

DOI: 10.20103/j.stxb.202303190517

李铄, 张路, 曹垒, 熊好琴, 赵青山. 鸿雁迁徙对停歇地的选择特征. 生态学报, 2024, 44(2): 570-578.

Li X, Zhang L, Cao L, Xiong H Q, Zhao Q S. Characteristics of stopover site selection during the migration of swan goose. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(2): 570-578.

## 鸿雁迁徙对停歇地的选择特征

李 铄<sup>1,2</sup>, 张 路<sup>2,\*</sup>, 曹 垒<sup>2</sup>, 熊好琴<sup>1</sup>, 赵青山<sup>2</sup>

1 西南林业大学国家高原湿地研究中心/湿地学院, 昆明 650224

2 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

**摘要:** 建立合理的湿地水鸟保护地是缓解水鸟栖息地丧失和种群下降的重要手段。以往的保护地设计中, 由于越冬地和繁殖地水鸟停留时间长、种群数量大, 受到较多的关注。分析湿地水鸟对停歇地的选择偏好, 掌握停歇地的自然条件和人类活动特征可为水鸟保护网络优化和保护地管理提供决策依据。而在水鸟迁徙过程中, 停歇地作为保护网络的重要节点也发挥了重要作用。因此选择鸿雁为伞护种, 获取了 29 只鸿雁项圈追踪数据, 分析蒙古国 Khukh 湖-中国东北鸭绿江口秋季迁徙路线对停歇地生境选择偏好, 识别了鸿雁在湿地周边不同距离梯度下的活动频率变化。根据鸿雁停歇数据共识别停歇地 63 处, 以此为基础分析停歇的自然条件和人类活动因素特征。结果表明, 鸿雁除选择湖泊和沼泽为停歇地外, 周边 250m 内的裸地和草地也是重要栖息地; 当鸿雁停歇地人类活动较少时, 鸿雁倾向于选择土壤肥沃、食物丰富区, 而人类活动强度加大时, 栖息地植被条件提高能够为鸿雁提供遮避条件, 也吸引了更多鸿雁停歇。研究建议, 在水鸟迁徙重要廊道区应增加水鸟停歇地保护区, 保护区的设计应根据关键保护对象活动频率加强对湿地周边的栖息地保护, 减少水滨人类活动对鸿雁停歇的负面影响; 在人类活动强度较大的地区设立水鸟保护地, 还应加强对植被的保护, 在水鸟利用频率较高的停歇地周边进行植被修复。

**关键词:** 鸿雁; 栖息地偏好; 湿地保护; 水鸟停歇地

## Characteristics of stopover site selection during the migration of swan goose

LI Xian<sup>1,2</sup>, ZHANG Lu<sup>2,\*</sup>, CAO Lei<sup>2</sup>, XIONG Haoqin<sup>1</sup>, ZHAO Qingshan<sup>2</sup>

1 National Plateau Wetlands Research Center/College of Wetlands, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

**Abstract:** Establishing effective wetland sanctuaries for waterfowl is a crucial step in mitigating the loss of their habitats and the decline of their populations. Previous reserve plans have primarily focused on waterbirds at wintering and breeding grounds, prioritizing them due to their extended stopover times and larger populations. By analyzing the preferences of wetland waterbirds for stopover sites and understanding the natural conditions and human activity patterns in these areas, we can make informed decisions to optimize waterbird conservation networks and effectively manage protected areas. During waterfowl migration, stopover sites serve as vital nodes within the conservation network. To study this, we selected geese as the primary species of interest and collected collar tracking data from 29 geese. The data analysis focused on their habitat preferences at stopover sites along the autumn migration route from Khukh Lake in Mongolia to the mouth of the Yalu River estuary in northeast China. We also examined changes in geese activity frequency across different distances around the wetlands. Based on the stopover data, we identified a total of 63 stopover sites and conducted a comprehensive analysis of the natural conditions and human activities present at these locations. Our study showings revealed that geese consider not only lakes and marshes but also bare ground and grassland within a 250-meter radius as important habitats. When the

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42171285, 31860126)

收稿日期: 2023-03-19; 网络出版日期: 2023-10-29

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luzhang@cees.ac.cn

intensity of human activities is low at these stopover sites, geese have a preference for areas characterized by fertile soil and abundant food resources. However, as human activity intensity increases, the vegetation conditions at the resting places improve, offering shelter to the geese and attracting more of them to rest. When the human activity in the resting place is low, geese tend to choose fertile soil and food-rich area as their resting place, while when the intensity of human activity increases, the vegetation condition of the resting place can provide shelter for geese and attract more geese to use the area as their resting place. Therefore, the study suggests that waterfowl resting place protection zones should be increased in important waterfowl migration corridors, and the design of the protection zones should strengthen the habitat protection around the wetlands according to the activity frequency of key protection objects, and reduce the negative impact of human activities around the waterfront on the resting place of geese. At the same time, waterfowl protection areas should be established in areas with high intensity of human activities, and the protection of vegetation should also be strengthened, and vegetation restoration should be carried out around the resting places with high frequency of waterfowl use, so that migratory birds can survive well in the migration corridor.

