

基于多样性热点区和生态连通性的长江中下游水鸟栖息地保护空缺分析*

王春晓¹, 段后浪^{1,2**}, 于秀波^{1,2}, 夏少霞^{1,2}

(1:中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101)

(2:中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:长江中下游是东亚-澳大利西亚迁飞通道的重要水鸟栖息地, 但气候变化和人类活动加剧了栖息地的退化与破碎, 严重威胁水鸟多样性。本研究基于公民科学数据, 利用 MaxEnt 模型模拟了 123 种水鸟的潜在栖息地, 识别出水鸟多样性热点区作为生态源地; 结合电路理论和生态阻力面分析, 构建了生态廊道并确定生态“夹点”; 同时, 将生态源地和生态夹点所构成的关键水鸟栖息地与现有保护区叠加, 评估了保护空缺。研究结果表明: (1) 长江中下游潜在的关键水鸟栖息地总面积为 30,322 km², 其中生态源地为 27,669 km², 生态夹点为 2,653 km²; (2) 关键水鸟栖息地的保护率为 26.85%, 但生态夹点的保护率仅为 12.24%, 表明高连通性栖息地保护的不足; (3) 重要栖息地的保护空缺面积为 9417.5 km², 其中 44 块栖息地部分得到保护, 仍有 19 块未受到保护。根据保护空缺栖息地的空间分布, 提出四项保护建议: 建立食物资源补给带、优化保护区多目标管理、修复关键河段的生态连通性, 将高生物多样性的保护空缺地纳入保护体系。结合其他有效的区域保护措施 (Other Effective Area-based Conservation Measures, OECMs) 等灵活保护理念, 弥补传统保护体系的不足, 为提升水鸟多样性保护成效提供科学依据和实践路径。

关键词: 水鸟多样性; MaxEnt 模型; 生态连通性; 保护空缺; 长江中下游

Identifying conservation gaps for waterbird habitats in the middle and lower reaches of the Yangtze River based on diversity hotspots and ecological connectivity

WANG Chunxiao¹, DUAN Houlang^{1,2**}, YU Xiubo^{1,2}, XIA Shaoxia^{1,2}

(1:Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, P. R. China)

(2:University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, P. R. China)

Abstract: The middle and lower reaches of the Yangtze River are key waterbird habitats along the East Asian – Australasian Flyway. However, habitat degradation and fragmentation, driven by climate change and human activities, pose severe threats to waterbird diversity. This study utilized citizen science data and the MaxEnt model to predict potential habitats for 123 waterbird species, identifying biodiversity hotspots as ecological sources. By integrating circuit theory and ecological

*2024-11-26 收稿; 2025-03-11 收修改稿。

*国家重点研发计划项目(2022YFF0802400)和中国 MAB 青年人才支持计划和长江生态保护与修复绿皮书联合资助。

**通讯作者; E-mail: duanhl@igsrr.ac.cn。

resistance surfaces, we delineated ecological corridors and “pinch points”. The key waterbird habitats, including ecological sources and pinch points, were overlaid with the existing protected areas to assess conservation gaps. Our results show that: (1) the total potential area for key waterbird habitats in the middle and lower Yangtze River is 30,322 km², of which 27,669 km² is ecological source area and 2,653 km² is composed of pinch points; (2) although 26.85% of key habitats are protected, only 12.24% of ecological pinch points are, indicating a significant gap in the protection of highly connected habitats; (3) the total area of conservation gaps is 9,417.5 km², with 44 habitats partially protected and 19 completely unprotected. Based on the spatial distribution of these gaps, we propose four key conservation strategies: establishing food resource corridors, optimizing multi-objective management of protected areas, restoring ecological connectivity in critical river sections, and prioritizing the inclusion of high-biodiversity areas in the protected area network. Incorporating flexible conservation approaches, such as Other Effective Area-based Conservation Measures (OECMs), can fill gaps in traditional systems and provide practical solutions for enhancing waterbird diversity conservation.

Keywords: Waterbird diversity; MaxEnt model; ecological connectivity; conservation gaps; the middle and lower reaches of the Yangtze River

气候变化和人类活动加剧了栖息地的退化与破碎，成为水鸟多样性丧失的重要原因^[1,2]。尽管自然保护区被认为是应对水鸟多样性下降的有效手段^[3,4]，并且保护区的数量和面积不断增加^[5]，但保护区之外依然存在同样重要且尚未纳入保护地体系的湿地区域，它们对于维持水鸟多样性至关重要^[6]。《昆明—蒙特利尔全球生物多样性框架》强调，将其他有效的区域保护措施（Other Effective Area-based Conservation Measures, OECMs）作为非传统保护地纳入生物多样性保护战略，借助灵活的保护和管理措施（如社区参与、湿地修复和土地管理等）弥补现有保护体系的不足^[7,8]。实现 OECMs 管理的前提是识别水鸟保护空缺，从而在现有保护地之外发现具有保护潜力的区域。因此，系统识别保护空缺是提升保护成效、实现全球生物多样性目标的关键。

水鸟分布区域的识别方法多样。采用国际重要湿地和国际鸟盟重要鸟区（Important Bird and Biodiversity Areas, IBAs）的标准^[9]，利用水鸟数量确定关键保护区域的方法，已广泛应用于全国和区域尺度（如滨海地区、长江流域和黄河流域）^[10-13]。基于 Zonation 或 Marxan 的空间优先级分析方法，能够在多种环境和保护需求下识别水鸟保护优先区^[14,15]。物种分布模型（Species Distribution Models, SDMs）通过结合已知分布数据和环境变量，预测水鸟的潜在分布区域^[16,17]。然而，这些方法多聚焦于单一栖息地的识别或优先排序，往往忽视了栖息地之间的生态联系。水鸟的迁徙和扩散依赖于栖息地的良好连通性，以确保充足的食物资源和栖息空间。近年来，结合生态网络识别水鸟分布区域成为新的研究热点。但构建生态网络时，生态源地的选择通常侧重于保护地、高生境质量区或单一物种活动区^[18,19]，识别多个物种的生物多样性热点区域并作为生态源地的研究相对较少。因此，从水鸟多样性与生态连通性的视角，评估关键栖息地及其保护空缺，是增强栖息地韧性和提升水鸟保护成效的有效途径。

电路理论是生态网络研究中的常用方法^[20]，在识别生态廊道宽度和确定关键节点位置方面具有突出优势。将电路理论与阻力面分析结合，成为分析生态连通性的重要方法^[21]。通过最小阻力面分析，可以量化地形特征、人类干扰和栖息地条件，构建水鸟迁徙的阻力面^[22]。然后，通过模拟“电流”在阻力面中的流动，识别生态廊道及其关键“夹点”（即生态“夹点”），这些夹点代表生态流动的高流量区域^[23]，生态夹点通常是维系网络整体连通性和生态功能的核心，破坏这些夹点将削弱生态网络的稳定性。

长江中下游地区是水鸟的重要栖息地，拥有丰富的湿地资源，为多种水鸟提供关键的越冬、迁徙停歇和繁殖场所，但仍存在尚未纳入保护网络的关键栖息地^[24]。此外，极端气候事件和人类活动的干扰导致栖息地之间的连通性不足，影响了水鸟种群的长期稳定^[25]。因此，本研究利用公民科学数据，基于最大熵模型(Maximum Entropy Model, MaxEnt)分析水鸟的潜在栖息地分布、识别生态源地及生态廊道中的夹点区域，评估长江中下游水鸟栖息地的保护空缺，并探讨如何优化现有保护地体系，提出基于生态连通性和水鸟多样性保护的策略。

1 研究区概况

长江中下游地区位于长江流域东部（24°37′–34°10′N, 106°5′–122°19′E）(图 1)，属于亚热带季风气候，年平均气温 14–18℃，年降水量 1000–1500 mm。地势以低洼平原为主，河湖密布，湖泊覆盖率达 9.6%^[26]，构成了复杂的江–河–湖交织的湿地生态系统。该地区是东亚–澳大利西亚迁飞通道上的重要水鸟栖息地。根据长江中下游水鸟同步调查，每年有超过 100 万只水鸟在此越冬，涵盖雁鸭类、鹤鹑类、鹭类等 100 余种水鸟。目前，长江中下游地区已建立 570 余处国家级、省级、市级和县级自然保护区以及湿地公园，总面积约 30,422 km²，其中包括 17 处国际重要湿地。这些保护区覆盖了部分水鸟栖息地，但整体覆盖率有限且分布不均。一些小型湖泊和连通水系未纳入保护网络，导致生物多样性保护仍存在空缺^[12]。此外，该地区面临农业扩张、水质污染、生物入侵和极端气候事件等多重威胁^[27–29]，严重影响了水鸟栖息地的完整性和连通性。因此，识别保护空缺并采取补充性保护措施，将有效缓解栖息地丧失压力。

