

# 江苏近海海域鸟类多样性及其与风电、养殖关系分析

刘威<sup>1</sup>, 张星烁<sup>1</sup>, 徐海根<sup>1</sup>, 杨波<sup>2</sup>, 曹铭昌<sup>1</sup>, 熊天石<sup>3</sup>, 韩永祥<sup>4</sup>, 袁屏<sup>5</sup>,  
伊剑锋<sup>1</sup>, 周大庆<sup>1</sup>

(1. 生态环境部 南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042; 2. 国家海洋局 南通海洋环境监测中心站, 江苏 南通 226002; 3. 江苏省野生动植物保护站, 江苏 南京 210036; 4. 连云港墟沟小学, 江苏 连云港 222042; 5. 南京图书馆, 江苏 南京 210018)

**摘要:** 江苏近海海域是具有数十年历史的鸟类学研究地区, 对于海洋性鸟类繁殖、保护以及江苏省鸟类名录的修订具有重要地位。本研究首次系统调查、整理了近 40 年间江苏近海海域鸟类多样性, 分析了鸟类多样性的群落结构及与风电、养殖的关系特征。通过对连云港、盐城和南通近海海域以及少数离岸岛屿 4 个季度的野外调查, 共计发现鸟类 69 种 2 393 只, 隶属于 11 目 27 科。其中, 雀形目和鸽形目是近海海域鸟类的重要组成类群, 鸊形目、鲑鸟目和潜鸟目在江苏近海海域稳定存在。本研究将江苏近海海域记录鸟类丰富至 182 种。2020 年调查发现的鸟类物种占总记录物种数的 37.91%, 首次记录到的鸟种有 27 种。Pearson 相关性检验显示风电建设与鸟类多样性在距离尺度上呈现显著的正相关关系, 筏式养殖与鸟类多样性在距离尺度上呈现显著的负相关关系。表明江苏近海海域鸟类对风电场具有明显的规避倾向, 而对筏式养殖区域具有明显的依赖倾向。针对当前江苏近海海域生物多样性保护水平较低、人为干扰严峻的背景下, 本文研提了基于生物多样性保护的政策建议, 为近海海域空间优化和保护地体系制定提供参考。

**关键词:** 江苏; 近海; 鸟类多样性; 保护建议; 物种编目

中图分类号: X176 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2023)4-0089-19

DOI: 10.11759/hyxx20210804001

鸟类多样性是地球生命系统中重要的组成部分, 对生态质量的好坏以及生态系统服务功能的完整性具有指示作用<sup>[1-2]</sup>。中国海洋面积广阔, 具有较高的海洋鸟类多样性<sup>[3-5]</sup>。江苏沿海作为国际重要鸟区<sup>[6-7]</sup>, 其近海海域鸟类多样性了解较少, 缺乏系统的调查梳理。《江苏省志 生物志·动物篇》(2005 年)和《江苏鸟类》(2015)分别记录了 10 种和 11 种江苏近海鸟类<sup>[8-9]</sup>。李悦民等则记载了 129 种连云港前三岛鸟类<sup>[10]</sup>。此外, 自 20 世纪以来, 在江苏近海海域陆续记录到较多江苏省新纪录鸟种, 如黄嘴潜鸟(*Gavia adamsii*)、长嘴斑海雀(*Brachyramphus perdix*)和长尾贼鸥(*Remco Steggarde*)等<sup>[11-13]</sup>, 表明江苏近海海域具有较高的鸟类多样性水平且亟待系统认识。

近年来, 随着近海海域开发利用强度不断提升, 海洋污染、渔业捕捞、船只旅游以及外来物种捕食等因素不断威胁着近海鸟类的生存质量和多样性水平<sup>[14-19]</sup>。当前, 风电建设和养殖作业是近海海域主要的人为活动之一。有报道显示, 近海养殖会干扰底栖

动物和微生物群落结构以及水环境特征<sup>[20-21]</sup>, 且风电建设也会对鸟类的迁徙、觅食和繁殖等生态活动产生影响, 导致生物量损失和栖息地质量下降<sup>[22-25]</sup>。

本研究通过对江苏近海海域进行不同季节的野外调查, 研究区域内鸟类群落的组成结构和空间分布, 系统梳理近 40 年来(1980 年至今)江苏近海海域的鸟类物种。结合遥感解译和鸟类多样性调查, 探讨近海养殖和风电建设与鸟类多样性的相关性, 为近海海域的合理开发和生态监测提供科学依据。

收稿日期: 2021-08-04; 修回日期: 2022-12-26

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC0507206); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(GYZX210405)

[Foundation: National Key Research and Development Program of China, No. 2018YFC0507206; Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, No. GYZX210405]

作者简介: 刘威(1993—), 男, 江苏南京人, 助理研究员, 主要从事湿地生态学、资源与环境方面研究, E-mail: Lw\_ecology@163.com; 徐海根(1963—), 通信作者, 研究员, 主要从事生物多样性研究, E-mail: xhg@nies.org

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地点及研究对象

江苏省地处我国沿海中部,管理海岸线北起连云港市赣榆区的绣针河口,南抵长江口北岸,管理海域总面积 1.18 万 km<sup>2</sup>,其中连云港近海 2 012 km<sup>2</sup>,盐城 5 874 km<sup>2</sup>,南通 3 885 km<sup>2</sup>。江苏海域共辖海岛 32 个,是全国海岛数量较少的沿海省份之一,总面积为 59 km<sup>2</sup>,海岛岸线长度为 94.3 km,海岛潮间带面积 9.2 km<sup>2</sup>[26]。江苏近海海域生物资源丰富,是鱼类、大型底栖动物、鸟类、鲸豚类的重要栖息地。江苏沿海位于我国黄渤海生物多样性保护优先区域以及东亚-澳大利西亚迁徙路线中段,承载着较高的鸟类多样性和众多珍稀濒危物种[27-28]。

### 1.2 近海海域鸟类调查及资料收集

调查团队于 2020 年春、夏、秋、冬四个季节对

江苏近海海域开展鸟类多样性调查,出海地点从南至北依次为南通如东县、盐城东台县、盐城射阳县、连云港灌云县以及连云港东西连岛,航迹分别编号为 L1~L5(图 1)。调查团队由具有鸟类调查基础、鸟类物种辨识能力较高的专业人员组成,调查中使用双筒望远镜和单筒望远镜进行白天长时间观察,辅以长焦镜头和相机进行拍照识别。调查过程中,记录鸟类物种、个体数、活动状态、经纬度、威胁因素及干扰强度。基于中国知网等数据库和专家咨询,整理历年来江苏省近海海域相关文献、专著和公民观鸟记录。鸟类分类体系参照《中国鸟类分类与分布名录》(第三版)[29],保护等级参照 2021 年新调整的《国家重点保护野生动物名录》[30],受威胁等级参照世界自然保护联盟濒危物种红色名录(IUCN Red List of Threatened Species)[31]和《中国脊椎动物红色名录》[32]。

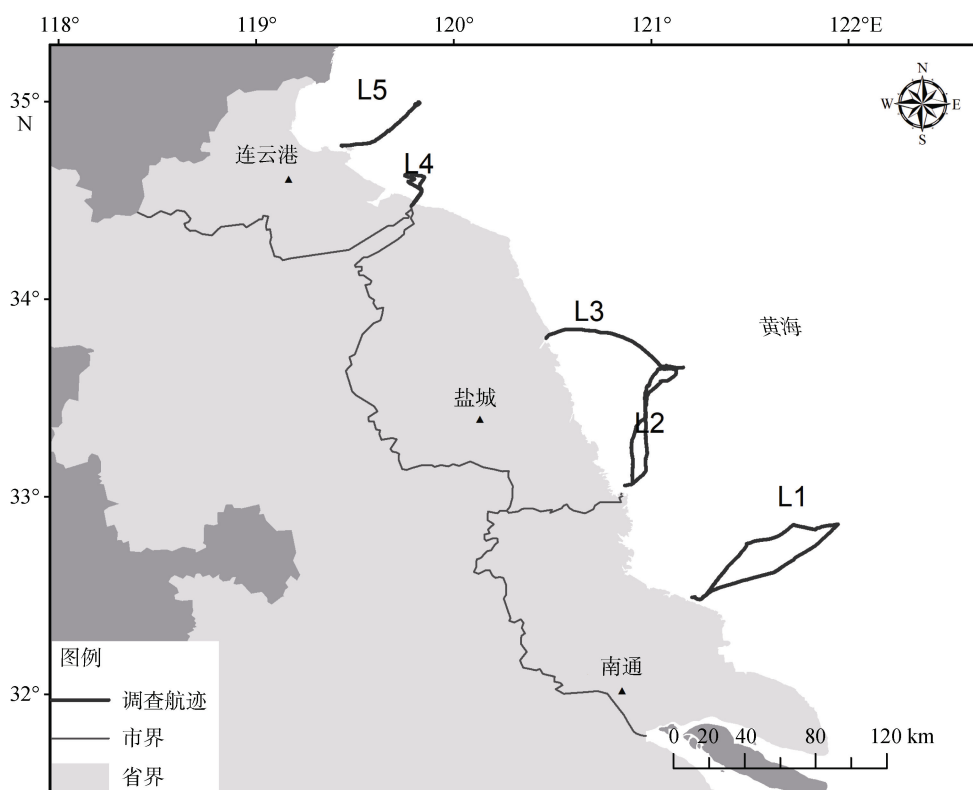


图 1 江苏近海海域鸟类调查航迹

Fig. 1 Bird survey line in the coastal waters of Jiangsu Province

### 1.3 筏式养殖和风电场数据提取

选取 2020—2021 年间 8 幅卫星遥感影像,采用的卫星数据来源于高分一号(GF-1)和 Landsat 8 卫星,采集时间为当日低潮期间,云量小于 3%。在遥感图像

直方图中,风电机和筏式养殖与海水背景呈现明显的反射率差异,可根据高清影像进行目视解译,并利用 ArcGIS 10.2 软件进行矢量化。获取江苏近海海域风电建设和筏式养殖空间数据集,分析其现状特征。

