

# 浙江松阳县鸟类群落结构和多样性分析

于赐刚,郭晓平\*,马月,张振华,刘燕,董姗姗,孙硕

(国家环境保护生物多样性与生物安全重点实验室,国家环境保护武夷山生态环境科学观测研究站,  
生态环境部南京环境科学研究所,江苏 南京 210042)

**摘要:**【目的】鸟类是地球生物多样性的重要组成部分,是反映生态环境质量的指示物种。探讨浙江松阳县鸟类群落结构和生物多样性状况,了解珍稀濒危和重点保护鸟类的种类、数量、分布、生境等现状,为当地的生物多样性保护、区域生物多样性监测与评估提供依据。【方法】将松阳县全域范围划分为17个10 km×10 km的工作网格,采用样线法对各网格进行调查,共设置24条样线,生境类型包括林地、农田和湿地3类,调查时间从2020年12月—2021年11月。通过计算物种丰富度指数、香农多样性指数、辛普森指数和均匀度指数对松阳鸟类进行多样性分析,采用双因素嵌套方差分析方法对不同季节、不同生境中鸟类生物多样性进行比较。【结果】①全年共观测到野生鸟类249种,分属18目62科。各个季节观测到的鸟类物种数量多少依次为春季>冬季>秋季>夏季,其中春季观测到的鸟类最多,达到195种;夏季最少,为89种;每个季节均观测到的鸟类有52种。各种生境观测到的鸟类数量多少依次为湿地>林地>农田,其中湿地中观测到的鸟类最多,达到140种;农田中观测到的鸟类最少,为109种;各生境均观测到的鸟类有28种。②全部鸟类中,国家重点保护动物25种,其中国家一级重点保护鸟类4种,国家二级重点保护鸟类21种;世界自然保护联盟(IUCN)物种红色名录中极危物种1种,濒危物种2种,易危物种3种,近危物种8种。③季节和生境对各个生物多样性指数(物种丰富度指数、香农多样性指数、辛普森指数和均匀度指数)的影响均为极显著( $P<0.01$ ),季节和生境的交互作用对鸟类物种丰富度影响极显著( $P<0.01$ ),对香农多样性指数、辛普森指数和均匀度指数的影响不显著。【结论】松阳丰富的鸟类多样性与当地的自然环境密切相关,春季是鸟类最多的季节;松阳的林地、湿地、农田都是鸟类的重要栖息地,各种生境中观测到的鸟类均超过百种,其中湿地范围内观测到鸟类丰富度高于林地和农田。

**关键词:**鸟类;生物多样性;生境;样线法;浙江松阳

中图分类号:Q958.15;S763

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2006(2023)05-0231-06



## Analyses on bird community structure and diversity in Songyang County, Zhejiang Province

YU Cigang, GUO Xiaoping\*, MA Yue, ZHANG Zhenhua, LIU Yan, DONG Shanshan, SUN Shuo

(National Environmental Protection Key Laboratory of Biodiversity and Biosafety, National Environmental Protection  
Wuyi Mountain Biodiversity Observation Station, Nanjing Institute of Environmental Sciences,  
Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** 【Objective】Birds are an important part of earth's biodiversity and an indicator for the quality of the ecological environment. In this study, bird community structure and biodiversity in Songyang County, Zhejiang Province were explored. Informations on species, distributions, quantities and habitat status of rare or endangered birds were analyzed in order to support local biodiversity conservation, regional biodiversity monitoring and assessments. 【Method】Songyang County was divided into 17 working grids of 10 km × 10 km, each containing 24 transects. There were three habitat types: woodland, farmland and wetland. The survey period was from December 2020 to November 2021. The diversity of Songyang birds was analyzed by calculating the species richness index, Shannon-Wiener diversity index, Simpson's diversity index and Pielou's evenness index; the nested two-way analysis of variance (ANOVA) was used to evaluate the

