J. Lake Sci.(湖泊科学),2026,38(6):000-000
DOI 10.18307/2026.0631
©2026 by *Journal of Lake Sciences*

山东黄河三角洲国家级自然保护区湿地恢复区水鸟多样性及其与湿地景观格局关系*

陈威静[1,2,3]，傅宇[4]，滕佳昆[3**]，谢浙[5,6]，逯秀明[7]，于海玲[7]，车纯广[7]，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）
（3:中国矿业大学资源与地球科学学院，徐州 221116）
（4:国家林业和草原局华东调查规划院，杭州 310019）
（5:北京师范大学环境学院湿地环境保护与生态修复全国重点实验室，北京 100875）
（6:黄河口湿地生态系统教育部野外科学观测研究站，东营 257509）
（7:山东黄河三角洲国家级自然保护区管理委员会，东营 257091）

摘　要：水文和植被是淡水湿地景观结构的重要组分，黄河水沙变化、淡水输入减少影响了山东黄河三角洲国家级自然保护区（以下简称“自然保护区”）的水鸟多样性。为此，自然保护区已连续多年开展了淡水湿地生态补水工作，调节了水域、浅水分布面积，改善了植物群落组成，但生态补水后水鸟多样性及其与湿地景观格局之间的关系缺乏定量研究。本研究利用 2023 和 2024 年野外调查获取的水鸟数据、Sentinel - 2 卫星遥感数据及水位监测数据，旨在阐明湿地恢复区的水鸟组成和数量变化，揭示水鸟多样性与湿地景观要素面积的定量关系。结果显示：研究区共记录到水鸟 7 目 15 科 126 种，水鸟物种和个体数量呈明显的月际波动特征，3 月和 11 月是迁徙高峰期；迁徙季物种数量占比以鸭类和鸻鹬类为主，数量占比以鸭类和鹤鹳类为主。自然保护区湿地恢复区十万亩浅水（水深 0 - 30 cm）和水域面积最大，其中，浅水面积冬季最大（1888 m²），水域面积春秋季较高（2933 m²）。植被面积呈“夏季扩张、冬季收缩”趋势，2024 年较 2023 年增长 26 %。雁类和鸭类数量与水域面积占比和植被面积占比均呈单峰关系，雁类在水域和植被面积比接近 2 ：1 时数量最多（$n = 44$，$df = 40$，$p < 0.01$，$R^2 = 0.14$；$n = 44$，$df = 40$，$p < 0.01$，$R^2 = 0.28$）；鸭类在水域和植被面积比接近 1.5 ：1 时数量最多（$n = 118$，$df = 114$，$p < 0.01$，$R^2 = 0.02$；$n = 118$，$df = 114$，$p < 0.01$，$R^2 = 0.002$）。鸻鹬类数量与浅水区域面积占比呈显著正相关关系（$n = 24$，$df = 22$，$p < 0.05$，$R^2 = 0.29$）而与植被面积占比呈显著负相关关系（$n = 24$，$df = 22$，$p < 0.05$，$R^2 = 0.17$）。

关键词：黄河三角洲自然保护区湿地恢复区；水鸟多样性；动态变化；湿地景观格局

Study on the Waterbird Diversity in the Wetland Restoration Area of the Shandong Yellow River Delta National Nature Reserve and Its Relationship with the Wetland Landscape Pattern

Chen Weijing[1,2,3], Fu Yu[4], Teng Jiakun[3*], Xie Tian[5,6], Lu Xiuming[7], Yu Hailing[7], Che Chunguang[7], Duan Houlang[1,2**] & Yu Xiubo[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)

*202512-11 收稿;2026-03-18 收修改稿.
国家重点研发计划项目（2022YFF0802400）和国家自然科学基金（42101105）联合资助.
**通信作者;E-mail: tengjiakun@cumt.edu.cn; duanhl@igsnrr.ac.cn

(3: School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, P.R.China)

(4: East China Academy of Inventory and Planning of NFGA, Hangzhou, 310019)

(5: National Key Laboratory of Wetland Environmental Protection and Ecological Restoration, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, P.R.China)

(6: Ministry of Education Field Scientific Observation and Research Station of Yellow River Estuary Wetland Ecosystem, Dongying 257091, P.R.China)

(7: The Management Committee of Shandong Yellow River Delta National Nature Reserve, Dongying 257091, P.R.China)

Abstract: Hydrology and vegetation are key components of freshwater wetland landscapes. Changes in water and sediment regimes of the Yellow River and reduced freshwater input have affected waterbird diversity in the Shandong Yellow River Delta National Nature Reserve (hereinafter referred to as the "Nature Reserve"). To address this issue, the Nature Reserve has carried out freshwater wetland ecological water supplementation projects for several consecutive years. These projects have adjusted the extent of open water and shallow water and optimized the composition of plant communities. However, few quantitative studies have examined waterbird diversity and its relationship with wetland landscape patterns following such ecological restoration measures. This study used field survey data of waterbirds, Sentinel-2 satellite remote sensing data, and water level monitoring data collected in 2023 and 2024. We analyzed the composition and numerical changes of waterbird communities in the wetland restoration area and quantified the relationships between waterbird diversity and the area of key wetland landscape elements. The results show that 126 waterbird species from 15 families and 7 orders were recorded in the study area. Both species richness and individual abundance of waterbirds showed significant monthly fluctuations, with peak values occurring in the migratory months of March and November. During migratory seasons, ducks and shorebirds dominated the species composition, while ducks, cranes, and storks accounted for most of the individual abundance. In the 10,000-mu wetland restoration area, shallow water (water depth 0–30 cm) and open water occupied the largest areas. The shallow water area reached its maximum in winter (1888 m²), and the open water area was relatively larger in spring and autumn (2933 m²). Vegetation area showed a seasonal pattern of summer expansion and winter contraction, with a 26% increase in 2024 relative to 2023. The abundance of geese and ducks showed unimodal relationships with the proportions of open water area and vegetation area. Goose abundance peaked when the water-to-vegetation area ratio was approximately 2:1 ($n = 44$, df = 40, $p < 0.01$, $R^2 = 0.14$; $n = 44$, df = 40, $p < 0.01$, $R^2 = 0.28$). Duck abundance peaked at a ratio of approximately 1.5:1 ($n = 118$, df = 114, $p < 0.01$, $R^2 = 0.02$; $n = 118$, df = 114, $p < 0.01$, $R^2 = 0.002$). Shorebird abundance had a significant positive correlation with the proportion of shallow water area ($n = 24$, df = 22, $p < 0.05$, $R^2 = 0.29$) and a significant negative correlation with the proportion of vegetation area ($n = 24$, df = 22, $p < 0.05$, $R^2 = 0.17$).

Keywords: Wetland Restoration Area in Yellow River Delta Nature Reserve; Waterbird Diversity; Dynamic Changes; Wetland Landscape Pattern

山东黄河三角洲国家级自然保护区（以下简称“自然保护区”）是东亚-澳大利西亚和西太平洋候鸟迁徙的重要停歇地，繁殖地和越冬地[1-2]。自然保护区在生物多样性维持、调节气候、净化水质、蓄水调洪等方面具有不可替代的作用[3-4]。区域分布的湿地类型多样，包括沿海潮间带滩涂湿地、盐沼湿地和内陆淡水湿地。其中，淡水湿地面积较大，是水鸟重要的食源地和休憩区，是维持自然保护区水鸟多样性的核心区域[5-6]。

自然保护区内陆淡水湿地大部分位于核心管控区域，人类活动少，景观构造以水域和植被为主，也是水鸟频繁活动的区域。由于黄河水沙变化、径流减少、黄河漫滩过程消失阻断了黄河与周边湿地的侧向水文连通，淡水输入减少、植被逆向演替[7-8]，自然保护区淡水面积减少、芦苇等植被群落萎缩[9-10]，影响了水鸟分布。为此，自然保护区在黄河口北岸、三万亩、大汶流、东八路、五万亩和十万亩等引黄河水补充淡水，调节淡水湿地浅水、水域和植被覆盖面积[11-12]，满足不同类别水鸟生境需求。在此背景下，评估湿地恢复措施的成效显得尤为重要，定量揭示水域、植被与水鸟的关系能为保护区开展科学补水提供指导。

现有研究多聚焦于自然保护区沿海湿地的水鸟群落特征研究，或仅针对单一季节、特定物种展开调查

与分析，例如东方白鹳、黑嘴鸥繁殖调查研究[13-15]。缺乏对内陆湿地恢复区水鸟群落的系统监测与分析，对于湿地恢复区水鸟多样性及其与水域、植被等湿地景观要素之间的关系仍不明确，这一定程度上制约了科学补水策略的优化与成效评估。因此，本研究以黄河三角洲自然保护区湿地恢复区为研究区，全面分析水鸟多样性及其与湿地景观格局的关系，为下一步科学补水提供理论支撑。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

山东黄河三角洲国家级自然保护区（以下简称“自然保护区”）位于山东省东北部的渤海之滨，是黄河携带大量泥沙在入海口处淤积形成的冲积平原，也是中国暖温带最完整、最广阔、最年轻的湿地生态系统。特殊的地理位置和丰富的生态资源，使其成为鸟类迁徙重要的繁殖、停歇和越冬地之一。湿地恢复区是自然保护区的重要组成部分，属于内陆沼泽湿地，在区域上主要划分为黄河口北岸、三万亩、大汶流、东八路、五万亩、十万亩六个分区，也是本研究开展鸟类调查的重点区域（图 1）。

图 1 黄河三角洲自然保护区湿地恢复区和水鸟调查点位

Fig.1 Wetland restoration area in Yellow River Delta Nature Reserve and survey sites of waterbirds

1.2 数据收集及预处理

1.2.1 水鸟调查

为获取水鸟群落的基础数据，联合自然保护区管理委员会开展了水鸟调查。调查时间为水鸟春秋迁徙季（3 - 5 月、9 - 11 月），监测频率为每月 3 次，其他月份每月 1 次。调查区域包含沿黄河口北岸、三万亩、大汶流、东八路、五万亩、十万亩六个分区的补水线路。调查方法采用直接计数法，借助双筒望远镜和单筒望远镜鉴别和统计水鸟的种类和数量，利用数码相机、两步路软件拍摄影像资料、记录调查点的位置和路线轨迹。将调查获取的水鸟数据按照物种名称、调查时间、调查地点、个体数量进行预处理，得到标准统一的水鸟调查表（附表 1）。

根据具体地形、地貌和水鸟集群情况，确定每个监测地点的调查范围，并将每个监测地点的调查范围划分为若干观测分区，确定各观测分区的范围和面积。观测分区应覆盖监测地点的所有水鸟集群地。利用望远镜进行观测，将发现的所有水鸟的种类和数量进行统计和记录（对于正在上空飞行的水鸟不计数）。

对于数量稀少的物种，采用简单的直接计数法；对于数量较多、分布范围较大的物种，采用集团计数的方法（即以 5、10、20、50、100 等为基数估计群体的数量），采用计数器进行统计。逐一记录各个分区的经纬度以及鸟类的名称、数量等信息（附表 2），其中 1 %标准按照超过全球或迁飞路线种群数量的百分比来估算，在采用《世界水鸟种群估计（第 5 版）》[17]的基础上通过《CSR 1》[18]公布的数值进行更新。

1.2.2 遥感监测

为获取研究区域及周围的基础地理数据，在 Google Earth Engine（GEE）平台上获取 2023 - 2024 年逐月的黄河口北岸、三万亩、大汶流、东八路、五万亩、十万亩区域 Sentinel - 2 卫星影像数据（影像波段为 Band 2、3、4、8）。卫星的重访周期为 5 天，影像空间分辨率为 10 m。为确保影像质量，使用 QA 60 波段来创建掩码去除云和卷云，进一步应用了.filter()方法剔除云覆盖率高于 20 %的影像。对筛选出的影像，应用 rmS2Cloud 函数，提高影像的可利用性和分析准确性。最后，采用 water_extract 函数提取影像中的水体信息。

