

DOI: 10.5846/stxb201605100907

王原, 何成, 刘荣国, 吴洪斌, 陈骁强. 宁夏沙坡头国家自然保护区鸟类景观生态安全格局构建. 生态学报, 2017, 37(16): 5531-5541.

Wang Y, He C, Liu R G, Wu H B, Cheng X Q. Construction of the landscape ecological security pattern for the conservation of birds at Shapotou National Nature Reserve, Ningxia. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(16): 5531-5541.

宁夏沙坡头国家自然保护区鸟类景观生态安全格局构建

王 原¹, 何 成^{1,*}, 刘荣国², 吴洪斌², 陈骁强³

1 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 芜湖 241002

2 宁夏沙坡头国家级自然保护区管理处, 中卫 751700

3 上海栖新生态环境咨询有限公司, 上海 200082

摘要:随着宁夏沙坡头国家自然保护区的旅游发展与荒漠化进程, 保护区内不同类型的鸟类均面临着日益增加的自然及人为干扰胁迫, 鸟类群落的丰富度下降趋势显著。为了改善保护区内鸟类生物多样性现状, 优化鸟类栖息地空间结构, 基于现有鸟类调查与研究资料, 筛选影响鸟类活动的各类阻力指数, 建立鸟类活动最小累积阻力面, 运用最小阻力模型构建景观生态安全格局。研究表明: 源地面积为 1690.67 hm², 占保护区总体面积的 12.09%; 廊道共 13 条; 辐射道共 85 条; 战略点共 8 个; 保护关键区面积为 2634.48 hm², 占保护区总体面积的 18.76%。在此基础上, 针对不同类型的重点保护地块、保护热点及栖息地之间的联系廊道提出鸟类保护的空间格局优化建议。详细梳理了阻力面模型的构建方法, 改进了相关技术环节, 为我国自然保护区生物多样性景观安全格局优化提供了科学的方法与实践指导。

关键词: 鸟类保护; 最小累积阻力; 景观安全格局; 宁夏沙坡头国家自然保护区

Construction of the landscape ecological security pattern for the conservation of birds at Shapotou National Nature Reserve, Ningxia

WANG Yuan¹, HE Cheng^{1,*}, LIU Rongguo², WU Hongbin², CHENG Xiaoqiang³

1 College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241002, China

2 Shapotou National Nature Reserve Management Office, Zhongwei 751700, China

3 Shanghai NEW-ECO Environment Consultants Ltd., Shanghai 200082, China

Abstract: Shapotou National Nature Reserve is one of the earliest desert ecosystem reserves in China, which is located in northwest part of Ningxia Autonomous Region. Many different bird species have been recorded in the desert, wetlands, fixing sand forests, and the villages within this reserve. However, with the development of desert tourism and the West-to-East Gas Project, the distribution and constituents of the land-use has changed, which has affected ecosystem services. A major threat faced by many birds that needs to be addressed urgently is habitat loss, degradation, and fragmentation. It is obvious that with increased awareness of the importance of protecting biodiversity, the demands for addressing ecological security becomes an urgent need. Given this background, in this study, we aimed to identify significant bird habitats and their spatial distributional patterns, data that is of vital importance for informed conservation action for birds. This study applies Security Pattern Theory to identify landscape area or elements of critical significance to safeguard bird activity. We chose Shapotou National Nature Reserve as the study region for three reasons. (1) This reserve has a high percentage of rare

基金项目: 国家自然科学基金(41201544); 国家环保部生物多样性保护专项; 教育部人文社会科学基金(12YJCZH208); 教育部博士学科点专项科研基金(20123424120004)

收稿日期: 2016-05-10; 网络出版日期: 2017-03-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hecheng1130@yahoo.com

bird species, and hence the results would have good representativeness; (2) Although the total area of this nature reserve is just 140.43 km², the habitats are becoming highly degraded and fragmented; (3) With the advent of human activity in the reserve, comprehensive planning for protection becomes very important. Our results show the following: (1) it is feasible to construct a landscape security pattern, based on GIS and “cost distance” analytical tool, and using environmental factors and human interference factors in the minimum cumulative resistance (MCR) model. This also provides a feasible approach to construct ecological security pattern for particular species in other nature reserve. (2) Through the minimum cumulative resistances surface, which was derived from the MCR model, we identified the components of ecological security pattern such as corridors, radiating routes, strategic points, etc, which can preserve or positively affect bird populations. (3) This security pattern addresses the environmental and economic scenario at Shapotou National Nature Reserve well. Based on this model output, the identified “source” habitats for the birds were concentrated, resulting in relatively low fragmentation, and allowing more effective and easily implementable actions for their protection. To connect the “sources” 13 corridors as well as 85 radiating routes were identified, which provide more space for “sources” expansion. Additionally, we identify the weakest position of bird activity as the strategic point combined with key regions to protect the whole structure of the bird’s activity. Our results provide an effective method to protect particular species within this nature reserve. Further studies will be valuable as more factors could be identified by the ecological security pattern, and the correlation between the various factors was not significantly reflected in this study.

Key Words: protection of birds; minimum cumulative resistance model; landscape security pattern; Shapotou National Nature Reserve, Ningxia

自然保护区是宝贵的物种基因库^[1]。宁夏沙坡头国家级自然保护区位于宁夏回族自治区西北侧的中卫市境内,拥有丰富的动植物物种资源,其中鸟类资源丰富,生物多样性价值突出^[2]。自 20 世纪 80 年代以来,相关学者就开始了保护区鸟类资源的研究调查。张迎梅和王香亭^[3-4]于 1986—1987 年,对保护区内鸟类群落的居留型、食性和区系进行了细致的调查;刘迺发等^[5]依据 1998—1999 年的调查,分析了 1986 年以来保护区鸟类种数、数量的消长变化趋势及其中的原因;张迎梅等^[2]分析了 2000 年 10 月至 2001 年 9 月试验研究站周围的鸟类群落结构和季节性消长规律;黄族豪等^[6]报道了保护区 13 年间鸟类群落的变化。现有的研究主要从鸟类群落的物种组成、物种多样性、物种优势度及种群变化等方面对保护区鸟类资源进行了调查梳理。近年来,全球气候变化加剧保护区荒漠化进程、景区旅游活动干扰以及经济林面积增加等问题已影响到现有鸟类的生境,鸟类保护有效性 全局性的需求日益增加。其中,探讨如何划定鸟类保护关键区域,识别鸟类活动潜在通道,协调现有鸟类保护资源具有十分重要的实践意义。因此,构建景观生态安全格局将为实现这一途径提供了重要的理论依据。

