

文章编号: 1674-5566(2018)04-0564-09

DOI:10.12024/jsou.20180302252

## 盐城国家级珍禽自然保护区实验北区不同生境鸟类群落多样性研究

赵怡蕾, 杨红, 焦俊鹏, 王春峰

(上海海洋大学 海洋生态与环境学院, 上海 201306)

**摘要:** 为了解江苏盐城国家级珍禽自然保护区实验北区内不同生境鸟类群落多样性及人为干扰的影响,于 2015 年 10 月至 2016 年 7 月,采用样带法分春夏秋冬四季对研究区域内鸟类进行实地调查,结合 3S 技术将生境进行分类,并对鸟类组成以及不同生境内鸟类多样性特征与变化进行分析。结果表明:研究区域内共统计到鸟类 12 目 27 科 67 种,鸟类区系和留居型以古北种和候鸟为主。不同生境内鸟类群落多样性指数呈现人工湿地最高,人类活动区最低;均匀度指数与人为干扰程度呈显著负相关关系( $y = 1.883x + 1.738$ ,  $R^2 = 0.9030$ ,  $P < 0.05$ ),表现为浅海水域最高,人类活动区最低。不同生境间的多样性最高值出现在盐沼与人工湿地之间。在不同季节不同生境下鸟类多样性在人工湿地和盐沼生境中要普遍高于其他各生境,且最高值和最低值分别出现在秋季和夏季。

**关键词:** 盐城国家级珍禽自然保护区; 鸟类群落; 多样性; 均匀度; 生境分类

**中图分类号:** Q 958.1

**文献标志码:** A

盐城国家级珍禽自然保护区实验北区位于江苏沿海区域,其独特的地理位置及环境演变而形成特殊的自然环境,使其成为东亚-澳大利亚通道迁徙路线中鸟类停歇或越冬的区域。随着湿地利用方式的改变,沿海滩涂开发日益增强,自然保护区实验北区内的建设项目不断增加,围垦、养殖、盐业、港口建设以及风电工程等人类活动较为集中,对生态环境造成了压力。由于鸟类可以迅速感知环境的变化,因此鸟类生态群落结构通常被用作生境质量评估与变化的重要手段<sup>[1]</sup>,对于理解生态系统平衡具有重要意义<sup>[2]</sup>。鸟类群落组成在一定程度上能反映出鸟类对生态环境的综合利用的情况<sup>[3]</sup>,鸟类的群落结构丰富度、多样性等指标会随着生态环境而发生变化,即群落结构变化具有显著的地域性和季节性<sup>[1,4-5]</sup>。

目前,国内外对鸟类群落的研究主要集中于生物多样性,国外主要包含多样性的形成、演化及其机制等<sup>[6-10]</sup>,而国内则主要研究多样性结构

动态变化,如物种组成、生境变化、物种演替及分布变迁等方面。由于江苏盐城国家级珍禽自然保护区是丹顶鹤等珍禽及其赖以生存的重要栖息地,近年来备受学者关注,主要侧重于研究以丹顶鹤为代表的珍禽现状及变化<sup>[11]</sup>、越冬期鸟类群落格局<sup>[12-13]</sup>或风电场对鸟类影响的概述<sup>[14]</sup>等,对整体鸟类群落结构及不同生境鸟类群落多样性的研究较少。因此,本文对盐城国家级珍禽自然保护区实验北区 6 种不同生境内(间)鸟类群落多样性进行研究,深入探讨生境变化对鸟类群落的影响方式和影响程度,以期为维护保护区内鸟类的物种多样性以及生态系统的平衡稳定,在保护区内实施高效合理的管理和保护措施提供科学依据,并为今后沿海工程建设的设计及方案的实施提供有效建议。

### 1 材料与方法

#### 1.1 研究区域

江苏盐城国家级珍禽自然保护区位于江苏

收稿日期: 2018-03-27 修回日期: 2018-05-15

基金项目: 中电投滨海北区 H1#100MW 海上风电场工程鸟类及其生境影响评价(D-8006-14-8047);中电投滨海北区 H2#400MW 海上风电工程鸟类及其生境影响评价(D-8006-16-8027);黄海绿潮业务化预测预警关键技术研究与应用项目(201205010)

作者简介: 赵怡蕾(1993—),女,硕士研究生,研究方向为生态学。E-mail:yilei\_zhao@163.com

通信作者: 杨红, E-mail:hyang@shou.edu.cn

省盐城市沿海区域,是以保护湿地珍稀濒危动物为主体的国家级自然保护区,辖东台、大丰、射阳、滨海和响水5县(市)的滩涂,海岸线长达582 km,包含核心区、缓冲区以及实验区3部分。本文研究区域为保护区实验北区(119°53'49.6"-120°12'28.4"E, 34°18'15.4"-34°29'27.4"N,图

1),面积约26 200 hm<sup>2</sup>,地处北亚热带向南暖温带过渡的气候带,四季分明,冬冷夏热,光照充足,降水量充沛。按照中国动物地理区划,研究区域可划入古北界华北区黄淮平原亚区,且位于全球候鸟迁徙的主要通道之一“东亚-澳大利亚”路线上。