收稿日期 Received: 2022-04-08

修回日期 Accepted: 2022-09-07

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)。

第一作者:于赐刚(ycg@nies.org)。\*通信作者:郭晓平(gxp@nies.org),副研究员。

引文格式:于赐刚,郭晓平,马月,等.浙江松阳县鸟类群落结构和多样性分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2023,47(5):  
231-236. YU C G, GUO X P, MA Y, et al. Analyses on bird community structure and diversity in Songyang County, Zhejiang  
Province[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2023, 47(5): 231-236. DOI: 10.12302/j.issn.  
1000-2006.202204014.

effects of season and habitat. 【Result】 (1) In total, 249 species of wild bird were observed throughout the period, belonging to 18 orders and 62 families. The number of species of bird observed in each season was in the order of spring (195 species) > winter (128 species) > autumn (104 species) > summer (89 species). In total, 52 species appeared in all seasons. The number of bird species observed in various habitats was in the order of wetland (140 species) > woodland (125 species) > farmland (109 species). In total, 28 species appeared in all habitats. (2) Among all birds, there were 25 nationally protected animals including 4 first-level and 21 second-level ones. There was 1 critically endangered species, 2 endangered species, 3 vulnerable species and 8 near threatened species according to the International Union for Conservation of Nature (IUCN) red list of threatened species. (3) All bird biodiversity indices (species richness index, Shannon-Wiener diversity index, Simpson's diversity index and Pielou's evenness index) were affected significantly by season and habitat ( $P < 0.01$ ). The species richness index was significantly affected by the interaction of season and habitat, but the Shannon-Wiener diversity index, Simpson's diversity index, and Pielou's evenness index were not significantly affected by this interaction ( $P > 0.05$ ). 【Conclusion】 Rich bird diversity in songyang is closely related to the local natural environment and spring has the most bird species. Woodland wetland, and farmland are all important bird habitats, with > 100 species observed in each. Among them, bird abundance in wetland is higher than that in woodland and farmland.

**Keywords:** birds; biodiversity; habitat; line transect method; Songyang County, Zhejiang Province

野生鸟类是自然生态系统的重要组成部分,是生物群落中最为活跃的重要组成部分,对维持生态系统功能完整性和生物多样性起着重要的作用<sup>[1-6]</sup>。鸟类与植被、栖息地的对应关系较为明确<sup>[7]</sup>,对环境变化和人为干扰极其敏感,是生态环境评价的重要指示物种之一<sup>[8]</sup>。同时,由于鸟类具有易观测、调查标准规范和数据收集快速等特点,一直成为生态学、生物学等领域的研究热点<sup>[9-11]</sup>,也成为我国生物多样性评估的重点类群。我国高度重视生物多样性保护工作,近年来,已在多个生物多样性保护优先区域开展了“生物多样性调查、观测和评估”工作,并将鸟类多样性作为重要的调查、观测对象<sup>[12]</sup>。浙江丽水市大部分区域位于“武夷山生物多样性保护优先区”,该优先区为我国亚热带地区重要的“物种贮存库”,曾被列为中国陆地 11 个生物多样性保护的“关键区”之一,在我国生态环境保护体系中占有重要地位。

松阳县位于浙江省丽水市,处于我国武夷山生物多样性保护优先区的过渡带,是浙江省生物多样性的关键地区。优越的地理位置、气候条件使松阳成为野生鸟类的重要栖息地。2019 年底至 2021 年底,包括松阳在内的丽水各县(市、区)陆续开展了生物多样性调查工作。本研究通过对松阳县鸟类多样性进行调查和分析,了解当地珍稀濒危和重点保护鸟类的数量、种类、分布、生境等现状;同时,对不同生境、季节之间鸟类多样性的变化特征进行分析,为当地生物多样性保护、区域生物多样性监测、评估提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于浙西南山区的丽水市松阳县(119°10' ~ 119°42' E, 28°14' ~ 28°36' N),东邻莲都,西南接龙泉市、云和县,西北连遂昌县,东北毗邻金华市武义县,地处长江中下游区域的中亚热带区域,温暖湿润,无霜期长,冬暖春早,已经记录的候鸟、留鸟数量均超百种。松阳县域面积 1 406 km<sup>2</sup>,其中山地占 76%,耕地占 8%,水域及其他占 16%。全境以中、低山丘陵地带为主,四面环山,中部盆地。松阳县复杂的湿地、林地和农田景观错落交织,为鸟类及其他野生动物提供了多种类型的栖息环境,其中,松阴溪自西北向东南贯穿松阳县全境,是野生鸟类的重要觅食地。

