

乌鲁木齐市 2000—2018 年“三生” 空间格局演变及其风险评价

王娟娟¹, 毋兆鹏^{1,2}

(1.新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2.新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要: [目的] 剖析生产—生活—生态(“三生”)空间转变对绿洲城市生态风险变化的影响, 实现“三生”空间的协调发展, 为解决经济快速发展和社会转型中带来的国土开发秩序混乱及资源环境问题提供科学依据。[方法] 基于乌鲁木齐市 2000、2010 和 2018 年 3 期“三生”空间矢量数据, 借助 GIS 空间分析、地统计分析等方法, 分析“三生”空间演变特征, 并构建网格尺度下的生态风险指数, 对该地区生态风险时空分异特征进行定量评价。[结果] ①研究期间, 研究区生活生产空间面积增加明显, 增长率高达 169.78%, 生态生产空间面积平缓上升, 生态空间和生产生态空间面积下降率达到 4.27% 和 21.79%。“三生”空间综合动态度为 0.40%, 均呈现重心南移趋势。②2000—2018 年生态空间区域内以高、较高风险等级为主, 比例达 92.15%, 其他空间内风险等级相对较低; 生活生产空间及生产生态空间区域内风险等级上升。③2010—2018 年, 该区域的生态风险程度有所减缓, 生态风险等级变化以下降为主, 是风险等级上升面积的 1.95 倍。④研究区生态风险对“三生”空间变化的响应弹性降低, 表明影响生态风险的因素呈现多样化的特征。[结论] ①近 20 a 来该区域生活生产空间面积明显扩张, 增加了 606.99 km², 主要由于其周边的生态空间以及生产生态空间转入; ②该区域生态安全状况后期趋于好转, 但依旧属于中高风险地区, 需要对生态系统极不稳定的生态空间加强管理。

关键词: 生产—生活—生态空间; 生态风险评价; Landsat 影像; 空间统计分析; 乌鲁木齐市
文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2021)06-0318-09 **中图分类号:** X826

文献参数: 王娟娟, 毋兆鹏. 乌鲁木齐市 2000—2018 年“三生”空间格局演变及其风险评价[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 318-326. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.06.041; Wang Juanjuan, Wu Zhaopeng. Evolution on patterns and risk assessment of productive-living-ecological space in Urumqi City during 2000—2018 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(6): 318-326.

Evolution on Patterns and Risk Assessment of Productive-Living- Ecological Space in Urumqi City During 2000—2018

Wang Juanjuan¹, Wu Zhaopeng^{1,2}

(1. Xijiang Normal University, College of Geography and Tourism, Urumqi, Xinjiang 830054, China; 2. Laboratory of Arid Lake Environment and Resources, Urumqi, Xinjiang 830054, China)

Abstract: [Objective] The impacts of the transformation of productive-living-ecological space on the change of ecological risks in oasis cities were analyzed to realize the coordinated development of productive-living-ecological space, in order to provide scientific basis for solving the disorder of land development, resource and environment problems caused by rapid economic development and social transformation. [Methods] Based on the vector data of productive-living-ecological space in Urumqi City during 2000, 2010 and 2018, as well as the methods of GIS spatial analysis and ground statistics analysis, the ecological risk index on grid scale was constructed to quantitatively evaluate the spatial-temporal differentiation characteristics of ecological risk in Urumqi City. [Results] ① During the study period, the area of living and productive space increased significantly, with a growth rate of 169.78%. The area of ecological production space increased gently, and the area of ecological and production ecological space decreased by 4.27% and 21.79%. The comprehensive dynamic degree of productive-living-ecological space was 0.40%, and the center of gravity shifted southward.

收稿日期: 2021-04-14

修回日期: 2021-06-28

资助项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目“生态保护约束下绿洲城市潜在土地利用冲突的模型模拟”(2019D01A70)

第一作者: 王娟娟(1995—), 女(汉族), 河南省沈丘县人, 硕士研究生, 研究方向为空间信息分析与应用。Email: 381615811@qq.com。

通讯作者: 毋兆鹏(1976—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事 3S 技术与绿洲资源开发研究。Email: wuzhaopengxj@sina.com。

② During the past 20 years, the risk levels were mainly high and relative higher in the ecological space area, accounting for 92.15%, while the risk levels in other spaces were relatively low, and the risk levels in the living and productive ecological space areas increased. ③ From 2010 to 2018, the degree of ecological risk in the region slowed down, and the change of ecological risk levels mainly declined, which was 1.95 times of the increase area. ④ The response elasticity of the ecological risk to the change of productive-living-ecological space in the study area decreased, indicating that the factors affecting ecological risk showed diversified characteristics. [Conclusion] ① During 2000—2018, the area of living production space in this region has significantly expanded with an increase of 606.99 km², mainly from the surrounding ecological space and production ecological space. ② The ecological security situation in the region tended to be improved, but it still belong to the middle and high-risk areas, which need to strengthen the management of the extremely unstable ecological space.

Keywords: productive-living-ecological space; ecological risk assessment; Landsat image; spatial statistical analysis; Urumqi City

早在2005年,章仁彪^[1]就把城市的基本功能明确概括为生活、生产和生态3个功能。之后,国内众多学者对“三生”空间的内涵和分类体系进行了阐述^[2-4],生产空间是用于生产经营活动的场所,以承载工业农业生产和服务功能为主;生活空间是以提供人类居住、消费、休闲和娱乐等为主导功能的场所;生态空间是为城市提供生态产品和生态服务的区域。随着研究的深入,学者们在研究视角方面不断丰富,包括生态系统服务价值视角^[5]、冲突视角^[6]、生态风险视角^[7]等。多采用如状态空间法^[8]、GIS空间分析法^[9]、数据包络分析法^[10]、景观生态指数法^[7]、空间功能定量测度模型^[9]、构建指标体系^[11]、协调指数模型^[12]等方法进行研究。纵观相关研究,现阶段中国“三生”空间的研究仍处于起步阶段。

为此,本文将在研究“三生”空间格局变化的基础上对其生态风险进行评估。生态风险是生态系统及其组分在自然或人类活动的干扰下所承受的风险,指一定区域内具有不确定性的事故或灾害对生态系统的结构和功能可能产生的不利影响^[13-14],是评估区域内生态环境可持续性的重要指标。中国西北地区经济较为落后、生态环境脆弱,尤其是中国西北部的干旱地区,荒漠包围绿洲,高山环绕盆地,干旱区内陆的生态系统单一,人与生态环境的相互作用敏感^[15]。因此,对于绿洲土地的生态风险研究是实现绿洲三生空间土地资源可持续利用的必要措施。

