

DOI: 10.20152/j.np.202401060009

庄鸿飞, 鹿志创, 刘增力, 王宗灵, 赵林林. 斑海豹渤海生态廊道研究. 国家公园(中英文), 2024, 2(2): - .

Zhuang H F, Lu Z C, Liu Z L, Wang Z L, Zhao L L. Study on the ecological corridor of spotted seals in the Bohai and Yellow Seas. National Park, 2024, 2(2): - .

斑海豹渤海生态廊道研究

庄鸿飞¹, 鹿志创², 刘增力³, 王宗灵¹, 赵林林^{1,*}

1 自然资源部第一海洋研究所, 渤海海峡生态通道野外科学观测研究站, 青岛 266061

2 辽宁省海洋水产科学研究院, 大连 116023

3 国家林业和草原局林草调查规划院, 北京 100714

摘要:生态廊道是野生动物迁徙、扩散, 完成生命周期活动的重要通道。斑海豹是渤海海洋海岛生态地理区布局的三个国家公园的唯一旗舰物种。亟待识别斑海豹生态廊道以完善相关国家公园海上空间保护规划和管控措施, 降低该物种的局部灭绝风险。基于 2010—2020 年开展卫星信标跟踪调查和 2023 年在长岛开展参与式地理信息调查, 运用生态位模型和阻力模型, 识别了斑海豹在渤海尺度的生态廊道, 基于水文分析进一步细化了斑海豹在渤海海峡的生态廊道。结果表明两个尺度的生态廊道都有斑海豹活动历史。在空间分布上, 大尺度廊道与斑海豹季节性迁徙洄游的关键路径吻合, 小尺度廊道符合斑海豹的栖息捕食活动规律。但上述廊道基本未被现有国家级海洋保护地覆盖, 大尺度下渤海海峡廊道被老铁山水道和长山水道的航运热点阻隔, 小尺度下的关键生态廊道可能同时受到养殖区影响。研究建议根据生态廊道的时空分布, 在国家公园候选区设置季节性核心保护区和外围保护地带, 根据迁徙和活动规律实施动态管控。

关键词:斑海豹; 旗舰物种; 海洋保护地; 生态廊道; 渤海海峡

Study on the ecological corridor of spotted seals in the Bohai and Yellow Seas

ZHUANG Hongfei¹, LU Zhichuang², LIU Zengli³, WANG Zongling¹, ZHAO Linlin^{1,*}

1 Observation and Research Station of Bohai Strait Eco-Corridor, First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China

2 Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Dalian 116023, China

3 Forestry and Grassland Inventory and Planning Institute, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100714, China

Abstract: Ecological corridors are crucial pathways for wildlife migration, dispersal, and life cycle completion. The spotted seal is the flagship species of three national parks strategically located in the Bohai Sea and Yellow Sea Marine Island Ecological Geographic Region (BYME). Identifying ecological corridors for spotted seals is urgent to improve conservation planning and management measures for marine spaces in relevant national parks and reduce their potential risk of local extinction. We conducted satellite beacon tracking surveys from 2010 to 2020, a participatory geographic information system (PGIS) survey on Changdao in 2023, identified BYME's ecological corridors using niche models and Linkage Mapper, and further refined ecological corridors within the Bohai Strait based on hydrological analysis. Our results showed that there were historical records of spotted seal activity in both large-scale and small-scale ecological corridors. The large-scale corridor aligned with their crucial seasonal migration route while the small-scale corridor corresponded their habitat and feeding activity patterns. However, these corridors were not covered by existing national marine protected areas. At a large scale, shipping hotspots such as Laotieshan Waterway and Changshan Waterway block the corridor within the Bohai Strait while some key small-scale corridors may also be affected by mariculture zones. This study proposes the establishment of seasonal

基金项目:国家自然科学基金项目(青年科学基金项目)(32201433); 青岛博士后应用研究项目(QDBSH202205); 国家重点研发计划项目(2022YFF0802204)

收稿日期:2024-01-06; **采用日期:**2024-02-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaolinlin@fio.org.cn

core zones and peripheral conservation zones in potential national parks, based on the spatial and temporal distribution of ecological corridors, while implementing dynamic management strategies aligned with migration and activity regulations.

Key Words: spotted seal; flagship species; marine protected area; ecological corridor; Bohai Strait

生境破碎化是野生动物种群数量减少,形成地理隔离,甚至是物种灭绝的重要因素之一^[1-2]。孤立的就地保护措施已经不能满足物种的长效保护需求,在繁殖地、越冬地、停歇地等重要栖息地之间的生态廊道将为野生动物迁移、扩散留下充足空间^[3-6]。已经设立的三江源国家公园、大熊猫国家公园、东北虎豹国家公园、海南热带雨林国家公园都将生态廊道的保护和建设纳入总体规划,旨在增强藏羚(*Pantholops hodgsoni*)、雪豹(*Panthera uncia*)、大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)、东北虎(*Panthera tigris altaica*)、东北豹(*Panthera pardusorientalis*)和海南长臂猿(*Nomascus hainanus*)等旗舰物种生境连通性。斑海豹(*Phoca largha*)是全国主要旗舰种(伞护种)中仅有的2个海洋物种之一,也是渤海海洋海岛生态地理区唯一的旗舰种与代表性洄游动物^[7-9]。然而自20世纪40年代以来,斑海豹种群规模减少了近80%^[10],成为我国国家一级保护动物、易危等级物种。如何在海域中识别并保护好关键生态廊道,成为斑海豹种群保护以及渤海海洋海岛生态地理区以国家公园为主体的自然保护地体系建设的重要挑战。