### 1.2 调查方法

本研究主要参考《生物多样性观测技术导则鸟类》<sup>[13]</sup>和《县域鸟类多样性调查与评估技术规范》<sup>[14]</sup>,将调查区域划分为 17 个 10 km×10 km 的工作网格,涵盖松阳县全域范围,采用样线法调查评估松阳县鸟类多样性现状<sup>[15]</sup>,共设置 24 条样线。按照观测样线的主要生境类型,将样线划分为林地、农田和湿地 3 类。

根据浙江省气候特征和鸟类区系组成,分别在 2020 年 12—2021 年 2 月、2021 年 4—5 月、2021 年 6—8 月、2021 年 9—11 月开展了松阳春、夏、秋、冬 4 个季节的鸟类多样性调查,涉及鸟类的繁殖季、迁徙季和越冬季,累计 107 d。调查时,采用目击、拍摄、听声、录音等方法全面调查样线两侧 100 m

以及空中 300 m 范围内鸟类的种类和数量。在调查过程中,根据调查区域实地情况,在安全保障的条件下设置调查线路,避开难以抵达的地域,尽量减少对鸟类及其生境的干扰。每次调查选取晴朗无风的 3~4 d,在日出后 3 h 和日落前 3 h 根据样线法调查技术规范进行鸟类调查,记录见到和听到的鸟类数量、种类、生境类型、GPS 坐标等信息。鸟类物种鉴定参考《中国鸟类野外手册》<sup>[16]</sup>,鸟类分类地位及学名和中文名参考《中国鸟类分类与分布名录(第 3 版)》<sup>[17]</sup>以及《国家重点保护野生动物名录》<sup>[18]</sup>。

### 1.3 数据分析

主要采用物种丰富度指数( $S$ )、香农(Shannon-Wiener)多样性指数( $H'$ )、辛普森(Simpson)指数( $D$ )和 Pielou 均匀度指数( $E$ )<sup>[18]</sup>对松阳鸟类进行多样性分析:

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

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

$$E = H' / \ln S. \quad (3)$$

式中: $S$ 表示鸟的种类(丰富度指数); $P_i$ 为鸟类物种*i*的个体数占有所有鸟类物种个体总数的比例。生物多样性指数的计算使用 R 软件完成,主要使用“Vegan”语言包。

为了比较不同季节、生境中鸟类多样性数值之间的差异,以季节、生境为参数进行双因素嵌套方差分析(nested two-way ANOVA),采用最小显著性差异法(least significant difference, LSD)检验,显著性水平设置为 0.05。方差分析、作图均使用 R 软件完成,其中方差分析主要使用“Agricolae”“Psych”语言包,作图主要使用“VennDiagram”语言包<sup>[20]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 浙江松阳鸟类物种组成

经观测,在浙江松阳 4 个季节共记录到鸟类 249 种,隶属 18 目 62 科。对各季节鸟类物种数量分析表明,各个季节都观测到的鸟类有 52 种;仅在 1 个季节观测到的鸟类数量中,春季为 85 种,夏季为 0,秋季为 4 种,冬季为 24 种(图 1)。其中,春季观测到鸟类最多,分属 18 目 59 科 195 种,目、科、种分别占全年总数的 100.0%、95.2%和 78.3%;夏季观测到的鸟类分属 14 目 43 科 89 种,分别占全年总数的 77.8%、69.4%和 35.7%;秋季观测到的鸟类分属 14 目 42 科 104 种,分别占全年总数的 77.8%、67.7%和 41.8%;冬季观测到的鸟类分属