**Key Words:** swan goose; habitat preference; wetlands conservation; waterfowl resting places

维持水鸟种群数量和丰富度是湿地生态系统的主要功能之一,也是衡量湿地健康的重要指示因子<sup>[1]</sup>。特别是在湿地水鸟的主要迁徙路径上,停歇地可以为它们在迁徙过程中提供暂时的栖息、庇护场所,并补充能量,因而是迁飞成功的关键要素。为保护重要水鸟栖息地和停歇地,近 50 年来,全球已经建立了 648 个国际重要湿地<sup>[2]</sup>,国际鸟盟选择重要鸟区 2293 个<sup>[3]</sup>。大量水鸟保护地的建立,对缓解水鸟栖息地缩减和水鸟种群丧失发挥了重要作用。但有研究显示,全球物种种群仍在持续下降<sup>[4-5]</sup>,对水鸟保护具有重要意义的沿海滩涂湿地减少了 16%<sup>[6]</sup>,水鸟栖息地保护仍然面临很大压力。

如何通过建立合理的保护地,遏制水鸟栖息地丧失,提升迁徙成功率,从而缓解水鸟种群缩减一直是保护生物学界研究的热点。建立合理的水鸟保护地网络首先需要根据水鸟栖息地选择特征和栖息地对水鸟保护的重要性确立保护网络的空间布局。重要保护地选择标准已有大量研究<sup>[7-9]</sup>,例如拉姆萨尔公约及全国湿地保护修复规划等均体现了湿地保护区的重要价值<sup>[10]</sup>。当水鸟保护网络总体布局确定以后,针对特定的保护地节点,需要根据水鸟伞护种或者物种丰富度的分布确定保护地及周边地区水鸟栖息地利用频率,确定核心栖息地分布,并以此为基础划定保护地边界。当前的研究中,水鸟栖息地利用的研究多在单个热点保护地通过观测获取水鸟数据,结合生物地理和人类干扰因素模拟栖息地分布<sup>[11-12]</sup>。这些研究结果能够为保护地规划提供重要依据,但在某些人类活动强度较大或生态系统发生退化的区域,水鸟对栖息地的选择是受到胁迫以后的结果,如果能对鸟类种群进行一个迁徙阶段内的连续追踪监测将能更真实的反映水鸟栖息地偏好,可为退化栖息地的修复和管理提供依据。

在水鸟保护网络中,停歇地相较于繁殖地和越冬地,水鸟种群停留时间短,栖息地面积和食物需求通常也少于繁殖地与越冬地,但在迁徙过程中能够提供停歇和补给,是保护网络中的重要组成部分。掌握水鸟停歇地选择特征,可为水鸟迁徙廊道建设和重要停歇地保护修复提供依据。而以往研究中,对水鸟对停歇地选择的影响因素缺乏共识<sup>[13]</sup>。一般认为,湿地水位变化、水质、食物资源、栖息地结构以及人类干扰等因素都对水鸟是否停歇有所影响<sup>[14]</sup>,但不同区域、不同水鸟类型、以及不同的景观尺度,停歇的驱动因子都有所不同<sup>[15]</sup>。若能在水鸟迁飞的重要区域识别停歇地特征,一方面可为停歇地选择规律提供科学参考,另一方面也可为当地水鸟停歇地生境修复和保护地管理提供决策依据。因此,本研究以鸿雁为伞护种,选择东北亚蒙古—俄罗斯—中国东北迁飞路线为研究区,根据项圈追踪数据确定鸿雁在迁飞过程中的栖息地偏好,识别停歇地的自然环境和人类影响特征,并以此为依据,提出水鸟迁飞廊道内保护地优化建议。

### 1 研究方法

#### 1.1 研究区域概况

东北亚地区是湿地水鸟东亚-澳大利亚迁徙路线的起点,平均每年通过此区域的候鸟种类约 300 多种,数量达数十万只(图 1)。该区域涉及内蒙古、俄罗斯、中国 3 国,其中蒙古国的气候具有强烈的大陆性特征,季温差和日温差均很大。而与其相邻的我国东北地区自南向北跨中温带与亚寒带,属温带季风气候,四季分明。夏季温热多雨,冬季寒冷干燥,自西北向东南,年降水量自 300mm 以下提升至 1000mm,从半干旱区过渡到湿润区、半湿润区。区域内人类活动强度也从西北到东南呈逐渐增加趋势<sup>[16]</sup>。在东北亚迁徙路线上湿地保护地,通常仅以水面为边界(图 2)。同时,拉姆萨尔公约<sup>[2]</sup>重要湿地的选择仅提供了点位的选择标准,缺乏相应湿地保护地边界的设立规范。