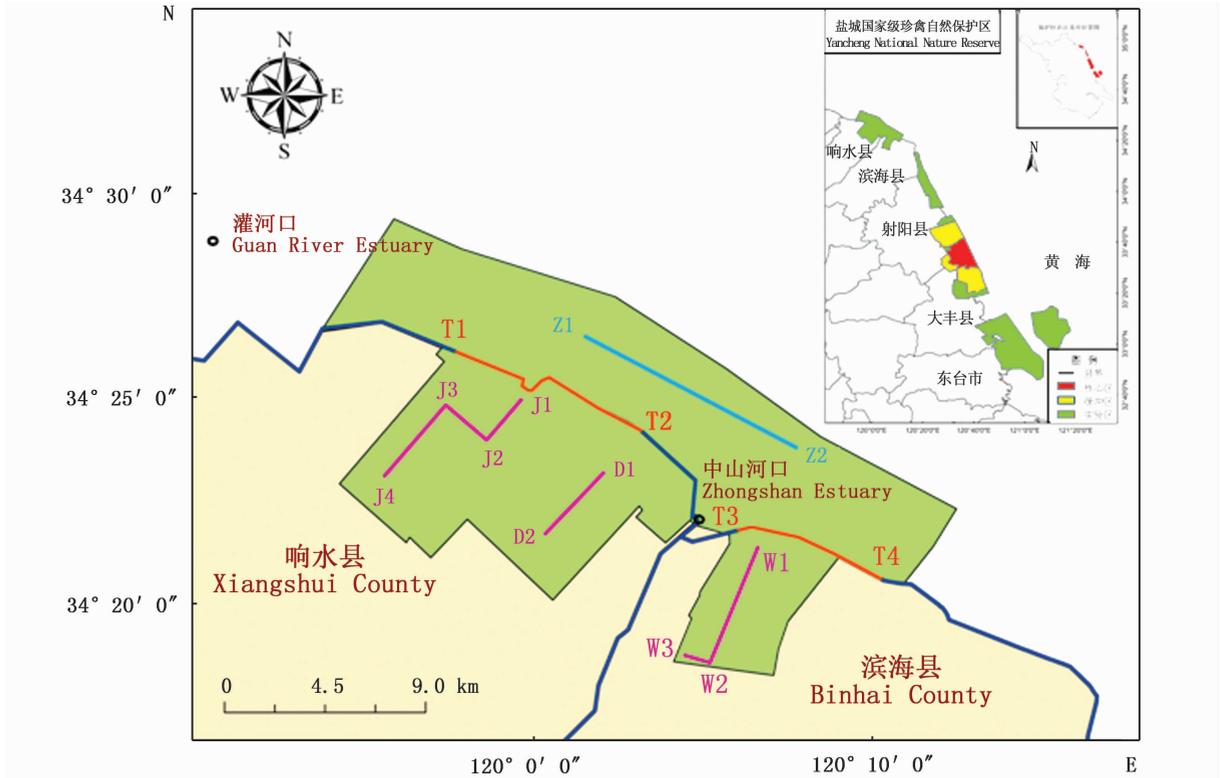


图1 研究区域  
Fig.1 Study Area

1.2 研究数据

收集保护区历史鸟类监测数据,并于2015年10月-2016年7月,分春夏秋冬四季在江苏盐城国家级珍禽自然保护区实验北区进行野外实地调查。鸟类调查采用样带法,共随机设置陆域样带3条,潮间带样带2条,海域样带1条,总长度达41.24 km,涵盖保护区实验北区内的所有生境类型。调查频次为每季节一次,每次调查时长为5~7 d,选择晴朗、风力较小的天气进行观测。调查时全天观察,但主要集中于鸟类活动最为频繁的日出后3小时和日落前3小时。行进过程中,记录样带前方和两侧400 m范围内观察到鸟类的种类及数量,为避免重复记录数据导致的误差,不记录从身后向前飞行的鸟类。行进速度控制在2~2.5 km/h,记录数据时作短暂停留,而后

恢复行进。调查中使用的工具为双筒望远镜、单筒望远镜、单反照相机、手持式GPS。鸟种鉴别与分类依据约翰·马敬能等<sup>[15]</sup>、郑光美<sup>[16]</sup>以及鲁长虎<sup>[17]</sup>标准进行。遥感数据采用的是陆地卫星系列中应用最为广泛的中分辨率数据 Landsat8 TM数据,空间分辨率30 m,精确地理位置数据通过现场GPS采集。

1.3 研究方法

1.3.1 鸟类优势种

依据鸟类数量等级划分方法来确定鸟类优势种,将不同种群鸟类数量占鸟类统计总数百分比超过10%的种类定为优势种,1%与10%之间的种类定为常见种,小于1%的定为偶见种<sup>[18]</sup>。

1.3.2 鸟类群落多样性

鸟类多样性分析可分为两类:群落内物种多

样性的研究及群落间物种多样性的研究。针对鸟类群落内物种的多样性,本文选取 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数三个指标<sup>[19-21]</sup>。

Margalef 丰富度指数公式为

$$R = \frac{S-1}{\ln N} \quad (1)$$

Shannon-Wiener 多样性指数公式为

$$H = - \sum_{i=1}^S (P_i) (\ln P_i) \quad (2)$$

Pielou 均匀度指数公式为

$$J = \frac{H}{H_{\max}} \quad (3)$$

式中: $S$ 为鸟类物种数; $N$ 为所有鸟类个体总数; $P_i$ 为第*i*种鸟类的个体数与所有鸟类个体总数的比值; $H$ 为实际调查的多样性指数 Shannon-Wiener 多样性指数,即 Shannon-Wiener 多样性指数; $H_{\max}$ 为理论上最大多样性指数, $H_{\max} = \ln S$ 。