乌鲁木齐市作为新疆维吾尔自治区的政治、经济和文化中心,属典型干旱区绿洲城市,在其城市化发展进程中,“三生”空间格局发生了较大改变,处于相对不稳定态势。基于“三生”空间动态演化格局探讨城市生态风险,在一定程度上丰富了城市生态风险研究的案例,对城市后续的建设方向具有一定的启示意义。因此,本文基于景观生态学角度的评价模式,以

格网为评价单元,对研究区生态风险等级的时空演变特征及空间关联特征进行定量分析,为乌鲁木齐市土地利用决策和生态系统优化提供科学参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

乌鲁木齐市(86°37′33″—88°58′24″E, 42°45′32″—45°00′00″N)位于新疆维吾尔自治区天山山脉中段北麓地区,北部主要为低山河谷及冲积平原地域,南部为天山山区,海拔在412~5 426 m,起伏较为悬殊,兼备山地城市和平原城市属性。由于深居内陆,远离海洋,属于典型的温带半干旱大陆性气候,常年干燥少雨,昼夜温差较大。乌鲁木齐市是新疆维吾尔自治区首府,全市辖七区一县,总行政面积 1.40×10^4 km²。它是中国扩大向西开放,开展对外经济文化交流的重要窗口,也是第二座亚欧大陆桥经济带和中国西部地区重要的经济中心。

1.2 数据来源与处理

利用2000年9月2日、2010年8月13日Landsat-TM/ETM⁺遥感影像和2018年9月4日Landsat-8OLI遥感影像3期,借助ENVI 5.1和ArcGIS 10.5软件平台,在完成波段合成、图像镶嵌、裁剪、几何纠正、判读解译等处理工作后,依据国家标准《土地利用现状分类(GB/T21010-2017)》,结合研究区实际土地利用状况,最终得到乌鲁木齐市2000,2010和2018年3期的土地利用现状图和基础空间数据库。混淆矩阵验证解译精度均在92%以上,满足研究分类标准精度。

2 研究方法

2.1 “三生”空间分类及其变化度量指标

对于“三生”空间的分类体系的研究,中国学者以

其内在理念为基础,做出了很多研究。相关学者将中国用地空间分为生产空间、生活空间和生态空间 3 大类,分类体系缺乏对用地复合功能的考虑。后来,张红旗等^[3]将中国用地变化类型分为 4 大类,充分考虑用地复合功能,是现如今较为完善的“三生”空间分类

体系。本研究遵循实用性和继承性的原则,根据已有研究成果和用地功能的属性确定“三生”空间类型^[16]。结合乌鲁木齐市的土地利用类型特征,充分考虑用地的复合功能,构建出适宜研究区的“三生”空间分类体系(表 1)。

表 1 乌鲁木齐市“三生”空间分类体系

“三生”空间类型	用途	一级分类	二级分类
生活生产空间	用于居住生活和提供二、三产业生产的用地空间	建设用地	居民点、工矿用地、交通用地等
生产生态空间	以农业生产为主,并可提供生态功能的用地空间	耕地	绿洲中正在使用的农田、轮歇地、弃耕地
生态生产空间	具备生态环境质量提高和农业生产发展作用,但生态效益高于生产效益	水域	河流、湖泊、水库
		林地	自然林带及人工林带
生态空间	人类利用相对较少,对区域生态环境质量起到主要提升作用	草地 未利用地	天然草地、人工草地及改良草地 盐碱地、沙地、裸岩石砾地带等

为了研究“三生”空间的变化强度,采用综合“三生”空间变化动态度和单一“三生”空间类型变化动态度进行分析^[17]。

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i=j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

$$L = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中:LC 为研究时段内区域综合“三生”空间动态度; $\Delta LU_{i=j}$ 表示研究期内第 i 类“三生”空间类型面积转为第 j 类“三生”空间类型面积的绝对值; LU_i 为研究初期第 i 类“三生”空间类型的面积; T 为研究时段; L 表示研究时段内单一“三生”空间类型的动态度; U_a, U_b 分别表示研究初期和末期某一“三生”空间类型的面积。

为了进一步了解“三生”空间在空间上的变化过程,本文借助重心迁移模型^[18],并通过其重心迁移的方向和距离描述不同类型“三生”空间的总体变化趋势和空间变化特征。

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ti} \cdot X_{ti})}{\sum_{i=1}^n C_{ti}}, \quad Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ti} \cdot Y_{ti})}{\sum_{i=1}^n C_{ti}} \quad (3)$$

式中: X_t, Y_t 分别为第 t 年某类“三生”空间重心的经、纬度坐标; n 为第 t 年该类“三生”空间的斑块数; C_{ti} 为第 t 年该类“三生”空间第 i 个斑块的面积; X_{ti}, Y_{ti} 分别为第 t 年该类“三生”空间第 i 个斑块的几何中心经、纬度坐标。区域重心空间区位年际移动距离的测度计算公式为^[19]。

$$D_{s-k} = C \times [B(Y_s - Y_k)^2 + (X_s - X_k)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

式中: D 为两个年份间某类“三生”空间重心移动的距离; s, k 分别为两个不同年份; $(X_s, Y_s), (X_k, Y_k)$

分别为第 s 年和第 k 年某类“三生”空间重心所在空间的地理坐标(经度值,纬度值); C 为常数,取值 111.11,是把地理坐标(经纬度)换算成平面距离(km)的系数。

2.2 “三生”空间生态风险评价

为了清楚“三生”空间中可能存在的生态风险,从而优化研究区“三生”空间结构,本文基于网格采样法(根据研究区范围,运用 $0.60 \text{ km} \times 0.60 \text{ km}$ 的正方形单元网格进行等间距采样,共划分风险小区 39 693 个),通过计算各样区内的“三生”空间面积比例来构建生态风险指数,将“三生”空间结构转化为生态风险值,构建起“三生”空间与生态风险之间的关系模型^[20]。

$$ERI_i = \sum_{k=1}^N \frac{A_{ki}}{A_k} R_i \quad (5)$$

$$R_i = S_i \cdot V_i \quad (6)$$

式中: ERI_i 为风险小区 i 的景观生态风险指数,该值越大表示生态风险程度越高,反之,生态风险程度越高; A_{ki} 为第 k 个风险小区中景观类型 i 的面积; A_k 为第 k 个风险小区的面积; R_i 为第 i 类景观的景观损失度指数^[20-22],表示各类型景观遭遇干扰时所受到生态损失的差别,即其自然属性损失的程度; S_i 为景观干扰度指数^[22]; V_i 为景观脆弱度指数^[22]。

