

DOI: 10.5846/stxb202011202987

樊影,王宏卫,杨胜天,刘勤,衡嘉尧,高一薄.基于生境质量和生态安全格局的阿勒泰地区生态保护关键区域识别.生态学报,2021,41(19): 7614-7626.

Fan Y, Wang H W, Yang S T, Liu Q, Heng J Y, Gao Y B. Identification of ecological protection crucial areas in Altay Prefecture based on habitat quality and ecological security pattern. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(19): 7614-7626.

基于生境质量和生态安全格局的阿勒泰地区生态保护关键区域识别

樊影^{1,2}, 王宏卫^{1,2,*}, 杨胜天^{1,3}, 刘勤^{1,4}, 衡嘉尧^{1,2}, 高一薄^{1,2}

1 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046

2 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046

3 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875

4 新疆大学旅游学院, 乌鲁木齐 830046

摘要:随着生态文明建设上升为国家战略,生态安全与保护修复格局的识别成为国土空间规划战略中关于生态空间保护的重要内容。为了促进区域生态系统的保护修复及有效管理,从空间尺度上对区域生态安全和修复区域的识别必不可少。利用 InVEST 模型的 Habitat Quality 模块分析了阿勒泰地区 1995 年、2005 年和 2018 年的生境质量变化状况,从生态环境保护的角度出发构建区域生态安全格局,结果发现:(1)1995—2018 年阿勒泰地区生境质量处于中等水平,总体呈下降趋势,说明当地生态系统有不断退化趋势;(2)以生态结构系统性和生态过程完整性为目标,通过 MSPA 分析结合景观连通性识别出 15 块生态源地,处于阿勒泰北部的山间林地和乌伦古湖区域;利用 ArcGIS 软件的 Cost Distance 工具识别出阿勒泰地区有效生态廊道 38 条,长约 2466km,总面积约 80.08km²,其中草地和林地是生态廊道穿越的重点区域;识别出最小阻力路径与生态廊道交叉处的生态节点 52 个,主要分布在草地和林地; (3)通过生境质量与最小累积阻力值识别出三类生态保护关键区域,分别为生态涵养区、生态维护区和生态保育区,结合各类生态保护关键区域的存在生态问题提出不同的生态保护方向。研究结果为阿勒泰地区生态保护修复按照三类生态保护分区分别提出了不同的保护方向,可为阿勒泰地区国土空间生态保护修复关键区域识别和为保障区域生态系统整体保护及可持续发展政策制定提供参考。

关键词:生境质量;生态安全格局;生态保护修复分区;阿勒泰地区

Identification of ecological protection crucial areas in Altay Prefecture based on habitat quality and ecological security pattern

FAN Ying^{1,2}, WANG Hongwei^{1,2,*}, YANG Shengtian^{1,3}, LIU Qin^{1,4}, HENG Jiayao^{1,2}, GAO Yibo^{1,2}

1 College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

2 Key Laboratory of oasis ecology, Ministry of education, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

3 College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

4 College of Tourism, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Abstract: As the construction of ecological civilization has become a national strategy, the ecological space identification has become an important part of the contents of ecological protection in territory development plan. To promote regionally ecological protection, restoration and effective management, it is necessary to analyze and identify regional ecological security and restoration patterns. In this study, Habitat Quality module of InVEST Model is used to analyze Altay

基金项目:国家自然科学基金地区科学基金项目(41861037);国家自然科学基金联合基金(NSFC—新疆联合基金)重点项目(U1603241)

收稿日期:2020-11-20; **修订日期:**2021-03-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wanghw_777@163.com

Prefecture's habitat quality changes in 1995, 2005 and 2018. We constructed regionally ecological security pattern from the perspective of ecological environment protection. The following conclusions were drawn. (1) From 1995 to 2018, the habitat quality in Altay Prefecture was at a medium level and showed a decrease trend which indicated that the local ecosystem had a continuous tendency of degradation. (2) Aiming to maintain systematicness of ecological structure and the integrity of ecological process, based on the morphological spatial pattern analysis (MSPA) combined with landscape connectivity method, there were fifteen ecological sources, which located in the north intermountain forest land and around Ulungur Lake. Thirty-eight effective ecological corridors with a length of about 2466km and about 80.08km² were identified which crossed among the grassland and forest in Altay Prefecture using Cost Distance toolbox of ArcGIS software. Fifty-two ecological nodes were mainly distributed in grassland and forest, which were identified at the intersection of least resistance paths and ecological corridors. (3) According to the habitat quality and the minimum cumulative resistance value, three types of crucial areas for ecological protection were classified, namely ecological conservation area, ecological maintenance area, and ecological breeding area. The research puts forward different ecological protection directions and proposes major tasks according to ecological-environmental problems in different crucial areas for ecological protection. The research provides different directions for ecological protection and restoration. Three ecological protection zones, which can offer references for identification of crucial areas and the comprehensive ecosystem protection and formulate sustainable development policies in Altay Prefecture.

Key Words: habitat quality; ecological security pattern; ecological protection and restoration areas; Altay Prefecture

随着人口的增长和社会经济的发展,人类活动对自然生态系统的干扰不断增大,对生态环境的威胁日益增长,人类对自然资源的需求剧增导致对自然的过度索取,尽管各国已意识到生态环境破坏的严重性,开始将生态保护放在重要的战略地位,但由生态系统退化、破坏引发的灾害并未得到有效缓解,大气污染、海平面上升等问题甚至对人类的生存造成威胁和挑战,生态安全问题在国内外受到越来越多的关注^[1]。在生态文明建设的国家战略背景下,生态安全在国家安全中具有重要的地位和意义,自然资源部将国土空间生态保护修复纳入新职责,对山水林田湖草生命共同体系统进行生态保护修复工程受到国家的高度重视^[2]。“三区三线”是在开展资源环境承载力评价和国土空间生态适宜性评价的基础上划定的,这就需要对生态资源本底进行系统的、全面的评估,保证对生态空间进行科学、完整的识别^[3],思考如何从生态系统功能的完整性和动态平衡性出发,因地制宜地推进生态系统的保护修复和综合治理工作^[4]。识别生态保护关键区域,构建国土空间生态保护修复格局,保护生态系统结构功能完整是当前生态空间保护修复工程面临的严峻挑战,对维持生态平衡、维护生态安全起到关键作用。

如何科学有效地提升生态系统服务价值,改善区域生态安全质量,构建区域生态安全格局已成为研究关注的热点方向^[5],学者们从不同视角对生态安全进行研究,从研究对象看,包括土地利用、绿洲、森林、草原等;从研究尺度看,时间尺度从短期到长期,空间尺度涉及城市、县域、省域、流域等^[6-11]。加强生境质量研究对于生物多样性保护、生态安全格局构建、生态系统服务功能具有重要意义,人类活动对生境产生的影响可以利用 InVEST 模型中的生境质量模块(Habitat Quality Model)来衡量,通过将生物对威胁源的敏感程度和不同类型的土地覆被的适宜度建立联系^[12],根据不同类型的生境对威胁源的敏感程度来评估不同景观下的生境质量状况。该方法可评估一个区域内的生境质量相对高低状况和空间变化情况,故近年来在区域尺度生态环境变化研究方面应用广泛^[13-17]。可以通过研究生境质量和生态安全格局来探索维持区域生态平衡、系统健康和国土生态安全的方向。生态安全格局是对区域生态空间进行国土空间格局优化的空间配置方案,对保障区域生态功能与区域生态安全具有重要意义^[18],故基于生态安全格局识别国土空间生态修复关键区域更具系统性和生态学价值^[19]。