### 1.4 数据处理

物种多样性指数是研究群落结构特征的一种方法。它可以用来比较栖息在不同生境中或同一生境在不同的时间内鸟类群落内种类的多少和各种间个体数的分布均匀性,是测定鸟类群落丰富度的指标。在此,我们将其用来比较江苏近海海域鸟类多样性的时空变化。以 Shannon-Wiener 指数测算物种多样性和 Pielou 指数测算群落均匀度水平。

Shannon-Wiener 多样性指数<sup>[33]</sup>:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i,$$

Pielou 均匀度指数<sup>[34]</sup>:

$$J = H' / \ln S,$$

式中, S 为鸟类数量;  $P_i$  为第  $i$  种鸟个体数量占全部鸟种个体数量的比例。

数据处理和统计分析使用 SPSS 20.0 软件。为保证统计的准确性,所有数据均先采用 Kolmogorov-Smirnov 方法检验数据的正态性。将鸟类多度和丰度作为因变量,观测点距风电场和筏式养殖区的直线距离为因变量。距离为 0 m 表示观测点在风电场或筏式养殖区域内。利用 Pearson 相关性分析检验鸟类多度和丰度与风电场、筏式养殖在距离尺度上有无

相关性,显著性水平设置为  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 江苏近海鸟类组成及多样性变化

本次系统调查共发现江苏近海海域鸟类 69 种 2 393 只,隶属于 11 目 27 科(表 1)。其中,鸨形目和雀形目鸟类是江苏近海海域上的优势类群,物种数皆为 22 种,个体数分别为 1 464 只和 148 只。鸕形目鸟类在江苏近海海域具有稳定的存在,本次调查统计到 18 只黑叉尾海燕(*Hydrobates monorhis*)。江苏近海海域不仅为鸕形目等海鸟的重要栖息地,也对鸨形目、雀形目、鸽形目等鸟类的觅食、迁徙和越冬行为起到重要的支撑作用。根据 2021 年发布的《国家重点保护野生动物名录》<sup>[30]</sup>,江苏近海出现国家一级保护鸟类 1 种,黑嘴鸥(*Saundersilarus saundersi*);国家二级保护鸟类 8 种,为白腰杓鹬(*Numenius arquata*)、大杓鹬(*Numenius madagascariensis*)、翻石鹬(*Arenaria interpres*)等。根据世界自然保护联盟(IUCN, 2020)<sup>[31]</sup>,濒危(Endangered)鸟类 1 种,易危(Vulnerable)鸟类 2 种,近危(Near Threatened)鸟类 4 种。《中国脊椎动物红色名录》<sup>[32]</sup>中易危鸟类 2 种,近危鸟类 6 种,数据缺乏(Data Deficient)鸟类 2 种。

表 1 江苏近海海域调查鸟类群落结构

Tab. 1 Structure of the bird community in Jiangsu offshore waters

目	科数	占总科数比例/%	物种数量	占总物种数量比例/%	个体数量/只	占总个体数比例/%
雁形目	1	3.70	8	11.59	673	28.12
鸕形目	1	3.70	2	2.90	5	0.21
鹤形目	1	3.70	1	1.45	23	0.96
鸨形目	5	18.52	22	31.88	1 464	61.18
鸕形目	1	3.70	1	1.45	18	0.75
鹬形目	1	3.70	5	7.25	49	2.05
鹰形目	1	3.70	2	2.90	3	0.13
隼形目	1	3.70	3	4.35	4	0.17
雀形目	13	48.15	22	31.88	148	6.18
鸽形目	1	3.70	2	2.90	5	0.21
佛法僧目	1	3.70	1	1.45	1	0.04
总计	27	100	69	100	2 393	100

结合资料调研和本次调查,本研究将江苏近海海域记录鸟类丰富到 182 种(表 2),包括鸕形目、潜鸟目、鳀鸟目等海洋性鸟类以及雀形目、鸽形目等陆域鸟类。2020 年调查到的鸟类物种占总记录鸟种数的 37.91%,首次记录到的鸟种有 27 种,主要为雁形目、鸨形目、隼形目和雀形目鸟类。32 种鸟类在近 30 年后再次在江

苏海域得到记录,96 种鸟类在近 30 年间未能得到记录,主要为 20 世纪 70~90 年代在前三岛调查鸟种,包括雀形目、鸨形目、鸕形目、鳀鸟目等鸟类<sup>[10]</sup>。参照《中国鸟类分类与分布名录》(第三版)<sup>[29]</sup>以及中国观鸟记录中心数据,文献记录的乌嘴柳莺、金眶鸕鹚和粉红胸鹳暂未收到江苏类名录中。

表 2 江苏近海海域鸟类名录  
Tab. 2 List of bird species in Jiangsu offshore waters

序号	目	科	中文名	拉丁名	英文名	IUCN 红色名录等级	国家保护动物等级	中国物种红色名录	年度	数据来源
1	鸡形目	雉科	鹌鹑*	<i>Coturnix japonica</i>	Japanese Quail	NT		LC	1982、1991	[10]
2	雁形目	鸭科	罗纹鸭	<i>Mareca falcata</i>	Falcatad Duck	NT		NT	2020	1
3	雁形目	鸭科	绿头鸭	<i>Anas platyrhynchos</i>	Mallard	LC		LC	2020	1
4	雁形目	鸭科	斑嘴鸭	<i>Anas zonorhyncha</i>	Eastern Spot-billed Duck	LC		LC	2020	1
5	雁形目	鸭科	绿翅鸭	<i>Anas crecca</i>	Green-winged Teal	LC		LC	2020	1
6	雁形目	鸭科	白眉鸭	<i>Spatula querquedula</i>	Garganey	LC		LC	2020	1
7	雁形目	鸭科	斑脸海番鸭*	<i>Melanitta fusca</i>	Velvet Scoter	VU		NT	2010、2018、2020	1、2
8	雁形目	鸭科	长尾鸭*	<i>Clangula hyemalis</i>	Long-tailed Duck	NT		DD	2012	2
9	雁形目	鸭科	普通秋沙鸭	<i>Mergus merganser</i>	Common Merganser	LC		LC	2020	1
10	雁形目	鸭科	红胸秋沙鸭*	<i>Mergus serrator</i>	Red-breasted Merganser	LC		LC	2010、2020	1
11	鸕鹚目	鸕鹚科	小鸕鹚	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	Little Grebe	LC		LC	2020	1
12	鸕鹚目	鸕鹚科	凤头鸕鹚*	<i>Podiceps cristatus</i>	Great Crested Grebe	LC		LC	2010、2016、2020	1、[12]
13	鸽形目	鸠鸽科	山斑鸠*	<i>Streptopelia orientalis</i>	Oriental Turtle Dove	LC		LC	1990、2020	1、[10]
14	鸽形目	鸠鸽科	火斑鸠*	<i>Streptopelia tranquebarica</i>	Red Turtle Dove	NT		LC	1983、1990	[10]
15	鸽形目	鸠鸽科	珠颈斑鸠*	<i>Streptopelia chinensis</i>	Spotted Dove	LC		LC	1990、2020	1、[10]
16	夜鹰目	雨燕科	短嘴金丝燕*	<i>Aerodramus brevirostris</i>	Himalayan Swiftlet	LC		NT	2019	2
17	夜鹰目	雨燕科	白腰雨燕*	<i>Apus pacificus</i>	Fork-tailed Swift	NT		DD	1983、1990、2012	2、[10]
18	鹤形目	秧鸡科	小田鸡*	<i>Zapornia pusilla</i>	Baillon's Crake	NT		LC	1982	[10]
19	鹤形目	秧鸡科	白胸苦恶鸟*	<i>Amaurornis phoenicurus</i>	White-breasted Waterhen	NT		LC	1983	[10]
20	鹤形目	秧鸡科	白骨顶	<i>Fulica atra</i>	Common Coot	LC		LC	2020	1
21	鹤形目	鸻科	灰鸻	<i>Pluvialis squatarola</i>	Grey Plover	LC		LC	2020	1

续表

序号	目	科	中文名	拉丁名	英文名	IUCN 红色名录等级	国家保护动物等级	中国物种红色名录	年度	数据来源
22	鸻形目	鸻科	丘鹑	<i>Scelopax rusticola</i>	Eurasian Woodcock	LC		LC	2020	1
23	鸻形目	鸻科	针尾沙锥*	<i>Gallinago stenura</i>	Pintail Snipe	NT		LC	1983、1990	[10]
24	鸻形目	鸻科	扇尾沙锥*	<i>Gallinago gallinago</i>	Common Snipe	NT		LC	1991	[10]
25	鸻形目	鸻科	小杓鹑*	<i>Numenius minutus</i>	Little Curlew	NT	二级	NT	1991	[10]
26	鸻形目	鸻科	中杓鹑*	<i>Numenius phaeopus</i>	Whimbrel	LC		LC	1991、2020	1、[10]
27	鸻形目	鸻科	白腰杓鹑	<i>Numenius arquata</i>	Eurasian Curlew	NT	二级	NT	2020	1
28	鸻形目	鸻科	大杓鹑*	<i>Numenius madagascariensis</i>	Eastern Curlew	EN	二级	VU	1991、2020	1、[10]
29	鸻形目	鸻科	林鹑*	<i>Tringa glareola</i>	Wood Sandpiper	NT		LC	1990	[10]
30	鸻形目	鸻科	矶鹑*	<i>Actitis hypoleucos</i>	Common Sandpiper	LC		LC	1990、2020	1、[10]
31	鸻形目	鸻科	翻石鹑	<i>Arenaria interpres</i>	Ruddy Turnstone	LC	二级	LC	2020	1
32	鸻形目	鸻科	黑腹滨鹑	<i>Calidris alpina</i>	Dunlin	LC		LC	2020	1
33	鸻形目	三趾鹑科	黄脚三趾鹑*	<i>Turnix tanki</i>	Yellow-legged Buttonquail	NT		LC	1983、1991	[10]
34	鸻形目	燕鹑科	普通燕鹑	<i>Glareola maldivarum</i>	Oriental Pratincole	LC		LC	2020	1
35	鸻形目	燕鹑科	白顶玄燕鹑*	<i>Anous stolidus</i>	Brown Noddy	LC		LC	2019	[13]
36	鸻形目	鸥科	三趾鸥*	<i>Rissa tridactyla</i>	Black-legged Kittiwake	NT		LC	1988	2
37	鸻形目	鸥科	红嘴鸥*	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	Black-headed Gull	LC		LC	1991、2010、2020	1、[10]
38	鸻形目	鸥科	黑嘴鸥	<i>Saundersiarus saundersi</i>	Saunders's Gull	VU	一级	VU	2020	1
39	鸻形目	鸥科	小鸥*	<i>Hydrocoloeus minutus</i>	Little Gull	NT		NT	1988	2
40	鸻形目	鸥科	黑尾鸥*	<i>Larus crassirostris</i>	Black-tailed Gull	LC		LC	1984、1991、2010、2020	1、[10]
41	鸻形目	鸥科	普通海鸥*	<i>Larus canus</i>	Mew Gull	NT		LC	1988、2020	1、[8]、[9]
42	鸻形目	鸥科	小黑背银鸥*	<i>Larus fuscus</i>	Lesser Black-backed Gull	LC		LC	2010、2020	1

