

赵学鹏,王媛媛,卢龙辉. 基于生态系统服务价值的艾比湖流域绿洲生态用地安全格局构建——以博尔塔拉蒙古自治州为例[J]. 江苏农业科学,2021,49(14):213-219.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.14.038

基于生态系统服务价值的艾比湖流域绿洲生态用地安全格局构建

——以博尔塔拉蒙古自治州为例

赵学鹏¹, 王媛媛², 卢龙辉³

(1. 昌吉学院, 新疆昌吉 831100; 2. 兰州大学资源与环境科学学院, 甘肃兰州 730000;

3. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 10093)

摘要:生态用地对西北干旱区绿洲生态安全具有重要性作用,绿洲生态用地安全格局的构建是促进绿洲绿色健康发展和生态保护的重要通道。以艾比湖流域新疆维吾尔自治区博尔塔拉蒙古自治州为例,以 2016 年土地利用现状为基础,采用生态系统服务价值分析的综合结果确定生态源地,再利用最小累积阻力模型,结合 GIS 空间技术,进行绿洲生态用地的识别与安全格局的构建,并以土地覆盖类型、高程、坡度、地形起伏度、植被指数(NDVI)、土壤侵蚀度、距河流距离、距道路距离、距居民点距离为阻力因子,参照生态系统服务价值等级,最终生成生态核心区、生态缓冲区、生态过渡区、生态脆弱区等 4 个不同的典型绿洲生态用地安全格局。结果表明,典型绿洲生态用地核心区的面积为 12 172.85 km²,占研究区总面积的 48.96%;生态缓冲区的面积为 6 961.60 km²,占研究区总面积的 28.00%;生态过渡区和生态脆弱区面积分别是 3 910.93、1 817.48 km²。进而确定 4 种安全水平的生态用地范围、“源”与外部联系的辐射廊道、“源”间相互联系的关键廊道、生态节点等。典型绿洲生态用地安全格局的构建,能够为研究区绿洲生态规划和绿洲空间布局规划等提供科学有效的参考。

关键词:生态用地;生态系统服务价值;最小累积阻力模型;艾比湖流域;安全格局

中图分类号: X321 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)14-0213-07

土地是人类社会生存和发展最根本的物质保障^[1]。生态土地是一种非生产性和非建设性的土地利用类型,其重点是行使生态功能和稳定区域生态平衡^[2]。随着社会经济的快速发展和城镇化的加速,建设用地需求越来越高,使得原有的大量优质生态用地被侵占,进而导致生物多样性遭到破坏、水土流失恶化、荒漠化现象更加严峻、水文调节

能力下降、沙尘暴天气日益增多等生态环境问题^[3-5]。艾比湖流域作为我国西北干旱区典型绿洲内部流域,其生态用地安全格局的构建是促进当地生态环境可持续发展的重要举措。目前,国内外对生态土地安全模式的发展进行了各种研究。周锐等从生态需求角度出发,结合 GIS 空间技术,以河南省平顶山新区低生态区、中生态区和高生态区为基础,以生态基础面积为源,以目前土地覆盖面积为阻力因子,运用最小累积阻力模型建立低生态区、中生态区、高生态区综合安全格局^[6]。朱敏等在对海南省海口市 1991、2016 年生态用地时空变化进行对比研究的基础上,利用最小累积阻力模型,基于

收稿日期:2020-11-04

基金项目:新疆昌吉州社科联重点项目(编号:19ZSKL001);新疆昌吉州社科联一般项目(编号:19ZSKL013)。

作者简介:赵学鹏(1991—),男,甘肃武威人,硕士,助教,从事区域生态环境与旅游开发与保护研究。E-mail:942010430@qq.com。

[32] 祁俊青,于文金,谢涛,等. 云南省干旱灾害时空变化特征[J]. 江苏农业学报,2019,35(3):631-638.

[33] 赵根良. 我国自然灾害应急物流现状与发展对策[J]. 吉林工程技术师范学院学报,2013,29(6):36-38.

[34] Wilhite D A, Hayes M J, Knutson C, et al. Planning for drought: moving from crisis to risk management[J]. Journal of the American

Water Resources Association, 2000, 36(4): 697-710.

[35] 唐明,邵东国. 旱灾风险管理的基本理论框架研究[J]. 淮水利科技,2008(1):7-9.

[36] 龙文婷. 旱灾防治法制机制研究[C]//中国环境资源法学会第一次会员代表大会暨中国环境资源法学会 2012 年年会论文集. 成都,2012:1155-1159.