阿勒泰地区是新疆的相对丰水区,也是全国六大林区之一,自然资源种类多样,物种丰富,地貌多样,被国

务院确定为水源涵养型山地草原生态功能区,且《全国主体功能区划》将阿勒泰地区列为阿尔泰山地水源涵养与生物多样性保护功能区。但由于人类生产生活对生态环境造成了许多负面影响,比如上游灌溉面积大幅增加造成乌伦古湖湖面萎缩、滥砍乱伐导致林区面积减少,过度放牧和采矿破坏地表植被导致沙漠化等严重生态危机。本文利用 InVEST 模型和 GIS 技术对阿勒泰地区其生境质量变化状况和生态安全格局进行分析,对其不同时期生境质量状况的研究分析本区域生态环境变化情况,建立点-线-面状的生态安全网络格局,识别并分析阿勒泰地区生态保护的关键区域,以期阿尔泰山地水源涵养与生物多样性保护功能区的生态保护恢复建设与管理提供理论支持,为阿勒泰地区国土空间规划中生态空间的识别和保护提供参考,并为开展国土空间规划做好前期有关生态空间规划上的基础工作,以期阿勒泰地区国土空间生态保护修复关键区域识别和为保障区域生态系统整体保护及可持续发展政策制定提供参考。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

阿勒泰地区地处新疆北部,准噶尔盆地以北,阿尔泰山中段西南麓,总面积 117989.21km²,约占全疆总面积的 7.1%,下辖 6 县 1 市,地区内还分布有新疆生产建设兵团第十师北屯市和 8 个团场。阿勒泰地区是新疆的相对丰水地区,分布有额尔齐斯河、乌伦古河和吉木乃山溪三大水系,较大的湖泊有乌伦古湖和喀纳斯湖;地貌类型复杂多样,主要分布有山地、丘陵、平原和沙漠;自然资源丰富,分布有许多珍稀动植物资源和矿产资源,同时也是全国六大林区之一,被国务院确定为水源涵养型山地草原生态功能区;

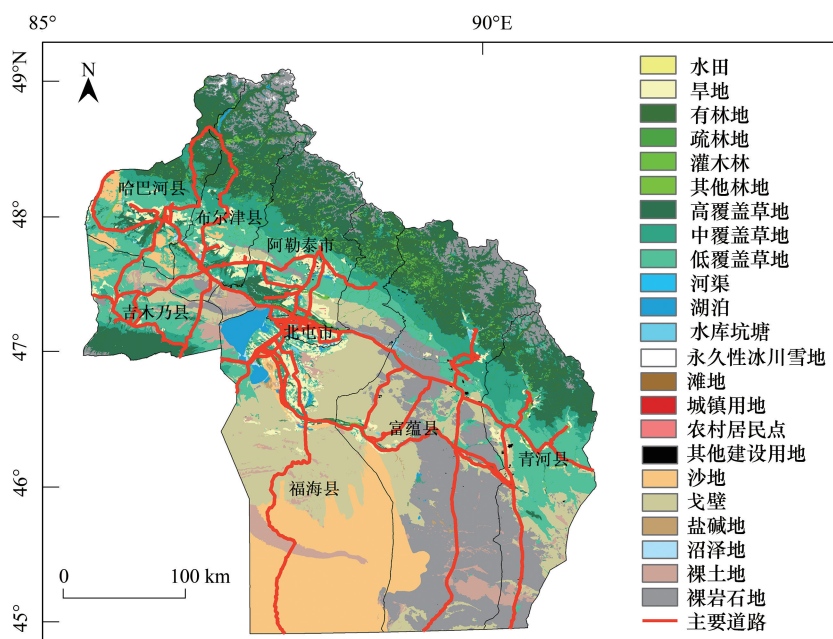


图 1 研究区概况

Fig.1 Research area

1.2 数据来源

阿勒泰地区县级行政边界数据和空间分辨率为 30m × 30m 的 1995、2005、2018 年的土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>);通过 CASA 光能利用率模型计算取得的 NPP 数据空间分辨率为 1km;空间分辨率为 30m × 30m 的高程与坡度数据来源于地理空间数据云网站 (<http://www.gscloud.cn>)。

2 研究方法

2.1 生境质量评估模型

由美国斯坦福大学、大自然保护协会(The Nature Conservancy)与世界自然基金会(World Wide Fund for Nature or World Wildlife Fund)联合开发的 InVEST 模型(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)中的生境质量模块(Habitat Quality model)可以将土地覆盖图与威胁源建立联系,根据不同生境对威胁源的影响距离、影响强度和响应程度计算得到的生境质量来评估不同景观下的生境分布和退化情况,可以反映生态系统多样性状态及其能为物种提供生存条件的潜力水平,已逐步应用于相关研究^[20-21]。

生境质量能够衡量生态系统的生物多样性状态,表示生态系统能够为生物提供生存条件的能力^[22],被认为是 $[0,1]$ 之间从低到高的连续变量。生境质量越接近 1,表示生境质量水平越高;生境质量越接近 0,生境质量水平越低,生境质量的计算公式如下:

$$D_{xj} = \sum_1^r \sum_1^y \left(\frac{\omega_r}{\sum_{r=1}^n \omega_r} \right) \times r_y \times i_{rxy} \times \beta_x \times S_{jr} \quad (1)$$

$$Q_{xj} = H_{ij} \times \left[1 - \left(\frac{D_{xj}^2}{D_{ij}^2 + k^2} \right) \right] \quad (2)$$

式中, D_{xj} 为生境类型 j 中 x 栅格的生境退化度; r 为威胁源; y 为威胁源 r 的栅格数量; ω_r 为威胁因子的权重; r_y 为栅格 y 的胁迫值; i_{rxy} 为栅格 y 中的威胁源 r 对栅格 x 的胁迫水平,分为指数与线性两种作用; β_x 为威胁源到栅格 x 的可达性水平; S_{jr} 为生境类型 j 对威胁源 r 的敏感性; Q_{xj} 为生境质量; H_{ij} 为生境适宜度; k 为半饱和参数,通常取值 2.5。

参考 InVEST 模型指南手册^[23]及相关研究^[24-26]基础上,综合考虑研究区实际情况与人为影响,确定阿勒泰地区的 18 种生境类型,并将耕地、城镇用地、农村居民点、工矿用地、主要道路和未利用地定义为生境的威胁源因子,确定威胁源因子的最大影响距离和权重、不同类型生境的适宜度及各生境对威胁因子的敏感性,设计 Habitat Quality 模块参数表(表 1、表 2)。