相关生物学的研究发现,提高景观连通度可以有效促进各类生态过程,如种子扩散^[7]和动物迁移^[8]等。景观生态安全格局的构建方法综合考虑这类生物的生境与相关生态流过程的空间关系^[9],通过识别相关关键性的功能连接,提高景观连通度,最终实现物种保护的目。对于如何识别不同类型的生态流,现阶段的研究方法主要有:1) 直接追踪保护对象的空间移动,结合相关动力与扩散模型,计算各类空间移动概率,进而构建网络体系^[10]。2) 基于最小阻力模型(MCR),通过计算景观单元上的生态流到最近源地距离中所累积克服的阻力或所耗费的费用,模拟出其中的最小成本路径,进而构建完整的景观安全格局^[11-17]。其中基于最小阻力模型的构建方法在国外已较多的运用于野生动物群落的保护中,在国内由俞孔坚先生提出后,后续其他学者对该方法展开了多方面的研究,但现有研究中对该模型如何运行的阐述较少,且研究对象集中于用地规划与评价等经济领域。

本研究尝试将景观安全格局构建的方法运用到沙坡头保护区鸟类生物多样性保护工作中,根据近年来实地调查数据分析影响鸟类活动的地形、植被、水源、道路等自然社会因素,构建影响鸟类活动因子的指标体系,

并运用最小阻力模型(MCR)识别针对保护区鸟类保护的生态安全格局,为保护区合理划定鸟类保护范围,促进鸟类保护的有效性和全局性提供科学指导。

1 研究区概况

宁夏沙坡头自然保护区地处腾格里沙漠东南缘,属内蒙古高原、黄土高原和腾格里沙漠的交汇处,地理坐标:104°49'25"—105°09'24"E,37°25'58"—37°37'24"N,总面积 14043.09 hm²。属温带荒漠区,处于荒漠向草原过度地带,是我国北方干旱地区典型的人工与自然结合的荒漠生态系统。

保护区北侧为大面积的腾格里沙漠区,西南侧与南侧为地势较高的丘陵区,东南侧为中卫市建成区。保护区空间上虽呈长条状但自身生态环境较为独立(图 1),故其中特定物种生态流的过程受保护区外围环境干扰较小。

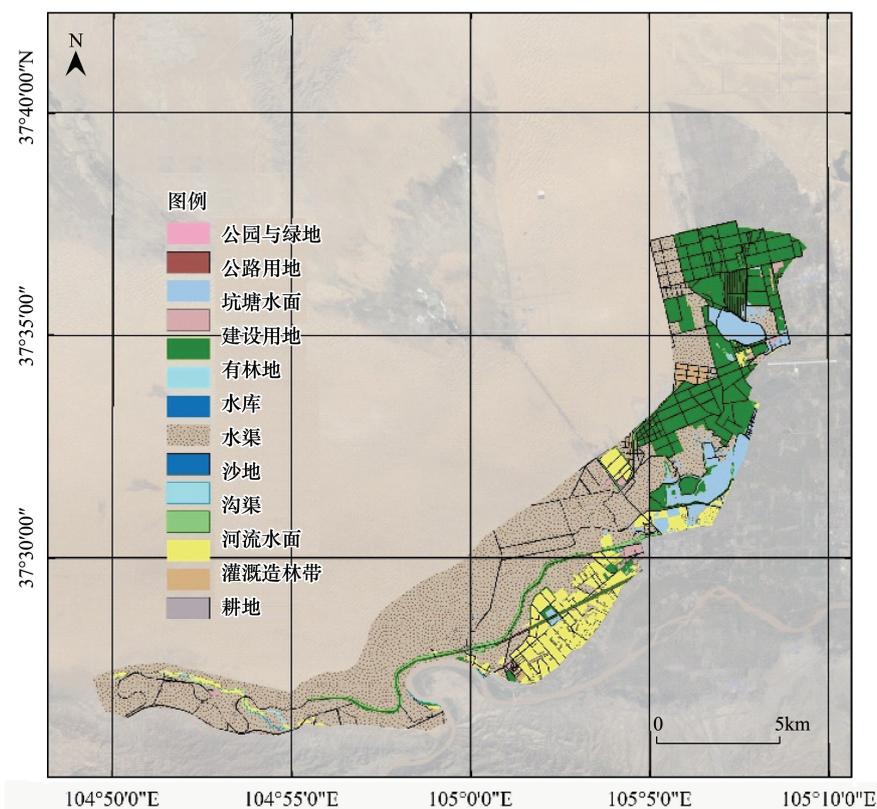


图 1 沙坡头保护区 2013 年土地利用类型图

Fig.1 Land use map of Shapotou Nature Reserve in 2013

保护区总体面积有限,但内部空间异质性较高,分布着荒漠、湿地、农田村庄及人工固沙林等景观类型。涵盖多种类型的鸟类栖息地,鸟类资源丰富多样,根据最新一期的鸟类实地调查报告:现共有鸟类 15 目、43 科、176 种,包含多类国家级珍稀保护种。如表 1 所示,可将鸟类群落类型划分为:民居旱田鸟类群落、湿地鸟类群落、人工林鸟类群落及荒漠半荒漠鸟类群落。

结合近年来多期科考报告与多次实地调研,将保护区内不同类型的鸟类群落结构特征概括为以下 4 点^[18-19]:

1) 各鸟类群落的群落结构与季相差异明显,其中湿地鸟类群落与人工林鸟类群落的个体数量与种类多样性最为突出,民居旱田鸟类群落最少。

2) 保护区内东侧湿地面积较大,可划分为:深水湖泊、潜水湖泊、人工鱼塘及农田湿地等 6 种类型,不同类型湿地所表现出的自然资源优势不同。湿地鸟类群落间的相似性体现出明显的季节性差异,近年来湿地周边

人为活动的增加对湿地鸟类产生了显著的影响,由于湿地资源优势的不一致性及人为活动的影响,加之湿地鸟类群落本身的不稳定性使得鸟类在不同类型湿地间的活动日益频繁。

表 1 沙坡头保护区鸟类群落数量及多样性特征

Table 1 Quantitative and diversity characteristics of bird communities in Ningxia Shapotou protection area

群落类型 Community types	子群落类型 Sub-community types	种数 Quantity	多样性指数 Diversity index	均匀度指数 Evenness index
民居旱田鸟类群落 Residence and dry farmland bird community	民居旱田	10	0.61	0.27
湿地鸟类群落 Wetland bird community	农田湿地	12	1.83	0.74
	人工林湿地	21	2.50	0.82
	荒漠湿地	20	2.69	0.90
	深水湖泊	33	2.06	0.59
	浅水湖泊	16	1.35	0.49
	人工鱼塘	10	1.22	0.55
人工林鸟类群落 Plantation bird community	幼林	2	0.63	0.91
	中年林	12	2.07	0.83
	成年林	34	2.49	0.71
荒漠半荒漠鸟类群落 Desert and semi desert bird community	荒漠半荒漠	15	0.94	0.35

3)保护区中部与北部建设人工林的历史较长,现有的人工林可分为幼林、中年林及成年林,人工林虽然各林地之间的空间距离较小,但相互之间有着明显的生态环境差异,其中成年林中的鸟类种群稳定性较高,但由于不同类型人工林的生态环境差异及经济林面积增加的影响,各林地之间的鸟类交流日益增加。

4)荒漠半荒漠鸟类群落分布于保护区北侧与西北侧,均匀度不高,总体筑巢数量低(0.33 个/km),该群落类型的鸟类活动区域多样,包括:流动沙丘、固定沙丘、人工草方格、荒漠草原、灌木荒漠等,该群落是各类型鸟类群落中活动频率最高,活动范围最大的一类。

结合保护区自身环境较为独立的特点与其中不同群落鸟类分布与活动分布的特点,本次研究将保护区整体划定为研究范围,选取其中数量突出、活动频繁及在研究区内活动范围广的湿地鸟类群落、人工林鸟类群落及荒漠半荒漠鸟类群落作为本次模型运用的研究对象。

2 研究数据资料

空间数据源主要包括 Spot(采集时间为 2013 年 10 月 26 日)、Quickbird(采集时间为 2013 年 3 月 2 日及 2013 年 7 月 23 日)高分辨率遥感影像、Landsat(采集时间为 2014 年 9 月 5 日)遥感影像。其中,土地利用类型数据主要基于 2013 年的 Quickbird 高分辨遥感影像,解译精度为 88.16%。此外,专题数据包括保护区土壤类型分布数据、植被类型分布数据及 DEM 高程数据。鸟类调查数据主要来源 2005 年和 2013 年两期科考报告。所有空间数据均通过 ArcGIS 投影转换、格式修正等预处理,统一采用了 Transverse_Mercator 空间投影和 WGS_1984 地理坐标系统。

3 景观生态安全格局构建方法

本研究采用基于最小阻力模型(MCR)的景观生态安全格局构建方法。其中,研究对象活动产生影响的要素为模型中的阻力因素,阻力值为研究对象穿越异质性表面时所克服的阻力大小;阻力值的大小反映了不同景观单元对于生态流运动扩张不同程度的影响^[20]。

基于保护区生态基础设施的现状,本研究所建立的生态安全格局组份包括:源、阻力面、廊道、辐射道、战略点及保护关键区。景观安全格局构建的技术路线见图 2。

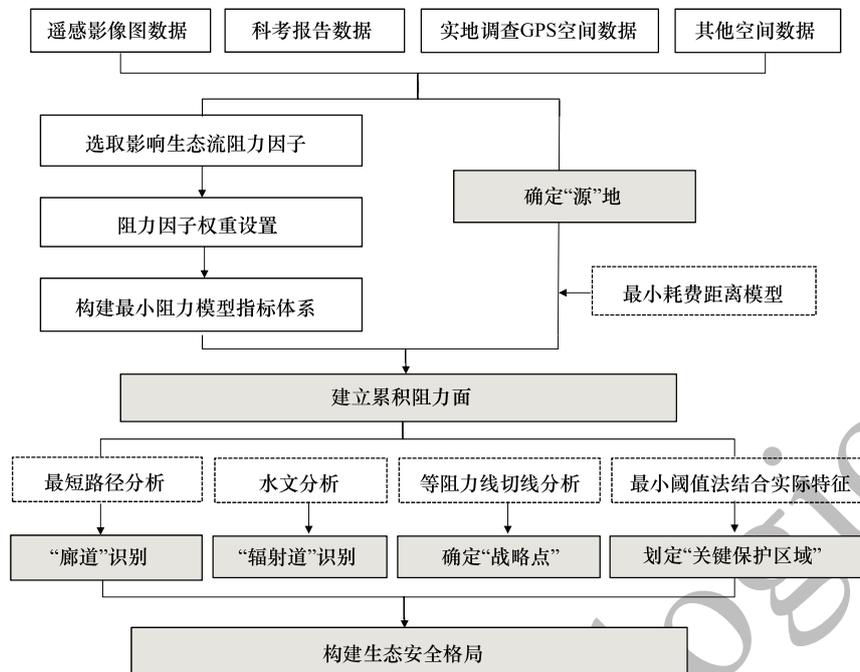


图2 景观安全格局构建技术路线图

Fig.2 Technology roadmap of constructing landscape security patterns

3.1 “源”地的确定

模型应用的第一步也是影响全局的一步为确定“源”地,即生态过程的源头,它不仅可以是被保护物种的自然栖息地构成,也可以是生物生态活动高频率的景观单元^[21]。

3.2 阻力面的建立

阻力面反应了生态流空间扩张的趋势。根据 Knaapen^[22] 在分析景观斑块的隔离程度时提出的模型,最小耗费距离模型的构建公式为:

$$MCR = f \min_{j=n}^{i=m} D_{ij} \times R_i$$

式中, MCR 表示最小累积阻力面值, f 为未知负函数, 表示最小累积阻力与生态适宜性的负相关关系; \min 表示某景观单元对源取累积阻力的最小值; D_{ij} 表示从源 j 到景观单元 i 的空间距离; R_i 表示景观单元 i 对运动过程的阻力系数。

