

数据资源 RESOURCES

安徽省黄山区不同生境
鸟类多样性季节性变化格局陈晓春^{1#}, 施佳怡^{2#}, 张鑫怡³, 王苏越³,
孙羽佳³, 赵子林¹, 戴杨军¹, 王苏益^{3*}, 赵娜^{3*}

1. 黄山市黄山九龙峰自然保护区管理站, 黄山 245700;
2. 安徽师范大学生态与环境学院, 皖江流域退化生态系统的恢复与重建省部共建协同创新中心, 芜湖 241002;
3. 安徽师范大学生命科学学院, 芜湖 241002)

稿件运行过程

收稿日期: 2024-09-08

修回日期: 2024-11-21



关键词: 黄山区;

鸟类;

生物多样性;

季节性变化

Keywords: Huangshan District;

Birds;

Biodiversity;

Seasonal changes

中图分类号: Q958.1

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2025)-03-0698-11

DOI: 10.12375/ysdwxb.20250326

摘要

黄山—怀玉山是我国生物多样性保护优先区域,在季风气候和人类土地开发的共同影响下,其鸟类多样性受不同生境和季节变化的影响可能呈现特有的格局。为了探明这个问题,于2023年3月—2024年2月,按4个季节采用样线法对安徽省黄山市黄山区乡镇、山地和湿地3种不同生境进行鸟类调查研究。结果表明:(1)本次调查共记录到鸟类18目55科194种5524只,其中国家一级重点保护鸟类5种,国家二级重点保护鸟类33种,表明该区鸟类物种资源丰富;从鸟类区系来看,东洋型95种,古北型76种,广布型23种,东洋型种占据优势,鸟类区系具有南北渗透的特征;从鸟类居留型来看,留鸟95种,占鸟类总数48.97%,夏候鸟34种,占17.53%,冬候鸟49种,占25.26%,旅鸟16种,占8.25%。(2)鸟类群落组成具有季节性差异,春季鸟类种类和数量最高,冬季鸟类的种类和数量最低;春季鸟类Shannon-Wiener多样性指数最高,冬季最低;夏季Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数均最高。(3)不同生境下,山地(M)生境鸟类种类最多,湿地(W)最少;而湿地生境发现鸟类数量最多,乡镇(T)最少;山地生境鸟类Shannon-Wiener指数、Simpson指数及Pielou指数均最高,湿地生境均最低,山地生境中鸟类多样性高,群落结构更为稳定,特有种最多;通过Bray-Curtis相异度衡量3种生境之间鸟类群落的相异性,乡镇与山地的相异度最低,与湿地相异度较高,而山地与湿地相异度最高。本研究为精准制定黄山区鸟类多样性保护策略提供了科学依据。

基金项目: 北京市自然科学基金面上项目(5252015);中国博士后科学基金面上项目(2022M723135);安徽师范大学高峰和奖补学科建设项目(2023GFXK137);“皖江流域退化生态系统的恢复与重建”省部共建协同创新中心开放课题(CIWB22-023)

第一作者简介: 陈晓春(1968—),男,高级工程师;主要从事野生动物多样性保护研究。E-mail:673792729@qq.com

*共同第一作者: 陈晓春;施佳怡

*通信作者: 王苏益,E-mail:frog2019@ahmu.edu.cn;赵娜,E-mail:zhaona2013@ioz.ac.cn

Seasonal Change Patterns of Bird Diversity in Different Habitats in Huangshan District, Anhui Province, China

CHEN Xiaochun^{1#}, SHI Jiayi^{2#}, ZHANG Xinyi³, WANG Suyue³,
SUN Yujia³, ZHAO Zilin¹, DAI Yangjun¹, WANG Supen^{3*}, ZHAO Na^{3*}

(1. Huangshan Jiulongfeng Nature Reserve Management Station, Huangshan 245700, China;
2. School of Ecology and Environment, Anhui Normal University, Center of Cooperative Innovation for Recovery and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Wanjiang City Belt, Wuhu 241002, China;
3. School of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241002, China)

Abstract: Huangshan-Huaiyu Mountain is a priority area for biodiversity conservation in China. Under the combined influence of monsoon climate and human land development, bird diversity in the area may show a unique pattern under the influence of different habitats and seasonal changes. In order to find out this issue, we used the line transect method to investigate birds in three different habitats of township, mountain and wetland in Huangshan District, Huangshan City, Anhui Province in four quarters from March 2023 to February 2024. The results showed that (1) a total of 5 524 birds of 194 species of 18 orders and 55 families were recorded, five species of birds under the national first-level key protection, and 33 species of birds under the national second-level key protection, showing rich and valuable bird species resources. From the point of view of bird fauna, there were 95 species of the Oriental type, 76 species of the Palaearctic type, and 23 species of the wide-spread type, with Oriental type dominating, and the bird fauna was characterized by north-south penetration. From the viewpoint of bird residence type, 95 species of resident birds account for 48.97% of the total number of birds, 34 species of summer migrants account for 17.53%, 49 species of winter migrants account for 25.26%, and 16 species of passing birds account for 8.25%. (2) The composition of bird communities had seasonal differences, with the highest number of species and number of birds in spring and the lowest number of species and number of birds in winter; the Shannon-Wiener diversity index of birds was the highest in spring and the lowest in winter; the Simpson diversity index and the Pielou evenness index were the highest in summer. (3) In different habitats, mountain (M) habitat had the most bird species and wetland (W) had the least; whereas wetland habitat was found to have the highest number of birds and township (T) had the least. Mountain habitat had the highest Shannon-Wiener index, Simpson index, and Pielou index of birds, and wetland habitat had the lowest. The diversity of birds in mountain habitats was high, with a more stable community structure and the most endemic species; the dissimilarity of bird communities among the three habitats was measured by the Bray-Curtis dissimilarity, and the dissimilarity between townships and mountains was the lowest, that with wetlands was higher, and that between mountains and wetlands was the highest. This study provides a scientific basis for the accurate formulation of bird diversity conservation strategies in Huangshan District.