针对鸟类群落间的物种多样性研究,本文选取 Sørensen 相似性指数<sup>[22]</sup>作为分析指标,其公式为

$$C_s = \frac{2j}{a+b} \quad (4)$$

式中: $C_s$ 为 Sørensen 指数, $j$ 为两个鸟类群落中在不同生境间的共有物种数, $a$ 和**b**分别为两个鸟类群落各自的物种数。当 $0.75 < C_s \leq 1.0$ 时,为极其相似; $0.5 < C_s \leq 0.75$ 时,为中等相似; $0.25 < C_s \leq 0.5$ 为中等不相似; $0 < C_s \leq 0.25$ 为极不相似<sup>[13]</sup>。

### 1.3.3 生境分类

湿地鸟类的空间分布特征由地貌、土壤、植被、食物、水分、气候等多种因素所决定。有专家学者按照江苏沿海的湿地生态环境将鸟类生境分为潮间带海滩水域鸟类群、芦苇碱蓬滩涂鸟类

群、碱蓬灌草丛区鸟类群、盐场虾池鸟类群、苇塘草地鸟类群和平原林区鸟类群<sup>[22-24]</sup>。按照鸟类栖息地情况及植被特征,将生境分为盐沼、开阔水域及河口、芦苇荡、草地和草甸、林区及种植区与居民区<sup>[14]</sup>。黄辉等<sup>[25]</sup>指出江苏沿海滩涂湿地是由以碱蓬湿地、芦苇湿地和米草湿地为代表的自然湿地以及以养殖塘、盐田和农用地为代表的人工湿地组成。根据人类活动的干扰程度,可将鸟类生境划分为芦苇沼泽、农田、鱼塘和滩涂4种<sup>[12]</sup>。

本文根据生境特点、鸟类食性以及活动情况将研究区域内鸟类生境分为浅海水域、盐沼、人工湿地、芦苇荡、农田林地以及人类活动区6大类。结合遥感图像的地物光谱信息以及实地观测资料,建立相关生境的解译标志,如表1所示。

### 2.1 鸟类群落组成

通过实地调查,研究区域内共统计到鸟类67种,隶属12目27科45属。其中水鸟47种,占全部鸟类种数的71.2%,以鸻形目(Charadriiformes)鹬科(Scolopacidae)和鸥科(Laridae)、鹳形目(Pelecaniformes)鹭科(Ardeidae)以及雁形目(Anseriformes)鸭科(Anatidae)最多。从全年区系组成来看,古北种有36种,占53.7%;广布种25种,占37.3%;东洋种6种,占9.0%,呈现古北种>广布种>东洋种的趋势。从全年留居型来看,研究区域内候鸟最多,达40种,占到整体的59.7%,其中又以夏候鸟居多;留鸟和旅鸟的种数相近,分别为13和14种。根据数量等级划分方法判断研究区域内优势种为[树]麻雀(*Passer montanus*)、红颈滨鹬(*Calidris ruficollis*)和青脚滨鹬(*Calidris temminckii*),常见种为黑嘴鸥(*Chroicocephalus saundersi*)、白鹭(*Egretta garzetta*)、黑翅长脚鹬(

表1 各生境类型特征描述及解译标志

Tab.1 Feature description and interpretation key of each habitat type

生境类型 Habitat Types	特点 Characteristics	解译标志 Interpretation Key
浅海水域 Shallow Sea Waters	低潮时水深不超过6 m且无植被覆盖的永久水域	
盐沼 Salt Marshes	淤泥质泥滩并长有盐生植物区域	
人工湿地 Artificial Wetlands	人工修建用于养殖鱼虾的区域或人工围垦形成的晒盐场	
芦苇荡 Reeds	内陆河道、养殖塘周边长有芦苇的区域	
农田林地 Farmlands and Woodlands	未耕或已耕用于种植农作物区域或人为栽种草本或木本植物区域	
人类活动区 Human Activity Areas	道路、房屋建筑、居民区、港口、风机等区域	

*Himantopus himantopus*)、虎纹伯劳 (*Lanius tigrinus*)、绿头鸭 (*Anas platyrhynchos*) 等 23 种鸟类,其余均为小于 1% 的偶见种。共调查到国家 I 级重点保护动物 3 种,为东方白鹳 (*Ciconia boyciana*)、白头鹤 (*Grus monacha*) 和灰鹤 (*Grus grus*); 国家 II 级重点保护动物 2 种,为红隼 (*Falco tinnunculus*) 和燕隼 (*Falco subbuteo*)。

## 2.2 生境类型划分图

运用 ENVI 5.2 与 ArcGIS 10.1 软件,采用监督分类(最大似然法)与非监督分类(Iso 聚类分析)相结合的方法,同时辅以人工目视解译,实现遥感影像分类和后处理,生成湿地鸟类生境分类图,如图 2 所示。经实地调查资料验证,解译准确率能满足研究所需精度要求。

