

DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2022.0086

慕震,张蔚,崔宁,等.云南腾冲北海湿地鸟类物种多样性与生境耦合特征[J].生态与农村环境学报,2023,39(4):488-495.

MU Zhen, ZHANG Wei, CUI Ning, et al. Coupling Characteristics of Bird Species Diversity and Habitats in Beihai Wetland, Tengchong, Yunnan Province [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2023, 39(4): 488-495.

云南腾冲北海湿地鸟类物种多样性与生境耦合特征

慕震¹, 张蔚², 崔宁³, 闻苡¹, 张宇¹, 邵桦¹, 张衍亮¹, 王丹⁴, 张超¹, 成功¹, 戴蓉⁵①, 冯金朝¹ (1. 中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081; 2. 云南省腾冲市北海湿地省级自然保护区管护局, 云南腾冲 679100; 3. 云南大学生命科学学院, 云南昆明 650500; 4. 台州学院生命科学学院/高等研究院土壤生态与修复研究所, 浙江台州 318000; 5. 生态环境部南京环境科学研究所, 江苏南京 210042)

摘要: 北海湿地是全球候鸟迁徙的中亚—印度、东亚—澳大利西亚路线的重要栖息停留地,是首批公布的33处国家重点湿地之一。采用样线法和样点法,结合观鸟网站及湿地管护局的野外调查记录,整理编目出北海湿地的鸟类名录。结果表明,北海湿地有鸟类188种,隶属17目54科125属。雀形目有110种,占总数的58.51%。水鸟有47种,占总数的25%。有31种鸟属于《国家重点保护野生动物名录》。使用鸟兽物种多样性测度的G-F指数对物种多样性进行评估,北海湿地鸟类G-F指数为0.825,鸟类物种多样性处于较高水平。平均区系相似性指数(AFR)结果显示,北海湿地毗邻生境的物种相似性较高,鸟类分布呈连续自然过渡。北海湿地的鸟类物种丰富度高,珍稀濒危鸟类资源丰富。北海湿地区域地理位置优越,生境类型多样,空间异质性强,符合斑块-廊道-基质的景观生态学模式,是鸟类物种丰富度高的重要条件。丰富的鸟类生物多样性促进了北海湿地生态系统的健康和稳定,两者起到相互维持的耦合关系。研究验证了小型湿地对鸟类生物多样性保护的重要意义,对保护区的规划发展具有重要参考价值。

关键词: 北海湿地; 鸟类物种丰富度; 珍稀濒危鸟类; 物种编目; 耦合

中图分类号: X36 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2023)04-0488-08

Coupling Characteristics of Bird Species Diversity and Habitats in Beihai Wetland, Tengchong, Yunnan Province. MU Zhen¹, ZHANG Wei², CUI Ning³, WEN Yi¹, ZHANG Yu¹, SHAO Hua¹, ZHANG Yan-liang¹, WANG Dan⁴, ZHANG Chao¹, CHENG Gong¹, DAI Rong⁵①, FENG Jin-chao¹ (1. College of Life and Environmental Sciences, Minzu University of China, Beijing 100081, China; 2. The Management and Protection Bureau of the Beihai Wetland Nature Reserve, Tengchong 679100, China; 3. School of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650500, China; 4. School of Life Science/ Institute of Soil Ecology and Remediation, Taizhou University, Taizhou 318000, China; 5. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China)

Abstract: Beihai Wetland is an important habitat stopping place on the Central Asia-India and East Asia-Australia routes of global migratory birds, and is one of the first announced 33 national key wetlands of China. Bird species inventory of Beihai Wetland is sorted out by using the method of sample line and sample point, combined with the field investigation records of bird watching websites and Beihai Wetland Management Institute. The results show that, in total, 188 bird species were recorded in Beihai Wetland. These birds belong to 17 orders, 54 families and 125 genera. Most species (110 species) belong to Passeriformes (accounting for 58.51% of the total). There are 47 waterbirds, accounting for 25% of the total bird species. 31 bird species are in the List of State Key Protected Wild Animal Species. The value of G-F index of bird biodiversity in Beihai Wetland is 0.825, indicating that the species richness is at a high level. The results of AFR show that species similarity in the adjacent habitats is high and the distribution of bird species presents a certain natural transition phenomenon. The bird species richness in Beihai Wetland is high and the resources of rare and endangered bird species are rich, owing to the superior geographical location, diverse habitat types, high spatial heterogeneity and rich bird

收稿日期: 2022-02-03

基金项目: 生态环境部生物多样性调查、观测和评估项目(2019—2023年)

① 通信作者 E-mail: dairong@nies.org

food sources, which is in line with the patch-corridor-matrix model in landscape ecology. Rich bird biodiversity also promotes the functional health and stability of Beihai Wetland ecosystem. Bird biodiversity and habitats in Beihai Wetland are playing a coupling relationship of mutual maintenance. The present study verified the significance of small wetland to bird biodiversity protection. It can provide important reference for the planning, management and development of wetlands.