续表

序号	目	科	中文名	拉丁名	英文名	IUCN红色名录等级	国家保护动物等级	中国物种红色名录	年度	数据来源
43	鸬形目	鸬科	西伯利亚银鸥*	<i>Larus smithsonianus</i>	Siberian Gull	LC		LC	1991、2010、2020	1、[8]、[9]、[10]
44	鸬形目	鸬科	黄腿银鸥	<i>Larus cachinnans</i>	Caspian Gull	LC		LC	2020	1
45	鸬形目	鸬科	灰背鸥*	<i>Larus schistisagus</i>	Slaty-backed Gull	LC		LC	1988、2020	1、2
46	鸬形目	鸬科	鸥嘴噪鸥	<i>Gelochelidon nilotica</i>	Gull-billed Tern	LC		LC	2020	1
47	鸬形目	鸬科	白额燕鸥*	<i>Sternula albifrons</i>	Little Tern	LC		LC	1988、1990、2020	1、[10]
48	鸬形目	鸬科	乌燕鸥*	<i>Onychoprion fuscatus</i>	Sooty Tern	NT		LC	1988	2
49	鸬形目	鸬科	黑枕燕鸥*	<i>Sterna sumatrana</i>	Black-naped Tern	NT		LC	1988	[8]、[9]
50	鸬形目	鸬科	普通燕鸥*	<i>Sterna hirundo</i>	Common Tern	LC		LC	1988、2010、2020	1
51	鸬形目	鸬科	黑腹燕鸥*	<i>Sterna acuticauda</i>	Black-bellied Tern	NT		EN	1988	2
52	鸬形目	鸬科	灰翅浮鸥	<i>Chlidonias hybrida</i>	Whiskered Tern	LC		LC	2020	1
53	鸬形目	鸬科	白翅浮鸥*	<i>Chlidonias leucopterus</i>	White-winged Tern	LC		LC	1988、1991、2010、2020	1、[10]
54	鸬形目	贼鸥科	长尾贼鸥*	<i>Stercorarius longicaudus</i>	Long-tailed Jaeger	LC		LC	2019	[13]
55	鸬形目	贼鸥科	中贼鸥*	<i>Stercorarius pomarinus</i>	Pomarine Skua	NT		LC	1988	2
56	鸬形目	海雀科	长嘴斑海雀*	<i>Brachyramphus perdix</i>	Long-billed Murrelet	NT		DD	2015、2016、2020	1、[12]
57	鸬形目	海雀科	扁嘴海雀*	<i>Synthliboramphus antiquus</i>	Ancient Murrelet	NT		NT	1979-1990、2010、2018	2
58	潜鸟目	潜鸟科	红喉潜鸟*	<i>Gavia stellata</i>	Red-throated Diver	NT		LC	2017	2
59	潜鸟目	潜鸟科	黑喉潜鸟*	<i>Gavia arctica</i>	Black-throated Diver	NT		LC	1980、1983、2009、2010、2013、2015、2016	2、[10]、[11]、[12]
60	潜鸟目	潜鸟科	太平洋潜鸟*	<i>Gavia pacifica</i>	Pacific Diver	NT		DD	/	[8]、[9]
61	潜鸟目	潜鸟科	黄嘴潜鸟*	<i>Gavia adamsii</i>	Yellow-billed Diver	NT		DD	2009、2010	[11]

续表

序号	目	科	中文名	拉丁名	英文名	IUCN 红色名录等级	国家保护动物等级	中国物种红色名录	年度	数据来源
62	鸕形目	信天翁科	短尾信天翁*	<i>Phoebastria albatrus</i>	Short-tailed Albatross	NT		VU	1988	2
63	鸕形目	海燕科	黑叉尾海燕*	<i>Hydrobates monorhis</i>	Swinhoe's Storm Petrel	NT		DD	1980、1983、1988、2010、2020	1、[10]
64	鸕形目	海燕科	黄蹼洋海燕*	<i>Oceanites oceanicus</i>	Wilson's Storm Petrel	NT		DD	1991	[10]
65	鸕形目	鸕科	白额鸕*	<i>Calonectris leucomelas</i>	Streaked Shearwater	NT		DD	1983、1988、1990、2010	[10]
66	鸕形目	鸕科	黑鸕*	<i>Ciconia nigra</i>	Black Stork	NT	一级	VU	1983	[8]、[10]
67	鸕形目	军舰鸟科	白腹军舰鸟*	<i>Fregata andrewsi</i>	Christmas Island Frigatebird	NT	一级	DD	1988	[8]
68	鸕形目	军舰鸟科	黑腹军舰鸟*	<i>Fregata minor</i>	Great Frigatebird	NT	二级	LC	1988	[8]、[9]
69	鸕形目	军舰鸟科	白斑军舰鸟*	<i>Fregata ariel</i>	Lesser Frigatebird	NT	二级	DD	2008	2
70	鸕形目	鸕科	褐鸕*	<i>Sula leucogaster</i>	Brown Booby	NT	二级	LC	/	[9]
71	鸕形目	鸕科	海鸕*	<i>Phalacrocorax pelagicus</i>	Pelagic Cormorant	NT	二级	DD	1982、1990、1991、2014	2、[10]
72	鸕形目	鸕科	普通鸕*	<i>Phalacrocorax carbo</i>	Great Cormorant	NT		LC	1988	2
73	鸕形目	鸕科	绿背鸕*	<i>Phalacrocorax capillatus</i>	Japanese Cormorant	NT		DD	1988、2010、2018	2
74	鸕形目	鸕科	栗头鸕*	<i>Gorsachius goisagi</i>	Japanese Night Heron	NT	二级	DD	1991	[10]
75	鸕形目	鸕科	夜鸕*	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Black-crowned Night Heron	LC		LC	1983、2020	1、[10]
76	鸕形目	鸕科	池鸕*	<i>Ardeola bacchus</i>	Chinese Pond Heron	LC		LC	1983、1991、2020	1、[10]
77	鸕形目	鸕科	苍鸕*	<i>Ardea cinerea</i>	Grey Heron	LC		LC	1990、2020	1、[10]
78	鸕形目	鸕科	大白鸕	<i>Ardea alba</i>	Great Egret	LC		LC	2020	1
79	鸕形目	鸕科	白鸕*	<i>Egretta garzetta</i>	Little Egret	LC		LC	1991、2020	1、[10]
80	鸕形目	鸕科	黄嘴白鸕*	<i>Egretta eulophotes</i>	Chinese Egret	NT	一级	VU	1985、1991	3、[10]
81	鸕形目	鸕科	斑嘴鸕*	<i>Pelecanus philippensis</i>	Spot-billed Pelican	NT		EN	1988	2

续表

序号	目	科	中文名	拉丁名	英文名	IUCN 红色名录等级	国家保护动物等级	中国物种红色名录	年度	数据来源
82	鹰形目	鹰科	黑翅鸢	<i>Elanus caeruleus</i>	Black-winged Kite	LC	二级	NT	2020	1
83	鹰形目	鹰科	凤头蜂鹰	<i>Pernis ptilorhynchus</i>	Oriental Honey Buzzard	LC	二级	NT	2019	2
84	鹰形目	鹰科	赤腹鹰*	<i>Accipiter soloensis</i>	Chinese Sparrowhawk	NT	二级	LC	1983、1990	[10]
85	鹰形目	鹰科	松雀鹰*	<i>Accipiter virgatus</i>	Besra	NT	二级	LC	1983、1991	[10]
86	鹰形目	鹰科	雀鹰*	<i>Accipiter nisus</i>	Eurasian Sparrowhawk	NT	二级	LC	1983、1991	[10]
87	鹰形目	鹰科	苍鹰*	<i>Accipiter gentilis</i>	Northern Goshawk	NT	二级	NT	1984、1991	[10]
88	鹰形目	鹰科	白尾鵟*	<i>Circus cyaneus</i>	Hen Harrier	NT	二级	NT	1983	[10]
89	鹰形目	鹰科	普通鵟*	<i>Buteo japonicus</i>	Eastern Buzzard	LC	二级	LC	1990、2020	1、[10]
90	鸮形目	鸮鸮科	红角鸮*	<i>Otus sunia</i>	Oriental Scops Owl	NT	二级	LC	1982	[10]
91	鸮形目	鸮鸮科	纵纹腹小鸮*	<i>Athene noctua</i>	Little Owl	NT	二级	LC	1983	[10]
92	鸮形目	鸮鸮科	长耳鸮*	<i>Asio otus</i>	Long-eared Owl	NT	二级	LC	1982、1990	[10]
93	犀鸟目	戴胜科	戴胜*	<i>Upupa epops</i>	Common Hoopoe	NT		LC	1984、1990、1991	[10]
94	佛法僧目	佛法僧科	三宝鸟*	<i>Eurystomus orientalis</i>	Dollarbird	NT		LC	1982	[10]
95	佛法僧目	翠鸟科	蓝翡翠*	<i>Halcyon pileata</i>	Black-capped Kingfisher	NT		LC	1982、1990	[10]
96	佛法僧目	翠鸟科	普通翠鸟*	<i>Alcedo atthis</i>	Common Kingfisher	LC		LC	1991、2020	1、[10]
97	啄木鸟目	啄木鸟科	蚊鴉*	<i>Jynx torquilla</i>	Eurasian Wryneck	NT		LC	1991	[10]
98	隼形目	隼科	红隼*	<i>Falco tinnunculus</i>	Common Kestrel	LC	二级	LC	1982、1990、1991、2020	1、[10]
99	隼形目	隼科	红脚隼	<i>Falco amurensis</i>	Amur Falcon	LC	二级	NT	2020	1
100	隼形目	隼科	灰背隼*	<i>Falco columbarius</i>	Merlin	NT	二级	NT	1991	[10]
101	隼形目	隼科	燕隼*	<i>Falco subbuteo</i>	Eurasian Hobby	NT	二级	LC	1991	[10]
102	隼形目	隼科	游隼	<i>Falco peregrinus</i>	Peregrine Falcon	LC	二级	NT	2020	1