表 1 威胁数据

Table 1 Threat Data

威胁源 Threat source	最大胁迫距离/km Max-distance	权重 Weight	空间衰退类型 Spatial decay function
耕地 Cultivated land	8	0.7	线性
城镇用地 Urban land	10	1	指数
农村居民点 Rural land	5	0.6	指数
工矿用地 Industrial and mining land	8	1	指数
主要道路 Main road	3	0.5	线性
未利用地 Unused land	6	0.8	线性

2.2 生态安全格局构建

生态安全格局是对维持区域内生态安全具有重要作用与意义的空间格局,包括对维持某个生态过程具有关键作用的斑块、廊道、区域等。构建生态安全格局需要用到由俞孔坚参考 Knaapen 等的模型和 ArcGIS 的成本距离原理修改确定的最小阻力模型(MCR)^[27],通过设定由生态源地向其他空间单元扩散的最小阻力值表示物种在区域间流动时需要克服的阻力,由此判断生态源地到各空间单元的连通性与可达性。其公式为:

$$MCR = f \min \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} R_{ij}) \quad (3)$$

式中,MCR 是从源 j 扩散到空间某点的最小累积阻力; f 是反映 MCR 与变量 $(D_{ij} \times R_i)$ 生态过程的正比函数; D_{ij}

是目标单元从源 j 到某空间单元 i 穿过的距离; R_i 是区域某空间单元 i 向某个方向运动过程中的阻力系数。

表 2 不同生境类型对不同威胁源的相对敏感程度
Table 2 Sensitivity of habitat type of each threat

土地利用类型 Land use type	生境适宜度 Habitat suitability	耕地 Cultivated land	城镇用地 Urban land	农村居民点 Rural land	工矿用地 Industrial and mining land	主要道路 Main road	未利用地 Unused land
耕地 Cultivated land	0.5	0	0.8	0.6	0.7	0.3	0.4
有林地 Arbor forest land	1	0.7	0.9	0.8	0.8	0.6	0.5
灌木林 Shrub land	1	0.6	0.8	0.7	0.7	0.65	0.4
疏林地 Sparse forest land	0.9	0.7	0.9	0.8	0.8	0.65	0.5
其他林地 Other forest land	0.9	0.7	0.9	0.8	0.8	0.6	0.5
高覆盖草地 High coverage grassland	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
中覆盖草地 Medium coverage grassland	0.8	0.75	0.75	0.75	0.75	0.65	0.7
低覆盖草地 Low coverage grassland	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.6	0.7
水域 Water Body	0.9	0.5	0.6	0.7	0.7	0.5	0.5
城镇用地 Urban land	0	0	0	0	0	0	0
农村居民点 Rural land	0	0	0	0	0	0	0
其他建设用地 Other construction land	0	0	0	0	0	0	0
沙地 Sandy land	0.2	0.3	0.4	0.35	0.6	0.6	0
戈壁 Gobi land	0.3	0.3	0.5	0.45	0.6	0.6	0
盐碱地 Saline and alkaline land	0.1	0.2	0.5	0.45	0.6	0.6	0
沼泽地 wetland	0.6	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3	0
裸土地 Bare land	0.1	0.2	0.5	0.45	0.6	0.6	0
裸岩石质地 Bare rock stony land	0.1	0.2	0.5	0.45	0.6	0.6	0

2.2.1 生态源地识别

生态源地内生态系统比较稳定,具有一定的扩展性,生态服务功能比较完整,可为生物提供良好的生存环境,本文以生态结构系统性和生态过程完整性为目标,通过形态学空间格局分析(MSPA)分析方法与景观连通性评价相结合的方法识别生态源地。

以生境质量最优的林地和水体作为前景要素,利用 GuidosToolbox 软件进行 MSPA 分析,分析结果得到的 7 种景观类型中,最大的斑块为核心区,面积 6452.26km²,占前景要素的 80.23%(表 3),且核心区对景观连通性具有重要意义。再利用 Conefor2.8 软件对核心区斑块进行景观连通性评价,用景观斑块连通性指数(PC)和斑块重要性(dPC)来衡量核心区景观斑块的连通性。评价结果发现,dPC 值小于 2 的核心区斑块面积都较小,景观连通性差,且距离研究区工矿用地都较近,容易受人类活动干扰,不宜确定为生态源地,故将 dPC 值大于 2 的核心区斑块确定为生态源地。

表 3 MSPA 分析景观分类统计
Table 3 Landscape classification statistics of MSPA analyzes

景观类型 Landscape types	面积/km ² Area	占前景要素比例/% Proportion of foreground objects	占总面积比例/% Proportion of total area
核心区 Core	6452.257	80.228	5.469
孤岛 Islet	4.370	0.054	0.004
孔隙 Perforation	29.353	0.365	0.025
边缘区 Edge	1284.619	15.973	1.089
环岛 Loop	4.514	0.056	0.004
连接桥 Bridge	83.748	1.041	0.071
支线 Branch	180.198	2.241	0.153

MSPA: 形态学空间格局分析 Morphological spatial pattern analysis

2.2.2 最小阻力面构建

不同的地理条件与社会经济因素对物种迁徙等生态过程具有不同影响,本文在参考相关研究^[28-32]的基础上,综合考虑到研究区的自然条件(土地覆盖类型、高程、坡度、地形起伏度、NPP)和社会经济因素(距水域距离、距道路距离、距居民点距离),选取 8 个因素构建阻力等级表(表 4),依据生态用地扩张的阻力由小到大设立 1、2、3、4、5 五个阻力等级,依据 AHP 法与专家打分法相结合的方法确定各阻力因子权重,邀请四位研究生态安全、生态敏感程度的专家基于前期收集的资料和相关研究,为阻力等级表内各指标构造的判断矩阵打分,确定目标标度并计算得出 CI 值为 0.067 小于 0.1,通过一致性检验,得到各阻力因子的权重。

表 4 阻力等级表
Table 4 Resistance level

阻力因子 Resistance factors	阻力等级 Resistance Level					权重 Weight
	1	2	3	4	5	
土地覆盖类型 Land Cover Type	林地	草地	水域	耕地	建设用地、 未利用地	0.037
高程 Elevation/m	2378—4370	1681—2378	1117—1681	736—1117	301—736	0.074
坡度 Slope/(°)	30—70	21—30	12—21	4—12	0—4	0.115
地形起伏度 Topographic relief /m	57—321	36—57	21—36	10—21	0—10	0.094
NPP/(gC/m ²)	386.86—648.42	282.01—386.86	178.24—282.01	81.18—178.24	0—81.18	0.229
距水域距离/km Distance from water area	<0.5	0.5—1	1—2	2—3	>3	0.396
距道路距离/km Distance from the road	>5	3—5	1.5—3	0.5—1.5	<0.5	0.030
距居民点距离/km Distance from residential land	>10	5—10	3—5	1—3	<1	0.025