尺度是生态廊道的重要特征^[11]。斑海豹渤海生态廊道识别要考虑不同尺度的生态需求与方法的适用性。在渤海尺度,生态廊道需将斑海豹最重要的繁殖地(越冬地)、停歇地连接起来,保护迁徙洄游生命周期过程。目前流行的建模理论中,阻力模型最符合斑海豹大尺度生态廊道识别需求,依托这种理论的方法需明确环境阻力^[12]。近来,越来越多的生态廊道识别研究结合了生态位模型,将生境适宜度作为判断环境阻力的综合指标^[13-15]。考虑到斑海豹的生境分布格局月际变化很大,环境阻力应综合生境时空变化信息^[16]。另外,渤海海峡作为斑海豹迁徙洄游的关键节点,留出斑海豹的活动通道是关键,然而在该尺度没有明确的源地,无法应用阻力模型等相关方法进行生态廊道建模。水文分析中基于空间值高低创建线型网络的方法理念,可以用于探索斑海豹在局地尺度真实生态廊道的识别。

鉴此,本研究基于月度潜在生境设计了阻力模型识别斑海豹在渤海尺度的生态廊道,基于水文分析的理念与工具识别斑海豹在渤海海峡的生态廊道,并通过活动位点与跟踪轨迹验证生态廊道的有效性,最后分析生态廊道与人类活动的空间关系。本研究旨在为斑海豹种群保护提供支持,为渤海海洋海岛生态地理区以国家公园为主体的自然保护地体系布局管理提供科学依据,同时希望为海洋生态廊道规划保护提供方法与案例参考。

1 研究区概况

渤海海洋海岛生态地理区包括渤海和黄海,是位于世界最大的陆架浅海温带海洋生态系统,重要海洋生物的产卵场、育幼场、越冬场和洄游通道,涉及辽河口、黄河口、长岛三个国家公园候选区^[17]。其中辽河口是该区域斑海豹种群最重要的繁殖区,长岛是斑海豹在渤海与黄海间迁移洄游的关键停歇地^[18],斑海豹也是该生态地理区唯一的伞护种/旗舰种。另外,该区域是人类海洋活动的热点区域,航运和养殖活动可能影响生态廊道的连通性。一方面该海域航运繁忙,据天津海关统计,2021年京津冀进出口总值4.44万亿元人民币;另一方面,渔业养殖历史悠久,位于渤海海峡的长岛被称为“鲍鱼之乡”、“扇贝之乡”、“海带之乡”^[19-20]。

2 研究方法

2.1 阻力模型构建

本研究基于ArcGIS(10.6版本,ESRI 2018)平台采用Linkage Mapper(2.0.0版本,Github site)阻力模型识别斑海豹在渤海尺度的生态廊道^[21]。在之前的研究中,我们基于8427条卫星信标跟踪调查数据(详见

图 1) 与温盐、海底地形等环境数据,使用生态位模型 (BIOMOD2, 4.1.2 版本, R Development Core Team) 和 Zonation (GUI4.0.0 版本, University of Helsinki) 系统保护规划工具来识别了斑海豹的月度潜在生境 (10、11 月数据缺失) 和全年度、全区域保护优先区^[16]。其中,12 月、1 月、2 月既是斑海豹的繁殖季,也是越冬季,本研究将以上月份的潜在生境与的保护优先区的重叠区域作为建模源地,这些区域也包括了斑海豹种群的重要停歇地——渤海海峡。其次,本研究将基于斑海豹全年月度潜在生境得到的累积分布频次图层反转为值 0—10 的环境阻力图层,值越大累积分布频次越低、环境阻力越大。建模步骤如下:识别邻近源地;基于成本加权的欧式距离法创建源地网络;计算成本加权距离和最小成本路径,去除源地内廊道;计算、归一化和镶嵌廊道,设置廊道截断阈值 (经多次建模测试确定为 4000000),其他参数按模型默认设置。