1.2.3 水位数据

为获取研究区内的水位数据，收集了 2023 - 2024 年湿地恢复区内的水位监测数据。湿地恢复内水位监测站点包括基础站点 20 个和补充水位监测站 14 个（图 1）。于水位监测站布设水位计，型号为 90 X 系列 26 G 雷达水位计，该水位计可准确识别发射脉冲与接收脉冲的时间间隔（纳秒量级），计算出天线到被测介质表面的距离。水位计采集频率为 1 小时一次，可实时回传至数据处理中心。对获取的水位数据进行预处理，包括剔除异常值（明显超出合理范围的数据）、填补缺失值（采用相邻站点插值法）、数据标准化（统一时间格式和单位）以确保数据的完整性和一致性。

2 研究方法

2.1 水鸟数量时空特征分析

基于预处理后的水鸟数据，依据《中国鸟类分类与分布名录（第四版）》、IUCN 红色名录（IUCN, 2025）、《国家重点保护野生动物名录》（2021 版）和已发表的文献[19-22]进一步补充目、科、属、种，拉丁文名、英文名，IUCN 受红色名录等级、国家野生动物保护等级、水鸟分类等信息。其中水鸟分类综合考虑水鸟生物学分类关系[19]、取食集团[22]和栖息地生境[23-24]等划分为鸻鹬类、鸥类、鹤鹳类、雁类、鸭类、天鹅类、鹭类、鹈鹕类、鸬鹚类和鹳鹮类。逐月统计水鸟个体数量，涉及多次调查的数据按单物种的月最高个体数量计入统计，分析水鸟数量在时间上的月度变化特征。根据季节按黄河口北岸、三万亩、大汶流、东八路、五万亩、十万亩六个分区统计各类别水鸟数量，利用 ArcMap 10.2 软件绘制不同类别水鸟在各分区的数量。

2.2 湿地景观要素面积变化分析

逐月分析栖息地的水域和植被面积及结构变化。①结合 2023 - 2024 年逐月的水位计监测点的水位数据和 Sentinel - 2 影像所提取的水体信息和 DEM 数据，利用 ArcMap 10.2 软件生成研究区范围的克里金插值表面；②利用栅格计算器计算补水区域相对于原始地面的水位变化，生成新的栅格数据；③使用栅格重分类工具将逐月水体表面划分成水深 0 - 30 cm 的浅水区[25]（对应涉禽如鸻鹬类水鸟栖息地需求）和水域，得到 2023 - 2024 年逐月浅水和水域面积；④在 GEE 平台上基于 Sentinel - 2 影像计算 NDVI，并利用循环分割法[26]提取植被区域，在 ArcMap 10.2 软件中计算 2023 - 2024 年水体中逐月的植被面积。部分月份如 2023 年 2 月的水域面积和 2024 年 7 月的植被面积由于影像质量低等原因，本研究中不做分析。

2.3 湿地景观要素对水鸟的影响

影响水鸟分布的因素较多，但自然保护区湿地恢复区具有其独特的区域特征，地形上以水域和植被嵌套分布为主，且地理位置处于保护区核心区域，人为干扰等因素可基本忽略不计，因此本研究重点分析水域、浅水和植被与水鸟的定量关系。为量化栖息地特征对关键水鸟类群的影响，我们选取涉禽鸻鹬类和游禽雁鸭类作为代表，开展水鸟数量与浅水、水域和植被分布的关联关系分析。

以春秋迁徙季节（3 - 5 月、9 - 11 月）上、中、下旬水鸟调查样点的经纬度坐标为准，结合实际野外调查观察到水鸟距离调查点岸边基本不超过 300 m 的范畴，使用 ArcMap 10.2 软件将调查样点垂直岸边向水域移动 300 m 距离作为水鸟活动点位，以水鸟活动点位为圆心，300 m 为半径设定缓冲区近似代表水鸟栖

息范围，以此为掩膜区提取对应区域的植被和水位数据。将缓冲区内的浅水、水域和植被面积占缓冲区面积的比例作为自变量，水鸟数量作为因变量（其中，鸻鹬类水鸟对应浅水区，雁鸭类水鸟对应水域），利用 SPSS 22.0 软件进行 Spearman 相关性分析，在 Origin 软件中拟合二者关系曲线。

3 研究结果

3.1 水鸟数量时空特征

3.1.1 水鸟群落组成概况

2023 年 1 月至 2024 年 12 月，自然保护区湿地恢复区共记录到水鸟 7 目 15 科 126 种（附表 2），包括雁形目、鸻形目、鹤形目、鹈形目、鲣鸟目、鹳形目和鹞鹛目。按分类看，鸻鹬类水鸟物种数量最多，共 47 种，主要为鸻形目鸻科和鹬科物种；其次为鸭类水鸟，包括大多数雁形目鸭科（海番鸭属、麻鸭属、潜鸭属、秋沙鸭属、鸭属、花脸鸭属、琵嘴鸭属、鹊鸭属、鸳鸯属）物种，共 24 种（图 2）。

此外，鸥类水鸟 15 种，均为鸻形目鸥科物种；鹭类水鸟 12 种，主要为鹈形目鹭科和琵鹭属物种；鹤鹳类水鸟 10 种，主要为鹤形目和鹳形目物种；雁类水鸟 6 种，均为雁形目鸭科雁属物种；天鹅类水鸟 4 种，均为雁形目鸭科天鹅属物种；鹞鹛类水鸟 4 种，均为鹞鹛目物种；鹈鹕类水鸟 2 种，均为鹈形目鹈鹕科物种；鸿鹇类水鸟仅 1 种，为普通鸿鹇（图 2）。所有物种中，包括极危（CR）2 种、濒危（EN）7 种、易危（VU）14 种，国家保护一级保护物种 13 种、国家二级保护物种 22 种。有 36 个物种在单次调查中水鸟数量达到或超过其全球种群数量的 1 %。

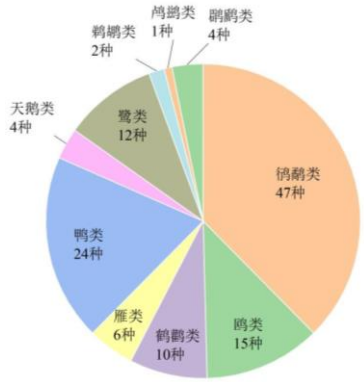


图 2 黄河三角洲自然保护区湿地恢复区水鸟类群概况

Fig.2 Overview of Waterbird species in the Wetland Restoration Area of the Yellow River Delta Nature Reserve

3.1.2 水鸟种群的时间变化特征　2023 - 2024 年，逐月水鸟物种数量变化有一定的季节性波动（图 3 a）。水鸟物种数量在春秋两季（3 - 5 月、9 - 11 月）较多，分别在 2023 年和 2024 年的 3 月、2023 年 10 月和 2024 年 11 月达到峰值。春秋迁徙季鸭类和鸻鹬类水鸟占比增加，其中春季迁徙期鸻鹬类水鸟物种数量增幅明显；秋季迁徙期鸭类水鸟物种数量增幅明显；相比 2023 年，2024 年的鸻鹬类和天鹅类水鸟物种数量有所增加，其他类别水鸟物种数量均略有减少。

与物种数量变化特征相似，水鸟数量呈现出了更加明显的季节性波动（图 3 b）。水鸟数量分别在春秋迁徙季 3 月和 11 月达到峰值。2023 年和 2024 年 3 月水鸟总数量分别达 6.6 万只和 3.9 万只，11 月分别达 27.2 万只和 23.9 万只。其中春季和夏季鹤鹳类水鸟占比最高，介于 29 % - 45 %；秋季和冬季鸭类水鸟占比最高，介于 65 % - 74%。

3.1.3 水鸟数量的空间分布特征　2023 - 2024 年，水鸟数量在自然保护区湿地恢复区空间分布上存在显著差异（图 4）。对比同一季节不同分区的各类水鸟数量可以发现，在黄河口北岸分区数量较大的有雁类和鹭类，在三万亩分区数量较大的主要为鹤鹳类，在大汶流和东八路分区数量较大的有雁类、鸭类、鸻鹬类和鹤鹳类，在五万亩和十万亩分区则多见雁类、鸭类、鸥类、鸻鹬类和鹤鹳类。

春季，黄河口北岸分区的雁类、大汶流分区的鸻鹬类和鸥类、其余分区的鸭类和鹤鹳类数量较多（图 4 a1、a2）；夏季，各分区鸥类和鹭类数量普遍增加（图 4 b1、b2）；秋季，黄河口北岸、三万亩和大汶流

分区鹤鹳类数量较多，鸻鹬类数量显著增加，其余分区雁类和鸭类数量较多（图 4 c1、c2）；冬季，五万亩分区天鹅类水鸟数量略有增加，其余分区鸭类数量较多（图 4 d1）。

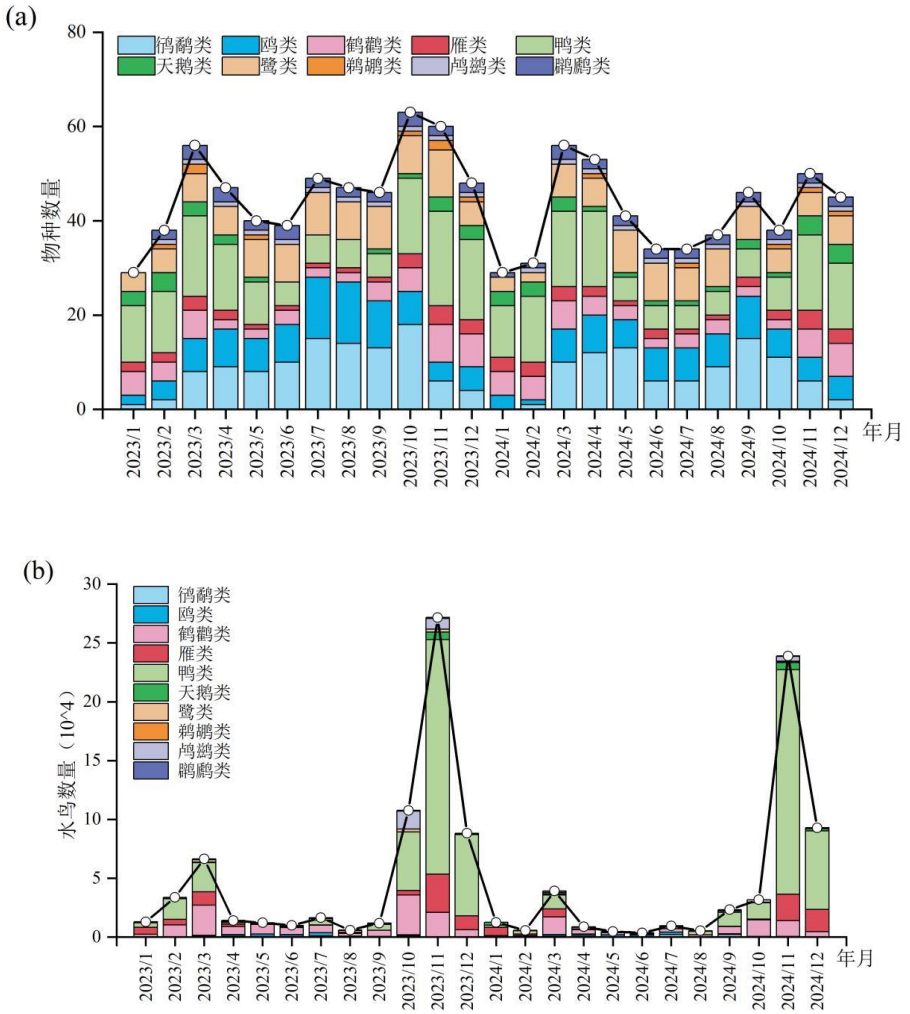


图 3 2023-2024 年各类别水鸟物种（a）及数量（b）变化

Fig.3 The changes in species (a) and numbers (b) of waterbird in each category between 2023 and 2024