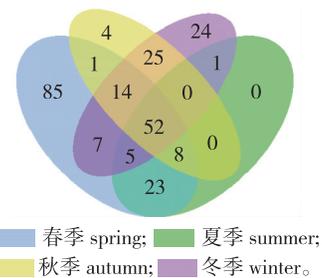


图 1 浙江省松阳县不同季节鸟类调查数量情况  
Fig. 1 Results of birds survey in the four seasons in Songyang County, Zhejiang Province

14 目 43 科 128 种,分别占全年总数的 77.8%、69.4%和 51.4%。

对各生境鸟类物种数量分析表明,湿地中观测到的鸟类 140 种,林地中观测到的鸟类为 125 种,农田中观测到的鸟类 109 种。其中,仅在湿地观测到的鸟类 86 种,仅在林地观测到的鸟类 48 种,仅在农田观测到的鸟类 18 种,各生境均观测到的鸟类 28 种。研究表明,松阳县具有丰富的鸟类生物多样性,这很大程度与当地的自然地理条件紧密相关,松阳县林木茂盛、植被丰富,林地、湿地、农田等生境类型多样,空间异质性较高,形成多样的小生境和小气候,为鸟类的栖息和迁徙提供了良好条件<sup>[21-22]</sup>。

### 2.2 浙江松阳珍稀濒危鸟类分析

在浙江松阳观测到的国家重点保护物种方面,全年记录国家一级重点保护鸟类 4 种,分别为中华秋沙鸭(*Mergus squamatus*)、黄腹角雉(*Tragopan caboti*)、黑脸琵鹭(*Platalea minor*)、黄胸鹀(*Emberiza aureola*);国家二级重点保护鸟类 21 种,分别为林雕(*Ictinaetus malaiensis*)、蛇雕(*Spilornis cheela*)、赤腹鹰(*Accipiter soloensis*)、松雀鹰(*A. virgatus*)等。世界自然保护联盟(IUCN)物种红色名录中极危物种(CR)有黄胸鹀 1 种,濒危物种(EN)有中华秋沙鸭、黑脸琵鹭 2 种,易危物种(VU)有黄腹角雉、红头潜鸭(*Aythya ferina*)、田鸫(*E. rustica*) 3 种,近危物种(NT)有白眉山鹪鹩(*Arborophila gingica*)、鹌鹑(*Coturnix japonica*)、罗纹鸭(*Mareca falcata*)等 8 种。列为《中国脊椎动物红色名录》<sup>[23]</sup>中的濒危物种(EN)有黄腹角雉、中华秋沙鸭、黑脸琵鹭、黄胸鹀 4 种,易危物种(VU)有白眉山鹪鹩、红头潜鸭 2 种,近危物种(NT)有红胸田鸡(*Zapornia fusca*)、长嘴剑鸻(*Charadrius placidus*)、鹰雕(*Nisaetus nipalensis*)、白腰杓鹬(*Numenius arquata*)、画眉(*Garrulax canorus*)等 20 种。