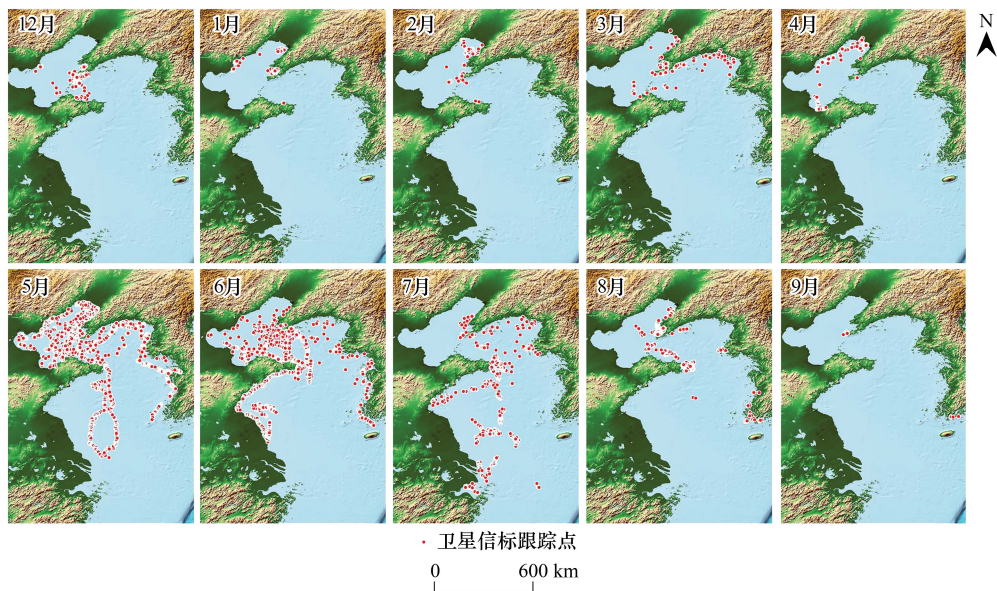


图 1 斑海豹月度卫星信标跟踪位点

Fig.1 Monthly satellite beacon tracking sites of spotted seals

2.2 基于水文分析的生态廊道识别

斑海豹主要围绕渤海海峡的岛礁栖息、捕食,而渤海海峡的岛礁主要分布长岛管辖海域,因此本研究聚焦于长岛管辖海域识别斑海豹在渤海海峡尺度栖息、捕食的生态廊道。

本研究于 2023 年 4—5 月通过参与式地理信息系统 (PGIS) 进行了长岛社区调查,参与调查 66 人,收集到斑海豹在长岛海域的目击活动位点 100 个 (详见表 1,图 2),结合卫星信标跟踪调查得到的 401 个斑海豹在长岛海域的活动位点,进行点密度分析,按照分位数原则将连续型密度分布重分类为 0—10 密度等级,进一步反转为值 0—10 的环境阻力图层,值越大活动位点密度越低、环境阻力越大。将基于累积分布频次和密度分析得到环境阻力图层进行模糊叠加,获得渤海海峡和长岛海域的环境阻力图层。然后通过 ArcGIS 10.6 的水文分析工具依次按照填洼、流向、流量、设定阈值 (>44)、栅格矢量化识别斑海豹在渤海海峡和长岛海域的生态廊道。

表 1 长岛斑海豹目击活动位点

Table 1 Spotting sites for spotted seals on Changdao Island

代码 Code	经度 Longitude	纬度 Latitude	目击时间与目击人 Eyewitness information
1	120.638101	38.042956	20230504,王仁君 (大钦副书记)
2	120.610697	37.995252	202204-06,杜青 (大黑山养殖专业户)
3	120.75178	37.965817	20210604,肖长兴 (养殖专业户)
4	120.585322	37.969877	202002,肖在海 (大黑山岛渔家乐)

续表

代码 Code	经度 Longitude	纬度 Latitude	目击时间与目击人 Eyewitness information
5	120.627951	37.915067	202006,赛结明(大黑山岛海产采购)
6	120.585322	37.994237	202002,张山(大黑山看海人)
7	120.590397	37.963787	202006,骆传峰
8	120.868504	38.067316	202004,刘长海(海钓船船长)
9	120.958838	38.026716	202107,刘长海(海钓船船长)
10	120.829935	37.987132	202006,刘长海(海钓船船长)
11	120.629981	38.077466	202006,苏向涛(钓鱼船船长)
12	120.959853	38.037881	20200512,苏向涛(钓鱼船船长)
13	120.873579	38.077466	202106,4头,苏本杰(钓鱼专业户)
14	120.887789	38.034836	202106,苏本杰(钓鱼专业户)
15	120.960868	38.035851	202208,4头,苏本杰(钓鱼专业户)
16	120.758885	37.971907	202006,刘玉青(钓鱼专业船船长)
17	120.864444	38.012506	201909,刘玉青(钓鱼专业船船长)
18	120.952748	38.017581	201811,刘玉青(钓鱼专业船船长)
19	120.641146	38.038896	202006,史红光(运输船长)
20	120.590397	37.962772	史红光(运输船长)
21	120.8005	38.269299	201911,王仁君(大钦副乡长)
22	120.78426	37.982057	202206,孙把头(海参养殖海区)
23	120.622876	38.076451	202006,王殿机(猴矶岛岛主)
24	120.635056	38.076451	202005,王义辉(猴矶岛岛主)
25	120.829935	38.016566	202210,袁可伟(车由岛钓鱼船长)
26	120.614757	37.929277	202106,袁式纹(小钓船船员)
27	120.588367	37.968862	201806,袁式纹(小钓船船员)
28	120.886774	38.033821	202006,吴玉明(北长山钓鱼船长)
29	120.952748	38.020626	202110,吴玉明(北长山钓鱼船长)
30	120.641146	38.069346	20220510,荆玉民(钓鱼船长)
31	120.610697	37.995252	202204,王告林(北庄村委会)
32	120.647236	37.986117	202006,王告林(北庄村委会)
33	120.586337	37.972922	201906,宽诸强(坛子网船长)
34	120.603592	37.944502	202106,刘延招(小豪村养殖专业户)
35	120.617801	38.020626	202204,刘德勤(小豪村)
36	120.614757	37.929277	202106,彭彩明(渔船船长)
37	120.77817	37.896797	202104,彭彩明(渔船船长)
38	120.606637	37.993222	201811,葛维远(大黑山渔船船长)
39	120.744675	37.991192	202105,于国兴(钓鱼船船长)
40	120.925344	38.051076	202008,于国兴(钓鱼船船长)
41	120.950718	38.019611	201909,于国兴(钓鱼船船长)
42	120.637086	38.021641	202104,孔庆家(钓鱼船)
43	120.952748	38.068331	201602-03,范国升(大竹山养殖)
44	120.837039	38.070361	202303,赵光伟(钓鱼船船长)
45	120.641146	38.077466	202004-05,隋侯杰(摩托艇经理)
46	120.882714	38.022656	202112,隋侯杰(摩托艇经理)
47	120.952748	38.023671	202111,隋侯杰(摩托艇经理)
48	120.638101	38.114006	202104,孙远彪(钓鱼能手)
49	120.636071	38.074421	202105,刁有村(钓鱼船船老大)
50	120.947673	38.015551	202205,刘新国(摩托艇驾驶员)
51	120.635056	38.074421	20220410,张万东(猴矶岛职工)
52	120.742645	37.991192	202205,伟成(旅游船船长)
53	120.78629	37.933337	202304,伟成(旅游船船长)
54	120.836024	38.291629	20201005,宋乘升(北隍养鱼户)