对比 2023 年，2024 年春秋两季不同区域水鸟数量的年际变化也较为明显。春季，黄河口北岸雁类数量下降，鹤鹳类数量上升；三万亩鹤鹳类数量明显下降；大汶流雁类和鸭类数量上升；东八路和十万亩雁类、鸭类和鹤鹳类数量略有变化；五万亩鸻鹬类数量增加，鹤鹳类和鸭类数量大幅减少。秋季，黄河口北岸鹤鹳类和鸭类数量下降；三万亩多类群水鸟数量下降明显；大汶流水鸟总数量维持较低水平，鸻鹬类数量略微上升；东八路和十万亩优势水鸟的数量无显著变化；五万亩鹤鹳类和鸭类数量大幅减少。

3.2 湿地景观要素面积变化特征

3.2.1 浅水区和水域面积变化特征

2023 - 2024 年，自然保护区湿地恢复区各区域浅水（0 - 30 cm）面积呈现显著的季节变化。时间上，冬季（12 - 2 月）浅水区面积普遍高于春、夏、秋三季，其中 2024 年冬季各区域浅水区面积整体较 2023 年同期有所增长。空间上，十万亩浅水区面积最大（附图 1 f），峰值出现在 2024 年 1 月（1888 m²），五万亩次之（附图 1 e）；黄河口北岸、三万亩、大汶流、东八路浅水面积相对较小（附图 1 a、b、c、d），多在 1000 m²以下。

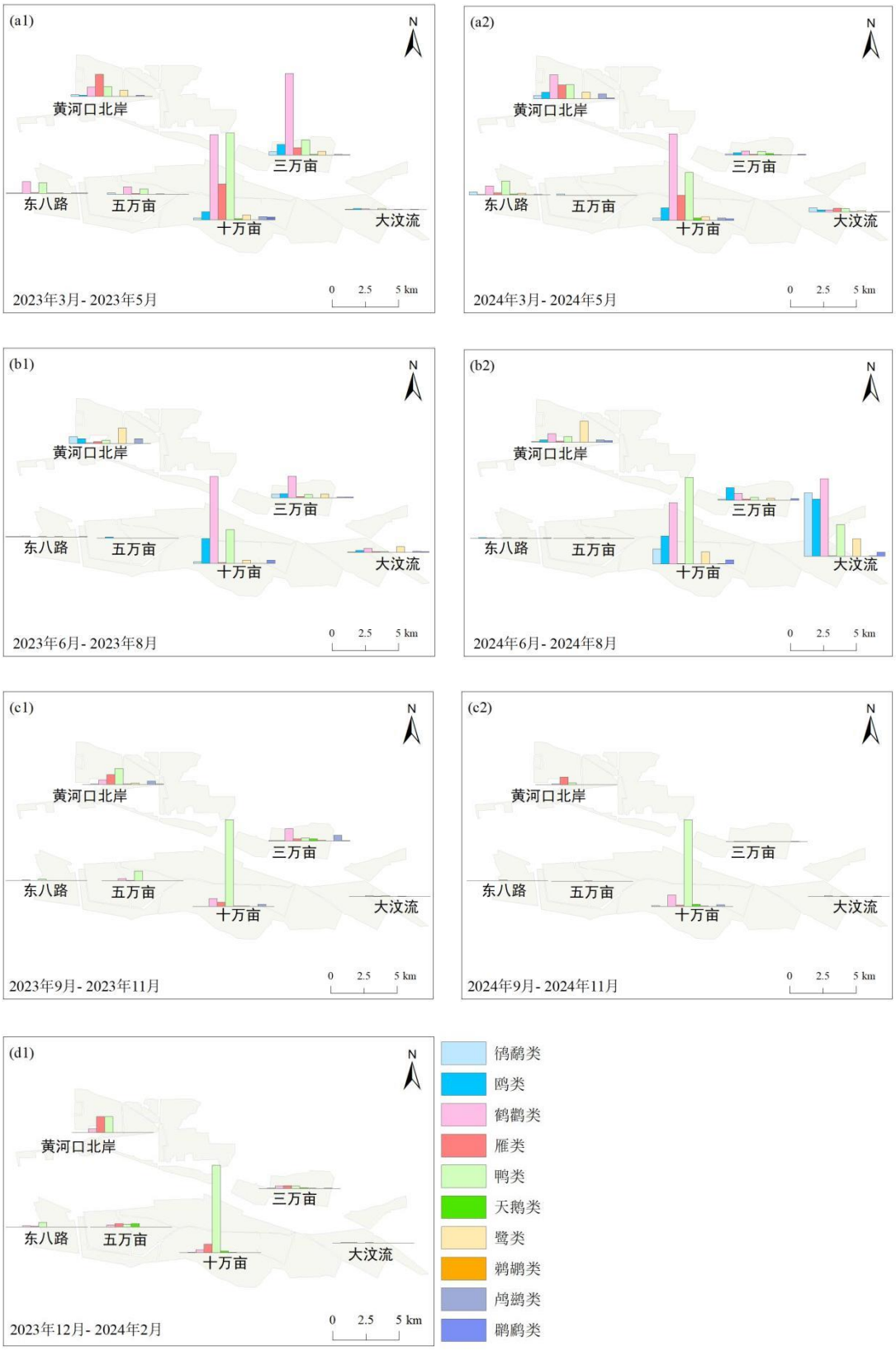


图 4 2023 - 2024 年不同类别水鸟各季节的数量 （a1：2023 年春季；a2：2024 年春季；b1：2023 年夏季；b2：2024 年夏季；c1：2023 年秋季；c2：2024 年秋季；d1：2023 年冬季）

Fig.4 The waterbird count of different categories in each season between 2023 and 2024

(a1: Spring 2023; a2: Spring 2024; b1: Summer 2023; b2: Summer 2024; c1: Autumn 2023; c2: Autumn 2024; d1: Winter 2023)

水域面积变化与浅水区面积变化相似。时间上，春、秋两季水域面积明显较高，其中 2023 年冬季和 2024 年春、夏两季各区域水域面积整体较 2023 年同期平均下降 19 %，2024 年秋季有所回升，各区域水域面积整体较 2023 年同期上升 2 %。空间上，十万亩为水域分布核心区，月平均水域面积达到 2933 m²（附图 1 f），五万亩和黄河口北岸次之，月平均水域面积分别为 921 m²和 890 m²（附图 1 e、a）；三万亩、大汶流、东八路水域面积相对较小，均在 1000 m²以下（附图 1 b、c、d）。浅水区和水域面积变化中，所有分区的 2 月缺失点是因为影像数据质量低而未参与分析。

3.2.2 植被面积变化特征

植被面积变化整体呈现为“夏季扩张、冬季收缩”趋势（附图 2）。总体来看，自然保护区湿地恢复区区域植被面积在春夏之交和夏秋之交时先减少后增加。三万亩、大汶流和东八路植被面积变化平缓，植被覆盖较为稳定（附图 2 b、c、d）；黄河口北岸、五万亩和十万亩植被面积季节性波动较大，植被覆盖变化明显（附图 2 a、e、f）。2024 年四季各区域植被面积整体较 2023 年同期平均增长 26 %。植被面积变化中，所有分区的 7 月缺失点是因为影像数据质量低而未能计算得到该期 NDVI，三万亩、大汶流和东八路的其余缺失点则是分区内地形复杂以及 NDVI 本身的模型局限性计算得到了异常值而去除。

3.3 湿地景观要素面积对水鸟数量的影响

雁类数量与水域面积占比和植被面积占比均呈单峰曲线关系（$n = 44$，$df = 40$，$p < 0.01$，$R^2 = 0.14$；$n = 44$，$df = 40$，$p < 0.01$，$R^2 = 0.28$），整体呈现出先增加后减少的趋势，在水域面积占比达 0.66 时数量最多（图 5 a1），在植被面积占比达 0.35 时数量最多（图 5 a2）。相似的，鸭类数量与水域面积占比和植被面积占比同样呈单峰曲线关系（$n = 118$，$df = 114$，$p < 0.01$，$R^2 = 0.02$；$n = 118$，$df = 114$，$p < 0.01$，$R^2 = 0.002$），整体呈现出先增加后减少的趋势，在水域面积占比达 0.62 时数量最多（图 5 b1），在植被面积占比达 0.47 时数量最多（图 5 b2）。鸻鹬类数量与浅水区面积占比呈显著正相关关系（$n = 24$，$df = 22$，$p < 0.05$，$R^2 = 0.29$）而与植被面积占比呈显著负相关关系（$n = 24$，$df = 22$，$p < 0.05$，$R^2 = 0.17$）（图 5 c1、c2）。

4 讨论

山东黄河三角洲国家级自然保护区湿地恢复区内共记录到水鸟 7 目 15 科 126 种，水鸟数量呈现明显的月际波动，水鸟对不同分区呈现出一定的生境偏好差异，这一差异与分区内的景观格局密切相关。随着湿地景观格局的年际变化，同一分区的水鸟多样性亦产生明显变化。例如，2024 年夏季，十万亩和大汶流湿地恢复区由于浅水区面积占比相较 2023 年变化幅度较小，水域景观格局更加稳定，鸻鹬类、鸭类和鹭类水鸟数量增加明显；2024 年春季三万亩和五万亩湿地恢复区浅水区和水域面积相较 2023 年下降幅度增大且浅水区面积占比逐月增加明显，雁鸭类水鸟数量显著减少。

雁鸭类数量与水域和植被面积占比均呈单峰曲线关系。开阔的水域为其提供栖息场所[32]，周边植被则提供隐蔽处和食物资源[33]。这与在西溪湿地修复中，营造包含深水、浅滩和植被带的复合生境，吸引了多种游禽的实践结果一致[34]。单峰关系也反映了雁鸭类水鸟对水域和植被面积有适宜域值范围，例如在普拉亚湿地，当植被和水域面积比例接近 1 : 1 时，水鸟密度和物种丰富度最高[35]。鸻鹬类数量与浅水区和植被面积分别呈正相关和负相关关系。这一发现与既有研究结论高度一致，鸻鹬类偏好于浅水且周边无植被遮挡的区域，是由于鸻鹬类习惯在浅滩中取食和休憩，植被过密会限制栖息地的可获得性[36-37]。

基于雁鸭类和鸻鹬类等关键类群的生境需求，建议春季迁徙期（3 - 5 月）在三万亩和五万亩湿地恢复区优先保障浅水区面积，调控水域和植被的面积比例在 1.5 ：1 到 2 ：1 之间；繁殖期（6 - 8 月）在十万亩和大汶流湿地恢复区需注重维持水域稳定，营造植被和水域镶嵌生境；秋季迁徙期（9 - 11 月）和越冬期（12 - 2 月）扩大开阔水域面积，适度降低植被覆盖度，维持黄河三角洲自然保护区湿地恢复区水鸟多样性的稳定性。黄河三角洲特殊的地理位置以及兼具淡水与滨海湿地的复合生境使得其湿地恢复区的补水调控与生境优化[38]，在成为承载更多类群、大规模水鸟的核心区域的同时完成对全球候鸟迁徙网络的修复与强化。此外，黄河三角洲区域水鸟群落动态还与迁徙路线上其他关键节点栖息地状态密切相关，建议也应在周边关键迁徙节点开展相适应的栖息地管理工作，以最大限度的保障迁徙水鸟种群安全。