黄山—怀玉山是我国生物多样性保护优先区域,其中黄山是该优先区域的核心区,位于安徽省南部^[1]。前人对黄山鸟类多样性研究已有一些基础,包括对黄山区域的鸟类资源进行调查获得一定的本底数据^[2-5]、对鸟类区系及生态分布进行系统研究^[6-7]、发现鸟类新纪录^[8]及对特定鸟种进行习性分析^[9-11]等。然而,这些调查资料和文献记录相对较

早,且缺乏在环境因子驱动下形成的格局研究。

气候变化和人类土地利用之间的累积或协同相互作用被认为在未来世纪会对生物多样性产生更大的影响^[12-13]。因此,探究物种对气候和土地利用变化的响应对于生物多样性保护变得越来越重要。一些研究强调了在研究物种分布变化时将气候和土地利用变化相结合的重要性^[12,14]。

气候变化加剧了全球生物多样性危机^[15],24%~50%的鸟类容易受到气候变化的影响^[16]。黄山区四季分明,季风是形成黄山区四季特征的主要驱动力,这种季节性的气候变化对鸟类的迁徙模式和繁殖周期产生了显著影响^[17-18],从而影响其多样性分布。除了气候变化的影响外,人类造成的生境丧失和破碎化(主要是通过土地利用变化)长期以来一直被认为是全球生物多样性丧失和生态系统退化的主要原因^[19-20]。山地、乡镇和湿地等不同类型的土地利用模式,产生不同程度的人类干扰,因土地利用类型和空间分配的差异,不同的栖息地类型会影响鸟类的丰富度和均匀度^[21]。综上,气候驱动的环境压力与生境的空间异质性共同作用,使得鸟类分布呈现出动态的时空分布格局。黄山区的季风气候特征可能导致鸟类多样性的季节性波动,同时不同土地利用模式下人类活动的干扰程度,也会影响其长期生态格局。因此,本研究分4个季节采用样线法对安徽省黄山市黄山区乡镇、山地和湿地3种不同生境进行鸟类调查研究,分析黄山区内鸟类季节性变化,并对比研究乡镇、山地和湿地生境的鸟类群落结构的组成,为提高黄山区鸟类多样性提出保护建议。

1 研究区概况

黄山市黄山区位于安徽省南部(30°00′—30°32′ N, 117°50′—118°21′ E),其北部为九华山余脉,南部有黄山山脉,地貌属皖南山区中部的高中山、低山丘陵和山间盆谷区,地势南高北低^[22]。本研究以黄山区内的甘棠镇、焦村镇及太平湖镇作为调查区。其中甘棠镇位于黄山区中部,南接焦村镇,西毗太平湖镇,系黄山市黄山区中心城区,人口密度最大^[23];焦村镇山地多、丘陵少,镇内森林覆盖率90%,九龙峰省级自然保护区坐落其中,物种资源丰富;太平湖镇位于太平湖南岸,太平湖位于长江支流——青弋江上游,水域面积88.6 km²,太平湖是大型人工库塘型湿地,其湿地生态系统类型是华东地区乃至长江中下游深水峡谷型人工湖泊的典型代表^[5]。

黄山区属亚热带季风湿润气候,主要特点为四季分明,春秋短,夏冬长,年降水量1 500~1 600 mm,多集中在春夏季,年平均日照时间为1 647.6 h,一般年平均气温为15.4℃,最热月(7月)平均气温27.4℃,最冷月(1月)平均气温2.8℃,无霜期210~230 d^[24]。

2 研究方法

2.1 野外调查

2023年3月—2024年2月,采用样线法对安徽省黄山市黄山区焦村镇、甘棠镇及太平湖镇开展鸟类调查。传统的监测方法包括长期观测和样本位点重复调查,如在适宜的栖息地进行大规模的重复调查来监测动物分布的变化^[25]。依据环境保护部发布的HJ 710.4—2014《生物多样性观测技术导则 鸟类》制定调查方法^[26],根据3个地区典型生境的差异,每个地区选取3条样线开展调查(图1),分别设置山地、乡镇及湿地3种类型的样线,每条样线长2 km,样线之间间隔500 m以上,每次调查持续3 d,间隔1个月,每个季节对每条样线重复3次,一年内对9条样线进行了12次鸟类调查。调查期间利用GPS记录每条样线的长度、样线起点和终点的经纬度、海拔、温度及湿度等生境信息。本次调查,采用2人一组进行,1人观察,1人记录,行进速度为1.0~1.5 km/h,主要依靠目视和8倍双筒望远镜观察,同时用400 mm超长焦照相机拍摄鸟类照片。记录数据包括鸟类的种类、学名和数量等。调查时选择无雨天气,在06:00—09:00和16:00—18:00进行调查。调查季节按照春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)和冬季(12月—次年2月)划分。

2.2 数据处理与分析

野外鸟类物种鉴定及居留型参考《安徽鸟类图志》^[27],鸟类物种名称及分类参照《中国鸟类分类与分布名录》(第4版)^[28],保护级别参考《安徽省重点保护野生动物名录》^[29]、《国家重点保护野生动物名录》^[30]及《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》^[31],濒危等级参考《中国生物多样性红色名录—脊椎动物卷(2020)》^[32],鸟类区系根据《中国动物地理》划分^[33]。