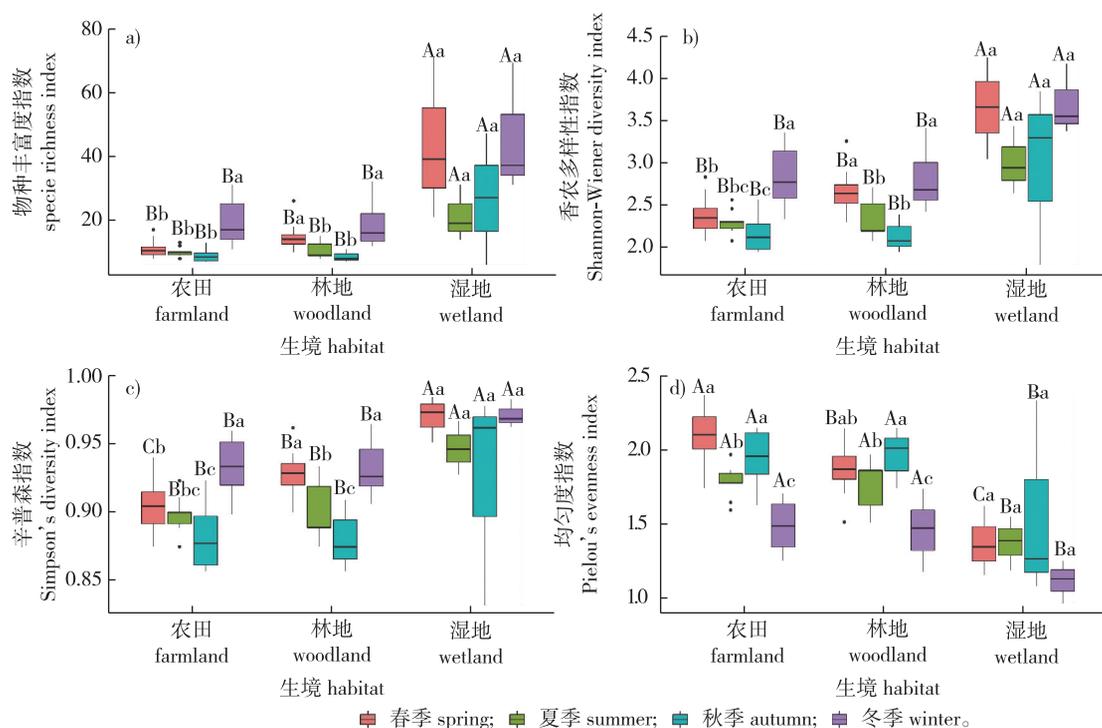
### 2.3 浙江松阳鸟类多样性的季节和生境变化

松阳县4个季节鸟类多样性分布情况如表1所示。4个季节鸟类的物种丰富度指数和香农多样性指数状况较为一致,从大到小表现为春季>冬季>秋季>夏季;在辛普森指数方面,4个季节差异不大;在均匀度指数方面,春季最高,夏季次之,秋季和冬季较低。

表1 浙江省松阳县不同季节鸟类多样性指数

Table 1 The bird diversity indexes in different seasons in Songyang County, Zhejiang Province

季节 season	物种 丰富度指数 specie richness index	香农多样 性指数 Shannon- Wiener diversity index	辛普森 指数 Simpson diversity index	均匀度 指数 Pielou's evenness index
春季 spring	195	4.94	0.99	0.94
夏季 summer	89	4.10	0.98	0.91
秋季 autumn	104	4.19	0.98	0.90
冬季 winter	128	4.32	0.98	0.90



不同大写字母表示相同季节不同生境间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示相同生境不同季节间差异显著 ( $P < 0.05$ )。Different uppercase letters indicate that there are significant differences among three habitats in the same season ( $P < 0.05$ ), and different lowercase letters indicate that there are significant differences among four seasons in the same habitat ( $P < 0.05$ ).

图2 浙江省松阳县不同季节各生境的鸟类多样性指数

Fig. 2 The bird diversity indexes in different seasons and habitats in Songyang County, Zhejiang Province

为进一步分析鸟类多样性在不同季节、生境中的差异,通过双因素嵌套方差分析发现:季节和生境对鸟类多样性的影响都为极显著,季节和生境的

进一步比较分析不同季节各个生境的情况发现:在物种丰富度方面,湿地生境4个季节均显著高于农田、林地生境;在农田生境中,冬季显著高于其他季节;林地生境中,冬季、春季显著高于其他季节(图2a)。在香农多样性指数方面,湿地生境4个季节均显著高于农田、林地生境;在农田生境中,冬季显著高于其他季节,春季显著高于秋季;在林地生境中,冬季、春季显著高于夏季和秋季(图2b)。在辛普森指数方面,湿地生境4个季节均显著高于农田、林地,林地生境在春季显著高于农田生境;在农田生境中,冬季显著高于其他季节,春季显著高于夏秋季;在林地生境中,春季、冬季显著高于其他季节,夏季显著高于秋季(图2c)。均匀度指数方面,农田和林地生境除春季外无显著差异,两者四季均显著高于湿地生境;农田生境中,春季、秋季显著高于其他季节;林地生境中,秋季显著高于夏季,夏季显著高于冬季(图2d)。