#### 1.2 数据获取及预处理

鸿雁追踪数据来自蒙古国繁殖地捕捉的 30 只鸿雁,每只鸿雁为其安装新型轻质的颈环式追踪器,返回有效数据 29 只。所安装的追踪器通过全球定位系统记录每小时每一只雁出现点位,并通过移动网络将信息传至记录端。研究期为秋季迁徙期,共持续两个月监测时间(2016 年 8 月 31 日—2016 年 10 月 28 日),该时间段覆盖了全部监测个体由繁殖地迁飞至海岸带的过程,直线距离 1281km(蒙古国 Khukh 湖到丹东鸭绿江口)。为研究鸿雁停歇地选择特征,将 1h 内移动距离小于 1km 的点位保留,认为是停歇点位。共计获得 13736 个数据点。

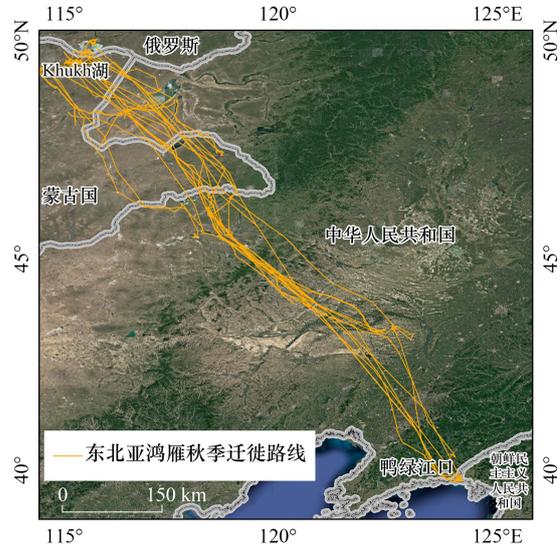


图 1 研究区范围及鸿雁迁徙路线  
Fig.1 Study area and migration route of swan goose

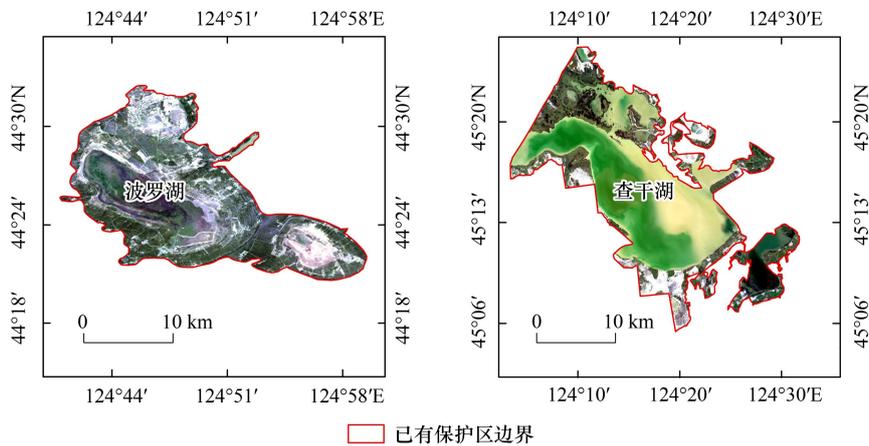


图 2 拉姆萨尔国际湿地公约规定湿地保护范围示意图  
Fig.2 Ramsar Convention on Wetlands Protection map

用于停歇地选择驱动因素分析的空间数据包括地理条件、植被条件、人类活动特征等 9 个变量(表 1)。

其中农田距离和建筑距离由停歇点到相应土地覆被类型的距离计算,数据来自国家地球系统科学数据中心全国土地覆盖(China Cover)数据集(<http://www.geodata.cn>);叶面积指数和植被覆盖度来自中国生态系统与生态安全数据库(ecosystem.csdb.cn);降水和温度数据来自 Peng<sup>[17]</sup>;数字高程模型(DEM)数据来自美国航

空航天局 (ASTER GDEM), 坡度使用 ArcGIS 10.6 根据 DEM 计算; 土壤属性数据来自土壤科学数据库 (<http://vdb3.soil.csdb.cn/>), 土壤有机质计算方法参考 Lu 等<sup>[18]</sup>。

表 1 驱动分析影响因素指标变量

Table 1 Driving analysis of influencing factor index variables

名称 Names	简称 Abbreviations	英文全称 English full names	分辨率 Resolution ratios	单位 Units
距离农田距离	tem_farm2	Distance from farmland	30m	m
距离建筑距离	tem_build2	Distance from building	30m	m
降水	m_prec_3	Precipitation	1km	mm
温度	m_tem	Temperature	1km	°C
海拔	m_DEM	Altitude	30m	m
坡度	m_slope_3	Slope	30m	(°)
叶面积指数	m_LAI10	Leaf area index	30m	—
植被覆盖度	m_fc	Vegetation coverage	30m	%
土壤有机质	soil_yjz_1	Soil organic matter	1km	g/m <sup>3</sup>

