

DOI: 10.5846/stxb202207202071

段后浪, 于秀波. 黄渤海濒危水鸟栖息地动态变化研究. 生态学报, 2023, 43(15): 6354-6363.

Duan H L, Yu X B. Variation of waterbird habitat in the Yellow and Bohai Seas, China. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(15): 6354-6363.

黄渤海濒危水鸟栖息地动态变化研究

段后浪^{1,2}, 于秀波^{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: 中国滨海湿地是东亚-澳大利西亚迁徙路线上候鸟重要的停歇地、繁殖地和越冬地, 土地利用变化所引发的滨海湿地退化导致水鸟栖息地类别和面积发生了很大转变, 影响迁徙水鸟种群数量的稳定性。然而, 土地利用变化在哪些区域和多大程度上影响了迁徙水鸟的栖息地分布尚不清晰。以土地围垦典型区域黄渤海滨海湿地为研究区, 以受胁濒危水鸟物种勺嘴鹬、大滨鹬、大杓鹬、小青脚鹬、黑脸琵鹭、黄嘴白鹭、遗鸥、黑嘴鸥为研究对象, 结合物种分布模型 MaxEnt 和 GIS 空间分析, 模拟 2000、2015、2020 年水鸟栖息地时空分布, 探索过去 20 年栖息地分布的时空变化, 分析水鸟种群变化趋势, 识别水鸟栖息地保护优先区域, 提出水鸟栖息地保护管理建议。结果显示: 2000—2020 年, 8 个水鸟物种栖息地主要分布在渤海湾、莱州湾、江苏盐城沿岸、如东-东台沿岸区域。所有物种的栖息地面积均呈不同程度的下降趋势, 其中 7 个物种栖息地下降比例超过 50%, 下降的区域主要分布在渤海湾、江苏盐城沿岸、东台条子泥、小洋口沿岸, 滨海湿地丧失是导致水鸟栖息地面积下降的直接因素。7 个物种种群数量呈下降趋势。研究所确定的水鸟保护优先区面积达 240.32 km², 其中如东沿岸存在保护空缺, 建议扩增盐城候鸟世界遗产地分布范围, 将如东沿岸纳入到保护地范围内, 加强保护和管理, 缓解水鸟栖息地的持续丧失。

关键词: 水鸟栖息地; 土地围垦; 保护优先区; 黄渤海滨海湿地

Variation of waterbird habitat in the Yellow and Bohai Seas, China

DUAN Houlang^{1,2}, YU Xiubo^{1,2,*}

1 Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modelling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Coastal wetlands in mainland China are home to rich fishery resources, mangroves, and seagrass beds. They are recognized as key part of global biodiversity, providing the natural eco-safety barrier for the development of economically developed coastal regions in China. They not only offer precious natural resources, but also are key components of a biotic community of mountains, rivers, forests, croplands, lakes and grasslands for their important ecological functions and values. Coastal wetlands in China provide important stopover sites, breeding areas and non-breeding areas for migratory waterbirds along the East Asian-Australasian Flyway (EAAF). Nevertheless, the problems of wetland loss and function degradation still exist and are widespread due to a wide range of factors, such as fast industrialization and urbanization, the increased pressure of wetlands and their biodiversity loss, lack of coordinated wetland management systems, over-lapping of different administrative functions, and conflict among different sectors' policies on wetland management. Loss in coastal wetlands due to land use change resulted in dramatic change in habitat category and area, and further reduced the stability of waterbird population. However, it is still unclear where and how land use change has had impact on the distribution of

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金 (42101105); 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室 (烟台海岸带研究所) 开放基金 (2020KFJJ02); 中国沿海湿地保护绿皮书 (2021)

收稿日期: 2022-07-20; **采用日期:** 2022-10-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuxb@igsrr.ac.cn

waterbird habitats. In this study, we regarded coastal wetlands along the Yellow and Bohai Seas that a hotspot of land use change occurred as study area. We selected eight endangered species, i.e., Spoon-billed Sandpiper, Great Knot, Far Eastern Curlew, Nordmann's Greenshank, Black-faced Spoonbill, Chinese Egret, Relict Gull, and Saunders's Gull as targeted species. We combined species distribution model MaxEnt and GIS to estimate habitat distribution and their spatio-temporal changes between 2000 and 2020, and to assess the trend of waterbird population changes. Then we identified priority areas for conservation, and provided recommendation on conservation and management. The results showed that the waterbird habitats were mainly distributed in Bohai Bay, Laizhou Bay, and the coastal areas along the Yancheng and Rudong-Dongtai between 2000 and 2020. During that period, the habitat area of all eight species declined, among which the habitat area of seven species has lost more than 50%, and these areas occurred in Bohai bay and the coasts along the Yancheng, Tiaozini, Dongtai County, Xiaoyangkou, and Rudong County. Coastal wetland loss was a direct factor behind the decrease of waterbird habitats. The populations of seven species tended to decline. We identified priority areas for conservation with a total area of 240.32 km², and the coast of Rudong County was defined as a conservation gap area. We recommended expanding the boundary range of Yancheng world heritage site to include the unprotected area. It is necessary to improve conservation and management and reduce continuous loss of waterbird habitats. It is also important to engage the general public in the protection of waterbird habitats and promote the protection of new natural protected areas.