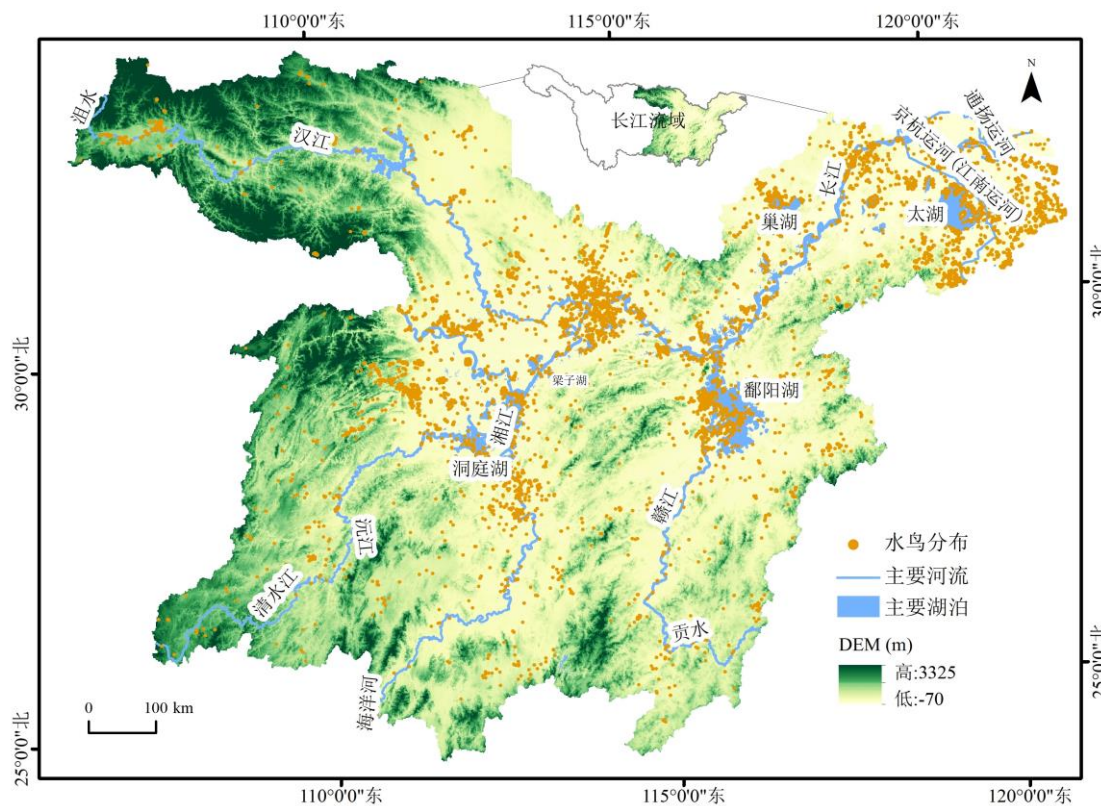


图 1 研究区示意图
Fig.1 Study area

2 数据和方法

2.1 研究数据

2.1.1 水鸟数据 依据我国水鸟名录^[30]，通过中国观鸟记录中心(www.birdreport.cn，访问日期：2024 年 6 月 28 日)和全球生物多样性信息网络(www.gbif.org，访问日期：2024 年 6 月 28 日)获取了长江中下游地区 2020 年的公民科学数据。首先，删除明显错误的水鸟记录，包括鸟种误报、空间定位错误、信息不完整或重复记录；并根据《中国鸟类分类与分布名录(第四版)》更新水鸟中文名。其次，考虑到 MaxEnt 模型的建模要求至少需要 5 条记录，并且样本量对模拟精度有显著提升作用^[31, 32]，本研究保留了记录数量超过 20 个位点的物种；对于分布较稀疏的物种，补充了 2019 年和 2021 年相邻年份的数据，以提高数据的充分性。最终确定了 7 目 17 科 123 种水鸟，共 86,704 条记录（附录 1）。主要为冬候鸟和旅鸟，留

鸟及繁殖鸟占总物种数的 24.39%；鸭科和鹬科的种类最多，分别为 32 种和 29 种，占水鸟总物种数的 46.21%。在保护物种方面，国家一级保护物种包括中华秋沙鸭 (*Mergus squamatus*)等 13 种，国家二级保护物种包括小天鹅 (*Cygnus columbianus*)和白额雁 (*Anser albifrons*)等 22 种水鸟。根据 IUCN 物种红色名录，青头潜鸭 (*Aythya baeri*)和白鹤 (*Leucogeranus leucogeranus*)被列为“极危”(CR)物种，鸿雁 (*Anser cygnoides*)等 9 种为“濒危”(EN)物种，小白额雁 (*Anser erythropus*)等 10 种为“易危”(VU)物种。

2.1.2 环境数据 用于 MaxEnt 模型的环境数据包括气候、土地利用类型和高程 3 个类别 21 个因子。气候数据来源于世界气候数据库(WorldClim, <https://worldclim.org/>, 2.1 版本)，包括年均温、温度日较差、年降雨量等 19 个变量，分辨率为 30' (约 1 km)的多年平均数据；土地利用来自中国科学院资源环境科学与数据平台(<https://www.resdc.cn/>)的 2020 年全国 30 m 分辨率数据，本研究删除了建设用地，以排除不适宜水鸟栖息的区域，重点关注耕地、林地、水体和未利用地等生态适宜地类；从 EarthEnv (www.earthenv.org)获取全球 1 km 高程数据。研究采用方差膨胀因子 (Variance Inflation Factor, VIF) 分析，以解决环境因子之间的多重共线性问题^[33]。通过 R 语言 usdm 包中的 vifstep() 函数实现^[34]，按照 VIF<10 的默认阈值，最终筛选出 14 个环境因子用于模型构建 (表 1)。

表 1 参与 MaxEnt 模型的环境数据及描述

Tab. 1 Environmental data used in the MaxEnt model and their descriptions

环境因子	名称	单位
Bio1	年均温	°C
Bio2	平均温度日较差	°C
Bio3	等温性	
Bio4	温度季节性变化系数	C of V
Bio5	最热月最高温	°C
Bio8	最湿季度均温	°C
Bio9	最干季度均温	°C
Bio12	年平均降水量	mm
Bio14	最干月降水量	mm
Bio15	降水量变异系数	C of V
Bio18	最暖季度降水量	mm
Bio19	最冷季度降水量	mm
DEM	高程	m
LU	土地利用类型	

构建生态阻力面的环境因子包括土地利用、高程、坡度、夜间灯光指数、归一化水体指数 (Normalized Difference Water Index, NDWI)、距铁路、水路、公路距离等 8 个因子。坡度数据通过 ArcGIS 的坡度分析工具从高程数据中提取；夜间灯光指数和 NDWI 分别基于 2020 年全年的 Landsat 和 VIIRS-DNB 遥感影像^[35]，在 Google Earth Engine 平台中计算年度平均值，空间分辨率为 500 m；铁路、水路和公路的矢量数据来源于 2020 年的开源地图数据 (OpenStreetMap, www.openstreetmap.org)，通过 ArcGIS 的欧氏距离工具计算研究区内各点分别至铁路、水路、公路的距离，最终生成 1 km 的数据。所有环境因子均按研究区范围统一处理，采用 1 km 空间分辨率，并使用 Krasovsky_1940_Albers 坐标系。

2.1.1 保护地数据 涵盖了长江中下游地区的国家级、省级、市级和县级自然保护区，国家级和市级湿地公园，国际重要湿地以及钱江源国家公园(试点)等，构成完整的保护地体系。相关矢量边界数据来源于世

界保护地数据库(www.protectedplanet.net)、中国科学院资源环境科学与数据平台、《湿地公约》官方网站(www.ramsar.org)，并结合各省生态环境厅的补充数据进行了综合整理。

2.2 研究方法

2.2.1 基于多样性热点区的生态源地识别 利用预处理后的水鸟数据和环境数据，基于 MaxEnt 3.4.1 模型^[36,37]对 123 种水鸟的潜在栖息地逐一进行模拟。随机选取 75%的水鸟数据作为训练样本，其余 25%作为测试样本^[33]，最大背景点数设置为 5,000，使用刀切法(Jack-knife)评估环境因子对水鸟在生境适宜性的贡献率，并将结果输出为 Logistic 格式，其他参数保持默认设置。采用 bootstrap 方法对模型进行 5 次重复^[38]，并以平均预测结果作为最终模拟结果。使用 5 次重复平均的 AUC 值检验模型精度，若 AUC 值大于 0.7，表明模型具有较高的模拟精度^[39]。

每种水鸟的潜在栖息地模拟结果进行叠加分析，识别水鸟多样性热点区。随后，应用自然断点法将热点区域划分为低、中、较高和高四个等级^[17]；重点关注高等级区域，这些区域为更多水鸟提供适宜栖息地，同时考虑栖息地面积对物种长期生存的关键作用，面积大的栖息地可提供充足资源，支持更大规模的种群，并降低灭绝风险。因此，选取面积大于 10 km² 且等级为高的热点区域作为生态源地^[40]。

2.2.2 生态阻力面 生态阻力反映了水鸟在迁徙过程中面临的障碍，是衡量湿地景观异质性和连通性的重要指标。首先，为确保不同阻力因子之间的可比性，对 8 个阻力因子进行归一化^[41]，将其标准化为 0 到 1 之间的数值；对于离散型的土地利用数据，采用 ArcGIS 中的模糊隶属度(Fuzzy Membership)进行标准化(图 2)。其次，参考类似区域鸟类阻力面的研究和实际生态背景^[40]，确定了各单一阻力因子的权重(表 2)。最后，结合权重对各阻力进行叠加计算，生成综合生态阻力面。

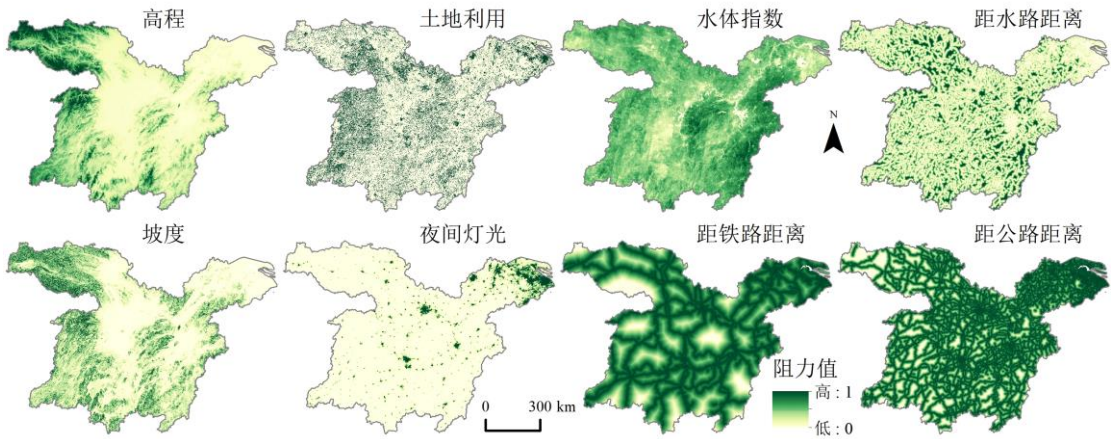


图 2 单因子生态阻力面空间分布

Fig.2 Spatial distribution of single-factor ecological resistance surface

表 2 阻力因子及权重

Tab.2 Resistance index and weight

阻力因子	权重	阻力因子	权重
高程	0.11	归一化水体指数	0.16
坡度	0.12	水路	0.20
土地利用	0.12	铁路	0.07
夜间灯光指数	0.14	公路	0.08