鸟类群落的物种多样性分析采用如下公式计算。

Shannon-Wiener多样性指数

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

Simpson多样性指数

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

Pielou均匀度指数

$$J = H / \ln S \quad (3)$$

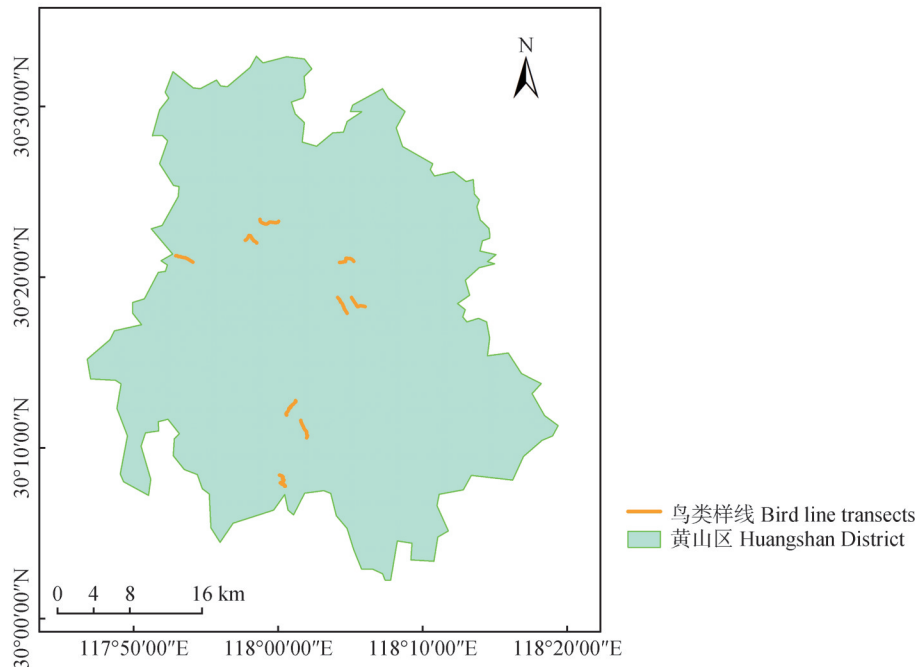


图1 黄山市黄山区鸟类样线分布

Figure 1 Distribution map of bird line transects Huangshan District, Huangshan City

式中： S 为该群落中物种数， P_i 为第 i 种个体占总个体数的比例， H 为Shannon-Wiener多样性指数^[34]。

Bray-Curtis 相异度

$$D_{\text{Bray-Curtis}} = 1 - \frac{2jN}{N_a + N_b} \quad (4)$$

式中： N_a 、 N_b 分别为地点A和B的总个体数， $2jN$ 为两个地点共有种中多度较小者的多度之和^[35]。

采用BAS法将 β 多样性分解为周转(β_{sim})和嵌套(β_{sne})2个组分，物种周转组分用来表示不同地点间的物种替换，物种嵌套组分表示在特定环境梯度下因物种的丧失或增加而引起的群落间物种组成的差异^[36]。

$$\beta_{\text{sim}} = \frac{\min(b,c)}{a + \min(b,c)} \quad (5)$$

$$\beta_{\text{sne}} = \frac{|b-c|}{2a+b+c} \times \frac{a}{a + \min(b,c)} \quad (6)$$

式中： a 为任意两个群落的共有物种数， b 和 c 是各群落特有的物种数。

3 结果

3.1 鸟类多样性及组成

本次调查共记录鸟类18目55科194种(附录1)，占安徽省记录鸟类(396种)^[27]的48.99%，占皖南山地丘陵区记录鸟类(269种)^[27]的72.12%。从

鸟类区系组成来看，东洋型鸟类95种，占鸟类总种数的48.97%；古北型鸟类76种，占39.18%；广布型鸟类23种，占11.86%。

从鸟类居留型组成来看(图2)，留鸟95种，占总种数的48.97%；夏候鸟34种，占17.53%；冬候鸟49种，占25.26%；旅鸟16种，占8.25%，留鸟构成调查区域鸟类结构组成的主体。繁殖鸟(留鸟和夏候鸟)129种，占66.49%。本次调查共记录鸟类5524只，其中，留鸟4162只，占本次调查总数量的75.34%；夏候鸟966只，占17.49%；冬候鸟353只，占6.39%；旅鸟43只，占0.78%。从鸟类生态类型组成来看，以陆地鸟类为主，共148种，占76.29%，其中雀形目(Passeriformes)鸟类最多，达102种；水鸟(游禽和涉禽)相对较少，仅46种，占比为23.71%，包括鸻科(Charadriidae)6种、鹬科(Scolopacidae)6种、反嘴鹬科(Recurvirostridae)2种、鸥科(Laridae)3种、鸚科(Threskiornithidae)1种、鹭科(Ardeidae)10种、鸛科(Podicipedidae)2种、鸛科(Ciconiidae)1种、鸛科(Phalacrocoracidae)1种、鸭科(Anatidae)9种、秧鸡科(Rallidae)4种及鹤科(Gruidae)1种。

本次调查记录的194种鸟类中有5种属于国家一级重点保护野生动物(附录1)，包括白颈长尾雉(*Syrnaticus ellioti*)、东方白鹳(*Ciconia boyciana*)、海

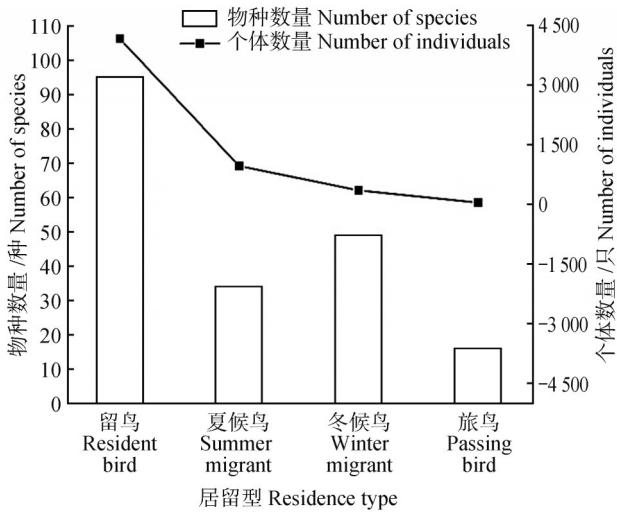


图2 黄山区鸟类居留型种类及数量

Figure 2 Species and number of residence types of bird in Huangshan District

南鹏 (*Gorsachius magnificus*)、中华秋沙鸭 (*Mergus squamatus*) 及白枕鹤 (*Antigone vipio*)，占总种数的 2.58%；鸳鸯 (*Aix galericulata*)、黑鸢 (*Milvus migrans*) 及画眉 (*Garrulax canorus*) 等 33 种属于国家二级重点保护野生动物，占总种数的 17.01%；四声杜鹃 (*Cuculus micropterus*)、大鹰鹃 (*Hierococcyx sparveroides*) 及大杜鹃 (*Cuculus canorus*) 等 19 种属安徽省一级重点保护野生动物，占总种数的 9.79%；环颈雉 (*Phasianus colchicus*)、灰胸竹鸡 (*Bambusicola thoracicus*) 及凤头鹑鹑 (*Podiceps cristatus*) 等 41 种属安徽省二级重点保护野生动物，占总种数的 21.13%；环颈雉、灰胸竹鸡及小鹧鸪 (*Tachybaptus ruficollis*) 等 155 种属于有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物，占总种数的 79.90%。