Key Words: waterbird habitat; land reclamation; priority area for conservation; coastal wetlands in Yellow and Bohai Seas

全球有九条候鸟迁徙路线,拥有丰富的湿地资源,其中滨海湿地为迁徙水鸟提供了重要的栖息场所^[1]。滨海湿地处于海陆交错地带,易受全球变化的扰动,影响迁徙水鸟栖息地分布面积。已有研究表明,土地利用变化严重压缩了迁徙水鸟的分布范围,降低了适宜栖息地的质量和面积^[2-4],进而减少了迁徙水鸟的种群数量^[5]。最近几十年,鸟类适宜栖息地分布范围的变化越来越多地受到国际关注^[6]。

中国滨海湿地是东亚-澳大利西亚迁徙路线上候鸟重要的停歇地、繁殖地和越冬地^[7-9]。黄渤海滨海湿地位于中国滨海湿地的北端,受人类活动影响,大面积的滨海湿地丧失或者退化为人造湿地,导致水鸟栖息地在时间和空间上发生了很大变化^[10]。不同类别水鸟对栖息地差异性需求导致土地利用变化对不同类别水鸟栖息地的影响各有不同^[11-12]。例如,受胁水鸟(被定义为极危、濒危和易危的物种)相比非受胁水鸟,物种种群对自然栖息地的变化更加敏感^[13],开展土地利用变化背景下受胁水鸟栖息地时空变化研究必要且迫切,针对性的开展受胁物种保护至关重要。

如何识别栖息地是开展土地利用变化影响下水鸟栖息地分布范围变化研究的前提条件。已有研究确定水鸟在中国区域的分布范围主要依靠专家经验和有限的野外调查^[14-15],所得结果普遍高估了栖息地的分布范围^[16-17]。公民科学数据广泛运用于区域和候鸟迁徙路线尺度上的物种栖息地分布范围模拟^[18-19]。公民科学数据所涉及的物种信息包括但不限于物种名称、调查点名称、调查点经纬度、调查时间、种群丰度等^[20]。物种分布模型能够匹配公民科学数据和影响栖息地分布的环境因子之间的关系,精确预测栖息地空间范围^[21-23]。

本研究以中国黄渤海湿地 8 个受胁水鸟勺嘴鹬(*Eurynorhynchus pygmeus*)、大滨鹬(*Calidris tenuirostris*)、大杓鹬(*Numenius madagascariensis*)、小青脚鹬(*Tringa guttifer*)、黑脸琵鹭(*Platalea minor*)、黄嘴白鹭(*Egretta eulophotes*)、遗鸥(*Larus relictus*)、黑嘴鸥(*Larus saundersi*)为研究对象,整合多个来源的水鸟调查公民科学数据使用物种分布模型 MaxEnt,探索 2000—2020 年土地利用变化影响下的水鸟栖息地面积和空间分布的变化特征,识别水鸟栖息地保护优先区和保护空缺区域,提出水鸟栖息地保护管理对策。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

黄渤海滨海湿地面积较大、类型丰富,具有重要的生态系统服务功能和价值。黄渤海滨海湿地在空间范

围上从北到南所辖省市有辽宁、河北、天津、山东、江苏省(图1)。自然湿地类型主要包括滩地、河口水域、河口三角洲、沿海潟湖、滩涂湿地、河渠、湖泊等。人工湿地主要以水稻田、盐田、养殖池塘为主^[24-25]。黄渤海滨海湿地是东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线的重要组成部分。依赖黄渤海湿地作为栖息地的多个水鸟物种种群数量达到全球1%标准^[9],这些物种包括全球珍稀濒危水鸟,例如极危物种勺嘴鹬,濒危物种大滨鹬、小青脚鹬、大杓鹬、黑脸琵鹭,易危物种黄嘴白鹭、遗鸥和黑嘴鸥(图2)。

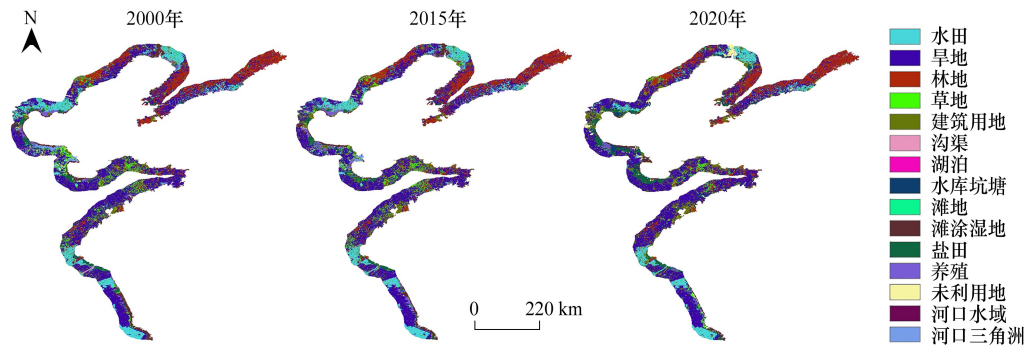


图1 黄渤海沿岸湿地研究区示意图
Fig.1 Study area in coastal wetlands of Yellow and Bohai Seas



图2 研究水鸟物种照片
Fig.2 Photos of waterbird species studied

过去几十年大规模填海造陆改变了黄渤海滨海湿地的空间结构和功能,对滨海湿地海岸带生态环境造成了极大的负面影响^[10]。围海养殖、基建占用、农田扩张等占用了大量的海湾、河口和滨海湿地^[26-28],导致水鸟栖息地面积下降严重,水鸟生物多样性锐减。因此开展土地利用变化对沿海水鸟栖息地的影响,识别水鸟与栖息地亟待保护的关键区域,提出相应的管理对策必要且迫切。

1.2 水鸟物种分布数据搜集

本研究所搜集的水鸟物种分布数据主要来源于鸟类调查报告、观鸟网站、文献等。

(1)水鸟调查报告:中国沿海水鸟调查报告 2005—2013:中国沿海水鸟同步调查组自 2005 年开始组织开展沿海水鸟同步调查,调查位置主要沿着潮间带湿地,由湿地国际 1987 年发起,调查范围包括中国沿海 11 省、自治区、直辖市沿海区域;亚洲水鸟调查报告 1987—2007:覆盖范围包括中国沿海区域;黄渤海水鸟同步调查 2018—2019:由国际湿地组织的黄渤海水鸟调查,覆盖的调查范围包括本研究区的辽宁省、河北省、天津市、山东省和江苏省沿岸;

