统受到干扰的程度。
	$C_i = \frac{n_i}{A_i}$		
	$N_i = \frac{A}{2A_i} \sqrt{\frac{n_i}{A_i}}$		
	$D_{oi} = 2 \ln(P_i/4) \ln A_i$		
脆弱度	专家打分赋值并归一化获得	脆弱度赋值：裸地-9、冰雪-8、水-7、耕地-6、草地-5、灌木-4、灌丛-3、森林-2、城市-1 [19]	景观脆弱度指的是生态景观面对外部干扰的敏感程度和恢复能力的低强度，反映了景观在遭受负面影响时的易损性和不稳定性。
损失度[17]	$R_i = E_i + F_i$	E_i 为第 i 类景观的干扰度指数； F_i 为第 i 类景观的脆弱度指数	表示不同景观类型的生态系统受到干扰时其自然属性损失的程度，其值越高表明景观所受损失越大
生态风险指数[17]	$ERI_i = \sum_{k=1}^n \frac{A_{ki}}{A_k} \times R_i$	ERI_i 为第 i 个单元的景观生态风险值； n 为景观类型的数量； A_{ki} 为第 k 个单元内第 i 类景观的面积； A_k 为第 k 个单元的面积； R_i 为第 i 类景观的损失度	生态风险指数衡量生态景观受自然或人为因素威胁的可能性和严重程度，反映了该景观损失稳定性和健康状态的风险水平。

2.3.3. 空间自相关分析方法

空间自相关性揭示了景观中地理相近位置上生态过程的相似性,为理解景观模式提供依据[20]。莫兰的 I 指数是评价整个景观空间自相关性的全局指标,而局部指示空间自相关统计量(LISA)可识别空间异质性,如集群或孤立现象。这些方法对于评估和预测景观生态风险、指导生态管理和规划至关重要。

(1) 全局自相关

全局自相关是衡量整个研究区域内相似特征或值在空间分布上是否呈现系统性聚集或分散的统计指标,反映了区域整体的空间依赖性[21]。公式如下:

$$\text{Moran's I} = \frac{n \sum_i \sum_j W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\left(\sum_i \sum_j W_{ij}\right) \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

(2) 局部空间自相关

局部 LISA 自相关是指在某一特定区域内部分地点的空间分布模式与整个研究区域的空间特性是否相似,用于识别空间集群或异常值,揭示空间数据的局部模式[22]。它可以分析新疆自然保护区内风险评价小区间的空间聚集性。公式如下:

$$LISA_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \left[(n-1) - \bar{x}^2 \right]}{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x})} \quad (3)$$

注:式中: x_i 、 x_j 是 X 变量的相邻单元属性值; \bar{x} 为 X 变量的平均值属性值; W_{ij} 为空间权重矩阵。

3. 结果与分析

3.1. 土地利用变化分析

1992~2020 年期间,新疆自然保护区土地利用变化以 10 年为时间尺度进行阶段划分(图 3)。四期土地利用数据统计结果表明,研究区土地利用类型以裸地和草地为主,面积占比分别为 57%和 30%。灌丛面积由 1992 年的 4.6%增加至 2020 年的 7.2%,为唯一呈持续增长趋势的地类;草地面积下降约 2 个百分点。裸地、冰雪、森林、耕地、水体和灌木面积总体波动较小,城市用地占比最低,仅为 0.01%。

土地利用转移分析显示(图 4),1992~2020 年间转出面积排序为:草地 > 裸地 > 灌丛 > 灌木 > 森林 > 耕地 > 水体,城市未发生转出;2020 年转入面积排序为:灌丛 > 裸地 > 草地 > 耕地 > 森林 > 水体 > 灌木 > 城市,冰雪类型未发生地类转换。主要地类转换集中于裸地、草地与灌丛之间,其中草地与裸地呈双向转换特征,灌丛以净转入为主。

从变化结果看,灌丛、森林和耕地面积呈增加趋势,草地、裸地和灌木面积呈减少趋势。土地利用结构调整反映出气候变化与人类活动对景观格局的综合影响,表现为景观组成比例变化与结构重组。上述变化对景观生态指数产生影响,并可能提高区域生态风险水平。

3.2. 景观指数变化分析

基于 Fragstats 4.2 计算获得 1992~2020 年新疆自然保护区各类景观类型的斑块数量、斑块面积及生态风险单元土地利用结构参数,并据此构建景观破碎度、分离度、分维度、干扰度及损失度等指标体系。从下图 5 和表 2 可知:

1) 破碎度特征:1992~2020 年间研究区整体破碎度指数均小于 0.1,表明景观破碎化程度较低。城市用地破碎度最高,但呈持续下降趋势。冰雪、草地和裸地破碎度长期维持在约 0.01 的低水平,其余地类波动幅度较小,整体变化稳定。

2) 分离度特征：不同景观类型分离度差异显著。城市分离度在 1992 年达到 5.8，为最高值，至 2020 年下降约 43%。耕地、灌木、灌丛、森林和水体分离度基本稳定，分别维持在约 1.5、2.1、2.0 和 1.0 左右。裸地和草地分离度最低，分别约为 0.15 和 0.27。破碎度与分离度变化趋势一致，高破碎度对应较高分离度，反映斑块数量增加对空间隔离程度的影响。

