

DOI: 10.20103/j.stxb.202212083531

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.

Duan H L, Yu X B. Identifying conservation priority sites and gap for the waterbirds' habitat in the Yellow River Basin, China. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(20): 8663-8670.

黄河流域水鸟保护优先区及空缺

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:黄河流域为迁徙水鸟提供重要的繁殖地、越冬地和停歇地。然而, 黄河流域正面临着农业开垦、城市化、水资源分布不均等一系列的生态安全问题, 威胁迁徙水鸟种群及其栖息地稳定性。因此, 识别黄河流域重要的水鸟栖息地分布区域, 分析当前的保护现状对于开展水鸟及栖息地保护至关重要。以黄河流域为研究区, 搜集整合来自国内外观鸟网站(eBird、全球生物多样性信息库(GBIF)和中国观鸟记录中心(BirdReport))、文献和水鸟调查报告中的水鸟调查数据, 沿用三个国际上通用的水鸟重要栖息地识别标准, 确定了黄河流域水鸟保护优先区。在此基础上, 使用水鸟栖息地重要性指数确定水鸟保护优先区保护优先等级, 结合国家自然保护地名录, 分析水鸟保护优先区保护空缺状况。结果显示: 黄河流域共有 47 个水鸟保护优先区, 主要分布在黄河流域中游和下游, 其中河南省和山东省水鸟保护优先区较多。满足水鸟保护优先区识别标准的水鸟共 14 种, 其中, 极危物种有 2 个, 濒危物种有 1 个, 易危物种有 5 个。水鸟保护优先区保护优先等级处于 I、II 和 III 类的分别有 2 个、8 个和 37 个。有 20 个水鸟保护优先区处于保护空缺状态, 占总数的 42.55%, 主要集中在黄河中游和下游, 其中, 水鸟保护优先等级处于 I 类或 II 类的地块有 3 个, 建议将这些保护空缺地以自然保护区、保护小区或国家公园形式纳入湿地保护地体系, 并加强长期监测。

关键词:黄河流域; 栖息地退化; 水鸟保护优先区; 保护空缺地; 保护与管理

Identifying conservation priority sites and gap for the waterbirds' habitat in the Yellow River Basin, 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 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The Yellow River basin, which covers nine provinces and autonomous regions in China, is home to various types of wetlands. The wetlands in the Yellow River basin provide key breeding, wintering and stopover sites for migratory waterbirds along the East Asian-Australasian Flyway (EAAF). However, the Yellow River basin is also confronted with many ecological safety challenges, such as agricultural reclamation, urbanization and unequal distribution of water resources, which are posing a major threat to migratory waterbirds and their habitats. As a result, it is important to identify key habitats for waterbirds and assess their protection status. Compared with the Yangtze River basin and coastal wetlands, however, the Yellow River basin still lag behind in terms of survey and monitoring on waterbirds and their habitats, and no synchronized and systematic survey and monitoring activities have yet been conducted. For this reason, it is necessary to

基金项目:中国湿地保护和修复项目; 国家自然科学基金青年科学基金项目(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)开放基金项目(2020KFJJ02)

收稿日期:2022-12-08; **采用日期:**2023-07-21

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

collect the survey data from different parties and to assess key distribution areas of waterbirds and their habitats in the Yellow River basin. According to the three internationally recognized criteria for identifying key habitats for waterbirds, we define the priority areas for waterbird conservation in the Yellow River basin, on the basis of collecting and collating waterbird survey data from domestic and international bird-watching websites (i.e., eBird, GBIF, and BirdReport), relevant literature and waterbird survey reports. The habitat importance index of waterbird is employed to rank the site priority of waterbird protection priority areas, and to categorize them into three priority levels: Classes I, II, and III. We have analyzed and identified the priority areas that have not yet been included as the protected areas for waterbirds based on the national list of natural protected areas. Our findings suggest that 47 priority areas for waterbird conservation have been defined in the Yellow River basin, which are mainly distributed in the middle and lower reaches of the river basin, particularly Henan and Shandong provinces. Fourteen waterbird species can meet the criteria of priority areas for waterbird conservation, among which two species are listed as critically endangered, one as endangered and five as vulnerable. Two, eight and 37 sites are listed as priority level of Classes I, II and III for waterbird protection respectively. 20 priority areas have not yet been included as protected areas for waterbirds, accounting for 42.55% of the total priority areas. These priority areas are mainly found in the middle and lower reaches of the Yellow River basin. Among three unprotected sites are identified as priority areas of Classes I or II respectively. We suggest that these priority areas should be incorporated into the wetland protected area system including nature reserves, protected areas or national parks, and long-term monitoring needs to be strengthened.