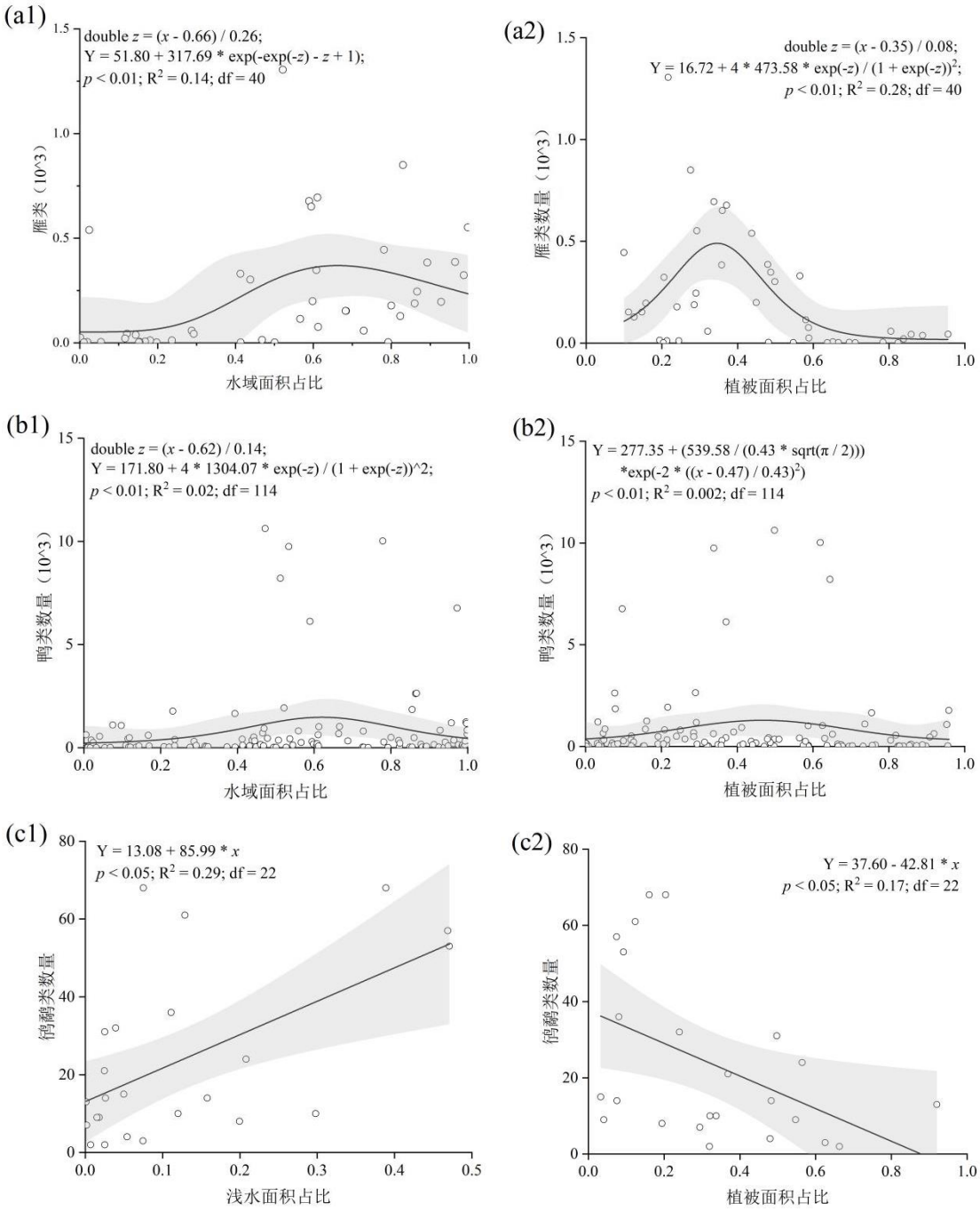


图 5 湿地景观要素对雁、鸭、鸻鹬类水鸟的影响

（a：雁类水鸟；b：鸭类水鸟；c：鸻鹬类水鸟）

Fig.5 The influence of wetland landscape features on geese, ducks and shorebirds

(a: Geese; b: Ducks; c: Shorebirds)

虽然本研究尝试探索了自然保护区湿地恢复区水域和植被两大影响水鸟分布的关键因素，但是影响水鸟多样性的要素多样，例如食物资源、天敌、气候以及周边农田景观配置等，本研究中尚未考虑且环境要素之间关系复杂相互关联，共同影响鸟类多样性。此外，本研究在分析水鸟多样性与植被和水域之间的关系时，是对调查点做了缓冲区分析后的结果，难免会存在主观误差。因此，未来研究需要将卫星跟踪技术、视频监控和地面调查相结合，全面、精准的揭示湿地恢复区水鸟多样性与多环境要素之间的关联关系。

5 结论

本研究证实，山东黄河三角洲国家级自然保护区（以下简称“自然保护区”）湿地恢复区水鸟物种丰富，种群数量庞大。水鸟群落结构呈显著的月际波动特征，春秋迁徙高峰期物种数与个体数量占绝对优势。不同类群水鸟存在明显的季节分化，从物种数看，春季迁徙期鸻鹬类占比明显，秋季迁徙期雁鸭类占比明显；从个体数看，春季鹤鹳类占比最高，秋季鸭类占比最高。十万亩为水鸟核心分布区，不同分区水鸟栖息地偏好差异显著。湿地恢复区浅水面积冬季最大、水域面积春秋季较高、植被面积呈“夏季扩张、冬季收缩”的趋势。雁鸭类数量与水域和植被面积均呈单峰曲线关系，呈现先上升后下降的趋势，雁类在水域和植被面积比接近 2 ：1 时数量最大，鸭类在水域和植被面积比接近 1.5 ：1 时数量最大。鸻鹬类数量与浅水区面积呈显著正相关且与植被面积呈显著负相关，在浅水区和植被面积比尽量大时数量最大。综上，建议湿地恢复区优先保障迁徙期浅水区和开阔水域面积，同时控制植被过度扩张，使五万亩和十万亩等核心区水域和植被面积控制在 1.5 ：1 到 2 ：1 之间，黄河口北岸、三万亩和大汶流等滨海区域适当增加浅水区、减少植被覆盖以维持水鸟多样性。

6 附件

附图、附表见电子版（DOI: 10.18307/2026.0631）.

7 参考文献

[1]Wu LX, Zhao XH, Wang ZK et al. Seasonal variation and Habitat Preference of Bird Communities in the Wetland Restoration Area of the Yellow River Delta. *Science and Technology of Forestry*,2021,46(03):50-55.DOI: 10.19750/j.cnki.1001-9499.2021.03.015.[吴立新,赵先华,王志锴等. 黄河三角洲湿地恢复区鸟类群落季节变化和生境偏好. 林业科技,2021,46(03):50-55.]

[2]Yu Caifen, Zhang Fan, Jiang Yang, et al. Research on Countermeasures for Biodiversity Conservation in the Yellow River Delta People's Yellow River,2023,45(S1):70-71.[于彩芬,张帆,姜洋等. 黄河三角洲生物多样性保护对策研究. 人民黄河,2023,45(S1):70-71.]

[3]Wei ML, Li FY, Hong TY et al. Spatio-temporal differences of Phytoplankton communities in Shanghai Yingwuzhou Wetland and the surrounding River Channels and their influencing factors. *J Lake Sci*, 2020,37(02):429-445.DOI: 10.18307/2025.0216.[韦梦琳,李法云,洪天宇等. 上海鹦鹉洲湿地与外围河道浮游植物群落时空差异及其影响因子. 湖泊科学,2025,37(02):429-445.]

[4]Tang Ying, Fan Xiaomei, Wang Linlin et al. Dynamic Changes of Wetlands in the Yellow River Delta Nature Reserve from 2000 to 2020. *Chinese Journal of Ecology*, 2020,44(08):2706-2716.DOI:10.13292/j.1000-4890.202508.011.[唐影,范晓梅,王林林等. 2000—2020 年黄河三角洲自然保护区湿地动态变化. 生态学杂志,2025,44(08):2706-2716.]

[5]Zhang Y, Shi H, Liu LT et al. Diversity of wintering waterbirds in lakes and wetlands along rivers in Jiangsu Province and its influencing factors. *J Lake Science*,2022,34(06):2005-2019.[张永,施慧,刘璐婷等. 江苏沿江湖泊湿地越冬水鸟多样性及其影响因素. 湖泊科学,2022,34(06):2005-2019.]

[6]Huang G, Hu W, Du J et al. Identification and scenario-based optimization of ecological corridor networks for waterbirds in typical coastal wetlands. *Ecological Indicators*,2025,171:113147-113147.DOI： 10.1016/J.ECOLIND.2025.113147.

[7]Li YG, Zhao L, Li JX et al. Research on the Evolution Characteristics of Hydrological Elements in the Dawen River Basin of the Lower Reaches of the Yellow River. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*,2023,54(01):104-111.[李勇刚,赵龙,李建新等. 黄河下游大汶河流域水文要素演变特征研究. 山东农业大学学报(自然科学版),2023,54(01):104-111.]

[8]Wu HW, Gong CA, Gong ZN et al. Monitoring of Vegetation succession Process in salt marshes of the Yellow River Delta supported by multi-dimensional long-term feature datasets. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020,36(06):1759-1769.DOI:10.13287/j.1001-9332.202506.029.[伍洪委,宫成澳,宫兆宁等. 多维长时序特征数据集支持下的黄河三角洲盐沼植被演替过程监测. 应用生态学报,2025,36(06):1759-1769.]

[9]Yuan X, Sun YY, Wang JP et al. Comprehensive utilization of water resources in the Yellow River Delta for waterfowl habitatrestoration. *Resources Science*, 2020, 42(1): 104-114.[袁秀, 孙燕燕, 王计平等. 基于水鸟栖息地恢复的黄河三角洲水资源综合利用策略. 资源科学, 2020, 42(1): 104-114.]

[10]Sun GQ, Zhang MX, Lei GC. Countermeasures for the Conservation of Wetland Waterbird Diversity in the Yellow River Basin. *Biodiversity*,2020,28(12):1469-1482.[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.]

[11]Lian HY, Wu LX, Cao AL et al. Bird diversity in the Yellow River Delta National Nature Reserve of Shandong Province. *Shandong Forestry Science and Technology*,2018,48(04):44-46+62.[连海燕,吴立新,曹爱兰等. 山东黄河三角洲国家级自然保护区鸟类多样性.

山东林业科技,2018,48(04):44-46+62.]

[12]Sun XP, Zhang YL, Cao MC et al. Analysis of the Relationship between Waterbird Community Composition and Habitat in Autumn and Winter in the Yellow River Delta Nature Reserve. *Journal of Ecology and Rural Environment*,2015,31(04):514-521.[孙孝平,张银龙,曹铭昌等. 黄河三角洲自然保护区秋冬季水鸟群落组成与生境关系分析. 生态与农村环境学报,2015,31(04):514-521.]

[13]Wang YX, Xie YB,Nyambayar B et al. A Discussion on the current protection status of three waterbird habitats in the Yellow River Basin Nature Reserve Based on satellite tracking. *Biodiversity*,2020,28(12):1483-1495.[王昱熙,谢彦波,Nyambayar B 等. 基于卫星追踪探讨黄河流域自然保护区对 3 种水鸟栖息地的保护现状. 生物多样性,2020,28(12):1483-1495.]

[14]Zhu ZQ, Liu ZX, Xie YC et al. The Impact of Oil Extraction on Waterbird Diversity and Distribution in the Yellow River Delta Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*,2023,43(17):7157-7169.[朱自强,刘正霄,谢郁城等. 黄河三角洲自然保护区石油开采对水鸟多样性及分布的影响. 生态学报,2023,43(17):7157-7169.]

[15]Huang ZQ, Che CG, Tan HT et al. Investigation on Waterbird Diversity and Population Monitoring in the Yellow River Delta. *Shandong Forestry Science and Technology*,2018,48(02):41-45+48.[黄子强,车纯广,谭海涛等. 黄河三角洲水鸟多样性调查及种群数量监测. 山东林业科技,2018,48(02):41-45+48.]

[16]Jing HH, Liu JW, Zhang Q et al. Adaptive wetland management: Insights from nonlinear dynamics between vegetation and hydrological variables. *Ecological Indicators*,2025,177:113797.

[17]Wetlands International. Waterbird Populations Estimates (5th Edition)[M]. Wageningen: Wetlands International, 2012.

[18]EAAFP. 2022. Report on the Conservation Status of Migratory Waterbirds of the East Asian - Australasian Flyway (First Edition). Incheon: EAAFP Secretariat. Annex 6: EAAF populations 1% thresholds.

[19]郑光美. 中国鸟类分类与分布名录. 北京:科学出版社,2017.

[20]IUCN 2025. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2025-1.

[21]国家重点保护野生动物名录（2021 版）. 北京:中国林业出版社,2021.