续表

代码 Code	经度 Longitude	纬度 Latitude	目击时间与目击人 Eyewitness information
55	120.666521	38.013521	20210415, 王志强(赵王村海蛎子养殖户)
56	120.949703	38.017581	20210512, 王志强(赵王村海蛎子养殖户)
57	120.619831	37.993222	20210320, 肖长拥(龙爪山景区员工)
58	120.645206	37.955667	20220410, 肖长拥(龙爪山景区员工)
59	120.666521	38.013521	202204, 冷少迪(养殖专业户)
60	120.672611	37.951607	20220310, 冷少迪(养殖专业户)
61	120.636071	37.933337	20190503, 罗铁龙(个体船运输船长)
62	120.76802	37.905932	20210410, 罗铁龙(个体船运输船长)
63	120.639116	38.034836	20190502, 宋乐强(北隍城山前冷藏职工)
64	120.662461	38.014536	202104, 宋乐强(北隍城山前冷藏职工)
65	120.647236	37.985102	20180501, 赵捡(长政交船大副)
66	120.77005	37.906947	20180420, 赵捡(长政交船大副)
67	120.679716	38.018596	20190502, 张成(长政交船大副)
68	120.641146	38.069346	202105, 王亲宾(长政交船船长)
69	120.590397	37.968862	20190225, 王仁腹
70	120.644191	37.985102	202205, 孙运杰(摩托艇)
71	120.954778	38.048031	201812, 孙运杰(摩托艇)
72	120.78832	38.284524	202010, 胡志强(大钦岛乡渔业助理)
73	120.645206	37.956682	20230402, 张万业(养殖专业户)
74	120.622876	37.928262	20210520, 黄万军(大黑山岛运输船船长)
75	120.61872	37.989378	20220601, 王余友(大黑山岛渔民)
76	120.61872	37.930604	202105, 王余友(大黑山岛渔民)
77	120.660324	37.943152	20200420, 王鱼神(乐园村钓鱼者)
78	120.705891	37.904849	202105, 王鱼神(乐园村钓鱼者)
79	120.679475	38.013813	202304, 冷述敬(养殖专业户)
80	120.63655	38.148531	202204, 胡奎光(钓鱼船)
81	120.661645	38.010511	202204, 胡奎光(钓鱼船)
82	120.637211	38.120134	20210510, 苏茂冬(国家海洋公园船长)
83	120.662305	37.937208	20220501, 苏茂冬(国家海洋公园船长)
84	120.742212	37.988058	20220410, 苏茂冬(国家海洋公园船长)
85	120.742212	37.980793	20210505, 王成军(农行职工)
86	120.60155	37.985416	202204, 林克武(北长山店子村)
87	120.709853	37.994662	202205, 林克武(北长山店子村)
88	120.729664	37.976831	202205, 林克武(北长山店子村)
89	120.631267	38.151172	20230330, 韦建华(钓鱼职业)
90	120.620041	38.036266	20230325, 韦建华(钓鱼职业)
91	120.863062	38.071266	20230320, 韦建华(钓鱼职业)
92	120.661645	37.947774	20220310, 王茂礼(小黑山村民钓鱼人)
93	120.847873	38.316268	20200310
94	120.733627	37.970227	20210505, 隋立伟(江豚志愿者)
95	120.724381	37.990039	20210505, 隋立伟(江豚志愿者)
96	120.611456	37.93985	202205, 腾玉信(大黑山岛南庄村)
97	120.63655	37.932586	202205, 腾玉信(大黑山岛南庄村)
98	120.627305	37.955039	姜立善(北庄看海人)
99	120.624663	37.983435	201902
100	120.633248	37.937208	20220315, 腾玉成(大黑山岛南庄船旺村)