Key words: Beihai Wetland; bird species richness; rare and endangered birds; species inventory; coupling

生物多样性监测和物种编目是开展科学研究的基础,不仅能够提供最基本且最重要的生物学信息,还能对生物多样性保护进行有效生态评估^[1]。鸟类作为湿地的重要组成部分,其物种数量的减少或消失意味着湿地生态功能的萎缩与退化,是评价湿地生态系统健康的重要参考指标。研究表明,了解鸟类物种与生境的耦合关系对鸟类保护至关重要^[2-4],对建立有效的保护区和完善保护区布局具有指导意义^[5]。北海湿地作为典型的云贵高原小型湖泊湿地,地处全球候鸟迁徙的中亚—印度、东亚—澳大利西亚路线上^[6],是候鸟迁徙的重要栖息停留地,但其鸟类物种长期缺少科学研究^[7-8]。为了全面系统地研究北海湿地的鸟类物种多样性及珍稀濒危鸟类的分布情况,分析北海湿地生境与鸟类物种保护之间的耦合关系,验证小型湖泊湿地在鸟类生物多样性保护方面的重要性,笔者对北海湿地进行多次实地调查,结合观鸟网站及湿地管护局的观鸟记录,整理编目北海湿地鸟类物种名录。使用鸟兽物种多样性测度的G-F指数方法和平均动物区系相似性指数(AFR)分析北海湿地鸟类和栖息地生境的耦合特征,揭示北海湿地的景观特征对鸟类物种多样性的影响,以期为北海湿地鸟类资源的长期监测和保护规划的制定提供基础数据,为小型湿地的鸟类生物多样性研究提供借鉴。

1 研究区概况

北海湿地位于云南省腾冲市东北部(25°06'42"~25°08'49" N, 98°30'55"~98°35'02" E),由北海湖和青海湖(青海湖位于北海湖东北方向约1 km,面积约0.21 km²)及临近坡地共同组成,总面积约16.29 km²,海拔约为1 731~2 800 m。湿地位于亚热带北缘,属西南季风性气候区,年平均降水量1 750 mm,年平均气温14.7℃,最高气温30.5℃,最低气温-4.2℃^[9-10]。

北海湿地的生境可以划分为6个主要类型:(1)北海湖:湿地的主体水域,是湿地核心保护区,面积约0.46 km²。其中明水面面积约0.14 km²。水面上的水生沼泽植物呈“浮毯式”漂浮生长,当地人称为“草排”,面积约0.32 km²,主要构成植物为

燕子花(*Iris laevigata*)、李氏禾(*Leersia hexandra*)等植被群落,平均高度约1 m,是全国罕见的独特生态类型^[9-10]。(2)草甸:湿地缓冲区,在北海湖西北侧边缘区域。构成植物有水香薷(*Elsholtzia kachinensis*)、菖蒲(*Acorus calamus*)、李氏禾等植被群落,植被群落样貌和草排植被群落相似^[9]。(3)农田:主要分布在北海湖北、西、南三侧草甸外围。夏季主要为水田,种植水稻,冬季改种小麦和萝卜、玉米等蔬菜,部分田地种植苹果树、杉树等乔木,农田和草甸有围栏隔离。(4)居民区:北海湖的北、西、南3个方向由海口、柴家营、大营和邵家营4个连成一体的自然村环绕。东侧有南北走向的238省道。村庄和公路一起环绕北海湖,并将北海湖与周围的林地隔开。(5)林地:林地环绕分布在北海湿地外围,原生植被主要为半湿润常绿阔叶林及中山湿性阔叶林,但由于长期人为破坏,当前除少量的次生林,大部分为云南松(*Pinus yunnanensis*)、华山松(*P. armandii*)等人工针叶林,毛轴蕨(*Pteridium revolutum*)、伞花蔷薇(*Rosa maximowicziana*)等灌丛,小蓬草(*Conyza canadensis*)、星毛金锦香(*Osbeckia sikkimensis*)等草地植物^[10]。该研究对林地的研究范围为林地山脊线朝向湿地湖泊的汇水面区,是湿地保护区的实验区。(6)青海湖:青海湖水质呈弱酸性,水体表层平均pH值为6.62,是我国唯一的天然酸性湖泊,世界三大酸性湖泊之一。与北海湖之间被林地阻隔,有地下水相通,海拔略高于北海湖,有人工水位调节装置,是北海湖的天然补给水源。青海湖明水面与岸边的林地直接接壤,湖畔生有菱(*Trapa bispinosa*)、艾(*Artemisia argyi*)等植物(图1)^[11]。

2 研究方法

2.1 数据收集

依据往期候鸟迁徙的时间段,于2019年6—7月、2020年1—2月(候鸟越冬期)和2021年3—4月(候鸟越冬结束北归期)对北海湿地进行了3次实地调查。使用双筒望远镜和单反相机,采用样线法和样点法结合,以步行或水面乘船的方式对湿地的野生鸟类进行整个白天时间段观察,详细记录观

察到的鸟类名称、生境环境和地理等信息。因部分生境的植被生长季节变化,既定样线和样点常因后期植被生长造成视野遮蔽,且湿地降雨频繁,各生境线路常有较深积水,导致无法固定设置调查样线和样点。鉴于北海湿地面积小,湿地核心区北海湖南北长约 2.5 km,东西宽约 1 km,视野开阔,鸟类物种在特定生境广泛分布,可在全域被观察到,故研

究的样线和样点依据鸟类栖息地类型和实际气象地理条件下的观鸟容易度进行随机布设(图1)^[12],范围覆盖湿地所有的生境类型。

除实地调查外,通过 eBird 观鸟数据集(<https://ebird.org>)、中国观鸟记录中心(<http://www.birdreport.cn>)及湿地管护局长期的野外调查数据,对北海湿地鸟类物种信息进行补充(表1)。