单因子与阻力系数,以及景观联系与多重叠加效应对海口市生态用地安全格局进行科学分析与构建^[7]。潘竞虎等以干旱内陆区主要生态环境为切入点,利用空间主成分分析法构建阻力面,并对江西省赣州地区的生态功能进行网络优化^[8]。荣冰凌在筛选研究区重要生态源和关键节点的基础上,利用水体和交通缓冲区构建城市生态用地网络空间^[9]。闫玉玉等利用景观安全格局方法确定生态用地保护的规模、布局,进而实现生态用地的分级保护,并确定生态用地保护的最低需求和最优格局^[10]。另外,在西北干旱区、北方农牧交错带等特定区域中,生态用地的相关研究不断增加^[11-12]。但鲜有研究者基于生态系统服务价值综合评定结果构建绿洲生态用地的安全格局。本研究基于生态系统服务价值综合结果,利用最小累积阻力模型(简称 MCR 模型),选取生态系统服务价值较高的水域为绿洲生态用地源地,并以其综合结果为基础生成阻力面,划分生态用地保护区,识别关键廊道、辐射廊道、生态节点等组分,形成有机生态网络,最终形成艾比湖流域绿洲生态用地安全格局。这种生态用地的安全格局可以促进流域生态环境协调发展,并保障研究区生态用地的生态效益最大化。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

博州即博尔塔拉蒙古自治州,位于新疆维吾尔自治区西北部(44°02′~45°23′N、79°53′~83°53′E),地处亚欧大陆腹地、准噶尔盆地西缘、北天山西部,西、南、北三面环山,中间是扇形谷底平原,西面狭窄,东面开阔。多年平均气温为 6.05℃,年均降水量为 177.31 mm,年均蒸发量为 1 551.38 mm。这是典型的大陆性干旱荒漠气候。南北两侧山地、中部的博尔塔拉谷地和东部艾比湖盆地这 3 个主要单元构成了博州地貌(图 1),地势从东向西逐渐增高。博州是一个农牧结合的地州,宜农、宜牧、宜林、宜渔,但是近几年盲目开垦,不合理的土地开发利用使生态环境脆弱现象明显,问题较突出^[13]。

1.2 数据来源

本研究数据包括土地利用与覆被数据(来自博州土地利用第 2 次调查数据(2016 年,比例尺 1:500 000 000)。此外,数据还包含研究区同期遥感数据(分辨率 30 m)、数字高程模型(DEM)和坡度(分辨率 30 m)来自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)、土壤侵蚀数据和归一化植被指数(NDVI)数据来自中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>)。

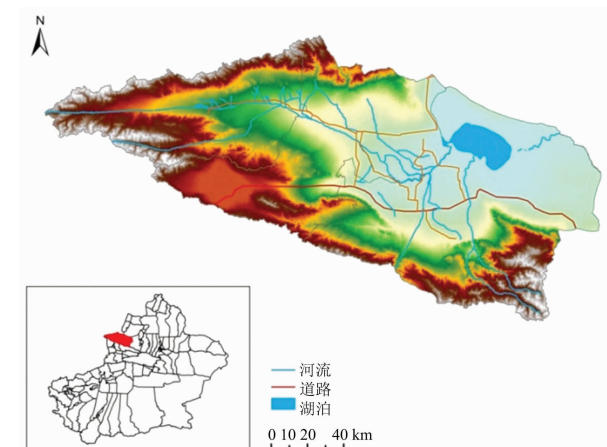


图1 研究区位置示意

www.gscloud.cn/)、土壤侵蚀数据和归一化植被指数(NDVI)数据来自中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>)。

1.3 生态系统服务价值计算

1.3.1 计算模型 运用 Costanza 等提出的生态系统服务价值模型求艾比湖流域绿洲生态用地生态系统服务价值^[14],计算公式如下

$$ESV = \sum (vc_k, A_k)。$$

式中:ESV 表示生态系统服务总价值; vc_k 表示生态用地 k 的生态服务价值系数; A_k 表示生态用地面积。

1.3.2 生态系统服务价值的确定 参考谢高地等的研究成果^[15],并根据艾比湖流域博州土地利用现状可知,博州具有生态功能的土地类型中,耕地受人类干扰较大,生态副作用明显;未利用地包括裸地、沙地和盐碱地,生态服务价值低(图 2)。故本研究选取水域、林地、草地、园地 4 类用地作为艾比湖流域博州生态用地。其中,水域包括河流、湖泊、坑