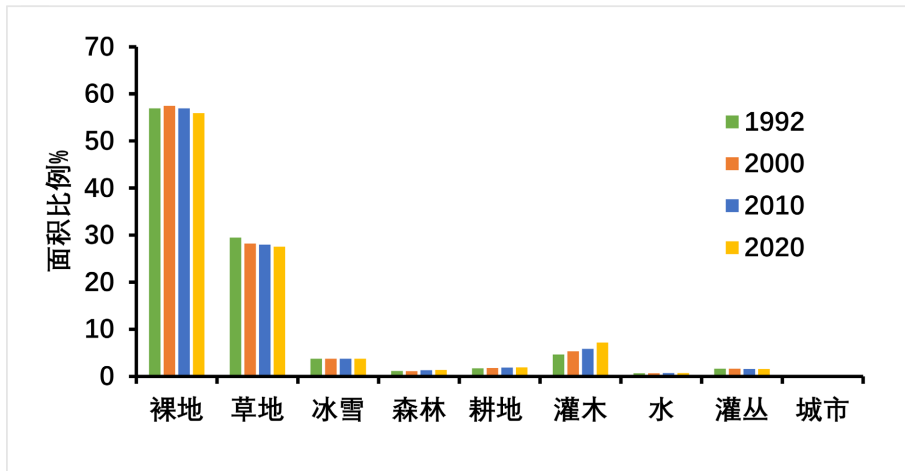


Figure 3. Area of each landscape type in the study area from 1992 to 2020
图 3. 研究区 1992~2020 年各景观类型面积

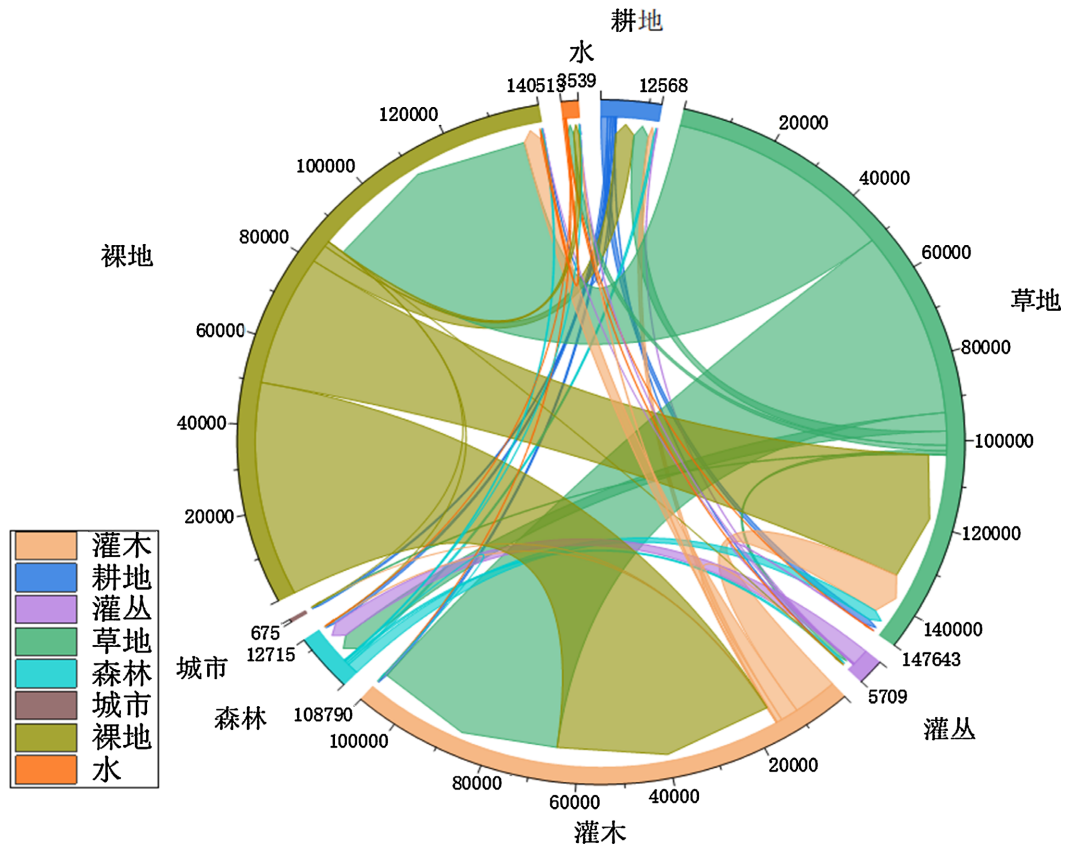


Figure 4. Land type transfer matrix illustration from 1992 to 2020
图 4. 1992~2020 年间土地类型转移矩阵弦图