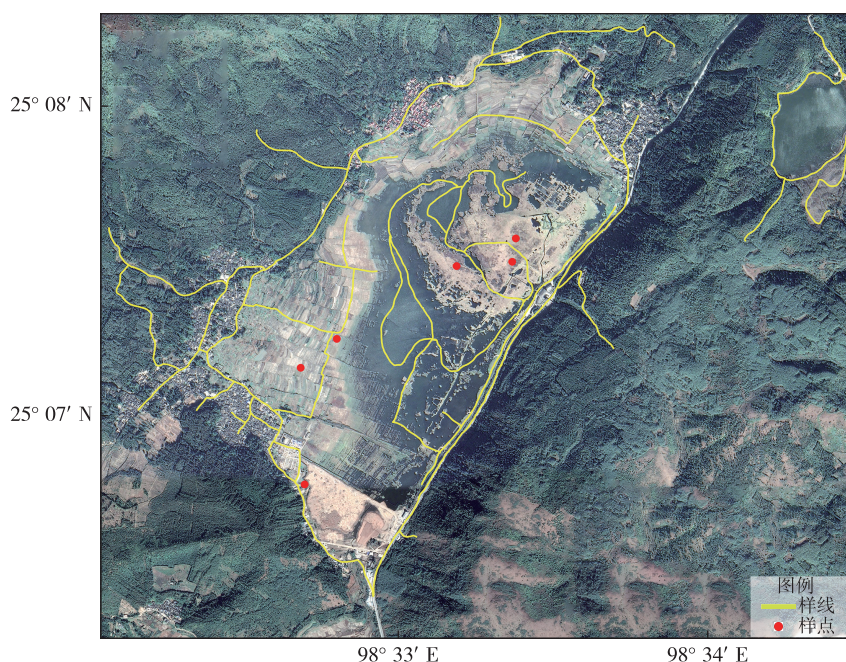


图1 北海湿地生境分类

Fig. 1 The map of transect line and sampling point distribution in Beihai Wetland

表1 北海湿地 2016—2021 年鸟类实地监测记录数据

Table 1 Field survey data of birds in Beihai Wetland during 2016–2021

数据来源	起止时间	记录鸟 种数量
eBird 数据库	2016 年 3 月—2021 年 3 月	81
中国观鸟记录中心	2018 年 1 月—2021 年 3 月	102
北海湿地管护局的调查数据	2019 年 1 月—2020 年 1 月	95
合计	2016 年 3 月—2021 年 3 月	158

2.2 鸟类物种编目

依据《中国鸟类图鉴》^[13]和《中国鸟类分类与分布名录》^[14]对鸟类进行物种鉴别。参照《国家重点保护野生动物名录(2021)》来判定鸟类的濒危程度和保护等级。

2.3 数据分析

2.3.1 G-F 指数测度

北海湿地的鸟类物种多样性使用 G-F 指数(genus-family index)评估^[15-16]。

(1) F 指数(D_F):

$$D_{Fk} = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i, \quad (1)$$

$$P_i = S_{ki}/S_k, \quad (2)$$

$$D_F = \sum_{k=1}^m D_{Fk}. \quad (3)$$

式(1)~(3)中, D_{Fk} 为 k 科中的 F 指数; P_i 为 k 科 i 属中的物种数与 k 科物种数的比值; S_k 为名录中 k 科中的物种数; S_{ki} 为名录中 k 科 i 属中的物种数; n 为 k 科中的属数; m 为名录中鸟纲的科数; P_j 为 j 属中的物种数与名录中物种数的比值。

(2) G 指数(D_G):

$$D_G = - \sum_{j=1}^p q_j \ln q_j, \quad (4)$$

$$q_j = s_j/S. \quad (5)$$

式(4)~(5)中, S 为名录中鸟纲的物种数; s_j 为鸟纲 j 属中的物种数; p 为鸟纲的属数; q_j 为 j 属物种数与名录中物种数的比值。

(3) G-F 指数 (D_{G-F}):

$$D_{G-F} = 1 - D_G / D_F \quad (6)$$

2.3.2 区系相似性分析

湿地不同生境的区系相似性使用平均动物区系相似性 (average faunal resemblance, A_{FR}) 进行评估。

$$A_{FR} = \frac{C(N_1 + N_2)}{2N_1N_2} \quad (7)$$

式(7)中, N_1 与 N_2 分别为2个生境的总物种数; C 为共有物种数。 A_{FR} 值域为0~1。两生境动物区系关系判断标准为共同关系: 0.80~1.00; 密切关系: 0.60~<0.80; 周缘关系: 0.40~<0.60; 疏远关系: <0.40^[16-17]。

3 结果与分析

3.1 鸟类物种丰富度

研究实地调查记录鸟类112种, 监测数据记录鸟类158种, 两者汇总共计鸟类188种, 分属17目54科125属(附录1)。其中, 雀形目鸟类最多, 有110种, 占鸟类物种总数的58.51%; 雁形目有19种, 占比为10.11%; 鹰形目有12种, 占比为6.38%; 鹳形目有11种, 占比为5.85%(表2)。有47种水鸟, 占物种总数的25%。

表2 北海湿地鸟类目、科、属、种数量

Table 2 Number of order, family, genus and species of bird in Beihai Wetland

序号	目	科数	属数	种数 (占比/%)
1	鸡形目(Galliformes)	1	2	2(1.06)
2	雁形目(Anseriformes)	1	9	19(10.11)
3	鹳形目(Podicipediformes)	1	2	3(1.60)
4	鸽形目(Columbiformes)	1	1	2(1.06)
5	夜鹰目(Caprimulgiformes)	1	1	1(0.53)
6	鸮形目(Cuculiformes)	1	2	2(1.06)
7	鹤形目(Gruiformes)	2	6	6(3.19)
8	鸨行目(Charadriiformes)	3	6	7(3.72)
9	鳾鸟目(Suliformes)	1	1	1(0.53)
10	鹈形目(Pelecaniformes)	1	7	11(5.85)
11	鹰形目(Accipitriformes)	1	8	12(6.38)
12	鸱形目(Strigiformes)	2	2	2(1.06)
13	佛法僧目(Coraciiformes)	1	3	3(1.60)
14	啄木鸟目(Piciformes)	2	2	2(1.06)
15	隼形目(Falconiformes)	1	1	3(1.60)
16	鸚鵡目(Psittaciformes)	1	1	2(1.06)
17	雀形目(Passeriformes)	33	71	110(58.51)
总计		54	125	188(100)