本次调查到的物种濒危情况：调查区域内记录有白枕鹤、东方白鹳、海南鹇及中华秋沙鸭 4 种濒危 (EN) 物种；白颈长尾雉和鸿雁 (*Anser cygnoides*) 2 种易危 (VU) 物种；长嘴剑鸻 (*Charadrius placidus*)、白琵鹭 (*Platalea leucorodia*) 及蛇雕 (*Spilornis cheela*) 等 18 种近危物种 (NT) 和 170 种无危 (LC) 物种。可见，受胁物种占总调查物种的 3.09%。

在本研究中，通过绘制以个体数量为横坐标的物种累积曲线，用来判断对各季节及全年和不同生境下的鸟类物种调查的充分程度。如图 3 和图 4 显示，曲线在急剧上升后均变为渐近线，上升舒缓，表明调查充分，可进行后续数据分析。

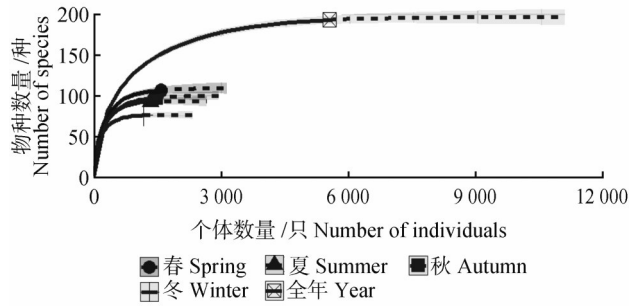


图3 四季及全年物种累积曲线

Figure 3 Seasonal and annual species accumulation curve

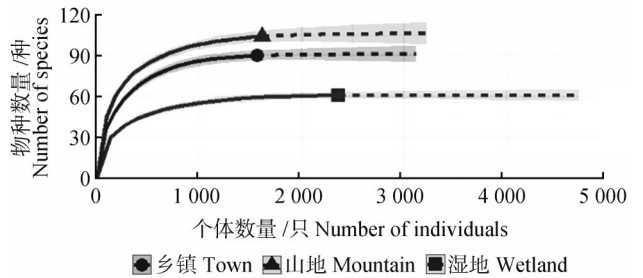


图4 不同生境物种累积曲线

Figure 4 Species accumulation curves in different habitats

3.2 鸟类群落季节性变化

3.2.1 不同季节鸟类的种类与数量变化

由图 5 和图 6 可知，不同季节鸟类的种类数由高到低依次为春季 (107 种)、秋季 (98 种)、夏季 (93 种) 及冬季 (76 种)。不同季节鸟类数量依次为春季 (1565 只)、秋季 (1468 只)、夏季 (1329 只) 及冬季 (1162 只)。在春、夏、秋季鸟类组成中，留鸟在种类和数量上均占有绝对优势。四季中春季留鸟种类

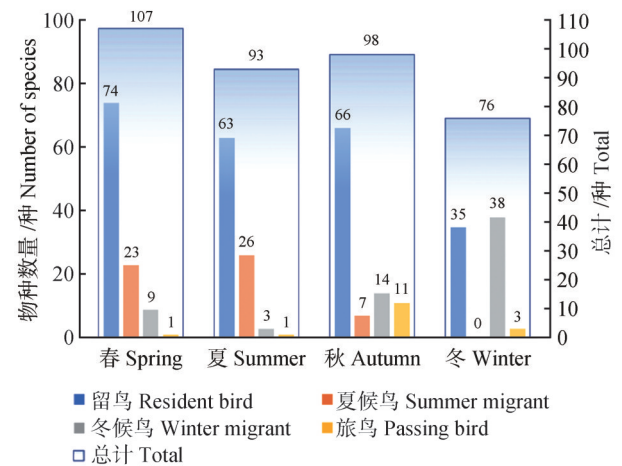
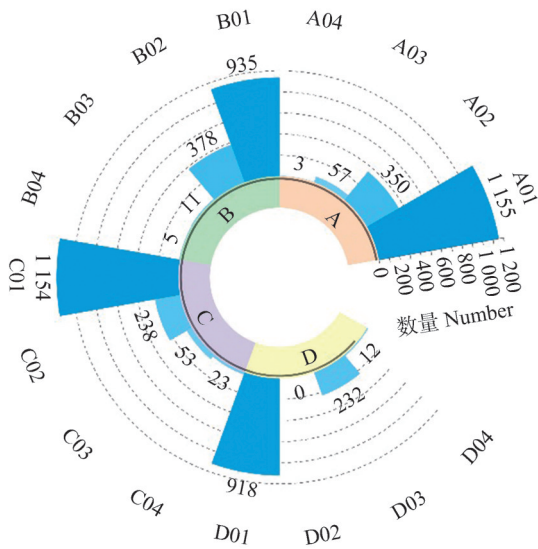


图5 不同季节鸟类居留型种类

Figure 5 Types of residence types of birds in different seasons

最多,为74种,占总种数的38.14%;冬季留鸟种类最少,为35种,占总种数的18.04%。春季留鸟的数量最多,为1155只,占鸟类总数量的20.91%;冬季冬候鸟种类略高于留鸟,而数量仍低于留鸟。四季中冬季候鸟的种类最多,为38种,占总种数的19.59%。春季候鸟的数量最多,为407只,占鸟类总数量的7.37%;冬季最少,为232只,占4.20%。