### 1.3 数据分析

为检验鸿雁栖息地作为伞护种与同区域分布的其他珍稀水鸟分布范围的重合度, 根据世界自然保护联盟 (IUCN)<sup>[19-20]</sup> 提供的珍稀濒危水鸟范围与鸿雁做叠加分析, 目标物种选择 IUCN 物种红色名录中易危 (VU) 以上级别。鸿雁栖息地偏好采用欧氏距离 (EDA) 分析方法<sup>[21-22]</sup>, 栖息地类型包括裸地、建设用地、农业用地、森林、湖泊、草原、河流、沼泽 8 类。在研究区获取最外围鸿雁分布点连接为分析区域, 在区域内随机选择 10000 个点位, 点位之间最小距离 2km; 受总面积限制, 本研究实际获得随机样点 7441 个。统计每一栖息地类型内鸿雁实际分布点数量与随机点数量。EDA 分析最终通过计算鸿雁实际分布点到各类型的平均距离与随机点到各类型的平均距离的比确定栖息地偏好。若比例显著小于 1 则鸿雁偏好该类型栖息地, 若显著大于 1 则不偏好该类型栖息地。各类型栖息地选择偏好的显著性使用非参数检验方法 (Steel Dwass 检验) 对栖息地类型之间进行两两比较。停歇地特征分析首先根据鸿雁停歇情况, 分析鸿雁对湿地水面利用的距离梯度, 选择湿地斑块和外围利用区为缓冲区, 识别有鸿雁停歇的湿地斑块和外围利用范围, 共识别鸿雁停歇地 63 处。统计以上范围内影响因素数值 (表 1), 进行主成分分析和冗余分析 (RDA), 分析识别停歇地特征。

## 2 结果与分析

### 2.1 叠加分析

在研究区内出现的 15 种主要受威胁在 IUCN 物种红色名录中列为极危 CR、濒危 EN、易危 VU 的物种)<sup>[19-20]</sup> 迁徙鸟类中 (图 3), 鸿雁的分布范围与冠麻鸭 (*Tadorna cristata*)、毛腿雕鸮 (*Bubo blakistoni*)、丹顶鹤 (*Grus japonensis*)、远东苇莺 (*Acrocephalus tangorum*) 等 8 种的重合比例超过 90%, 另有 4 种超过 50%。仅黑面琵鹭 (*Platalea minor*)、花田鸡 (*Coturnicops exquisitus*)、黄嘴白鹭 (*Egretta eulophotes*) 3 种与鸿雁分布范围存在一定差异。可见, 鸿雁在研究区域中的空间分布范围广, 并且与其他珍稀迁徙水鸟的分布范围具有较高比例的空间重合度。

### 2.2 栖息地偏好分析

栖息地偏好采用 EDA 分析<sup>[21-23]</sup> 方法。结果显示, 鸿雁在东北亚秋季迁徙过程中, 湖泊、沼泽、草原和裸地的距离比值都小于 1, 表明对以上 4 类土地覆被具有选择偏好; 以此相对比, 鸿雁对农田、森林、河流、建筑用地并无明显选择偏好, 且可以直观看到湖泊与沼泽的选择偏好最大, 可见鸿雁在栖息停歇地选择偏好中以湖泊与沼泽最为适宜, 草地和裸地次之 (图 4)。Steel-Dwass 检验结果显示, 鸿雁利用裸地、湖泊、草地、沼泽 4 种栖息地类型的情况与利用建筑用地、农田、森林、河流 4 种类型的情况之间均存在显著差异, 体现了对裸