2.3 生态风险对“三生”空间变化的响应度

为了揭示生态风险对“三生”空间变化的敏感程度,本文借鉴微观经济学中的弹性理论,引入弹性系数分析乌鲁木齐市生态风险对“三生”空间变化的响应弹性特征^[23]。

$$ERC = \frac{(ERI_b - ERI_a) / ERI_a}{LC} \quad (7)$$

式中:ERC 表示研究时段内生态风险对“三生”空间类型变化的响应弹性系数; ERI_b, ERI_a 分别表示研

究末期和初期生态风险指数; LC 为研究时段内综合“三生”空间动态度。

3 结果与分析

3.1 “三生”空间时空格局变化

2000—2018 年,乌鲁木齐市“三生”空间格局变化十分明显(图 1),随着研究区城市化进程加快,

社会经济快速发展,生活生产空间明显扩张,近 20 a 间面积增长了 606.99 km²(图 2),增长率达到 169.78%;生态生产空间面积增加了 121.61 km²,上升趋势较为平缓;与之相对应,生态空间和生产生态空间呈逐年减少态势,2000—2018 年,分别减少了 503.52 km²,225.09 km²,下降率分别达到 4.27%和 21.79%。

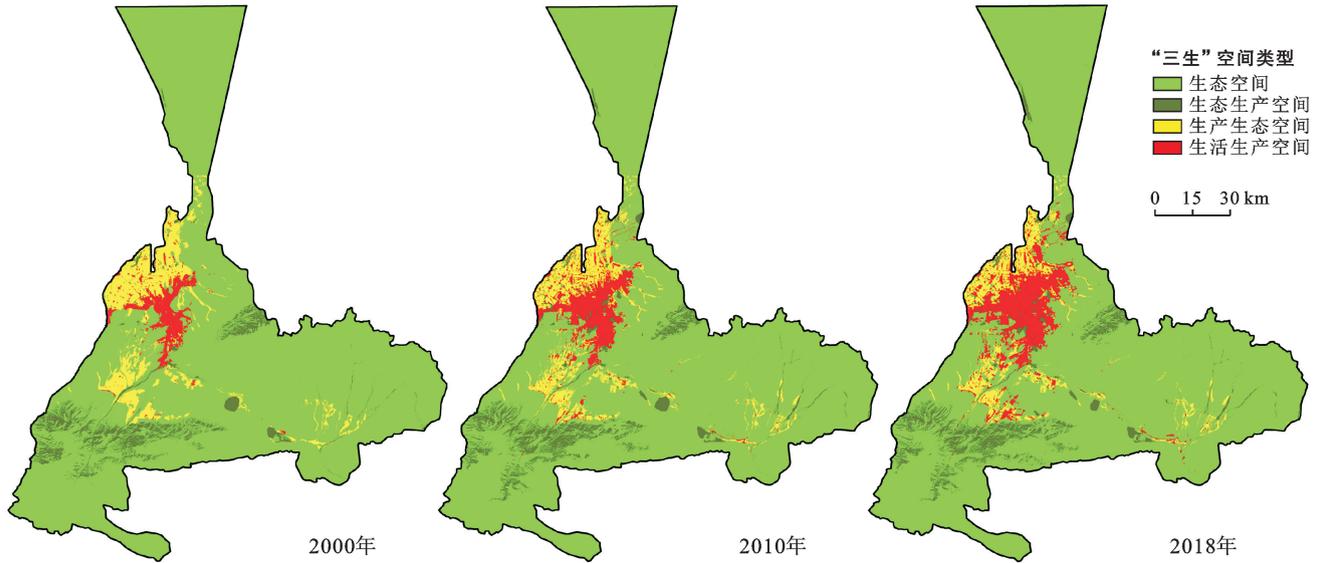


图 1 研究区“三生”空间格局分布

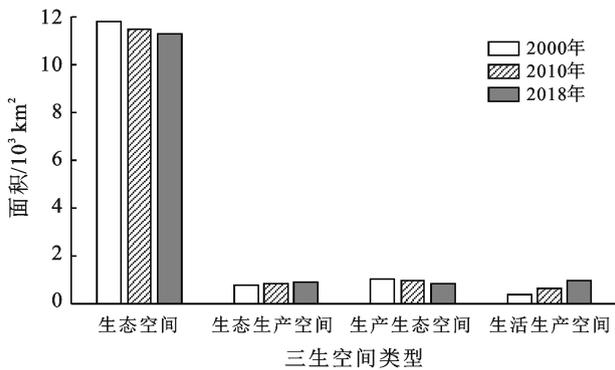


图 2 研究区“三生”空间结构变化

研究区近 20 a 来,生活生产空间的增长速率最快,动态度最高(表 2),为 9.43%,生活生产空间的增长主要依托原有斑块向其周边生态空间中的草地以及生产生态空间进行一定范围的扩张(表 3),侵占面积分别为 366.33 和 255.90 km²,主要发生在中心城区的周边区域;生态生产空间的动态度较低,变化速度相对较为平缓。2000—2018 年,生态空间作为研究区的主要空间类型,面积减少的最多,但其动态度仅有一 0.24%,与其面积较大有关。其包含的 2 种用地类型存在相互转移状况;此外,生态空间向其他空

间类型均存在不同程度的转移,主要表现为生态空间中的草地向生活生产空间以及生态生产空间中的林地面积转移了 366.33 和 219.56 km²。生产生态空间面积减少的最快,动态度达到 -1.21%,这一现象在中心城区北部表现较为明显。值得注意的是生产生态空间面积远低于生态空间,动态度却是生态空间的 5 倍,其面积的减少主要表现为耕地的减少,所造成的直接后果就是粮食的减产,这也为该地区的粮食与耕地问题敲响了警钟,需要引起重视。研究区近 20 a “三生”空间综合动态度达到 0.40%,后期用地变化的速率相比于前期速率减慢,表明乌鲁木齐市“三生”空间演变速度呈放缓趋势。

表 2 研究区不同时期“三生”空间用地类型动态度

“三生”类型	用地类型动态度/%		
	2000—2018 年	2000—2010 年	2010—2018 年
生活空间	9.43	8.33	10.81
生态生产空间	0.90	1.10	0.59
生产生态空间	-1.21	-0.65	-1.91
生态空间	-0.24	-0.27	-0.21
综合动态度	0.40	0.62	0.23

重心迁移结果表明,近 20 a,研究区生态空间重心向南迁移了 0.0097° ,向西迁移了 0.0029° ,整体向西南迁移了 1.10 km。此外,其他“三生”空间类型均呈现向东南迁移趋势,其中,由于绿洲城市扩张,生活生产空间重心向南迁移了 0.0133° ,向东迁移了 0.0012° ,整体向东南迁移了 1.47 km。2000—2010 年,生态生产