综合上述主要步骤和方法,形成了大尺度(渤海)与小尺度(渤海海峡)斑海豹生态廊道识别的技术路线,见图 3。

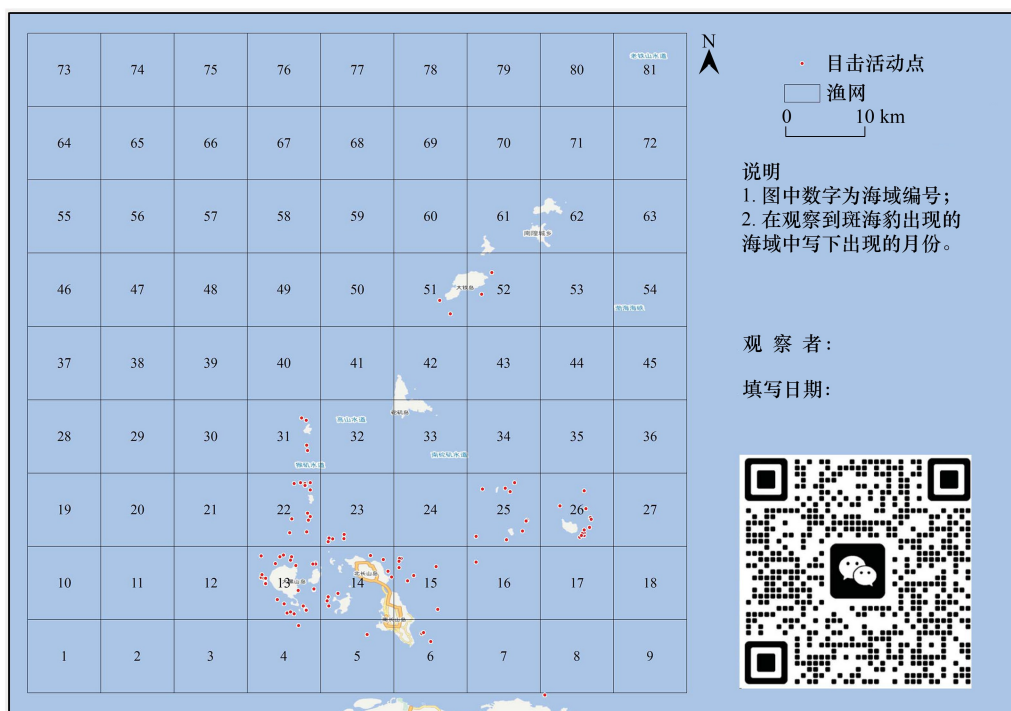


图2 长岛斑海豹目击活动位点

Fig.2 Spotting sites for spotted seals on Changdao Island

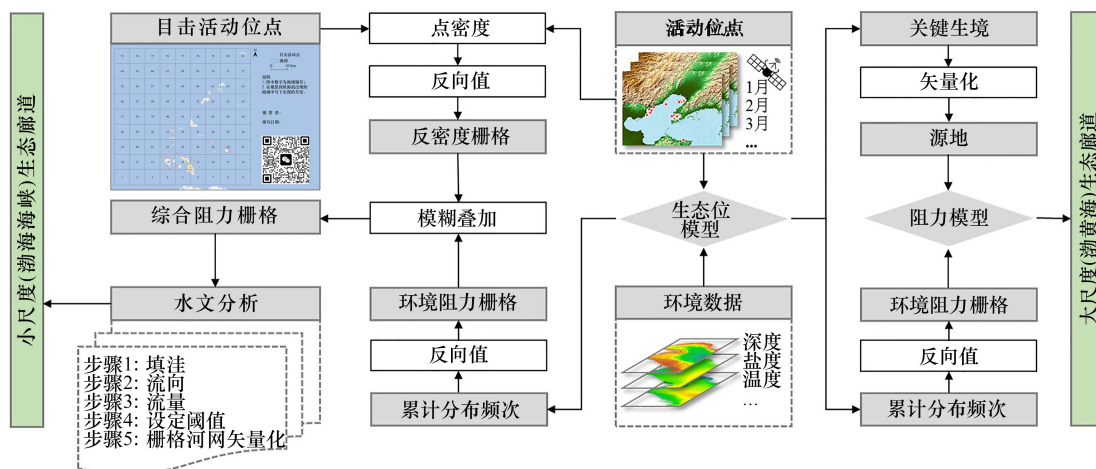


图3 斑海豹不同尺度生态廊道识别技术路线图

Fig.3 Technology roadmap for ecological corridors identification of different scales for spotted seals

2.3 生态廊道验证

本研究提取了距离生态廊道 5km 范围内的斑海豹活动位点(包括卫星信标跟踪的活动位点和社区调查的目击活动位点),以及 6 只卫星信标跟踪时间大于 1 个月的野外救助放归斑海豹活动轨迹,进一步与两个尺度下的生态廊道叠加分析,综合判断通过本研究识别出的生态廊道有无斑海豹通过,是否符合斑海豹的活动规律。

2.4 生态廊道与人类活动的空间分析

建立管理良好的海洋保护地是保护以斑海豹为代表的生物多样性免受海洋利用活动威胁的主要就地保

护策略^[22-24]。本研究收集中国在渤海建立的 102 个国家级海洋保护地的空间分布数据,去除交叉重叠面积为 51843km²,包括 13 个自然保护区(11308km²)、43 个海洋公园(包括海洋特别保护区)(5193km²)、46 个水产种质资源保护区(38090km²)。

另一方面,本研究搜集了散货船、集装箱船、油船三大类船舶在 2021 年的航行位点(船讯网, www.shipxy.com),得到渤海船舶位点共 638145 个。进而以船舶位点对应的船舶数量作为输入加权特征,基于 Getis-Ord Gi* 统计进行航运活动的热点分析,将 $Gi_Bin > 1$ 且 $P < 0.1$ 的点作为显著航运热点^[25-26]。同时,基于 2021 年高分六号卫星影像产品进行解译,得到长岛管辖海域养殖区的空间分布,面积约为 316km²,作者在 2021 年 7 月—2022 年 7 月长岛海域现场调查中验证了遥感解译识别出的养殖区范围准确可靠。

在此基础上,我们通过 ArcGIS 叠加分析斑海豹生态廊道与海洋保护地、航运热点以及区域海域养殖区的空间关系,明确生态廊道在空间上的保护管理活动与海洋利用活动现状。

3 结果与分析

3.1 渤海区域尺度生态廊道

根据 Linkage Mapper 阻力模型的最优选划方案,斑海豹在渤海主要生态廊道共有 5 条,廊道间互有交叉重叠,位于渤海海峡区域的生态廊道呈南北向分布,其余生态廊道沿岸线分布。其中,海峡黄海廊道最长,连接长岛和辽东半岛东岸源地,路径长度为 247km;大连廊道长度次之,186km,连接辽东半岛东岸和西岸源地;海峡渤海廊道连接长岛和辽东半岛西岸源地,路径长度为 146km;辽东湾廊道连接辽东湾东部和西部源地,路径长度为 99km;黄海廊道连接辽东半岛东岸源地间的生态廊道,路径长度为 28km(图 4)。同时,识别出作为备选方案的潜在生态廊道共 4 条,其中 51% 与最佳生态廊道重叠。本研究基于最佳生态廊道进行后续分析。

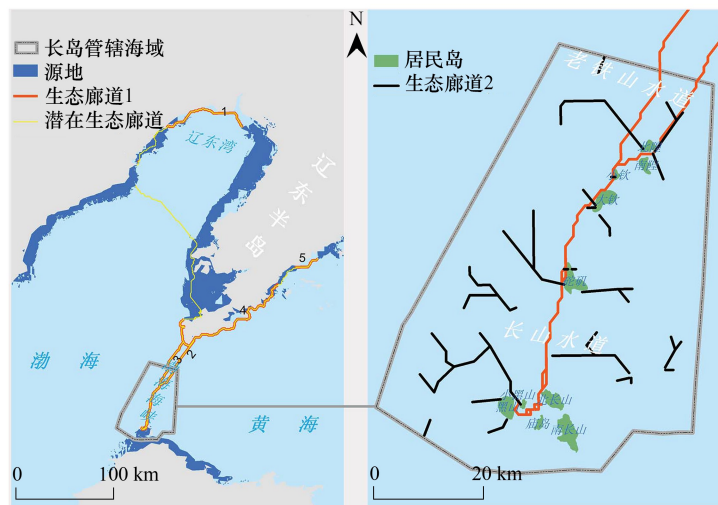


图 4 斑海豹在渤海区域尺度和渤海海峡尺度的生态廊道

Fig.4 Ecological corridors of spotted seals in the Bohai and Yellow Seas and the Bohai Strait