2.2.3 生态廊道和生态夹点识别 通过 LinkageMapper 工具中的 Linkage Pathways Tool 和 Pinchpoint Mapper 两个模块, 识别生态廊道和生态夹点^[42]。基于生态源地和生态阻力面, 利用 Linkage Pathways Tool 识别连接不同生态源地的低阻力值区域作为潜在生态廊道。依据鸟类适宜廊道宽度为 600—1200 m^[43], 利用 Pinchpoint Mapper 在多对一(All-to-one)模式下生成廊道宽度为 1 km 的电流密度图层^[23]; 并通过自然断点法将电流密度划分为 5 个等级, 为保持与生态源地面积一致, 选择高等级且面积大于 10 km² 的电流密度区域定义为生态夹点。

2.2.4 保护空缺与重要性分析 生态源地和生态夹点均为关键水鸟栖息地, 通过保护空缺分析和重要性评估, 为优化栖息地保护提供依据。首先, 将关键水鸟栖息地与现有保护地进行空间叠加分析, 识别未纳入保护地体系的区域, 即保护空缺。然后, 利用 LinkageMapper 工具中的 Centrality Mapper 模块, 基于电路理论, 将生态源地视为“节点”、生态廊道视为“电阻”, 通过模拟电流流动生成累积电流流量图, 量化生态源地和生态夹点对整体生态连通性的相对贡献^[42]。由此, 确定属于保护空缺并对连通性有重要贡献的生态源地和生态夹点^[44], 这些区域将是未来保护工作的重点。

3 结果

3.1 水鸟多样性热点区和生态源地识别

MaxEnt 模型训练样本的平均 AUC 值为 0.922 (95% CI: 0.914 - 0.931), 测试样本平均 AUC 值为 0.917 (95% CI: 0.908 - 0.926) (图 3A), 表明模型具有较好的预测精度。环境因子的平均贡献率表明, 高程对水鸟的空间分布影响最大 (DEM, 34.30 % ± 17.09 %), 其次是土地利用 (LU, 18.44 % ± 10.99 %) 和最干月降水量 (Bio14, 9.33 % ± 13.21 %) (图 3B)。不同环境因子对水鸟栖息地适宜性的贡献率存在显著差异。例如, 高程对尖尾滨鹬 (*Calidris acuminata*) 和东方白鹳 (*Ciconia boyciana*) 等 26 种水鸟的贡献率超过 50%; 土地利用主要影响遗鸥 (*Ichthyaelus relictus*)、西伯利亚银鸥 (*Larus vegae*) 和普通燕鸥 (*Sterna hirundo*) 等物种; 最干月降水量对白胸苦恶鸟 (*Amaurornis phoenicurus*)、栗苇鹀 (*Ixobrychus cinnamomeus*) 和彩鹀 (*Rostratula benghalensis*) 等水鸟的影响最为显著。

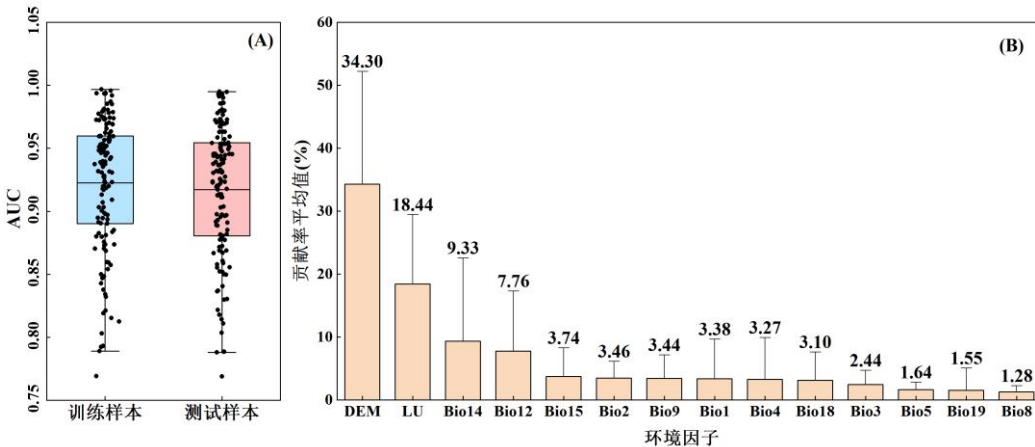


图 3 (A) 模型精度评估; (B) 环境因子对水鸟栖息地适宜性的贡献率

误差棒表示基于 123 种水鸟分别计算的贡献率的标准差。

Fig.3 (A) Model accuracy assessment; (B) Contributions of environmental factors to the habitat suitability of waterbirds, where the error bars represent the standard deviation of contribution rates calculated separately for 123 waterbird species.

MaxEnt 模型的模拟结果表明, 123 种水鸟的潜在栖息地面积范围从 62 km² 到 285,478 km² 不等 (附录 1), 例如, 黑水鸡 (*Gallinula chloropus*)、池鹭 (*Ardeola bacchus*) 和白鹭 (*Egretta garzetta*) 等水鸟在长江中下游地区分布广泛, 而黑嘴鸥 (*Saundersilarus saundersi*) 和遗鸥 (*Ichthyaelus relictus*) 等水鸟的分布范围较小。叠加分析表明, 长江中下游地区是水鸟多样性热点区域, 单一个区域最多可为 113 种水鸟提供

适宜栖息地；基于自然断点法，水鸟多样性区域可划分为低 (0-6 种)、中 (7-25 种)、较高 (26-57 种)和高 (58-113 种) 4 个等级 (图 4A)。具有高水鸟多样性(≥ 58)的热点区面积为 31,902 km²，主要分布于长江干流及其主要湖泊。面积大于 10 km² 的生态源地面积约为 27,669 km²，包括洞庭湖、鄱阳湖、巢湖、石臼湖和太湖等 218 块湿地 (图 4B)。

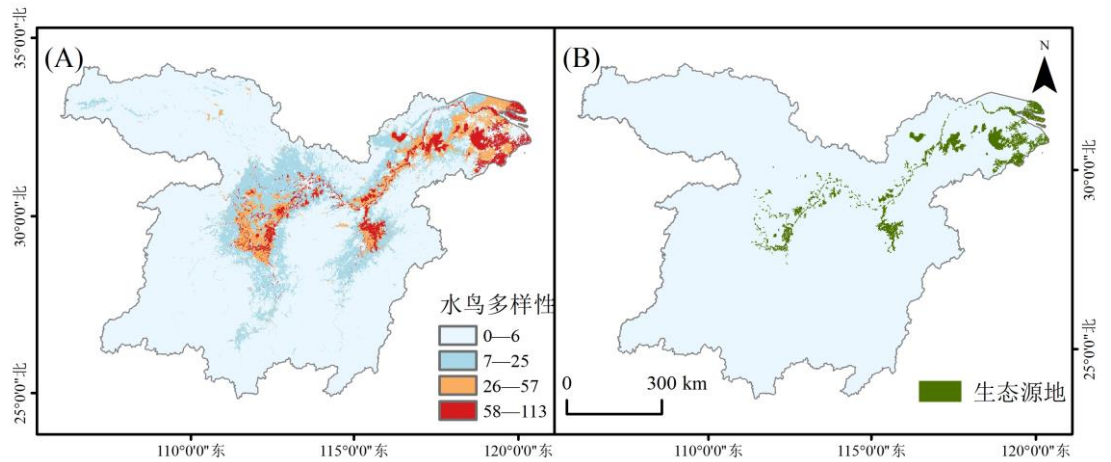


图 4 长江中下游水鸟多样性和生态源地

Fig. 4 Waterbird diversity and ecological sources in the lower Yangtze River basin

3.2 综合阻力面分析

将土地利用、高程、坡度、夜间灯光指数、归一化水体指数、距铁路、距水路、距公路距离等阻力因子按权重叠加，生成长江中下游地区的生态景观综合阻力面，阻力值介于 0.139 至 0.579 之间，显示出明显的空间异质性 (图 5)。低阻力值区域分布在长江以及沿岸湖泊湿地，地势平坦、水源丰富，为水鸟提供了相对理想的栖息和觅食环境。高阻力值区域则集中于江南丘陵、鄂西的丘陵地带，以及人类活动密集的城市化区与交通网络附近（如武汉市区、南京市、沿江高速和京广铁路沿线），这些区域对水鸟的迁徙构成较大障碍。

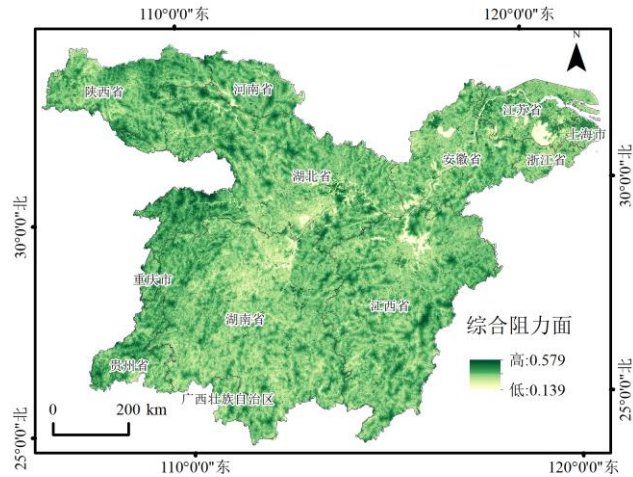


图 5 长江中下游水鸟综合阻力面

Fig.5 Waterbird comprehensive resistance surface in the lower Yangtze River basin