(2)观鸟网站:eBird 网站 (<https://ebird.org/home>);全球生物多样性信息库 (Global Biodiversity

Information Facility, GBIF) (<http://www.gbifchina.org/>); 中国观鸟记录中心网站 (<http://www.birdreport.cn/>)。eBird 数据库可根据数据申请需求提供数据集, 根据本研究的需求, 提供时间、区域范围和物种名称获取 eBird 在黄渤海区域的水鸟分布记录。GBIF 网站需要提供获取数据的需求窗口, 本研究根据区域名称、水鸟物种名称和调查时间进行数据下载。中国观鸟记录中心数据库网站记录着大量的全国各地的水鸟分布数据, 由公众进行水鸟调查后, 上传调查记录到网站上, 由专业的水鸟调查员对记录进行审核后发布在网上, 目前这些记录已经被大量运用于水鸟生物多样性保护研究。

(3) 国内外文献: 在中国知网、外文 Web of Science 网站、百度学术、谷歌学术网站上以物种中文名称、英文名称和拉丁文名称为检索词, 搜集文献中的水鸟分布数据。

针对以上三个来源的水鸟数据, 按照物种名称、调查点名称、调查点经度、纬度、调查时间、种群数量和数据来源进行整理, 包含这些完整信息的记录为有效记录。来自网站上的公民科学调查数据, 具有很高的应用价值, 但与常规系统的水鸟调查相比, 公民科学调查数据存在空间偏差(部分数据存在调查点经纬度坐标与调查地点名称不匹配)。首先, 使用谷歌地图 (<https://www.google.com/maps>) 手动校正调查点经纬度坐标与实际调查地点严重偏离的记录, 以实际调查地点质心坐标作为该记录校正后的坐标。随机抽取 30% 的记录输入到谷歌地图中, 调查点名称与经纬度坐标相匹配的概率达 92%。其次, 对于来自多个来源的 2000 年、2015 年和 2020 年水鸟分布记录数据, 删除经纬度坐标重复的记录。最后, 删除分布较为密集分布记录(分布距离小于 1 km), 作为最终输入模型中的水鸟数据。

1.3 环境因子选择

土地类型、降水、温度、地形等变量是影响水鸟分布的关键因子。2000 年、2015 年黄渤海土地利用/覆被数据来自于中国科学院烟台海岸带研究所, 分辨率 100 m, 2020 年土地利用/覆被数据来自于中国科学院资源科学数据中心 (<http://www.resdc.cn/>), 分辨率 1 km。降水、温度数据选择以多数学者普遍使用的且对水鸟影响较大的 19 个生物气候变量^[16, 23], 来自于 WorldClim 2.0 (<http://worldclim.org/version2>), 这些数据取自于 1970—2000 年多年的均值而得, 空间分辨率 1 km。地形因子高程栅格数据来自于中国科学院资源科学数据中心, 空间分辨率 90 m, 坡度、坡向提取自高程。详细的环境变量信息见表 1。所有变量通过 ArcGIS 10.5 重采样成 100 m 空间分辨率, 裁剪成研究区范围大小。

1.4 水鸟适宜栖息地及种群数量变化分析

适宜栖息地分布模拟: 基于前期搜集的水鸟物种分布数据和环境变量, 使用物种分布模型 MaxEnt 3.1 分析勺嘴鹬、大滨鹬、小青脚鹬、大杓鹬、黑脸琵鹭、黄嘴白鹭、遗鸥和黑嘴鸥 8 个物种 2000 年、2015 年和 2020 年适宜栖息地分布。MaxEnt 模型使用物种分布记录和对应的栖息地环境因子图层, 推算出物种可能出现的分布概率^[29]。使用刀切法确定环境因子对模型的贡献率, 对于每一次模型运算, 随机选择 75% 的分布记录作为训练样本, 25% 的分布记录作为测试样本。取模型 5 次布尔运算的平均值作为分布概率的结果。用 ROC 曲线下与坐标轴围成的面积 (Area Under the Curve, AUC) 值作为模型运行精度的评判标准, AUC 值高于 0.7 表明模型模拟结果是可接受的^[30]。对于最后的分布概率结果图层, 我们使用平均预测的概率值作为划分适宜栖息地的阈值, 高于阈值部分作为适宜栖息地部分^[31]。

适宜栖息地面积变化分析: 基于前期分析得到的 8 个物种勺嘴鹬、大滨鹬、小青脚鹬、大杓鹬、黑脸琵鹭、黄嘴白鹭、遗鸥和黑嘴鸥 2000 年、2015 年和 2020 年适宜栖息地分布图层, 分析 2000—2020 年 8 个物种适宜栖息地面积变化特征

$$P = \frac{H_{2020} - H_{2000}}{H_{2000}} \times 100\%$$

“P”是 2000 年—2020 年水鸟适宜栖息地面积下降的比例, H_{2000} 和 H_{2020} 分别代表 2000 年和 2020 年水鸟适宜栖息地面积。

表 1 物种分布模型模拟所需的环境因子变量及来源

Table 1 Required environmental variables in species distribution model

环境变量 Environmental variable	分辨率 Resolution	数据来源 Source
土地利用/覆被 Land use and land cover	100 m/1 km	中国科学院烟台海岸带研究所 (2000、2015)/中国科学院资源科学数据中心(2020)
年平均温度 Annual Mean Temperature/℃	1 km	来自中国科学院资源科学数据
平均气温日较差 Mean Diurnal Range(Mean of monthly(max temp-min temp))/℃	1 km	中心
等温 Isothermality(BIO2/BIO7) (×100)	1 km	
气温季节性变动系数 Temperature Seasonality(standard deviation ×100)	1 km	
最热月最高温度 Max Temperature of Warmest Month/℃	1 km	
最冷月最低温度 Min Temperature of Coldest Month/℃	1 km	
温度年度范围 Temperature Annual Range(BIO5-BIO6)/℃	1 km	
最湿季平均温度 Mean Temperature of Wettest Quarter/℃	1 km	
最干季平均温度 Mean Temperature of Driest Quarter/℃	1 km	
最温暖季度的平均温度 Mean Temperature of Warmest Quarter/℃	1 km	
最冷季度的平均温度 Mean Temperature of Coldest Quarter/℃	1 km	
年降水量 Annual Precipitation/mm	1 km	
最湿月的降水量 Precipitation of Wettest Month/mm	1 km	
最干燥月的降水量 Precipitation of Driest Month/mm	1 km	
降水量的季节变化 Precipitation Seasonality(Coefficient of Variation)/mm	1 km	
最湿季降水量 Precipitation of Wettest Quarter/mm	1 km	
最干季降水量 Precipitation of Driest Quarter/mm	1 km	
最热季降水量 Precipitation of Warmest Quarter/mm	1 km	
最冷季降水量 Precipitation of Coldest Quarter/mm	1 km	
高程 Altitude	90 m	提取自高程
坡度 Slope	90 m	
坡向 Aspect	90 m	