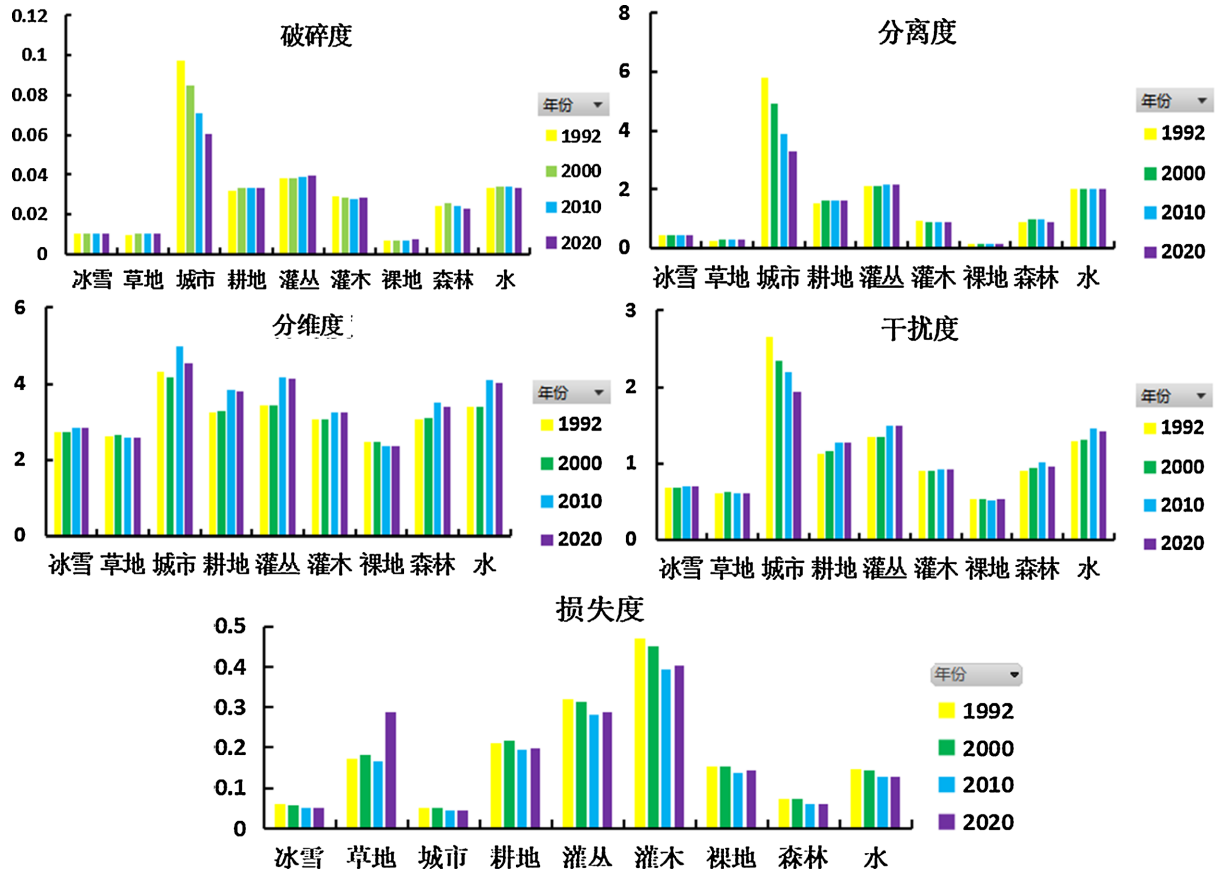


Figure 5. Landscape index map of the study area from 1992 to 2020
图 5. 1992~2020 年研究区景观指数图

Table 2. Changes in landscape index in the study area from 1992 to 2020
表 2. 研究区 1992~2020 年景观指数变化

景观类型	年份	破碎度	分离度	分维度	干扰度	脆弱度	损失度	景观类型	年份	破碎度	分离度	分维度	干扰度	脆弱度	损失度
耕地	1992	0.03	1.53	3.25	1.13	0.13	0.21	森林	1992	0.02	0.91	3.08	0.90	0.04	0.07
	2000	0.03	1.63	3.27	1.16	0.13	0.22		2000	0.03	1.01	3.11	0.94	0.04	0.07
	2010	0.03	1.64	3.82	1.27	0.13	0.19		2010	0.02	1.00	3.51	1.01	0.04	0.06
	2020	0.03	1.62	3.80	1.26	0.13	0.20		2020	0.02	0.89	3.39	0.96	0.04	0.06
草地	1992	0.01	0.26	2.63	0.61	0.11	0.17	城市	1992	0.10	5.79	4.30	2.65	0.02	0.05
	2000	0.01	0.28	2.65	0.62	0.11	0.18		2000	0.08	4.91	4.17	2.35	0.02	0.05
	2010	0.01	0.30	2.57	0.61	0.11	0.17		2010	0.07	3.89	4.98	2.20	0.02	0.04
	2020	0.01	0.28	2.57	0.60	0.11	0.29		2020	0.06	3.31	4.54	1.93	0.02	0.04
灌丛	1992	0.04	2.12	3.44	1.34	0.09	0.32	裸地	1992	0.01	0.16	2.45	0.54	0.20	0.15
	2000	0.04	2.13	3.44	1.35	0.09	0.31		2000	0.01	0.16	2.45	0.54	0.20	0.15
	2010	0.04	2.14	4.16	1.49	0.09	0.28		2010	0.01	0.16	2.35	0.52	0.20	0.14
	2020	0.04	2.16	4.14	1.50	0.09	0.29		2020	0.01	0.17	2.36	0.53	0.20	0.14

续表

灌木	1992	0.03	0.94	3.08	0.91	0.07	0.47	水	1992	0.03	2.02	3.38	1.30	0.16	0.15
	2000	0.03	0.90	3.06	0.90	0.07	0.45		2000	0.03	2.03	3.38	1.30	0.16	0.14
	2010	0.03	0.88	3.26	0.93	0.07	0.39		2010	0.01	0.43	2.85	0.70	0.18	0.05
	2020	0.03	0.88	3.24	0.93	0.07	0.40		2020	0.01	0.43	2.85	0.70	0.18	0.05