3.3 廊道的识别

廊道即为生态流运动的潜在路线,即两源地之间最易产生连接的路线。基于空间上连通两源地之间阻力值累加总和最小一条被称为最小累积耗费距离路径^[23-25]。

3.4 辐射道的识别

辐射道为源地向外辐射的低阻力值谷地,空间上形似于放射状水系,是生态流从源地向外围地区运动和扩散的重要路径,借鉴水文模型的计算原理可识别出辐射道的空间分布。

3.5 战略点的确定

战略点是指景观格局中对生态流活动具有关键作用的空间区位。相邻两个源地之间等阻力线的切点是生态流活动最为薄弱的地点,对整体空间格局有突出的意义,即将这些点选定为本次研究中的战略点。

3.6 保护关键区的划定

源地外围一定范围的缓冲区对受保护生态流有十分重要的生态意义。在本次研究中,这一区域的划分结合了等阻力线值的变化特征与受保护生态流的实际活动情况。根据最小阈值法^[21]:做两条曲线,一条为图上

较远一点到临近源地的阻力值剖面曲线;另一条是最小阻力值同面积关系曲线。在正常情况下,这两条曲线有某一个相同的阈值。也就是在物质扩散过程中所克服的阻力虽然愈来愈大,但这种增加的过程不是相同的,而会产生一些数值突变点。但本研究认为,该数值的确立还应着重考虑受保护对象的实际活动情况进行必要的修正。

4 结果与分析

4.1 鸟类活动景观安全格局构建

基于最小阻力模型(MCR)的研究方法,其研究对象必须体现出充分的流动特征,且选取的阻力因素必须要对研究对象的活动产生明确影响。根据鸟类活动的相关研究发现:地表的景观组成要素与景观组合情况对鸟类的筑巢与繁殖等日常活动影响较为显著^[26]。故可将该方法运用到鸟类活动的分析中。

4.1.1 鸟类活动的“源”地的确定

结合实地调研信息利用遥感数据提取出植被覆盖度大于 30% 的林地^[27],用以确定并修正科考报告中鸟类栖息地的空间分布数据,最终得到本次模型运算中的“源”地。

4.1.2 鸟类活动阻力面的构建

研究区虽为国家级自然保护区,但区域内的空间异质性高,其中自然要素多样。根据鸟类活动的相关研究:地面不同的自然要素组份或景观的组合形式都会影响到鸟类筑巢与繁殖等日常活动。根据鸟类活动特征及周边环境的实地调研,先将影响鸟类活动的阻力因子划分为环境因素与干扰因素两大类。再根据鸟类活动影响的相关研究筛选出具体影响鸟类活动的阻力因子^[20]。根据已有研究发现:获取特定物种穿越不同景观要素的绝对阻力数值是很难的^[26]。本研究主要基于鸟类活动实地调研和相关文献,并结合专家咨询划分各个因子的相对阻力值,阈值范围为 0.01—0.05,值越高代表对鸟类活动的阻力越大。具体选取因子如表 2 所示:

将各类阻力要素分布转为栅格数据重分类,并进行空间叠合分析,再将“源地”的空间数据输入,使用 ArcGIS 中的“成本距离加权”模块运算,得出最小累积阻力面分布图(图 3)。该图反映了图上的点到最近“源”所要的克服累积阻力值大小,该空间分布是识别其他生态安全格局组份的重要依据。

4.1.3 鸟类活动廊道的识别

识别源与源之间的最小耗费路径一直是该模型运用的难点,在本次研究尝试先将各个“源”的边界转为连续的栅格点,再调用 cost path 分析模块,批量计算相邻源边界上连续点之间的费用路径,选取其中累积阻力值最小的路径作为两“源地”之间的最小耗费路径,即景观安全格局中的廊道。

4.1.4 辐射道的识别

运用 GIS 中的水文分析模型,识别出各个源地对应向外的辐射道。并参考保护区不同栖息地鸟类种群数量与周边环境特征,截取并修正各个栖息地向外的辐射道数量与空间分布。

4.1.5 鸟类活动战略点的识别

通过 ArcGIS 的空间分析模块识别出相邻鸟类栖息地之间等阻力线切点,并考虑这些地点在保护区中的实际用地情况进行筛选与调整。

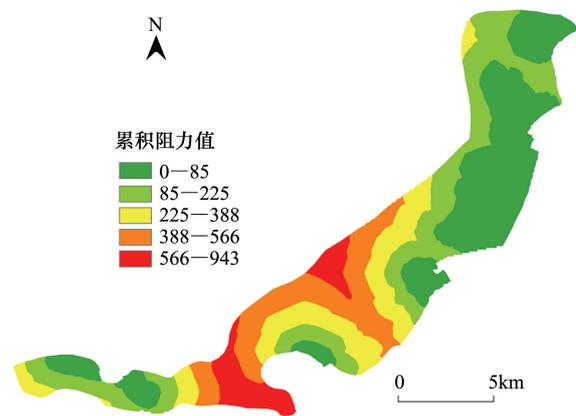


图 3 最小累积阻力面

Fig.3 Minimum cumulative resistance surface

表 2 沙坡头保护区鸟类活动阻力因子

Table 2 Resistance factors of bird activities in Ningxia Shapotou protection area