水鸟种群数量变化趋势分析:基于 IUCN 受胁物种红色名录信息,分析 8 个物种勺嘴鹬、大滨鹬、小青脚鹬、大杓鹬、黑脸琵鹭、黄嘴白鹭、遗鸥和黑嘴鸥当前的种群数量变化趋势。IUCN 受胁物种红色名录信息网站链接为 <https://www.iucnredlist.org/>。

1.5 水鸟保护优先区识别

基于 8 个物种勺嘴鹬、大滨鹬、小青脚鹬、大杓鹬、黑脸琵鹭、黄嘴白鹭、遗鸥和黑嘴鸥 2020 年适宜栖息地分布图层,使用 ArcGIS 10.5 计算 8 个物种在 2020 年适宜栖息地公共分布区域作为水鸟保护优先区。

2 结果

2.1 水鸟适宜栖息地分布

8 个水鸟物种 2000、2015 和 2020 年适宜栖息地模型模拟结果 AUC 值均高于 0.9,表明该模型能够较好地模拟水鸟适宜栖息地分布。总体上,2000、2015 和 2020 年水鸟适宜栖息地主要分布在黄渤海的沿岸湿地,分布区域除了包括一些保护区(辽宁丹东鸭绿江口滨海湿地国家级自然保护区、辽宁辽河口国家级自然保护区、山东黄河三角洲国家级自然保护区、江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区),在渤海湾沿岸(包括滦南南堡湿地、天津滨海新区沿岸等)、莱州湾、江苏连云港沿岸,以及江苏东台和如东沿岸也是水鸟适宜栖息地分布热点区域。其中勺嘴鹬和黑脸琵鹭两个物种,适宜栖息地分布区域相比其他物种在空间上更集中,面积更小(图 3)。

2.2 水鸟适宜栖息地及种群数量变化

2000 年、2015 年和 2020 年 8 个物种适宜栖息地分布面积及变化比例见表 2。从 2000 年到 2015 年再到

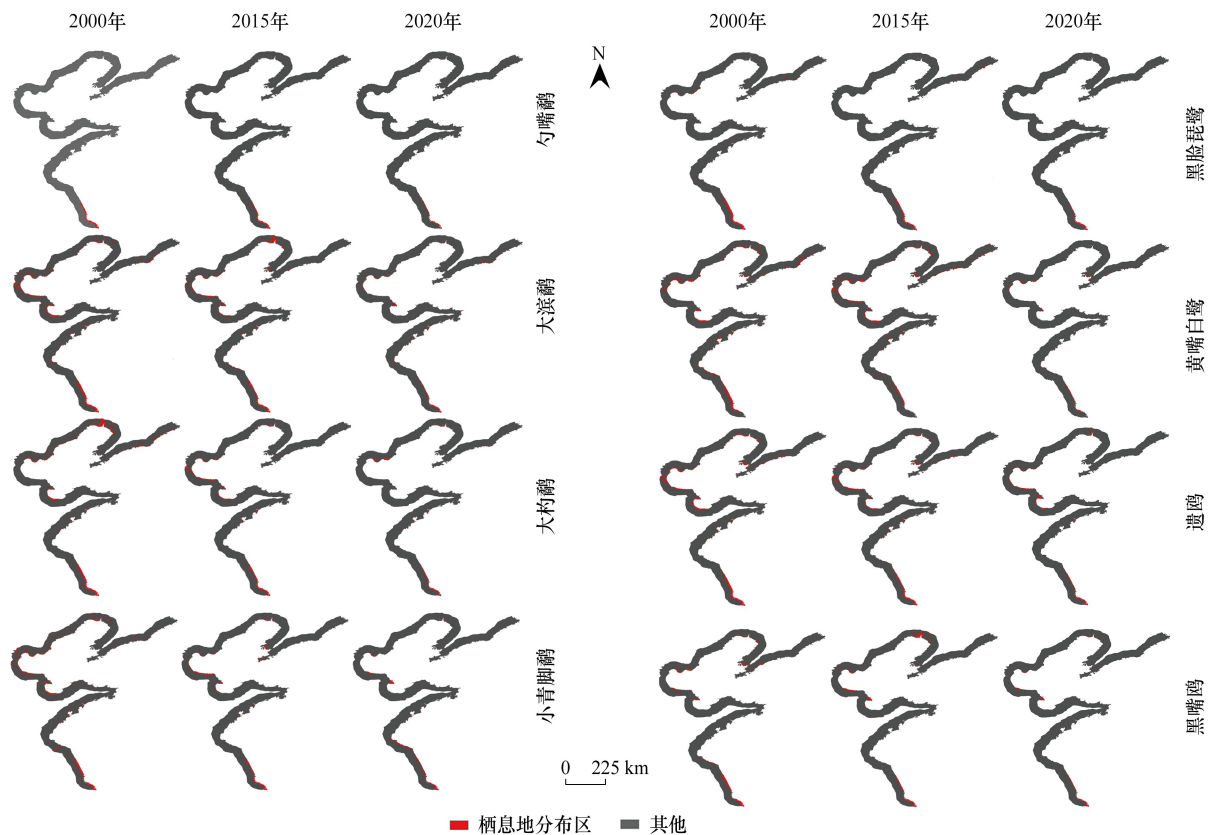


图3 2000—2020年8种水鸟适宜栖息地空间分布

Fig.3 The distribution of waterbirds habitat for 8 species between 2000 and 2020

2020年,8个物种适宜栖息地面积在不断减少。从2000—2015年,8个物种适宜栖息地面积下降比例介于5.5%—49.01%;从2000—2020年,8个物种的适宜栖息地面积降幅介于38.94%—86.52%,除勺嘴鹬外,其他7个物种适宜栖息地面积下降幅度均超过50%。在空间上,两个时间段,水鸟适宜栖息地下降的区域主要分布在环渤海沿岸、江苏盐城沿岸、东台条子泥、小洋口沿岸等区域。尤其是江苏盐城沿岸,8个物种的适宜栖息地面积均有下降(图4)。