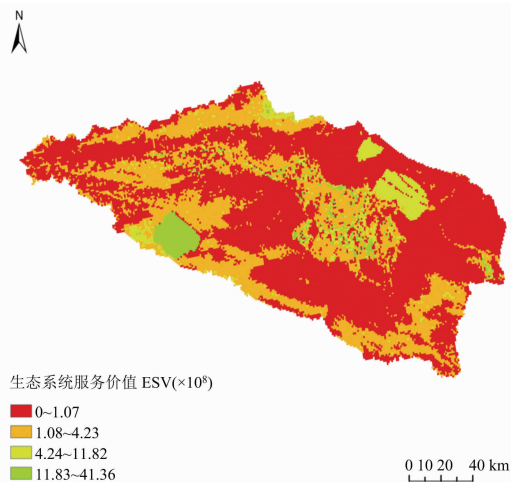


图2 博州生态用地生态系统服务价值分布

塘水面、沼泽地、永久性积雪、沟渠和水库;林地包括灌木林地、有林地和其他林地;草地包括天然牧草地、人工牧草地和其他草地。自谢高迪等^[15]以来,基于 Costanza 等的评估模型^[14],在此基础上得出的是中国在国家一级单位面积的陆地生态系统的生态服务价值,而没有考虑到国家甚至更低水平单位面积的生态系统服务价值。

根据博州土地利用的实际情况,本研究以谢高地等相关研究成果^[15]为参考,对我国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量因子表进行修正^[16-19],并确定州域尺度的单位面积生态系统服务价值(表 1)。

表 1 博州生态用地单位面积生态系统服务价值

生态系统功能	生态系统服务价值			
	林地	草地	水域	园地
气体调节	6 016.70	1 098.66	2 283.65	123.12
气候调节	5 404.10	1 401.48	15 421.54	337.96
水源涵养	5 646.08	1 150.37	23 318.72	9 151.06
土壤形成与保护	5 883.38	2 383.19	1 976.02	180.24
废物处理	2 358.62	2 017.29	22 939.64	8 312.22
生物多样性保护	6 107.04	2 129.40	4 756.55	1 515.38
食物生产	385.57	1 167.06	589.22	64.94
原材料生产	4 232.55	425.48	335.22	45.77
游憩文化	2 717.67	193.54	7 106.73	2 168.34
合计	38 751.71	11 966.47	78 727.29	21 899.03

1.4 绿洲生态用地安全格局的构建

1.4.1 “源”的确定 绿洲生态用地的“源”是物种迁徙和维持的基地,是生态保护最适宜的用地,对保障区域的生态安全具有重要作用^[20]。生态源地是决定生命土地安全和健康的关键区域^[21]。博州是一个农牧结合的地州,宜农、宜牧、宜林、宜渔。土地利用类型丰富,植被覆盖率相对较高,旅游资源和生物多样性丰富^[22]。由表 1 可知,博州生态用地中水域的单位面积生态系统服务总价值最高,故选取水域作为博州生态用地的保护源地。

1.4.2 最小累积阻力面的建立 最小累积阻力面代表生态用地间连通和联系过程中必须克服的最小累积阻力,并反映物种空间运动的趋势^[23]。基于 ArcGIS 10.2 中的成本距离模块,本研究使用最小累积阻力(MCR)模型来确定生态土地之间景观流的空间运动阻力区域。考虑到博州的实际情况及资料的可获取性,选取与研究区生态过程相关性高的影响因子作为阻力因子,包括土地覆被类型、高程、坡度、地形起伏度、植被覆被指数、土壤侵蚀度、距河流距离、距道路距离、距居民点的距离等 9 个阻力因子分别建立阻力面(图 3),并利用层次分析方法确定权重,在确定单因素阻力时,将阻力分为 5 个等