Key Words: Yellow River basin; habitat degradation; conservation priority area of waterbirds; conservation gaps; conservation and management

黄河流域是西太平洋、东亚-澳大利西亚、中亚-印度候鸟迁徙路线上的重要栖息地,为数以百万计的水鸟提供不同生活史阶段的重要生境,对维持全球生物多样性具有关键作用^[1-2]。黄河流域水鸟种类繁多,其中国家 I 级和 II 级重点野生保护物种有青头潜鸭 (*Aythya baeri*)、中华秋沙鸭 (*Mergus squamatus*)、白鹤 (*Leucogeranus leucogeranus*)、东方白鹳 (*Ciconia boyciana*)、鸿雁 (*Anser cygnoid*)、大杓鹬 (*Numenius madagascariensis*)、大天鹅 (*Cygnus cygnus*)、小天鹅 (*Cygnus columbianus*) 等 35 种, IUCN 红色名录中确定的受胁物种有丹顶鹤 (*Grus japonensis*)、朱鹮 (*Nipponia nippon*) 等 19 种。

近年来,随着黄河流域城市建设^[3]、农业开垦与灌溉^[4]等经济社会发展导致黄河流域湿地面临着许多威胁。黄河流域水资源不足,农业灌溉用水、工矿和城镇居民用水等增加^[5],直接导致了湿地面积减少和功能退化^[6]。气候变化导致黄河流域整体趋于暖干化,68 年间流域年平均气温升高了 1.39℃,而区域平均年降水量却减少了 10 mm^[7]。1980—2015 年间,黄河流域湿地面积在不断减少,与 1980 年相比,2015 年自然湿地下降了 7402.2 km²。2016 年黄河流域湿地面积减少了 13%,流域湿地面积总体上呈下降趋势^[6]。

黄河流域湿地面积减少、功能退化,导致迁徙水鸟种群和栖息地面临严重威胁。例如,鄂陵湖-扎陵湖的水鸟种群数量锐减,黑颈鹤 (*Grus nigricollis*)、灰鹤 (*Grus grus*)、斑头雁 (*Anser indicus*) 等的繁殖地和停歇地退化严重^[8];受人类活动影响,导致若尔盖湿地水源涵养能力下降明显^[9];干旱少雨和人类活动加剧了遗鸥 (*Larus relictus*) 重要的繁殖地桃-阿海子水域面积减少,遗鸥被迫迁移了桃-阿海子繁殖点到其他地方^[10];黄河三角洲外来物种互花米草入侵面积持续增加,对鹤类、鹈鹕类等水鸟栖息地造成直接影响^[11-13]。因此,急需开展水鸟和栖息地保护与管理工作。

对水鸟记录数据进行信息提取,确定水鸟分布的关键区域,识别水鸟保护优先区和保护空缺区域,针对性开展保护与管理至关重要^[14-16]。例如,在我国东部沿海湿地^[17-18]、长江中下游湿地^[19]和西北五省区^[20]开展的水鸟保护优先区识别工作,为国家自然保护地体系改革提供了良好的决策支撑。然而,与长江流域和东部沿海湿地相比,黄河流域水鸟及栖息地系统性的调查监测起步较晚、基础薄弱。除了黄河三角洲湿地等

少数湿地类型保护区开展过长期同步调查外,黄河流域大多数地区水鸟调查在调查时间和调查地点上不同步,导致水鸟记录较为零散。因此,急需整合黄河流域各方水鸟调查资源,开展水鸟重要栖息地识别工作,确定亟待保护的优先区域和空缺区域。

本研究拟以黄河流域为研究区,通过搜集来自文献、国内外观鸟网站等多种来源的水鸟调查记录数据,通过热点分析法,确定黄河流域水鸟保护优先区域,确定保护空缺区域,针对性的提出水鸟栖息地保护与管理对策。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