续表

序号	目	科	中文名	拉丁名	英文名	IUCN红色名录等级	国家保护动物等级	中国物种红色名录	年度	数据来源
103	雀形目	黄鹡科	黑枕黄鹡*	<i>Oriolus chinensis</i>	Black-naped Oriole	LC		LC	1990、1991、2020	1、[10]
104	雀形目	山椒鸟科	灰山椒鸟*	<i>Pericrocotus divaricatus</i>	Ashy Minivet	NT		LC	1991	[10]
105	雀形目	卷尾科	发冠卷尾*	<i>Dicurus hottentotus</i>	Hair-crested Drongo	NT		LC	1983	[10]
106	雀形目	王鹟科	寿带*	<i>Terpsiphone incei</i>	Amur Paradise-Flycatcher	NT		NT	1983	[10]
107	雀形目	伯劳科	牛头伯劳*	<i>Lanius bucephalus</i>	Bull-headed Shrike	NT		LC	1990	[10]
108	雀形目	伯劳科	红尾伯劳*	<i>Lanius cristatus</i>	Brown Shrike	NT		LC	1990	[10]
109	雀形目	伯劳科	棕背伯劳*	<i>Lanius schach</i>	Long-tailed Shrike	NT		LC	1990	[10]
110	雀形目	鸦科	喜鹊	<i>Pica pica</i>	Common Magpie	LC		LC	2020	1
111	雀形目	山雀科	煤山雀*	<i>Pariparus ater</i>	Coal Tit	NT		LC	1982	[10]
112	雀形目	百灵科	云雀*	<i>Alauda arvensis</i>	Eurasian Skylark	NT	二级	LC	1991	[10]
113	雀形目	扇尾莺科	棕扇尾莺*	<i>Cisticola juncidis</i>	Zitting Cisticola	NT		LC	1991	[10]
114	雀形目	扇尾莺科	纯色山鹡莺	<i>Prinia inornata</i>	Plain Prinia	LC		LC	2020	1
115	雀形目	苇莺科	大苇莺*	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	Great Reed Warbler	NT		LC	1991	[10]
116	雀形目	苇莺科	黑眉苇莺*	<i>Acrocephalus bistrigiceps</i>	Black-browed Reed Warbler	NT		LC	1991	[10]
117	雀形目	蝗莺科	矛斑蝗莺*	<i>Locustella lanceolata</i>	Lanceolated Warbler	NT		NT	1991	[10]
118	雀形目	燕科	家燕*	<i>Hirundo rustica</i>	Barn Swallow	LC		LC	1983、2020	1、[10]
119	雀形目	燕科	烟腹毛脚燕*	<i>Delichon dasypus</i>	Asian House Martin	NT		LC	1983	[10]
120	雀形目	燕科	金腰燕*	<i>Cecropis daurica</i>	Red-rumped Swallow	LC		LC	2020	1
121	雀形目	鹀科	白头鹀	<i>Pycnonotus sinensis</i>	Light-vented Bulbul	LC		LC	2020	1
122	雀形目	柳莺科	褐柳莺	<i>Phylloscopus fuscatus</i>	Dusky Warbler	LC		LC	2020	1
123	雀形目	柳莺科	黄腰柳莺*	<i>Phylloscopus proregulus</i>	Pallas's Leaf Warbler	LC		LC	1990、2020	1、[10]
124	雀形目	柳莺科	黄眉柳莺*	<i>Phylloscopus inornatus</i>	Yellow-browed Warbler	LC		LC	1990、1991、2020	1、[10]

续表

序号	目	科	中文名	拉丁名	英文名	IUCN红色名录等级	国家保护动物等级	中国物种红色名录	年度	数据来源
125	雀形目	柳莺科	极北柳莺*	<i>Phylloscopus borealis</i>	Arctic Warbler	LC		LC	1990、2020	1、[10]
126	雀形目	柳莺科	乌嘴柳莺*-	<i>Phylloscopus magnirostris</i>	Large-billed Leaf Warbler	NT		LC	1982、1983	[10]
127	雀形目	柳莺科	冕柳莺*	<i>Phylloscopus coronatus</i>	Eastern Crowned Warbler	NT		LC	1983、1990	[10]
128	雀形目	柳莺科	金眶鸫莺*-	<i>Seiurus burkii</i>	Green-crowned Warbler	NT		LC	1983、1991	[10]
129	雀形目	树莺科	鳞头树莺*	<i>Urosphena squameiceps</i>	Asian Stubtail	NT		LC	1983	[10]
130	雀形目	绣眼鸟科	暗绿绣眼鸟*	<i>Zosterops japonicus</i>	Japanese White-eye	NT		LC	1990、1991	[10]
131	雀形目	鹟科	鹟*	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Eurasian Wren	NT		LC	1982	[10]
132	雀形目	棕鸟科	灰棕鸟*	<i>Spodiopsar cineraceus</i>	White-checked Starling	NT		LC	1983、1990、1991	[10]
133	雀形目	棕鸟科	北棕鸟*	<i>Agropsar sturninus</i>	Daurian Starling	NT		LC	1983、1991	[10]
134	雀形目	鹟科	虎斑地鸫*	<i>Zoothera aurea</i>	White's Thrush	NT		LC	1983、1990、1991	[10]
135	雀形目	鹟科	灰背鸫*	<i>Turdus hortulorum</i>	Grey-backed Thrush	NT		LC	1982、1991	[10]
136	雀形目	鹟科	白腹鸫*	<i>Turdus pallidus</i>	Pale Thrush	NT		LC	1990、1991	[10]
137	雀形目	鹟科	斑鸫*	<i>Turdus eunomus</i>	Dusky Thrush	LC		LC	1990、1991、2020	1、[10]
138	雀形目	鹟科	日本歌鸫*	<i>Larvivora akahige</i>	Japanese Robin	NT		LC	1991	[10]
139	雀形目	鹟科	红喉歌鸫*	<i>Calliope calliope</i>	Siberian Rubythroat	NT	二级	DD	2012	2
140	雀形目	鹟科	蓝喉歌鸫*	<i>Luscinia svecica</i>	Bluethroat	NT	二级	LC	1991	[10]
141	雀形目	鹟科	红胁蓝尾鸫*	<i>Tarsiger cyanurus</i>	Orange-flanked Bluetail	NT		LC	1990、1991	[10]
142	雀形目	鹟科	北红尾鸫*	<i>Phoenicurus aureus</i>	Daurian Redstart	LC		LC	1990、1991、2020	1、[10]
143	雀形目	鹟科	黑喉石鹟*	<i>Saxicola maurus</i>	Siberian Stonechat	NT		DD	1990、1991、2012	2、[10]
144	雀形目	鹟科	蓝矶鸫*	<i>Monticola solitarius</i>	Blue Rock Thrush	NT		LC	1991	[10]
145	雀形目	鹟科	灰纹鸫*	<i>Muscicapa griseisticta</i>	Grey-streaked Flycatcher	NT		LC	1990	[10]
146	雀形目	鹟科	乌鸫*	<i>Muscicapa sibirica</i>	Dark-sided Flycatcher	NT		LC	1990	[10]