3.2 鸟类区系和居留型

北海湿地的鸟类以广布种(123种)为主, 占鸟

类物种总数的65.43%; 东洋界鸟类64种, 占34.04%; 古北界1种, 占0.53%。居留型方面, 以留鸟居多, 有129种; 冬候鸟有42种; 夏候鸟有16种; 旅鸟有3种。监测发现, 牛背鹭(*Bubulcus ibis*)在夏季有119只, 冬季仅剩52只。水雉(*Hydrophasianus chirurgus*)在夏季有4只成鸟, 同时发现数枚待孵化的卵, 冬季仅剩2只成鸟。黑翅鸢(*Elanus caeruleus*)在夏季仅有1只, 冬季有6只。部分牛背鹭群体和水雉在夏季完成繁殖后仍会留在北海湿地, 黑翅鸢在冬季会有越冬个体迁入。故判定此处的牛背鹭和水雉兼有留鸟和夏候鸟2种居留型, 黑翅鸢兼有留鸟和冬候鸟2种居留型^[18]。

3.3 濒危鸟类物种保护级别

北海湿地的188种鸟类中有31种鸟属于《国家重点保护野生动物名录》, 包括I级物种1种: 青头潜鸭(*Aythya baeri*); II级30种: 白鹇(*Lophura nycthemera*)、白腹锦鸡(*Chrysolophus amherstiae*)、棉凫(*Nettapus coromandelianus*)、黑颈鸛鹑(*Podiceps nigricollis*)、紫水鸡(*Porphyrio porphyrio*)、灰鹤(*Grus grus*)、水雉、黑翅鸢、凤头蜂鹰(*Pernis ptilorhynchus*)、蛇雕(*Spilornis cheela*)、林雕(*Ictinaetus malaiensis*)、凤头鹰(*Accipiter trivirgatus*)、松雀鹰(*A. virgatus*)、雀鹰(*A. nisus*)、白腹鸛(*Circus spilonotus*)、白尾鸛(*C. cyaneus*)、黑鸛(*Milvus migrans*)、普通鵟(*Buteo japonicus*)、喜山鵟(*B. refectus*)、斑头鸛鹑(*Glaucidium cuculoides*)、仓鸮(*Tyto alba*)、白胸翡翠(*Halcyon smyrnensis*)、黄爪隼(*Falco naumanni*)、红隼(*F. tinnunculus*)、游隼(*F. peregrinus*)、灰头鸛鹑(*Psittacula finschii*)、绯胸鸛鹑(*P. alexandri*)、红嘴相思鸟(*Leiothrix lutea*)、红喉歌鸛(*Calliope calliope*)、大仙鸛(*Niltava grandis*)。

3.4 云贵高原湖泊湿地的鸟类物种丰富度对比

将北海湿地与4个云贵高原大中型湖泊湿地的鸟类物种进行比较(表3)。结果显示, 北海湿地的鸟类在目和科的水平上与这4个湖泊湿地无明显差异, 在种的水平上比大型湖泊湿地少, 但与中型湖泊湿地无差异。

3.5 北海湿地生境与鸟类物种多样性

北海湿地不同生境的鸟类G-F指数结果如表4所示。北海湿地整体G指数、F指数和G-F指数分别为26.809、4.685和0.825, 表明北海湿地整体的鸟类科属间物种多样性较丰富, 从科和属的角度也反映出较长时间内北海湿地的鸟类物种多样性处于较高水平^[16]。各生境G-F结果显示, 林地鸟类物种多样性最丰富, G-F值为0.729, 其余依次是北

海湖、草甸、农田、居民区和青海湖, G-F 值分别为 0.697、0.628、0.360、0.198、-1.000。

表 3 云贵高原湖泊湿地鸟类生物多样性对比^[19-23]

Table 3 Comparison of bird biodiversity in lacustrine wetlands of the Yunnan-Guizhou Plateau

序号	湖泊湿地	城市	中心位置	湖泊面积/km ²	目	科	种
1	滇池	昆明	24°82' N, 102°69' E	300.38	17	60	311
2	洱海	大理	25°82' N, 100°18' E	248.44	18	42	263
3	异龙湖	红河	23°67' N, 102°57' E	35.34	16	47	139
4	拉市海	丽江	26°88' N, 100°13' E	9.13	12	43	229
5	北海湿地	腾冲	25°07' N, 98°33' E	0.46	17	54	188

3.6 北海湿地鸟类区系相似性

相似性指数计算结果如表 5 所示。青海湖仅有 4 种鸟类, 鸟类物种丰富度极低, 导致青海湖在与其他生境进行区系相似性分析时无法反映出不同生境组区系相似性的真实情况, 故对与青海湖相关的区系相似性结果不予比较, 青海湖的鸟类多样性特征单独进行分析。