黄河流域在地理位置上横跨青海省、四川省、甘肃省、宁夏回族自治区、内蒙古自治区、陕西省、山西省、河南省和山东省,东西长约 1900 km,南北宽约 1100 km (图 1)。黄河流域可划分为黄河上游(黄河由河源至内蒙古自治区托克托县河口镇的河段为上游河段)、黄河中游(自内蒙古自治区托克托县河口镇至河南省郑州市桃花峪的河段)和黄河下游(自河南省郑州市桃花峪至入海口)^[21]。

根据全国第二次湿地资源调查,黄河流域湿地总面积 929183.6 km²,主要包括河流、湖泊、沼泽、滨海和人工湿地,且不同的区域湿地类型不同^[22]。黄河流域拥有 16 个湿地类型的国家级自然保护区,12 个国际重要湿地。黄河流域是西太平洋、东亚-澳大利西亚和中亚-印度迁徙路线上候鸟的重要栖息地,拥有众多国家 I 级和 II 级重点野生保护物种青头潜鸭、中华秋沙鸭、白鹤、东方白鹤、鸿雁、大杓鹬、小天鹅等^[1]。

1.2 数据搜集整理与分析

1.2.1 水鸟调查记录获取

本研究主要通过以下来源获取黄河流域水鸟调查记录数据。(1) 美国 eBird 数据库(<https://ebird.org/home>) (2010—2021); (2) 全球生物多样性信息库 (GBIF; <https://www.gbif.org/>); (3) 中国观鸟记录中心 (BirdReport, <http://www.birdreport.cn/>) (2010—2021); (4) 涉及黄河流域水鸟调查的文献和调查报告数据:董荣等^[23]; 虎高勇和李俊臻^[24]; 罗磊等^[25]; 时良等^[26]; 汪青雄等^[27]; 姚敏等^[28]; 张营^[29]; 赵阿妮^[30]; 甘肃省秋季水鸟调查报告 (2016)^[31]; 中国湿地资源 (甘肃卷) (2022)^[32]。

1.2.2 水鸟调查记录整理

将通过上述来源获取到的黄河流域水鸟调查记录数据按照物种中文名称、英文名称、科学名称、调查点名称、调查点经度和纬度坐标、调查时间、种群数量、世界自然保护联盟 (IUCN) 红色名录受胁等级 (依据最新的 IUCN 红色名录 (IUCN^[33]; <https://www.iucnredlist.org/>)) 和数据来源。来自观鸟网站上的水鸟调查记录经纬度坐标可能存在空间偏差 (部分数据存在调查点经纬度坐标与调查地点名称不匹配)。通过谷歌地图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。

1.2.3 水鸟保护优先区和保护空缺分析

(1) 水鸟保护优先区识别

基于经过整理的黄河流域水鸟调查记录,采用以下三个国际通用的确定水鸟保护优先区的判定标准识别黄河流域水鸟保护优先区域^[17,34—35]。

标准 1: 调查点具有全球珍稀濒危水鸟,并具有一定数量:有单个或少数的极危 (CR)、濒危水鸟 (EN) 出现或易危水鸟 (Vulnerable VU) 的数量超过 30 只 (或 10 对);

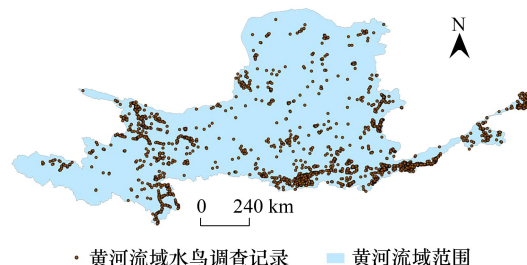


图 1 研究区位置

Fig.1 Study area

标准 2:调查点某一种对多种水鸟数量占估计种群数量的较大比例:单一水鸟数量超过全球或迁飞路线种群数量的 1%(使用单次调查中每种水鸟数量的最大值,水鸟全球种群数量采用 IUCN 红色名录中最新全球种群估计值^[33]);

标准 3:调查点维持一定的水鸟数量:为 20000 只或更多水鸟提供栖息地。

若所整理的黄河流域水鸟调查记录中某一个调查点满足上述三个标准其中的一个,则认为该调查点是水鸟保护优先区域。

(2) 水鸟保护优先等级划分

基于以上所确定的水鸟保护优先区,通过水鸟栖息地重要性指数划分水鸟保护优先区保护优先等级。

以单个水鸟保护优先区为单位,综合考虑水鸟保护优先区内的每个物种种群数量和 IUCN 红色名录受胁等级,计算水鸟栖息地重要性指数,值越大,重要性越高^[17]。

$$I = \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \times W_i \quad (1)$$