3) 分维度特征: 1992~2020年各类景观分维度均大于2, 表明斑块形状复杂度较高。城市、耕地、灌木、森林和水体分维度波动幅度较大, 显示形态异质性变化明显。草地和裸地分维度呈下降趋势, 形状复杂性降低; 冰雪分维度呈上升趋势。

4) 干扰度特征: 城市干扰度最高, 1992年为2.6, 至2020年下降至1.9。城市、耕地、灌木、灌丛和水体平均干扰度均大于1, 表明对外界扰动响应敏感。冰雪、草地和裸地干扰度较低且变化幅度有限。

5) 损失度特征: 景观损失度排序为: 灌丛 > 灌木 > 耕地 > 草地 > 裸地 > 水体 > 森林 > 冰雪 > 城市。1992~2020年间, 仅草地损失度呈上升趋势, 其中2010~2020年增加约72%; 其他景观类型损失度总体呈小幅下降。

综合特征: 1992~2020年间, 城市景观格局指数变化幅度最大, 破碎度、分离度和干扰度呈同步下降趋势。除城市外, 多数地类破碎度和分离度保持稳定, 优势度与干扰度变化幅度较小, 整体景观结构表现为稳定状态下的局部调整。

3.3. 景观生态风险空间变化分析

基于生态风险评价模型计算各生态风险单元的风险指数, 并采用等距分级法将风险指数划分为五个等级。利用克里金插值方法对风险指数进行空间插值与栅格化表达, 在此基础上提取不同年份各等级风险区的面积结构(图6)。

根据研究表明在1992~2020年间, 新疆自然保护地整体生态风险指数均低于0.08, 表明区域生态风险水平处于较低区间。期间最高风险值由1992年的0.079下降至2020年的0.076, 降幅约3.8%。低风险区面积比例整体保持稳定。

空间分布特征显示, 低生态风险区主要集中于天山和阿尔泰山区域, 其土地利用类型以草地和森林为主。1992年较高风险区主要分布于阿尔金山、罗布泊野双峰驼保护区、卡拉麦里山、巴音布鲁克及塔什库尔干区域。这些地区的生态风险指数高的原因主要是因为这些地区以裸地和草原为主, 裸地景观类型容易受到人类和气候因素的干扰。2000年后, 天山和阿尔泰山部分低风险区向较低风险等级转化。2010年高风险区主要分布于阿尔金山西南部, 中风险区分布于罗布泊区域及塔什库尔干一带。2020年高风险区在2010年基础上向南扩展, 这是由于这些地区灌丛向裸地之间发生转换导致景观格局发生转变, 灌丛的破碎度增加, 生态系统稳定性降低, 生态风险指数上升。

风险等级空间转移与土地利用结构调整存在对应关系, 尤其表现为灌丛与裸地之间的转换过程。灌丛破碎度增加与景观格局重组对局部风险指数提升具有关联性。整体来看, 研究区生态风险格局表现为低风险为主导、局部区域波动的空间分异特征。

根据风险等级面积统计结果(表3和图7), 1992~2020年新疆自然保护地生态风险等级结构呈现阶段性变化特征。(1) 低生态风险区面积占比始终超过24%, 总体呈上升趋势。2020年较1992年增加13.77 km²。(2) 较低生态风险区面积持续增长, 1992~2020年累计增加5.33个百分点。(3) 中等生态风险区在2000~2010年间显著扩张, 面积由208.71 km²增加至332.73 km², 占研究区总面积的30.17%。(4) 较高生态风险区总体呈增长趋势, 主要增长阶段为2000~2010年, 面积增加55.35 km², 其变化与高风险区向较

高风险等级转移相关，是属于向着生态系统更加稳定的方向发展。(5) 高生态风险区面积显著下降，2000~2010 年减少 236.8 km²，降幅达 93.5%。2010 年面积最小，占研究区总面积的 1.59%。空间分布上，阿尔金山、罗布泊野双峰驼保护区、卡拉麦里山、巴音布鲁克及塔什库尔干区域的高风险区明显缩减。该变化与裸地向灌丛和草地转换过程存在对应关系。

阶段性分析表明，1992~2010 年间低、较低、中等和较高风险区面积增加，高风险区面积减少，风险等级结构向中低等级转移。2010~2020 年间，低风险、中风险及较高风险区面积下降，较低风险和高风险区面积增加，风险等级结构发生调整。整体上，生态风险空间格局表现为阶段性波动与等级再分配特征。