A. 春季; B. 夏季; C. 秋季; D. 冬季; 01. 留鸟; 02. 夏候鸟; 03. 冬候鸟; 04. 旅鸟。

A. Spring; B. Summer; C. Autumn; D. Winter; 01. Resident bird; 02. Summer migrant; 03. Winter migrant; 04. Passing bird.

图6 不同季节鸟类居留型数量情况

Figure 6 The number of resident types of birds in different seasons

3.2.2 不同季节鸟类多样性变化

不同季节鸟类群落Shannon-Wiener多样性指数由高到低依次为春季、夏季、秋季及冬季。春季Shannon-Wiener多样性指数最高,为3.9784;冬季最低,为3.6457。Simpson多样性指数由高到低依次为夏季、春季、秋季及冬季。夏季Simpson多样性指数最高,为0.9711;冬季最低,为0.9529。Pielou均匀度指数由高到低依次为夏季、春季、冬季及秋季。夏季Pielou均匀度指数最高,为0.8623;秋季最低,为0.8292(表1)。

表1 四季鸟类α多样性指数情况

Table 1 Status of the α diversity index in the four seasons

季节 Season	香农-维纳指数 Shannon-Wiener index	辛普森指数 Simpson index	均匀度指数 Pielou index
春季 Spring	3.9784	0.9701	0.8514
夏季 Summer	3.9086	0.9711	0.8623
秋季 Autumn	3.8020	0.9613	0.8292
冬季 Winter	3.6457	0.9529	0.8418

3.3 不同生境鸟类多样性

对不同生境鸟类种类与数量进行统计分析(表2),山地(M)鸟类种类最多(13目37科104种),其次是乡镇(T)(12目37科90种),最少是湿地(W)(12目24科61种);而湿地发现鸟类数量最多(2353只),其次是山地(1612只),最少是乡镇(1559只)。

表2 3种生境鸟类组成及α多样性情况

Table 2 Bird composition and α diversity in the three habitats

生境 Habitat	目 Order	科 Family	种 Species	个体数量/只 Number of individuals	香农-维纳指数 Shannon-Wiener index	辛普森指数 Simpson index	均匀度指数 Pielou index
乡镇 T	12	37	90	1559	3.6858	0.9619	0.8191
山地 M	13	37	104	1612	4.0745	0.9761	0.8773
湿地 W	12	24	61	2353	3.0951	0.9213	0.7529

不同生境鸟类Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数及Pielou均匀度指数由高到低依次为山地、乡镇和湿地,表明山地生境中鸟类多样性最高,群落结构最稳定。

通过韦恩图(图7)直观展现了3种生境内鸟类物种组成的重叠与差异数据,其中有16种鸟类为3种生境共有种,山地与乡镇较湿地生境表现出更多的独特性,其中山地生境的特有种最多,为67种。

进一步通过Bray-Curtis相异度衡量3种生境之间鸟类群落的相异性,计算得出,乡镇与山地的相异度最低(0.5282),与湿地相异度较高(0.7014),而山地与湿地相异度最高(0.7311)。

通过BAS法对β多样性进行分解,计算不同生境之间的周转和嵌套组分,探究不同生境β多样性组分对鸟类多样性的贡献。由表3可见,3种生境之间β多样性的周转组分远高于嵌套组分,β多样性主要由周转组分作出贡献。

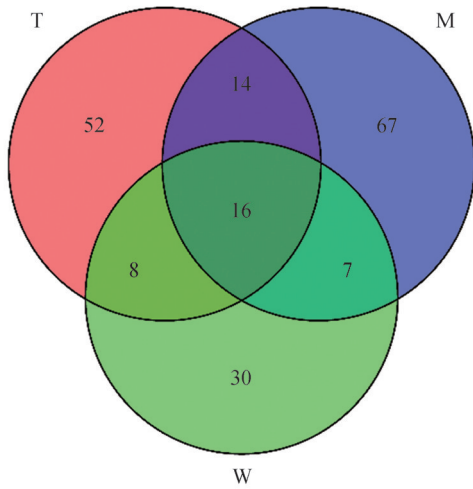


图7 3种生境鸟类分布韦恩图

Figure 7 Venn diagram of bird distribution in three habitats

表3 3种生境鸟类群落 β 多样性周转组分(β_{sim})和嵌套组分(β_{snc})Table 3 Turnover group and nestedness group list of β diversity of bird community in three habitats

生境类型 Habitat type	β 多样性 β diversity		
	乡镇T	山地M	湿地W
乡镇T	0	0.6667	0.6066
山地M	0.0241	0	0.6230
湿地W	0.0756	0.0983	0

注: 右上三角数据为 β_{sim} , 左下三角数据为 β_{snc} 。

Note: The data of the upper right is β_{sim} , and the data of the lower left is β_{snc} .

4 讨论

4.1 鸟类组成特征

本次调查发现194种鸟类,占安徽省记录鸟类的48.99%、占皖南山地丘陵区的72.12%,可见在皖南山区甚至整个安徽省分布的鸟类中,黄山区鸟类种类都占有较高比例,显示出黄山区的鸟类群落具有较高的物种丰富度,其中38种国家重点保护野生动物(6种为受胁物种)被记录,这也表明该区域具有重要的保护价值,应进一步保持并加强其鸟类资源管护。安徽省是东洋界与古北界动物的交汇区域,东洋和古北两界成分相互渗透,本次调查的鸟类区系情况同样具有此特点,黄山区属东洋界华中区,此次调查结果虽以东洋种为主,但古北种仍占较大比例(39.18%),可能由于古北、东洋两大动物区系相