式中, I 为水鸟栖息地重要性指数,代表水鸟保护优先区的重要性值, n_i 和 N 分别代表第 i 个水鸟物种种群数量和该物种的全球种群数量。 W_i 是该物种的重要性权重,划定依据为极危赋值为 32,濒危赋值为 16,易危赋值为 8,近危赋值为 4,无危赋值为 2。

基于计算获得的水鸟栖息地重要性指数值,在 ArcGIS 10.5 软件中通过自然间断点法划分水鸟保护优先等级,分别为 I、II 和 III 类。

(3) 保护空缺分析

基于所确定的水鸟保护优先区和所划分的保护优先等级,结合我国现有的自然保护区、湿地公园、森林公园等保护地名录(保护地信息来自于国家林业与草原局湿地管理司),分析黄河流域水鸟保护优先区目前所存在的保护空缺。

2 结果

2.1 水鸟保护优先区和保护优先等级

共确定了黄河流域 47 个水鸟保护优先区,其中青海省有 5 个,四川省有 2 个,甘肃省有 2 个,内蒙古自治区有 3 个,陕西省有 12 个,山西省有 5 个,河南省有 11 个,山东省有 7 个(图 2)。保护优先等级处于 I 类和 II 类的水鸟保护优先区集中在黄河下游。保护优先等级处于 III 类的水鸟保护优先区集中在黄河中游。水鸟保护优先等级处于 I 类的调查点有 2 个,分别是山东省泰安市东平湖和陕西省榆林市红碱淖湿地国家级自然保护区。水鸟保护优先等级处于 II 类的调查点有 8 个,水鸟保护优先等级处于 III 类的调查点有 37 个(图 2)。

2.2 满足水鸟保护优先区识别标准的物种

所确定的黄河流域 47 个水鸟保护优先区中,满足水鸟保护优先区识别标准的水鸟物种共 14 种。其中国家一级保护物种有 6 种,占总数的 42.86%;国家二级保护物种有 3 种,占总数的 21.43%。根据中国生物多样性红色名录脊椎动物(第二卷),极危物种有 2 个,占总数的 14.29%;濒危物种有 3 个,占总数的 21.43%;易危物种有 2 个,占总数的 14.29%。IUCN 红色名录中极危物种有 2 个,占总数的 14.29%。濒危物种 1 个,占总数的 7.14%。易危物种有 5 个,占总数的 35.71%(表 1)。

2.3 水鸟保护优先区保护空缺分析

所确定的 47 个黄河流域水鸟保护优先区中,有 20 个处于保护空缺状态,占总数的 42.55%。这些保护空

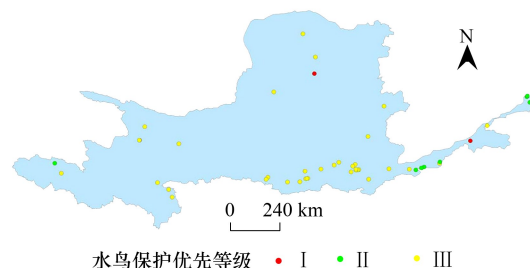


图 2 黄河流域水鸟保护优先区和保护优先等级

Fig. 2 The conservation priority level of conservation priority sites of waterbirds in Yellow River basin in China

缺地主要集中在黄河中游和下游(图3)。水鸟保护空缺地中水鸟保护优先等级处于Ⅰ类和Ⅱ类的地块有3个,占保护空缺地总数的15%。其中山东有2个,分别是山东省泰安市东平湖和山东省菏泽市长兴集乡黄河滩地,河南有1个,为河南省郑州市雁鸣湖(表2)。

表1 黄河流域满足水鸟保护优先区识别标准的水鸟物种
Table 1 The waterbirds that meeting the criterion of conservation priority area