生态廊道 1:渤海区域尺度的生态廊道;生态廊道 2:渤海海峡尺度的生态廊道;1:辽东湾廊道;2:海峡黄海廊道;3:海峡渤海廊道;4:大连廊道;5:黄海廊道

3.2 渤海海峡尺度生态廊道

基于水文分析识别出斑海豹在该尺度的生态廊道总长 200km,空间上呈东西向分布(图 4),这些廊道分为两类,一类是以岛屿为枢纽的生态廊道,他们与岛屿相连形成整体,留出了斑海豹从远岛海域至近岛海域再至远岛海域游走的活动通道;另外一类是位于长山水道的生态廊道,长山水道是斑海豹在长岛活动最为频繁

的区域,但在该区域的生态廊道分为东、西两部分,未能实现贯通。

3.3 生态廊道验证

本研究在渤海湾尺度识别的生态廊道 5km 范围内有斑海豹活动位点 787 个,并存在其活动轨迹,其中连接辽东半岛东岸、西岸源地生态廊道基本被活动位点覆盖(图 5);本研究在渤海海峡尺度识别的生态廊道 5km 范围内有斑海豹活动位点 440 个,并存在其活动轨迹,生态廊道与斑海豹活动轨迹皆成东西走向,长山水道区域廊道周围的活动位点最为密集。以上结果表明,两个尺度识别的生态廊道都有斑海豹活动历史,适宜斑海豹通过,特别是渤海海峡尺度识别的生态廊道符合斑海豹东西向游走的活动规律。

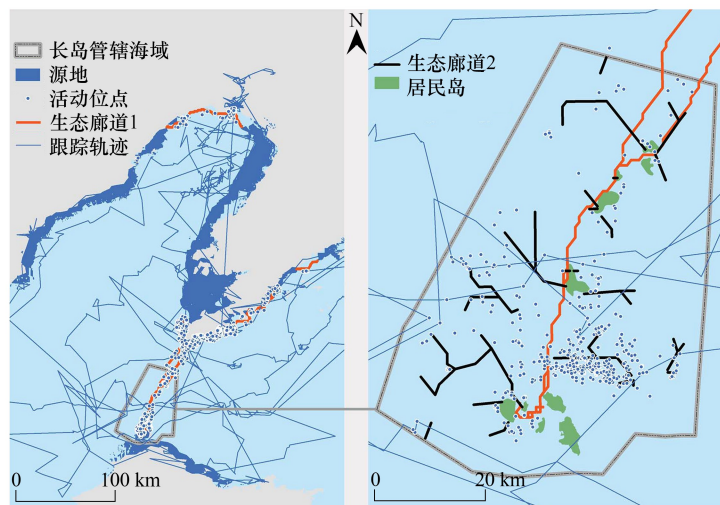


图 5 斑海豹的生态廊道、活动位点和卫星信标跟踪轨迹

Fig.5 Ecological corridors, activity sites and satellite beacon tracking trajectories of spotted seals

3.4 生态廊道与人类活动的空间关系

海洋保护地属于有益于保护生态廊道的管理活动,辽东湾廊道位于自然保护区、水产种质资源保护区范围内,本研究各尺度识别的其他生态廊道基本未被国家级海洋保护地所覆盖(图 6)。

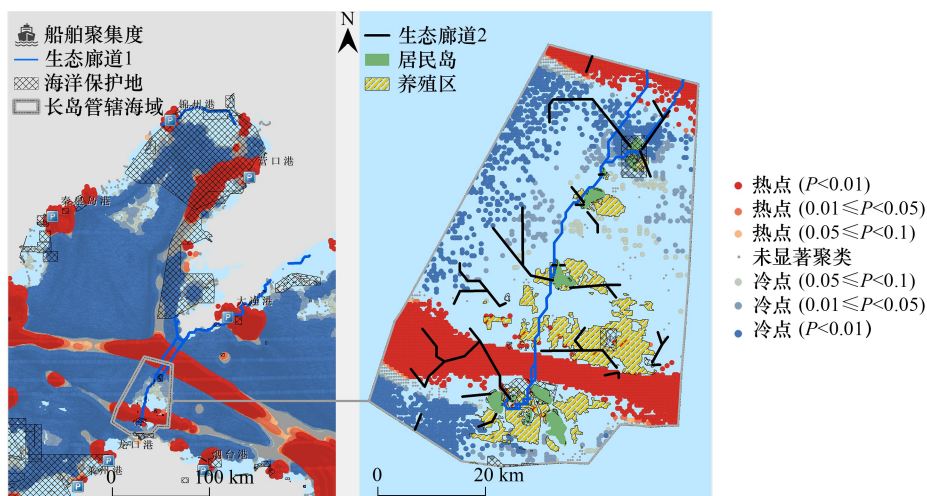


图 6 斑海豹生态廊道与国家级海洋保护地、航运热点、长岛养殖区的空间分布

Fig.6 Spatial distribution of the spotted seal ecological corridor in relation to national marine protected areas, shipping hotspots, and the Changdao aquaculture zone

热点 ($0.05 \leq P \leq 0.1$)、热点 ($0.01 \leq P \leq 0.05$) 与热点 ($P < 0.01$) 为本研究航运热点

热点分析结果表明航运热点集中在老铁山水道、长山水道和港口附近,在渤海尺度上,位于渤海海峡的两条生态廊道被水道航运热点所阻隔,辽东半岛东岸的生态廊道被大连港的航运热点所阻隔;在渤海海峡尺度,长山水道北侧的生态廊道主要受养殖区所阻隔,南侧的生态廊道主要受航运热点所阻隔。