交互作用显著影响了鸟类的物种丰富度,对香农多样性指数、辛普森指数、均匀度指数影响均不显著(表2)。

松阳县湿地鸟类多样性均高于林地和农田,这与松阳丰富的水资源、良好的水环境和水生态有关,水域作为典型的生境交错地带,有可能孕育更多的生物多样性<sup>[24]</sup>。松阳拥有较为发达的水系,全县 982 条大小河流纵横交错,水域面积 37.54 km<sup>2</sup>。其中,松阴溪干流长度为 60.5 km,河道平均坡降仅为 3.4‰,河道长、坡降小,形成丰富的水生植物、鱼类等湿地动植物群落,也为鸟类提供了良好的栖息觅食地。

表 2 浙江省松阳县季节和生境对鸟类多样性指数的影响分析

Table 2 The effects of season and habitat on bird diversity indexes in Songyang County, Zhejiang Province

多样性指数 diversity index	季节 season		生境 habitat		生境与季节 交互作用 interaction between season and habitat	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
	物种丰富度指数 specie richness index	20.52	<0.01	43.49	<0.01	3.65
香农多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	30.13	<0.01	28.57	<0.01	1.45	0.20
辛普森指数 Simpson diversity index	27.78	<0.01	15.13	<0.01	0.97	0.45
均匀度指数 Pielou's evenness index	37.59	<0.01	17.59	<0.01	1.43	0.21

### 3 讨论

松阳拥有优越的自然生态环境,丰富的物产为鸟类的栖息和繁衍提供了物质基础,而乡村的风俗习惯也为松阳的生物多样性保护起到一定的作用。作为鸟类的重要栖息地,有研究表明,林地比其他生境更为复杂和多样,因此可能分布更多的鸟类<sup>[25]</sup>。本次调查发现,林地并不是鸟类生物多样性最丰富的区域,尽管在本研究中也记录到了较多的林地鸟类,但总体数量少于湿地鸟类。其原因可能与调查的“可达性”有关,由于林地内部环境复杂,在选取样线的时候未充分考虑密林深处的鸟类调查,因而导致林地鸟类数据相对较少。这也提示在今后的工作中,应注重运用更多的科技手段对林地鸟类进行观测。

本研究调查在农田中记录鸟类逾百种的结果说明,松阳的农田也是鸟类的重要活动区域。农田为鸟类提供了水、食物和栖息环境,但是鸟类活动

可能会对当地农业生产带来一定的影响,需要进一步开展相关宣传,避免或者减缓农业生产与鸟类保护之间的矛盾;另一方面,应开展更多研究,在农业生产和鸟类保护之间寻求新的平衡,例如,可以推进体验地建设,增加部分农田的“体验属性”,促进“生物多样性经济”的发展,实现新的价值转化机制,进一步促进人与鸟类的和谐共生。

本次调查中记录到的春季鸟类丰富度显著高于其他季节,说明松阳是鸟类迁飞的重要中转站,应注重在迁飞季节对候鸟的保护。同时调查数据表明松阳是部分鸟类的重要越冬地,如 2008—2021 年连续有中华秋沙鸭前往松阳的松阴溪越冬。在此期间,浙江省持续开展了极小种群野生动植物保护、珍稀濒危野生动植物抢救保护等工程,对中华秋沙鸭栖息保护起到积极作用,所设立的中华秋沙鸭栖息保护地成为中华秋沙鸭栖息生活习性研究和种群动态监测的重要平台。

目前,除了中华秋沙鸭栖息保护地之外,松阳尚未为其他鸟类设立相关的保护地,已有的保护地中,还存在保护力度不足的问题,由于部分区域开发等活动对于鸟类的影响较大,如在涉及河道和林地的改造和建设过程中,仍然存在对鸟类栖息地破坏的情况。在今后的工作中,需要进一步加强鸟类等生物多样性保护,特别是在开发建设和景观改造过程中,应注重对鸟类及其他重要生物资源的生物多样性方面评估,充分发挥鸟类对于生态环境的指示作用,建设人与鸟类、自然和谐共处的局面。