编号 Codes	中文名称 Chinese names	英文名称 English names	拉丁名称 Scientific names	国家重点野生 动物保护级别 National key wildlife protection level	中国生物多样性 红色名录脊椎 动物(第二卷) China's Red List of Biodiversity: Vertebrates Volume II, Birds	IUCN 红色 名录等级 IUCN redlist
1	红头潜鸭	Common Pochard	<i>Aythya ferina</i>		无危	易危
2	大天鹅	Whooper Swan	<i>C. cygnus</i>	二级	近危	无危
3	豆雁	Bean Goose	<i>Anser fabalis</i>		无危	无危
4	白头鹤	Hooded Crane	<i>G. monacha</i>	一级	濒危	易危
5	青头潜鸭	Baer's Pochard	<i>A. baeri</i>	一级	极危	极危
6	棕头鸥	Brown-headed Gull	<i>Larus brunnicephalus</i>		无危	无危
7	遗鸥	Relict Gull	<i>L. relictus</i>	一级	濒危	易危
8	斑头雁	Bar-headed Goose	<i>Anser indicus</i>		无危	无危
9	白鹤	Siberian Crane	<i>L. leucogeranus</i>	一级	极危	极危
10	东方白鹳	Oriental Stork	<i>C. boyciana</i>	一级	濒危	濒危
11	黑嘴鸥	Saunders's Gull	<i>S. saundersi</i>	一级	易危	易危
12	鸿雁	Swan Goose	<i>A. cygnoid</i>	二级	易危	易危
13	白眼潜鸭	Ferruginous Pochard	<i>Aythya nyroca</i>		近危	近危
14	花脸鸭	Baikal Teal	<i>Sibirionetta formosa</i>	二级	近危	无危

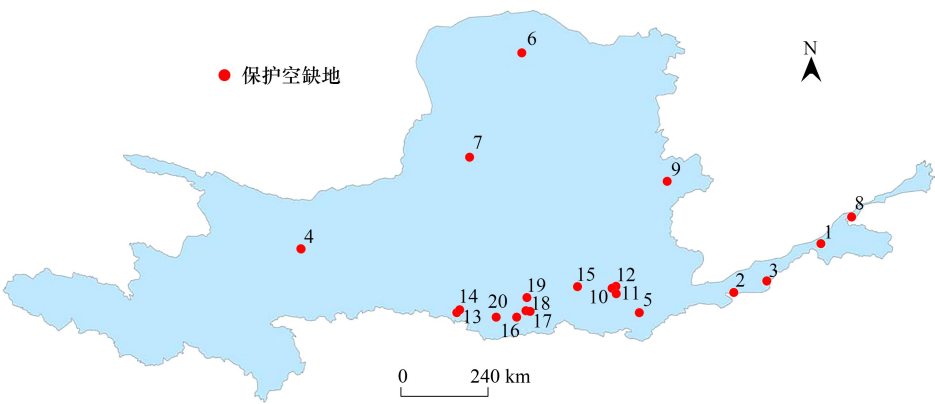


图3 黄河流域水鸟保护空缺地
Fig.3 Conservation gap areas of waterbirds in Yellow River basin in China

1:山东省泰安市东平湖;2:河南省郑州市雁鸣湖;3:甘肃省临夏回族自治州刘家峡;4:甘肃省临夏回族自治州刘家峡;5:河南省洛阳市洛河;6:内蒙古自治区巴彦淖尔市乌梁素海;7:内蒙古自治区鄂尔多斯市中水湖;8:山东省济南市鹊山龙湖湿地公园;9:山西省太原市汾河二坝;10:山西省运城市三湾;11:山西省运城市鸭子池;12:山西省运城市盐湖;13:陕西省宝鸡市王家崖水库;14:陕西省宝鸡市渭河宝鸡段

3 讨论

本研究通过搜集整合基于文献、国内外观鸟网站、水鸟调查报告中的水鸟调查记录,使用国际上通用的三

个水鸟重要栖息地识别标准,结合国家级自然保护区、湿地公园等保护地信息,评估了黄河流域水鸟保护优先区域和保护空缺区域。共确定了 47 个黄河流域水鸟保护优先区域。其中部分区域也是之前研究所确定水鸟重要栖息地,例如,陕西省黄河合阳至大荔段^[25]、内蒙古自治区巴彦淖尔市乌梁素海^[36]、陕西省咸阳市渭河咸阳段、陕西省宝鸡市渭河宝鸡段^[37]。

表 2 黄河流域水鸟保护空缺地名录

Table 2 The category of conservation gap sites of waterbirds that need to be protected