4 讨论

4.1 海洋生态廊道环境阻力

相比陆地,海洋系统更为复杂,是具有混沌和广泛连通特征的非线性系统^[27]。然而目前揭示多维环境因子交互作用对海洋动物分布和活动的影响仍存在挑战^[28]。生态位模型是一种可以基于物种空间分布数据以及相关环境因子推演物种在整个研究区生境适宜程度的概率模型^[29]。因此,本研究基于月度生境的累积分布频次反映斑海豹在渤海的环境阻力,既实现了环境数据的降维,又考虑了斑海豹分布随季节而变化的生活史特征,这种考虑时间纬度的生态位建模方式为以斑海豹为代表的迁徙洄游物种确定环境阻力提供了思路^[8-9]。

4.2 生态廊道构建的尺度性

从长岛管辖海域来看,本研究在渤海尺度与渤海海峡尺度识别的生态廊道在空间分布上并不一致。两个尺度识别的生态廊道周围虽然都分布有斑海豹活动位点,但从卫星信标跟踪轨迹来看,显然渤海海峡尺度识别的生态廊道更加符合斑海豹东西走向的活动规律,也符合渤海海峡水交换和环流特征^[30]。在方法上,阻力模型的构建思路是确定源地之间累积成本(包括路径长度)最低的廊道即为最优廊道^[31]。本研究渤海海峡南北两端的源地,决定了模型识别出南北走向的生态廊道。另一方面,生态廊道设计的功能目标存在尺度差异^[32]。渤海尺度生态廊道主要为保障斑海豹在关键生境斑块间完成迁徙洄游的生命周期过程,时空尺度更大,模型结果符合斑海豹的迁徙洄游路线^[16],是未来渤海海洋海岛生态地理区国家公园等空间布局选划、优化的重要科学依据;渤海海峡尺度生态廊道属于渤海尺度廊道的进一步细化,对于实现局地尺度上的精细化管理具有重要意义。

4.3 生态廊道就地保护建议

自然保护区是生物多样性保护的基石,以国家公园为主体的海洋保护地布局建设尤为紧迫^[33-35]。辽东湾北部的生态廊道是本研究唯一被现有海洋保护地覆盖的生态廊道,但仅有 30%位于自然保护区,其余位于水产种质资源保护区。该保护形式在中办发[2019]42 号文中被归为自然保护区^[36],但目前尚未划归国家林业和草原局(中国自然保护区主管部门)管理,其主要功能不是生物多样性保护。因此,本研究建议未来辽河口国家公园边界范围的选划中考虑辽东湾北部的生态廊道,或将其设为外围保护地带作为国家公园的补充。每年 3 月斑海豹开始聚集到长岛,到 5 月才逐渐离开^[37]。本研究建议未来长岛国家公园在此期间根据该尺度识别的生态廊道和相关生境分布划定斑海豹的季节性核心保护区。另外,本研究显示长山水道养殖区在空间上与斑海豹在该尺度下的生态廊道重叠。未来应进一步调查研究该区域的“人豹关系”,根据斑海豹迁徙和活动规律制定动态管控方案。

参考文献 (References):

- [1] Driezen K, Adriaensen F, Rondinini C, Doncaster C P, Matthysen E. Evaluating least-cost model predictions with empirical dispersal data: a case-study using radiotracking data of hedgehogs (*Erinaceus europaeus*). *Ecological Modelling*, 2007, 209(2/3/4): 314-322.
- [2] Nikolakaki P, Dunnett N. The use of spatial concepts as a basis for designing a viable-habitat network: Conserving redstart (*Phoenicurus phoenicurus*) populations in Sherwood Forest, England. *Journal for Nature Conservation*, 2005, 13(1): 31-48.
- [3] Bastille-Rousseau G, Wittenmyer G. Characterizing the landscape of movement to identify critical wildlife habitat and corridors. *Conservation Biology*, 2021, 35(1): 346-359.
- [4] Dai Y C, Hacker C E, Zhang Y G, Li W W, Zhang Y, Liu H D, Zhang J J, Ji Y R, Xue Y D, Li D Q. Identifying climate refugia and its potential impact on Tibetan brown bear (*Ursus arctos pruinosus*) in Sanjiangyuan National Park, China. *Ecology and Evolution*, 2019, 9(23): 13278-13293.
- [5] Nielsen S E, McDermid G, Stenhouse G B, Boyce M S. Dynamic wildlife habitat models: seasonal foods and mortality risk predict occupancy-