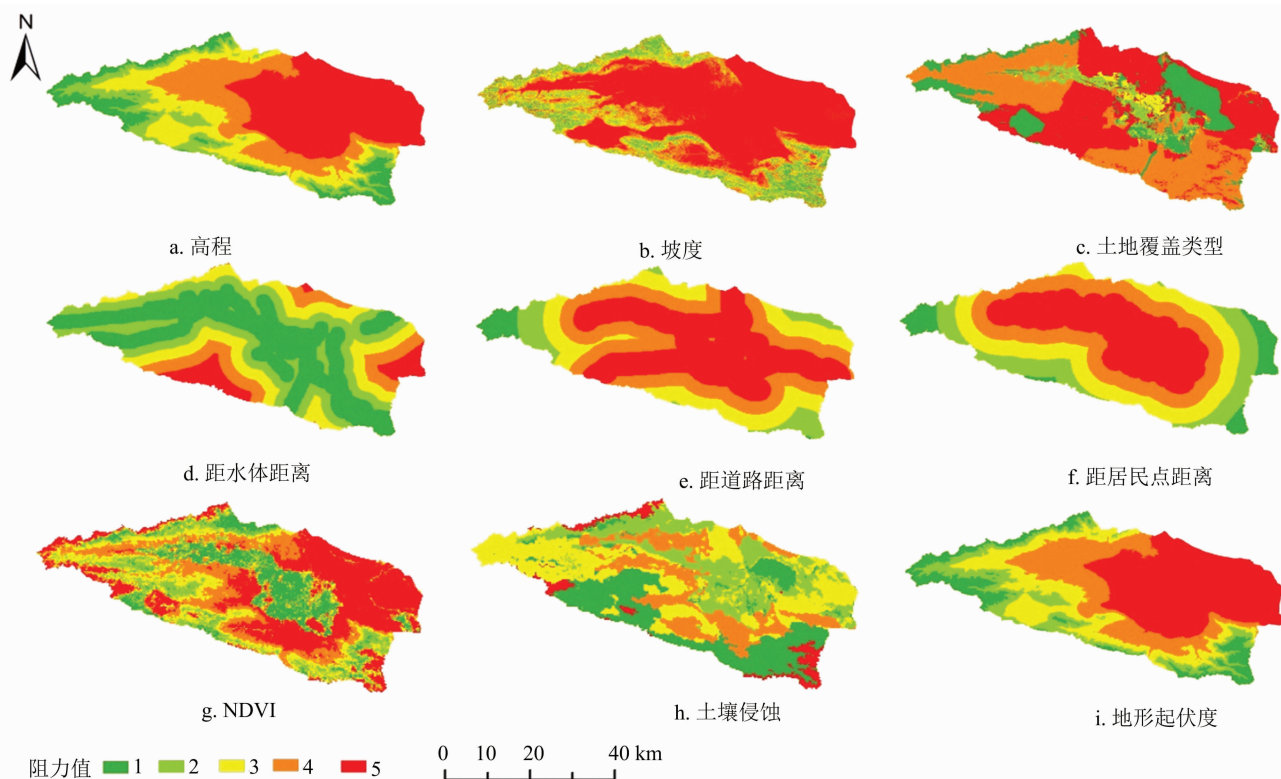


图3 生态阻力单要素评价结果

级,阻力值分别用 1、2、3、4、5 共 5 个级别来表示 (表 2),加权求和得到生态源地向外扩张的最小累积耗费用阻力面。

表 2 生态用地扩张阻力因子与阻力值

阻力值	高程 (m)	坡度 (°)	土地覆盖 类型	距水体距离 (km)	距道路距离 (km)	距居民点 距离(km)	NDVI	土壤侵蚀	地形起伏度 (m)
1	2 944 ~4 575	31 ~69	水域	<0.5	>2.0	>2.0	0.73 ~0.92	<13	2 986 ~4 573
2	2 185 ~2 944	22 ~31	林地	0.5 ~1.0	1.5 ~2.0	1.5 ~2.0	0.53 ~0.73	13 ~22	2 200 ~2 968
3	1 444 ~2 185	13 ~22	牧草地	1.0 ~1.5	1.0 ~1.5	1.0 ~1.5	0.34 ~0.53	22 ~24	1 450 ~2 200
4	689 ~1 444	4 ~13	园地	1.5 ~2.0	0.5 ~1.0	0.5 ~1.0	0.16 ~0.34	24 ~26	683 ~1 450
5	<689	<4	未利用地	>2.0	<0.5	<0.5	<0.16	26 ~50	<683
权重	0.103	0.09	0.19	0.131	0.076	0.076	0.167	0.079	0.088

1.4.3 生态用地安全格局 根据生态源地向外扩展的阻力区域的定义,确定主要通道,辐射通道、生态节点等安全模式组成部分,并根据生态系统服务价值的综合结果创建绿洲的生态土地安全格局。这将创建生态核心区、生态缓冲区、生态过渡区、生态脆弱区等 4 个不同的安全区。

2 结果与分析

2.1 生态系统服务价值

博州 2016 年生态系统服务总价值为 15.13 亿元。由表 3 可知,博州生态用地的生态系统服务价值总体状况较差,绝大部分地区处于低值区,面积达 159.39 hm²,占比最大,为 58.60%;仅有少部分地区生态系统服务价值极高,面积为 7.04 hm²,占比为 2.59%。由图 2 可知,博州生态用地生态系统服务价值的空间分布特点如下。总体上看,博州周边地区高于内部地区;州内大部分水域地区高于周边其他地区。博州生态系统服务价值的高值区域集中在西南赛里木湖国家风景区,艾比湖湿地自然保护区,博尔塔拉河和精河沿线地带,以及北部的夏尔希里自然保护区。主要因为这些地方是森林和水域的集中分布区域,这 2 种土地类型在单位面积上提供了最高的生态系统服务价值。生态系统服务价值低值整体成片状分布在全州。从土地利用类型看,与建制镇、农村居民点、交通和采矿等建设用地分布相一致,这是因为建筑用地对生态系统服务的价值较低或不提供,甚至有负面影响。