表2 2000—2020年8个水鸟适宜栖息地面积变化及种群变化趋势

Table 2 The habitat area and their changes for 8 species between 2000 and 2020 and their population trend

物种 Species	适宜栖息地面积 Area of suitable habitat			变化比例 Change ratio/%		种群趋势 Population trend
	2000/km ²	2015/km ²	2020/km ²	2000—2015	2000—2020	
勺嘴鹬 <i>Eurynorhynchus pygmeus</i>	808	647.92	493.38	19.81	38.94	下降
大滨鹬 <i>Calidris tenuirostris</i>	3659.85	2602.47	493.38	28.89	86.52	下降
大杓鹬 <i>Numenius madagascariensis</i>	3476.61	2148.27	1097.19	38.21	68.44	下降
小青脚鹬 <i>Tringa guttifer</i>	3846.78	1961.43	1464.79	49.01	61.92	下降
黑脸琵鹭 <i>Platalea minor</i>	1416.31	999.79	597.49	29.41	57.81	上升
黄嘴白鹭 <i>Egretta eulophotes</i>	3395.71	3007.6	867.39	11.43	74.46	下降
遗鸥 <i>Larus relictus</i>	3424	2371.63	1583.01	30.74	53.77	下降
黑嘴鸥 <i>Larus saundersi</i>	1885.47	1781.83	790.61	5.50	58.07	下降

8个水鸟物种种群全球种群变化趋势显示,勺嘴鹬、大滨鹬、大杓鹬、小青脚鹬、黄嘴白鹭、遗鸥和黑嘴鸥全球种群数量呈下降趋势。虽然黑脸琵鹭全球种群数量有增加的趋势,但根据IUCN受胁物种红色名录信息

显示黑脸琵鹭全球调查种群数量仅 2250 只,数量稀少。因此根据 8 个水鸟物种种群趋势和数量状况亟待开展针对性的保护工作。

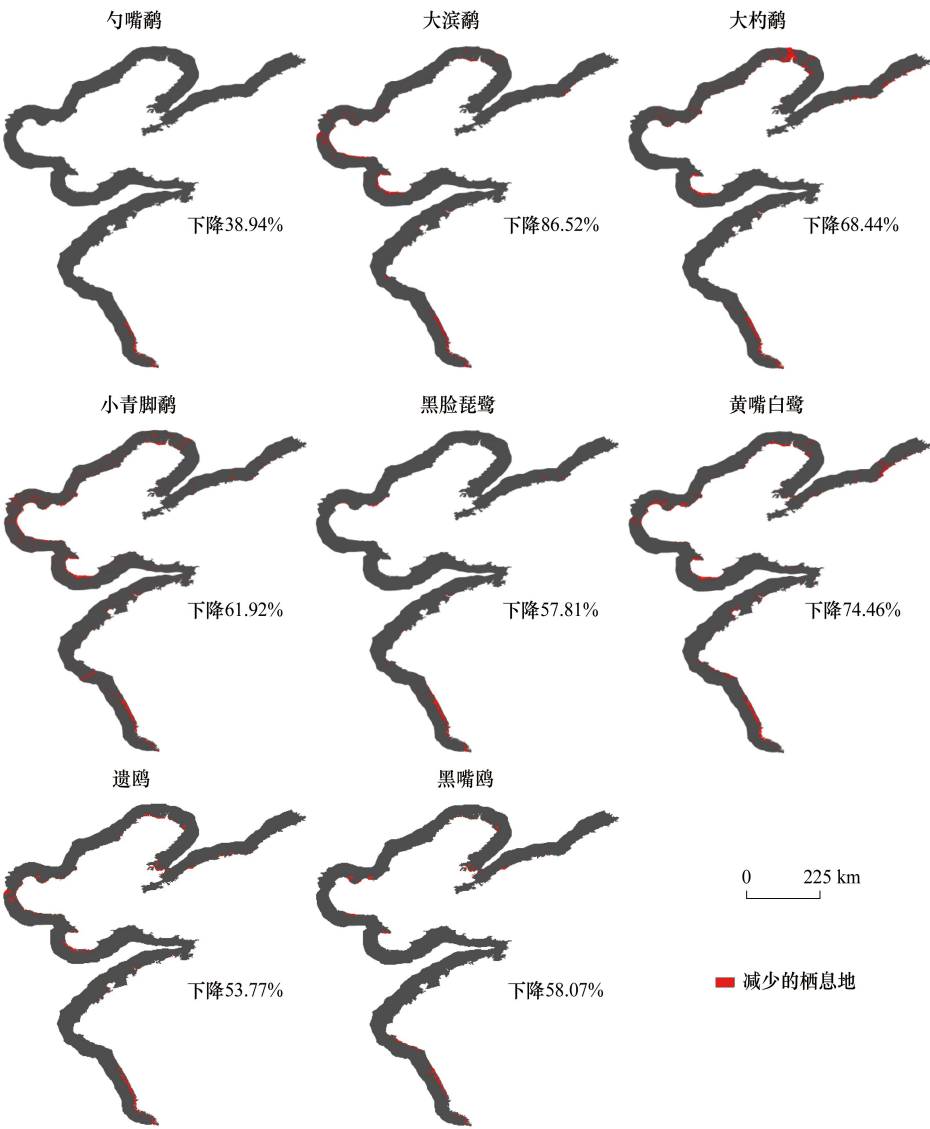


图 4 2000—2020 年 8 个物种水鸟物种适宜栖息地空间变化特征
Fig.4 Change in habitat for 8 species between 2000 and 2020