空间重心向北迁移了 0.0013° ,向西迁移了 0.0030° ;2010—2018 年,生态生产空间重心向南迁移了 0.0108° ,向东迁移了 0.0088° ,整体向东南迁移了 1.17 km。生产生态空间重心向南迁移了 0.0334° ,向东迁移了 0.0679° ,整体向东南迁移了 6.63 km。生产生态空间相较于其他空间迁移距离最为明显(图 3)。

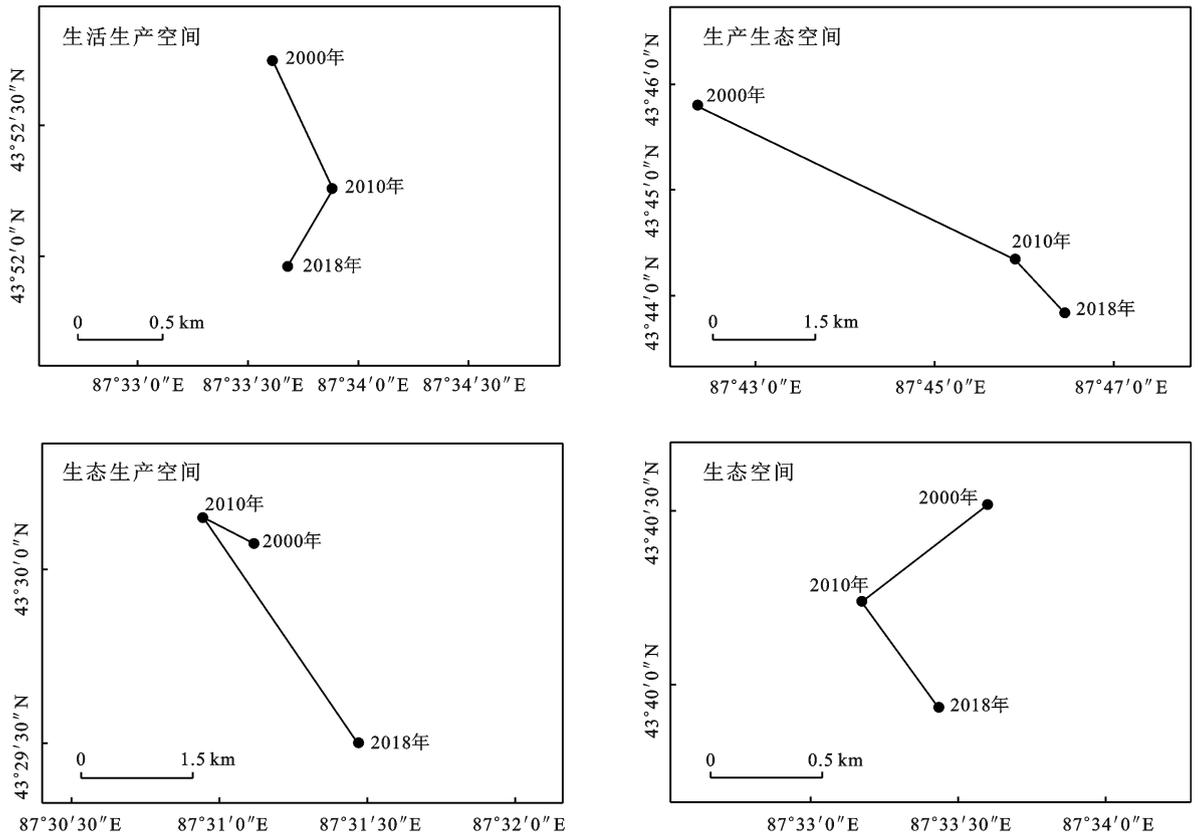


图 3 研究区“三生”空间重心迁移变化

表 3 研究区主要“三生”空间用地类型面积转移矩阵

“三生”空间转换类型	土地利用转换类型	面积/km ²
生活生产空间→生产生态空间	建设用地→耕地	8.89
生活生产空间→生态空间	建设用地→草地	12.39
小计		27.75
生产生态空间→生活生产空间	耕地→建设用地	255.90
生产生态空间→生态空间	耕地→草地	144.00
小计		399.90
生态生产空间→生态空间	林地→草地	141.47
	水域→草地	41.61
小计		183.08
生态空间→生活生产空间	草地→建设用地	366.33
生态空间→生产生态空间	草地→耕地	184.84
生态空间→生态生产空间	草地→林地	219.56
	草地→水域	62.06
生态空间→生态空间	草地→未利用地	215.42
	未利用地→草地	309.27
小计		1357.48

3.2 “三生”空间生态风险评价

3.2.1 生态风险时空变化 利用公式(5)计算各年份各样区的生态风险值,可以得到 2000—2018 年研究区 36 963 个风险小区的生态风险平均值,分别为 0.840 9,0.852 4 和 0.849 3,风险水平呈先增后减趋势,表明自 2010 年后该区域的生态安全状况趋于好转。为了进一步研究该区域生态风险的空间异质性特征,借助地统计学中的半方差函数进行区域生态风险的空间分析(表 4)。结果表明,2000,2010 和 2018 年 $C_0/(C_0+C)$ 分别为 37.37%,41.14% 和 42.42%,呈持续上升的趋势,说明在 600 m 以下的小尺度上,风险指数的随机变异性较大。目前,人类活动对生态环境影响程度日益增加,意味着生态风险指数在小尺度上的随机变异程度也在不断加大。

为了更好地呈现生态风险的空间分布特征,选取指数模型和相关参数设置,对 2000,2010 和 2018 年

的生态风险指数进行克里金插值。采用自然断点法将生态风险值划分为 5 级^[24-25],即低风险区($ERI \leq 0.45$)、较低风险区($0.45 < ERI \leq 0.60$)、中等风险区($0.60 < ERI \leq 0.75$)、中高风险区($0.75 < ERI \leq 0.95$)和高风险区($ERI > 0.95$)(图 4)。并对研究区不同“三生”空间类型的生态风险指数的分级所占的面积进行了统计(图 5)。结果表明,研究期间,生态空间生态脆弱度较高、生态环境脆弱,存在较大的生态风险,该空间类型内始终以高、较高风险等级为主,占比达 92.15%。其中,高风险区面积呈逐年递减趋势,近 20 a 减少了 410.08 km²,主要发生在中心城区生活生产空间周边。2000—2010 年,较高风险区减少了