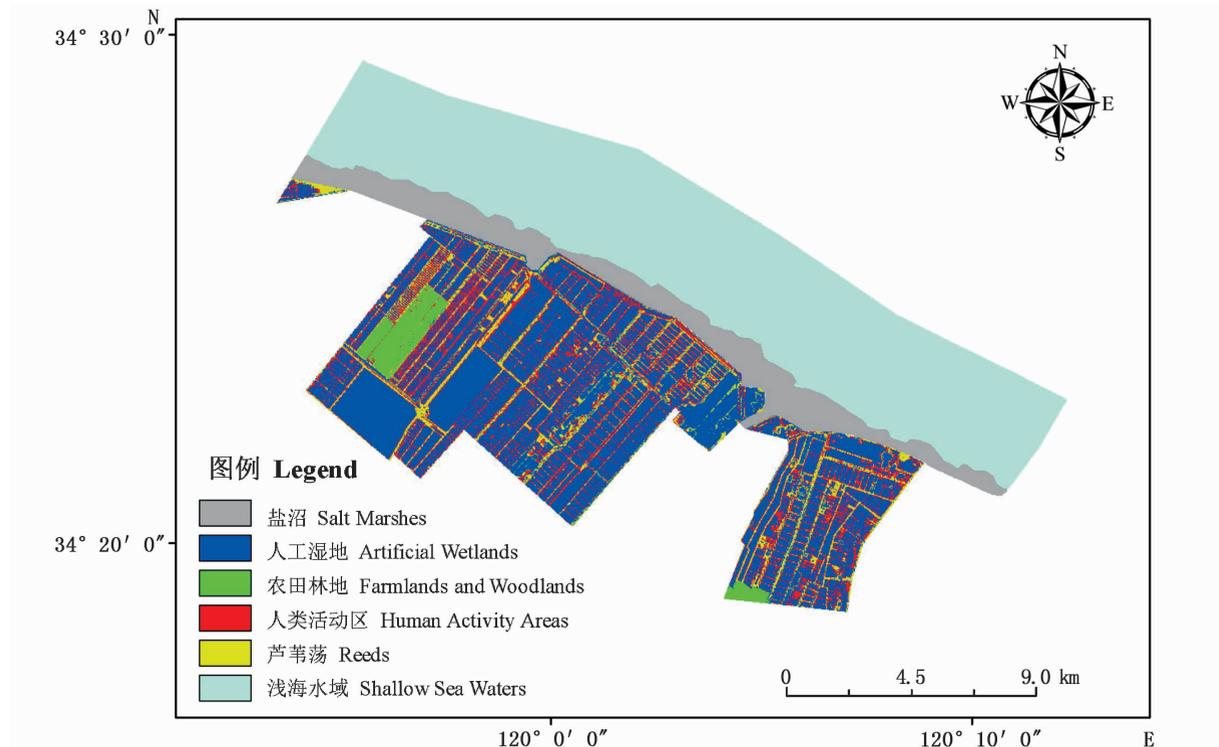


图 2 湿地鸟类生境分类图

Fig. 2 Habitat classification of wetland birds

通过系统导出的像元个数,经计算得到各生境类型的面积,并根据实地调查情况,参照《生物多样性观测技术导则(鸟类)》的划分标准,对各生境类型的人为干扰程度进行分级定量,详见表 2。可以发现在研究区域内浅海水域和人工湿地生境的面积占绝对优势,盐沼生境次之,其余生境类型的面积均小于 10%。浅海水域和盐沼生境的人为干扰程度较低,而人类活动区的干扰程度最高。

## 2.3 不同生境鸟类群落多样性

研究区域内鸟类群落多样性在不同生境内存在显著变化,由表 3 可知,鸟类群落丰富度指数呈现人工湿地(3.929) > 农田林地(2.792) > 盐沼(2.616) > 芦苇荡(2.222) > 浅海水域(1.653) > 人类活动区(1.633);多样性指数表现

为人工湿地(2.354) > 盐沼(2.290) > 浅海水域(2.178) > 农田林地(1.771) > 芦苇荡(1.559) > 人类活动区(1.163)。由于各生境鸟类的数量和集群性不同,各生境内丰富度指数和多样性指数的排列顺序存在着一定差异性。人工湿地和盐沼生境的物种数分别为 26 和 20 种,明显高于其他四个生境,丰富度指数和多样性指数也同样处于较高水平,其主要原因首先在于研究区域内鸟类以水鸟为主,食鱼、虾、蟹、底栖生物等,人工湿地和盐沼生境可为研究区域内的鸟类提供充足的食物资源和水分;其次在于两生境的面积占比仅次于浅海水域,能为鸟类提供一定的栖息场所。人工湿地略高于盐沼可能是因为盐沼生境会在每日高潮期时被淹没,部分中小型的水禽类无法在深积水区域觅食或栖息<sup>[26]</sup>,被迫

向堤内地势较高的人工湿地转移<sup>[27-29]</sup>。浅海水域由于缺少中途停歇的栖息地,仅部分能长时间

飞行且擅长在水面游泳的鸟类栖息于此,多样性指数仅次于人工湿地和盐沼。

表 2 各生境类型的面积(占比)及人为干扰程度  
Tab. 2 Area (percentage) and human disturbance of each habitat type