[22]Li LC, Zhou LZ, Cheng L et al. The influence of habitat changes in the water-level-fluctuating zone of Shengjin Lake under extreme flood on the community structure of overwintering waterbirds. *Acta Ecologica Sinica*,2023,43(18):7731-7745.DOI:10.20103/j.stxb.202206161714.[李凌晨,周立志,程磊等.极端洪水作用下升金湖消落带生境变化对越冬水鸟群落结构的影响.生态学报,2023,43(18):7731-7745.]

[23]Dong HZ, Duan HL. Evaluating the effects of land management policy on waterbird habitats in the Liaohe River Delta wetland. *International Journal of Digital Earth*,2025,18(1):DOI:10.1080/17538947.2025.2544915.

[24]Dong XB, Liu XG, Zhou HT et al. A Comparative Study on the Selection of Nest Sites for White Spoonbills, Herons and grass herons in Nanhaizi Wetland, Baotou. *Wetland Science*,2021,19(05):596-603.DOI:10.13248/j.cnki.wetlandsci.2021.05.009.[董小兵,刘晓光,周海涛等. 包头南海子湿地中的白琵鹭、苍鹭和草鹭巢址选择比较研究. 湿地科学,2021,19(05):596-603.]

[25]Danica S, J J S, E M R et al. Quantifying shorebird habitat in managed wetlands by modeling shallow water depth dynamics. *Ecological applications : a publication of the Ecological Society of America*,2018,28(6):1534-1545.DOI:10.1002/eap.1732.

[26]Qiao T, Zhang HQ, Chen YF et al. Vegetation Information Extraction Technology of Dongting Lake Wetland Based on NDVI Segmentation and Object-oriented. *Journal of Northwest Forestry University*,2013,28(04):170-175.[乔婷,张怀清,陈永富等. 基于 NDVI 分割与面向对象的东洞庭湖湿地植被信息提取技术. 西北林学院学报,2013,28(04):170-175.]

[27]Wetlands International. 2015. Waterbird population estimates. 5th ed. WPE5 http://wpe.wetla nds.org/[2024-07-08].

[28]Wang XY, Jiang B, Tian ZF et al. The influence of water level changes in Caizi Lake, Anhui Province in winter on the main wetland types and winter migratory bird habitats. *J Lake Science*,2018,30(06):1636-1645.DOI:10.18307/2018.0615.[王晓媛,江波,田志福等. 冬季安徽菜子湖水位变化对主要湿地类型及冬候鸟生境的影响. 湖泊科学,2018,30(06):1636-1645.]

[29]Fu MD, Jia Q, Ren YH et al. Diversity of Wading birds and their environmental influencing factors in the coastal wetlands of the Bohai Rim. *Acta Ecologica Sinica*,2021,41(22):8882-8891.[付梦娣,贾强,任月恒等. 环渤海滨海湿地鸻鹬类水鸟多样性及其环境影响因子. 生态学报,2021,41(22):8882-8891.]

[30]Guo ZL, Zhang YG, Liu WW et al. Characteristics and Seasonal Variations of Waterbird Communities in Hengshui Lake National Nature Reserve, Hebei Province. *Chinese Journal of Ecology*,2022,41(04):732-740.[郭子良,张余广,刘魏魏等. 河北衡水湖国家级自然

保护区水鸟群落特征及其季节性变化. 生态学杂志,2022,41(04):732-740.]

[31]Dronova I, Beissinger RS, Burnham WJ et al. Landscape-Level Associations of Wintering Waterbird Diversity and Abundance from Remotely Sensed Wetland Characteristics of Poyang Lake. *Remote Sensing*,2016,8(6):462.

[32]Chen RY, Li HQ, Zhu XD et al. Analysis of the Structure and diversity of Waterbird feeding groups in Caizi Lake under Water Level Changes during Overwintering. *Chinese Journal of Biology*, 24,41(05):77-83.DOI:10.3969/j.issn.2095-1736.2024.05.077.[陈荣友,李红清,朱秀迪等. 越冬期水位变化下菜子湖水鸟取食集团结构及多样性分析. 生物学杂志,2024,41(05):77-83.]

[33]Wang SL, Chen MY, Chen TY et al. Community Composition and Seasonal Dynamics of Geese and Ducks in Hongze Lake Wetland National Nature Reserve, Si Hong. *Wetland science*,2022,20(6):801-809.DOI:10.13248/j.carol carroll nki wetlandsci.2022.06.010.[王思路,张曼玉,陈泰宇等. 泗洪洪泽湖湿地国家级自然保护区雁鸭类群落组成及其季节动态. 湿地科学,2022,20(06):801-809.]

[34]Miao L, Qian YC, Wei LH et al. Habitat Protection and Ecological Restoration Strategies for Waterbirds at Lianhuatan in Xixi National Wetland Park. *Chinese Landscape Architecture*, 2024,40(S2):20-23.DOI:10.19775/j.cla.2024.S2.0020.[缪琳,钱逸尘,魏璐华.西溪湿地莲花滩水鸟栖息地保护与生态修复策略. 中国园林,2024,40(S2):20-23.]

[35]Smith M L , Haukos A D , Prather M R. Avian response to vegetative pattern in playa wetlands during winter. *Wildlife Society Bulletin*,2004,32(2):474-480.DOI:10.2193/0091-7648(2004)32[474:ARTVPI]2.0.CO;2.

[36]Colwell A M D. Shorebird Ecology, Conservation, and Management. Berkeley: University of California Press, 2010.

[37]Masero A J. Assessing alternative anthropogenic habitats for conserving waterbirds: salinas as buffer areas against the impact of natural habitat loss for shorebirds. *Biodiversity and Conservation*,2003,12(6):1157-1173.DOI:10.1023/A:1023021320448.

[38]Wang H, Wu X, Bi N et al. Yellow River Delta. Delta Sustainability: A Report to the Mega-Delta Programme of the UN Ocean,2024.

附表 1 水鸟调查记录表（直接计数法）

Supplementary table 1 Waterbird Survey Record Form (Direct Counting Method)

<table>
<tr><td>调查人员</td><td colspan="2"></td><td>湿地名称</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">调查时间</td><td colspan="2">年　　月　　日</td><td colspan="2">调查点位置（省/县/乡或保护区）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">时　分至　　时　　分</td><td>坐标</td><td>北纬（N）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">气象数据：</td><td>东经（E）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>云盖度：　　%</td><td colspan="2">风力：</td><td colspan="2">风向：</td><td>栖息地类型</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">降雨：薄雾□ 大雾□ 细雨□ 小雨□ 中雨□</td><td>栖息地状况</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">备注：如人为干扰与威胁因素（盗猎、环境污染、工程项目建设）等方面的信息</td></tr>
<tr><td rowspan="2">序号</td><td rowspan="2">种名</td><td colspan="2">数量</td><td rowspan="2">记录时间</td><td rowspan="2">观察距离</td><td rowspan="2">备注</td></tr>
<tr><td>成体</td><td>成体</td></tr>
<tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>…</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

附表 2 水鸟概况

Supplementary table 2 Overview of waterbirds

序号	目/科/属/种	拉丁学名	英文名	分类	IUCN 受胁等级	国家保护等级	是否达到或超过或迁飞路线种群数量的 1%标准	2023 年观察月份	2024 年观察月份
	雁形目 鸭科 *Anatidae*								
	海番鸭属 *Melanitta*								
1	斑脸海番鸭	*Melanitta stejnegeri*	Siberian Scoter	鸭类	易危	-		10 月	-
	麻鸭属 *Tadorna*								
2	赤麻鸭	*Tadorna ferruginea*	Ruddy Shelduck	鸭类	无危	-		1 - 12 月	1 - 12 月
3	翘鼻麻鸭	*Tadorna tadorna*	Common Shelduck	鸭类	无危	-	√	3 月, 5 - 7 月, 8 月, 10 - 12 月	3 - 7 月, 11 月
	狭嘴潜鸭属 *Netta*								
4	赤嘴潜鸭	*Netta rufina*	Red-crested Pochard	鸭类	无危	-		8 月	-
	潜鸭属 *Aythya*								
5	白眼潜鸭	*Aythya nyroca*	Ferruginous Duck	鸭类	近危	-		1 - 5 月, 7 - 11 月	1 月, 3 - 6 月, 8 - 10 月
6	红头潜鸭	*Aythya ferina*	Common Pochard	鸭类	易危	-	√	1 - 4 月, 7 月, 9 - 12 月	1 - 3 月, 8 - 12 月
7	凤头潜鸭	*Aythya fuligula*	Tufted Duck	鸭类	无危	-		3 月, 10 - 11 月	1 月, 2 月, 4 月, 11 月
8	斑背潜鸭	*Aythya marila*	Greater Scaup	鸭类	无危	-		3 月, 11 - 12 月	-
9	青头潜鸭	*Aythya baeri*	Baer's Pochard	鸭类	极危	一级		12 月	1 月
	秋沙鸭属 *Mergus*								
10	斑头秋沙鸭	*Mergellus albellus*	Smew	鸭类	无危	二级	√	1 - 4 月, 12 月	1 - 4 月, 11 - 12 月
11	普通秋沙鸭	*Mergus merganser*	Common Merganser	鸭类	无危	-		1 - 4 月, 10 - 12 月	1 - 4 月, 7 月, 11 - 12 月

12	红胸秋沙鸭	*Mergus serrator*	Red-breasted Merganser	鸭类	无危	-		12 月	2 月, 4 月
	天鹅属 *Cygnus*								
13	大天鹅	*Cygnus cygnus*	Whooper Swan	天鹅类	无危	二级	√	1 - 4 月, 10 - 12 月	1 - 3 月, 9 月, 11 - 12 月
14	黑天鹅	*Cygnus atratus*	Black Swan	天鹅类	无危	二级		2 月	11 - 12 月
15	小天鹅	*Cygnus columbianus*	Tundra Swan	天鹅类	无危	二级	√	1 - 3 月, 9 月, 11 - 12 月	1 - 3 月, 11 - 12 月
16	疣鼻天鹅	*Cygnus olor*	Mute Swan	天鹅类	无危	二级	√	1 - 5 月, 11 - 12 月	1 - 12 月
	鸭属 *Mareca*								
17	赤膀鸭	*Mareca strepera*	Gadwall	鸭类	无危	-	√	1 - 4 月, 10 - 12 月	2 - 4 月, 9 - 12 月
18	罗纹鸭	*Mareca falcata*	Falcated Duck	鸭类	无危	-	√	1 - 5 月, 10 - 12 月	2 - 4 月, 11 - 12 月
19	赤颈鸭	*Mareca penelope*	Eurasian Wigeon	鸭类	无危	-		1 - 3 月, 5 月, 10 - 12 月	2 - 4 月, 10 - 12 月
	花脸鸭属 *Sibirionetta*								
20	花脸鸭	*Sibirionetta formosa*	Baikal Teal	鸭类	无危	二级	√	10 - 11 月	3 月, 11 - 12 月
	琵嘴鸭属 *Spatula*								
21	琵嘴鸭	*Spatula clypeata*	Northern Shoveler	鸭类	无危	-		2 - 5 月, 10 - 12 月	2 - 4 月, 11 - 12 月
22	白眉鸭	*Spatula querquedula*	Garganey	鸭类	无危	-		4 月, 6 月, 11 月	4 月
	鸭属 *Anas*								
23	斑嘴鸭	*Anas zonorhyncha*	Chinese Spot-billed Duck	鸭类	无危	-		1 - 12 月	1 - 12 月
24	绿翅鸭	*Anas crecca*	Eurasian Teal	鸭类	无危	-		3 - 5 月, 10 - 12 月	3 - 4 月, 11 - 12 月
25	绿头鸭	*Anas platyrhynchos*	Mallard	鸭类	无危	-	√	1 - 12 月	1 - 12 月