2.2 生态用地安全格局构建

结合表 3,并参考大量相关研究成果^[24-27],利用 ArcGIS 10.2 中的空间分析工具和标准分类方法的自然断裂法,将生态系统服务价值分为低值区、

表 3 博州生态系统服务价值等级分布

生态系统服务 价值等级	面积 (hm ²)	比例 (%)
低值区	159.39	58.60
中值区	77.74	28.58
高值区	27.83	10.23
极值区	7.04	2.59
合计	272.00	100.00

中值区、高值区和极值区 4 个层级(表 4),并据此获得博州生态用地重要性的等级分布图(图 4)。生态系统服务价值极值区域对应为Ⅰ级生态土地区域,高值生态系统服务区域为Ⅱ级生态土地区域,中值区域为第Ⅲ级生态土地区域,低价值生态系统服务区为第Ⅳ级生态土地区域。

表 4 博州生态用地重要性等级划分

生态服务价值等级	分值	生态重要性等级
低值或负值区	1	Ⅵ
中值区	2	Ⅲ
高值区	3	Ⅱ
极值区	4	Ⅰ

生态系统服务价值越高,说明该区域生态用地须要被保护的力度越大,须要加强其保护,Ⅲ级和Ⅳ级区域不需要过多的投入保护,Ⅱ级主要处于Ⅰ级保护区周围,是Ⅰ级的保护门户,且Ⅰ级区域是需要优先保护的区域,所以Ⅱ级区域需要保护。由于Ⅰ级区域的生态系统服务价值最高,所以为生态用地的生态源地(图 5),以此为源点构建博州生态安全格局。

2.2.1 保护源的确定 艾比湖流域位于我国西北干旱半干旱绿洲区,由图 4 可知,水源的生态系统服务价值最高,说明水源是该区域生态用地安全格局

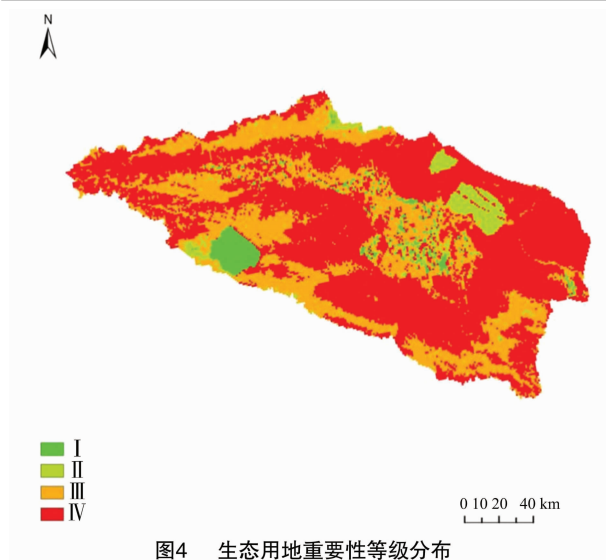


图4 生态用地重要性等级分布

构建的核心源地。针对区域典型生态系统,本研究采用 ArcGIS 10.2 软件的空间分析功能,最终得到生态源地面积为 2 099.58 km²,占研究区总面积的 8.44%,其生态源地分布见图 5。由图 5 可知,生态源地主要分布在博州西北和西南部,艾比湖及其双河流域、赛里木湖是研究区最大的水域,生境质量较高,区域生态系统服务价值大,因此可作为生态用地保护的“源”。

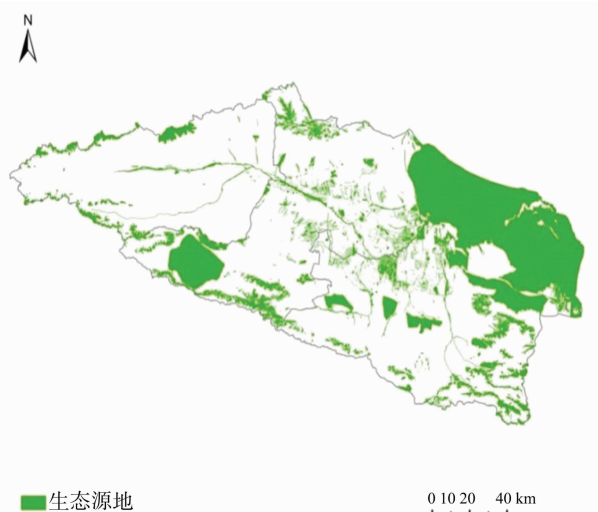


图5 博州生态用地的保护“源”地

2.2.2 最小累积阻力面的建立 由图 6 可知,博州生态扩张最小累积阻力表面中最低阻力值为 0,最高阻力值为 96 035.2。博州绿洲生态用地高阻力值主要有四部分,分别分布在博乐市北部和南部、精河县北部和南部。整体主要分布于研究区北部和南部地区,博乐市以建设开发为主,城镇分布较多,有国道和公路穿过,地势较平坦,建设发展速度