#### 参考文献 (reference):

- [1] XU X, XIE Y J, QI K, et al. Detecting the response of bird communities and biodiversity to habitat loss and fragmentation due to urbanization[J]. *Sci Total Environ*, 2018, 624(1): 1561–1576. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.143.
- [2] NIEMI G, HANOWSKI J, HELLE P, et al. Ecological sustainability of birds in boreal forests[J]. *Ecol Soc*, 1998, 2(2): 17. DOI: 10.5751/es-00079-020217.
- [3] SAVARD J L, CLERGEAU P, MENNECHEZ G. Biodiversity concepts and urban ecosystems[J]. *Landsc Urban Plan*, 2000, 48(3/4): 131–142. DOI: 10.1016/S0169-2046(00)00037-2.
- [4] WHELAN C J, WENNY D G, MARQUIS R J. Ecosystem services provided by birds[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2008, 1134(1): 25–60. DOI: 10.1196/annals.1439.003.
- [5] RENNER S C, BATES P J J. Historic changes in species composition for a globally unique bird community[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 10739. DOI: 10.1038/s41598-020-67400-z.
- [6] 曹牧, 蒋劭妍, 陈婷媛, 等. 崇明东滩自然与人工修复湿地鸟类种群特征对比研究[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2018, 61(6): 113–120. CAO M, JIANG S Y, CHEN T Y, et al. Characteristics of the avian communities in the natural wetland