- abundance and habitat selection in grizzly bears. *Biological Conservation*, 2010, 143(7): 1623-1634.
- [6] 刘璐, 迟瑶, 吴朝宁, 钱天陆, 王结臣. 陆栖哺乳动物的地理隔离研究进展. *生物多样性*, 2021, 29(8): 1134-1145.
- [7] 国家林业和草原局调查规划设计院, 国家林业和草原局国家公园管理办公室, 清华大学等. 国家公园设立规范. 国家市场监督管理总局; 国家标准化管理委员会. 2021; 24.
- [8] Won C, Yoo B H. Abundance, seasonal haul-out patterns and conservation of spotted seals *Phoca largha* along the coast of Bak-ryoung Island, South Korea. *Oryx*, 2004, 38(1): 109-112.
- [9] Nesterenko V A, Katin I O. Pattern of shore use by spotted seals in the sea of Japan. *Oceanology*, 2020, 60(2): 220-227.
- [10] Yan H K, Wang N, Wu N, Lin W N. Abundance, habitat conditions, and conservation of the largha seal (*Phoca largha*) during the past half century in the Bohai Sea, China. *Mammal Study*, 2018, 43(1): 1-9.
- [11] Bennett A. Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN, Gland and Cambridge, 2003: 57-60.
- [12] 单楠, 周可新, 潘扬, 唐夫凯. 生物多样性保护廊道构建方法研究进展. *生态学报*, 2019, 39(2): 411-420.
- [13] 何思璇, 张典, 吴福星, 王先艳, 胡文佳, 梁姗姗, 杜建国, 俞炜炜, 陈彬. 厦门湾中华白海豚潜在生态廊道识别及人类活动干扰评估. *生态学报*, 2022, 42(21): 8555-8567.
- [14] 滕扬, 张沼, 张书理, 杨永昕, 贺伟, 王娜, 张正一, 鲍伟东. 大兴安岭南段马鹿生境适宜性分析与生态廊道构建. *生态学报*, 2022, 42(14): 5990-6000.
- [15] 王启蕃, 陈红, 牛莹莹, 张子栋, 梁卓, 田新民, 张明海, 周绍春. 黑龙江省老爷岭南部东北梅花鹿栖息地适宜性评价及廊道构建. *兽类学报*, 2023, 43(5): 489-500.
- [16] Zhuang H F, Shao F, Zhang C, Xia W C, Wang S Q, Qu F Y, Wang Z L, Lu Z C, Zhao L L, Zhang Z H. Spatial-temporal shifting patterns and *in situ* conservation of spotted seal (*Phoca largha*) populations in the Yellow Sea ecoregion. *Integrative Zoology*, 2023; 1-12.
- [17] 唐小平, 欧阳志云, 蒋亚芳, 马伟, 徐卫华, 陈尚, 刘增力. 中国国家公园空间布局研究. *国家公园(中英文)*, 2023, 1(1): 1-10.
- [18] 韩家波, 鹿志创, 田甲申, 马志强, 王召会, 杨勇, 王勤国, 宋新然, 彭志平. 基于卫星信标跟踪的斑海豹放流效果研究. *兽类学报*, 2013, 33(4): 300-307.
- [19] Halpern B S, Frazier M, Potapenko J, Casey K S, Koenig K, Longo C, Lowndes J S, Rockwood R C, Selig E R, Selkoe K A, Walbridge S. Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications*, 2015, 6: 7615.
- [20] 朱华晟. 庙岛群岛海水养殖业持续发展探析. *地域研究与开发*, 2000, 19(4): 26-29.
- [21] McRae B H, Shah V B, Mohapatra T K. Circuitscape 4 User Guide. The Nature Conservancy. 2013, <http://www.circuitscape.org>.
- [22] McNeill S E. The selection and design of marine protected areas: Australia as a case study. *Biodiversity & Conservation*, 1994, 3(7): 586-605.
- [23] Montesino Pouzols F, Toivonen T, Di Minin E, Kukkala A S, Kullberg P, Kuusterä J, Lehtomäki J, Tenkanen H, Verburg P H, Moilanen A. Global protected area expansion is compromised by projected land-use and parochialism. *Nature*, 2014, 516: 383-386.
- [24] Tittensor D P, Beger M, Boerder K, Boyce D G, Cavanagh R D, Cosandey-Godin A, Crespo G O, Dunn D C, Giffary W, Grant S M, Hannah L, Halpin P N, Harfoot M, Heaslip S G, Jeffery N W, Kingston N, Lotze H K, McGowan J, McLeod E, McOwen C J, O'Leary B C, Schiller L, Stanley R R E, Westhead M, Wilson K L, Worm B. Integrating climate adaptation and biodiversity conservation in the global ocean. *Science Advances*, 2019, 5(11): eaay9969.
- [25] Getis A, Ord J K. The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 1992, 24(3): 189-206.
- [26] Ord J K, Getis A. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical Analysis*, 1995, 27(4): 286-306.
- [27] Lorenz E N. Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1963, 20(2): 130-141.
- [28] 孙军, 宋煜尧, 施义锋, 翟健, 燕文卓. 近十年中国海洋生物多样性研究进展. *生物多样性*, 2022, 30(10): 177-191.
- [29] Elith J, Graham C H, Anderson R P, Dudík M, Ferrier S, Guisan A, Hijmans R J, Huettemann F, Leathwick J R, Lehmann A, Li J, Lohmann L G, Loiselle B A, Manion G, Moritz C, Nakamura M, Nakazawa Y, McC M Overton J, Townsend Peterson A, Phillips S J, Richardson K, Scachetti-Pereira R, Schapire R E, Soberón J, Williams S, Wisz M S, Zimmermann N E. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 2006, 29(2): 129-151.
- [30] 冀承振, 黎舸, 于博, 董琳, 刘清容. 渤海海峡水交换多时间尺度变化特征研究. *海洋与湖泊*, 2019, 50(1): 24-30.
- [31] Adriaansen F, Chardon J P, De Blust G, Swinnen E, Villalba S, Gulinck H, Matthysen E. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, 2003, 64(4): 233-247.
- [32] 杨萌, 廖振珍, 石龙宇. 雄安新区多尺度生态基础设施规划. *生态学报*, 2020, 40(20): 7123-7131.
- [33] Zhuang H F, Zhang C, Jin X L, Ge A X, Chen M H, Ye J, Qiao H L, Xiong P, Zhang X F, Chen J Z, Luan X F, Wang W. A flagship species-based approach to efficient, cost-effective biodiversity conservation in the Qinling Mountains, China. *Journal of Environmental Management*, 2022, 305: 114388.
- [34] Zhuang H F, Xia W C, Zhang C, Yang L, Wanghe K Y, Chen J Z, Luan X F, Wang W. Functional zoning of China's protected area needs to be optimized for protecting giant panda. *Global Ecology and Conservation*, 2021, 25: e01392.
- [35] 徐卫华, 赵磊, 韩梅, 欧阳志云. 国家公园空间布局物种保护状况评估. *国家公园(中英文)*, 2023, 1(1): 11-16.
- [36] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》. 中华人民共和国中央人民政府. https://www.gov.cn/zhengce/2019-06/26/content_5403497.htm
- [37] 王丕烈. 渤海斑海豹资源现状和保护. *水产科学*, 1993, 12(1): 4-7.