生境类型 Habitat Types	面积/hm <sup>2</sup> Area	占比/% Percentage	人为干扰程度 Human Disturbance
浅海水域 Shallow Sea Waters	11 081.52	42.30%	0~0.25
盐沼 Salt Marshes	2 803.71	10.70%	0~0.25
人工湿地 Artificial Wetlands	8 295.57	31.66%	0.25~0.5
芦苇荡 Reeds	1 905.54	7.27%	0.5~0.75
农田林地 Farmlands and Woodlands	516.78	1.97%	0.5~0.75
人类活动区 Human Activity Areas	1 595.98	6.09%	0.75~1

由于浅海水域生境面积占比最大,且受人为干扰程度较低,故均匀度指数最高。而人类活动区由于受干扰程度严重,仅通常与人类伴生的雀类会大量分布与此,因此丰富度指数、多样性指数和均匀度指数均最低。经回归分析发现,均匀度指数与人为干扰程度呈显著负相关关系( $y = 1.883x + 1.738$ ,  $R^2 = 0.903$ ,  $P < 0.05$ ),即人为干扰程度对生境内鸟类群落分布的均匀性有影响,且干扰程度越大,生境内鸟类个体数量分配越不均匀,群落结构的稳定性越差。

研究区域内不同生境间鸟类群落多样性分析如表 4 所示,浅海水域与农田林地、人类活动

区与盐沼和人工湿地间均无共有鸟类,相似性指数为 0;多样性最高值出现在盐沼生境和人工湿地生境间,有 13 种共有鸟类,为中等相似。生态位理论<sup>[30-31]</sup>认为在生境过滤作用下,群落间的结构差异会受到生境异质性的影响,可反映环境梯度上鸟类群落结构的来源差异,异质性越大,则差异性越大,相似性指数就越小<sup>[32-36]</sup>。由于生境异质性在盐沼与人工湿地之间最小,因此这两类生境间共有鸟类最多,相似性指数最大。这也同样反映出人工湿地能够在一定程度上代替盐沼等自然湿地,成为鸟类选择的栖息与觅食场所。

表 3 不同生境内鸟类群落多样性  
Tab. 3 Biodiversity in different habitats

生境类型 Habitat Types	物种数 Number of Species	丰富度指数 R Richness Index	多样性指数 H Diversity Index	均匀度指数 J Uniformity Index
浅海水域 Shallow Sea Waters	11	1.653	2.178	0.908
盐沼 Salt Marshes	20	2.616	2.290	0.764
人工湿地 Artificial Wetlands	26	3.929	2.354	0.722
芦苇荡 Reeds	14	2.222	1.559	0.591
农田林地 Farmlands and Woodlands	17	2.792	1.771	0.625
人类活动区 Human Activity Areas	12	1.633	1.163	0.468

表 4 不同生境间鸟类群落多样性和共有鸟类物种数  
Tab.4 Biodiversity and numbers of common bird species among different habitats

	QH	YZ	RG	LW	NT	RL
QH	—	4	5	1	0	1
YZ	0.258	—	13	2	1	0
RG	0.270	0.565	—	5	1	0
LW	0.080	0.118	0.250	—	7	8
NT	0.000	0.054	0.047	0.452	—	7
RL	0.071	0.000	0.000	0.516	0.412	—

注:QH 代表浅海水域, YZ 代表盐沼, RG 代表人工湿地, LW 代表芦苇荡, NT 代表农田林地, RL 代表人类活动区。对角线上为不同生境间共有鸟类的物种数, 对角线下为不同生境间鸟类的相似性指数

Notes: QH represents shallow sea waters; YZ represents salt marshes; RG represents artificial wetlands; LW represents reeds; NT represents farmlands and woodlands; RL represents human activity areas. Upside of diagonal is the number of common species in different habitats, and downside of the diagonal is the similarity index among different habitats