续表

序号	目	科	中文名	拉丁名	英文名	IUCN 红色名录等级	国家保护动物等级	中国物种红色名录	年度	数据来源
147	雀形目	鸫科	北灰鸫*	<i>Muscicapa dauurica</i>	Asian Brown Flycatcher	NT		LC	1991	[10]
148	雀形目	鸫科	白眉姬鸫*	<i>Ficedula zanthopygia</i>	Yellow-rumped Flycatcher	NT		LC	1990	[10]
149	雀形目	鸫科	鸫姬鸫*	<i>Ficedula mugimaki</i>	Mugimaki Flycatcher	NT		LC	1983	[10]
150	雀形目	鸫科	红喉姬鸫*	<i>Ficedula albicilla</i>	Taiga Flycatcher	NT		LC	1983	[10]
151	雀形目	鸫科	白腹蓝鸫*	<i>Cyanoptila cyanomelana</i>	Blue-and-white Flycatcher	NT		LC	1983	[10]
152	雀形目	戴菊科	戴菊*	<i>Regulus regulus</i>	Goldcrest	LC		LC	1982, 1991, 2020	1, [10]
153	雀形目	太平鸟科	小太平鸟*	<i>Bombycilla japonica</i>	Japanese Waxwing	NT		LC	1991	[10]
154	雀形目	雀科	麻雀*	<i>Passer montanus</i>	Eurasian Tree Sparrow	NT		LC	1990, 1991	[10]
155	雀形目	鹡鸰科	山鹡鸰*	<i>Dendronanthus indicus</i>	Forest Wagtail	NT		LC	1990	[10]
156	雀形目	鹡鸰科	黄鹡鸰*	<i>Motacilla tschutschensis</i>	Eastern Yellow Wagtail	NT		LC	1991	[10]
157	雀形目	鹡鸰科	灰鹡鸰*	<i>Motacilla cinerea</i>	Gray Wagtail	NT		LC	1991	[10]
158	雀形目	鹡鸰科	白鹡鸰*	<i>Motacilla alba</i>	White Wagtail	LC		LC	1991, 2020	1, [10]
159	雀形目	鹡鸰科	田鸻*	<i>Anthus richardi</i>	Richard's Pipit	LC		LC	1983, 2020	1, [10]
160	雀形目	鹡鸰科	树鸻*	<i>Anthus hodgsoni</i>	Olive-backed Pipit	LC		LC	1990, 1991, 2020	1, [10]
161	雀形目	鹡鸰科	北鸻*	<i>Anthus gustavi</i>	Pechora Pipit	NT		DD	1983, 2012	2, [10]
162	雀形目	鹡鸰科	粉红胸鸻*	<i>Anthus roseatus</i>	Rosy Pipit	NT		LC	1982	[10]
163	雀形目	鹡鸰科	水鸻*	<i>Anthus spinoletta</i>	Water Pipit	NT		LC	1983	[10]
164	雀形目	鹡鸰科	山鸻*	<i>Anthus sylvanus</i>	Upland Pipit	NT		LC	1990	[10]
165	雀形目	燕雀科	燕雀*	<i>Fringilla montifringilla</i>	Brambling	LC		LC	1990, 1991, 2020	1, [10]
166	雀形目	燕雀科	黑尾蜡嘴雀*	<i>Eophona migratoria</i>	Chinese Grosbeak	NT		LC	1990, 1991	[10]
167	雀形目	燕雀科	黑头蜡嘴雀*	<i>Eophona personata</i>	Japanese Grosbeak	NT		NT	1990, 1991	[10]
168	雀形目	燕雀科	红腹灰雀*	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	Eurasian Bullfinch	NT		LC	1982	[10]

续表

序号	目	科	中文名	拉丁名	英文名	IUCN 红色名录等级	国家保护动物等级	中国物种红色名录	年度	数据来源
169	雀形目	燕雀科	北朱雀*	<i>Carpodacus roseus</i>	Pallas's Rosefinch	NT	二级	LC	1982、1990、1991	[10]
170	雀形目	燕雀科	金翅雀*	<i>Chloris sinica</i>	Grey-capped Greenfinch	NT		LC	1990	[10]
171	雀形目	燕雀科	黄雀*	<i>Spinus spinus</i>	Eurasian Siskin	LC		LC	1990、1991、2020	1、[10]
172	雀形目	鹀科	白头鹀*	<i>Emberiza leucocephalos</i>	Pine Bunting	NT		LC	1983	[10]
173	雀形目	鹀科	三道眉草鹀*	<i>Emberiza cioides</i>	Meadow Bunting	NT		LC	1982	[10]
174	雀形目	鹀科	小鹀*	<i>Emberiza pusilla</i>	Little Bunting	LC		LC	1982、1991、1992、2020	1、[10]
175	雀形目	鹀科	黄眉鹀*	<i>Emberiza chrysophrys</i>	Yellow-browed Bunting	LC		LC	1982、1983、1991、2020	1、[10]
176	雀形目	鹀科	田鹀*	<i>Emberiza rustica</i>	Rustic Bunting	NT		LC	1982、1991	[10]
177	雀形目	鹀科	黄喉鹀*	<i>Emberiza elegans</i>	Yellow-throated Bunting	LC		LC	1982、1990、1991、2020	1、[10]
178	雀形目	鹀科	黄胸鹀*	<i>Emberiza aureola</i>	Yellow-breasted Bunting	NT	一级	EN	1982、1991	[10]
179	雀形目	鹀科	栗鹀*	<i>Emberiza rutila</i>	Chestnut Bunting	NT		LC	1982、1983	[10]
180	雀形目	鹀科	硫黄鹀*	<i>Emberiza sulphurata</i>	Yellow Bunting	NT		VU	1991	[10]
181	雀形目	鹀科	灰头鹀*	<i>Emberiza spodocephala</i>	Black-faced Bunting	NT		LC	1990、1991	[10]
182	雀形目	鹀科	芦鹀*	<i>Emberiza schoeniclus</i>	Reed Bunting	NT		LC	1991	[10]

注: \*表示有历史记录鸟类, -表示该物种暂未收录到江苏鸟类名录; []中数字为参考文献序号; 1: 本研究; 2: 公民科学记录鸟种。

## 2.2 江苏近海鸟类时空分布特征

江苏近海海域中, 鸟类多样性水平存在着时空分布差异(表 3)。连云港地区在春季调查到鸟类物种数和 Shannon-Wiener 多样性指数最高, 夏季个体数最多; Pielou 均匀度指数表明冬季时, 连云港地区的鸟类物种和个体数组成较为均衡。盐城地区在秋季调查到的鸟类物种数和个体数最多, 而 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数最低, 表明秋季时盐城主要由迁徙鸟类组成, 优势种明显。南通地区在冬季时鸟类物种数、个体数和 Shannon-Wiener 多样性指数最高, 表明该季节南通近海海域鸟类的多度和丰度水平均高于其他阶段。可见, 鸟类多样性水平在江苏近海海域的不同地区呈现出特定的季节变化特征。

表 3 江苏近海海域鸟类多样性时空差异  
Tab. 3 Temporal and spatial differences in bird diversity in the coastal waters of Jiangsu Province

地点	季节	物种数	个体数	Shannon-Wiener Index	Pielou Index
连云港	春	16	86	1.82	0.66
	夏	14	367	1.13	0.43
	秋	3	104	0.48	0.43
	冬	5	36	1.07	0.67
盐城	春	8	28	1.60	0.77
	夏	8	292	1.18	0.57
	秋	25	666	1.00	0.31
	冬	4	14	1.10	0.80
南通	春	7	102	0.93	0.48
	夏	10	164	1.43	0.62
	秋	12	73	1.86	0.75
	冬	27	463	2.35	0.71

## 2.3 江苏近海海域风电建设和筏式养殖现状

基于遥感影像和野外调查, 获取江苏近海海域风电建设和筏式养殖现状数据(图 2)。筏式养殖主要分布在连云港的苏北浅滩, 南通近海浅滩地区也存在一定程度的筏式养殖, 盐城近海海域无较大面积的筏式养殖。筏式养殖在江苏近海海域多存在于浅滩生境中, 且成片分布, 开展紫菜养殖生产。当前风电建设在江苏近海海域皆有分布。其中, 南通近海海

域风电建设强度远高于盐城和连云港地区, 与筏式养殖具有空间上的重叠。连云港近海海域风电建设范围最小, 盐城地区居中。整体上, 风电建设和筏式养殖面积占据了江苏近海海域较大的比例, 是影响生物多样性不可忽视的人为活动因素。

## 2.4 鸟类多样性与风电场和筏式养殖的距离特征

江苏近海海域鸟类多样性水平与风电建设、筏式养殖呈现出特定的季节变化和距离特征。整体上, 四个季节的鸟类多度和丰度与鸟类距风电场距离为正相关关系, 斜率为正值, 表明距风电场越远, 鸟类的物种数和个体数水平更高(图 3)。相关性检验表明鸟类多度与距离变化为显著正相关(Pearson rank correlation,  $r = 0.181$ ,  $N = 214$ ,  $P = 0.008 < 0.05$ ), 即本次调查中鸟类物种数对风电场的敏感性较高。对于筏式养殖, 鸟类的多度(Pearson rank correlation,  $r = -0.369$ ,  $N = 91$ ,  $P = 0.00 < 0.05$ )和丰度(Pearson rank correlation,  $r = -0.349$ ,  $N = 90$ ,  $P = 0.001 < 0.05$ )与距离尺度皆呈现出显著的负相关关系, 斜率为负值, 表明筏式养殖区域对鸟类具有一定的吸引能力(图 4)。夏季(Pearson rank correlation,  $r = -0.325$ ,  $N = 40$ ,  $P = 0.04 < 0.05$ )和冬季(Pearson rank correlation,  $r = -0.519$ ,  $N = 21$ ,  $P = 0.016 < 0.05$ )鸟类的丰度与距离尺度为显著负相关, 春季和秋季相关性不显著。夏季鸟类(Pearson rank correlation,  $r = -0.368$ ,  $N = 40$ ,  $P = 0.019 < 0.05$ )的多度与距离尺度为显著负相关, 其余季节相关性不显著。

## 3 讨论

### 3.1 江苏近海鸟类多样性及重要性

江苏近海海域自 20 世纪 70 年代以来, 一直是江苏鸟类研究关注的重要区域, 包括前三岛鸟类繁殖生态、省级鸟类新纪录的发现等<sup>[10, 35-36]</sup>, 不断丰富着江苏近海海域鸟类的多样性水平。在 1995 年江苏省海岛资源综合调查和 2003 年“908”专项海岛海岸带调查后, 江苏近海海域已近 20 年尚未开展系统的鸟类多样性资源调查。近年来, 江苏近海海域相继开展了针对大型底栖生物、沉积物重金属、微塑料、生态系统服务价值评估和水文特征等方面的系统调查<sup>[37-41]</sup>, 鸟类多样性未能得到足够的关注。本研究系统地梳理了江苏近海鸟类多样性组成。通过本次调查, 结果表明迁徙经过的雀形目、鸽形目以及越冬的雁形目、鹤形目也是江苏近海海域不可忽视的重要组成部分, 具备一定的种群规模。