一级指标 First class indicators	阻力因子 Resistance Factors	因子指标描述 Resistance description	阻力分级 Resistance classification	相对阻力值 Relative resistance value	
环境因素 Environmental factors	土壤类型	土壤类型对鸟类活动的影响体现在以下几个方面:(1)不同的土壤类型对应不同的土壤动物群落及草丛动物群落,而土壤动物群落及草丛动物群落数量与鸟类活动存在正相关关系 ^[28] ;(2)在荒漠地区,干燥疏松的地表以及缺乏有效覆盖是导致土地荒漠化及沙尘暴的原因 ^[29] ,不同的土壤类型表现出不同的土壤风蚀特点,不仅影响地表风速大小还决定了土壤颗粒的启风速及地表沙尘释放程度 ^[30] ;研究根据保护区土壤的特点如:含水量、土壤颗粒大小与土壤养分等将已有土壤类型进行分类并赋予不同的阻力值	潮土	0.01	
			流动风沙土	0.05	
			半固定风沙土	0.05	
			固定风沙土	0.04	
			普通新积土	0.02	
			灌淤土	0.01	
	坡度/(°)		坡度不仅影响鸟类群落栖息地的分布 ^[31] ,还影响一些飞行距离较短,飞行高度较低鸟类种群的摄食繁殖等活动 ^[32] ;同时在荒漠缺水地区,不同的坡度大小影响地表积水能力与地下水的分布,从而作用于鸟类活动;结合保护区实地调研情况将总体坡度分为 3 个不同等级	盐土	0.04
				风沙土淡灰钙土	0.03
				0—10	0.01
	生态系统类型		不同的生态系统不仅直接影响鸟类的栖息地分布,对鸟类摄食繁殖等日常活动的影响也十分明显;由于保护区内的生态系统类型复杂;结合鸟类活动特征将总体区域划分为 5 个不同类型并对应不同等级的鸟类活动阻力值	10—25	0.02
				>25	0.03
				森林	0.01
稀疏草地及荒漠		0.02			
水体湿地		0.01			
农田用地		0.01			
水域/m	研究对象的鸟类群落中包含诸多游禽、涉禽,需要较大水体进行捕食、繁殖等活动;同时,在荒漠保护区内水体边缘常常向外形成植被组成逐渐变化的生态过渡带(ecotone),边缘效应显著(edge effect) ^[33] ,本次研究筛选出面积超过 15000m ² 的水体,并做缓冲区赋予不同阻力值	建筑用地	0.05		
		0—50	0.01		
		50—100	0.02		
		>100	0.04		
干扰因素 Interference factors	铁路/m	随着社会的发展,保护区内交通网覆盖率日益提升。交通对生物流的干扰前人进行了研究,如:荷兰鸟类群落研究中,发现公路旁 100m 缓冲区内 50%的鸟类群落密度与群落数量锐减明显 ^[34] ;波士顿鸟类研究中,当交通量在 3.0 万辆/d 时,道路旁 1200m 缓冲区内鸟类的出生率与繁殖率呈明显下降趋势 ^[35] 。根据保护区湿地交通影响情况,将该类干扰因子分为两类(即铁路与公路)	0—1000	0.04	
			1000—2000	0.02	
			2000—3000	0.01	
	公路/m		0—500	0.03	
			500—1000	0.02	
			100—2000	0.01	
居民点/m	居民点是人类活动最为集中的区域,空间上距居民点越近人为活动对鸟类活动的影响越显著,本次研究基于精确的土地利用矢量数据识别出这些居民点的空间分布,运用多层缓冲区对居民点的影响进行分级	0—100	0.04		
		100—200	0.02		
		200—300	0.01		

4.1.6 鸟类保护关键区的划定

运用剖面分析工具在阻力值分布图中作一条空间上距源地相对较远的点到源地的阻力值剖面曲线,并利用统计工具绘制最小阻力值与面积关系的分布曲线图。如图 4 与图 5 所示,阻力水平数值在 110 处为一明显突变点,结合考察报告与前期多次调查,发现:在湿地鸟类群落与人工林鸟类群落的栖息地外约 1000 m 的范围内是鸟类活动频率较高的区域,故本次研究设定累积阻力 105 作为鸟类保护的关键区阈值。