互渗透的性质与强度因动物类群不同存在很大差别^[37]。对于具有很强扩散能力、可以跨越很多地形障碍的鸟类来说,一些地理屏障可能不具有阻碍其扩布的作用^[38]。此外,黄山区地处皖南山区,其保存了较为完整的亚热带森林生态系统,森林覆盖率高,为林鸟生存和繁衍提供了良好的栖息地^[27],因而陆地繁殖鸟类众多。本区水鸟数量相对较少,主要分布在太平湖等水库,以及青弋江、新安江和水阳江等水系的上游支流^[27],研究团队沿太平湖针对湖泊生境进行调查,与李发根等^[5]所调查水鸟相比产生了18种新发现,包括白翅浮鸥(*Chlidonias leucopterus*)、白额雁(*Anser albifrons*)、白琵鹭、白枕鹤、豆雁(*Anser fabalis*)、凤头麦鸡(*Vanellus vanellus*)、海南鸻、鹤鹑(*Tringa erythropus*)、红嘴鸥(*Chroicocephalus ridibundus*)、环颈鸻(*Charadrius alexandrinus*)、灰鸻(*Pluvialis squatarola*)、林鹨(*Tringa glareola*)、绿翅鸭(*Anas crecca*)、绿鹭(*Butorides striata*)、青脚鹬(*Tringa nebularia*)、小天鹅(*Cygnus columbianus*)、长嘴剑鸻和中华秋沙鸭,新增部分中不乏有一些国家级重点保护动物,太平湖湿地或是对水鸟的生存产生日益重要的影响。

4.2 鸟类季节性变化特点

黄山区的鸟类种类、数量组成及多样性表现出明显的季节波动,春季和秋季为高峰期,夏季和冬季为稳定期。季节性迁徙有利于鸟类寻找丰富多样的食物资源,或为养育后代创造最合适的条件^[39],由于太平湖湿地为候鸟提供了重要的栖息地和食物来源,是候鸟迁徙路线上的重要停歇地、越冬地或繁殖地,因迁徙候鸟的加入,四季鸟类结构组成复杂多变,春夏季交替主要是夏候鸟替代冬候鸟的过程,夏秋季交替主要是冬候鸟替代夏候鸟的过程,秋冬季交替主要是冬候鸟经过严冬的淘汰过程^[40]。相比于夏冬两季,由于候鸟和旅鸟的大量入境,春秋两季鸟类种类和数量较多,但相对不稳定和不均匀,因此表现为春秋两季的Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数较低的结果。夏季鸟类种类和数量下降,这可能由于春季出现的部分鸟类迁徙离开,且夏季树林郁闭度高,气温偏高,鸟类活动时间短,很多鸟类不易被观察到^[41]。因此夏季鸟类Shannon-Wiener多样性指数仅次于春季,而Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数均略高于春季,表明这些物种在群落中的分布相对均衡。相较于其他季节,冬季留鸟种类少而候鸟种类更多,可能是不同鸟类集团对气

候、栖息地片段化敏感性等因素具有差异和季节变化规律,冬季气温低且食物资源减少,留鸟对气象要素变化较为敏感^[42],且冬季留鸟对片段化敏感性也高于候鸟^[43],同时部分鸭科、鸻形目(Charadriiformes)等大量候鸟(如小天鹅、豆雁、绿头鸭(*Anas platyrhynchos*)、大白鹭(*Ardea alba*)等)在太平湖湿地停留越冬而易被发现,然而留鸟数量仍占冬季鸟类数量的主体,主要由于白鹭(*Egretta garzetta*)在太平湖湿地的优势地位,白鹭在安徽各地广泛分布,在境内属留鸟^[27]。冬季发现鸟类的种类和数量最低,因此冬季鸟类 Shannon-Wiener 多样性和 Simpson 多样性指数均最低,而 Pielou 均匀度指数高于秋季,这可能是冬季太平湖水鸟种类较多且分布较均匀导致。

4.3 不同生境的鸟类多样性

调查结果显示,山地生境记录鸟类种类最多,湿地最少,山地生境 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均最高,湿地最低。这与卢梦洁等^[44]的研究结果(林地较其他生境更为复杂和多样,分布有较多的鸟类)相符合。焦村镇的山地生境生态环境良好,以森林生态系统为主,森林内人为干扰较少,为鸟类提供了良好的生存空间,对鸟类起到保护作用,但缺乏湿地生境类型,造成该区域森林鸟类多样性较为丰富,以森林鸟类为主,湿地水鸟较少。太平湖的水源吸引着大量迁徙候鸟,因此其鸻形目(Ciconiiformes)、鸻形目和雁形目(Anseriformes)等水鸟种类和数量较多,成千上万只候鸟迁徙景象带动附近生态旅游的大量开发,可能导致季节性人群集中,人为活动影响增大,同时其生境相对单一,因此太平湖湿地生境相较于其他两种生境表现出较低的生物多样性。乡镇内人为活动频繁且稳定,人类活动带来的干扰往往强烈地影响鸟类多样性导致其丰富度低下,而从本次调查结果来看,乡镇生境鸟类丰富度相对较高,一方面,部分鸟类因其适应性特征(如食性杂、能利用建筑物作为巢址)而能在人类居住区繁衍生息,同时一些对人类活动敏感的捕食者远离城乡,从而能够对较为适应近人栖息的鸟类起到庇护作用,降低这些鸟类被捕食的风险。另一方面,在生物多样性保护优先区域内,人类干扰程度以微度和轻度为主,人类干扰程度较大的区域主要集中于城镇和农田分布较多的区域。黄山一怀玉山区属于轻度干扰区域,相比于山地和湿地地区,乡镇地区对农田、居民地及交

通用地的需求增加,受经济发展对生态系统干扰及土地利用程度加深的影响,人类干扰程度更高^[45],农田村庄等属于中等干扰强度的生境,在维持鸟类较高生物多样性中起到重要作用^[46-48],产生中度干扰效应。中度干扰假说预测,适度干扰可以增加物种多样性,这与人类活动导致栖息地多样性增加有关^[49-50]。