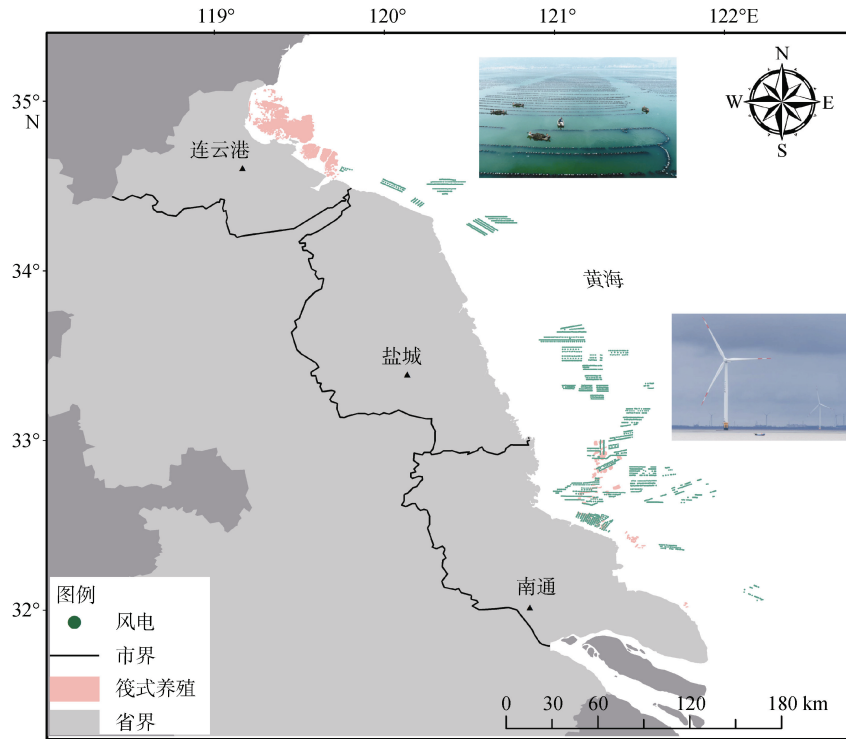


图2 江苏近海海域风电场和筏式养殖

Fig. 2 Wind farms and Raft mariculture in Jiangsu offshore waters

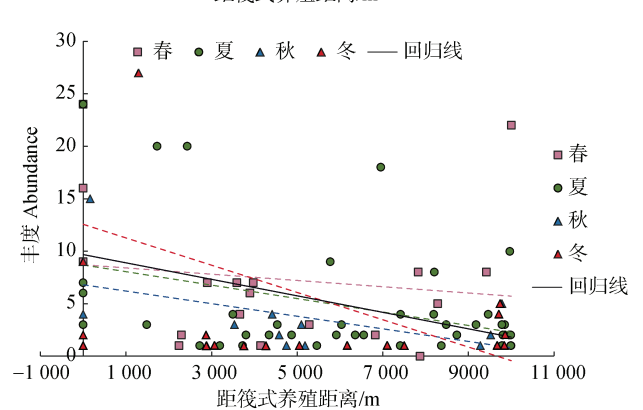
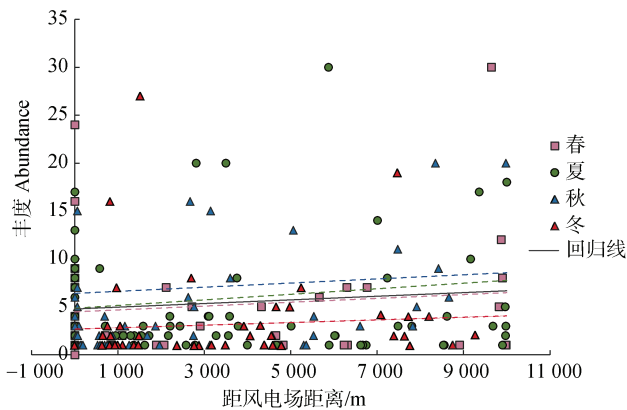
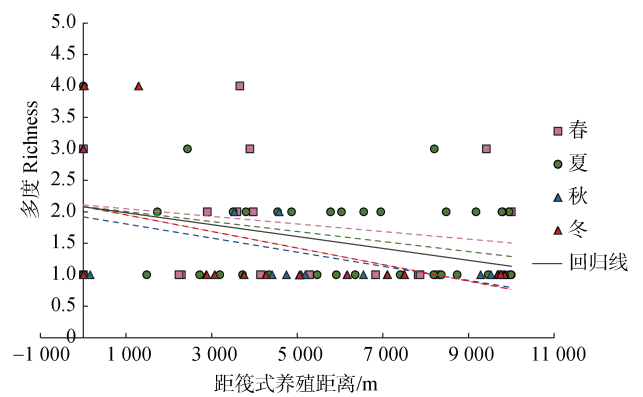
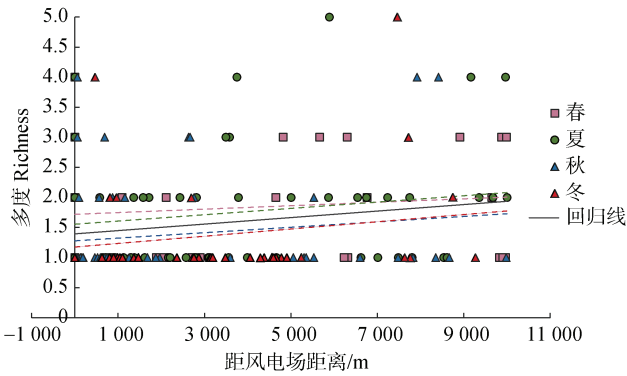


图3 鸟类多度和丰度与距风电场距离关系分析

Fig. 3 Relationship between bird diversity and the distance to wind farms

图4 鸟类多度和丰度与距筏式养殖距离的关系分析

Fig. 4 Relationship between bird diversity and the distance to Raft mariculture

尽管随着沿海开发水平不断提升,江苏近海海域仍是潜鸟目、鸕形目等远洋性鸟类的重要分布区,对于受胁严峻的鸕类保护具有重要意义<sup>[42-43]</sup>。长嘴斑海雀、黑叉尾海燕等 14 种江苏近海海域分布鸟类为《中国脊椎动物红色名录》<sup>[32]</sup>中数据缺乏鸟类, IUCN 红色名录<sup>[31]</sup>中近危鸟类。因此,江苏近海海域鸕形目、鰵鸟目、潜鸟目等罕见鸟类的种群调查对于中国海鸟数据的补充以及全球尺度海洋性鸟类的保护具有重要意义。

### 3.2 风电建设与筏式养殖对鸟类多样性的影响

生境完整性和科学的空间规划是生态系统健康发展的关键要素<sup>[44-47]</sup>。近海海域高强度的人为活动对海洋生物多样性具有较大的扰动影响,导致栖息地丧失和物种受胁水平上升,增加生态系统脆弱性<sup>[14, 19, 48]</sup>。陆地和滨海湿地风电场建设对鸟类多样性的影响已开展了较多研究,主要涉及(1)对鸟类栖息和觅食的影响;(2)对鸟类迁徙的影响;(3)对鸟类存活率的影响;(4)对鸟类繁殖的影响 4 个方面<sup>[22-24, 49]</sup>。我国海上风电场建设对鸟类多样性的研究较少,多为分析风电场建设对鸟类组成的影响<sup>[50-51]</sup>。本研究发现海上鸟类多样性与距风电场距离呈现显著性正相关,鸟类出现明显的规避行为,这与广东连州海上风电场鸟类多样性的变化趋势一致,可能由风电产生的噪声或栖息地性质改变有关<sup>[52]</sup>。

筏式养殖是近海海域重要的支柱产业,在产生经济效益的同时,也会造成近海海域微生物多样性、底栖动物多样性的群落变化以及重金属和抗生素污染等<sup>[20-21, 53]</sup>。本研究开创性地探究了筏式养殖对近海海域鸟类多样性的影响,揭示出筏式养殖区对鸟类具有一定的吸引力。鸟类多度和丰度与筏式养殖的距离特征以及季节变化可能与筏式养殖的生产节律有关。此外,底栖动物作为沿海鸟类的重要食物来源,有研究显示养殖区的底栖动物多样性处于高值状态<sup>[53-54]</sup>,可能是吸引鸟类的重要因素之一。野外调查中发现越冬雁鸭类倾向于隐藏在养殖筏架中,推测筏架对鸟类可能起到一定的隐藏作用且紫菜等也为鸟类提供了食物资源。

### 3.3 江苏海洋生物多样性保护缺陷及相关建议

当前,江苏近海海域面临着过度开发、生态保护不足等发展问题。相比于陆地 18%的保护地比例(超

过 17%的爱知目标),我国 271 个海洋保护地(MPAs)保护面积仅占管辖海域面积的 4.1%,远低于 10%的爱知目标,难以有效保护、维持高水平的海洋生物多样性<sup>[55]</sup>。2012 年,江苏省实施的《江苏省海洋功能区划(2011—2020)》提出至 2020 年,海洋保护区面积将达到省管辖海域面积的 11%以上。而 2018 年出台的《江苏省海洋主体功能区规划》指出江苏省禁止开发区域占全省海洋面积的 6.29%,明显低于 2012 年制定的保护目标以及 10%的爱知目标。

随着海洋强省战略的不断实施,《2020 江苏海洋经济发展指数》指出江苏海洋经济发展水平稳步提高,生态环境状况明显改善,但评价的 23 个三级指标中缺少生物多样性考虑。江苏近海海域生物多样性正面临着多重选择压力,对生态系统服务的影响呈现空间差异化<sup>[38]</sup>。由于开发利用规模较高,植被覆盖度低,秦山岛和开山岛资源环境承载力分别处于临界超载和超载状态<sup>[56]</sup>。

因此,本研究以鸟类为指示生物,提出以下三点保护建议:

(1)将生物多样性纳入江苏海洋生态环境监测网络,扩大海洋生态监控区类型和范围。2015 年,原国家海洋局发布的《国家海洋局关于推进海洋生态环境监测网络建设的意见》指出要开展对典型海洋生态系统、生态功能区、敏感区和脆弱区的连续监测,加强对珍稀濒危海洋生物的专项监测。因此,建议在全省 78 个近岸海域国控监测点位的基础上,增加生物多样性的监测航迹,尤其关注海洋脊椎动物的种群现状和分布格局。同时,对于前三岛、达山岛、麻菜珩、外磕脚等关键区域以及扁嘴海雀、黑叉尾海燕等珍稀濒危物种开展专项调查。