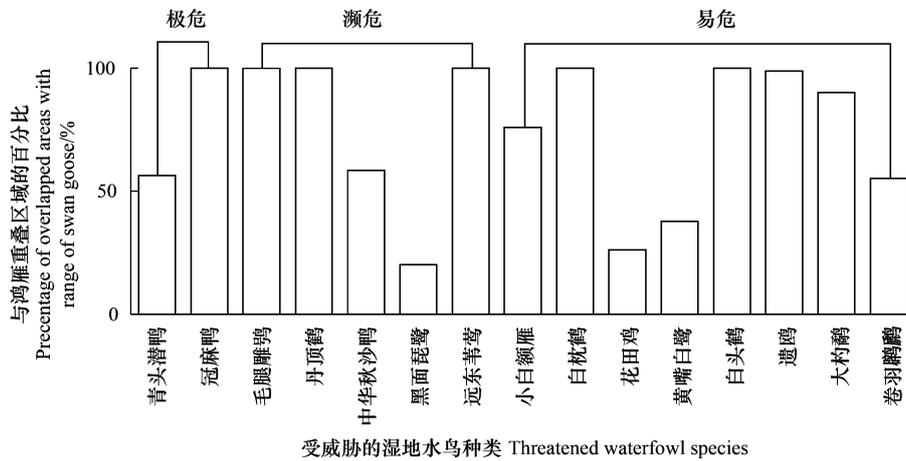


图3 受威胁迁徙鸟类与鸿雁重叠区域范围百分比

Fig.3 Percentage of overlap between threatened migratory birds and swan geese

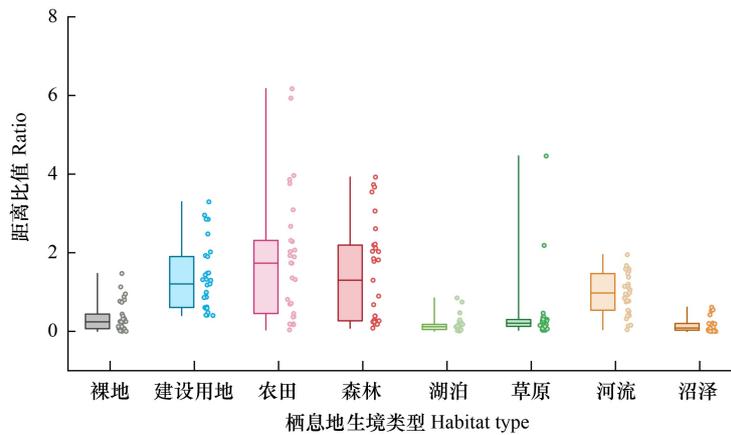


图4 鸿雁栖息地生境类型选择偏好分析

Fig.4 Habitat type selection and preference analysis of swan goose

地、湖泊、草地、沼泽作为栖息地的显著偏好(表2)。

表2 鸿雁栖息地生境类型选择 Steel-Dwass 分析

Table 2 Steel-Dwass analysis of habitat type selection of swan goose

名称 Names	森林	草原	农田	建设用地	裸地	沼泽	湖泊	河流
森林 Forest		0.002	0.998	1.000	0.003	0.000	0.000	0.985
草原 Prairie	3.973		0.000	0.000	1.000	0.306	0.370	0.000
农田 Farmland	0.676	4.502		1.000	0.001	0.000	0.000	0.665
建设用地 Constructions	0.505	5.668	0.521		0.000	0.000	0.000	0.854
裸地 Bareland	3.849	0.381	4.269	5.233		0.225	0.515	0.000
沼泽 Swamp	5.295	2.278	5.389	6.182	2.434		0.998	0.000
湖泊 Lake	5.451	2.169	5.482	6.213	1.952	0.661		0.000
河流 River	0.91	4.673	1.734	1.407	4.424	5.56	5.591	

左下是 T 值, 右上是 P 值

### 2.3 距离梯度

根据距离梯度分析结果(图5)表明, 鸿雁虽然对草地和裸地选择具有显著偏好, 但对以上两类栖息地的选择在空间位置上与湿地或水体斑块具有明显的距离梯度效应, 即鸿雁仅选择水域周围范围的裸地和草地停

歇。在距水域范围 70m 左右时,停留点百分比达到最大值,此时有 70% 以上的鸟类停留在湖泊水域附近的草地与裸地上;当距水面 250m 时停留比例已经小于 5%;500m 以外时停留点百分比接近零,表示基本没有鸟类停留在湖泊水域附近的草地与裸地上。因此,重要鸿雁停歇地的选择确定在停歇湿地斑块及周边 250m 范围。

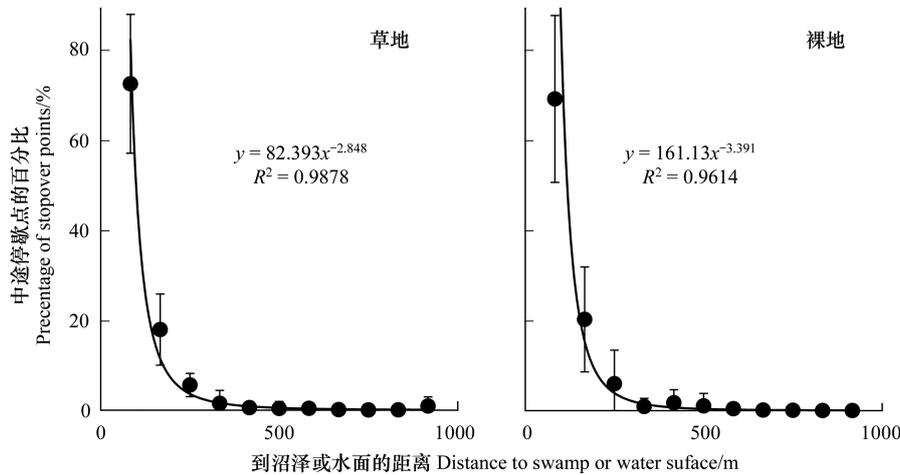


图 5 草地及裸地距离沼泽或水面停歇点距离分析

Fig.5 Distance analysis of grassland and bareland resting points

## 2.4 主成分分析

根据主成分分析结果表明,前三主成分累积可解释停歇地自然环境和人类影响因素 93.17% 的信息量。第一主成分主要由自然条件解释,温度、高程及土壤有机质系数最大,其中土壤有机质有机质系数为 0.952,高程系数为 0.657,温度系数为-0.737,而该成分条件下多为开阔没有人类干扰因素且自然条件较好的区域。此时鸿雁的栖息停留地选择主要依靠食物驱动,隐蔽条件不那么突显。其选择符合传统意义的动物迁徙食物驱动性,其选择土壤有机质高的区域停留进食<sup>[24-25]</sup>。第二主成分主要由气候条件、人类活动干扰、植被条件共同解释,其中代表人类活动干扰的农田和城镇距离系数分别为-0.632、-0.576,高程系数为-0.598,降水及温度系数分别为 0.715、0.675,代表植被条件的叶面积指数及土壤覆盖度均大于 0.30。其中,当为人类干扰达到一定程度时,遮蔽条件的影响系数突显。因此,此时鸿雁的栖息地选择偏好以叶面积指数(LAI)隐蔽条件为驱动,此结果与 RDA 分析得到的结果相对应(图 6),证明鸿雁对于栖息停歇地的选择,当建筑物与农田的人为干扰负面影响增强时,LAI 隐蔽条件的正向影响也随之突出,从而导致此时鸿雁的停歇地选择偏好以水域周围植被条件好的生境为主。