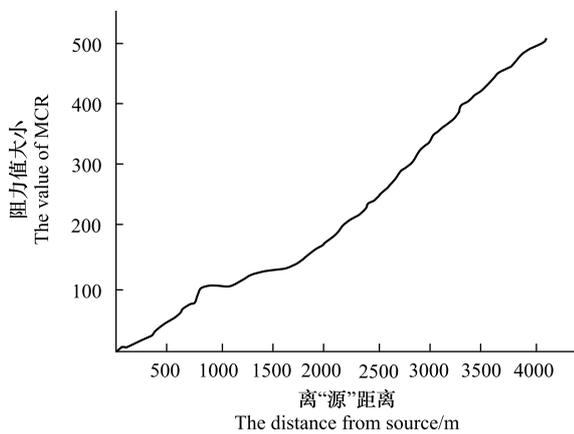


图4 离源距离与 MCR 值关系曲线

Fig.4 The relation curve between the distance from source and the value of MCR

MCR: 最小累计阻力值 Minimum cumulative resistance

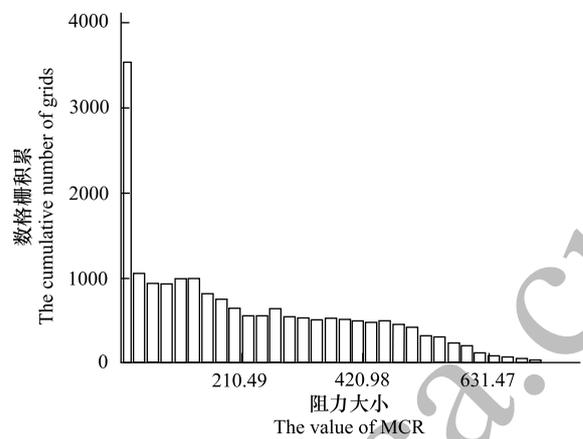


图5 MCR 值与栅格面积直方图

Fig.5 The histogram between the value of MCR and the cumulative number of grids

4.1.7 景观安全格局构建结果

如图 6 所示,其中:源地面积为 1690.67 hm^2 ,占保护区总体面积的 12.09%,主体分为 5 部分,分别位于北部防护林区、中部湖泊湿地及防护林区、南部灌草绿地区;廊道共含有 13 条,主要位于各湖泊湿地及荒漠灌草之间,其中经过荒漠的廊道空间跨度大距离长为荒漠鸟类群落所对应的潜在廊道,而分布于湖泊湿地之间的廊道距离短且分布密度高为湿地鸟类群落所对应的潜在活动廊道;辐射道共有 85 条,位于湖泊湿地区源地周边的辐射道数量多于荒漠草甸源地周边;战略点共 8 个,其中 3 个位于荒漠区,3 个位于林地与湖泊之间,1 个位于北部防护林,1 个位于南部灌草区,各战略点分布的区位不同,建议采取的针对性措施也不同;保护关键区面积为 2634.48 hm^2 占保护区总体面积的 18.76%,因各源地周边的力值不是均匀增加的,故各保护关键区的面积大小差异较大。

4.2 基于保护区鸟类现状的景观格局优化方案

在鸟类景观安全格局构建的基础上,结合保护区鸟类保护现状,本文从景观安全格局的不同方面提出鸟类活动保护的优化方案。

4.2.1 构建鸟类活动生态廊道

基于景观安全格局中廊道与辐射道的分布,将生态廊道的建设分为 3 类:1)道路型廊道,选取了距鸟类栖息地较近的包兰铁路与沙坡头景区周边车流量较大的道路为该类型廊道的建设对象。在关键铁路周边,可通过优化“五带一体”工程的树种结构,特别是拓宽“灌溉造林带”,增强生态屏障功能,减少大型铁路对鸟类活动的影响。在关键公路周边,可引进不同类型的绿化树种、控制车辆鸣笛,减少过多车流量对鸟类活动的生态

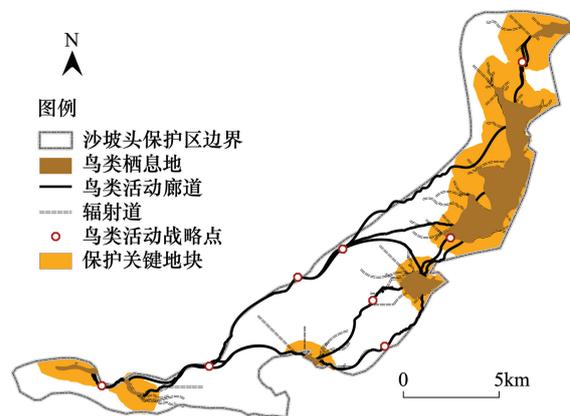


图6 景观安全格局分布

Fig.6 The landscape security pattern

阻力,提高道路边水渠的利用率满足排水与鸟类取水的需求。2)绿带型廊道,选取分布于北部防护林、中部防护林洼地湖泊周边的辐射道廊道为建设对象,因为在这些区域鸟类活动十分频繁,但实地考察发现存在各别湿地种群鸟类由于人为干扰无法捕食且疲于飞翔于湿地防护林之间而死亡、周边的芦苇灌丛人为开挖破坏明显等现象。参考研究结果规划这些通道的植物配置、设定鸟类栖息木桩、划定廊道周边的水鸟摄食空间及

减少人类活动的影响。3) 荒漠型廊道, 保护区西北侧为大面积的腾格里沙漠区, 其中诸如固定沙丘、人工草方格沙障, 荒漠草原与灌木荒漠是沟通荒漠鸟类群落活动的重要通道, 为了维护荒漠鸟类群落的生存空间促进保护区南北两侧间的鸟类活动, 选取了经过保护区中部荒漠的廊道为荒漠型廊道的建设对象, 未来尽量避免荒漠旅游景点对这些通道的影响, 保护其中固定沙丘灌木荒漠等鸟类生境, 树立一定数量的鸟类栖息架。

4.2.2 建立鸟类活动保护热点

战略点分布地周围环境不同, 所要树立热点保护的内容也不同: 处于林地湖泊间及北部防护林的战略点距离鸟类栖息地较近处, 可悬挂人工巢箱, 设置喂食台, 保障周边栖息地的鸟类种群数量; 处于荒漠与灌草区的战略点可构建小台地、小沟壑等微型鸟类生境, 发挥鸟类活动中的“跳板”作用。

4.2.3 设立鸟类活动重点保护地块

本研究中重点保护地块可分为以下两大类:

(1) 栖息地保护地块 鸟类栖息地决定着鸟类种群的数量与结构, 作为模型的“源”, 在整个生态安全格局中起至关重要的作用。但实地调查发现这些区域仍然存在诸多问题: (1) 北部防护林, 其中经济林的占比范围越来越大, 一些树龄较大的成林在受到病虫害后, 树种结构趋于单一, 鸟类种群类型也随之单一。(2) 中部的湖泊湿地是保护区内湿地鸟类群落的主要栖息地, 日渐发展的旅游业对这些水鸟的生存繁殖产生明显影响。在未来发展中, 这些鸟类栖息地可通过保护芦苇、香蒲等原生湿地植被、在湖面上增加湖心岛及沿岸设计半岛等手段减少人为干扰确保鸟类栖息所需的生存空间。

(2) 保护关键区地块 这些区域鸟类活动阻力较小, 同样面临着原生植被破坏与人为开发利用所带来的影响, 其中: 在北部防护林与中部湖泊湿地, 通过优化防护林树种与其中的植物景观, 同时种植一些作物类植被, 既满足鸟类取食, 又可以体现当地特色; 分布于南部灌草区域的保护关键区, 主要问题是灌草植被的枯死退化, 可通过增加日常维护, 适当引入地被类植物来丰富群种结构, 还可以提高地形地貌的多样性增加水平方向与垂直方向的景观异质性, 起到沟通鸟类栖息地与外围环境的纽带作用。