2.3 水鸟栖息地保护优先区域

通过计算 2000—2020 年 8 个水鸟物种适宜栖息地分布热点区域滩涂湿地的变化,结果显示,渤海湾、莱州湾、盐城沿岸、如东-动态沿岸滩涂湿地面积分别下降了 9048 km²、351.92 km²、339.42 km²和 368.09 km² (图 5)。滩涂湿地面积的下降严重影响了水鸟适宜栖息地的空间分布。

2020 年 8 个水鸟物种栖息地公共分布区面积为 240.32 km²,即为本研究所确定的水鸟保护优先区域 (图 6)。主要分布在盐城、如东-东台沿岸。目前盐城已设立了国家级自然保护区,东台已被纳入世界遗产地,但如东尚未得到有效保护,因此需要优先保护如东沿岸栖息地,尽快扩增现有保护地范围。

3 讨论

过去 20 年时间里,8 个濒危水鸟物种适宜栖息地面积均在发生不同程度的下降,其中 7 个物种下降幅度

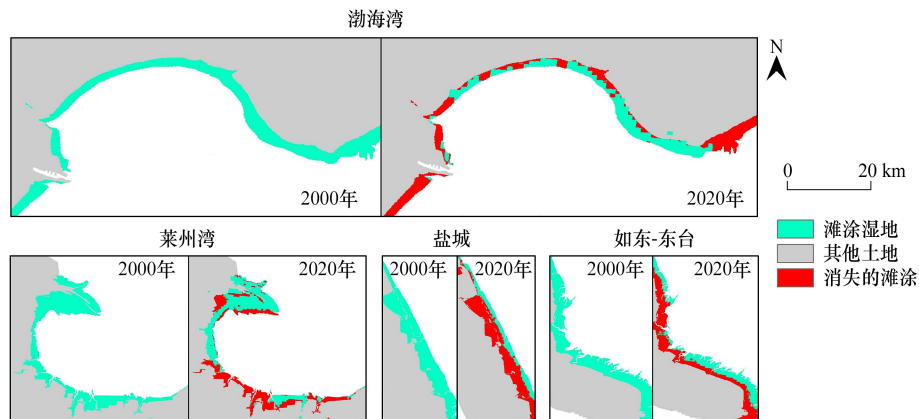


图5 2000—2020年渤海湾、莱州湾、盐城沿岸、如东-东台沿岸滩涂湿地面积变化

Fig.5 Changes in tidal flats along Bohai bay, Laizhou bay, Yancheng' coast, coast of Rudong-Dongtai

超过 50%。之前的研究表明沿海 38 个重要鸟区^[32]和 17 个^[33]新增重要鸟区受土地围垦影响,栖息地面积下降严重。人类活动和外来物种入侵也在很大程度上减少了沿海水鸟重要栖息地的分布范围^[34]。本研究的结果进一步验证了之前的结论。受胁水鸟物种相比非受胁水鸟物种在人工湿地的觅食频率更低^[35],这也意味着自然湿地的丧失对受胁水鸟的影响更大,侧面解释了本研究超过 50% 以上的受胁水鸟栖息地面积下降超过一半以上的原因。此外,受胁水鸟对一块栖息地有很强的依赖性且分布范围相比其他物种更狭窄,栖息地的丧失往往是导致水鸟种群数量下降的直接因素。例如,黄海栖息地面积减少导致 7 个依赖黄海停歇的鸻鹬类水鸟种群数量以每年 8% 的速率下降^[5]。本研究中,超 90% 以上的水鸟物种种群数量呈下降趋势,这很大程度上和栖息地面积下降有关。

一块栖息地的丧失无法通过保护另外一块栖息地来维持水鸟种群的稳定性^[36]。某个区域的水鸟栖息地丧失将导致水鸟种群向相邻的区域聚集,例如依赖于天津和唐山西北部沿岸湿地的红腹滨鹬(*Calidris canutus*),由于该区域滨海湿地大面积下降导致红腹滨鹬种群大多数聚集到了滦南南堡区域^[4]。水鸟向更小的栖息地区域聚集,很有可能因食物资源匮乏导致更多的水鸟种群大量减少。因此加强对现有重要栖息地分布区的保护至关重要。虽然近些年来滨海湿地保护与管理得到更多的关注,但依然存在较大的保护空缺^[37]。本研究确定了 8 个水鸟物种栖息地保护优先区,分布在江苏盐城沿岸-如东沿岸,其中如东沿岸湿地需要优先保护,这也与之前的研究结论一致。我们建议:

(1) 结合江苏盐城新获批中国黄(渤)海候鸟栖息地世界自然遗产地的契机,进一步扩增保护地面积,弥补关键栖息地的保护空缺。

2019 年 7 月,中国黄(渤)海候鸟栖息地(第一期)获准列入世界遗产名录,江苏大丰国家级自然保护区、江苏盐城国家级自然保护区、江苏盐城条子泥市级自然保护区、江苏东台高泥湿地保护地块及江苏东台条子泥湿地保护地块已被正式批准为世界遗产地。如东沿岸作为水鸟重要栖息地也是尚未开展任何保护措施的区域,希望后期考虑扩增现有世界遗产地范围,将如东沿岸湿地纳入盐城世界遗产地范围内。

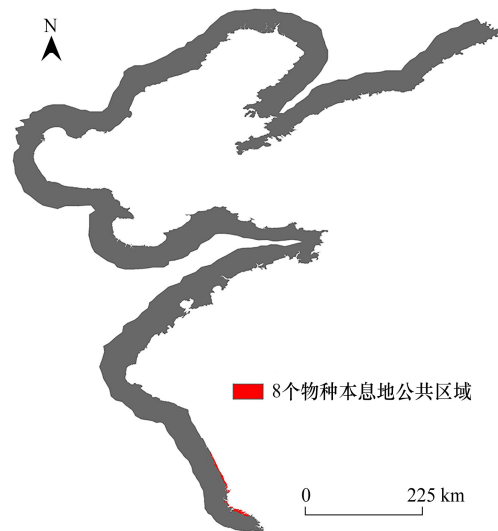


图6 2020年8个物种适宜栖息地公共分布区域

Fig.6 Common area of habitat for 8 species in 2020

(2) 调动社会公众广泛参与水鸟栖息地保护, 动员社会公众力量推动新增自然保护地的落地。

自然保护地的优化整合工作需要政府、非政府组织(NGO)和社会各界共同参与、支持与配合, NGO在这方面能够发挥巨大作用。例如, 针对本研究所确定的尚未保护的如东沿岸, NGO可出资推动更多的社会公众参与水鸟及栖息地保护工作, 让更多人了解对水鸟非常重要的区域目前的生态环境状况, 推动有效保护。