66.73 km²,主要发生在南部山区;到 2018 年,这一类型区域面积增加了 161.24 km²,明显分布在中心城区西南部的生产生态空间附近。其他空间内风险等级相对较低,生态生产空间始终以低和较低风险等级为主。2000—2018 年,随着生活生产空间的扩张,其空间范围由低风险等级升级为中风险等级,生态风险等级加剧,且随着时间推移,中风险区面积持续增加了 589.78 km²。受生活生产空间扩张影响,2000—2010 年生产生态空间风险等级升级,空间内以较低风险区为主,中、较高、高风险区面积均有不同程度增加;2010—2018 年,空间内生态风险等级下降,北部区域的低风险区增加。

表 4 生态风险变异函数的拟合模型参数

年份	拟合模型	块金值(C_0)	基台值(C_0+C)	变程(A_0)	块金系数(C_0/C_0+C)	决定系数(R^2)	残差(RSS)/10 ⁻⁶
2000	指数	0.010 8	0.028 9	24.900 0	0.373 4	0.981 0	5.389 0
2010	指数	0.011 2	0.027 1	30.400 0	0.411 4	0.967 0	2.953 0
2018	指数	0.011 5	0.027 0	34.100 0	0.424 2	0.989 0	2.574 0

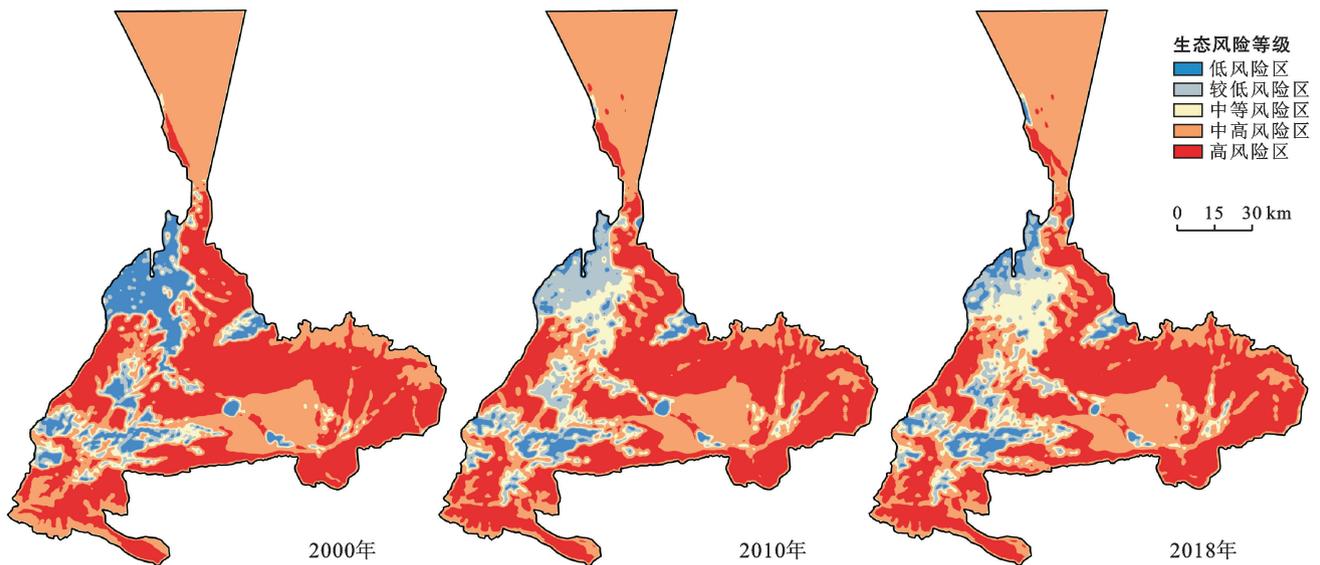


图 4 研究区生态风险空间分布

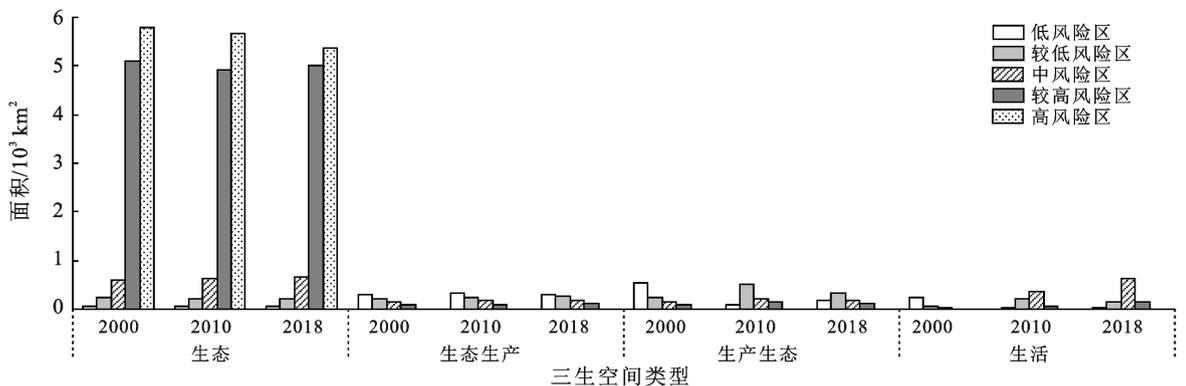


图 5 研究区“三生”空间的生态风险面积变化

生态风险等级之间转化的结果表明,2000—2018年,研究区生态风险大体呈明显上升趋势(图6),风险等级上升的区域面积为1 852.93 km²,风险等级下降的面积为1 711.45 km²,生态风险等级发生变化的区域面积约占总面积的25.57%。在2000—2010年,生态风险等级上升的面积为1 972.81 km²,主要是生活生产空间以及生产生态空间内低、较高风险等级上

升;在2010—2018年,达到399.18 km²,较明显的是生活空间北部较低风险的上升;前一时段是后一时段的4.94倍。生态风险等级下降的面积在前一阶段为1 376.83 km²,主要是高风险等级的下降,而后一时段风险等级下降的面积为779.14 km²。2010—2018年,生态风险等级下降的面积是风险等级上升面积的1.95倍,说明该区域的生态风险程度有所减缓。