(2)积极构建“海洋命运共同体”,促进海洋保护地体系优化,提升生态系统服务价值。《江苏省海洋生态红线保护规划(2016—2020)》指出到 2020 年划定全省海洋生态红线区 73 个,面积占全省管辖海域的 27.83%,海岛自然岸线保有率达 35%。在国家和江苏省海洋保护政策的指引下,开发出基于生态文明的江苏海洋经济发展新路径。基于江苏近海海域生物多样性和生态系统服务价值的本底数据,选取生态系统保护优先区域,重点关注尚未开发的无人岛、关键物种的活动区域等。

(3)严格把控海洋开发建设,注重环境影响评价。江苏近海海域存在大量旅游建设、风电建设以及人工岛建设等,以往的海洋环境评价对于生物多

样性的损害评估较为薄弱,导致秦山岛等原先鸟类依赖的基岩型岛屿变为人干扰严重的旅游景区,未划定特定的生态保育区和制定生态修复方案。本研究建议一方面加强对尚未开展或正在环评中的海洋工程开展生物多样性补充调查、评估;另一方面对正在建设和现运行的海洋工程开展生物多样性跟踪监测,以期了解海洋工程建设对生物多样性的影响,并在此基础上采取生态修复和空间优化措施。

#### 参考文献:

- [1] SCHOLEFIELD P, FIRBANK L, BUTLER S, et al. Modelling the European Farmland Bird Indicator in response to forecast land-use change in Europe[J]. *Ecological Indicators*, 2011, 11(1): 46-51.
- [2] FARMER M C, WALLACE M C, SHIROYA M. Bird diversity indicates ecological value in urban home prices[J]. *Urban Ecosystems*, 2013, 16(1): 131-144.
- [3] 陈水华. 中国海域繁殖海鸟的现状与保护[J]. *生物学通报*, 2010, 45(3): 1-5.  
CHEN Shuihua. Current Situation and Protection of Seabirds Breeding in China[J]. *Bulletin of Biology*. 2010, 45(3): 1-5.
- [4] 陈东东, 程建祥, 周晓, 等. 中国海鸟多样性及其保护[J]. *生物学通报*, 2018, 53(3): 3-9.  
CHEN Dongdong, CHENG Jianxiang, ZHOU Xiao, et al. Diversity and Conservation of Seabirds in China[J]. *Bulletin of Biology*, 2018, 53(3): 3-9.
- [5] 孙泽伟, LEWTHWAITE R W, 余日东, 等. 中国北回归线附近岛屿及沿海初夏鸟类报告[J]. *动物分类学报*, 2008, 33(1): 217-222.  
SUN Zewei, LEWTHWAITE R W, YU Ridong, et al. China Avian Fauna on Islands and Coastal Wetlands at the Tropic of Cancer in June[J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 2008, 33(1): 217-222.
- [6] BAI Q, CHEN J, CHEN Z, et al. Identification of coastal wetlands of international importance for waterbirds: a review of China Coastal Waterbird Surveys 2005–2013[J]. *Avian Research*, 2015, 6(12): 153-168.
- [7] SUN X, LIU W, LI S, et al. Species richness patterns of waterbirds overwintering on the Jiangsu coast for coastal reclamation[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2020, 205: 105488.
- [8] 江苏省地方志编纂委员会. 江苏省志 生物志·动物篇[M]. 南京: 凤凰出版社, 2005.  
Local Chronicles Compilation Committee of Jiangsu. *Annals of Jiangsu Province, Zoology*[M]. Nanjing: Phoenix Publishing House, 2005.
- [9] 鲁长虎. 江苏鸟类[M]. 北京: 中国林业出版社, 2015.  
LU Changhu. *Birds of Jiangsu*[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2015.
- [10] 李悦民, 孙江, 邓仲浩, 等. 江苏省前三岛鸟类调查报告[J]. *南京师大学报(自然科学版)*, 1994, 17(2): 79-88.  
LI Yuemin, SUN Jiang, DENG Zhonghao, et al. Investigation on the Birds in Qian-san Islands[J]. *Journal of Nanjing Normal University(Natural Science Edition)*, 1994, 17(2): 79-88.
- [11] 封璨, 李忠秋, 李靖, 等. 江苏连云港海域发现黄嘴潜鸟[J]. *动物学杂志*, 2009, 44(3): 48.  
FENG Can, LI Zhongqiu, LI Jing, et al. Yellow-billed Loons Found in Lianyungang, Jiangsu, China[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2009, 44(3): 48.
- [12] 熊天石, 韩永祥, 赵镠, 等. 江苏连云港发现长嘴海雀[J]. *动物学杂志*, 2016, 51(4): 667.  
XIONG Tianshi, HAN Yongxiang, ZHAO E, et al. Long-billed Murrelet(*Brachyramphus perdix*) Found in Lianyungang, Jiangsu, China[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2016, 51(4): 667.
- [13] 章麟, STEGGERDA R, AALTO T. 江苏鸟类一个新记录——贼鸥科[J]. *四川动物*, 2019, 38(1): 110.  
ZHANG Lin, STEGGERDA R, AALTO T. A New Bird Record of a Family in Jiangsu - Stercorariidae[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2019, 38(1): 110.
- [14] MARCELLA T K, GENDE S M, ROBY D D, et al. Disturbance of a rare seabird by ship-based tourism in a marine protected area[J]. *Plos One*, 2017, 12(5): e0176176.
- [15] CARSCADDEN J E, MONTEVECCHI W A, DAVOREN G K, et al. Trophic relationships among capelin (*Mallotus villosus*) and seabirds in a changing ecosystem[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, 59: 1027-1033.
- [16] BLAIS J M, KIMPE L E, MCMAHON D, et al. Arctic Seabirds Transport Marine-Derived Contaminants[J]. *Science*, 2005, 309(5733): 445.
- [17] OROPESA A L, PEREZ-LOPEZ M, HERNANDEZ D, et al. Acetylcholinesterase activity in seabirds affected by the Prestige oil spill on the Galician coast (NW Spain)[J]. *Science of the Total Environment*, 2007, 372(2/3): 532-538.
- [18] PHILLIPS R A, GALES R, BAKER G B, et al. The conservation status and priorities for albatrosses and large petrels[J]. *Biological Conservation*, 2016, 201: 169-183.
- [19] BEAL M, DIAS M P, PHILLIPS R A, et al. Global political responsibility for the conservation of albatrosses and large petrels[J]. *Science Advances*, 2021, 7(10): d7225.
- [20] 李佳霖, 汪光义, 秦松. 秦皇岛近海养殖对潮间带微生物群落多样性的影响[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(5): 920-926.



- LI Jialin, WANG Guangyi, QIN Song. Microbial communities of sediments influenced by mariculture from the coast of Qinhuangdao[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(5): 920-926.
- [21] 吴亚楠, 李昱蓉, 卢霞, 等. 基于浮标监测的连云港近海紫菜养殖区水环境特征[J]. *海洋开发与管理*, 2020, 37(4): 42-48.
- WU Yanan, LI Yurong, LU Xia, et al. Water environment characteristics in the coastal Porphyra aquaculture of Lianyungang based on Buoy[J]. *Ocean Development and Management*, 2020, 37(4): 42-48.
- [22] DREWITT A L, LANGSTON R H W. Assessing the impacts of wind farms on birds[J]. *Ibis*, 2006, 148: 29-42.
- [23] FRICK W F, BAERWALD E F, POLLOCK J F, et al. Fatalities at wind turbines may threaten population viability of a migratory bat[J]. *Biological Conservation*, 2017, 209: 172-177.
- [24] MILLON L, COLIN C, BRESCIA F, et al. Wind turbines impact bat activity, leading to high losses of habitat use in a biodiversity hotspot[J]. *Ecological Engineering*, 2018, 112: 51-54.
- [25] 宋文玲, 钱谊, 苏晓星. 大丰风电场建设对盐城自然保护区的生态影响分析[J]. *环境监测管理与技术*, 2010, 22(2): 19-24.
- SONG Wenling, QIAN Yi, SU Xiaoxing. Analysis of ecological impact on Yancheng Nature Reserves for building Dafeng wind farms[J]. *The Administration and Technique of Environmental Monitoring*, 2010, 22(2): 19-24.
- [26] 彭俊. 江苏省海岛资源及其基本特征分析[J]. *盐城师范学院学报(人文社会科学版)*, 2014, 34: 15-19.
- PENG Jun. Analysis on Island Resources of Jiangsu Province and its Basic Characteristics[J]. *Journal of Yancheng Teachers University(Humanities & Social Sciences Edition)*, 2014, 34: 15-19.
- [27] 任武阳, 王成, 刘红玉, 等. 基于鸟类生境需求的植被景观覆盖度多样性——以江苏盐城滨海湿地为例[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(317): 3870-3877.
- REN Wuyang, WANG Cheng, LIU Hongyu, et al. Diversity of vegetation coverage based on birds' habitat demands in the coastal wetland of Yancheng, Jiangsu Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(317): 3870-3877.
- [28] 张帅, 高帅, 李宁, 等. 连云港市 4 个河口湿地越冬水鸟群落结构及多样性[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(5): 560-566.
- ZHANG Shuai, GAO Shuai, LI Ning, et al. Community Structure and Diversity of Wintering Waterbirds in Four Estuary Wetlands of Lianyungang City[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36(5): 560-566.
- [29] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录(第三版)[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- ZHENG Guangmei. A Checklist on the Classification and Distribution of the Birds of China[M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [30] 国家林业和草原局, 农业农村部. 国家重点保护野生动物名录[EB/OL]. [http://www.gov.cn/xinwen/2021-02/09/content\\_5586227.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-02/09/content_5586227.htm), 2021-02-09.
- National Forestry and Grassland Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Catalog of State Protection Key Wildlife [EB/OL]. [http://www.gov.cn/xinwen/2021-02/09/content\\_5586227.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-02/09/content_5586227.htm), 2021-02-09.
- [31] IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species [DB/OL]. <https://www.iucnredlist.org>, 2021-2.
- [32] 中国科学院动物研究所. 中国脊椎动物红色名录[DB/OL]. <http://www.csdb.cn/pageDataResourceDetail/2334>, 2021-01-18.
- Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences. Red list of vertebrates in China [DB/OL]. <http://www.csdb.cn/pageDataResourceDetail/2334>, 2021-01-18.
- [33] WHITTAKER R H. Evolution and Measurement of Species Diversity[J]. *TAXON*, 1972, 21(2/3): 213-251.
- [34] PIELOU E C J. The measurement of diversity in different types of biological collections[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, 13(1): 131-144.
- [35] 张永忠, 张新勇. 连云港市前三岛鸟类资源现状及保护对策[J]. *江苏林业科技*, 2002, 29(1): 37-38.
- ZHANG Yongzhong, ZHANG Xinyong. Bird resources Current situation and protection countermeasures on the Qiansan islands of Lianyungang[J]. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 2002, 29(1): 37-38.
- [36] 刘云, 姜国良. 我国黄海海洋鸟类资源及其保护现状[J]. *生物学通报*, 2013, 48(9): 5-7.
- LIU Yun, JIANG Guoliang. Marine Bird Resources and Conservation Status in the Yellow Sea of China[J]. *Bulletin of Biology*, 2013, 48(9): 5-7.
- [37] 高爱根, 杨俊毅, 陈全震, 等. 达山岛、平岛、车牛山岛邻近海域大型底栖生物分布特征[J]. *海洋学报*, 2003, 25(6): 135-141.
- GAO Aigen, YANG Junyi, CHEN Quanzhen, et al. Distribution characteristics on macrobenthos in the area near Dashan, Pingdao and Cheniushan Islands[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2003, 25(6): 135-141.
- [38] 夏涛, 陈尚, 张涛, 等. 江苏近海生态系统服务价值评估[J]. *生态学报*, 2014, 34(17): 5069-5076.
- XIA Tao, CHEN Shang, ZHANG Tao, et al. Valuation of ecosystem services in Jiangsu coastal waters[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(17): 5069-5076.
- [39] 张虎, 袁健美, 刘必林, 等. 江苏沿岸海域大型底栖生物群落特征[J]. *大连海洋大学学报*, 2017, 32(6): 732-739.