### 2.4 鸟类群落多样性的季节性变化

由图 3 可以看出, 人工湿地和盐沼生境中鸟类群落结构多样性要普遍高于其他各生境, 说明

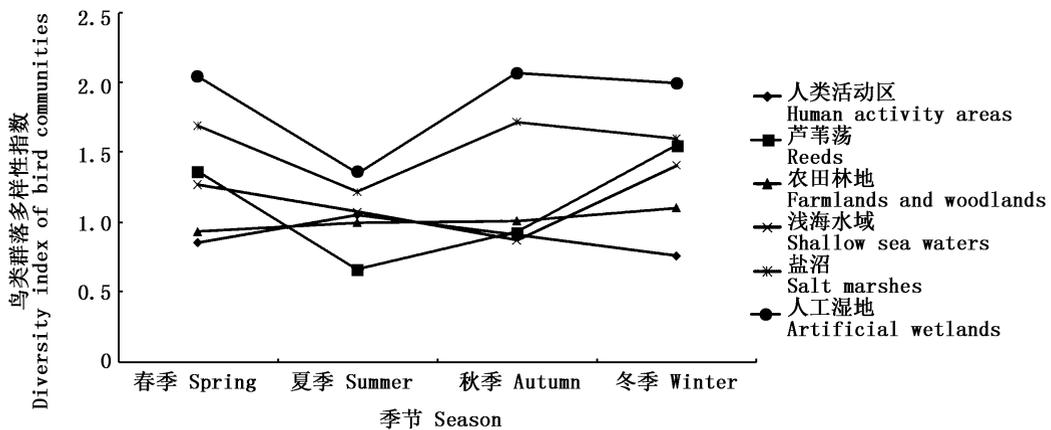


图 3 不同生境内鸟类群落多样性指数的季节性变化

Fig. 3 Seasonal changes of biodiversity index in different habitats

### 3 结论与建议

实地调查共记录到鸟类 67 种, 隶属 12 目 27 科 45 属, 其中水鸟有 47 种, 占总数的 71.2%。鸟类区系以古北种占优势, 留居型则以候鸟为主。区域内优势种为[树]麻雀、红颈滨鹬和青脚滨鹬。从保护类型来看, 属于国家 I、II 级重点保护鸟类的有 5 种。研究区域内鸟类群落多样性在不同生境内存在显著变化, 物种数、丰富度指数以及多样性指数的最大值均出现在人工湿

两种生境内的鸟类在整体中占主导作用。这两个生境中的鸟类多样性指数在季节间呈现春秋迁徙期 > 冬季越冬期 > 夏季繁殖期, 说明其变化趋势与鸟类迁徙密切相关。浅海水域鸟类多样性指数的最高值出现在冬季, 是因为该生境内集中分布的鸟类多为冬候鸟, 冬季迁徙至此地越冬。芦苇荡鸟类多样性指数也在冬季最高, 由于冬季植被枯萎, 芦苇是多年生的草本植物, 在冬季仍有分布, 可为鸟类提供适当的隐蔽条件; 多样性指数在夏季最低, 主要是因为夏季受到海洋性季风影响, 降雨量较大, 虽有利于芦苇生长<sup>[37]</sup>, 但同时雨水也会淹没部分芦苇基部, 深水水域面积有所增大, 不利于鸟类在该生境内栖息。人类活动区和农田林地的多样性指数在四季间的变化平稳, 无较大波动, 这两类生境是雀类的主要分布区, 分布数量较多的鸟类如[树]麻雀、喜鹊等是留鸟。

地生境, 其生境面积在研究区域内占主导优势, 仅次于浅海水域。盐沼的鸟类群落多样性仅略次于人工湿地。经回归分析得出鸟类群落均匀度指数与人为干扰程度呈显著负相关关系 ( $y = 1.883x + 1.738, R^2 = 0.903, P < 0.05$ ), 即人为干扰程度越大, 各生境内鸟类个体数量分配越不均匀, 群落结构越不稳定。因此, 浅海水域均匀度最高, 而人类活动区内仅部分与人类伴生的鸟类常栖息于此生境中, 致使鸟类群落的均匀度最低, 多样性差。不同生境间的鸟类群落多样性最

高值出现在盐沼与人工湿地之间,体现出两者生境间异质性较差,人工湿地能在一定程度上代替盐沼等自然湿地,成为鸟类选择的栖息与觅食场所。人工湿地和盐沼生境内的鸟类在研究区域内占主导地位,其季节性变化趋势呈现春秋>冬季>夏季,因此鸟类的迁徙是造成不同生境下鸟类群落多样性季节性变化的主要原因。

江苏沿海湿地近年来大力发展水产养殖业、盐业、港口航运建设以及风电工程建设,对湿地滩涂进行围垦、占用。但随着人类活动的不断加剧,江苏盐城国家级珍禽自然保护区实验区内鸟类赖以生存的栖息地遭受了一定程度的破坏。对鸟类群落结构多样性保护的总结可总结为以下几点:(1)工程建设施工时间的选取尽量避开鸟类主要迁徙期,施工区域尽可能远离重点保护鸟类的主要栖息场所。(2)加种沿海防护林,为鸟类提供营巢场所,以期增加生境异质性,提高保护区内鸟类群落多样性。(3)加强鸟类调查和监管执法力度,开展定期观测,洞悉鸟类群落结构的动态变化,以期减少人类活动对生态环境造成的损失。(4)加强监管执法力度,杜绝捕鸟、杀鸟等违法行为。