5 结论与讨论

5.1 结论

(1) 在外围环境独立且内部环境复杂的人工荒漠生态系统内, 鸟类种类多样, 活动空间结构分散, 基于最小阻力模型 (MCR) 构建鸟类景观生态安全格局, 从技术路线上可实现保护区内鸟类保护的整体性与全局性。

(2) 根据宁夏沙坡头自然保护区不同鸟类的活动特征构建影响鸟类活动的阻力要素体系, 并结合鸟类活动的实际程度赋予不同的阻力值大小, 通过 MCR 模型叠合运算得出累积阻力值分布图, 识别出沙坡头自然保护区鸟类景观安全格局。针对景观安全格局中重要保护地块、生态廊道以及保护热点 3 类重要的空间组分, 分别提出了针对性的空间优化策略。

5.2 讨论

(1) 景观安全格局构建与模型方法的探讨

在俞孔坚先生提出基于 MCR 模型构建景观安全格局的方法后, 许多学者结合不同的研究目的对该方法进行了创新与拓展^[7-11, 20, 23]。但已有的研究缺乏对方法本身运用过程的梳理, 针对重点应用步骤的探讨也较少。随着该方法在用地评价、城市增长边界预测及旅游线路规划等领域的应用拓展, 研究对象越来越难体现生态过程的流动特征, 针对物种保护的探讨也越来越少^[36-40]。

本次研究选取了生态流边界易判定、频率高的荒漠鸟类为研究对象, 根据鸟类活动的特征调整了模型运用的过程, 并对部分模型运用难点进行了探讨: 通过批量计算点与点之间的最小费用距离识别源间廊道; 结合鸟类生态流的特征探讨了保护关键区的划定方法。

(2) 模型应用的生态学依据与研究结果的生态学意义

相关研究发现: 地表景观斑块的组成、布局与相互之间的连通关系都会影响到鸟类及其它生物的分布与

活动^[41-42]。本研究旨在梳理筛选影响保护区鸟类活动的相关要素,识别关键景观组分,优化整体景观格局从而达到维护和促进鸟类活动的目的。

相关研究采用了图论等空间分析的方法识别出生态流的最小耗费路径或关键空间节点来表征生态流的空间活动趋势,进而提出维护整体生态流的优化建议^[43-44]。本研究的理论同样基于空间耗费路径分析,通过综合关键位置、区域及相互间的空间关系构建整体的景观格局,用以表征鸟类活动在克服不同阻力时反映不出的空间活动趋势,各格局组份与景观生态学的景观分析理论相互对应,如斑块、廊道与基质模型等^[21],研究结果覆盖面广、科学性强。通过构建合理性异质性表面,减少了保护区未来景观变化对鸟类活动的影响,进而保护鸟类生态流的过程。

(3) 模型运用过程及成果应用拓展的探讨

本研究的阻力指标体系主要考虑保护区现有鸟类种群的分布活动特征,但经后期考察发现各个阻力因子之间并不是简单的叠加关系,因子与因子之间存在着相互作用,例如:各个不同类型的土壤受周边水体的影响会表现出不同的理化特征;相同类型的交通网分布在不同的生态系统中对鸟类活动的影响程度不同;土壤类型相同但周边的生态系统类型不同,对鸟类活动的影响也会有所不同。后期应进一步加强因子间相互作用在模型构建中的影响研究。

总体而言,基于最小阻力模型(MCR)构建鸟类景观生态安全格局能较好的融入生态流的自身特征,并能将不同的环境因素反应到模型运用中,对于我国自然保护区开展景观尺度上生物多样性保护,优化保护区景观空间格局,具有一定的科学指导和实践应用价值。

参考文献 (References):

- [1] Primack R B. *Essentials of Conservation Biology*. Massachusetts: Sinauer Associates Inc., 1993: 500-511.
- [2] 张迎梅,包新康,虞闰六,李新荣. 宁夏沙坡头荒漠生态环境鸟类季节性消长研究. *中国沙漠*, 2002, 22(6): 541-544.
- [3] 张迎梅,王香亭. 宁夏沙坡头自然保护区鸟类区系与沙漠治理. *兰州大学学报:自然科学版*, 1990, 26(3): 88-98.
- [4] 虞闰六,包新康,张迎梅,李新荣. 宁夏沙坡头地区环境结构变化与鸟类生物多样性. *兰州大学学报:自然科学版*, 2002, 38(6): 78-83.
- [5] 刘迺发,黄族豪,吴洪斌,刘荣国,郝耀明. 宁夏沙坡头国家级自然保护区动物资源的消长. *生物多样性*, 2002, 10(2): 156-162.
- [6] 黄族豪,刘荣国,刘迺发,吴洪斌,郝耀明. 宁夏沙坡头自然保护区四种生境夏季鸟类群落变化. *动物学研究*, 2003, 24(4): 269-273.
- [7] Sork V L, Smouse P E. Genetic analysis of landscape connectivity in tree populations. *Landscape Ecology*, 2006, 21(6): 821-836.
- [8] Bague M, Dyck H V. Landscape connectivity and animal behavior: functional grain as a key determinant for dispersal. *Landscape Ecology*, 2007, 22(8): 1117-1129.
- [9] 关文彬,谢春华,马克明,牛健植,赵玉涛,汪西林. 景观生态恢复与重建是区域生态安全格局构建的关键途径. *生态学报*, 2003, 23(1): 64-73.
- [10] Gardner R H, Gustafson E J. Simulating dispersal of reintroduced species within heterogeneous landscapes. *Ecological Modelling*, 2004, 171(4): 339-358.
- [11] Greenberg J A, Rueda C R, Hestir E L, Santos M J, Ustin S J. Least cost distance analysis for spatial interpolation. *Computers & Geosciences*, 2011, 37(2): 272-276.
- [12] 姜磊. GIS支持下景观格局优化关键技术研究[D]. 北京:北京林业大学, 2012.
- [13] 赵筱青. 外来树种引种的景观生态安全格局研究——以尾叶桉类林在云南省澜沧县引种为例[D]. 昆明:云南大学, 2008.
- [14] 胡望舒,王思思,李迪华. 基于焦点物种的北京市生物保护安全格局规划. *生态学报*, 2010, 30(16): 4266-4276.
- [15] 龚建周,夏北成,陈健飞,林媚珍. 基于3S技术的广州市生态安全景观格局分析. *生态学报*, 2008, 28(9): 4323-4333.
- [16] 刘扬,高成广,李健僖. 云龙水库水源保护区景观生态安全格局构建. *林业调查规划*, 2011, 36(6): 105-108.
- [17] 吴昌广,周志翔,王鹏程,肖文发,滕明君,彭丽. 基于最小费用模型的景观连接度评价. *应用生态学报*, 2009, 20(8): 2042-2048.
- [18] 吴洪斌,郝耀明,刘迺发. 宁夏沙坡头国家级自然保护区综合科学考察. 兰州:兰州大学出版社, 2005: 80-99.
- [19] 刘迺发,吴洪斌,郝耀明. 宁夏沙坡头国家级自然保护区二期综合科学考察. 兰州:兰州大学出版社, 2011: 74-107.
- [20] 魏伟,赵军,王旭峰. GIS、RS支持下的石羊河流域景观利用优化研究. *地理科学*, 2009, 29(5): 750-754.
- [21] 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.
- [22] Knaapen J, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning. *Landscape and Urban Plan*, 1992, 23(1): 1-16.