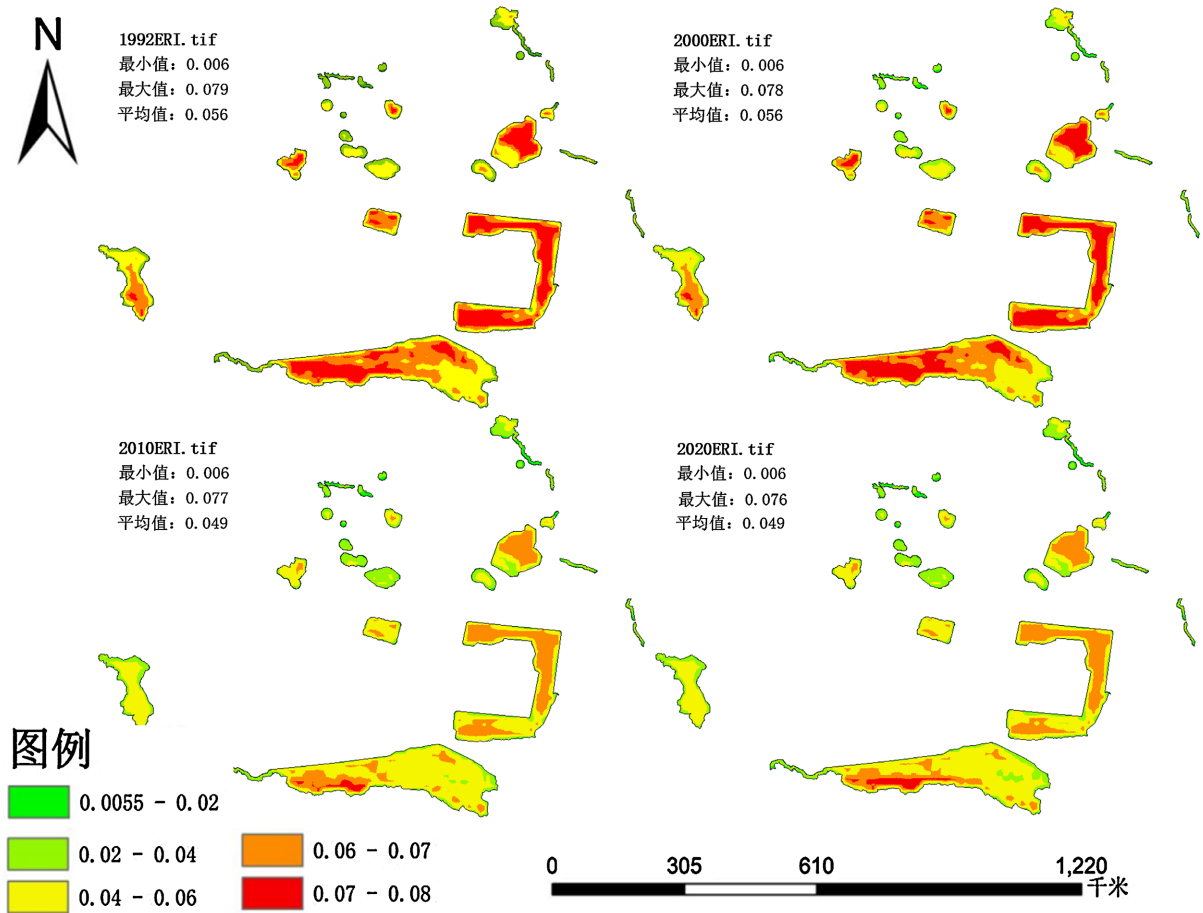


Figure 6. Raster chart of ecological risk indicators from 1992 to 2020

图 6. 1992-2020 生态风险指标栅格图

Table 3. Ecological risk levels of Xinjiang nature reserves from 1992 to 2020 (km²)

表 3. 1992~2020 年新疆自然保护地生态风险等级(km²)

风险程度/年份	1992	2000	2010	2020
低风险	257.49	255.33	272.34	271.26
较低风险	155.43	160.83	201.15	210.51
中风险	213.93	208.71	332.73	319.59
较高风险	156.87	156.24	211.59	202.68
高风险	250.56	253.26	16.47	30.24

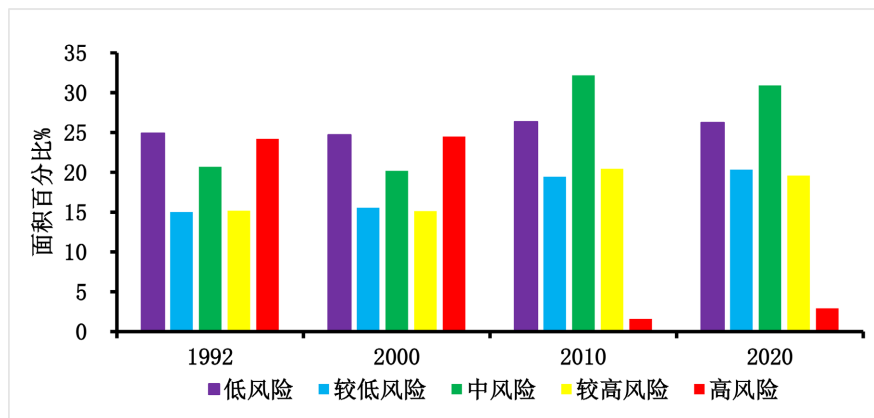


Figure 7. Ecological risk level area of the study area from 1992 to 2020 (%)
图 7. 1992~2020 年研究区生态风险等级面积(%)