- ZHANG Hu, YUAN Jianmei, LIU Bilin, et al. Macrozoobenthic community in the coastal waters in Jiangsu Province[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2017, 32(6): 732-739.
- [40] 叶敏强, 季相星, 李婷婷, 等. 江苏省近岸海域沉积物重金属分布及风险评价[J]. *污染防治技术*, 2019, 32(2): 33-38.
- YE Minqiang, JI Xiangxing, LI Tingting, et al. Distribution and risk assessment of heavy metals in Sediment of Jiangsu Coastal Areas[J]. *Pollution Control Technology*, 2019, 32(2): 33-38.
- [41] TENG W, BAOJIE L, WENWEN Y, et al. Microplastic pollution and quantitative source apportionment in the Jiangsu coastal area, China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2021, 166: 112237.
- [42] UHLMANN S, FLETCHER D, MOLLER H. Estimating incidental takes of shearwaters in driftnet fisheries: lessons for the conservation of seabirds[J]. *Biological Conservation*, 2005, 123(2): 151-163.
- [43] TRAVERS M S, DRISKILL S, STEMEN A, et al. Post-collision impacts, crippling bias, and environmental bias in a study of Newell's Shearwater and Hawaiian Petrel powerline collisions[J]. *Avian Conservation and Ecology*, 2021, 16(1): 15-29.
- [44] IBON G A, NGEL B A, VLADIMIR E K B, et al. A process-driven sedimentary habitat modelling approach, explaining seafloor integrity and biodiversity assessment within the European Marine Strategy Framework Directive[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2013, 131(6): 194-205.
- [45] TRISURAT Y, ALKEMADE R, VERBURG P H. Projecting Land-Use Change and Its Consequences for Biodiversity in Northern Thailand[J]. *Environmental Management*, 2010, 45(3): 626-639.
- [46] ROBERTS C M. Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs[J]. *Science*, 2002, 295(5558): 1280-1284.
- [47] SELIG E R, TURNER W R, TRONG S, et al. Global Priorities for Marine Biodiversity Conservation[J]. *PLoS ONE*, 2014, 9(1): e82898.
- [48] CABRAL P, LEVREL H, SCHOENN J, et al. Marine habitats ecosystem service potential: A vulnerability approach in the Normand-Breton(Saint Malo)Gulf, France[J]. *Ecosystem Services*, 2015, 16: 306-318.
- [49] 朱永可, 李阳端, 楼瑛强, 等. 风力发电对鸟类的影响以及应对措施[J]. *动物学杂志*, 2016, 51(4): 682-691.
- ZHU Yongke, LI Yangduan, LOU Yingqiang, et al. Impact of Wind Farm on Birds and the Mitigation Strategies[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2016, 51(4): 682-691.
- [50] 施蓓, 丁玲, 徐凌云, 等. 东海大桥海上风电场对鸟类组成的影响[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(4): 1068-1075.
- SHI Bei, DING Ling, XU Lingyun, et al. Influence of Donghai Bridge offshore wind farm on bird composition[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(4): 1068-1075.
- [51] 苏文, 吴霓, 章柳立, 等. 海上风电工程对海洋生物影响的研究进展[J]. *海洋通报*, 2020, 39(3): 14-22.
- SU Wen, WU Ni, ZHANG Liuli, et al. A review of research on the effect of offshore wind power project on marine organisms[J]. *Marine Science Bulletin*, 2020, 39(3): 14-22.
- [52] 蔡国威, 袁倩敏, 梁健超, 等. 广东连州风电场鸟类多样性及其对风机的响应[J]. *四川动物*, 2021, 40(5): 1-10.
- CAI Guowei, YUAN Qianmin, LIANG Jianchao, et al. Bird Diversity and Its Responses to Wind Turbines at Lianzhou Wind Farm, Guangdong[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2021, 40(5): 1-10.
- [53] 韩庆喜, 刘东艳. 近海双壳类筏式养殖对大型底栖动物群落影响综述[J]. *海洋通报*, 2014, 33(3): 352-359.
- HAN Qingxi, LIU Dongyan. Review on the effect of coastal bivalve raft mariculture on macrobenthic assemblages[J]. *Marine Science Bulletin*, 2014, 33(3): 352-359.
- [54] 冯建祥, 董双林, 高勤峰, 等. 海蜇养殖对池塘底泥营养盐和大型底栖动物群落结构的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(4): 964-971.
- FENG Jianxiang, DONG Shuanglin, GAO Qinfeng, et al. The effects of jellyfish(*Rhopilema esculentum* Kishinouye) farming on the sediment nutrients and macrobenthic community[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 964-971.
- [55] ZHOU W, WANG M, HUANG M, et al. A marine biodiversity plan for China and beyond[J]. *Science*, 2021, 371(6530): 682-685.
- [56] 张晓昱, 花卫华, 袁广旺, 等. 江苏省无居民海岛资源环境承载力评价[J]. *江苏海洋大学学报(自然科学版)*, 2020, 29(1): 56-61.
- ZHANG Xiaoyu, HUA Weihua, YUAN Guangwang, et al. Study on the Assessment of Resource and Environment Carrying Capacity of Uninhabited Islands in Jiangsu Province[J]. *Journal of Jiangsu Ocean University(Natural Science Edition)*, 2020, 29(1): 56-61.

## Bird diversity in Jiangsu offshore waters: its analysis and relationship with wind farms and mariculture

LIU Wei<sup>1</sup>, ZHANG Xing-shuo<sup>1</sup>, XU Hai-gen<sup>1</sup>, YANG Bo<sup>2</sup>, CAO Ming-chang<sup>1</sup>, XIONG Tian-shi<sup>3</sup>, HAN Yong-xiang<sup>4</sup>, YUAN Ping<sup>5</sup>, YI Jian-feng<sup>1</sup>, ZHOU Da-qing<sup>1</sup>

(1. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China; 2. Nantong Marine Environmental Monitoring Center, Nantong 226002, China; 3. Jiangsu Wildlife Conservation Department, Nanjing 210036, China; 4. Xugou Primary School in Lianyungang, Lianyungang 222042, China; 5. Nanjing Library, Nanjing 210018, China)

**Received:** Aug. 4, 2021

**Key words:** Jiangsu Province; offshore; bird diversity; protection suggestions; species cataloging

**Abstract:** Jiangsu offshore waters play a vital role in the breeding and protection of marine birds under long-term studies. Bird monitoring in Jiangsu offshore waters facilitated the revision of the bird catalog in Jiangsu Province. In this study, we systematically investigated bird diversity over the past 40 years in Jiangsu offshore waters and analyzed its relationship with wind farms and mariculture. Bird diversity was surveyed in the offshore waters of Lianyungang, Yancheng, and Nantong, including a few offshore islands, such as Cheniushan Island and Kaishan Island. A total of 2 393 individuals belonging to 69 species, 11 orders, and 27 families were found. In Jiangsu offshore waters, the number of bird species was enriched to 182, and the number of bird species recorded in 2020 accounted for 37.91% of the total recorded species. Twenty-seven bird species were recorded for the first time in Jiangsu offshore waters. Passeriformes and Charadriiformes were the dominant groups of birds in Jiangsu offshore waters, and the populations of Procellariiformes, Suliformes, and Gaviiformes were stable. Bird diversity was significantly positively correlated with the distance to wind farms and significantly negatively correlated with the distance to mariculture. These results demonstrated that birds in Jiangsu offshore waters had an obvious tendency to avoid wind farms and rely on raft farming areas. Given the low level of biodiversity protection and severe human disturbance, we proposed policy suggestions to optimize the marine space and formulate a specific biodiversity protection strategy in offshore waters.

(本文编辑: 康亦兼)