各生境组关系中, 呈密切关系的有农田-居民区和北海湖-草甸生境组, 相似性系数分别为 0.783 和 0.673; 呈周缘关系的生境组有草甸-农田、农田-林地、居民区-林地、草甸-居民区, 相似性系数分别为 0.568、0.534、0.523 及 0.435; 呈疏远关系的生境组有北海湖-农田、草甸-林地、北海湖-居民区及北海湖-林地, 相似性系数分别为 0.366、0.335、0.295

及 0.190。

表 4 北海湿地不同生境的鸟类 G-F 指数

Table 4 G-F index of birds in different habitats of Beihai Wetland

生境	G 指数	F 指数	G-F 指数
北海湿地	4.685	26.809	0.825
北海湖	3.780	12.490	0.697
草甸	3.637	9.778	0.628
农田	3.456	5.365	0.360
居民区	3.015	3.758	0.198
林地	4.321	15.953	0.729
青海湖	1.386	0.693	-1.000

G 指数为属间多样性指数, F 指数为科间多样性指数, G-F 指数为科属间的物种多样性指数。

表 5 北海湿地不同生境鸟类的共有种数量及区系相似性指数 (AFR)

Table 5 Common bird species and the AFR among different habitats in Beihai Wetland

生境	共有种数量(相似性指数 AFR)				
	草甸	农田	居民区	林地	青海湖
北海湖	42(0.673)	21(0.366)	13(0.295)	18(0.190)	4(0.526)
草甸		28(0.568)	17(0.435)	25(0.335)	3(0.403)
农田			29(0.783)	36(0.534)	1(0.136)
居民区				26(0.523)	0(0)
林地					0(0)

4 讨论

4.1 北海湿地鸟类物种多样性

北海湿地有 188 种鸟类, 占《云南省生物物种红色名录(2017 版)》中云南鸟类物种总数(949 种)的 19.81%, 《中国生物物种名录(2021 版)》中国鸟类物种总数(1445 种)的 13.01%。北海湿地地理位置属东洋界的西南山地亚区和滇南山地亚区交界处^[14], 鸟类以广布种和东洋界种为主, 鸟类区系情况和湿地的地理区系特征相符。鸟类居留型以留鸟和候鸟居多, 表明北海湿地既是鸟类重要的四季栖息地, 也是候鸟在中亚-印度、东亚-澳大利

西亚 2 大迁徙路线上的重要停歇点和繁殖场所^[24]。大量的受胁物种表明北海湿地在保育珍稀濒危鸟类工作中占有十分突出的位置。

北海湿地与云贵高原大中型湖泊湿地的鸟类物种丰富度对比结果表明, 和大中型湖泊湿地一样, 小型湖泊湿地亦具有丰富的生物多样性内涵。原因主要有 2 点: (1) 湿地的自然物理性质: 湿地的地理环境、湖泊面积、形状、水深度、水质及动植物资源等因素叠加耦合, 影响鸟类物种多样性; (2) 人类干扰: 人类活动尤其是湖岸改造、水质污染、周边林地植被群落衰退等严重破坏了云贵高原大中型湖泊湿地的自然生境^[25]。小型湖泊湿地的人类活

动较少,自然生境尤其是湖岸自然生境的保护较为完整。基于以上原因,小型湖泊湿地和大中型湖泊湿地一样,维持了大量的鸟类物种数,在鸟类生物多样性保护方面具有同等重要的作用。

4.2 北海湿地鸟类生物多样性与生境的耦合特征

北海湿地生境异质性高,不同生境鸟类物种多样性差异较大。区系相似性结果表明,北海湿地总体表现出毗邻生境组相似性较高,间隔较远的生境组相似性较低的特征,符合斑块-廊道-基质的景观生态学模式。

林地生境广阔,有较强的内部异质性^[26],且食源丰富,人类活动较少,为各种林鸟提供了丰富的取食和筑巢环境,具有最高的鸟类物种丰富度;北海湖是水鸟的最主要栖息地,具有较大的明水面和大片浮水草排,生境异质性较高,湖内孕育有多种鱼类、两栖及节肢动物物种^[7,27],能为不同取食生态位的水鸟提供丰富的食物来源,是水鸟营巢觅食的理想场所。此外,一些雀形目鸟类如家燕(*Hirundo rustica*)、白鹡鸰(*Motacilla alba*)等也会在北海湖区域活动,此处的鸟类物种丰富度仅次于林地;草甸、农田与北海湖接壤,是水鸟-林鸟过渡的生态交错区。草甸是水鸟从水面上岸活动的主要陆地场所,属于湿地保护区的缓冲区,人类干扰较少,有较高的鸟类物种丰富度。农田夏季有水田,可吸引紫水鸡、牛背鹭来此逗留觅食^[28-29],但该地人类活动较频繁,农业种植需要使用到农药、人为驱赶等保粮手段,极大干扰了鸟类活动^[30];居民区的人类活动对鸟类的干扰最强,鸟类主要是家燕、麻雀(*Passer montanus*)等伴人物种^[31-32]。

青海湖的鸟类物种丰富度低,水鸟仅有少量的小鸕鷀(*Tachybaptus ruficollis*)、牛背鹭、白鹭(*Egretta garzetta*)及较依赖水环境觅食的白胸翡翠。其余林鸟虽在青海湖岸逗留,但持续监测发现它们的活动轨迹主要在青海湖周边及与之紧密衔接的林地,并非绝对依赖青海湖。故研究只记录极其依赖水环境的这4种鸟,其余林鸟归为林地生境。青海湖鸟类稀少主要有4个方面原因:(1)面积:部分水鸟如鸭科鸟类倾向在大面积的水域聚集^[33]。青海湖面积仅有约0.21 km²,无法满足这些水鸟的栖息活动需求;(2)生境特殊性:青海湖的水陆交界处缺少过渡性草甸或草地、灌丛,缺乏鹭科、鹈科鸟类喜欢停留的沼泽滩涂地带^[34];(3)水质:研究表明,鸟类丰富度在pH值高的水体比pH值低的水体高^[35-37],青海湖水质呈弱酸性,影响鸟类选择栖息;(4)食源:青海湖的生物类群和种属少,生物量