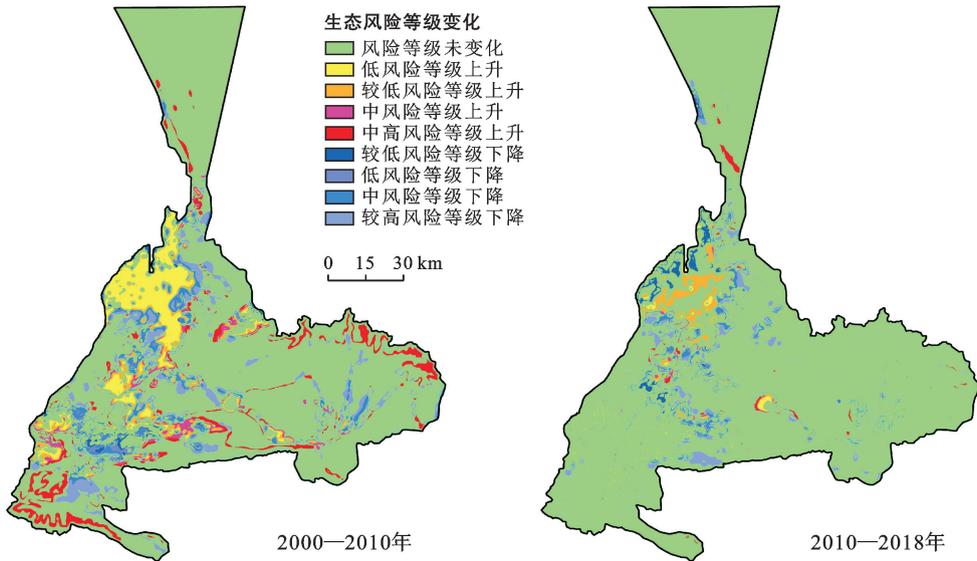


图6 研究区各生态风险等级变化分布

3.2.2 生态风险空间聚集分析 对近20 a“三生”空间生态风险值的Moran's *I* 值进行全局空间自相关检验,2000,2010,2018年Moran's *I* 值分别为0.731 0, 0.708 9和0.698 8。各期Moran's *I* 状态统计值均在267.97以上,远大于0.001置信水平下的3.290 5临界值,且显著性检验 p 值均为0.001,明显小于显著性水平0.05。说明研究区景观生态风险的空间分布不是随机模式,而是呈集聚分布模式,具有明显的空间正相关性。即风险值高的区域,周边区域的风险值也高;风险值低的区域,周边区域的风险值也低。基于LISA指数,研究区“三生”空间生态风险的“热点”“冷点”分布十分突出(图7)。2000—2018年,LISA的低值聚集区主要集中分布在生活生产空间、生产生态空间以及生态生产空间。随着研究区经济快速发展,中心城区不断扩张,低值聚集区范围不断扩大;南部山区的低值聚集区具有较明显的空间变化。高值聚集区主要位于草地生态空间,逐渐由中心城区边缘地区向其周边地区收缩,南部山区的高值聚集区呈逐年减少趋势。整体来看,近20 a研究区生态风险的局部集聚特征变化并不明显。

3.3 生态风险对“三生”空间变化的响应弹性分析

2000—2018年,乌鲁木齐市生态风险对“三生”空间变化的响应弹性呈现出空间分异特征(图8)。其中新市区和头屯河区的弹性系数始终为正,是正响应,即研究区内“三生”空间变化会引起生态风险的增加,且弹性较大,说明较小的“三生”空间变化则会造成生态风险的明显增加,生态环境脆弱。沙依巴克区弹性系数两个时期皆为负,是负响应,即“三生”空间变化有利于生态风险的降低;后期弹性指数减少,“三生”空间变化对生态风险的影响减弱。其他区域生态风险对“三生”空间变化的响应前期为正响应,后期为负响应。天山山区的“三生”空间变化对生态风险的影响始终很强,是生态风险变化的主要驱动力;与之相反,达坂城区、乌鲁木齐县和米东区的“三生”空间变化对生态风险的影响始终很弱。整体来看,2000—2018年,乌鲁木齐市弹性指数呈现下降趋势,虽然随着城市化的快速发展,建设生活用地扩张会造成乌鲁木齐市生态风险提高,但生态风险对“三生”空间变化的响应弹性降低,这表明影响生态风险的因素呈现多样化的特征。