3.3 生态廊道及生态夹点分析

结合生态源地与生态阻力面，识别出长江中下游水鸟的 526 条潜在生态廊道（图 6A）。这些廊道的长度介于 1.4 km 至 404 km 之间，总长度为 12,188 km，平均长度为 23.17 km。生态廊道主要分布于湿地资源丰富且人类干扰较少的低阻力区域。长江及其附近湖泊之间的廊道数量密集且长度较短，有利于短距离内水鸟的扩散、觅食和夜宿，从而降低迁徙中的能量消耗。大湖间（如洞庭湖—鄱阳湖，武湖—巢湖，洪湖—长湖，石臼湖—太湖）形成较长的廊道，有助于水鸟进行远距离迁徙，尤其对换羽或迁徙前的能量储备至关重要。然而，较长廊道也伴有更高的迁徙风险和不确定性。

长江中下游地区的生态夹点共有 112 处，面积为 2,653 km² (图 6B)。这些生态夹点沿长江分布，集中于长江干流及其与相邻湖泊之间，是水鸟迁徙网络中的关键节点，直接影响栖息地的连通性。

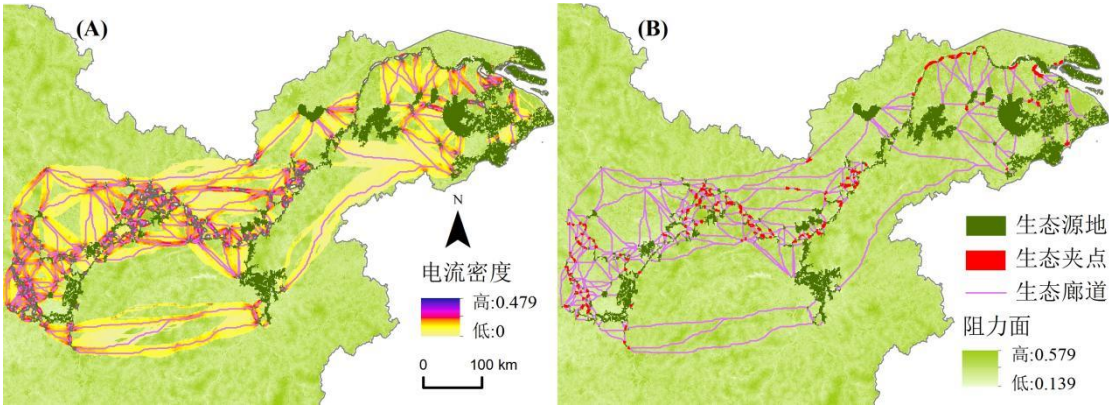


图 6 长江中下游水鸟生态廊道与生态夹点分布
Fig.6 Waterbird ecological corridors and pinch points distribution in the lower Yangtze River basin

3.4 水鸟栖息地保护空缺

长江中下游地区的关键水鸟栖息地由生态源地和生态夹点构成，总面积为 30,322 km²。与现有保护地体系叠加分析表明，整体受保护率约为 26.85%，但两类栖息地的保护程度存在显著差异。生态源地的受保护率为 28.25%，未受保护的区域占 71.75% (图 7A)；分布于长江中下游中部和东部的湿地，如洞庭湖、梁子湖和鄱阳湖等湖泊。相比之下，生态夹点的受保护率仅为 12.24%，沿长江分布不均，湖南和湖北段尤为缺乏保护 (图 7B)。

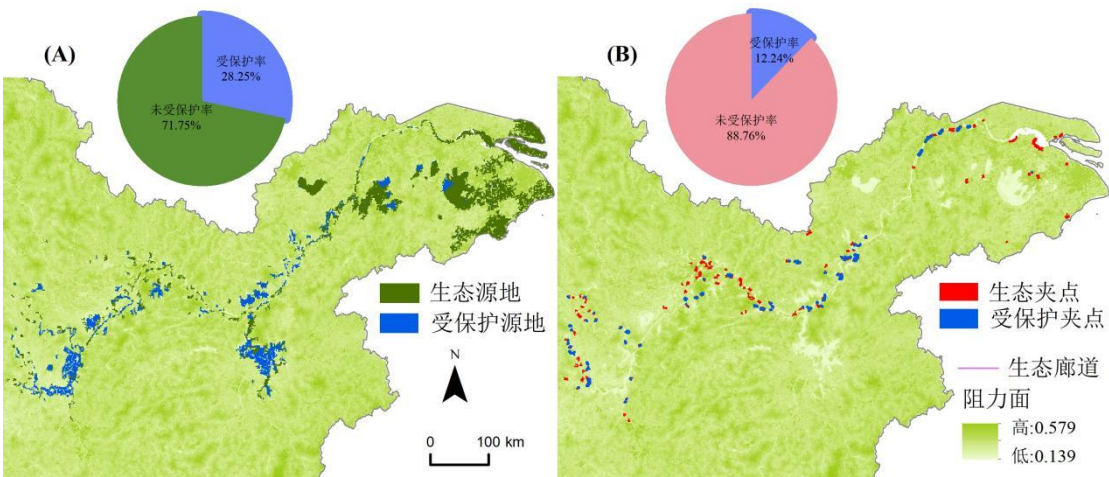


图 7 长江中下游水鸟生态廊道与生态夹点受保护状况
Fig.7 Protection status of waterbird ecological corridors and pinch points in the lower Yangtze River basin

结合生态源地和生态夹点对整体生态连通性贡献,进一步识别了保护空缺中的重要区域。结果表明,共确定重要生态源地 49 块,总面积 15,493 km², 其中 9,127.5 km² 存在保护空缺; 56 条重要生态廊道,包括 14 个生态夹点, 保护空缺面积为 290 km² (图 8A; 图 8B)。根据与现有保护地的空间关系及其对生态连通性的作用, 保护空缺划分为四类 (图 8C), 第一类为现有湿地保护地周边区域, 如安徽升金湖和鄱阳湖保护区周边等; 第二类为水生生物保护区周边, 如江豚和白暨豚保护区; 第三类为未受保护的长江干流区域; 第四类为未受保护的湖泊, 如江西九江赛湖和湖北黄石大冶湖等, 具有高生物多样性但尚未受到有效保护。这些保护空缺中有 44 个空缺区与现有保护地相邻, 空缺面积为 8883.2 km², 仍有 19 个完全未受到保护, 总面积为 534.3 km² (表 3)。

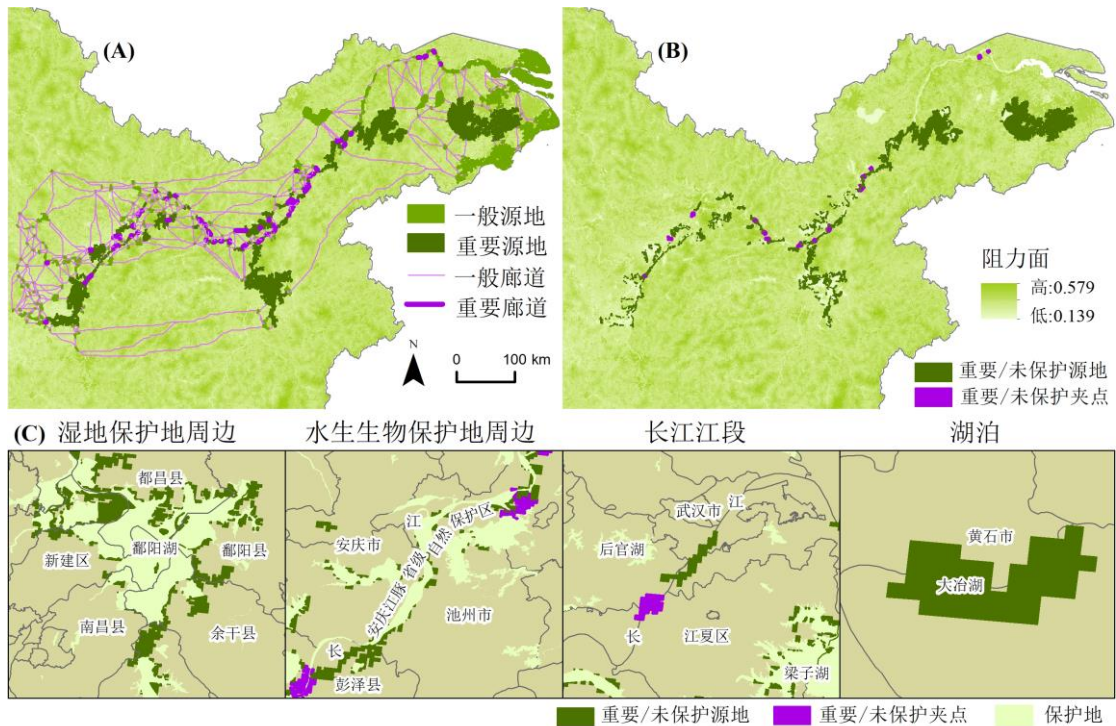


图 8 重点保护空缺地分布
Fig.8 Distribution of key conservation gaps

4 讨论

本研究基于 MaxEnt 模型模拟了 123 种水鸟的潜在栖息地, 识别了水鸟多样性热点区与生态源地; 构建了生态阻力面并确定了潜在的生态廊道和生态夹点; 结合现有保护地体系揭示了生态源地与生态夹点存在的保护空缺。水鸟多样性与生态连通性相结合的方法为长江流域水鸟栖息地保护提供了新视角^[45], 为区域生物多样性保护与生态网络规划提供了科学依据。水鸟多样性热点区的模拟结果与实地调查一致^[46], 长江中下游洪泛平原湿地为众多水鸟提供了关键栖息地。环境因子贡献分析表明, 高程和土地利用是影响水鸟栖息地分布的主要因子, 水鸟作为游禽或涉禽, 倾向于栖息在低海拔的河流或湖泊湿地^[16], 而高程变化大的丘陵地带则构成水鸟迁徙中的高阻力区域。最干月降水量 (Bio14) 通过调节湿地水位和苔草暴露速率, 显著影响水鸟食物资源的可用性^[47]。降水量减少会缩短水位维持时间并加速苔草老化^[48], 从而减少适宜栖息地。