3.4. 景观生态风险空间自相关分析

3.4.1. 全局自相关分析

采用 GeoDa 计算 1992、2000、2010 和 2020 年生态风险指数的全局空间自相关指标(Moran's I) (图 8)。

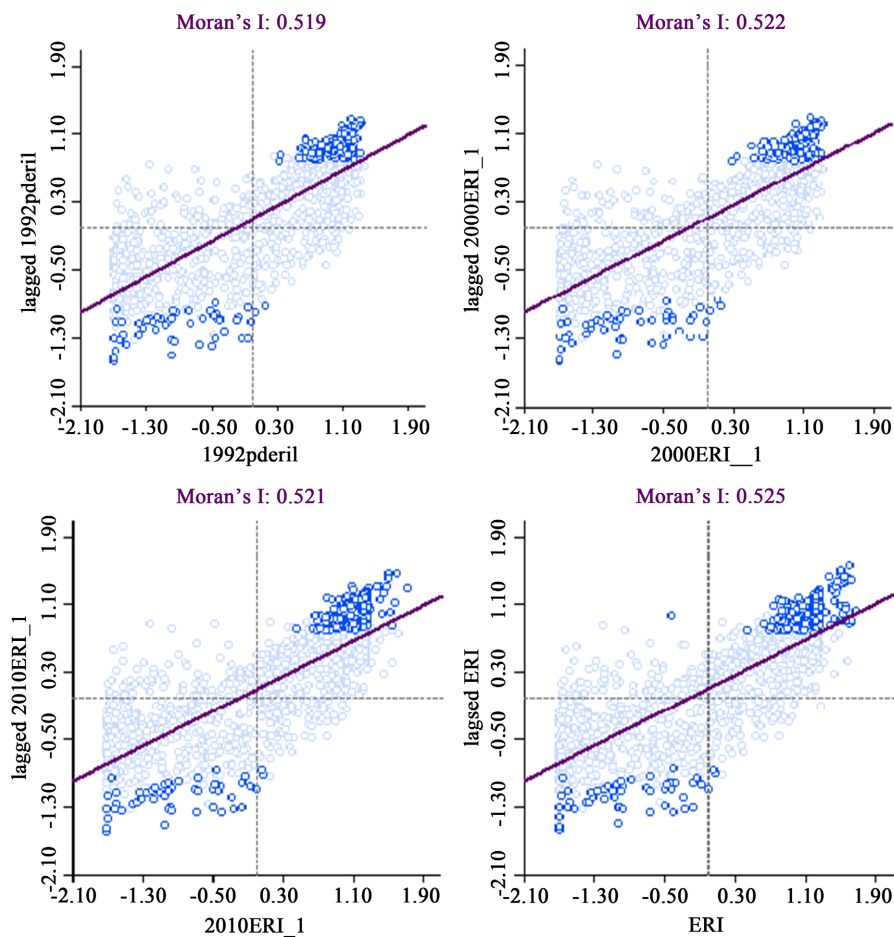


Figure 8. Moran's scatter plot of landscape ecological risk in the study area
图 8. 研究区景观生态风险 Moran's I 散点图

四期 Moran's I 值分别为 0.519、0.522、0.521 和 0.525，均大于 0，表明生态风险指数在研究区内存在显著正向空间自相关。Moran 散点图显示，显著性单元主要分布于第一象限(高-高聚集)和第三象限(低-低聚集)，表明高风险单元与高风险邻域、低风险单元与低风险邻域在空间上呈现集聚特征。整体上，1992~2020 年间生态风险空间格局保持稳定的正相关结构，空间集聚特征未发生显著改变。

3.4.2. 局部自相关分析

通过 GeoDa 软件，得到局部相关 LISA 的 1992~2020 年间新疆自然保护地的聚集图(图 9)，我们可以从下图中看到新疆自然保护地在 LISA 局部关联分析的结果中以高值区的密集分布和低值区的密集分布为主。研究区内的高值区的密集分布主要集中在阿尔金山，罗布泊野双驼峰，卡拉麦里山和塔什库尔干自然保护区，这该地区存在较高的生态风险，因为相似高风险区域集中在一起，可能会对生态系统的稳定性和健康造成更大影响。这些聚集区的景观类型主要为裸地和草地，这与高和较高生态风险区的景观结构一致。高-高聚集区生态景观结构较为单一，且保护区与人类聚集地距离相对较近，容易受到人类活动的影响，因此景观结构的内部稳定向较差。低值区的密集分布主要集中在新疆阿勒泰和天山山脉等地区，说明这些地区的景观生态风险程度低，这些地区的景观结构主要是森林、草地和灌木，这与低和较低的景观生态风险区的景观结构相符合。低-低的聚集区景观结构复杂，景观结构稳定性高，且大部分区域集中在高海拔地区，受人类活动影响较小，因此景观生态风险低，生态环境较好。2000~2010 年高-高聚集区发生显著减少，这与 2000~2010 年高生态风险区面积显著减少的情况有高度一致性。