- [23] Broquet T, Ray N, Petit E, Fryxell J M, Burel F. Genetic isolation by distance and landscape connectivity in the American marten (*Martes Americana*). *Landscape Ecology*, 2006, 21(6): 877-889.
- [24] 李纪宏, 刘雪华. 基于最小费用距离模型的自然保护区功能分区. *自然资源学报*, 2006, 21(2): 217-224.
- [25] Stanton A, Javadi A A. An automated approach for an optimised least cost solution of reinforced concrete reservoirs using site parameters. *Engineering Structures*, 2014, 60(2): 32-40.
- [26] Latja P, Valtonen A, Malinga G M, Roininen H. Active restoration facilitates bird community recovery in an Afrotropical rainforest. *Biological Conservation*, 2016, 200(5): 70-79.
- [27] 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 周为峰. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算. *资源科学*, 2004, 26(4): 153-159.
- [28] 李晓娟, 周财权, 胡锦涛, 杨书义. 南充高坪机场土壤及草丛动物群落特征和鸟类的关系. *生态学报*, 2009, 29(2): 706-713.
- [29] 齐述华, 牛铮, 王军邦, 王长耀. 1982~2001 年间中国干旱发生时空特征的遥感分析. *土壤学报*, 2006, 43(3): 376-382.
- [30] 姜娜, 邵明安, 雷廷武. 水蚀风蚀交错带坡面土壤入渗特性的空间变异及其分形特征. *土壤学报*, 2005, 42(6): 904-908.
- [31] 葛振鸣, 王天厚, 施文彧, 周立晨, 薛文杰. 环境因子对上海城市园林春季鸟类群落结构特征的影响. *动物学研究*, 2005, 26(1): 17-24.
- [32] 彭岩波, 丁平. 白颈长尾雉春季扩散活动的影响因子. *动物学研究*, 2005, 26(4): 373-378.
- [33] 刘澈, 郑成洋, 张腾, 曾发旭, 王逸然. 中国鸟类物种丰富度的地理格局及其与环境因子的关系. *北京大学学报: 自然科学版*, 2014, 50(3): 429-438.
- [34] Reijnen R, Foppen R, Meeuwssen H. The effects of traffic on the density of breeding birds in Dutch agricultural grasslands. *Biological Conservation*, 1996, 75(3): 255-260.
- [35] Forman R T T, Reineking B, Hersperger A M. Road traffic and nearby grassland bird patterns in a suburbanizing landscape. *Environmental Management*, 2002, 29(6): 782-800.
- [36] Sutcliffe O L, Bakkestuen V, Fry G, Stabbetorp O E. Modelling the benefits of farmland restoration: methodology and application to butterfly movement. *Landscape and Urban Planning*, 2003, 63(1): 15-31.
- [37] 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. *应用生态学报*, 2015, 26(10): 3126-3136.
- [38] 叶玉瑶, 苏冰娴, 张虹鸥, 吴旗韬, 刘凯. 生态阻力面模型构建及其在城市扩展模拟中的应用. *地理学报*, 2014, 69(4): 485-496.
- [39] 刘艳芳, 郭晓慧, 方然, 孔雪松. 基于景观生态安全格局的土地利用总体规划环境影响评价. *重庆师范大学学报: 自然科学版*, 2015, 32(6): 120-126.
- [40] 王明月, 李加林, 郑忠明, 姜文达, 徐凉慧, 杨磊, 袁麒麟, 卢雪珠, 肖望. 基于生态功能强度分析的滩涂围垦区景观格局优化. *生态学杂志*, 2015, 34(7): 1943-1949.
- [41] Uezu A, Metzger J P, Viellard J V M E. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. *Biological Conservation*, 2005, 123(4): 507-519.
- [42] Chardon J P, Adriaensen F, Matthysen E. Incorporating landscape elements into a connectivity measure: a case study for the Speckled wood butterfly (*Pararge aegeria* L.). *Landscape Ecology*, 2003, 18(6): 561-573.
- [43] Minor E S, Urban D L. Graph theory as a proxy for spatially explicit population models in conservation planning. *Ecological Applications*, 2007, 17(6): 1771-1782.
- [44] Etherington T R, Holland E P. Least-cost path length versus accumulated-cost as connectivity measures. *Landscape Ecology*, 2013, 28(7): 1223-1229.