#### 参考文献:

- [1] 崔鹏,邓文洪. 鸟类群落研究进展[J]. 动物学杂志, 2007, 42(4): 149-158.  
CUI P, DENG W H. Review on the status and development of bird community research[J]. Chinese Journal of Zoology, 2007, 42(4): 149-158.
- [2] 郑光美. 鸟类学. [M]. 2版. 北京: 北京师范大学出版社, 2012.  
ZHENG G M. Ornithology [M]. 2nd ed. Beijing: Beijing Normal University Press, 2012.
- [3] 雍凡,徐海根,崔鹏,等. 中国森林鸟类繁殖季和越冬季分布格局及其影响因子[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(5): 658-663.  
YONG F, XU H G, CUI P, et al. Distribution pattern of forest birds in breeding and wintering seasons in China and the influencing factors [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2015, 31(5): 658-663.
- [4] 钟福生,颜亨梅,李丽平,等. 东洞庭湖湿地鸟类群落结构及其多样性[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 1959-1968.  
ZHONG F S, YAN H M, LI L P, et al. Community structure and diversity of birds on east Dongting Lake wetland of Hunan Province [J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(12): 1959-1968.
- [5] 孙立新,龚大洁,孙呈祥,等. 六盘山自然保护区鸟类群落时空变化[J]. 干旱区研究, 2014, 31(2): 329-335.  
SUN L X, GONG D J, SUN C X, et al. Spatiotemporal variation of avian communities in the Liupan mountain nature reserve [J]. Arid Zone Research, 2014, 31(2): 329-335.
- [6] EMLEN J T. An urban bird community in Tucson, Arizona: derivation, structure, regulation [J]. The Condor, 1974, 76(2): 184-197.
- [7] HOLMES R T, SHERRY T W, STURGES F W. Bird community dynamics in a temperate deciduous forest: long-term trends at Hubbard brook [J]. Ecological Monographs, 1986, 56(3): 201-220.
- [8] TERBORGH J, ROBINSON S K, PARKE III T A. Structure and organization of an Amazonian forest bird community [J]. Ecological Monographs, 1990, 60(2): 213-238.
- [9] FERNÁNDEZ-JURICIC E. Bird community composition patterns in urban parks of Madrid: The role of age, size and isolation [J]. Ecological Research, 2000, 15(4): 373-383.
- [10] OTTERSEN G, PLANQUE B, BELGRANO A, et al. Ecological effects of the North Atlantic Oscillation [J]. Oecologia, 2001, 128(1): 1-14.
- [11] 李文军,王子健,马志军,等. 盐城自然保护区丹顶鹤越冬栖息地的分布研究[J]. 中国生物圈保护区, 1997(3): 3-7.  
LI W J, WANG Z J, MA Z J, et al. Distribution of overwintering habitat of red-crowned crane in Yancheng nature reserve [J]. China Biosphere Reserve, 1997(3): 3-7.
- [12] 阮得孟,孙勇,程嘉伟,等. 盐城自然保护区新洋港河口不同生境冬季鸟类群落组成及其梯度变化[J]. 生态学报, 2015, 35(16): 5437-5448.  
RUAN D M, SUN Y, CHENG J W, et al. Winter bird community structure and gradient change in different habitats at Xinyanggang Estuary, Yancheng Nature Reserve [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(16): 5437-5448.
- [13] 张燕,孙勇,鲁长虎,等. 盐城国家级珍禽自然保护区互花米草入侵后三种生境中越冬鸟类群落格局[J]. 湿地科学, 2017, 15(3): 433-441.  
ZHANG Y, SUN Y, LU C H, et al. Pattern of wintering bird community in three habitats after invasion of *Spartina alterniflora* in Yancheng national nature reserve [J]. Wetland Science, 2017, 15(3): 433-441.
- [14] 许遐祯,郑有飞,杨丽慧,等. 风电场对盐城珍禽自然保护区鸟类的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(3): 560-565.  
XU X Z, ZHENG Y F, YANG L H, et al. Influence of wind power field on birds in Yancheng National Rare Waterfowls Nature Reserve of Jiangsu [J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(3): 560-565.
- [15] 约翰·马敬能,卡伦·菲力普斯. 中国鸟类野外手册 [M]. 长沙: 湖南教育出版社, 2000.  
MACKINNON J, PHILLIPPS K. A field guide to the birds of