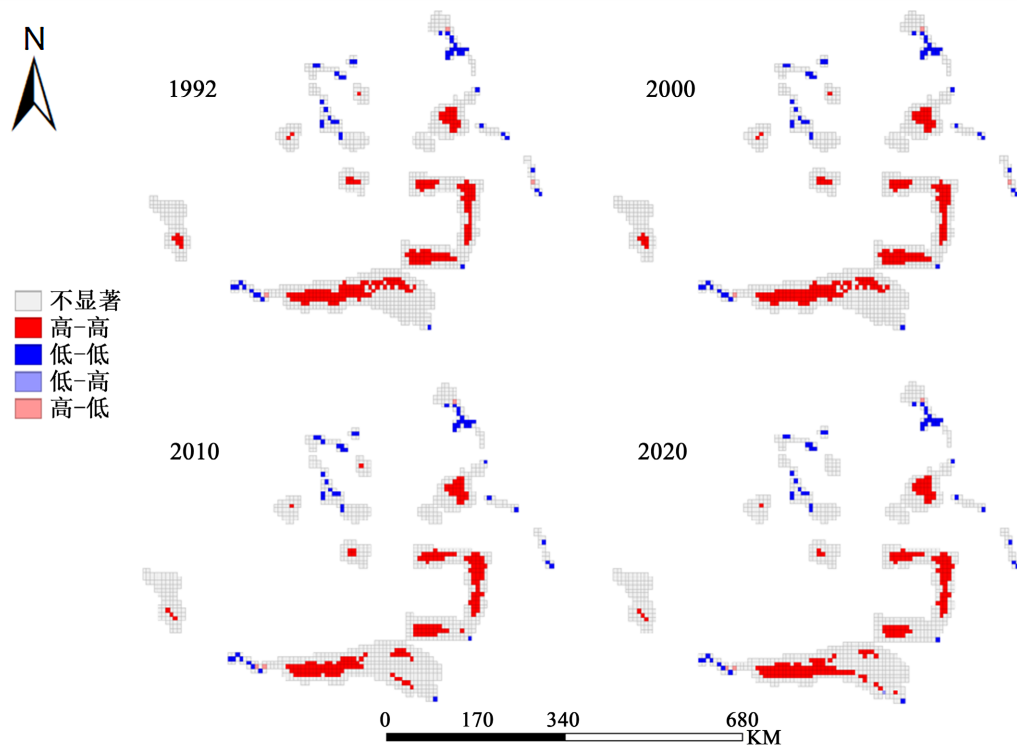


Figure 9. Landscape ecological risk LISA in the study area from 1992 to 2020

图 9. 研究区 1992~2020 年景观生态风险 LISA

4. 讨论

土地作为陆地生态系统的空间载体，其利用/覆被变化直接影响生境结构与景观格局[23]，近 20 年来，

新疆城市用地与耕地面积持续扩张。第二次全国国土调查结果显示, 2009 年新疆耕地面积达到 1.06 亿亩, 规模居全国第五。建设用地与耕地需求增长引发土地利用结构调整, 并对草地、裸地及其他生态用地格局产生挤占效应。土地利用结构失衡可能增加区域生态系统脆弱性和风险暴露程度, 因此开展土地利用生态风险评价具有必要性[14][15]。随着新疆自然保护地数量和面积的扩大, 针对保护地及其周边区域的生态风险定量评估具有重要意义, 有助于识别敏感单元并支撑分区管理决策。

本研究构建新疆自然保护地及其 10 km 缓冲区范围, 基于多期土地利用数据与景观格局指数建立生态风险评价模型。从景观结构维度选取破碎度、分离度、优势度、干扰度、脆弱度和损失度等指标, 构建综合景观生态风险指数。结果表明, 1992~2020 年新疆自然保护地生态风险指数整体维持在 0.08 以下, 风险水平总体偏低, 景观结构稳定性较高。该结果与王立[24], 李骊[25], 等针对新疆区域尺度研究中指出生态风险普遍偏高的结论存在差异, 主要是因为研究区的不同, 新疆自然保护地大多数处于人烟稀少或者高海拔地区, 人类活动对其的影响较低, 因此整体的生态被破坏程度较低, 生态风险指数偏低。区域管理者应当继续秉持“绿水青山就是金山银山”的发展理念, 合理规划土地资源的使用, 划分生态保护区, 限制不可持续的开发活动, 同时非保护区合理规划土地开发利用, 防止无序扩张[26]。同时鼓励发展与生态环境保护相结合产业, 如生态农业、林下经济、生态旅游等, 这些产业在创造经济价值的同时也有助于生态环境的修复和维护。

5. 结论

(1) 土地利用结构与转化特征

1992~2020 年, 新疆自然保护地土地利用类型以裸地(57%)和草地(30%)为主, 合计占比达 87%, 反映干旱-半干旱区域主导景观格局特征。土地利用转化主要集中于裸地、草地与灌丛之间。其中, 草地与裸地表现为双向转化关系; 灌丛以净转入为主, 面积比例由 4.6%增至 7.2%, 呈持续扩张趋势。整体土地利用结构变化幅度有限, 城镇用地占比长期维持在 0.01%左右, 表明保护地内部人类建设活动受控。

(2) 景观格局指数特征

1992~2020 年, 各类景观指数整体波动幅度较小, 结构稳定性较高。景观破碎度指数整体低于 0.1, 显示区域景观连通性较强。城市用地破碎度最高, 反映边缘人类活动干扰效应。各景观类型分维度均大于 2, 表明斑块形态复杂度较高。干扰度指数显示, 城市干扰度最大, 其次为耕地、灌木、灌丛和水体, 说明这些类型对外部驱动因子敏感性较高。损失度排序为灌丛 > 灌木 > 耕地 > 草地 > 裸地 > 水体 > 森林 > 冰雪 > 城市, 表明灌丛与灌木在外部扰动条件下风险暴露程度较高。

(3) 景观生态风险演变特征

1992~2020 年, 综合景观生态风险指数整体维持在 0.08 以下, 区域风险水平处于低值区间。低风险区主要分布于天山与阿尔泰山高海拔区域, 主导景观类型为草地与森林, 景观结构稳定性较高。高风险区以裸地与草地为主, 生态结构单一, 对气候波动与局部扰动响应敏感。时间演变上, 1992~2010 年生态风险向着低风险和较低风险的方向转化, 生态风险指数降低, 景观结构更加稳定, 生态系统相对良好。但在 2010 年之后, 高风险则呈现上升, 生态系统稳定性降低, 生态风险指数有上升趋势。