第三主成分主要与人类活动相关,其中代表人类活动干扰的农田和城镇距离系数分别为 0.663、0.34(表 3)。由于长距离迁徙,此时已超过鸿雁的日平均飞行距离极限,无法支撑其继续飞行<sup>[26-27]</sup>,因此鸿雁选择这些面积较小且食物及遮蔽条件均不理想的生境作为栖息停歇支持点。综上,由于在鸟类迁徙途中,气候条件越来越好,人类活动逐渐增加。所以受到人为干扰增多,此时鸟类栖息地周围的植被隐蔽性驱动较无人为干扰时的食物驱动更为突出<sup>[28]</sup>,故鸟类停歇频率受到食物驱动与隐蔽条件驱动两个重要因素的影响,且不同尺度条件下鸟类的栖息停歇地选择倾向也各不相同。

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

在全球鸟类迁徙路线中,目前世界上有 9 条候鸟迁徙路线。其中东亚路线每年迁徙的候鸟有 492 种,水鸟多达 5000 万只,是 9 条路线中拥有候鸟种类和数量最多的<sup>[13]</sup>。通过研究发现,鸟类在此区域对水域栖息

停歇地的选择偏好时,河流的选择偏好并不高(图4),此观点与以往获得的结果不同。其主要原因可能是我国东北地区范围内河道周围滩涂的面积较小,没能为鸿雁提供一个较好的栖息地场所,而鸿雁对于湖泊与沼泽栖息地具有选择偏好(图4)。而同时,鸿雁对湖泊与沼泽周围的裸地及草地能为鸿雁提供相应所需的栖息地场所,因此也具有显著的选择偏好。因此,本研究结果表明,在此区域内湖泊及沼泽周围一定范围内裸地及草地同样具有重要的保护意义。

表3 不同区域点影响鸿雁停歇地选择的各成分要素主成分分析

Table 3 Principal component analysis of different regional points affecting the resting site selection of swan goose

名称 Names	简称 Abbreviations	英文全称 English full names	第一主成分 Factor 1	第二主成分 Factor 2	第三主成分 Factor 3
距离农田距离	tem_farm2	Distance from farmland	0.12	-0.632	0.663
距离建筑距离	tem_build2	Distance from building	0.036	-0.576	0.34
降水	m_prec_3	Precipitation	-0.245	0.715	-0.225
温度	m_tem	Temperature	-0.737	0.675	0.004
海拔	m_DEM	Altitude	0.657	-0.598	-0.361
坡度	m_slope_3	Slope	-0.086	0.253	0.015
叶面积指数	m_LAI10	Leaf area index	-0.013	0.303	0.069
植被覆盖度	m_fc	Vegetation coverage	0.097	0.314	-0.014
土壤有机质	Soil_yjz_1	Soil organic matter	0.952	0.307	0.003

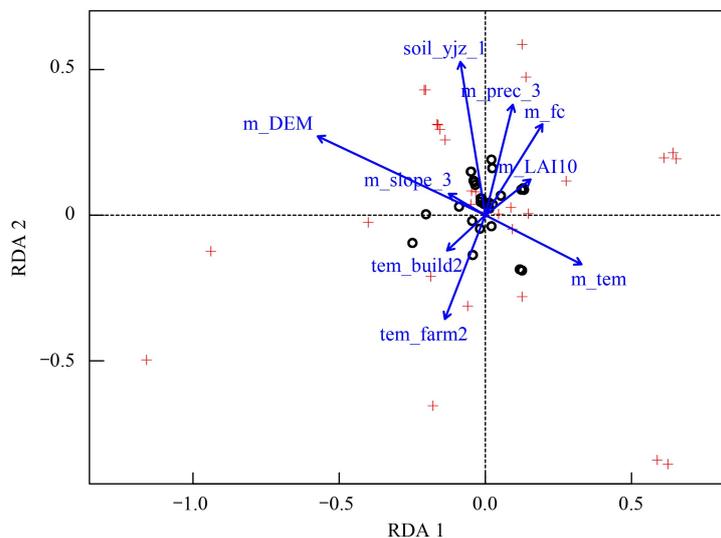


图6 不同区域点影响鸿雁停歇地选择的各成分要素冗余分析(RDA)