表 3 长江中下游重要保护空缺分布名录表
Tab.2 Catalog of key conservation gaps in the lower Yangtze River basin

保护状态	重要保护空缺地	源地(夹点)数量 (个)	保护空缺面积 (km ²)
部分保护 (44 个,8883.2 km ²)	安徽安庆沿江湿地省级自然保护区周边	1	27.04
	安徽升金湖国家级自然保护区周边	1	4.24
	安徽省江豚自然保护区周边	13	244.13
	安徽铜陵淡水豚国家级自然保护区周边	6	520.04
	洞庭湖周边	3	214.92
	湖北洪湖国家级自然保护区周边	1	116.82
	湖北嘉鱼珍湖国家湿地自然公园（斧头湖片 区）周边	1	76.43
	湖北长江新螺段白暨豚国家级自然保护区周边	5	201.31
	华阳河湖群省级自然保护区周边	2	57.32
	黄石市网湖湿地自然保护区周边	1	4.89
	梁子湖省级湿地自然保护区周边	1	38.95
	鄱阳湖国家级自然保护区周边	1	979.45
	石白湖、固城湖、南漪湖和清弋江周边	1	2075.41
	太湖周边	1	4190.40
	武昌湖自然保护区周边	1	8.56
	武穴长江外滩省级湿地自然公园周边	2	28.14
	长江鄂州段	1	47.17
	长江黄石段	2	47.97
	安徽安庆麻塘水库	1	10.00
	湖北黄石大冶湖	1	45.00
	湖北黄石南坦湖	1	13.00
	湖北荆州上斗湖	1	19.00
	湖北鄂州三山湖	1	68.30
未保护 (19 个,534.3 km ²)	江西九江赛湖	1	65.00
	长江鄂州段	3	79.00
	长江黄石段	4	94.00
	长江九江段	2	48.00
	长江武汉段	2	61.00
	长江镇江段	2	32.00

长江中下游水鸟栖息地的保护率已达到 26.85%，生态源地的保护率为 28.25%，高于 2004 年中游地区的水鸟保护率 (23.49%)^[24]，也高于全国平均自然保护地覆盖率 (18%)，可能是得益于近年来长江流域的新增保护地的建设，如 2020 年建立的湖北天门张家湖国家湿地公园、安徽安庆菜子湖国家湿地公园等。然而，生态夹点的保护率仅为 12.24%，生态网络的连通性保护仍显不足。大多数夹点位于长江与相邻湖泊之间，但除洞庭湖与鄱阳湖外，其他湖泊因圩堤建设与水利工程失去与长江的水力和生态联系^[26]；尽管物种丰富度和种群数量尚未受到显著影响^[25]，但这种变化可能干扰水鸟在河流与湖泊湿地之间的迁徙，进而影响栖息地分布。因此，湖北省网湖、安徽省黄湖、升金湖及白荡湖等区域应成为未来研究的重点，特别是在恢复河湖间水文与生态联系方面。

针对四种关键保护空缺区域,建议采取综合保护措施。首先,在现有保护区周边,由于自然湿地食物短缺,水鸟可能转向农田或藕塘^[49,50]。建议通过与公益组织、社区及农户合作,采取 OECMs 形式在保护地周边实施有效保护。具体措施包括:(1)在农田与湿地交界处设置食物资源补给带,种植水鸟喜爱的植物(如苔草、刺苦草等),为水鸟提供自然食物来源,减少其对农田的依赖^[51];(2)鼓励农户在稻田中开展湿地养殖(如生态养殖鱼类、螺蛳等),兼顾水鸟保护与地方经济利益^[52]。(3)开展针对当地社区和农户的生态保护教育与科普活动,提高公众对水鸟的认识,增强其参与感。其次,对于水生生物保护区(如安徽铜陵淡水豚保护区、湖北长江新螺段白暨豚保护区等),应增加适宜水鸟栖息地。通过人工造滩、水位调控等手段,增加浅水区和泥滩,扩大适宜水鸟栖息地生态空间,同时,结合湿地生态修复技术,提升水生生物保护地的栖息地质量,实现保护地的多目标物种保护^[53]。第三,长江干流关键河段对栖息地连通性具有重要作用。应严格控制污染排放,加强河道清淤与水质监测。建议实施河道生态修复,特别是修复被围堰隔断的湿地,恢复生态水道和洪泛区,并在河道的生态夹点区域建设生态廊道,以有效促进自然水体流动性和生态连通性^[54]。最后,对于高生物多样性但尚未受保护的湖泊等生态源地,应优先纳入保护地体系或以 OECMs 形式保护。开展水鸟多样性系统评估,建立相应的保护区或湿地公园,并加强长期的科研监测,精准识别珍稀濒危水鸟的保护需求,定期更新保护措施。通过多样的保护措施,填补现有保护空缺,构建完整的生态网络,保障区域水鸟多样性的可持续性。

本研究的创新之处在于利用公民科学数据模拟水鸟潜在栖息地,识别生物多样性热点区,并将其纳入生态网络建设,实现多样性与连通性的有机整合,强调生态夹点在栖息地保护中的重要性。尽管珍稀濒危水鸟分布数据涵盖多个年份,仍未完全消除公民科学数据固有的偏差,例如观鸟者偏好可能导致部分区域水鸟分布数据的低估或遗漏^[55]。未来研究应结合高分辨率遥感数据、卫星追踪数据及长江同步调查数据,通过多源数据融合进行优化。此外,尽管初步识别了长江中下游的水鸟保护空缺区域,但仍需验证这些区域是否符合 OECMs 标准。未来应加强与地方社区、政府及非政府组织的合作,依据详尽的 OECMs 识别框架,提出差异化管理方案和针对性保护策略,推动水鸟栖息地的有效保护。

5 结论

基于长江中下游水鸟公民科学数据,结合 MaxEnt 模型和电路理论,识别生物多样性热点区、构建生态网络,并评估了水鸟栖息地保护空缺。结果表明,长江中下游地区潜在水鸟栖息地总面积为 30,322 km²,其中包括 27,669 km²的水鸟多样性热点区域和 2,653 km²对生态连通性具有核心作用的生态夹点。尽管整体保护状况较好,但生态夹点的保护率仅为 12.24%,显著制约了迁徙网络功能的发挥。基于重要保护空缺的空间分布提出了四种保护建议,通过建立食物资源补给带、优化保护区多目标管理、修复关键河段生态连通性,以及优先将高生物多样性区域纳入保护体系,形成综合性保护网络。同时,倡导多方协作,系统识别并确认潜在 OECMs 区域,助力长江中下游生态系统的完整性和生物多样性保护。

6 附录

附表、附图见电子版(DOI: 10.18307/2025.0631)

7 参考文献

- [1] Amano T, Székely T, Wauchope H S, *et al.* Responses of global waterbird populations to climate change vary with latitude. *Nature Climate Change*, 2020, **10**(10): 959-964.
- [2] Zhang L, Ouyang Z. Focusing on rapid urbanization areas can control the rapid loss of migratory water bird habitats in China. *Global Ecology and Conservation*, 2019, **20**: e801.
- [3] Wauchope H S, Jones J P G, Geldmann J, *et al.* Protected areas have a mixed impact on waterbirds, but management helps. *Nature*, 2022, **605**(7908): 103-107.
- [4] Geldmann J, Manica A, Burgess N D, *et al.* A global-level assessment of the effectiveness of protected areas at resisting