低^[11],缺少吸引水鸟的动植物食源。基于以上原因,青海湖已经不具备维持大量鸟类栖息地的水环境条件。

5 结论

北海湿地作为典型的云贵高原小型湖泊湿地,有17目54科188种野生鸟类。有国家I级重点保护鸟类青头潜鸭等大量珍稀濒危鸟类分布,具有极高的生物多样性保护价值和科学研究意义。北海湿地复杂多样的生境符合斑块-廊道-基质的景观生态学模式,是维持鸟类生物多样性的重要原因和条件。同时,鸟类作为湿地食物链顶端生物,促进了北海湿地生态系统功能的健康和稳定,两者形成相互维持的耦合关系。研究证实,小型湖泊湿地在生物多样性保护工作中同样起着十分重要的作用,需要加强关注和保护力度。

致谢: 该研究的野外调查工作得到北海湿地管护局邵生荣先生全家、毕贵才和杜家用先生的大力支持,中央民族大学生命与环境科学学院的张淑萍教授和云南大学生态与环境学院的陈明勇教授在物种编目和数据处理等方面给予了大量帮助和宝贵意见,在此一并表示诚挚的感谢。

参考文献:

- [1] 范宗骥,欧阳学军,万雅琼,等.基于红外相机技术对广东鼎湖山及其周边林地的鸟兽调查[J].生物多样性,2020,28(9):1147-1153.[FAN Zong-ji, OUYANG Xue-jun, WAN Ya-qiong, et al. Mammals and Birds Survey Using Camera Trapping in Dinghusan and Its Surrounding Forests, Guangdong Province [J]. Biodiversity Science, 2020, 28(9): 1147-1153.]
- [2] HOFFMANN M, HILTON-TAYLOR C, ANGULO A, et al. The Impact of Conservation on the Status of the World's Vertebrates [J]. Science, 2010, 330(6010): 1503-1509.
- [3] GUIAN A, TINGLEY R, BAUMGARTNER J B, et al. Predicting Species Distributions for Conservation Decisions [J]. Ecology Letters, 2013, 16(12): 1424-1435.
- [4] GLISSON W J, CONWAY C J, NADEAU C P, et al. Habitat Models to Predict Wetland Bird Occupancy Influenced by Scale, Anthropogenic Disturbance, and Imperfect Detection [J]. Ecosphere, 2017, 8(6): e01837.
- [5] 王勇, 张正旺, 郑光美, 等. 鸟类学研究: 过去二十年的回顾和对未来发展的建议 [J]. 生物多样性, 2012, 20(2): 119-137. [WANG Yong, ZHANG Zheng-wang, ZHENG Guang-mei, et al. Ornithological Research: Past Twenty Years and Future Perspectives in China [J]. Biodiversity Science, 2012, 20(2): 119-137.]
- [6] 孔颖. 我国鸟类迁徙路线上的湿地资源现状及保护对策 [J]. 环境与发展, 2020, 32(3): 201-202, 207. [KONG Ying. The Status and Conservation Strategy for our Wetland Resources in the Bird's