(4) 空间自相关特征

全局 Moran's I 指数均大于 0.5, 表明景观生态风险存在显著正空间自相关。LISA 分析显示, 高-高聚集区与低-低聚集区并存, 风险等级在空间上呈块状分布格局。生态风险单元之间存在显著邻域依赖效应, 说明风险演变具有空间集聚特征。

总体而言, 新疆自然保护地土地利用结构稳定, 景观破碎度较低, 生态风险整体处于低水平区间, 但 2010 年后局部区域风险回升趋势值得关注。风险变化与裸地-草地-灌丛之间的结构调整密切相关,

表明自然因子与局部人类活动共同驱动景观生态风险格局的演变。

参考文献

- [1] 哈密印象[J]. 新疆人文地理, 2015(10): 70-71.
- [2] 焦鹏. 新疆自然保护区建设与管理中存在的问题研究[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2012.
- [3] 张嘉超, 陈安伟, 罗琳. 环境专业《自然保护概论》课程存在的问题与对策探讨——以湖南农业大学为例[J]. 教育教学论坛, 2016(49): 62-63.
- [4] 广东珠江口中华白海豚国家级自然保护区管理局. 珠江口中华白海豚国家级自然保护区实践科学发展观工作研究报告[J]. 新经济, 2013(17): 3-5.
- [5] 大塚直, 张震, 李成玲. 日本环境法的理念、原则以及环境权[J]. 求是学刊, 2017, 44(2): 1-11.
- [6] 靳乐山, 吴乐. 中国生态补偿十对基本关系[J]. 环境保护, 2019, 47(22): 36-43.
- [7] 王立荣. 自然保护区地方立法研究——以新疆罗布泊野骆驼自然保护区为例[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2020.
- [8] 翟学文, 初雯雯, 灭热依·哈布德初克尔, 等. 基于 Invest 模型的阿勒泰地区北部自然保护地生境质量时空演变特征及其驱动因素分析[J]. 自然保护地, 2025, 5(3): 33-48.
- [9] 吴洪潘, 江晓珩, 戚英杰, 等. 新疆卡拉麦里山有蹄类野生动物自然保护区水源地荒漠有蹄类野生动物监测[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2025, 42(2): 107-113+138.
- [10] 陈艳秋, 初雯雯, 李基才, 等. 新疆卡拉麦里山有蹄类自然保护区夏季鹅喉羚和蒙古野驴的生境适宜性和重叠性分析[J]. 四川动物, 2024, 43(3): 264-273.
- [11] 朱宇航, 王志祥, 王雪宇, 等. 新疆喀纳斯国家级自然保护区马鹿日活动节律及生境选择[J]. 普洱学院学报, 2024, 40(6): 11-21.
- [12] 萨根古丽, 卡米拉, 塞尔格林, 等. 新疆罗布泊野骆驼国家级自然保护区阿尔金山区域气候特征[J]. 新疆林业, 2024(6): 15-18.
- [13] 刘利新. 新疆自然保护区建设与管理中存在的问题研究[J]. 环境与发展, 2017, 29(9): 212-214.
- [14] 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.
- [15] 杨光绪, 马钢. 基于景观格局的喀什地区土地利用生态风险评价[J]. 安徽农学通报, 2025, 31(20): 95-99.
- [16] 何伟, 杨志敏. 基于 AutoCAD Map3D 的时空地理信息处理平台的设计与实现[J]. 城市勘测, 2019(4): 23-27.
- [17] 程晓梦. 富春江流域景观格局与景观生态风险演变研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江农林大学, 2023.
- [18] 王飞, 叶长盛, 华吉庆, 等. 南昌市城镇空间扩展与景观生态风险的耦合关系[J]. 生态学报, 2019, 39(4): 1248-1262.
- [19] 郭彦君, 郭文炯. “三生空间”视角下山西中部盆地城市群景观生态风险分析[J]. 生态学杂志, 2022, 41(9): 1813-1824.
- [20] 李小根, 段小芳, 付景保, 等. 基于 GIS 的丹江口水库土地利用/覆被动态变化特征分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2022, 43(3): 90-98.
- [21] 杜军, 赵胜朝, 邱士可, 等. 2000-2015 年豫西黄土丘陵区土地利用变化及景观生态风险评价[J]. 水土保持研究, 2021, 28(1): 279-284.
- [22] 谢小平, 陈芝聪, 王芳, 等. 基于景观格局的太湖流域生态风险评估[J]. 应用生态学报, 2017, 28(10): 3369-3377.
- [23] 刘智方, 唐立娜, 邱全毅, 等. 基于土地利用变化的福建省生境质量时空变化研究[J]. 生态学报, 2017, 37(13): 4538-4548.
- [24] 王立. 基于土地利用和景观格局变化的绿洲生态风险评估——以吐鲁番市高昌区为例[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2018.
- [25] 李骊. 近 28 年新疆克孜河流域天然植被时空动态特征及生态风险评价[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- [26] 高彬嫫, 李琛, 吴映梅, 等. 川滇生态屏障区景观生态风险评价及影响因素[J]. 应用生态学报, 2021, 32(5): 1603-1613.