26	针尾鸭	*Anas acuta*	Northern Pintail	鸭类	无危	-		1 - 4 月, 10 - 12 月	1 - 4 月, 11 - 12 月
	鹊鸭属 *Bucephala*								
27	鹊鸭	*Bucephala clangula*	Common Goldeneye	鸭类	无危	-		11 - 12 月	11 月
	鸳鸯属 *Aix*								
28	鸳鸯	*Aix galericulata*	Mandarin Duck	鸭类	无危	二级		11 月	-
	雁属 *Anser*								
29	豆雁	*Anser fabalis*	Bean Goose	雁类	无危	-	√	1 - 3 月, 10 - 12 月	1 - 4 月, 6 月, 9 - 12 月
30	鸿雁	*Anser cygnoides*	Swan Goose	雁类	濒危	二级	√	4 月, 10 - 12 月	1 - 3 月, 11 - 12 月
31	斑头雁	*Anser indicus*	Bar-headed Goose	雁类	无危	-		3 月	-
32	灰雁	*Anser anser*	Greylag Goose	雁类	无危	-	√	1 - 12 月	1 - 12 月
33	白额雁	*Anser albifrons*	White-fronted Goose	雁类	无危	二级		11 月	11 月
34	小白额雁	*Anser erythropus*	Lesser White-fronted Goose	雁类	易危	二级		-	12 月
	鸻形目 鸻科 *Charadriidae*								
	麦鸡属 *Vanellus*								
35	凤头麦鸡	*Vanellus vanellus*	Northern Lapwing	鸻鹬类	近危	-		3 月	3 - 5 月, 11 月
36	灰头麦鸡	*Vanellus cinereus*	Grey-headed Lapwing	鸻鹬类	无危	-		7 月, 10 月	9 月, 10 月
	斑鸻属 *Pluvialis*								
37	灰鸻	*Pluvialis squatarola*	Grey Plover	鸻鹬类	易危	-		7 月, 10 月	10 月
	鸻属 *Charadrius*								
38	环颈鸻	*Charadrius alexandrinus*	Kentish Plover	鸻鹬类	无危	-	√	3 - 10 月	3 - 5 月, 8 - 10 月

39	剑鸻	*Charadrius hiaticula*	Common Ringed Plover	鸻鹬类	无危	-		7 月，9 月	5 月，8 - 9 月
40	金眶鸻	*Charadrius dubius*	Little Ringed Plover	鸻鹬类	无危	-		7 - 8 月, 10 月	8 - 9 月
41	蒙古沙鸻	*Charadrius mongolus*	Lesser Sand Plover	鸻鹬类	濒危	-		3 - 5 月，8 - 11 月	4 - 6 月，9 月
42	铁嘴沙鸻	*Charadrius leschenaultii*	Greater Sand Plover	鸻鹬类	无危	-		5 月，8 - 10 月	-
43	长嘴剑鸻	*Charadrius placidus*	Long-billed Plover	鸻鹬类	无危	-		8 月	-
	鸻形目 鹬科 *Scolopacidae*								
	杓鹬属 *Numenius*								
44	白腰杓鹬	*Numenius arquata*	Eurasian Curlew	鸻鹬类	近危	二级	√	1 月, 11 - 12 月	10 月
45	大杓鹬	*Numenius madagascariensis*	Far Eastern Curlew	鸻鹬类	濒危	二级	√	4 月, 6 月, 9 - 12 月	5 月, 9 - 10 月, 12 月
46	中杓鹬	*Numenius phaeopus*	Whimbrel	鸻鹬类	无危	-	√	4 月, 7 - 12 月	5 月, 9 月
47	小杓鹬	*Numenius minutus*	Little Curlew	鸻鹬类	无危	二级		5 月, 8 - 9 月	9 月
	滨鹬属 *Calidris*								
48	黑腹滨鹬	*Calidris alpina*	Dunlin	鸻鹬类	近危	-	√	6 - 8 月, 10 月	4 月, 9 - 10 月
49	大滨鹬	*Calidris tenuirostris*	Great Knot	鸻鹬类	濒危	二级		7 - 8 月	-
50	红腹滨鹬	*Calidris canutus*	Red Knot	鸻鹬类	近危	-		4 - 5 月，7 - 10 月	4 - 6 月，9 - 11 月
51	红颈滨鹬	*Calidris ruficollis*	Red-necked Stint	鸻鹬类	近危	-		-	8 月
52	尖尾滨鹬	*Calidris acuminata*	Sharp-tailed Sandpiper	鸻鹬类	易危	-		7 - 9 月	-
53	长趾滨鹬	*Calidris subminuta*	Long-toed Stint	鸻鹬类	无危	-		-	9 月
54	青脚滨鹬	*Calidris temminckii*	Temminck's Stint	鸻鹬类	无危	-		6 月，10 月	-
55	弯嘴滨鹬	*Calidris ferruginea*	Curlew Sandpiper	鸻鹬类	易危	-		10 - 11 月	9 月

56	阔嘴鹬	*Calidris falcinellus*	Broad-billed Sandpiper	鸻鹬类	易危	二级		-	5 月, 10 月
57	三趾滨鹬	*Calidris alba*	Sanderling	鸻鹬类	无危	-		-	9 月
58	流苏鹬	*Calidris pugnax*	Ruff	鸻鹬类	无危	-		-	9 月
	翻石鹬属 *Arenaria*								
59	翻石鹬	*Arenaria interpres*	Ruddy Turnstone	鸻鹬类	近危	二级		7 月	9 月
	矶鹬属 *Actitis*								
60	矶鹬	*Actitis hypoleucos*	Common Sandpiper	鸻鹬类	无危	-		6 月, 10 月	8 月, 11 月
	翘嘴鹬属 *Xenus*								
61	翘嘴鹬	*Xenus cinereus*	Terek Sandpiper	鸻鹬类	无危	-		10 月	3 月
	鹬属 *Tringa*								
62	白腰草鹬	*Tringa ochropus*	Green Sandpiper	鸻鹬类	无危	-		4 月, 8 月	-
63	红脚鹬	*Tringa totanus*	Common Redshank	鸻鹬类	无危	-		3 月, 5 月, 9 - 10 月	4 - 5 月
64	鹤鹬	*Tringa erythropus*	Spotted Redshank	鸻鹬类	无危	-	√	3 - 7 月, 9 - 11 月	3 - 11 月
65	小黄脚鹬	*Tringa flavipes*	Lesser Yellowlegs	鸻鹬类	易危	-		8 月	10 月
66	林鹬	*Tringa glareola*	Wood Sandpiper	鸻鹬类	无危	-		7 月, 8 月	3 月
67	青脚鹬	*Tringa nebularia*	Common Greenshank	鸻鹬类	无危	-		9 月, 10 月	11 月
68	小青脚鹬	*Tringa guttifer*	Spotted Greenshank	鸻鹬类	濒危	一级		-	3 月
69	泽鹬	*Tringa stagnatilis*	Marsh Sandpiper	鸻鹬类	无危	-		6 - 11 月	4 - 7 月, 9 - 11 月
70	灰尾漂鹬	*Tringa brevipes*	Grey-tailed Tattler	鸻鹬类	无危	-		10 月	5 月
	腹鹬属 *Limosa*								

71	黑尾塍鹬	*Limosa limosa*	Black-tailed Godwit	鸻鹬类	近危	-	√	3 - 10 月	3 - 10 月
72	斑尾塍鹬	*Limosa lapponica*	Bar-tailed Godwit	鸻鹬类	近危	-		10 月	4 - 5 月, 9 月
	沙锥属 *Gallinago*								
73	大沙锥	*Gallinago megala*	Swinhoe's Snipe	鸻鹬类	无危	-		10 月	-
74	扇尾沙锥	*Gallinago gallinago*	Common Snipe	鸻鹬类	无危	-		5 月	-
75	针尾沙锥	*Gallinago stenura*	Pintail Snipe	鸻鹬类	无危	-		7 月	-
	鸻形目 反嘴鹬科 *Recurvirostridea*								
	反嘴鹬属 *Recurvirostra*								
76	反嘴鹬	*Recurvirostra avosetta*	Pied Avocet	鸻鹬类	无危	-	√	2 - 11 月	3 - 7 月, 9 - 10 月
	长脚鹬属 *Himantopus*								
77	黑翅长脚鹬	*Himantopus himantopus*	Black-winged Stilt	鸻鹬类	无危	-		3 - 9 月, 12 月	4 - 9 月
	鸻形目 蛎鹬科 *Haematopodidae*								
	蛎鹬属 *Haematopus*								
78	蛎鹬	*Haematopus ostralegus*	Eurasian Oystercatcher	鸻鹬类	近危	-	√	2 - 10 月	3 - 9 月
	鸻形目 鸥科 *Laridae*								
	浮鸥属 *Chlidonias*								
79	白翅浮鸥	*Chlidonias leucopterus*	White-winged Tern	鸥类	无危	-		6 - 9 月	6 - 9 月
80	灰翅浮鸥	*Chlidonias hybrida*	Whiskered Tern	鸥类	无危	-	√	5 - 8 月	6 - 8 月
	黑嘴鸥属 *Saundersilarus*								
81	黑嘴鸥	*Saundersilarus saundersi*	Saunders's Gull	鸥类	易危	一级		3 - 10 月	3 - 6 月, 9 月, 11 - 12 月

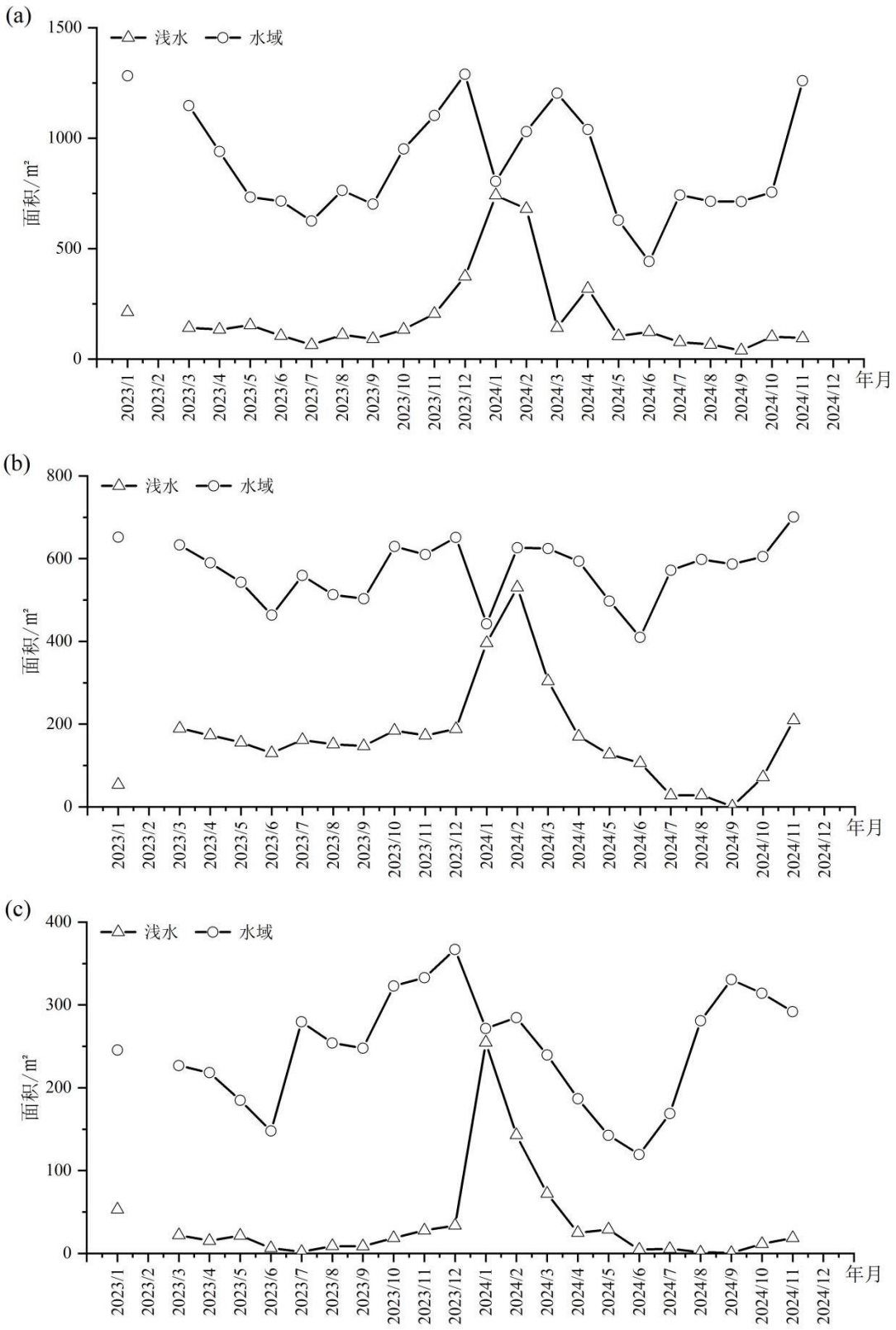
	彩头鸥属 *Chroicocephalus*								
82	红嘴鸥	*Chroicocephalus ridibundus*	Black-headed Gull	鸥类	无危	-		2 - 12 月	1 月, 3 - 12 月
83	棕头鸥	*Chroicocephalus brunnicephalus*	Brown-headed Gull	鸥类	无危	-		8 月	-
	渔鸥属 *Ichthyaetus*								
84	遗鸥	*Ichthyaetus relictus*	Relict Gull	鸥类	易危	一级		11 月	3 月
85	渔鸥	*Ichthyaetus ichthyaetus*	Pallas's Gull	鸥类	无危	-		9 - 10 月	-
	鸥属 *Larus*								
86	黑尾鸥	*Larus crassirostris*	Black-tailed Gull	鸥类	无危	-		1 - 5 月, 7 - 12 月	3 - 12 月
87	黄腿银鸥	*Larus cachinnans*	Caspian Gull	鸥类	无危	-		11 - 12 月	-
88	灰背鸥	*Larus schistisagus*	Slaty-backed Gull	鸥类	无危	-		7 - 8 月	4 月, 10 月
89	西伯利亚银鸥	*Larus vegae*	Vega Gull	鸥类	无危	-		1 - 4 月, 6 - 7 月, 9 - 12 月	1 - 4 月, 9 - 12 月
90	普通海鸥	*Larus canus*	Mew Gull	鸥类	无危	-		2 - 4 月, 6 - 12 月	3 - 5 月，7 - 12 月
	燕鸥属 *Sterna*								
91	白额燕鸥	*Sternula albifrons*	Little Tern	鸥类	无危	-		5 月, 7 - 9 月	5 月, 7 - 9 月
92	普通燕鸥	*Sterna hirundo*	Common Tern	鸥类	无危	-	√	3 - 9 月	3 - 10 月
	巨鸥属 *Hydroprogne*								
93	红嘴巨燕鸥	*Hydroprogne Caspia*	Caspian Tern	鸥类	无危	-		3 - 4 月, 7 - 10 月	4 月, 10 月
	噪鸥属 *Gelchelidon*								
94	鸥嘴噪鸥	*Gelochelidon nilotica*	Common Gull-billed Tern	鸥类	无危	-	√	4 - 10 月	4 - 9 月
	鸨形目 燕鸨科 *Glareolidae*								