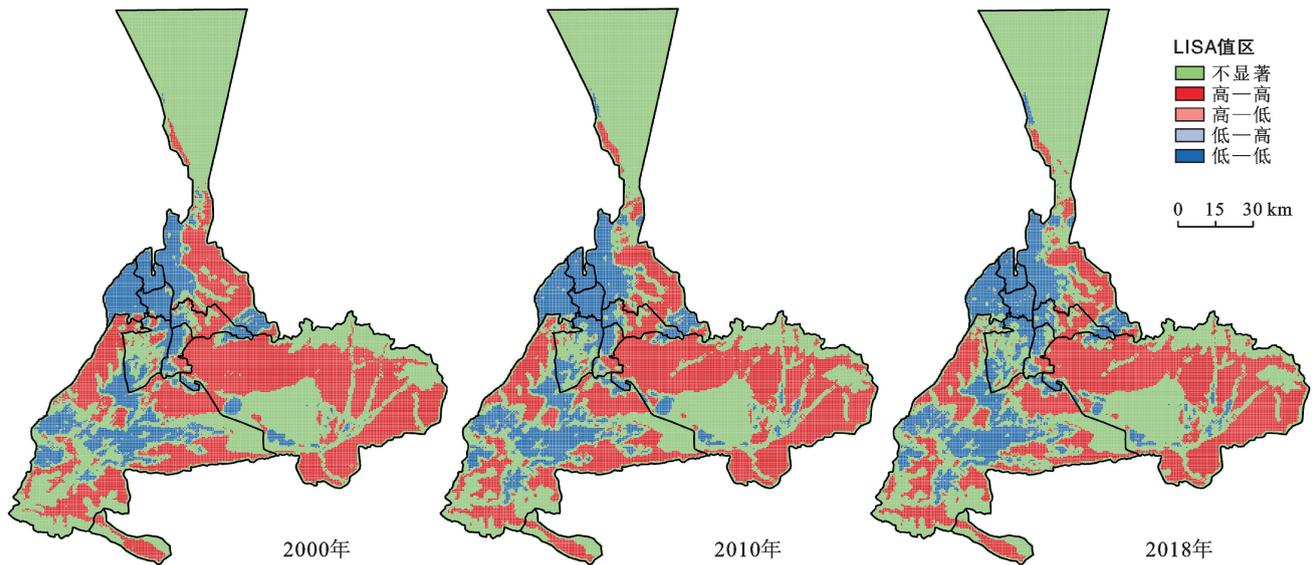


图7 研究区“三生”空间生态风险 LISA 聚集图

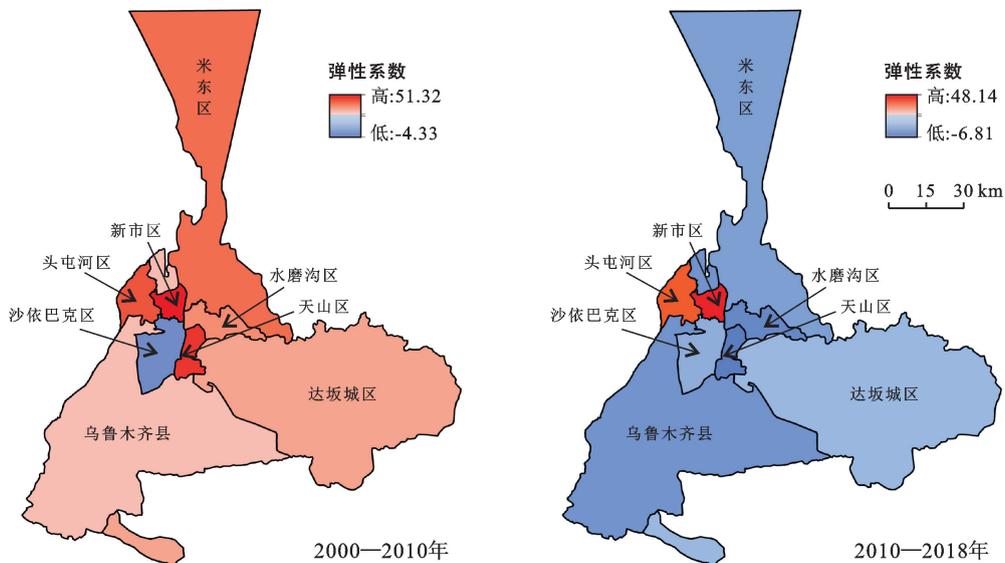


图8 生态风险对“三生”空间变化的响应

4 讨论

在国土空间格局演变方面,以乌鲁木齐市为研究对象的相关成果多认为生活空间是变化最剧烈的空间类型,生产生态空间与生活空间存在比较严峻的矛盾关系,难以实现同步协调发展^[26-27],这与本文的结果相吻合。总的来说,是因为近年来乌鲁木齐市始终以服务型经济为重点发展产业,大量的产业集中区聚集在中心城区周边,对生活生产空间的需求增多,就会通过掠夺生产生态空间以及生态空间等空间类型来满足发展需要,从而使得生活空间明显扩张。但自《乌鲁木齐市城市总体规划(2011—2020年)》所引导构建的城市用地“南控、北扩、先两延、后东进”的空间

布局实施以来,生活生产空间扩张受到限制。需要注意的是耕地的大量减少必会影响到粮食的产量,这是现代经济增长情况下难以避免的趋势,政府要把握好经济发展与耕地保护的平衡点,保证耕地面积的底线。2000—2010年,由于米东区“500水库”的修建,生态生产空间重心向西北方向迁移。同时,随着乌鲁木齐县休闲旅游场所的开发,致使南部空间类型更替较为剧烈“三生”空间重心则整体向南迁移。由此可见,人类对土地资源的改造是空间类型更替变化的主要诱因。

干旱区绿洲城市限制人类生产活动的生态空间,由于其内部的空间类型较为单一,本身的生态脆弱度指数很高,作为主要输出空间类型,它的景观损失度

指数是最大的,因此生态空间的风险值也较高,这与张月^[28]、潘竟虎^[29]等的研究结果基本一致。得益于《乌鲁木齐市土地利用总体规划(2006—2020年)调整完善方案》中加强对耕地特别是基本农田的保护、优化建设用地结构和布局、划定生态保护“红线”等政策的提出,2010—2018年,研究区生态风险区等级明显下降,生态风险程度有所放缓。并且生态风险对“三生”空间变化的响应程度也在减弱,影响生态风险的因素不再只是“三生”空间的类型变化,逐渐呈现多样化的特征。而随着生态风险影响因素的复杂化,在生态风险指数的构建上,就需要从多方面进行综合考虑,在后续的研究中将进一步完善和补充。

5 结论

(1) 2000—2018年,伴随着区域内人类活动的加强,乌鲁木齐市生活生产空间明显增加,增长率达到169.78%,生态生产空间面积平缓上升,生态空间和生产生态空间下降明显,下降率达到4.27%和21.79%;生活生产空间的增速一直处于最大状态,增长主要来自对生态空间中的草地以及生产生态空间的侵占。研究区近20a间的综合动态度达到0.40%。“三生”空间四种类型均呈现重心向南迁移趋势,而生产生态空间相较于其他空间迁移最为明显。

(2) 2000,2010和2018年乌鲁木齐市的生态风险均值分别为0.8409,0.8524和0.8493,呈先增后减趋势。通过空间自相关分析与半方差分析可知,生态风险集聚程度减弱,近20a间,生态空间内以高、较高风险等级为主,占比达92.15%;其他空间内风险等级相对较低,风险等级变化较明显的是生活生产空间和生产生态空间,区域内风险等级上升。

(3) 研究期间,研究区生态风险大体呈明显上升趋势,生态风险等级上升的面积略高于生态风险等级下降的面积。但2010—2018年以生态风险等级下降为主,是生态风险等级上升面积的1.95倍,说明该区域的生态风险程度有所减缓。

(4) 乌鲁木齐市生态风险对“三生”空间变化的响应具有时空分异特征。2000—2018年,研究区弹性指数呈现下降趋势,生态风险对“三生”空间变化的响应弹性降低,这表明影响生态风险的因素呈现多样化的特征。

[参 考 文 献]

[1] 章仁彪.城市文明、城市功能与城市精神[J].同济大学学报(社会科学版),2005(2):29-36.
[2] 念沛豪,蔡玉梅,张文新,等.面向综合区划的国土空间

地理实体分类与功能识别[J].经济地理,2014,34(12):7-14.