- Migration Routes of China [J]. *Environment and Development*, 2020, 32(3): 201–202, 207.]
- [7] 沈立新, 梁洛辉. 腾冲北海湿地保护区动植物多样性及其环境状况的分析[J]. *东北林业大学学报*, 2005, 33(5): 100–102. [SHEN Li-xin, LIANG Luo-hui. Analysis on the Diversity and Environmental Conditions of Plants and Animals in Beihai Wetland Nature Reserve of Tengchong County [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2005, 33(5): 100–102.]
- [8] 曹子林, 李桐森, 李小龙, 等. 云南腾冲北海湿地省级自然保护区总体规划 (2008—2020 年) [R]. 昆明: 西南林业大学, 2008. [CAO Zi-lin, LI Tong-sen, LI Xiao-long, *et al.* Master Plan of Beihai Wetland Provincial Nature Reserve in Tengchong, Yunnan (2008–2020) [R]. Kunming: Southwest Forestry University, 2008.]
- [9] 刘晓达. 腾冲北海湿地湿生植物资源与可持续性研究 [D]. 北京: 中央民族大学, 2017. [LIU Xiao-da. Study on Hydrophyte Resources and Sustainability in Tengchong, Beihai Wetland [D]. Beijing: Central University for Nationalities, 2017.]
- [10] 杨兴媛. 腾冲北海湿地保护区汇水面陆生植物资源与管理研究 [D]. 北京: 中央民族大学, 2019. [YANG Xing-yuan. Study on Terrestrial Plant Resources and Management in the Catchment of Tengchong Nature Reserve in Beihai Wetland [D]. Beijing: Central University for Nationalities, 2019.]
- [11] 王云飞, 朱育新, 潘红玺, 等. 云南腾冲青海: 酸性湖泊的环境特征 [J]. *湖泊科学*, 2002, 14(2): 117–124. [WANG Yun-fei, ZHU Yu-xin, PAN Hong-xi, *et al.* Environmental Characteristics of an Acid Qinghai Lake in Tengchong, Yunnan Province [J]. *Journal of Lake Science*, 2002, 14(2): 117–124.]
- [12] 周雯慧, 朱京海, 刘合鑫, 等. 湿地鸟类调查方法概述 [J]. *野生动物学报*, 2018, 39(3): 588–593. [ZHOU Wen-hui, ZHU Jing-hai, LIU He-xin, *et al.* Overview of Wetland Bird Survey Methods [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2018, 39(3): 588–593.]
- [13] 赵欣如. 中国鸟类图鉴 [M]. 北京: 商务印书馆, 2018: 2–929. [ZHAO Xin-ru. A photographic Guide to the birds of China [M]. Beijing: The Commercial Press, 2018: 2–929.]
- [14] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录 [M]. 3 版. 北京: 科学出版社, 2017: 1–410. [ZHENG Guang-mei. A Checklist on the Classification and Distribution of the Birds of China [M]. 3rd ed. Beijing: Science Press, 2017: 1–410.]
- [15] 蒋志刚, 纪力强. 鸟兽物种多样性测度的 G-F 指数方法 [J]. *生物多样性*, 1999, 7(3): 220–225. [JIANG Zhi-gang, JI Li-qiang. Avian Mammalian Species Diversity in Nine Representative Sites in China [J]. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7(3): 220–225.]
- [16] 高红梅, 蔡振媛, 覃雯, 等. 三江源国家公园鸟类物种多样性研究 [J]. *生态学报*, 2019, 39(22): 8254–8270. [GAO Hong-mei, CAI Zhen-yuan, QIN Wen, *et al.* Species Diversity of Birds in the Three-River-Source National Park [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(22): 8254–8270.]
- [17] LONG C A. Mathematical Formulas Expressing Faunal Resemblance [J]. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 1963, 66(1): 138.
- [18] 余青青, 孙庆业. 董铺水库的鸟类多样性 [J]. *生态学杂志*, 2021, 40(3): 777–787. [YU Qing-qing, SUN Qing-ye. Bird Diversity in Dongpu Reservoir [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40(3): 777–787.]
- [19] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 中国湖泊调查报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2019: 633–643. [Nanjing Institute of Geography and Lakes, Chinese Academy of Sciences. Lake Survey Report in China [M]. Beijing: Science Press, 2019: 633–643.]
- [20] 西南林业大学地理与生态旅游学院, 昆明市滇池高原湖泊研究院, 中国科学院昆明动物所, 等. 滇池流域生物多样性绿皮书 [R]. 昆明: 云南省滇池保护治理基金会, 2021.
- [21] 姜杰, 姜健发. 大理苍山洱海国家级自然保护区生物多样性保护对策研究 [J]. *林业调查规划*, 2019, 44(6): 51–55, 60. [JIANG Jie, JIANG Jian-fa. Countermeasure of Biodiversity Conservation in Dali Cangshan-Erhai National Nature Reserve [J]. *Forest Inventory and Planning*, 2019, 44(6): 51–55, 60.]
- [22] 肖剑平, 曹明, 李桥光, 等. 异龙湖国家湿地公园鸟类群落多样性及其季节动态 [J]. *野生动物学报*, 2019, 40(1): 109–115. [XIAO Jian-ping, CAO Ming, LI Qiao-guang, *et al.* Diversity and Seasonal Dynamics of Bird Communities in the Yilong Lake National Wetland Park [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2019, 40(1): 109–115.]
- [23] 李海萍, 王娜萍, 代宇庭. 不同强度人类活动下拉市海鸟类密度分布研究 [J]. *湿地科学*, 2021, 19(2): 162–169. [LI Hai-ping, WANG Na-ping, DAI Yu-ting. Distribution of Bird Density in Lashihai Lake under Different Intensities of Human Activities [J]. *Wetland Science*, 2021, 19(2): 162–169.]
- [24] 李娜, 丁晨晨, 曹丹丹, 等. 中国阿勒泰地区鸟类物种编目、丰富度格局和区系组成 [J]. *生物多样性*, 2020, 28(4): 401–411. [LI Na, DING Chen-chen, CAO Dan-dan, *et al.* Avian Species Census, Richness Patterns and Faunal Composition in the Altay Region, China [J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28(4): 401–411.]
- [25] MURILLO-PACHECO J, LÓPEZ-IBORRA G M, ESCOBAR F, *et al.* The Value of Small, Natural and Man-Made Wetlands for Bird Diversity in the East Colombian Piedmont [J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2018, 28(1): 87–97.
- [26] 景东东, 王晓军, 景慧玉, 等. 太原汾河湿地公园秋冬季鸟类多样性调查 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(7): 18–21. [JING Dong-dong, WANG Xiao-jun, JING Hui-yu, *et al.* Birds Species Diversity in Autumn and Winter in Fenhe River Wetland Park of Taiyuan City [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016, 44(7): 18–21.]
- [27] 刘晓达, 张蔚, 杨帆, 等. 腾冲北海湿地鱼类资源现状调查 [J]. *云南农业大学学报 (自然科学)*, 2017, 32(3): 458–464. [LIU Xiao-da, ZHANG Wei, YANG Fan, *et al.* Investigation of Fish Resources in Beihai Wetland in Tengchong, Yunnan Province [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2017, 32(3): 458–464.]
- [28] KASAHARA S, MORIMOTO G, KITAMURA W, *et al.* Rice Fields along the East Asian-Australasian Flyway are Important Habitats for an Inland Wader's Migration [J]. *Scientific Reports*, 2020, 10: 4118.
- [29] 周文莹, 张入匀, 李艳朋, 等. 粤港澳大湾区不同类型湿地水鸟群落物种多样性和越冬水鸟栖息地重要性评价 [J]. *湿地科学*, 2021, 19(2): 178–190. [ZHOU Wen-ying, ZHANG Ru-yun,