编号 Codes	保护空缺地 Conservation gap sites	所在省份 Provinces	保护优先等级 Conservation priority levels
1	山东省泰安市东平湖	山东	I
2	河南省郑州市雁鸣湖	河南	II
3	山东省菏泽市长兴集乡黄河滩地	山东	II
4	甘肃省临夏回族自治州刘家峡	甘肃	III
5	河南省洛阳市洛河	河南	III
6	内蒙古自治区巴彦淖尔市乌梁素海	内蒙古	III
7	内蒙古自治区鄂尔多斯市中水湖	内蒙古	III
8	山东省济南市鹊山龙湖湿地公园	山东	III
9	山西省太原市汾河二坝	山西	III
10	山西省运城市三湾	山西	III
11	山西省运城市鸭子池	山西	III
12	山西省运城市盐湖	山西	III
13	陕西省宝鸡市王家崖水库	陕西	III
14	陕西省宝鸡市渭河宝鸡段	陕西	III

I: I 类保护优先区;II: II 类保护优先区;III: III 类保护优先区

所确定的 47 个水鸟保护优先区中,有 40% 以上的地块尚存保护空缺,加强栖息地的监测、研究和保护行动迫在眉睫。已有研究表明,1985—2015 年,受农业开垦和城市建设影响黄河流域自然湿地在不断下降^[6],这对本研究所确定的水鸟保护空缺地带来了严重的威胁。2021 年 12 月 24 日,十三届全国人大常委会第三十二次会议审议通过了《中华人民共和国湿地保护法》(以下简称《湿地保护法》),并由第 102 号主席令颁布,自 2022 年 6 月 1 号起施行。2022 年 10 月 30 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第三十七次会议审议通过了《中华人民共和国黄河保护法》,自 2023 年 4 月 1 日起施行。这一系列黄河流域保护政策、法规的出台和实施,加大了黄河流域湿地保护力度。本研究所确定的尚未得到保护的水鸟保护优先区中,属于 I 类和 II 类的地块有 3 个。首先,借助国家湿地保护法和黄河保护法的实施,国家有关湿地保护修复工程的开展,以设立自然保护区、保护小区和国家湿地公园的形式将其纳入湿地保护地体系。其次,将保护优先区中的水鸟及栖息地列入常规监测,对水鸟及栖息地资源开展本底状况调查。最后,借鉴部分滨海湿地“政府+民间”模式,深圳福田保护区的政府购买非政府组织(NGO)模式的经验,积极促进政府、社区、NGO 社会团体在湿地保护中的责任权限,探讨湿地保护与生计的协调发展^[14]。

除栖息地层面的保护之外,同步开展物种层面的保护工作也至关重要。14 个水鸟物种种群数量达到水鸟保护优先区识别标准,其中有 8 个被列为极危、濒危和易危物种,包括极危物种白鹤和青头潜鸭,濒危物种东方白鹤和易危物种遗鸥等。这些水鸟物种也被之前的调查证实为黄河流域明星物种^[1,27]。针对珍稀濒危物种,首先开展珍稀濒危物种复壮工作,在充分了解种群与栖息地现状、致危因素前提下,将就地保护和异地保护相结合,扩大珍稀濒危物种种群数量。其次,开展珍稀濒危物种专项调查,摸清物种种群现状、分布特征,开展针对性的保护。最后,考虑设立鸟类救护站,将鸟类救护站设立于国家级自然保护区和城市公园内,或者由民间组织和志愿者自发成立了鸟类救护站,为珍稀濒危鸟类野外救助提供帮助。

本研究也具有一定的缺陷,首先所搜集的水鸟调查数据主要来源于国内外观鸟网站和水鸟调查报告,因

此本研究所获取的黄河流域水鸟调查数据不具备长期、系统性的特点,导致所确定的重要地块区域间分布不均^[38],后期还需要针对重要地点,搜集整合文献中的调查数据不断更新重要水鸟物种和栖息地名单。其次,数据预处理方面,尽管本研究已校对了观测地点的经纬度坐标,但处理过程可能有一定的误差,在后面研究中需要采用多个处理方法将数据偏差降到最低。此外,长江中下游和沿海湿地分别针对越冬期和停歇期开展了长期、系统的水鸟同步调查,这对掌握区域水鸟种群动态变化以及水鸟重要栖息地的时空演变至关重要。在未来,急需联合有关湿地主管部门、科研机构、高校、观鸟协会和观鸟爱好者等开展黄河流域水鸟同步调查工作,获取长期、系统的一手调查数据,及时了解流域水鸟及栖息地变化特征,为湿地保护法和黄河保护法提供决策支撑。