较快,对区域生态环境影响较严重,生态保护过程的阻力较强。另外,精河县南部有矿产资源分布,人类过度开采导致生态用地破坏严重,对绿洲生态用地的保护阻力较高。低阻力值区域分布较广泛,在州内中部和东部大面积分布,周边地貌复杂、人类活动及影响相对较小,故生态源地扩张阻力在这里形成低谷,生态环境较好。高程较高的地区阻力值处于中等水平,主要分布在生态用地保护“源”的周围,其中这些区域坡度较大,距公路、居民点较远,人类活动破坏性较小,生态系统服务价值高,是生态用地保护极重要的地区。

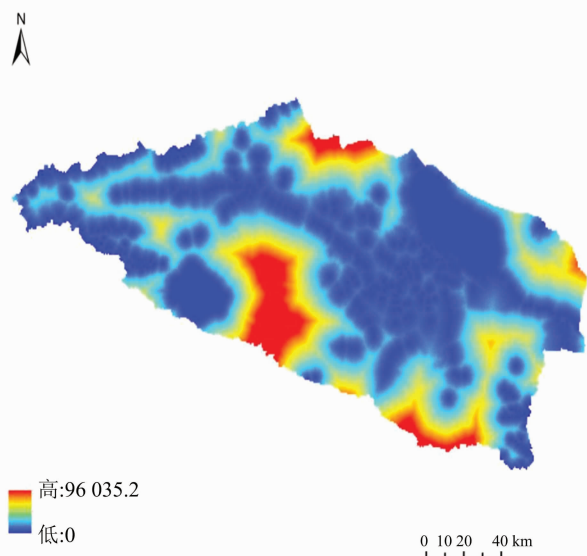


图6 生态用地保护的最小累积阻力面

2.2.3 生态用地安全格局的构建 关键廊道也叫生态廊道,其主要作用是为各种生物迁徙提供安全通道,为自然界生物能量流动提供便捷^[28-31]。本研究基于最小累积阻力模型(MCR)和最小成本路径方法生成关键廊道。由图 7 可知,关键廊道并不是“源”与“源”之间的最短路径,而是加权费用相对最小的路径,其作用在于连接各“源”形成网状廊道布局,增强研究区域生态安全。

辐射廊道是除关键廊道以外的低阻力通道,也是物种扩散和迁徙的有效路径^[32]。关键廊道和辐射廊道共同形成以生态廊道为干、辐射通道为枝的网状布局。这种布局可以提高研究区生态系统的稳定性和整体性。

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,是生态廊道间、生态廊道与辐射廊道间的交叉点,生态源地间生物正常生态