2.2.3 生态廊道识别

生态廊道是连接两个源地,对源地间物种进行交流、迁徙和扩散具有重要意义的路径,本文利用最小累积阻力模型和最小成本路径识别研究区生态廊道,利用 ArcGIS 软件的 Cost Distance 工具将 15 个生态源地的几何中心作为源/汇点,计算每个源地到其它目标源地的最小成本路径,阿勒泰地区共得到 105 条潜在生态廊道。通过剔除重复和经过同一斑块而造成冗余的潜在生态廊道,得到 38 条有效生态廊道,主要从林地、草地和耕地景观类型穿越,一般沿山体边缘、城市边缘、河流沿岸疏林草地分布,这些景观类型生境质量较好。

2.2.4 生态节点识别

生态节点是生态源地之间进行能量、物质交流途中具有关键意义的生态战略点,生态源地间生物正常生态联系主要依赖于生态节点,是生物进行迁徙或活动时最可能停憩的空间,对生态廊道的连通性和生态安全格局的稳定性具有重要作用。由于生态节点周围的景观组分跨度较大,容易受外界干扰,因此生态节点也是生态功能较为薄弱的地点,阿勒泰地区生态节点处于生态廊道交叉处与上述计算得到的最小阻力路径与生态廊道的交点。

3 结果与分析

3.1 生境质量分析

由图 2 和表 5 可以看出生境质量空间分布的总体特征表现为东北高、西南低,山区高,平原低,存在明显的空间分异,生境质量高值区主要集中在研究区北部阿尔泰山区的林地区域,包括哈巴河县、吉木乃县南部的林地和福海县乌伦古湖流域,低值区集中在福海县、富蕴县南部的古尔班通古特沙漠地区和矿区。

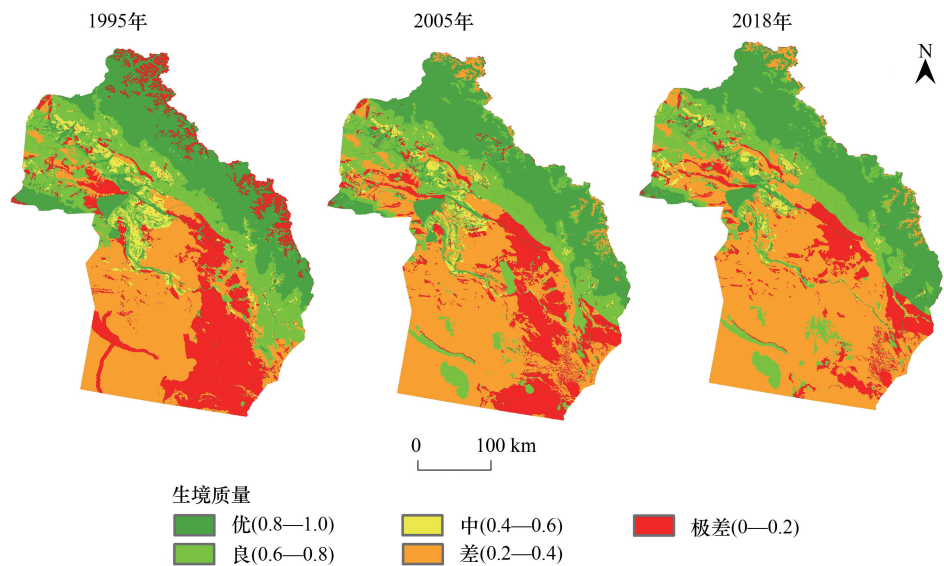


图 2 1995—2018 年生境质量变化

Fig.2 The Changes of habitat quality from 1995 to 2018 in Altay Prefecture

表 5 阿勒泰地区 1995 年至 2018 年生境质量变化统计

生境质量等级 Habitat quality grade	分值区间 Score interval	1995 年			2005 年			2018 年		
		栅格个数 Number of grids/个	比例 Proportion/%	指数均值 average index number	栅格个数 Number of grids/个	比例 Proportion/%	指数均值 average index number	栅格个数 Number of grids/个	比例 Proportion/%	指数均值 average index number
优 Excellent	[0.8,1)	39713421	30.34	0.5041	34190934	26.12	0.4951	33711444	25.76	0.4847
良 Good	[0.6,0.8)	27062235	20.67		24807351	18.95		23980433	18.32	
中 Medium	[0.4,0.6)	3527171	2.69		3973472	3.04		6101114	4.66	
差 Poor	[0.2,0.4)	34135901	26.08		43542465	33.26		45803611	34.99	
极差 Bad	[0,0.2)	26460710	20.21		24385216	18.63		21302836	16.27	

总体来看,阿勒泰地区整体生境质量处于中等水平,平均生境质量在 0.4 以上,呈逐年下降趋势,优、良等级栅格数占比逐年下降,说明阿勒泰地区生态环境有不断退化的趋势。相较于 1995—2005 年的退化趋势,2005—2018 年生境质量退化趋势增强。1995 年阿勒泰地区生境质量指数平均值为 0.5041,其中等级为优、良的栅格数分别占全地区的 30.34%和 20.67%;2005 年生境质量指数平均值下降到 0.4951,等级为优、良的栅格数占比下降到 26.12%和 18.95%;2018 年生境质量指数平均值为 0.4847,较 2005 年还呈下降趋势,优、良的栅格数占比下降到 25.76%和 18.32%,但比 1995—2005 年的下降速率大大减缓。1995 年等级为差、极差的栅格主要分布在富蕴县和北部山区,分别占全地区的 26.08%和 20.21%;2005 年等级为差的栅格数上升至 33.26%,极差的栅格数下降到 18.63%;2018 年等级为差栅格数占比上升到 34.99%,而极差的栅格数下降至 16.27%,生境质量极差的地区大幅减少,生态环境稍有改善。

3.2 生态安全格局分析

由图 3 可知,从土地覆盖类型来看,阻力等级较低的地区主要分布在研究区北部生境质量为优良等级、植被覆盖类型为林地、草地、水域的区域内,处于生态源地较为容易扩张的区域;阻力等级较高的区域多位于南部生境质量较差,土地覆盖类型为沙漠、戈壁、裸岩石地的地区,在此地区缺少连片的大范围水域和林地,生态服务价值较低,不足以达到生态源地选择的条件,且生态源地难以在此发展扩散;地形方面,阻力等级较低的

地区多位于山区,海拔高、坡度大、地势起伏度较大的地区,阻力等级较大的地区位于平原,海拔较低,坡度较为平缓、地势起伏小的地区;从植被净初级生产力水平(NPP)的角度来看,阻力等级低的区域多处于植被覆盖较多且生境质量优良的地区,阻力较低的地区位于南部沙漠、戈壁、盐碱地等植被覆盖少或无植被覆盖的地区;从社会经济因素的角度来看,阻力等级低的地区处于水域附近、远离道路与居民点的地区,阻力等级高的地区位于远离水域、靠近道路与居民点分布的地区。由图4可知,研究区综合阻力值最大为1192866,中高阻力区分布在福海县和富蕴县南部的古尔班通古特沙漠和阔布北-阿克库姆沙漠地区,此地区地貌类型以固定半固定沙丘为主;低阻力区分布在福海县、富蕴县、青河县北部、哈巴河县南部和吉木乃县东部,生态阻力值最小的区域位于阿勒泰北部的阿尔泰山西南麓地区,自然资源丰富,以林草景观为主,海拔高,地势起伏度大,受人类活动影响小,有利于动植物生存与迁徙。阿勒泰地区共识别出15块生态源地,主要分布在阿尔泰山南麓的哈巴河县、布尔津县、富蕴县北部山区和福海县乌伦古湖地区,仅涉及大型林地和水域斑块,且都处于生境质量等级为优良的区域。