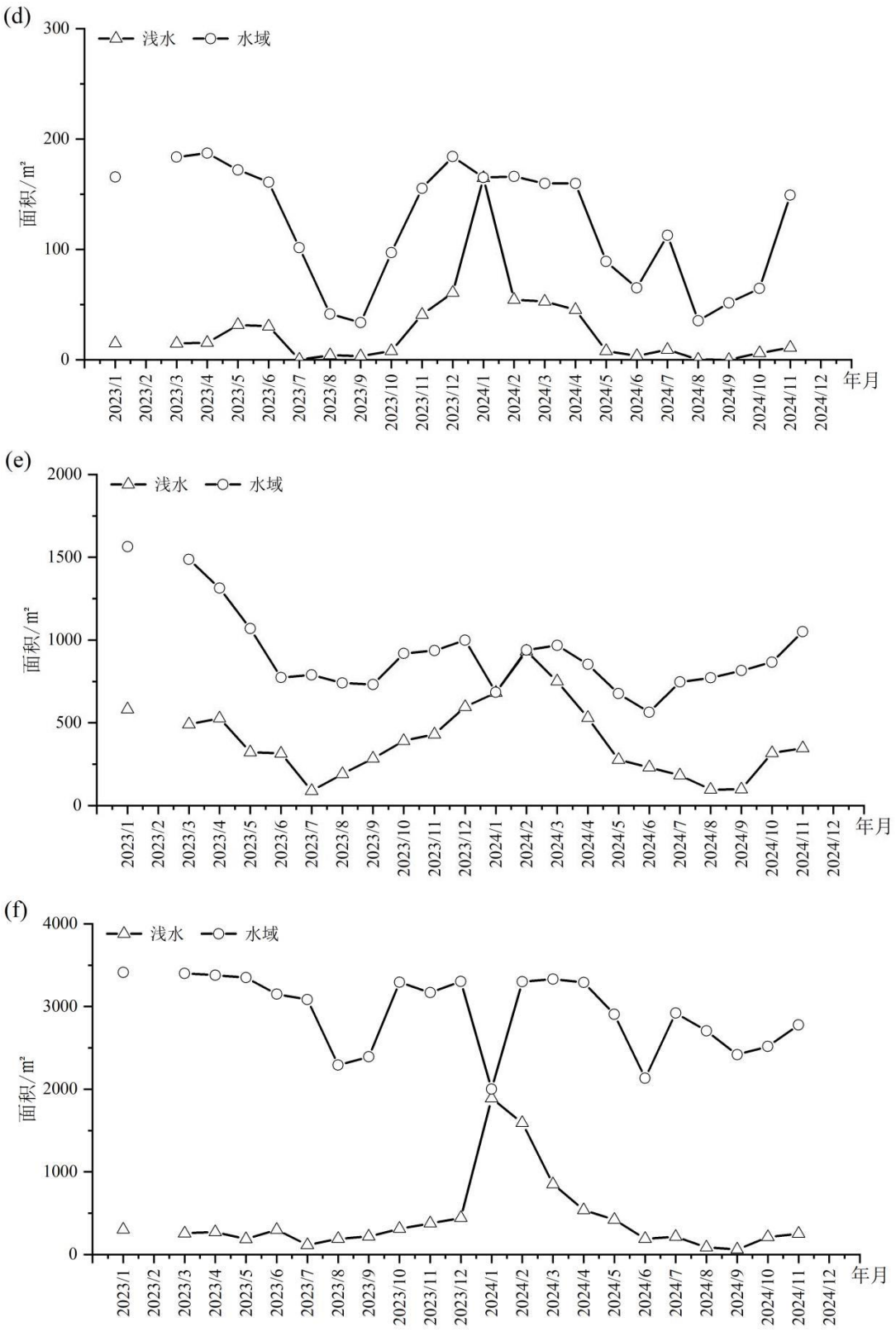
	燕鸻属 *Glareola*								
95	灰燕鸻	*Glareola lactea*	Small Pratincole	鸻鹬类	无危	二级		-	9 月
96	普通燕鸻	*Glareola maldivarum*	Oriental Pratincole	鸻鹬类	无危	-		9 月	8 - 9 月
	鹤形目 鹤科 *Gruidae*								
	赤颈鹤属 *Antigone*								
97	白枕鹤	*Antigone vipio*	White-naped Crane	鹤鹳类	易危	一级	√	3 月, 10 - 12 月	1 - 3 月, 12 月
	白鹤属 *Leucogeranus*								
98	白鹤	*Leucogeranus leucogeranus*	Siberian Crane	鹤鹳类	极危	一级	√	1 月, 3 月, 11 - 12 月	2 - 3 月, 11 - 12 月
	鹤属 *Grus*								
99	白头鹤	*Grus monacha*	Hooded Crane	鹤鹳类	易危	一级	√	11 月	11 - 12 月
100	灰鹤	*Grus grus*	Common Crane	鹤鹳类	无危	二级	√	1 - 3 月, 11 - 12 月	1 - 3 月, 11 - 12 月
101	丹顶鹤	*Grus japonensis*	Red-crowned Crane	鹤鹳类	易危	一级	√	1 - 3 月, 6 月, 9 - 12 月	1 月, 3 - 5 月, 7 月, 11 - 12 月
	鹤形目 秧鸡科 *Rallidae*								
	黑水鸡属 *Gallinula*								
102	黑水鸡	*Gallinula chloropus*	Common Moorhen	鹤鹳类	无危	-	√	10 月	4 月, 8 月
	骨顶鸡属 *Fulica*								
103	白骨顶	*Fulica atra*	Common Coot	鹤鹳类	无危	-		1 - 12 月	1 - 12 月
	秧鸡属 *Rallus*								
104	普通秧鸡	*Rallus indicus*	Eastern Water Rail	鹤鹳类	无危	-		12 月	-
	鹈形目 鹭科 *Ardeidae*								

	麻鸦属 *Botaurus*								
105	大麻鸦	*Botaurus stellaris*	Eurasian Bittern	鹭类	无危	-		1 - 11 月	1 月, 3 - 6 月, 12 月
	苇鸦属 *Ixobrychus*								
106	黄斑苇鸦	*Ixobrychus sinensis*	Yellow Bittern	鹭类	无危	-		9 月, 11 月	-
	夜鹭属 *Nycticorax*								
107	夜鹭	*Nycticorax nycticorax*	Black-crowned Night-heron	鹭类	无危	-		5 - 11 月	3 月, 5 - 9 月
	白鹭属 *Egretta*								
108	白鹭	*Egretta garzetta*	Little Egret	鹭类	无危	-		1 - 12 月	2 - 12 月
	池鹭属 *Ardeola*								
109	池鹭	*Ardeola bacchus*	Chinese Pond Heron	鹭类	无危	-		9 月	5 月
	牛背鹭属 *Bubulcus*								
110	牛背鹭	*Bubulcus coromandus*	Cattle Egret	鹭类	无危	-		7 - 8 月	8 月
	鹭属 *Ardea*								
111	苍鹭	*Ardea cinerea*	Grey Heron	鹭类	无危	-		1 - 12 月	1 - 12 月
112	大白鹭	*Ardea alba*	Great Egret	鹭类	无危	-		1 - 12 月	1 月, 3 - 12 月
113	中白鹭	*Ardea intermedia*	Intermediate Egret	鹭类	无危	-		11 月	-
114	草鹭	*Ardea purpurea*	Purple Heron	鹭类	无危	-		5 - 11 月	5 - 10 月
	鹈形目 鹮科 *Threskiorothidae*								
	琵鹭属 *Platalea*								
115	白琵鹭	*Platalea leucorodia*	Eurasian Spoonbill	鹭类	无危	二级	√	2 - 7 月, 10 - 12 月	3 - 12 月

116	黑脸琵鹭	*Platalea minor*	Black-faced Spoonbill	鹭类	濒危	一级		11 月	-
	鹈形目 鹈鹕科 *Pelecanidae*								
	鹈鹕属 *Pelecanus*								
117	卷羽鹈鹕	*Pelecanus crispus*	Dalmatian Pelican	鹈鹕类	近危	一级	√	2 - 3 月, 5 月, 10 - 12 月	4 月, 10 - 12 月
118	白鹈鹕	*Pelecanus onocrotalus*	Great White Pelican	鹈鹕类	无危	一级		3 月, 11 月	7 月
	鲣鸟目 鸬鹚科 *Phalacrocoracidae*								
	鸬鹚属 *Phalacrocorax*								
119	普通鸬鹚	*Phalacrocorax carbo*	Great Cormorant	鸬鹚类	无危	-	√	2 - 12 月	2 - 12 月
	鹳形目 鹳科 *Ciconiidae*								
	鹳属 *Ciconia*								
120	东方白鹳	*Ciconia boyciana*	Oriental Stork	鹤鹳类	濒危	一级	√	1 - 12 月	1 - 12 月
121	黑鹳	*Ciconia nigra*	Black Stork	鹤鹳类	无危	一级	√	3 月，6 月，10 - 11 月	11 月
	鸊鹈目 鸊鹈科 *Podicipedidae*								
	小鸊鹈属 *Tachybaptus*								
122	小鸊鹈	*Tachybaptus ruficollis*	Little Grebe	鸊鹈类	无危	-		2 - 12 月	2 - 12 月
	鸊鹈属 *Podiceps*								
123	赤颈鸊鹈	*Podiceps grisegena*	Red-necked Grebe	鸊鹈类	无危	二级		3 - 4 月	3 月
124	黑颈鸊鹈	*Podiceps nigricollis*	Black-necked Grebe	鸊鹈类	无危	二级		-	11 - 12 月
125	角鸊鹈	*Podiceps auritus*	Slavonian Grebe	鸊鹈类	易危	二级		10 月	-
126	凤头鸊鹈	*Podiceps cristatus*	Great Crested Grebe	鸊鹈类	无危	-		2 - 12 月	1 月, 3 - 12 月