- anthropogenic pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019, **116**(46): 23209-23215.
- [5] Watson J E M, Dudley N, Segan D B, *et al.* The performance and potential of protected areas. *Nature*, 2014, **515**(7525): 67-73.
- [6] Verniest F, Le Viol I, Julliard R, *et al.* Anticipating the effects of climate warming and natural habitat conversion on waterbird communities to address protection gaps. *Biological Conservation*, 2023, **279**: 109939.
- [7] Tian Y, Li JS. Analysis of the connotation and implementation path for the 30 by 30 target in the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. *Biodiversity Science*, 2024, **32**(06): 145-158.[田瑜, 李俊生. 《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》“3030”目标的内涵及实现路径分析. *生物多样性*, 2024, **32**(06): 145-158.]
- [8] IUCN-WCPA T F O O. Recognising and reporting other effective area-based conservation measures. *IUCN Gland Switzerland*, 2019.
- [9] Birdlife I. Guidelines for the application of the IBA criteria. BirdLife International Cambridge, UK, 2020.
- [10] Duan HL, Yu XB. Identifying conservation priority sites and gap for the waterbirds' habitat in the Yellow River Basin, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, **43**(20): 8663-8670.[段后浪, 于秀波. 黄河流域水鸟保护优先区及空缺. *生态学报*, 2023, **43**(20): 8663-8670.]
- [11] Duan HL, Yu XB, Shi JB, *et al.* Identifying conservation priority sites and gap for the waterbirds habitat along coastal wetlands in mainland China. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(24): 9574-9580.[段后浪, 于秀波, 石建斌等. 中国大陆沿海水鸟栖息地保护优先区及空缺分析. *生态学报*, 2021, **41**(24): 9574-9580.]
- [12] Xia S, Yu X, Lei J, *et al.* Priority sites and conservation gaps of wintering waterbirds in the Yangtze River floodplain. *Journal of Geographical Sciences*, 2020, **30**(10): 1617-1632.
- [13] Zhang L, Wang X, Zhang J, *et al.* 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.
- [14] Tan C, Ma J, Yan Y, *et al.* Identifying priority wetlands for the conservation of waterbirds in Wuhan, China. *Ecological Indicators*. 2023, **157**: 111240.
- [15] Barik S, Saha G K, Mazumdar S. Potentially suitable habitat, connectivity and priority conservation areas for White-breasted waterhen (*Amaurornis phoenicurus*) and Bronze-winged jacana (*Metopidius indicus*). *Wetlands*, 2021, **41**(3).
- [16] Lyu HX, Xia SX, Gu JJ, *et al.* Habitat suitability assessment of large mammals and rare birds in Xianju County based on MaxEnt modeling. *Chinese Journal of Ecology*, 2023, **42**(11): 2797-2805.[吕环鑫, 夏少霞, 顾婧婧等. 基于 MaxEnt 模型的仙居县大型兽类和珍稀鸟类栖息地适宜性评价. *生态学杂志*, 2023, **42**(11): 2797-2805.]
- [17] Ma X, Wang H, Yu W, *et al.* Analysis on the hotspot and conservation gaps of bird biodiversity in Guangdong Province based on MaxEnt model. *Biodiversity Science*, 2021, **29**(08): 1097-1107.[马星, 王浩, 余蔚等. 基于 MaxEnt 模型分析广东省鸟类多样性热点分布及保护空缺. *生物多样性*, 2021, **29**(08): 1097-1107.]
- [18] Wang CX, He JH, Liu DF, *et al.* Impact of land use change on bird habitat connectivity: a case study in Ezhou City. *生态学报*, 2022, **42**(10): 4197-4208.[王春晓, 何建华, 刘殿锋等. 土地利用变化对鸟类栖息地连通性的影响——以鄂州市为例. *生态学报*, 2022, **42**(10): 4197-4208.]
- [19] Xu F, Yin HW, Kong FH, *et al.* Developing ecological networks based on MSPA and the least-cost path method: a case study in bazhong western new district. *Acta Ecologica Sinica*, 2015(19): 6425-6434.[许峰, 尹海伟, 孔繁花等. 基于 MSPA 与最小路径方法的巴中西部新城生态网络构建. *生态学报*, 2015(19): 6425-6434.]
- [20] Mcrae B H, Dickson B G, Keitt T H, *et al.* Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 2008, **89**(10): 2712-2724.
- [21] An Y, Liu S, Sun Y, *et al.* Construction and optimization of an ecological network based on morphological spatial pattern analysis and circuit theory. *Landscape Ecology*. 2021, **36**: 2059-2076.
- [22] Zhang LX, Chai B, Zhang Y, *et al.* A comparative study on ecological networks based on MCR-Gravity model and circuit theory: A case study of Jining City. *Acta Ecologica Sinica*, 2025(04): 1-13.[张乐相, 柴波, 张岩等. 基于 MCR-重力模型与电路理论的生态网络对比研究——以济宁市为例. *生态学报*, 2025(04): 1-13.]
- [23] Lian HG, Liu CF, Ni BW, *et al.* Construction and optimization of the ecological network of natural reserves system in the

northwestern arid region: A case study of the Hexi Corridor. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2024: 1-15.[连虎刚, 刘春芳, 倪博文等. 西北干旱区自然保护地体系生态网络构建及优化: 以河西走廊为例. *应用生态学报*, 2024: 1-15.]

[24] Li XW, Zheng Y, Zhao ZK, *et al.* The Gap analysis of wetland conservation and its conservation network building in Central Yangtze Ecoregion. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, **27**(12): 4979-4989.[李晓文, 郑钰, 赵振坤等. 长江中游生态区湿地保护空缺分析及其保护网络构建. *生态学报*, 2007, **27**(12): 4979-4989.]

[25] Xia S, Liu Y, Wang Y, *et al.* Wintering waterbirds in a large river floodplain: Hydrological connectivity is the key for reconciling development and conservation. *Science of The Total Environment*, 2016, **573**: 645-660.

[26] Xu LG, Xie YH, Wang XL. Ecological environment problems and research prospect of flood wetlands of yangtze river-connected lake in the middle reaches of Yangtze River. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 2022, **36**(3): 406-411.[徐力刚, 谢永宏, 王晓龙. 长江中游通江湖泊洪泛湿地生态环境问题与研究展望. *中国科学基金*, 2022, **36**(3): 406-411.]

[27] Zhang P, Zou Y, Tao K, *et al.* Extreme drought alters waterfowl distribution patterns and spatial niches in floodplain wetlands. *Global Ecology and Conservation*, 2024, **51**: e2901.

[28] Gao B, Gong P, Zhang W, *et al.* Multiscale effects of habitat and surrounding matrices on waterbird diversity in the Yangtze River Floodplain. *Landscape Ecology*, 2021, **36**: 179-190.

[29] Zhang Y, Fox A D, Cao L, *et al.* Effects of ecological and anthropogenic factors on waterbird abundance at a Ramsar Site in the Yangtze River Floodplain. *Ambio*, 2019, **48**(3): 293-303.

[30] Liu J, Que PJ, Zhang ZW. Species diversity and suggestions for adjustment of the national protection level of waterbirds in China. *Wetland Science*, 2019, **17**(2): 123-136.[刘金, 阙品甲, 张正旺. 中国水鸟的物种多样性及其国家重点保护等级调整的建议. *湿地科学*, 2019, **17**(2): 123-136.]

[31] Wen C, Gu L, Wang H, *et al.* GAP analysis on national nature reserves in China based on the distribution of endangered species. *Biodiversity Science*, 2015, **23**(5): 591-600.[闻丞, 顾垒, 王昊等. 基于最受关注濒危物种分布的国家级自然保护区空缺分析. *生物多样性*, 2015, **23**(5): 591-600.]

[32] Chen XM, Lei YC, Zhang XQ, *et al.* Effects of Sample Sizes on Accuracy and Stability of Maximum Entropy Model in Predicting Species Distribution. *Scientia Silvae Sinicae*, 2012, **48**(1): 53-59.[陈新美, 雷渊才, 张雄清等. 样本量对 MaxEnt 模型预测物种分布精度和稳定性的影响. *林业科学*, 2012, **48**(1): 53-59.]

[33] Wang C, Yu X, Xia S, *et al.* Potential habitats and their conservation status for Swan Geese (*Anser cygnoides*) along the East Asian Flyway. *Remote Sensing*, 2022, **14**(8): 1899.

[34] Naimi B, Hamm N A, Groen T A, *et al.* Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography*, 2014, **37**(2): 191-203.

[35] Man D C, Tsubasa H, Fukui H. Normalization of VIIRS DNB images for improved estimation of socioeconomic indicators. *International Journal of Digital Earth*, 2021, **14**(5): 540-554.

[36] Elith J, Phillips S J, Hastie T, *et al.* A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 2011, **17**(1): 43-57.

[37] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 2006, **190**(3-4): 231-259.

[38] Duan H, Yu X, Xia S, *et al.* Combining bootstrapping procedure and citizen science data to elucidate waterbirds' dependence on coastal wetland. *Frontiers in Marine Science*, 2022, **9**.

[39] Duan H, Yu X, Xia S, *et al.* Comparison of IUCN and species distribution modeling-estimated ranges of shorebirds in Coastal Mainland China. *Global Ecology and Conservation*, 2022, **38**: e2236.

[40] Xu C, Yu Q, Wang F, *et al.* Identifying and optimizing ecological spatial patterns based on the bird distribution in the Yellow River Basin, China. *Journal of Environmental Management*, 2023, **348**: 119293.

[41] Wei SR, He TT, Fu YC, *et al.* Ecological pattern change and spatial optimization identification of national forest urban agglomeration in the Pearl River Delta, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, **44**(18): 8094-8109.[魏胜蓉, 何婷婷, 付迎春等. 珠三角国家森林城市群生态安全格局变化与空间优化识别. *生态学报*, 2024, **44**(18): 8094-8109.]

- [42] Carroll C, Merae B H, Brookes A. Use of linkage mapping and centrality analysis across habitat gradients to conserve connectivity of gray wolf populations in western North America. *Conservation Biology*, 2012, **26**(1): 78-87.
- [43] Zhu Q, Yu KJ, Li DH. The width of ecological corridor in landscape planning. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, **25**(9): 2406-2412.[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.]
- [44] Yu JF, Du HY, Wang JL, *et al.* Construction and assessment of ecological security pattern in Gansu along the Yellow River based on Zonation-MSPA coupling Model. *Environmental Science*, 2024: 1-18.[俞金凤, 杜怀玉, 王家亮等. 基于 Zonation-MSPA 耦合模型的甘肃沿黄地区生态安全格局构建与评估. *环境科学*, 2024: 1-18.]
- [45] Liu Y, Ji X, Zhou L. Assessment of waterbird habitat importance and identification of conservation gaps in Anhui province. *Animals*, 2024, **14**(7): 1004.
- [46] Barter M, Cao L, Chen L, *et al.* Results of a survey for waterbirds in the lower Yangtze floodplain, China, in January-February 2004. *Forktail*, 2005, **21**: 1.
- [47] Xia SX, Yu DK, Cui P, *et al.* Suitable-habitat dynamics for wintering geese in China's largest freshwater lake. *Global Ecology and Conservation*, 2021, **27**: e1528.
- [48] Meng ZJ, Xia SX, Yu XB, *et al.* A study on the suitable time window of feeding vegetation fit for overwintering geese in Poyang Lake. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(21): 7539-7548.[孟竹剑, 夏少霞, 于秀波等. 鄱阳湖越冬雁类食源植被适宜取食时间窗口. *生态学报*, 2018, **38**(21): 7539-7548.]
- [49] Shao MQ, Wang JY, Ding HX. Suitable overwintering habitat simulation and the drivers of their population expansion for Siberian cranes(*Grus leucogeranus*)in China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, **34**(6): 1639-1648.[邵明勤, 王剑颖, 丁红秀. 中国白鹤越冬适宜生境模拟及种群扩张驱动因素. *应用生态学报*, 2023, **34**(6): 1639-1648.]
- [50] He WY, Shao MQ, Zhi YJ, *et al.* Waterbird diversity in three reclamation regions of Poyang Lake. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, **38**(9): 2765-2771.[何文韵, 邵明勤, 植毅进等. 鄱阳湖三个垦殖场的水鸟多样性. *生态学杂志*, 2019, **38**(9): 2765-2771.]
- [51] Song YW, Zhou LZ. Effects of habitat changes on spatio-temporal pattern of the wintering waterbird community at Shengjin Lake. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2019, **46**(4): 610-617.[宋昀微, 周立志. 生境变化对升金湖越冬水鸟群落时空动态的影响. *安徽农业大学学报*, 2019, **46**(4): 610-617.]
- [52] Jin T, Peng YY, Zeng LS, *et al.* Promoting the mainstreaming of biodiversity conservation. *natural protected areas*, 2023, **3**(03): 35-44.[靳彤, 彭昀月, 曾丽诗等. 基于自然的解决方案: 推动生物多样性保护主流化. *自然保护地*, 2023, **3**(03): 35-44.]
- [53] Kačergytė I, Knape J, žmihorski M, *et al.* Community associations of birds with amphibians and fish in wetlands created for biodiversity. *Biological Conservation*. 2023, **282**: 110031.
- [54] Bian H, Li M, Deng Y, *et al.* Identification of ecological restoration areas based on the ecological safety security assessment of wetland-hydrological ecological corridors: A case study of the Han River Basin in China. *Ecological Indicators*, 2024, **160**: 111780.
- [55] Dickinson J L, Zuckerberg B, Bonter D N. Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 2010, **41**(1): 149-172.