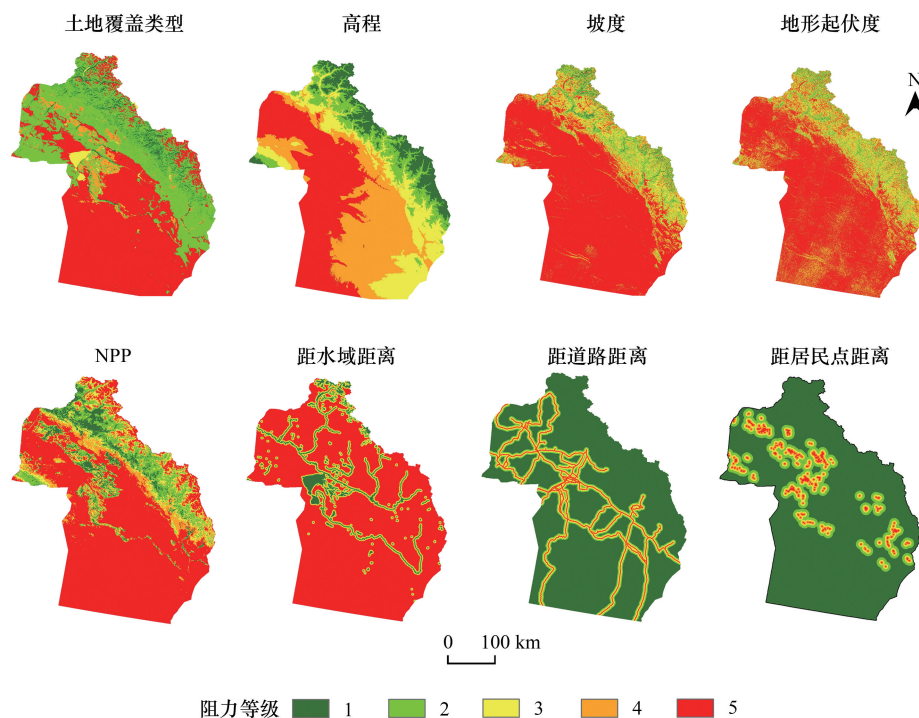


图3 单因子阻力等级

Fig.3 Resistance Level of Single Factor

生态廊道是生态源地间的低累积阻力区,是区域生态保护过程的重要通道,承载着区域内物质循环、能量流动和信息传递,也是生物迁徙的重要途径。阿勒泰地区共识别出38条有效生态廊道,根据区域研究尺度,构建生态廊道200m缓冲区,阿勒泰地区生态廊道长约2466km,总面积约80.08km²(表6),约占研究区域总面积的0.68%。其中,草地是生态廊道的主要景观要素,面积约39.82km²,占生态廊道总面积的49.73%,说明草地不仅是物种重要的栖息地,还对物种迁移具有重要连接作用;其次是林地和未利用地(未利用地主要以裸岩石质地为主),面积约22.25km²和10.22km²,分别占生态廊道总面积的27.77%和12.76%;水体、耕地和建设用地面积占比较小,分别约占生态廊道总面积的5.54%、3.94%和0.24%。

生态节点是“生态源地”之间相互联系且具有关键意义的生态战略点,是生态功能较为薄弱的地点,生态源地间生物正常生态联系主要依赖于生态节点,是生物迁徙或活动时最可能停憩的空间,需要着力保护,提高其连通性。阿勒泰地区共识别出阿勒泰地区生态节点52个,其中25个生态节点分布在草地,其次是林地18个。

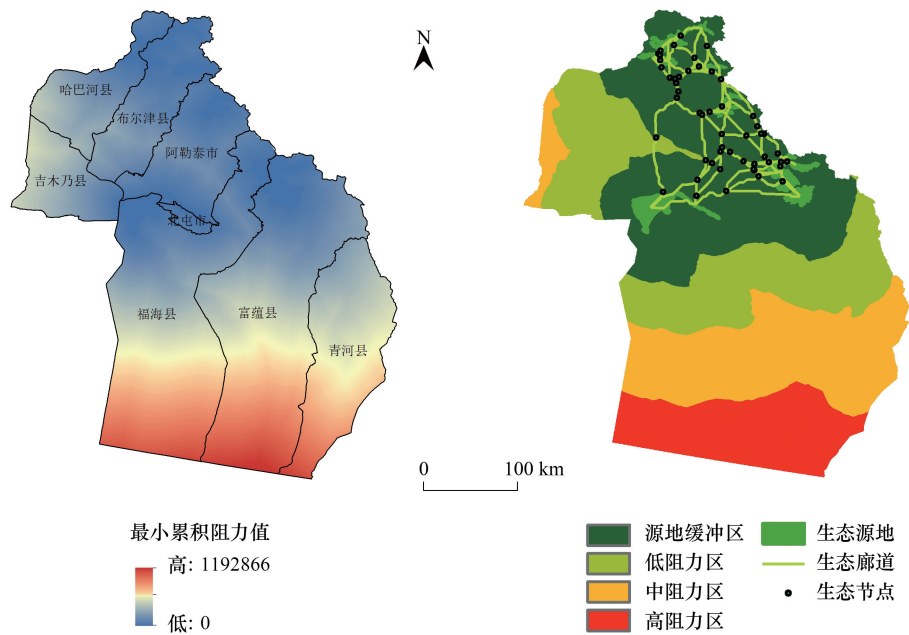


图 4 阿勒泰地区生态安全格局

Fig.4 The Ecological Security Pattern in Altay Prefecture

表 6 阿勒泰地区生态廊道与生态节点景观组成

景观类型 Landscape types	生态廊道 Ecological corridors		生态节点 Ecological nodes	
	面积/km ²	面积占比/%	数量	数量占比/%
	Area	Area Proportion	Number	Number Proportion
耕地 Cultivated land	3.16	3.94	5	9
林地 Forest land	22.25	27.77	18	35
草地 Grass land	39.82	49.73	25	48
水体 Water	4.44	5.54	2	4
建设用地 Construction land	0.19	0.24	0	0
未利用地 Unused land	10.22	12.76	2	4

3.3 生态保护分区

基于 2018 年生境质量与综合阻力面计算结果,将二者等权叠加,形成阿勒泰地区生态保护分区(图 6),将阿勒泰地区分为三类生态保护关键区,分别是生态涵养区,生态维护区和生态保育区,生态涵养区位于生境质量较好,距离生态源地近、生态斑块扩散阻力小的区域;生态维护区处于生境质量较差,生态斑块扩散阻力较大的区域;生态保育区位于生境质量差,生态阻力大、生态斑块难以扩散的区域。