注：这里的1%标准按照超过全球或迁飞路线种群数量的百分比来估算，采用《CSR 1》公布的数值（EAAFP，2022）


(a)
浅水
水域
面积/m²
1500
1000
500
0
2023/1
2023/2
2023/3
2023/4
2023/5
2023/6
2023/7
2023/8
2023/9
2023/10
2023/11
2023/12
2024/1
2024/2
2024/3
2024/4
2024/5
2024/6
2024/7
2024/8
2024/9
2024/10
2024/11
2024/12
年月
(b)
浅水
水域
面积/m²
800
600
400
200
0
2023/1
2023/2
2023/3
2023/4
2023/5
2023/6
2023/7
2023/8
2023/9
2023/10
2023/11
2023/12
2024/1
2024/2
2024/3
2024/4
2024/5
2024/6
2024/7
2024/8
2024/9
2024/10
2024/11
2024/12
年月
(c)
浅水
水域
面积/m²
400
300
200
100
0
2023/1
2023/2
2023/3
2023/4
2023/5
2023/6
2023/7
2023/8
2023/9
2023/10
2023/11
2023/12
2024/1
2024/2
2024/3
2024/4
2024/5
2024/6
2024/7
2024/8
2024/9
2024/10
2024/11
2024/12
年月

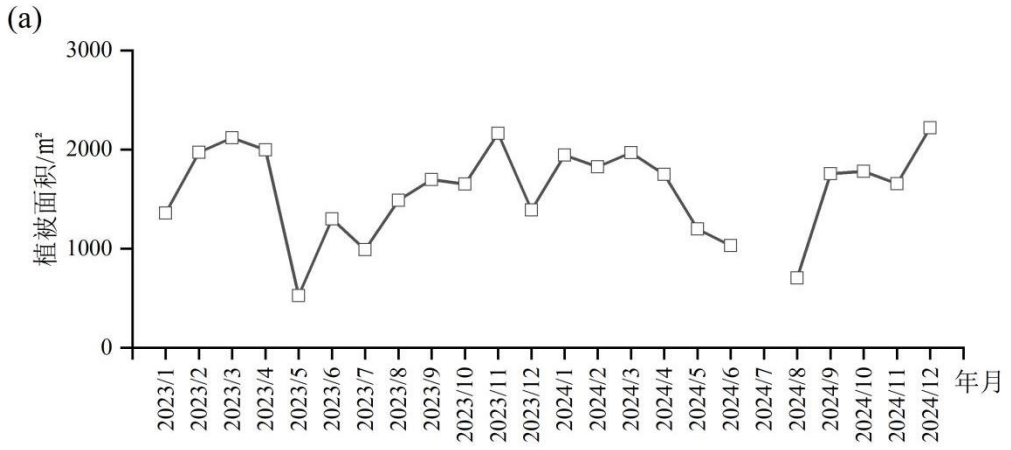


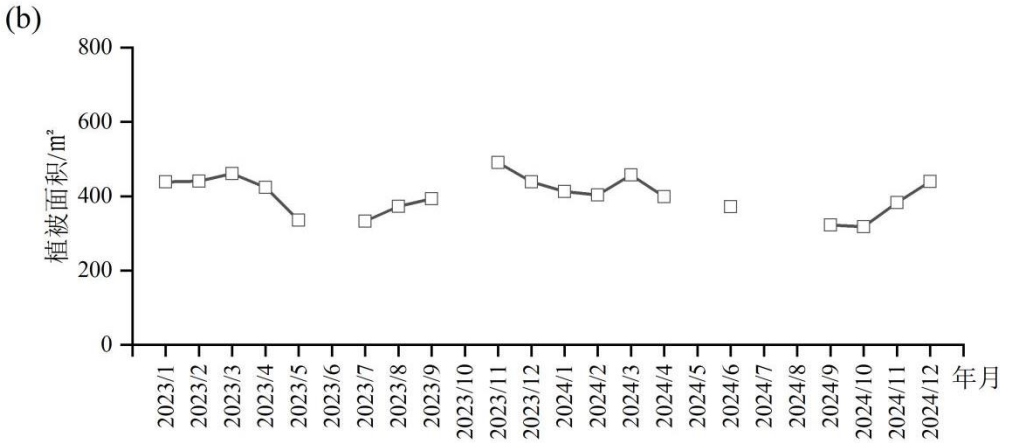
附图 1 2023-2024 年各区域浅水及水域面积变化

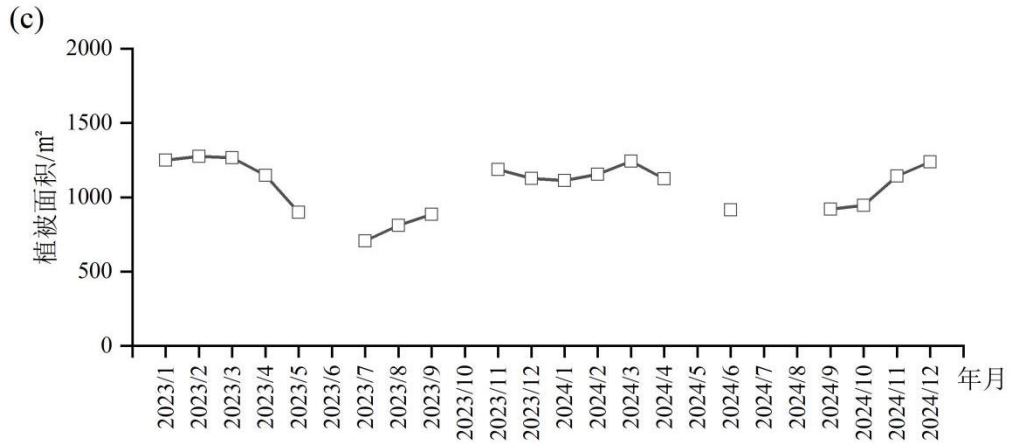
（a：黄河口北岸；b：三万亩；c：大汶流；d：东八路；e：五万亩；f：十万亩）

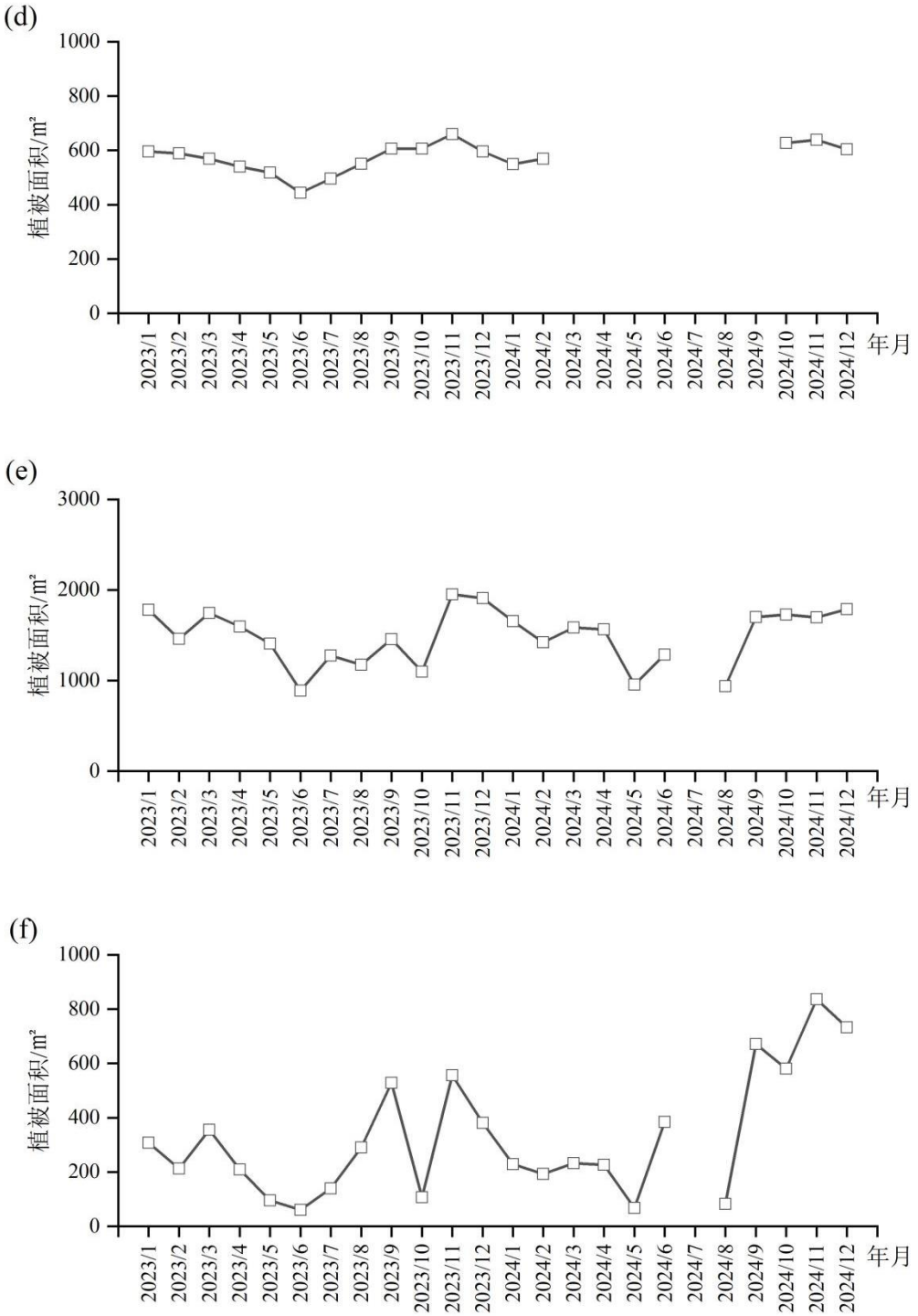
Supplementary fig.1 Changes in shallow water and water area in various regions from 2023 to 2024

(a: North of the Yellow River Estuary; b: 30,000 mu; c: Dawenliu; d: Dongba Road; e: 50,000 mu; f: 100,000 mu)


(a)
植被面积/m²
3000
2000
1000
0
2023/1
2023/2
2023/3
2023/4
2023/5
2023/6
2023/7
2023/8
2023/9
2023/10
2023/11
2023/12
2024/1
2024/2
2024/3
2024/4
2024/5
2024/6
2024/7
2024/8
2024/9
2024/10
2024/11
2024/12
年月


(b)
植被面积/m²
800
600
400
200
0
2023/1
2023/2
2023/3
2023/4
2023/5
2023/6
2023/7
2023/8
2023/9
2023/10
2023/11
2023/12
2024/1
2024/2
2024/3
2024/4
2024/5
2024/6
2024/7
2024/8
2024/9
2024/10
2024/11
2024/12
年月


(c)
植被面积/m²
2000
1500
1000
500
0
2023/1
2023/2
2023/3
2023/4
2023/5
2023/6
2023/7
2023/8
2023/9
2023/10
2023/11
2023/12
2024/1
2024/2
2024/3
2024/4
2024/5
2024/6
2024/7
2024/8
2024/9
2024/10
2024/11
2024/12
年月



附图 2 2023-2024 年各区域植被面积变化

（a：黄河口北岸；b：三万亩；c：大汶流；d：东八路；e：五万亩；f：十万亩）

Supplementary fig.2 The changes in vegetation area in various regions from 2023 to 2024

(a: North of the Yellow River Estuary; b: 30,000 mu; c: Dawenliu; d: Dongba Road; e: 50,000 mu; f: 100,000 mu)