附表 1 参与 Maxent 模拟的水鸟名录、点位数量以及其潜在栖息地面积
Tab S1. List of waterbird species used in the MaxEnt model, their occurrence points and potential habitat area

序号	物种名	目	科	拉丁名	英文名	居留类型	国家保护等级	IUCN 等级	点位数量(个)	潜在栖息地面积(km²)
1	疣鼻天鹅	雁形目	鸭科	<i>Cygnus olor</i>	Mute Swan	P	二级		28	3,506
2	大天鹅	雁形目	鸭科	<i>Cygnus cygnus</i>	Whooper Swan	W	二级		65	9,217
3	小天鹅	雁形目	鸭科	<i>Cygnus columbianus</i>	Tundra Swan	W	二级		1,032	81,184
4	灰雁	雁形目	鸭科	<i>Anser anser</i>	Graylag Goose	W			726	51,643
5	鸿雁	雁形目	鸭科	<i>Anser cygnoides</i>	Swan Goose	W,P	二级	EN	670	34,522
6	豆雁	雁形目	鸭科	<i>Anser fabalis</i>	Bean Goose	W			855	54,395
7	短嘴豆雁	雁形目	鸭科	<i>Anser serrirostris</i>	Tundra Bean Goose	W			478	38,911
8	白额雁	雁形目	鸭科	<i>Anser albifrons</i>	White-fronted Goose	W	二级		540	69,410
9	小白额雁	雁形目	鸭科	<i>Anser erythropus</i>	Lesser White-fronted Goose	W	二级	VU	184	28,566
10	斑头秋沙鸭	雁形目	鸭科	<i>Mergellus albellus</i>	Smew	W	二级		235	35,425
11	普通秋沙鸭	雁形目	鸭科	<i>Mergus merganser</i>	Common Merganser	W			276	29,247
12	中华秋沙鸭	雁形目	鸭科	<i>Mergus squamatus</i>	Chinese Merganser	W	一级	EN	293	44,748
13	红胸秋沙鸭	雁形目	鸭科	<i>Mergus serrator</i>	Red-breasted Merganser	W,P			70	8,467
14	翘鼻麻鸭	雁形目	鸭科	<i>Tadorna tadorna</i>	Common Shelduck	W			274	27,967
15	赤麻鸭	雁形目	鸭科	<i>Tadorna ferruginea</i>	Ruddy Shelduck	W			621	71,282
16	棉凫	雁形目	鸭科	<i>Nettapus coromandelianus</i>	Cotton Pygmy Goose	S	二级		213	68,882
17	鸳鸯	雁形目	鸭科	<i>Aix galericulata</i>	Mandarin Duck	W,S	二级		465	103,850
18	赤嘴潜鸭	雁形目	鸭科	<i>Netta rufina</i>	Red-crested Pochard	W			34	6,143

序号	物种名	目	科	拉丁名	英文名	居留类型	国家保护等级	IUCN 等级	点位数量(个)	潜在栖息地面积(km²)
19	红头潜鸭	雁形目	鸭科	<i>Aythya ferina</i>	Common Pochard	W		VU	553	25,710
20	青头潜鸭	雁形目	鸭科	<i>Aythya baeri</i>	Baer's Pochard	W	一级	CR	352	27,997
21	白眼潜鸭	雁形目	鸭科	<i>Aythya nyroca</i>	Ferruginous Duck	W,P			281	39,364
22	凤头潜鸭	雁形目	鸭科	<i>Aythya fuligula</i>	Tufted Duck	W,P			555	32,613
23	白眉鸭	雁形目	鸭科	<i>Spatula querquedula</i>	Garganey	W,P			218	63,072
24	琵嘴鸭	雁形目	鸭科	<i>Spatula clypeata</i>	Northern Shoveler	W,P			992	31,304
25	花脸鸭	雁形目	鸭科	<i>Sibirionetta formosa</i>	Baikal Teal	W,P	二级		146	16,958
26	罗纹鸭	雁形目	鸭科	<i>Mareca falcata</i>	Falcated Duck	W			829	77,848
27	赤膀鸭	雁形目	鸭科	<i>Mareca strepera</i>	Gadwall	W			575	62,818
28	赤颈鸭	雁形目	鸭科	<i>Mareca penelope</i>	Eurasian Wigeon	W			496	66,827
29	斑嘴鸭	雁形目	鸭科	<i>Anas zonorhyncha</i>	Chinese Spot-billed Duck	R,W			3,257	198,647
30	绿头鸭	雁形目	鸭科	<i>Anas platyrhynchos</i>	Mallard	W			2,357	100,828
31	针尾鸭	雁形目	鸭科	<i>Anas acuta</i>	Northern Pintail	W			477	31,013
32	绿翅鸭	雁形目	鸭科	<i>Anas crecca</i>	Eurasian Teal	W			1,668	124,718
33	小鸕鹚	鸕鹚目	鸕鹚科	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	Little Grebe	R			5,186	259,395
34	凤头鸕鹚	鸕鹚目	鸕鹚科	<i>Podiceps cristatus</i>	Great Crested Grebe	W,P			1,868	48,638
35	角鸕鹚	鸕鹚目	鸕鹚科	<i>Podiceps auritus</i>	Slavonian Grebe	W,P	二级	VU	25	2,596
36	花田鸡	鹤形目	秧鸡科	<i>Coturnicops exquisitus</i>	Swinhoe's Rail	W	二级	VU	152	13,659
37	普通秧鸡	鹤形目	秧鸡科	<i>Rallus indicus</i>	Eastern Water Rail	W			200	35,163

序号	物种名	目	科	拉丁名	英文名	居留类型	国家保护等级	IUCN 等级	点位数量(个)	潜在栖息地面积(km²)
38	红胸田鸡	鹤形目	秧鸡科	<i>Zapornia fusca</i>	Ruddy-breasted Crane	S,P			43	10,672
39	小田鸡	鹤形目	秧鸡科	<i>Zapornia pusilla</i>	Baillon’s Crane	P			26	56,126
40	白胸苦恶鸟	鹤形目	秧鸡科	<i>Amaurornis phoenicurus</i>	White-breasted Waterhen	S			951	31,881
41	黑水鸡	鹤形目	秧鸡科	<i>Gallinula chloropus</i>	Common Moorhen	S,P			4,661	285,478
42	白骨顶	鹤形目	秧鸡科	<i>Fulica atra</i>	Common Coot	W			1,768	53,161
43	白鹤	鹤形目	鹤科	<i>Leucogeranus leucogeranus</i>	Siberian Crane	W,P	一级	CR	453	20,329
44	白枕鹤	鹤形目	鹤科	<i>Antigone vipio</i>	White-naped Crane	W,P	一级	VU	234	18,957
45	灰鹤	鹤形目	鹤科	<i>Grus grus</i>	Common Crane	W	二级		508	38,313
46	白头鹤	鹤形目	鹤科	<i>Grus monacha</i>	Hooded Crane	W	一级	VU	748	40,936
47	东方白鹳	鹳形目	鹳科	<i>Ciconia boyciana</i>	Oriental Stork	S, W	一级	EN	702	17,958
48	白琵鹭	鹈形目	鹮科	<i>Platalea leucorodia</i>	Eurasian Spoonbill	W	二级		998	66,931
49	黑脸琵鹭	鹈形目	鹮科	<i>Platalea minor</i>	Black-faced Spoonbill	P	一级	EN	71	7,284
50	朱鹮	鹮形目	鹮科	<i>Nipponia nippon</i>	Crested Ibis	R	一级	EN	170	7,396
51	大麻鳎	鹮形目	鹭科	<i>Botaurus stellaris</i>	Eurasian Bittern	W,P			276	26,609
52	黄斑苇鳎	鹮形目	鹭科	<i>Ixobrychus sinensis</i>	Yellow Bittern	S,P			684	51,332
53	紫背苇鳎	鹮形目	鹭科	<i>Ixobrychus eurhythmus</i>	Schrenck's Bittern	S			57	91,555
54	栗苇鳎	鹮形目	鹭科	<i>Ixobrychus cinnamomeus</i>	Cinnamon Bittern	S			155	8,638
55	海南鳎	鹮形目	鹭科	<i>Gorsachius magnificus</i>	White-eared Night-heron	R	一级	EN	21	76,233
56	夜鹭	鹮形目	鹭科	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Black-crowned Night-heron	S, R			3,550	149,061