4 讨论

在我国提出“三区三线”国土空间规划战略背景下,生态空间的统筹规划与管理成为国土空间规划的重要组成部分,其要求依据重要生态系统识别的结果,改善生态系统、流域水系的系统性、整体性和连通性,维持自然地貌特征,明确生态屏障、生态廊道和生态系统保护格局,确定生态保护与修复的重点区域,在这种战略背景下,本文以阿勒泰地区为研究区,分析了 1995—2018 年生境质量变化,构建点-线-面状的生态保护格局,并结合两者划分出三类生态保护区。本文从生态空间系统的视角分析了阿勒泰地区的生境质量和生态安全格局,定量评估了生境质量受人类生产生活等活动的影响,突破了以往对区域生态空间研究的传统经验主义

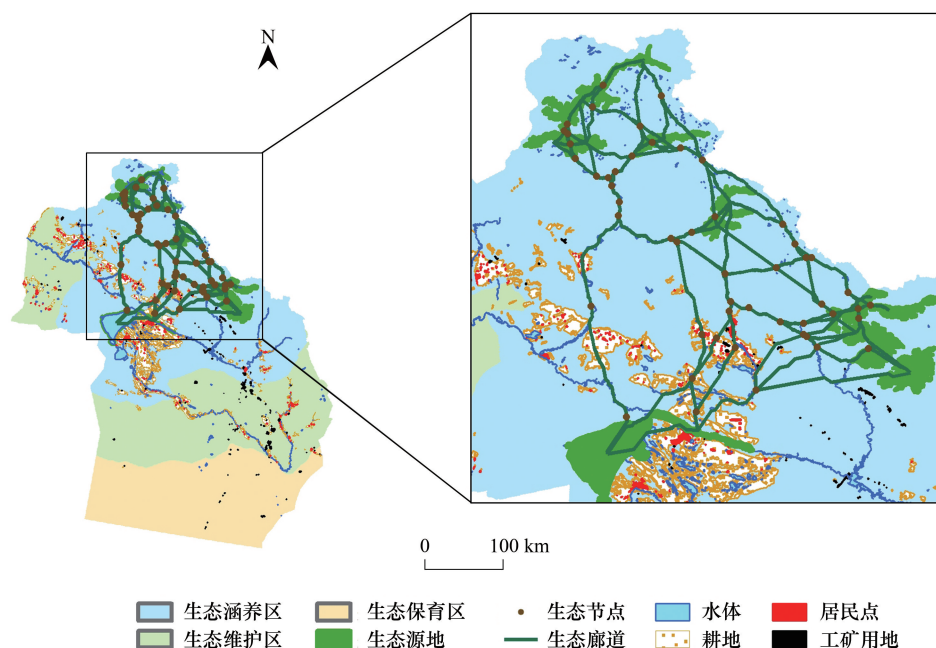


图5 生态保护分区

Fig.5 Ecological Protection Zone

认识。

从生境质量变化来看,阿勒泰地区的生境质量总体处于中等水平且呈下降趋势,阿勒泰地区生境质量为优良的地区主要分布在东北山区,土地覆盖类型以林地、草地为主,分析原因可能是由于东北部地区处于阿尔泰山西南麓,海拔高,地形起伏大,优质牧场也主要分布在生境质量较好的区域,由于受人为生产活动,例如放牧、砍伐森林、采矿等活动影响,1995—2005年生境质量等级为优的区域下降幅度较大,2005—2018年生境质量的下降趋势有所缓解,可能是因为阿勒泰地区2002年起实行的退耕退牧还林还草的建设工程得到了良好的实施,缓解了生境退化速率,同时喀纳斯国家级自然保护区也位于阿勒泰地区北部,对该地区生境质量提升有较好的促进作用;生境质量中等地区分布在城镇周边与绿洲、耕地边缘,受城镇建设、耕作放牧等人类活动的长期影响退化程度高;而生境质量较差的区域主要处于阿勒泰地区南部,土地覆盖类型主要以沙漠和裸地为主,且有矿区大量分布于此,生态环境脆弱,更容易受到人为活动的影响,生态环境破坏较为严重,但总体看来生境质量等级为极差的地区大幅下降,其中变化最为明显的地区在富蕴县中部卡拉麦里自然保护区和矿产资源丰富的地区,可能受到卡拉麦里自然保护区地质环境恢复治理项目和富蕴县自2012年以来对“绿色工业”和可可托海“生态旅游”大力发展、矿山生态治理以及在县城外围周边开荒山绿化、近郊建设多功能生态绿地等工程的影响使得生态环境有所改善。

从生态安全格局的构建来看,研究区中高阻力区分布在福海县和富蕴县南部的古尔班通古特沙漠杯沙漠阔布北-阿克库姆沙漠地区,此地区地貌类型以固定半固定沙丘为主,由于气候原因和人类对自然资源的开发,使得本地区的生态斑块难以扩散;低阻力区分布在福海县、富蕴县、青河县北部、哈巴河县南部和吉木乃县东部,这些地区处于额尔齐斯河流域,更有哈巴河白桦林公园、科克托海湿地公园等自然景观分布在此,生态多样性丰富,生态廊道连通性较好;生态阻力值最小的区域位于阿勒泰北部的阿尔泰山西南麓地区,自然资源丰富,以林草景观为主,海拔高,地势起伏度大,受人类活动影响小,有利于动植物生存与迁徙,生态斑块容易在此区域发展。生态安全格局注重自然生态系统的整体性、复杂性和多样性,注重生态过程的规律性、连通性和完整性,阿勒泰地区拥有典型和独特的生态资源要素,阿勒泰地区生存有北山羊、盘羊、野驴、马鹿等哺乳动物,阿勒泰地区也是许多候鸟迁徙路线上的重要节点,相关研究表明,当生态廊道在100—200m宽度范围时

是保护生物多样性比较适合的宽度^[33],以 200m 为宽度构建研究区生态廊道缓冲区,通过生态廊道将“山、水、林、田、草”等生态系统各要素与生态功能薄弱的生态节点有效地串联起来,实现生态系统整体性、复杂性和多样性,以林地、水体为主要景观的生态源地,通过草地、林地、耕地的生态廊道与分布在廊道交叉点与阻力面交点的生态节点,三者共同构成点、线、面相互交织的生态网络格局。研究区在进行开发建设与生态修复时,应当综合考虑生态安全格局中的生态要素与研究区其他要素之间的相互联系,以实现自然资源的可持续发展,维持良好的生态安全格局有利于维持生态过程的正常进行和生态系统的稳定,为区域内维持良好的生态系统服务和人居环境提供基本保障。