- LI Yan-peng, *et al.* Species Diversity of Waterbird Community in Various Types of Wetlands and Evaluation of Importance of Habitats of Wintering Waterbirds in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area [J]. *Wetland Science*, 2021, 19(2): 178-190.]
- [30] SI Y L, WEI J, WU W Z, *et al.* Reducing Human Pressure on Farmland could Rescue China's Declining Wintering Geese [J]. *Movement Ecology*, 2020, 8: 35.
- [31] SKÓRKA P, SIERPOWSKA K, HAIDT A, *et al.* Habitat Preferences of Two Sparrow Species are Modified by Abundances of other Birds in an Urban Environment [J]. *Current Zoology*, 2016, 62(4): 357-368.
- [32] KANG Liao, ZHAO Lu-Wu, HAOTIAN Bai, *et al.* Bird Diversity and Waterbird Habitat Preferences in Relation to Wetland Restoration at Dianchi Lake, South-west China [J]. *Avian Research*, 2019(3): 374-385.
- [33] 刘大钊, 周立志. 安徽安庆菜子湖国家湿地公园景观格局变化对鸟类多样性的影响 [J]. *生态学杂志*, 2021, 40(7): 2201-2212. [LIU Da-zhao, ZHOU Li-zhi. Effects of Landscape Pattern Change on Bird Diversity in Anhui Anqing Caizi Lake National Wetland Park [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40(7): 2201-2212.]
- [34] 张淑萍, 张正旺, 徐基良, 等. 水域周边景观类型对迁徙水鸟停歇地选择的影响研究 [J]. *中央民族大学学报(自然科学版)*, 2006, 15(2): 164-168, 176. [ZHANG Shu-ping, ZHANG Zheng-wang, XU Ji-liang, *et al.* The Influence of the Surrounding Landscape Type of Water Area on the Stopover Site Selection of the Migrant Waterbirds [J]. *Journal of the Central University for Nationalities (Natural Sciences Edition)*, 2006, 15(2): 164-168, 176.]
- [35] GOODSELL J T. Distribution of Waterbird Broods Relative to Wetland Salinity and pH in South-Western Australia [J]. *Wildlife Research*, 1990, 17(3): 219.
- [36] TAKEKAWA J Y, MILES A K, SCHOELLHAMER D H, *et al.* Trophic Structure and Avian Communities across a Salinity Gradient in Evaporation Ponds of the San Francisco Bay Estuary [J]. *Hydrobiologia*, 2006, 567(1): 307-327.
- [37] 张强, 马克明, 李金亚, 等. 不同尺度下停歇点湿地对迁徙水鸟的影响研究综述 [J]. *生态学报*, 2017, 37(8): 2520-2529. [ZHANG Qiang, MA Ke-ming, LI Jin-ya, *et al.* The Effect of Stopover Wetlands on Migratory Waterbirds at Different Scales: A Review [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(8): 2520-2529.]

作者简介: 慕震(1989—), 男, 陕西西安人, 硕士, 主要研究方向为湿地生物多样性。E-mail: hello_muzhen@126.com

(责任编辑: 陈昕)

《生态与农村环境学报》2022年度优秀论文评选结果揭晓

为提升《生态与农村环境学报》的学术影响力, 鼓励优秀作者, 吸引更多的优秀科研成果在本刊首发, 编辑部根据论文创新性和同行评议意见, 并参考 CNKI 数据库文章的被引频次、下载量、文章发表时滞和学科分布, 对 2021 年发表论文进行评估, 遴选出 10 篇优秀论文, 编辑部将向优秀论文作者颁发荣誉证书和奖金。优秀论文名单如下:

2022年度《生态与农村环境学报》优秀论文(2021年发表)

序号	论文题目	作者姓名	卷(期): 页码
1	基于最小累积阻力模型的生态安全格局构建研究进展	杨凯, 曹银贵, 冯喆, 耿冰瑾, 冯漪, 王舒菲	37(5): 555-565
2	基于计划行为理论的农村居民参与人居环境治理意愿研究: 以新疆为例	赵新民, 姜蔚, 程文明	37(4): 439-447
3	改性稻壳生物炭对水中 Cd ²⁺ 的吸附性能研究	任洁青, 王朝旭, 张峰, 李红艳, 崔建国	37(1): 73-79
4	渭河流域土壤侵蚀时空特征及其地理探测	贾磊, 姚顺波, 邓元杰, 李园园, 侯孟阳, 龚直文	37(3): 305-314
5	长期不同施肥模式对农田黑土微生物群落构建的影响	高威, 王连峰, 贾仲君	37(11): 1437-1448
6	基于植被覆盖度和遥感生态指数的成都市锦江区生态质量评估	王志超, 何新华	37(4): 492-500
7	农业绿色生产技术采纳对农户收入的影响效应研究	陈梅英, 黄守先, 张凡, 党晴晴, 夏康耀, 陈镇, 袁鹭	37(10): 1310-1317
8	洱海流域农业面源污染研究进展	段四喜, 杨泽, 李艳兰, 何搏, 施剑春, 宋伟志	37(3): 279-286
9	基于改进型遥感生态指数(MRSEI)模型的滇中地区生态环境质量研究	农兰萍, 王金亮, 玉院和	37(8): 972-982
10	过渡金属活化过硫酸盐在环境修复领域的研究进展	王肖磊, 吴根华, 方国东, 周东美	37(2): 145-154

本刊编辑部
4月18日