序号	物种名	目	科	拉丁名	英文名	居留类型	国家保护等级	IUCN 等级	点位数量(个)	潜在栖息地面积(km²)
57	绿鹭	鹈形目	鹭科	<i>Butorides striata</i>	Green-backed Heron	R,W			505	26,680
58	池鹭	鹈形目	鹭科	<i>Ardeola bacchus</i>	Chinese Pond Heron	R,S,W			2,880	273,827
59	牛背鹭	鹈形目	鹭科	<i>Bubulcus coromandus</i>	Cattle Egret	R,W			1,318	68,079
60	苍鹭	鹈形目	鹭科	<i>Ardea cinerea</i>	Grey Heron	R, P			3,040	146,217
61	草鹭	鹈形目	鹭科	<i>Ardea purpurea</i>	Purple Heron	S,P			314	56,442
62	大白鹭	鹈形目	鹭科	<i>Ardea alba</i>	Great Egret	S			1,956	170,494
63	中白鹭	鹈形目	鹭科	<i>Ardea intermedia</i>	Intermediate Egret	S			1,306	91,364
64	白鹭	鹈形目	鹭科	<i>Egretta garzetta</i>	Little Egret	S			6,273	271,432
65	黄嘴白鹭	鹈形目	鹭科	<i>Egretta eulophotes</i>	Chinese Egret	S	一级	VU	38	1,961
66	卷羽鹈鹕	鹈形目	鹈鹕科	<i>Pelecanus crispus</i>	Dalmatian Pelican	W,P	一级		56	9,379
67	普通鸬鹚	鲑鸟目	鸬鹚科	<i>Phalacrocorax carbo</i>	Great Cormorant	S,W,P			2,022	60,286
68	蛎鹬	鸻形目	蛎鹬科	<i>Haematopus ostralegus</i>	Eurasian Oystercatcher	W			32	750
69	鸛嘴鹬	鸻形目	鸛嘴鹬科	<i>Ibidorhyncha struthersii</i>	Ibisbill	R	二级		38	7,056
70	反嘴鹬	鸻形目	反嘴鹬科	<i>Recurvirostra avosetta</i>	Pied Avocet	P			862	72,619
71	黑翅长脚鹬	鸻形目	反嘴鹬科	<i>Himantopus himantopus</i>	Black-winged Stilt	P			960	55,151
72	凤头麦鸡	鸻形目	鸻科	<i>Vanellus vanellus</i>	Northern Lapwing	W			1,203	118,023
73	金鸻	鸻形目	鸻科	<i>Pluvialis fulva</i>	Pacific Golden Plover	P			185	20,543
74	灰鸻	鸻形目	鸻科	<i>Pluvialis squatarola</i>	Grey Plover	W,P			158	14,353
75	金眶鸻	鸻形目	鸻科	<i>Charadrius dubius</i>	Little Ringed Plover	W			877	47,077

序号	物种名	目	科	拉丁名	英文名	居留类型	国家保护等级	IUCN 等级	点位数量(个)	潜在栖息地面积(km²)
76	环颈鸻	鸻形目	鸻科	<i>Charadrius alexandrinus</i>	Kentish Plover	W, P			797	67,038
77	蒙古沙鸻	鸻形目	鸻科	<i>Charadrius mongolus</i>	Lesser Sand Plover	P		EN	60	14,157
78	铁嘴沙鸻	鸻形目	鸻科	<i>Charadrius leschenaultii</i>	Greater Sand Plover	P			70	10,291
79	彩鹬	鸻形目	彩鹬科	<i>Rostratula benghalensis</i>	Greater Painted-snipe	R			262	61,160
80	中杓鹬	鸻形目	鹬科	<i>Numenius phaeopus</i>	Whimbrel	P			63	2,497
81	小杓鹬	鸻形目	鹬科	<i>Numenius minutus</i>	Little Curlew	P	二级		56	18,403
82	白腰杓鹬	鸻形目	鹬科	<i>Numenius arquata</i>	Eurasian Curlew	W	二级		113	268
83	大杓鹬	鸻形目	鹬科	<i>Numenius madagascariensis</i>	Far Eastern Curlew	P	二级	EN	26	2,870
84	斑尾塍鹬	鸻形目	鹬科	<i>Limosa lapponica</i>	Bar-tailed Godwit	P			32	185
85	黑尾塍鹬	鸻形目	鹬科	<i>Limosa limosa</i>	Black-tailed Godwit	P			276	33,238
86	翻石鹬	鸻形目	鹬科	<i>Arenaria interpres</i>	Ruddy Turnstone	P	二级		24	2,963
87	大滨鹬	鸻形目	鹬科	<i>Calidris tenuirostris</i>	Great Knot	P	二级	EN	32	2,826
88	阔嘴鹬	鸻形目	鹬科	<i>Calidris falcinellus</i>	Broad-billed Sandpiper	P	二级		36	2,675
89	尖尾滨鹬	鸻形目	鹬科	<i>Calidris acuminata</i>	Sharp-tailed Sandpiper	P		VU	114	18,690
90	弯嘴滨鹬	鸻形目	鹬科	<i>Calidris ferruginea</i>	Curlew Sandpiper	P			90	14,390
91	长趾滨鹬	鸻形目	鹬科	<i>Calidris subminuta</i>	Long-toed Stint	P			190	13,191
92	红颈滨鹬	鸻形目	鹬科	<i>Calidris ruficollis</i>	Red-necked Stint	P			146	4,205
93	三趾滨鹬	鸻形目	鹬科	<i>Calidris alba</i>	Sanderling	P			29	166
94	黑腹滨鹬	鸻形目	鹬科	<i>Calidris alpina</i>	Dunlin	W			461	39,833

序号	物种名	目	科	拉丁名	英文名	居留类型	国家保护等级	IUCN 等级	点位数量(个)	潜在栖息地面积(km²)
95	半蹼鹬	鸻形目	鹬科	<i>Limnodromus semipalmatus</i>	Asian Dowitcher	P	二级		33	499
96	丘鹬	鸻形目	鹬科	<i>Scolopax rusticola</i>	Eurasian Woodcock	W			66	59,049
97	孤沙锥	鸻形目	鹬科	<i>Gallinago solitaria</i>	Solitary Snipe	W,P			22	92
98	针尾沙锥	鸻形目	鹬科	<i>Gallinago stenura</i>	Pintail Snipe	P			110	47,833
99	大沙锥	鸻形目	鹬科	<i>Gallinago megala</i>	Swinhoe's Snipe	P			100	36,431
100	扇尾沙锥	鸻形目	鹬科	<i>Gallinago gallinago</i>	Common Snipe	W			1,201	57,041
101	翘嘴鹬	鸻形目	鹬科	<i>Xenus cinereus</i>	Terek Sandpiper	P			47	3,029
102	矶鹬	鸻形目	鹬科	<i>Actitis hypoleucos</i>	Common Sandpiper	W,P			1,281	82,949
103	白腰草鹬	鸻形目	鹬科	<i>Tringa ochropus</i>	Green Sandpiper	W			1,672	208,006
104	鹤鹬	鸻形目	鹬科	<i>Tringa erythropus</i>	Spotted Redshank	P			5,610	70,119
105	青脚鹬	鸻形目	鹬科	<i>Tringa nebularia</i>	Common Greenshank	W			1,481	45,712
106	红脚鹬	鸻形目	鹬科	<i>Tringa totanus</i>	Common Redshank	P			221	21,773
107	林鹬	鸻形目	鹬科	<i>Tringa glareola</i>	Wood Sandpiper	P			909	82,652
108	泽鹬	鸻形目	鹬科	<i>Tringa stagnatilis</i>	Marsh Sandpiper	P			366	33,400
109	普通燕鹩	鸻形目	燕鹩科	<i>Glareola maldivarum</i>	Oriental Pratincole	S,P			192	16,471
110	棕头鸥	鸻形目	鸥科	<i>Chroicocephalus brunnicephalus</i>	Brown-headed Gull	W			23	1,150
111	红嘴鸥	鸻形目	鸥科	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	Black-headed Gull	W,P			1,377	96,268
112	黑嘴鸥	鸻形目	鸥科	<i>Saundersilarus saundersi</i>	Saunders's Gull	W	一级	VU	25	157
113	遗鸥	鸻形目	鸥科	<i>Ichthyaetus relictus</i>	Relict Gull	P	一级	VU	20	62

序号	物种名	目	科	拉丁名	英文名	居留类型	国家保护等级	IUCN 等级	点位数量(个)	潜在栖息地面积(km²)
114	渔鸥	鸻形目	鸥科	<i>Ichthyaetus ichthyaetus</i>	Pallas's Gull	P			23	4,002
115	黑尾鸥	鸻形目	鸥科	<i>Larus crassirostris</i>	Black-tailed Gull	S,W,P			31	3,964
116	西伯利亚银鸥	鸻形目	鸥科	<i>Larus vegae</i>	Vega Gull	W			74	19,921
117	灰背鸥	鸻形目	鸥科	<i>Larus schistisagus</i>	Slaty-backed Gull	W			22	2,074
118	鸥嘴噪鸥	鸻形目	鸥科	<i>Gelochelidon nilotica</i>	Common Gull-billed Tern	R,P			52	6,037
119	红嘴巨燕鸥	鸻形目	鸥科	<i>Hydroprogne caspia</i>	Caspian Tern	P			43	5,981
120	白额燕鸥	鸻形目	鸥科	<i>Sternula albifrons</i>	Little Tern	S			107	12,245
121	普通燕鸥	鸻形目	鸥科	<i>Sterna hirundo</i>	Common Tern	P			163	21,991
122	灰翅浮鸥	鸻形目	鸥科	<i>Chlidonias hybrida</i>	Whiskered Tern	P			993	81,829
123	白翅浮鸥	鸻形目	鸥科	<i>Chlidonias leucopterus</i>	White-winged Tern	W,P			218	52,884

注：居留类型的代码分别表示：R 留鸟，S 夏候鸟，W 冬候鸟，P 旅鸟；IUCN 等级的缩写分别表示：CR 极危，EN 濒危，VU 易危。