所有模型都具有一定的不确定性, 本研究所使用的物种分布模型 MaxEnt 主要原理是利用公民科学数据观鸟记录匹配影响栖息地分布的环境因子推测水鸟可能的栖息地分布范围。因此, 模型模拟结果一定程度上依赖于公民科学观鸟记录的数据精度。本研究 2000、2015 和 2020 年观鸟记录受当年观鸟人数、观鸟强度等在空间分布上的不均匀性以及年际间的差异性影响, 数据量及其空间分布均匀性上可能存在一定差异^[38]。这也是本研究以及以往类似研究所无法规避的问题之一^[23, 39], 随着研究方法的逐渐深入, 后期可考虑将随机抽样与模型模拟结合, 在模型模拟之前通过随机取样减少前后时间和空间上的数据分布不均匀性所带来的模拟误差。另一方面, 观鸟记录可能在空间上发生聚集而导致模拟结果在局部区域被过于放大, 后期可考虑通过移除密集分布的点位, 减少结果误差。

4 结论

2000、2015 和 2020 年 8 个濒危水鸟栖息地主要分布在黄渤海滨海湿地渤海湾、莱州湾、江苏盐城沿岸、如东-东台沿岸。从 2000—2020 年, 8 个水鸟物种的栖息地面积在发生不同程度的下降, 且绝大多数物种栖息地面积下降比例超过 50%。水鸟栖息地下降的区域主要分布在渤海湾、江苏盐城沿岸、东台条子泥、小洋口沿岸等。滩涂湿地大面积丧失是导致水鸟栖息地面积下降的主要因素。确定的水鸟保护优先区面积为 240.32 km², 分布在盐城、如东-东台沿岸。其中如东沿岸存在保护空缺, 我们建议扩增加盐城候鸟世界遗产地范围, 将保护空缺区域纳入到保护地范围, 缓解水鸟栖息地的进一步丧失。

致谢: 中国科学院地理科学与资源研究所王春晓特别研究助理帮助搜集和整理水鸟数据, 特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] 于秀波, 张立. 中国沿海湿地保护绿皮书-2021. 北京: 科学出版社, 2022.
- [2] Steen V, Skagen S K, Noon B R. Preparing for an uncertain future: migrating shorebird response to past climatic fluctuations in the Prairie Potholes. *Ecosphere*, 2018, 9(2): e02095.
- [3] Xu Y J, Si Y L, Yin S L, Zhang W Y, Grishchenko M, Prins H H T, Gong P, de Boer W F. Species-dependent effects of habitat degradation in relation to seasonal distribution of migratory waterfowl in the East Asian-Australasian Flyway. *Landscape Ecology*, 2019, 34(2): 243-257.
- [4] Yang H Y, Chen B, Barter M, Piersma T, Zhou C F, Li F S, Zhang Z W. Impacts of tidal land reclamation in Bohai Bay, China: ongoing losses of critical Yellow Sea waterbird staging and wintering sites. *Bird Conservation International*, 2011, 21(3): 241-259.
- [5] Studds C E, Kendall B E, Murray N J, Wilson H B, Rogers D I, Clemens R S, Gosbell K, Hassell C J, Jessop R, Melville D S, Milton D A, Minton C D T, Possingham H P, Riegen A C, Straw P, Woehler E J, Fuller R A. Rapid population decline in migratory shorebirds relying on Yellow Sea tidal mudflats as stopover sites. *Nature Communications*, 2017, 8: 14895.
- [6] Howes C, Symes C T, Byholm P. Evidence of large-scale range shift in the distribution of a Palaearctic migrant in Africa. *Diversity and Distributions*, 2019, 25(7): 1142-1155.
- [7] Barter M. Shorebirds of the Yellow Sea: Importance, threats and conservation status. *Wetland International Oceania*, 2002, 104: 1-299.
- [8] Bai Q, Chen J Z, Chen Z H, Dong G T, Dong J Z, Dong W X, Fu V, Han Y X, Lu G, Li J, Liu Y, Lin Z, Meng D B, Martinez J, Ni G, Shan K, Sun R B, Tian S, Wang F Q, Xu Z W, Yu Y T, Yang J, Yang Z D, Zhang L, Zhang M, Zeng X W, Group C C W C. Identification of coastal wetlands of international importance for waterbirds: a review of China Coastal Waterbird Surveys 2005—2013. *Avian Research*, 2015, 6: 1-16.
- [9] Xia S X, Yu X B, Millington S, Liu Y, Jia Y F, Wang L Z, Hou X Y, Jiang L G. Identifying priority sites and gaps for the conservation of migratory waterbirds in China's coastal wetlands. *Biological Conservation*, 2017, 210: 72-82.
- [10] 雷光春, 张正旺, 于秀波. 中国滨海湿地保护管理战略研究. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [11] Wang Y Y, Jia Y F, Guan L, Lu C, Lei G C, Wen L, Liu G H. Optimising hydrological conditions to sustain wintering waterbird populations in Poyang Lake National Natural Reserve: implications for dam operations. *Freshwater Biology*, 2013, 58: 2366-2379.
- [12] Ma Z J, Cai Y T, Li B, Chen J K. Managing wetland habitats for waterbirds: an international perspective. *Wetlands*, 2010, 30(1): 15-27.
- [13] Duan H L, Yu X B, Xia S X, Liu Y. Combining bootstrapping procedure and citizen science data to elucidate waterbirds' dependence on coastal