Fig.6 RDA analysis of various components affecting the resting site selection of swan goose at different regional points

tem\_farm2 为距农田距离 Distance from farmland; tem\_build2 为距建筑物距离 Distance from building; m\_prec\_3 为降水 Precipitation; m\_tem 为温度 Temperature; m\_DEM 为海拔 Altitude; m\_slope\_3 为坡度 Slope; m\_LAI10 为叶面积指数 Leaf area index; m\_fc 为植被覆盖度 Vegetation coverage; Soil\_yjz\_1 为土壤有机质 Soil organic matter

对鸿雁在沼泽和湖泊周边的栖息地选择频率进行了分析,结果显示在距水域 70—250m 范围内,鸿雁的停歇比例高于 70%。当前该区域内的湿地保护地通常仅以水面为边界(图2),而国际重要湿地的选择仅提供了点位的选择标准,缺乏湿地保护地边界的设立规范。因此,建议在此区域内保护地的边界应根据湿地水鸟的实际活动范围和频率做出适当调整,加强对湖泊沼泽周围区域的保护。

通过分析对鸿雁对栖息地的选择特征,发现由于研究区在自然条件和人类活动强度方面都存在较为明显的空间梯度,影响鸿雁停歇地选择的因素也与这一梯度有关。第一主成分中温度为负值,高程和土壤有机质

均为正值。这表示大部分栖息地单元位于海拔较高、温度较低的西北部地区,包括内蒙古呼伦贝尔、锡林郭勒等地,这一地区处于蒙古高原且温度较低。鸿雁为植食性鸟类,土壤有机质丰富也表示鸿雁的食物选择较多。因此可以认为,在人类活动较少的高原寒冷地区,鸿雁的停歇主要与食物密切相关,植被条件并非主要因素。而第二主成分主要为人类干扰和植被条件的变量组合。鸿雁在躲避人类干扰的同时,植被条件发挥了重要作用。对照以往野生雁类的高科技追踪实验结果可以发现,不同于北美等国家<sup>[29]</sup>,中国的雁类不愿意从它们世代栖息的湿地迁移到农田中去觅食。其主要原因可能是:农民在农田中放牧家鹅和家鸭导致留给野生雁类的食物极少,同时离开栖息地遮蔽保护的雁类在周边农田里会有被捕杀的风险<sup>[30-31]</sup>。本研究中冗余分析(RDA)得到了类似的结果(图6),在RDA1和RDA2中,叶面积指数和植被覆盖度参量均对鸿雁停歇起正向作用。因此,研究结果表明,重点停歇地周边植被条件,特别是在人类活动强度相对较大的区域应当在建立保护地的同时进行修复,这能为鸿雁的停歇提供保护屏障。

### 3.2 结论

鸿雁在迁徙途中对湖泊及水面周围的草地和裸地具有显著偏好,这一范围主要在湖泊沼泽水面周围250m左右;在重要停歇地建立湿地保护区时仅以水面为边界有所不足,可适当扩充保护区范围,以减少水滨人类活动对鸿雁停歇的影响。而在人类活动强度较大的地区设立水鸟保护地,还应加强对植被的保护,在水鸟利用频率较高的停歇地周边进行植被修复。