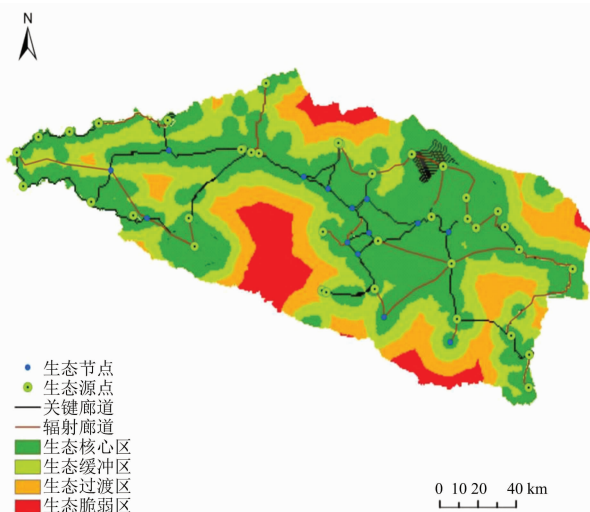


图7 生态用地综合安全格局

联系主要依赖于生态节点^[34],它们是物种迁徙的集结点和踏脚石^[35]。其主要作用是加强区域生态安全与保护,可以促进研究区生态系统服务价值的提高^[36]。

通过以上分析获得的“源”、关键廊道、辐射廊道和生态节点的组合,形成艾比湖流域绿洲中4种生态用地安全模式(图7),包括生态核心区、生态缓冲区、生态过渡区和生态脆弱区,其面积分别为12 172.85、6 961.60、3 910.93、1 817.48 km²,其总面积分别占研究区总面积的48.96%、28.00%、15.73%、7.31%。对于生态脆弱地区,应进一步加强生态保护和生态建设,进行生态修复和控制,以保持生态系统功能和服务的稳定。生态核心区、生态缓冲区、生态过渡区应在保障区域绿洲生态用地安全的基础上进行生态建设。生态土地安全格局的建设有助于科学控制人类的发展和建设活动,加强重点保护和生态敏感重点地区的生态建设,为绿洲的生态规划、空间设计和健康增长提供科学依据,进而实现绿洲生态保护的“双赢”局面。

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究基于生态系统服务功能等级利用生态扩张最小累积阻力模型,将博州划分为生态核心区、生态缓冲区、生态过渡区、生态脆弱区4个生态安全区。生态核心区面积为12 172.85 km²,占全州土地总面积的48.96%,主要分布在绿洲中部。生态底线思维是该区域必不可少的,应该严禁任何形式的开发建设活动,加强该区域的生态保护;生态

缓冲区面积为6 961.60 km²,占全州土地总面积的28.00%,主要分布在生态核心区外围,该区域维护着生态系统的平衡,应以保护生态环境为重点,严格禁止有损生态系统功能的开发建设活动;生态过渡区面积为3 910.93 km²,占全州土地总面积的15.73%,主要分布在生态缓冲区外围,是生态用地核心区与生态脆弱区的过渡区域,应在合理的限度内开发利用该区域,该区域土地利用重点为强化生态基础设施建设,做好生态修复工作。

基于该区域生态系统服务价值的综合结果,本研究采用最小累积阻力模型确定生态用地的“源”,并构建关键性生态用地的综合安全格局,确定不同安全等级的生态区域范围,并阐明“源”间的关键廊道、辐射廊道和生态节点的空间分布。生态用地安全格局的构建对维护研究区域各种生态过程具有积极高效和空间联系的优势,有利于保护生物多样性和景观格局保护。

3.2 讨论

生态系统服务的价值被用来充分确定生态绿洲用地的“源”,可以避免对该方法的主观干预,且是相对客观的。最小阻力模型和生态系统服务的价值水平被用来创建绿洲生态用地的安全模式。该结果使用广泛,具有一定的科学性。

随着西北干旱和半干旱地区绿洲内城市化进程的不断加快,绿洲生态用地保护中对城市扩张的破坏将越来越大。建立生态用地安全格局是确保生态绿洲土地安全的有效手段,它在绿洲空间设计的建设、土地的健康生态规划以及关键地区的生态恢复和建立中起着关键作用。今后,博州应以追求维护区域生态安全和自然生态系统完整性为目标,着力保护双河水资源和艾比湖湿地,有效保护和建设重要的生态网络,进一步加强实施退耕还林、退牧还草,进而实现“外御荒漠,中建绿洲”的生态安全格局。

参考文献:

- [1] 武爱彬,赵艳霞. 坝上高原生态用地时空格局演变与生态系统服务价值分析[J]. 农业工程学报,2017,33(2):283-290.
- [2] 喻 锋,李晓波,张丽君,等. 中国生态用地研究:内涵、分类与时空格局[J]. 生态学报,2015,35(14):4931-4943.
- [3] 周 朕,蒙古军,齐 杨,等. 中国生态用地重要性及其格局优化研究进展[J]. 生态学杂志,2016,35(1):218-225.
- [4] 张继平,乔 青,刘春兰,等. 基于最小累积阻力模型的北京市生态用地规划研究[J]. 生态学报,2017,37(19):6313-6321.