从生态保护关键区的角度看,将生境质量与生态安全格局结合分出三类生态保护区,分别为生态涵养区、生态维护区和生态保育区。(1)生态涵养区分布在北部山地丘陵地区,是额尔齐斯河、乌伦古河和乌伦古湖的源头,起到了非常重要的水源涵养、生物多样性维持、水土保持等功能;在生态涵养区南部是绿洲的核心区域,是阿勒泰人民生活生产的重点区域。生态涵养区生态系统多样,北以森林和草原生态系统主导,南以湖泊生态系统和河流生态系统为辅,山区内生物、矿产资源丰富,平原地区是牧、水、农等生态产品的主要生产供给区域,生态源地与生态廊道也分布在此,生态涵养区是阿勒泰地区生态保护修复的关键区域,保护好此区的生态环境对阿勒泰地区乃至全疆都至关重要。生态涵养区主要存在的生态环境问题包括由于过度放牧造成的草原生态系统功能降低,阿勒泰地区牧区一带,饲草料地多为三、四类地,土地贫瘠,水利基础设施不完善^[34],再加上露天开矿破坏了地貌植被,引起森林老化退化、草场牧场退化、水土流失等问题,造成生态系统涵养功能下降,生物多样性受到威胁等问题;在两河一湖流域地区存在水利工程开发造成了湿地萎缩、土壤盐渍化、乌伦古湖水质降低等问题,人类生产生活导致河谷林地退化、城镇和农牧区人为活动污染大、生态环境治理能力较弱等问题。对于生态涵养区的保护,要确保生态安全,突出生态功能,尊重自然风貌,合理利用自然资源,以优化生态空间为主,首先应加强三北防护林建设,明确每个林场管护站的生态保护职责,在自然保护区、珍稀动物栖息地等自然保护核心地区要按照禁止开发区域的管控要求严格加大封育力度,减少人为扰动;在适宜开发的林区合理开发资源,保证森林资源的更新和再生,但同时加强动态监测,防止森林火灾和乱砍滥伐现象的产生;在平原农区加强防护林体系建设,营造防风减害、改良土壤属性、能够调节农田小气候的农田防护林生态屏障。同时要加强草原资源的保护,加强对阿尔泰山南麓山地林牧区的牧场草场管理,以保护草原生态环境为前提,提高草原畜牧业规模化养殖、专业化生产、实施科学化管理,发展稳定优质、高产高效的现代化草原畜牧业;其次要加强生态安全网格局的建设,加强对生态源地的保护力度,保证生态源地生态系统的完整性,增强生态廊道的连通性,保证生态节点处生态系统稳定性,保证生态斑块向外辐射能够达到最大范围,按照景观类别的不同对生态廊道和节点进行分类建设,依照主导景观类型合理发挥生态功能,以草地、林地为主导景观的生态廊道和节点应以保护修复为主,合理丰富廊道内植被群落,保证廊道和节点内的生态稳定,以耕地为主导景观的生态廊道与节点应以维持农田小气候稳定为主,借助农田防护林的构建来提高耕地的生态服务价值,以水域为主导景观的生态廊道与节点应以保护水域完整性为优先,限制开发以保护以水域为栖息地的生物生存空间,以裸岩石质地为主导景观的生态廊道与节点应以加大封育力度,保证生态系统不受人为干扰,保护野生动植物的生存环境。(2)生态维护区处于哈巴河县、吉木乃县的西部和阿勒泰地区中部的乌伦古河下游地区,地形东高西低,地貌类型以戈壁和裸岩石质地为主,并存在部分低覆盖草地、沙地和沼泽地。生态维护区是阿勒泰地区生态保护维护的重点区域,东部山区矿产资源丰富,但生态环境脆弱,生境质量较差,容易受到外界影响因素的破坏导致环境恶化,主要存在的环境问题是土地贫瘠、草场退化、荒漠化风险高、农田开垦导致地下水位下降以及采矿引起的植被破坏、水土流失、地面沉降、地下水污染等问题导致的生物多样性的破坏。对于生态维护区的保护,需提高国土空间韧性,保障区域生态安全,平原地区要以流域保护为主,山区要以水土保持为主,矿区生态修复为辅,重点加强乌伦古河下游农区平原林地保护和建设力度,加强额尔齐斯河、乌伦古河流域沼泽地、湿地的保护与恢复,沿河两岸城镇生活污水治理设施建设,防止生活污水污染河流问题的发生。东部山区森林全面推行封山育林改造,确保基础性生态用地处于稳定状态,

矿区恢复以改善工矿企业生态环境为重点,分清历史遗留和新开采区域,分阶段、分批次限期进行治理,有计划指导企业搞好复垦和生态修复工作,严格把控采矿区,选厂附近、尾矿库等生产区生态修复工作,加大污染治理补助金的支持,鼓励企业大力开展生态修复工程建设,对于废弃矿区需结合“宜耕则耕、宜林则林、宜草则草、宜牧则牧、宜水则水”的原则并结合周边生态环境,与政府规划相衔接,进行矿山废弃地治理与生态修复活动。(3)生态保育区位于阿勒泰地区南部,该地区属于低山陵荒漠区,人口集聚度低,地貌类型以戈壁荒漠为主,常年无地表径流,降水量稀少,生态环境十分脆弱,是荒漠化防治和生物多样性保护的重点区域。对于生态保育区的保护,要以生态系统结构和功能保护修复为重点,提升生态功能,优化生态空间格局,以遏制土地沙漠化根本,重点维护荒漠植被,恢复和扩大荒漠灌木林面积,由于生态保育区所处区域气温高、空气干燥、地表裸露,风沙作用强烈,靠自然恢复和自我更新非常困难,可以依靠人工辅助进行生态治理,建设乔灌草复合防护林体系,减少水土流失,改良土壤属性,稳固土壤结构,改善生态环境,使生存在本地区的物种有条件扩大规模数量。因在荒漠地区实行人工治理耗费人力大,可以与政府扶贫计划、相关企业相结合,利用“免灌溉管件防护荒漠造林新技术”和“设施防护管育苗与机械化移栽一体化荒漠造林技术”^[35],从育苗到移栽到造林的全过程将生态治理与沙漠产业有机结合,实现生态治理与精准扶贫的共赢;对于分布在生态保育区内的卡拉麦里有蹄类自然保护区应因地制宜,着力保护自然保护区内的自然资源,减少人为破坏野生保护动物的生存环境。

《山水林田湖草生态保护修复工程指南(试行)》中指出,生态保护修复工作应坚持生态优先、绿色发展的原则,以自然修复为主,人工修复为辅^[36]。保护生态空间多样性与生物多样性应当依据不同地区的实际情况合理选择自然恢复、生态保育、辅助再生和生态重建等措施,恢复受损生态系统结构和功能,增强生态系统稳定性。所以本文针对不同生态保护分区存在的问题提出不同的生态保护措施,以提高研究区整体的生境质量,有助于区域国土空间优化和为当地分类分批完善区域生态保护体系提供理论支持。

本文在进行生态保护分区时通过生境质量和生态安全格局相结合的方法将因子和结果均落实到空间的每一个“点”上,从而大大提高了结果的可视化与实用性,本研究参考现有研究和研究区实际情况选取不同的威胁源因子与阻力因子,选用层次分析法与专家打分法相结合的方式依据研究区实际情况确定权重,存在一定的主观性,对于不同威胁源与阻力值的划定是否对生境质量和生态安全格局产生影响尚有待进一步研究,对于生态安全分区的有效性可以进一步在时间和空间上进行验证。

参考文献(References):