- wetland. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9: 888535.
- [14] 约翰·马敬能, 卡伦·菲利普斯, 何芬奇. 中国鸟类野外手册. 长沙: 湖南教育出版社, 2000.
- [15] Bird Life International and Nature Serve. Bird species distribution maps of the world (DB). Version 5.0. BirdLife International, Cambridge, UK and NatureServe, Arlington, USA, 2016.
- [16] Ramesh V, Gopalakrishna T, Barve S, Melnick D J. IUCN greatly underestimates threat levels of endemic birds in the Western Ghats. *Biological Conservation*, 2017, 210: 205-221.
- [17] Marsh C J, Gavish Y, Kunin W E, Brummitt N A. Mind the gap: can downscaling Area of Occupancy overcome sampling gaps when assessing IUCN Red List status? *Diversity and Distributions*, 2019, 25(12): 1832-1845.
- [18] Gillings S, Balmer D E, Caffrey B J, Downie I S, Gibbons D W, Lack P C, Reid J B, Sharrock J T R, Swann R L, Fuller R J. Breeding and wintering bird distributions in Britain and Ireland from citizen science bird atlases. *Global Ecology and Biogeography*, 2019, 28(7): 866-874.
- [19] Zhang W Y, Li X H, Yu L, Si Y L. Multi-scale habitat selection by two declining East Asian waterfowl species at their core spring stopover area. *Ecological Indicators*, 2018, 87: 127-135.
- [20] Ma Z J, Cheng Y X, Wang J Y, Fu X H. The rapid development of birdwatching in mainland China: a new force for bird study and conservation. *Bird Conservation International*, 2013, 23(2): 259-269.
- [21] Austin M. Species distribution models and ecological theory: a critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 2007, 200(1/2): 1-19.
- [22] Tanner A M, Tanner E P, Papeş M, Fuhlendorf S D, Elmore R D, Davis C A. Using aerial surveys and citizen science to create species distribution models for an imperiled grouse. *Biodiversity and Conservation*, 2020, 29(3): 967-986.
- [23] Hu R C, Wen C, Gu Y Y, Wang H, Gu L, Shi X Y, Zhong J, Wei M, He F Q, Lu Z. A bird's view of new conservation hotspots in China. *Biological Conservation*, 2017, 211: 47-55.
- [24] 于秀波, 张立. 中国沿海湿地保护绿皮书-2017. 北京: 科学出版社, 2018.
- [25] 于秀波, 张立. 中国沿海湿地保护绿皮书-2019. 北京: 科学出版社, 2020.
- [26] Ma Z J, Melville D S, Liu J G, Chen Y, Yang H Y, Ren W W, Zhang Z W, Piersma T, Li B. Rethinking China's new great wall. *Science*, 2014, 346(6212): 912-914.
- [27] 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.
- [28] Zhou Y M, Dou Y H, Yu X B, Zhang L, Huang C, Wang Y Y, Li X W, Li H, Jia Y F, Bakker M, Carsjens G J, Zhou Y, Duan H L. Examining health of wetlands with multiple ecosystem services as targets in China's coastal regions. *Chinese Geographical Science*, 2020, 30(4): 600-613.
- [29] Harte J, Newman E A. Maximum information entropy: a foundation for ecological theory. *Trends in Ecology & Evolution*, 2014, 29(7): 384-389.
- [30] 李丽鹤, 刘会玉, 林振山, 贾俊鹤, 刘翔. 基于 MAXENT 和 ZONATION 的加拿大一枝黄花入侵重点监控区确定. *生态学报*, 2017, 37(9): 3124-3132.
- [31] Zeng Q, Zhang Y M, Sun G Q, Duo H R, Wen L, Lei G C. Using species distribution model to estimate the wintering population size of the endangered scaly-sided merganser in China. *PLoS One*, 2015, 10(2): e0117307.
- [32] Ma T T, Li X W, Bai J H, Cui B S. Habitat modification in relation to coastal reclamation and its impacts on waterbirds along China's coast. *Global Ecology and Conservation*, 2019, 17: e00585.
- [33] Duan H L, Xia S X, Jackson M V, Zhao N, Liu Y, Teng J K, Meng Z, Yu X B, Shi J B. Identifying new sites of significance to waterbirds conservation and their habitat modification in the Yellow and Bohai Seas in China. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 22: e01031.
- [34] Jackson M V, Fuller R A, Gan X J, Li J, Mao D H, Melville D S, Murray N J, Wang Z M, Choi C Y. Dual threat of tidal flat loss and invasive *Spartina alterniflora* endanger important shorebird habitat in coastal mainland China. *Journal of Environmental Management*, 2021, 278 (Pt 2): 111549.
- [35] Jackson M V, Choi C Y, Amano T, Estrella S M, Lei W P, Moores N, Mundkur T, Rogers D I, Fuller R A. Navigating coasts of concrete: pervasive use of artificial habitats by shorebirds in the Asia-Pacific. *Biological Conservation*, 2020, 247: 108591.
- [36] Wang X D, Chen Y, Melville D S, Choi C Y, Tan K, Liu J J, Li J, Zhang S D, Cao L, Ma Z J. Impacts of habitat loss on migratory shorebird populations and communities at stopover sites in the Yellow Sea. *Biological Conservation*, 2022, 269: 109547.
- [37] Choi C Y, Peng H B, He P, Ren X T, Zhang S, Jackson M V, Gan X J, Chen Y, Jia Y F, Christie M, Flaherty T, Leung K S K, Yu C X, Murray N J, Piersma T, Fuller R A, Ma Z J. Where to draw the line? Using movement data to inform protected area design and conserve mobile species. *Biological Conservation*, 2019, 234: 64-71.
- [38] Li X Y, Liang L, Gong P, Liu Y, Liang F F. Bird watching in China reveals bird distribution changes. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(6): 649-656.
- [39] Hu R C, Gu Y Y, Luo M, Lu Z, Wei M, Zhong J. Shifts in bird ranges and conservation priorities in China under climate change. *PLoS One*, 2020, 15(10): e0240225.