4 结论

黄河流域水鸟保护优先区共有 47 个,支撑着 14 个水鸟物种种群数量达到相关识别标准。黄河流域有 40% 以上的水鸟保护优先区目前还存在保护空缺,其中被划分为 I 类和 II 类保护优先等级的保护空缺地有 3 个,急需开展针对性的保护行动。建议针对 I 类和 II 类保护空缺地,纳入自然保护区、保护小区和国家公园湿地保护地体系,并开展长期监测。针对珍稀濒危物种,开展物种复壮、专项调查和鸟类救护站构建。

致谢:感谢中国观鸟记录中心 www.birdreport.cn、eBird、GBIF 及其所有用户提供的数据支持,感谢天津师范大学吕环鑫硕士生、中国科学院空天信息创新研究院李一辰硕士生、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。

参考文献 (References):

- [1] 孙工棋, 张明祥, 雷光春. 黄河流域湿地水鸟多样性保护对策. 生物多样性, 2020, 28(12): 1469-1482.
- [2] 段菲, 李晨. 黄河流域鸟类多样性现状、分布格局及保护空缺. 生物多样性, 2020, 28(12): 1459-1468.
- [3] 李贺颖, 张建辰, 郭建忠. 黄河流域湿地景观时空演变格局分析. 测绘通报, 2021(10): 28-33.
- [4] 梁晓文. 基于 GEE 的黄河流域湿地时空演变及驱动力分析[D]. 开封: 河南大学, 2021.
- [5] 刘旭辉, 张超, 赵钟楠, 史久杰. 黄河流域水资源压力变化及其驱动因素分析. 人民黄河, 2022, 44(2): 77-83.
- [6] 仇志强, 毛德华, 相恒星, 杜保佳, 王宗明. 5 个时期黄河流域湿地格局及其变化研究. 湿地科学, 2021, 19(4): 518-526.
- [7] 马柱国, 符淙斌, 周天军, 严中伟, 李明星, 郑子彦, 陈亮, 吕美霞. 黄河流域气候与水文变化的现状及思考. 中国科学院院刊, 2020, 35(1): 52-60.
- [8] 高红梅, 蔡振媛, 覃雯, 黄岩淦, 吴彤, 迟翔文, 张婧捷, 苗紫燕, 宋鹏飞, 连新明, 张同作. 三江源国家公园鸟类物种多样性研究. 生态学报, 2019, 39(22): 8254-8270.
- [9] 靖娟, 毕黎明. 气候变化和人类活动对若尔盖湿地水源涵养量的影响. 中国水利学会 2021 学术年会论文集第一分册. 北京, 2021: 398-403.
- [10] 程三友, 李曼琪, 李蕊, 李英杰. 鄂尔多斯遗鸥繁殖地变化及其原因浅析. 湿地科学与管理, 2022, 18(3): 26-29.
- [11] Mao D H, Liu M Y, Wang Z M, Li L, Man W D, Jia M M, Zhang Y Z. Rapid invasion of *Spartina alterniflora* in the coastal zone of mainland China: spatiotemporal patterns and human prevention. Sensors, 2019, 19(10): 2308.
- [12] Duan H L, Yu X B. Linking landscape characteristics to shorebird habitat quality changes in a key stopover site along the East Asian-Australasian Flyway migratory route. Ecological Indicators, 2022, 144: 109490.
- [13] 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: 111549.
- [14] 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.
- [15] Jung M, Arnell A, de Lamo X, García-Rangel S, Lewis M, Mark J, Merow C, Miles L, Ondo I, Pironon S, Ravilious C, Rivers M, Schepaschenko D, Tallwin O, van Soesbergen A, Govaerts R, Boyle B L, Enquist B J, Xiao F, Gallagher R, Maitner B, Shai M R, Mulligan M, Ofer G, Roll U, Hanson J O, Jetz W, Di Marco M, McGowan J, Rinnan D S, Sachs J D, Lesiv M, Adams V M, Andrew S C, Burger J R, Hannah L, Marquet P A, McCarthy J K, Morueta-Holme N, Newman E A, Park D S, Roehrdanz P R, Svenning J C, Violle C, Wieringa J J, Wynne G, Fritz S, Strassburg B B N, Obersteiner M, Kapos V, Burgess N, Schmidt-Traub G, Visconti P. Areas of global importance for