- and artificially restored wetland in Chongming Dongtan, Shanghai [J]. *J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed)*, 2018, 61(6): 113–120. DOI: 10.3969/j.issn.1000–2006.201708029.
- [7] 赵洪峰, 雷富民. 岷江上游典型退化生态系统鸟类物种多样性的初步研究[J]. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(1): 42–48. ZHAO H F, LEI F M. Bird diversity in typical degraded ecosystem in the upper reaches of Minjiang River in Sichuan, China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2003, 9(1): 42–48. DOI: 10.3321/j.issn:1006–687X.2003.01.011.
- [8] BIBBY C J. Making the most of birds as environmental indicators [J]. *Ostrich*, 1999, 70(1): 81–88. DOI: 10.1080/00306525.1999.9639752.
- [9] 赵伊琳, 王成, 白梓彤, 等. 城市化鸟类群落变化及其与城市植被的关系[J]. *生态学报*, 2021, 41(2): 479–489. ZHAO Y L, WANG C, BAI Z T, et al. Changes of bird community under urbanization and its relationship with urban vegetation [J]. *Acta Ecol Sin*, 2021, 41(2): 479–489. DOI: 10.5846/stxb201910242233.
- [10] 王强, 吕宪国. 鸟类在湿地生态系统监测与评价中的应用[J]. *湿地科学*, 2007, 5(3): 274–281. WANG Q, LYU X G. Application of water bird to monitor and evaluate wetland ecosystem [J]. *Wetl Sci*, 2007, 5(3): 274–281. DOI: 10.13248/j.cnki.wetlandsci.2007.03.005.
- [11] 王玄, 崔鹏, 丁晶晶, 等. 江苏南部沿海越冬水鸟群落结构及多样性分析[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2021, 45(5): 178–184. WANG X, CUI P, DING J J, et al. Community structure and diversity of overwintering waterfowls in south coast of Jiangsu Province [J]. *J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed)*, 2021, 45(5): 178–184. DOI: 10.12302/j.issn.1000–2006.202004058.
- [12] 肖能文, 赵志平, 李果, 等. 中国生物多样性保护优先区域生物多样性调查和评估方法[J]. *生态学报*, 2022, 42(7): 2523–2531. XIAO N W, ZHAO Z P, LI G, et al. Biodiversity survey and assessment methods in biodiversity conservation priority areas in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2022, 42(7): 2523–2531. DOI: 10.5846/stxb202108242363.
- [13] 中华人民共和国环境保护部. 生物多样性观测技术导则 鸟类; HJ 710.4—2014 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2015. Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Technical guidelines for biodiversity monitoring-birds; HJ 710.4—2014 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2015.
- [14] 中华人民共和国环境保护部. 关于发布县域生物多样性调查与评估技术规定的公告 [EB/OL]. [2017–12–29]. Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Announcement on the issuance of technical regulations for the survey and assessment of county-level biodiversity [EB/OL]. [2017–12–29]. [https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201801/t20180108\\_429275.htm](https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201801/t20180108_429275.htm).
- [15] 许龙, 张正旺, 丁长青. 样线法在鸟类数量调查中的运用[J]. *生态学杂志*, 2003, 22(5): 127–130. XU L, ZHANG Z W, DING C Q. Line transect methods in avian census [J]. *Chin J Ecol*, 2003, 22(5): 127–130. DOI: 10.13292/j.1000–4890.2003.0123.
- [16] 约翰·马敬能, 卡伦·菲力普斯. 中国鸟类野外手册 [M]. 卢何芬, 译. 长沙: 湖南教育出版社, 2000. MACRINNON J, PHILIPPS K. A field guide to the birds of China [M]. LU H F, translate. Changsha: Hunan Education Publishing House, 2000.
- [17] 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. ZHENG G M. A checklist on the classification and distribution of the birds of China checklist on the classification and distribution of the birds of China [M]. 3rd ed. Beijing: Science Press, 2017.
- [18] 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]. [2021–02–05]. <http://www.forestry.gov.cn/main/5461/20210205/122418860831352.html>.
- [19] WHITTAKER R H. Evolution and measurement of species diversity [J]. *Taxon*, 1972, 21(2/3): 213–251. DOI: 10.2307/1218190.
- [20] CHEN H B, BOUTROS P C. VennDiagram: a package for the generation of highly-customizable Venn and Euler diagrams in R [J]. *BMC Bioinformatics*, 2011, 12(1): 1–7. DOI: 10.1186/1471–2105–12–35.
- [21] 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 Q, MA K M, LI J Y, et al. The effect of stopover wetlands on migratory waterbirds at different scales: a review [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, 37(8): 2520–2529. DOI: 10.5846/stxb201510262158.
- [22] 高戈, 李海萍, 万华伟, 等. 新疆鸟类和哺乳动物物种丰富度空间异质性及其多尺度效应 [J]. *中国环境科学*, 2021, 41(3): 1436–1446. GAO G, LI H P, WAN H W, et al. Spatial heterogeneity and multi-scale effects of species richness of birds and mammals in Xinjiang [J]. *China Environ Sci*, 2021, 41(3): 1436–1446. DOI: 10.19674/j.cnki.issn1000–6923.2021.0157.
- [23] 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 中国脊椎动物红色名录 [J]. *生物多样性*, 2016, 24(5): 500–551. JIANG Z G, JIANG J P, WANG Y Z, et al. Red list of China's vertebrates [J]. *Biodivers Sci*, 2016, 24(5): 500–551. DOI: 10.17520/biods.2016076.
- [24] 王燕, 何兴成, 张尚明玉, 等. 四川荥经大相岭繁殖期鸟类多样性与群落结构 [J]. *四川动物*, 2021, 40(3): 344–360. WANG Y, HE X C, ZHANG S M Y, et al. Diversity and community structure of birds in breeding season in Daxiangling of Yingjing, Sichuan [J]. *Sichuan J Zool*, 2021, 40(3): 344–360. DOI: 10.11984/j.issn.1000–7083.20200221.
- [25] 卢梦洁, 包新康, 李建亮, 等. 秦岭西段麦积山区域繁殖鸟类多样性 [J]. *野生动物学报*, 2021, 42(1): 124–136. LU M J, BAO X K, LI J L, et al. Diversity of breeding birds in the Maiji Mountain area of the western Qinling Mountains [J]. *Chin J Wildl*, 2021, 42(1): 124–136. DOI: 10.19711/j.cnki.issn2310–1490.2021.01.017.

(责任编辑 王国栋)