**致谢:**感谢中国科学院生态环境研究中心许喆博士和应凌霄博士对本研究的帮助。

### 参考文献(References):

- [1] 王士政, 孙翊斐, 李珍珍, 舒越, 冯佳伟, 王天明. 鸟类迁徙对图们江下游湿地声景时间格局的影响. 生物多样性, 2023, 31(1): 87-100.
- [2] 陈克林. 《拉姆萨尔公约》——《湿地公约》介绍. 生物多样性, 1995, 3(2): 119-121.
- [3] Hawkins C F, Smith O E. The convention on wetlands of international importance especially as waterfowl habitat. Environmental Policy and Law, 1983, 10(2): 70-71.
- [4] 刘威, 李航, 伊剑锋, 邵明勤, 刘观华, 徐海根, 张日权. 基于优化的地球生命力指数分析鄱阳湖鸟类多样性变化. 生态与农村环境学报, 2020, 36(11): 1369-1374.
- [5] 于丹丹, 吕楠, 傅伯杰. 生物多样性与生态系统服务评估指标与方法. 生态学报, 2017, 37(2): 349-357.
- [6] Murray N J, Phinn S R, DeWitt M, Ferrari R, Johnston R, Lyons M B, Clinton N, Thau D, Fuller R A. The global distribution and trajectory of tidal flats. Nature, 2019, 565(7738): 222-225.
- [7] 喜吉热. 中国越冬白琵鹭(Platalea leucorodia)群体的数量和迁徙策略研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2021.
- [8] 杨维康, 钟文勤, 高行宜. 鸟类栖息地选择研究进展. 干旱区研究, 2000, 17(3): 71-78.
- [9] 张博, 李时, 姜云奎. 栖息地破碎化对鸟类的影响. 长春师范学院学报: 自然科学版, 2014(2): 67-69.
- [10] 张亚伟. 我国地方湿地保护立法问题研究——以湖北省为例. 法制与社会, 2018(14): 40-41, 56.
- [11] 杨勇, 温俊宝, 胡德夫. 鸟类栖息地研究进展. 林业科学, 2011, 47(11): 172-180.
- [12] 贾强. 长江中下游越冬大型鸭科鸟类及水鸟群落对环境因子的响应[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2016.
- [13] Wang X, Cao L, Fox A D, Fuller R, Griffin L, Mitchell C, Zhao Y L, Moon O K, Cabot D, Xu Z G, Batbayar N, Kölsch A, van der Jeugd H P, Madsen J, Chen L D, Nathan R. Stochastic simulations reveal few green wave surfing populations among spring migrating herbivorous waterfowl. Nature Communications, 2019, 10: 2187.
- [14] Zhang Q A, Ma K M, Li J Y, Zhang Y X. The effect of stopover wetlands on migratory waterbirds at different scales; a review. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(8): 2520-2529.
- [15] Yu H, Wang X, Cao L, Zhang L, Jia Q, Lee H, Xu Z G, Liu G H, Xu W B, Hu B H, Fox A D. Are declining populations of wild geese in China 'prisoners' of their natural habitats? Current Biology, 2017, 27(10): R376-R377.
- [16] 董晓平, 杨丰旺, 肖放, 齐建国, 王心瑜, 马乘风, 陈登云. 锦州地区鸟类资源调查. 辽宁林业科技, 2020(4): 27-32, 69.
- [17] Peng S Z, Ding Y X, Liu W Z, Li Z. 1? km monthly temperature and precipitation dataset for China from 1901 to 2017. Earth System Science Data, 2019, 11(4): 1931-1946.
- [18] Lu F, Hu H F, Sun W J, Zhu J J, Liu G B, Zhou W M, Zhang Q F, Shi P L, Liu X P, Wu X, Zhang L, Wei X H, Dai L M, Zhang K R, Sun

- Y R, Xue S, Zhang W J, Xiong D P, Deng L, Liu B J, Zhou L, Zhang C, Zheng X, Cao J S, Huang Y, He N P, Zhou G Y, Bai Y F, Xie Z Q, Tang Z Y, Wu B F, Fang J Y, Liu G H, Yu G R. Effects of national ecological restoration projects on carbon sequestration in China from 2001 to 2010. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(16): 4039-4044.
- [19] IUCN. IUCN Red List Categories and Criteria; Version 3.1. international union for conservation of nature, 2012.
- [20] 谭剑波, 李爱农, 雷光斌, 陈国科, 马克平. IUCN 生态系统红色名录研究进展. *生物多样性*, 2017, 25(5): 453-463.
- [21] Onorato D P, Criffield M, Lotz M, Cunningham M, McBride R, Leone E H, Jr Bass O L, Hellgren E C. Habitat selection by critically endangered Florida panthers across the diel period; implications for land management and conservation. *Animal Conservation*, 2011, 14(2): 196-205.
- [22] Bounessah M, Atkin B P. An application of exploratory data analysis (EDA) as a robust non-parametric technique for geochemical mapping in a semi-arid climate. *Applied Geochemistry*, 2003, 18(8): 1185-1195.
- [23] Conner S D, Schmid S L. Regulated portals of entry into the cell. *Nature*, 2003, 422(6927): 37-44.
- [24] Zhang L, Wang X, Zhang J J, Ouyang Z, Chan S, Crosby M, Watkins D, Martinez J, Su L Y, Yu Y T, Szabo J, Cao L, Fox A D. Formulating a list of sites of waterbird conservation significance to contribute to China's Ecological Protection Red Line. *Bird Conservation International*, 2017, 27(2): 153-166.
- [25] Zhang Y, Fox A D, Cao L, Jia Q, Lu C and Prins HH, de Boer W F. 2019. Effects of ecological and anthropogenic factors on waterbird abundance at a Ramsar Site in the Yangtze River Floodplain. *Ambio* 48:293-303.
- [26] 马志军, 李博, 陈家宽. 迁徙鸟类对中途停歇地的利用及迁徙对策. *生态学报*, 2005, 25(6): 1404-1412.
- [27] Zhijun M A, Yong W, Jiakuan C. Physiological ecology of migratory birds during the stopover periods 迁徙鸟类中途停歇期的生理生态学研究. *生态学报*, 2005, 25(11): 3067-3075.
- [28] Wang X, Cao L, Batbayar N, Fox A D. Variability among autumn migration patterns of Mongolian Common Shelducks (*Tadorna tadorna*). *Avian Research*, 2018, 9: 46.
- [29] Johnson B K. Bighorn sheep food habits; forage preferences, and habitat selection in alpine and subalpine communities. *Dissertation Abstracts International B*, 1980:1180-1181.
- [30] 刘伟, 孙富云, 高翔. 东洞庭湖湿地优势鹈类物种栖息地适宜性研究. *野生动物学报*, 2017, 38(4): 603-607.
- [31] 马志军. 栖息地保护对鸟类保护的重要性. *生物学通报*, 2017, 52(11): 6-8.