- [3] 张红旗,许尔琪,朱会义.中国“三生用地”分类及其空间格局[J].资源科学,2015,37(7):1332-1338.
[4] 黄金川,林浩曦,漆潇潇.面向国土空间优化的三生空间研究进展[J].地理科学进展,2017,36(3):378-391.
[5] 戴文远,江方奇,黄万里,等.基于“三生空间”的土地利用功能转型及生态服务价值研究:以福州新区为例[J].自然资源学报,2018,33(12):2098-2109.
[6] 廖李红,戴文远,陈娟,等.平潭岛快速城市化进程中三生空间冲突分析[J].资源科学,2017,39(10):1823-1833.
[7] 周汝佳,张永战,何华春.基于土地利用变化的盐城海岸带生态风险评价[J].地理研究,2016,35(6):1017-1028.
[8] 杨浩,方超平,林蕙,等.基于县域单元的福建省国土空间开发利用效率评价[J].中国人口·资源与环境,2017,27(S1):109-113.
[9] 李广东,方创琳.城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析[J].地理学报,2016,71(1):49-65.
[10] 叶菁,谢巧巧,谭宁焱.基于生态承载力的国土空间开发布局方法研究[J].农业工程学报,2017,33(11):262-271.
[11] 朱松丽,汪航,王文涛,等.“十二五”期间中国区域低碳经济与国土空间开发格局的协调发展研究[J].中国人口·资源与环境,2017,27(9):135-142.
[12] 张浩,冯淑怡,曲福田.耕地保护、建设用地集约利用与城镇化耦合协调性研究[J].自然资源学报,2017,32(6):1002-1015.
[13] 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.
[14] Wayne G L. Twenty years before and hence; ecological risk assessment at multiple scales with multiple stressors and multiple endpoints [J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2003,9(5):1317-1326.
[15] 陈鹏,潘晓玲.干旱区内陆流域区域景观生态风险分析:以阜康三工河流域为例[J].生态学杂志,2003(4):116-120.
[16] 张云路,李雄,孙松林.基于“三生”空间协调的乡村空间适宜性评价与优化:以雄安新区北沙口乡为例[J].城市发展研究,2019,26(1):116-124.
[17] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].地理科学进展,1999,18(1):83-89.
[18] 王非,毋兆鹏,汪洋,等.基于RS和GIS的塔里木盆地荒漠化动态监测[J].生态学杂志,2017,36(4):1029-1037.
[19] 张兴榆,黄贤金,赵雲泰,等.近10年江苏省土地利用重心与经济重心迁移轨迹对比分析[J].长江流域资源与环境,2011,20(1):14-20.
[20] 王玲.基于土地利用变化的上海市生态风险评价[J].农业科学研究,2018,39(1):10-16.

- Baishuijiang National Nature Reserve in Gansu Province, China [J]. *Ecological Indicators*, 2021, 124(1):1-11.
- [6] Chen Longgao, Yang Xiaoyan, Chen Longqian, et al. Impact assessment of land use planning driving forces on environment [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2015, 55(6):126-135.
- [7] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局[J]. *资源科学*, 2015, 37(7):1332-1338.
- [8] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J]. *地理学报*, 2017, 72(7):1290-1304.
- [9] 黄娟, 李阳兵, 徐倩. 印江县村域“三生用地”的利用结构与空间格局[J]. *西南农业学报*, 2019, 32(2):395-402.
- [10] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应:以长江三角洲核心区为例[J]. *地理科学*, 2018, 38(1):97-106.
- [11] 焦露, 薛哲进, 尹剑, 等. “三生空间”视角下喀斯特地区土地利用转型的生态环境效应:以贵州省为例[J]. *生态经济*, 2020, 36(4):206-212.
- [12] 高星, 刘泽伟, 李晨曦, 等. 基于“三生空间”的雄安新区土地利用功能转型与生态环境效应研究[J]. *生态学报*, 2020, 40(20):7113-7122.
- [13] 赵旭, 汤峰, 张蓬涛, 等. 基于 CLUE-S 模型的县域生产—生活—生态空间冲突动态模拟及特征分析[J]. *生态学报*, 2019, 39(16):5897-5908.
- [14] 苏孝良. 贵州喀斯特石漠化与生态环境治理[J]. *地球与环境*, 2005(4):24-32.
- [15] 苏维词, 潘真真, 郭晓娜, 等. 黔南 FAST 周边典型喀斯特峰丛洼地石漠化生态修复模式研究:以平塘县克度镇刘家湾周边为例[J]. *中国岩溶*, 2016, 35(5):503-512.
- [16] 许玉凤, 陈洪升, 王廷勇. FAST 工程带动周边乡村振兴发展探讨[J]. *合作经济与科技*, 2018(9):36-38.
- [17] 王海. “中国天眼”旅游景区运营研究[D]. 贵州 贵阳: 贵州大学, 2018.
- [18] 陈小静. 新时期平塘县甲茶景区旅游营销提升研究[J]. *农村经济与科技*, 2019, 30(18):160-161.
- [19] 谢叶伟, 刘兆刚, 赵军, 等. 基于 RS 与 GIS 的典型黑土区土地利用变化分析:以海伦市为例[J]. *地理科学*, 2010, 30(3):428-434.
- [20] 李晓文, 方创琳, 黄金川, 等. 西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应:以甘肃河西地区为例[J]. *第四纪研究*, 2003(3):280-290, 348-349.
- [21] 秦泗刚. 城市边缘区土地利用变化及其生态环境效应[D]. 陕西 西安: 西北大学, 2005.
- [22] 冯涛, 石培基, 张学斌, 等. 河谷型城市“三生”空间竞争与生态环境效应:以兰州市为例[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(3):229-234, 241.
- [23] 路昌, 张傲. 东北地区土地利用转型及其生态环境效应[J]. *中国农业大学学报*, 2020, 25(4):123-133.
- [24] 罗刚, 廖和平, 李强, 等. 基于“三生空间”的土地利用主导功能转型及其生态环境响应:以重庆市巴南区为例[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2018, 40(4):105-113.
- [25] 何青泽, 谢德体, 王三, 等. 重庆市北碚区土地利用转型及生态环境效应[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(2):290-296.
- [26] 张杨, 刘艳芳, 顾渐萍, 等. 武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J]. *地理科学*, 2011, 31(10):1280-1285.

(上接第 326 页)

- [21] 巩杰, 赵彩霞, 谢余初, 等. 基于景观格局的甘肃白龙江流域生态风险评价与管理[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(7):2041-2048.
- [22] 肖琳, 田光进. 天津市土地利用生态风险评价[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(2):469-476.
- [23] 侯蕊, 李红波, 高艳丽. 基于景观格局的武汉市江夏区土地利用生态风险评价[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(1):323-330, 403.
- [24] 白立敏, 修春亮, 冯兴华, 等. 基于土地利用变化的长春市生态风险评价[J]. *生态科学*, 2019, 38(3):26-35.
- [25] 陈心怡, 谢跟踪, 张金萍. 海口市海岸带近 30 年土地利用变化的景观生态风险评价[J]. *生态学报*, 2021, 41(3):975-986.
- [26] 卢燕. 乌鲁木齐城市生活空间研究[D]. 湖北 武汉: 华中师范大学, 2018.
- [27] 李宗阳. “三生空间”视角下西北干旱区城市综合承载力研究[D]. 新疆 石河子: 石河子大学, 2019.
- [28] 张月, 张飞, 周梅, 等. 干旱区内陆艾比湖区域景观生态风险评价及时空分异[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(1):233-242.
- [29] 潘竟虎, 刘晓. 疏勒河流域景观生态风险评价与生态安全格局优化构建[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(3):791-799.