- [1] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354-358.
- [2] 王夏晖, 何军, 饶胜, 蒋洪强. 山水林田湖草生态保护修复思路与实践. 环境保护, 2018, 46(3/4): 17-20.
- [3] 王亚飞, 樊杰, 周侃. 基于“双评价”集成的国土空间地域功能优化分区. 地理研究, 2019, 38(10): 2415-2429.
- [4] 方莹, 王静, 黄隆杨, 翟天林. 基于生态安全格局的国土空间生态保护修复关键区域诊断与识别——以烟台市为例. 自然资源学报, 2020, 35(1): 190-203.
- [5] 王丽娜, 李爽, 吴迪, 邓红兵, 吴钢. 景观生态学: 生态安全研究与实践的重要途径. 生态学报, 2020, 40(22): 8028-8033.
- [6] 刘壮壮, 吴未, 刘文锋, 申立冰. 基于“源地-廊道”生态安全格局构建逻辑范式的建设用地减量化研究. 生态学报, 2020, 40(22): 8230-8238.
- [7] 吕梦婷, 王宏卫, 杨胜天, 王慧, 刘香云, 王媛媛, 王盼. 生态视角下绿洲乡村聚落空间格局及优化研究: 以新疆博乐市为例. 生态与环境学报, 2019, 35(11): 1369-1377.
- [8] 刘晓阳, 曾坚, 贾梦圆, 张森. 闽三角城市群生态安全格局构建及城镇扩展模拟. 生态学报, 2020, 40(21): 7873-7885.
- [9] 何珍珍, 王宏卫, 杨胜天, 方斌, 张兆勇, 刘香云. 渭干河-库车河绿洲景观生态安全时空分异及格局优化. 生态学报, 2019, 39(15): 5473-5482.
- [10] 毛诚瑞, 代力民, 齐麟, 王炎, 周旺明, 周莉, 于大炮, 赵福强. 基于生态系统服务的流域生态安全格局构建——以辽宁省辽河流域为例. 生态学报, 2020, 40(18): 6486-6494.
- [11] 陈影, 哈凯, 贺文龙, 王志涛, 冯菲, 门明新, 丁庆龙. 冀西北间山盆地景观格局变化及优化研究——以河北省怀来县为例. 自然资源学报, 2016, 31(4): 556-569.

- [12] 陈妍, 乔飞, 江磊. 基于 InVEST 模型的土地利用格局变化对区域尺度生境质量的评估研究——以北京为例. 北京大学学报: 自然科学版, 2016, 52(3): 553-562.
- [13] Pal S, Talukdar S, Ghosh R. Damming effect on habitat quality of riparian corridor. *Ecological Indicators*, 2020, 114: 106300.
- [14] 杜腾飞, 齐伟, 朱西存, 王鑫, 张瑜, 张蕾. 基于生态安全格局的山地丘陵区自然资源空间精准识别与管制方法. 自然资源学报, 2020, 35(5): 1190-1200.
- [15] 梁鑫源, 金晓斌, 朱凤武, 何杰, 张晓琳, 张孟真, 樊应凭, 胡静, 周寅康. 长江中下游平原区生态保护红线的划定——以江苏省为例. 生态学报, 2020, 40(17): 5968-5979.
- [16] Marshall N T, Stepien C A. Macroinvertebrate community diversity and habitat quality relationships along a large river from targeted eDNA metabarcoding assays. *Environmental DNA*, 2020, 2(4): 572-586.
- [17] 戴俊鸿, 叶长盛, 黄小兰. 南昌市景观格局及生境质量变化评估. 环境生态学, 2020, 2(9): 45-54.
- [18] 彭建, 赵会娟, 刘焱序, 吴健生. 区域生态安全格局构建研究进展与展望. 地理研究, 2017, 36(3): 407-419.
- [19] 吴健生, 岳新欣, 秦维. 基于生态系统服务价值重构的生态安全格局构建——以重庆两江新区为例. 地理研究, 2017, 36(3): 429-440.
- [20] 武丹, 李欢, 艾宁, 黄涛, 顾继升. 基于 CA-Markov 的土地利用时空变化与生境质量预测——以宁夏中部干旱区为例. 中国生态农业学报, 2020, 28(12): 1969-1978.
- [21] 程爱国, 程鹏, 吴楠. 基于 InVEST 模型的区域生境质量对土地覆被变化的响应——以合肥市为例. 安徽农学通报, 2020, 26(18): 60-66.
- [22] 李胜鹏, 柳建玲, 林津, 范胜龙. 基于 1980—2018 年土地利用变化的福建省生境质量时空演变. 应用生态学报, 2020, 31(12): 4080-4090.
- [23] Sharp R, Tallis HT, Ricketts T. InVEST 3.2.0 user's guide. (2017-10-08). https://storage.googleapis.com/invest-users-guides/InVEST%203.2.0%20User's%20Guide_Chinese%20Version_20171008.Pdf
- [24] 和娟, 师学义, 付扬军, 张燕. 汾河源头区域土地利用及生境质量时空演变的多情景模拟. 水土保持研究, 2020, 27(5): 250-258.
- [25] 刘方田, 许尔琪. 基于土地利用的新疆兵团与非兵团生境质量时空演变的对比. 应用生态学报, 2020, 31(7): 2341-2351.
- [26] 朱增云, 阿里木江·卡斯木. 基于地理探测器的伊犁谷地生境质量时空演变及其影响因素. 生态学报, 2020, 39(10): 3408-3420.
- [27] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. 生态学报, 1999, 19(1): 8-15.
- [28] 朱捷, 苏杰, 尹海伟, 孔繁花. 基于源地综合识别与多尺度嵌套的徐州生态网络构建. 自然资源学报, 2020, 35(8): 1986-2001.
- [29] 李恒凯, 刘玉婷, 李芹, 王秀丽. 基于 MCR 模型的南方稀土矿区生态安全格局分析. 地理科学, 2020, 40(6): 989-998.
- [30] 卢慧婷, 严岩, 赵春黎, 吴钢. 雄安新区多尺度生态安全格局构建框架. 生态学报, 2020, 40(20): 7105-7112.
- [31] 杨亮洁, 王晶, 魏伟, 杨永春, 郭泽呈. 干旱内陆河流域生态安全格局的构建及优化——以石羊河流域为例. 生态学报, 2020, 40(17): 5915-5927.
- [32] 徐彩仙, 巩杰, 李焱, 燕玲玲, 高秉丽. 基于地形梯度的甘肃白龙江流域典型生态系统服务分布特征. 生态学报, 2020, 40(13): 4291-4301.
- [33] 朱强, 俞孔坚, 李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度. 生态学报, 2005, 25(9): 2406-2412.
- [34] 罗鹏飞, 张琦. 新疆阿勒泰地区草牧业发展现状研究. 吉林畜牧兽医, 2020, 41(3): 55-57.
- [35] 高洁. 新疆维吾尔自治区天山学者特聘教授麻浩: 科学治理荒漠 理论实践并行. 中国高科技, 2020, (14): 5-9.
- [36] 王献辉, 花剑岚, 李萍, 陈勇. 水生态保护与修复工程的评估指标研究. 江苏水利, 2012, (8): 8-10.