- China[M]. Changsha: Hunan Education Publishing House, 2000.
- [16] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- ZHENG G M. A checklist on the classification and distribution of the birds of China [M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [17] 鲁长虎. 江苏鸟类[M]. 北京: 中国林业出版社, 2015.
- LU C H. Birds of Jiangsu [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2015.
- [18] HOWES J, BAKEWELL D. Shorebird studies manual[M]. Kuala Lumpur: Asian Wetland Bureau Publication, 1989: 143-147.
- [19] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I  $\alpha$  多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- MA K P, LIU Y M. Measurement of biotic community diversity I  $\alpha$  diversity (Part 2) [J]. Chinese Biodiversity, 1994, 2(4): 231-239.
- [20] 龚小玲, 张晓懿, 朱敏, 等. 长江口九段沙湿地潮沟鱼类组成及其多样性[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(4): 517-524.
- GONG X L, ZHANG X Y, ZHU M, et al. Fish species composition and diversity in intertidal creek of Jiuduansha wetland in the Yangtze River estuary[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(4): 517-524.
- [21] 陈明超, 章守宇. 枸杞岛海域浮游植物群落结构分析[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(4): 607-612.
- CHEN M C, ZHANG S Y. The Community structure of phytoplankton in Gouqi Island[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(4): 607-612.
- [22] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II  $\beta$  多样性的测度方法[J]. 生物多样性, 1995, 3(1): 38-43.
- MA K P, LIU C R, LIU Y M. Measurement of biotic community diversity II  $\beta$  diversity [J]. Chinese Biodiversity, 1995, 3(1): 38-43.
- [23] 刘奕琳. 盐城海滨湿地生态系统的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2006.
- LIU Y L. Study on the ecological system in Yancheng coastal wetlands [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2006.
- [24] 孙靖, 钱谊, 许伟, 等. 江苏大丰风电场对鸟类的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(31): 9920-9922.
- SUN J, QIAN Y, XU W, et al. Influence of Dafeng wind power field on birds in Jiangsu [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(31): 9920-9922.
- [25] 黄辉, 钱谊, 顾进伟. 江苏省沿海滩涂湿地景观变化及环境效应[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(4): 821-825.
- HUANG H, QIAN Y, GU J W. The landscape changes of intertidal wetland in Jiangsu province and its environmental effects[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2014, 53(4): 821-825.
- [26] 唐承佳, 陆健健. 围垦堤内迁徙鹤鹑群落的生态学特性[J]. 动物学杂志, 2002, 37(2): 27-33.
- TANG C J, LU J J. A study on ecological characteristics of community of the migrating waders in wetlands insides cofferdam near the Pudong national airport [J]. Chinese Journal of Zoology, 2002, 37(2): 27-33.
- [27] SHEPHERD P C F, LANK D B. Marine and agricultural habitat preferences of dunlin wintering in British Columbia [J]. Journal of Wildlife Management, 2004, 68(1): 61-73.
- [28] 张国钢, 梁伟, 刘冬平, 等. 海南岛越冬水鸟资源状况调查[J]. 动物学杂志, 2005, 40(2): 80-85.
- ZHANG G G, LIANG W, LIU D P, et al. Survey on the wintering waterbirds of Hainan island [J]. Chinese Journal of Zoology, 2005, 40(2): 80-85.
- [29] 侯森林, 余晓韵, 鲁长虎. 盐城自然保护区射阳河口滩涂迁徙期鹤鹑类的时空分布格局[J]. 生态学杂志, 2013, 32(1): 149-155.
- HOU S L, YU X Y, LU C H. Spatiotemporal patterns of shorebirds during their migration period at Sheyang estuary of Yancheng Nature Reserve, East China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(1): 149-155.
- [30] 林开敏, 郭玉硕. 生态位理论及其应用研究进展[J]. 福建林学院学报, 2001, 21(3): 283-287.
- LIN K M, GUO Y S. The research advances on niche theory and its application [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2001, 21(3): 283-287.
- [31] 丁丽丽, 杨红, 戴小杰, 等. 浙江瓯江围填海区渔业资源优势种生态位分析[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(1): 116-123.
- DING L L, YANG H, DAI X J, et al. Niche analysis of dominant species of fishery resources in Zhejiang Oufei reclamation area [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(1): 116-123.
- [32] TUOMISTO H, RUOKOLAINEN K, KALLIOLA R, et al. Dissecting Amazonian biodiversity [J]. Science, 1995, 269(5220): 63-66.
- [33] NEKOLA J C, WHITE P S. The distance decay of similarity in biogeography and ecology [J]. Journal of Biogeography, 1999, 26(4): 867-878.
- [34] VALENCIA R, FOSTER R B, VILLA G, et al. Tree species distributions and local habitat variation in the amazon: large forest plot in Eastern Ecuador [J]. Journal of Ecology, 2004, 92(2): 214-229.
- [35] 张淼淼, 秦浩, 王焯, 等. 汾河中上游湿地植被  $\beta$  多样性[J]. 生态学报, 2016, 36(11): 3292-3299.
- ZHANG M M, QIN H, WANG Y, et al. Beta diversity of wetland vegetation in the middle and upper reaches of the Fenhe River watershed [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(11): 3292-3299.
- [36] 冯威, 赵成章, 岳冉, 等. 张掖国家湿地公园冬春季鸟类群落多样性和相似性分析[J]. 生态学杂志, 2017, 36

(8): 2224-2231.

FENG W, ZHAO C Z, YUE R, et al. Bird community diversity and similarity in Zhangye national wetland park of Gansu province in winter and spring[J]. Chinese Journal of Ecology, 2017, 36(8): 2224-2231.

[37] 张星烁, 郝志, 赵鲁安, 等. 江苏大丰盐沼鸟类群落空间

结构的影响因素研究[J]. 野生动物学报, 2015, 36(2): 171-178.

ZHANG X S, HAO Z, ZHAO L A, et al. Factors affecting spatial structure of a saltmarsh bird community at Jiangsu Dafeng Milu national nature reserve[J]. Chinese Journal of Wildlife, 2015, 36(2): 171-178.

## Study on bird diversity of different habitats in the Northern Experimental Area of Yancheng National Nature Reserve

ZHAO Yilei, YANG Hong, JIAO Junpeng, WANG Chunfeng

(College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to understand the bird diversity of different habitats and the impacts of human disturbance in the Northern Experimental Area of Yancheng Nature Reserve, Jiangsu, seasonal bird surveys were carried out with the methods of line transects during the period from October 2015 to July 2016. The habitats of study area were classified according to 3S technology, and the characteristics and variation of bird diversity in different habitats were analyzed. 67 bird species from 12 orders, 27 families were recorded in this region. The major floristic composition and residence type were palaeartic species and migratory birds. The index of bird diversity in different habitats was the highest in artificial wetlands and the lowest in human activity areas. There was a significant negative correlation between uniformity index and human disturbance index ( $y = 1.883x + 1.738$ ,  $R^2 = 0.903$ ,  $P < 0.05$ ), which leads to the highest value in shallow sea waters and the lowest in human activity areas. Also, the highest values of bird diversity among different habitats occurred between salt marshes and artificial wetlands. In different habitats and different seasons, bird diversity in artificial wetlands and salt marshes was generally higher than that in other habitats, and the highest and lowest values appeared in autumn and summer, respectively.

**Key words:** Yancheng National Nature Reserve; bird community; diversity index; uniformity index; habitat classification