- [5] 陈燕, 陈星宇, 李君, 等. 基于土地利用时空格局演变的上海市生态风险评价[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(3): 613–619.
- [6] 周锐, 王新军, 苏海龙, 等. 平顶山新区生态用地的识别与安全格局构建[J]. 生态学报, 2015, 35(6): 2003–2012.
- [7] 朱敏, 谢跟踪, 邱彭华. 海口市生态用地变化与安全格局构建[J]. 生态学报, 2018, 38(9): 3281–3290.
- [8] 潘竟虎, 刘晓. 基于空间主成分和最小累积阻力模型的内陆河景观生态安全评价与格局优化——以张掖市甘州区为例[J]. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3126–3136.
- [9] 荣冰凌. 城市控规层面小尺度地区生态控制线划定——以青岛中德生态园为例[J]. 中国建设信息化, 2016(12): 76–77.
- [10] 闫玉玉, 曹宇, 谭永忠. 基于景观安全格局的县域生态用地保护研究——以浙江省青田县为例[J]. 中国土地科学, 2016, 30(11): 78–85.
- [11] 蒙古军, 朱利凯, 杨倩, 等. 鄂尔多斯市土地利用生态安全格局构建[J]. 生态学报, 2012, 32(21): 6755–6766.
- [12] 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.
- [13] 陈涛, 陈洪武, 杨辽. 博州地区气候生产力对区域气候变化的响应[J]. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(3): 57–61.
- [14] Costanza R, Arge R D, Groot D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253–260.
- [15] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008(5): 911–919.
- [16] 李晓赛, 朱永明, 赵丽, 等. 基于价值系数动态调整的青龙县生态系统服务价值变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(3): 373–381.
- [17] 申海建. 石门县生态系统服务价值对 LUCC 的响应分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(4): 110–115.
- [18] 吴海珍, 阿如早, 郭田保, 等. 基于 RS 和 GIS 的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 地理科学, 2011, 31(1): 110–116.
- [19] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189–196.
- [20] 王琦, 付梦娣, 魏来, 等. 基于源-汇理论和最小累积阻力模型的城市生态安全格局构建——以安徽省宁国市为例[J]. 环境科学学报, 2016, 36(12): 4546–4554.
- [21] Ye Y Y, Su Y X, Zhang H O, et al. Construction of an ecological resistance surface model and its application in urban expansion simulations[J]. Journal of Geographical Sciences, 2015, 25(2): 211–224.
- [22] 常志强, 刘新平, 杜涛. 基于农户调查的土地利用效率分析——以博尔塔拉蒙古自治州为例[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(4): 791–795.
- [23] 杨姗姗, 邹长新, 沈渭寿, 等. 基于生态红线划分的生态安全格局构建——以江西省为例[J]. 生态学杂志, 2016, 35(1): 250–258.
- [24] 马依拉·热合曼, 买买提·沙吾提, 尼格拉·塔什甫拉提, 等. 基于遥感与 GIS 的渭库绿洲生态系统服务价值时空变化研究[J]. 生态学报, 2018, 38(16): 5938–5951.
- [25] 张骞, 高松峰, 高成全, 等. 近 20 年平顶山市生态用地及其生态系统服务演变[J]. 生态科学, 2018, 37(3): 159–168.
- [26] He Y, Chen Y, Tang H, et al. Exploring spatial change and gravity center movement for ecosystem services value using a spatially explicit ecosystem services value index and gravity model[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 175(1/2/3/4): 563–571.
- [27] Zhao B, Kreuter U, Li B, et al. An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island, China[J]. Land Use Policy, 2004, 21(2): 139–148.
- [28] Degtyarev V. The middle aldan river basin; a key migration corridor for the eastern population of the siberian crane within the Lena River Basin (Russia) [M]//Larkin D J. The wetland book. Berlin: Springer, 2016: 1–7.
- [29] 王培华. 清代河西走廊的水资源分配制度——黑河、石羊河流域水利制度的个案考察[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 2004(3): 91–98.
- [30] 蒙古军, 王雅, 王晓东, 等. 基于最小累积阻力模型的贵阳市景观生态安全格局构建[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(7): 1052–1061.
- [31] 达良俊, 余倩, 蔡北溟. 城市生态廊道构建理念及关键技术[J]. 中国城市林业, 2010, 8(3): 11–14.
- [32] 杨天翔, 敬东, 吴锦瑜, 等. 区域生态源之间辐射趋势的多尺度研究——以蚌埠天河片区规划影响评价为例[J]. 复旦学报(自然科学版), 2014, 53(6): 737–746.
- [33] 杨志广, 蒋志云, 郭程轩, 等. 基于形态空间格局分析和最小累积阻力模型的广州市生态网络构建[J]. 应用生态学报, 2018, 29(10): 3367–3376.
- [34] 莫振淳, 傅丽华, 彭耀辉, 等. 基于综合重要度评价的生态空间网络关键节点识别[J]. 湖南工业大学学报, 2018, 32(2): 64–69.
- [35] 徐威杰, 陈晨, 张哲, 等. 基于重要生态节点独流减河流域生态廊道构建[J]. 环境科学研究, 2018, 31(5): 805–813.
- [36] Yu Q, Yue D, Wang Y, et al. Optimization of ecological node layout and stability analysis of ecological network in desert oasis: a typical case study of ecological fragile zone located at Deng Kou County (Inner Mongolia) [J]. Ecological Indicators, 2018, 84: 304–318.