- conserving terrestrial biodiversity, carbon and water. *Nature Ecology & Evolution*, 2021, 5(11): 1499-1509.
- [16] Gonçalves D V, Hermoso V. Global goals overlook freshwater conservation. *Science*, 2022, 377(6604): 380.
- [17] 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.
- [18] Duan H L, Yu X B, Xia S X, Liu Y. Conserving unprotected important sites for shorebirds on China's coasts. *Ecosphere*, 2022, 13(2): e3950.
- [19] Xia S X, Yu X B, Lei J Y, Hearn R, Smith B, Lei G, Xie P. Priority sites and conservation gaps of wintering waterbirds in the Yangtze River floodplain. *Journal of Geographical Sciences*, 2020, 30(10): 1617-1632.
- [20] 李一辰, 王春晓. 中国西北地区水鸟保护优先区与空缺分析. *湿地科学与管理*, 2020, 16(3): 53-58.
- [21] 郭云, 梁晨, 李晓文. 基于系统保护规划的黄河流域湿地优先保护格局. *应用生态学报*, 2018, 29(9): 3024-3032.
- [22] 国家林业和草原局. 中国湿地资源简况-第二次全国湿地资源调查, 2014.
- [23] 董荣, 时良, 于晓平. 陕西省黄河中游湿地冬季鸭科鸟类群落结构. *四川动物*, 2009, 28(6): 893-898.
- [24] 虎高勇, 李俊臻. 甘肃尕斯库勒湖湿地及其生物多样性特征. *甘肃林业科技*, 2011, 36(3): 24-28.
- [25] 罗磊, 刘博野, 杨亚桥, 伊剑锋, 高学斌, 石海红. 黄河合阳至大荔段湿地越冬水鸟群落多样性初步研究. *湿地科学*, 2020, 18(4): 407-412.
- [26] 时良, 董荣, 于晓平. 陕西省黄河湿地冬季鸟类群落初步研究. *动物学杂志*, 2009, 44(3): 83-93.
- [27] 汪青雄, 肖红, 王中强, 胡彩娥, 蔡启文. 陕西红碱淖湿地鸥科鸟类组成及分布的研究. *四川动物*, 2011, 30(2): 239-242.
- [28] 姚敏, 胡林, 王琳, 张勇, 曾宪海. 甘肃尕斯库勒湖-则岔国家级自然保护区黑鹳栖息活动动态监测. *四川动物*, 2009, 28(2): 295-297.
- [29] 张营. 青海三江源6个保护分区春夏季鸟类多样性研究[D]. 西宁: 青海师范大学, 2015.
- [30] 赵阿妮. 黑河湿地保护与开发利用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005.
- [31] 甘肃省秋季水鸟调查报告. 甘肃省林业和草原局, 2016.
- [32] 中国湿地资源(甘肃卷). 国家林业和草原局, 2022.
- [33] IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-1. Available at: <https://www.iucnredlist.org> (Accessed 20 July 2022).
- [34] 段后浪, 于秀波, 石建斌, 雷进宇, 夏少霞. 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.
- [35] 于秀波, 石建斌, 雷进宇, 夏少霞. 中国沿海水鸟重要栖息地. 2022, 北京: 科学出版社.
- [36] 李淑红, 孟维悦, 陈丽霞, 李云锋, 高如意, 茹文东, 孙孟和, 戴强, 张国钢, 陆军. 黄河中上游春季迁徙期水鸟群落及大天鹅活动特征. *生态学杂志*, 2017, 36(7): 1910-1916.
- [37] 罗磊, 杨亚桥, 刘威, 刘博野, 伊剑锋, 高学斌, 石海红. 渭河咸阳至宝鸡段冬季水鸟群落多样性初步研究. *湿地科学与管理*, 2022, 18(1): 13-17.
- [38] Johnston A, Matechou E, Dennis E B. Outstanding challenges and future directions for biodiversity monitoring using citizen science data. *Methods in Ecology and Evolution*, 2023, 14(1): 103-116.