研究团队通过 β 多样性的分解,发现物种周转组分占主导地位,不同生境间的鸟类群落存在显著的物种替换现象,嵌套成分所占比例很小,因此保护工作不能仅仅局限于多样性指数较高的典型群落,而需要进行整体保护。在3种不同的生境下,通过物种筛选,不同的物种出现在各自适宜生存的特定生境中^[36]。生境的异质性有助于支持鸟类群落的多样化^[51-52]。生境异质性对群落构建有聚集性作用,物种实际分布具有一定的生境偏好^[53-54],特有种是一个地区的独特资源,具有适应该区域环境的特殊性状。特定物种在某些环境中可以更好地生存和发展^[55],不同物种适应不同环境而产生适应性差异。与此同时,根据图7也能看出,许多鸟类选择的生境又不都是单一的,多种鸟类在黄山区山地、乡镇和湿地生境均有分布。根据 Bray-Curtis 相异度可知,乡镇与山地的相异度最低,而湿地与乡镇及湿地与山地的相异度较高,可能由于湖泊湿地多拥有狭分布的水鸟,与其他生境的相似性最低,而山地生境和乡镇所提供的栖息地环境相较于湿地生境更相近。总体而言,在不同生境下有着不同的生物群落特征,不同栖息地的保护对于鸟类的保护至关重要。

4.4 建议

白颈长尾雉、白鹇(*Lophura nycthemera*)和勺鸡(*Pucrasia macrolopha*)等雉科(Phasianidae)保护动物被发现于山地,其虽性机警,但在春夏繁殖季由于行为习惯的变化更易被发现。因这些物种倾向于在森林下层的灌丛地面筑巢,这种习性使得它们成为红外相机监测的理想对象。红外相机的使用不仅能够减少对其自然行为的干扰,还能在不侵入其栖息地的情况下,有效捕捉到它们的日常活动和繁殖行为,从而为保护工作提供重要的数据支持。在繁殖季,相关人员可以利用这些监测数据,采取针对性的保护措施,比如加强巡护、设置保护标识和隔离区域,以减少人为干扰和保护繁殖巢穴。

在乡镇中,农作物及土壤中的无脊椎动物是多

数繁殖期雀形目鸟类的主要食物来源,农药大量用于农作物的同时,降低了周边区域土壤内无脊椎动物的含量,从而改变鸟类物种分布及种群动态。利用生物源农药(如植物免疫诱导剂及细菌杀虫剂等),既能防治病虫害,又能减少化学农药的使用对人与鸟的伤害,而针对农民与鸟类间的矛盾问题,可安装非致死性驱鸟装置(如放置彩带、罩网及天敌音频等),并在农业区域周边增加自然植被带作为缓冲区,减少鸟类与农作物的直接接触。鸦雀科(Paradoxornithidae)、柳莺科(Phylloscopidae)、噪鹛科(Leiostrichidae)及鹎科(Emberizidae)等鸟类多发现于农田旁的灌丛内,适当面积的灌木和草本有利于增加鸟类的丰富度,乡镇绿地管理时要防止过度清理杂草及灌木。

湿地生境较单一而导致鸟类丰富度低且以水鸟为主,苍鹭(*Ardea cinerea*)的营巢偏好不同于其他鹭类,而与秧鸡科鸟类更相似,注重水域内芦苇、水草的种植,将更有利于其栖息与繁殖,在湿地内营造结构复杂的植被环境,选择能为鸟类提供食物的乔木和灌木,为陆地鸟类提供更多的生存环境。秋冬季大量候鸟迁徙越冬的壮景吸引大量游客,而鸿雁、白额雁和中华秋沙鸭等珍稀鸟类对人为活动表现出更高的敏感性,控制游客数量和参观距离,对维护候鸟栖息环境的稳定性十分重要。

参考文献:

- [1] 萧野. 生物多样性保护优先区域介绍之七: 黄山深藏活化石洞庭云集珍稀种[J]. 环境与生活, 2016(10): 42-43.
XIAO Y. Introduction to priority areas for biodiversity conservation (7): Mount Huangshan deep buried living fossils, Dongting gathering rare species[J]. Green Living, 2016(10): 42-43.
- [2] 郑作新, 钱燕文. 安徽黄山的鸟类初步调查[J]. 动物学杂志, 1960, 4(1): 10-14.
ZHENG Z X, QIAN Y W. A preliminary investigation of birds in Huangshan, Anhui Province [J]. Chinese Journal of Zoology, 1960, 4(1): 10-14.
- [3] 王岐山, 胡小龙, 邢庆仁, 等. 安徽黄山的鸟兽资源调查报告[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 1981, 5(2): 138-158
WANG Q S, HU X L, XING Q R, et al. Investigation report on bird and beast resources in Huangshan, Anhui Province[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Anhuensis, 1981, 5(2): 138-158.
- [4] 钱阳平. 安徽省黄山市黄山区域鸟类资源调查[J]. 安徽科技, 2018(3): 40-42.
QIAN Y P. Investigation of bird resources in Huangshan region of Huangshan City, Anhui Province [J]. Anhui Science & Technology, 2018(3): 40-42.
- [5] 李发根, 周科, 王明胜, 等. 安徽太平湖国家湿地公园鸟类多样性初步研究[J]. 安徽林业科技, 2020, 46(5): 41-47.
LI F G, ZHOU K, WANG M S, et al. Preliminary study on the avian diversity of Anhui Taipinghu National Wetland Park [J]. Anhui Forestry Science and Technology, 2020, 46(5): 41-47.
- [6] 李炳华. 牯牛降自然保护区鸟类区系和若干生态的研究: I. 区系组成[J]. 安徽师大学报(自然科学版), 1987, 10(2): 50-60.
LI B H. Studies on the bird fauna of Guniujiang Natural Reserve and its some ecology: I. Bird fauna [J]. Journal of Anhui Normal University (Natural Science), 1987, 10(2): 50-60.
- [7] 李炳华. 牯牛降自然保护区鸟类区系和若干生态的研究: II. 若干生态资料[J]. 安徽师大学报(自然科学版), 1988, 11(1): 51-63.
LI B H. Studies on the bird fauna of Guniujiang Natural Reserve and its some ecology: II. Some ecological data [J]. Journal of Anhui Normal University (Natural Science), 1988, 11(1): 51-63.
- [8] 刘宗壮, 肖慧芸, 余建平, 等. 安徽省黄山市休宁县发现黄腹角雉[J]. 动物学杂志, 2022, 57(6): 928-936.
LIU Z Z, XIAO H Y, YU J P, et al. Cabot's tragopan *Tragopan caboti* found in Xiuning County, Huangshan, Anhui Province [J]. Chinese Journal of Zoology, 2022, 57(6): 928-936.
- [9] 张顺风. 小鸊鷉的生态观察[J]. 野生动物, 1995, 16(4): 3-5.
ZHANG S F. Ecological observation of little grebe [J]. Chinese Wildlife, 1995, 16(4): 3-5.
- [10] 马世全, 孙忠泉, 赵士昆, 等. 黄山茶林场夏季丝光椋鸟的食性分析[J]. 动物学杂志, 1989, 24(4): 9-10.
MA S Q, SUN Z Q, ZHAO S K, et al. Analysis on feeding habits of summer red-billed starlings in Huangshan Tea Forest Farm [J]. Chinese Journal of Zoology, 1989, 24(4): 9-10.
- [11] 李炳华. 红嘴蓝鹊的繁殖习性[J]. 野生动物, 1984, 5(1): 18-20.
LI B H. Reproductive habits of red-billed blue magpie [J]. Chinese Wildlife, 1984, 5(1): 18-20.
- [12] SALA O E, STUART CHAPIN F, III, ARMESTO J J, et al. Global biodiversity scenarios for the year 2100 [J]. Science, 2000, 287(5459): 1770-1774.
- [13] BROOK B W, SODHI N S, BRADSHAW C J A. Synergies among extinction drivers under global change [J]. Trends in Ecology & Evolution, 2008, 23(8): 453-460.
- [14] SIRAMI C, CAPLAT P, POPY S, et al. Impacts of global change on species distributions: obstacles and solutions to integrate climate and land use [J]. Global Ecology and Biogeography, 2017, 26(4): 385-394.
- [15] THOMAS C D, CAMERON A, GREEN R E, et al. Extinction risk from climate change [J]. Nature, 2004, 427 (6970): 145-148.
- [16] FODEN W B, BUTCHART S H M, STUART S N, et al. Identifying the world's most climate change vulnerable species: a systematic trait-based assessment of all birds, amphibians and corals [J]. PLoS One, 2013, 8(6): e65427.

- [17] GU Z R, DIXON A, ZHAN X J. Genetics and evolution of bird migration [J]. *Annual Review of Animal Biosciences*, 2024, 12: 21–43.
- [18] LIDDLE T A, STEVENSON T J, MAJUMDAR G. Photoperiodic regulation of avian physiology: from external coincidence to seasonal reproduction [J]. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 2022, 337 (9/10): 890–901.
- [19] FOLEY J A, DEFRIES R, ASNER G P, *et al.* Global consequences of land use [J]. *Science*, 2005, 309(5734): 570–574.
- [20] OLIVER T H, MORECROFT M D. Interactions between climate change and land use change on biodiversity: attribution problems, risks, and opportunities [J]. *WIREs Climate Change*, 2014, 5(3): 317–335.
- [21] TU H M, FAN M W, KO J C J. Different habitat types affect bird richness and evenness [J]. *Scientific Reports*, 2020, 10: 1221.
- [22] 田佳榕. 基于森林类型的区县级森林地上碳储量遥感估算方法研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2023.
TIAN J R. Remote sensing estimation method of forest above-ground carbon storage at district and county level based on forest types [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2023.
- [23] 郭清斌, 马中, 李涛. 国家级风景名胜区的生态文明发展道路探讨: 以黄山区为例 [J]. *生态经济(学术版)*, 2014, 30(5): 277–279.
GUO Q B, MA Z, LI T. Development path of ecological civilization construction of the national scenic area: a case study of Huangshan District [J]. *Ecological Economy Academic Edition*, 2014, 30(5): 277–279.
- [24] 吴运力. 基于多源数据不同郁闭度下的森林蓄积量估测: 以安徽省黄山区为例 [D]. 南京: 南京林业大学, 2023.
WU Y L. Estimation of forest stock based on multi-source data with different canopy cover: a case study of Huangshan District, Anhui Province [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2023.
- [25] 吴伟伟, 徐海根, 吴军, 等. 气候变化对鸟类影响的研究进展 [J]. *生物多样性*, 2012, 20(1): 108–115.
WU W W, XU H G, WU J, *et al.* The impact of climate change on birds: a review [J]. *Biodiversity Science*, 2012, 20(1): 108–115.
- [26] 生物多样性观测技术导则 鸟类: HJ 710.4—2014 [S/OL]. (2024-10-31) [2024-11-12]. <https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/stzl/201411/W020141115347006806174.pdf>.
Technical guidelines for biodiversity monitoring: birds: HJ 710.4—2014 [S/OL]. (2024-10-31) [2024-11-12]. <https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/stzl/201411/W020141115347006806174.pdf>.
- [27] 吴海龙, 顾长明. 安徽鸟类图志 [M]. 芜湖: 安徽师范大学出版社, 2017.
WU H L, GU C M. A guide to the birds of Anhui [M]. Wuhu: Anhui Normal University Press, 2017.
- [28] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录 [M]. 4版. 北京: 科学出版社, 2023.
ZHENG G M. A checklist on the classification and distribution of the birds of China [M]. 4th ed. Beijing: Science Press, 2023.
- [29] 安徽省重点保护野生动物名录 [EB/OL]. (2023-01-05) [2024-11-12]. <https://www.ah.gov.cn/szl/zfgb/564214261.html>.
List of key protected wild animals in Anhui Province [EB/OL]. (2023-01-05) [2024-11-12]. <https://www.ah.gov.cn/szl/zfgb/564214261.html>.
- [30] 国家重点保护野生动物名录(2021年2月1日修订) [J]. *野生动物学报*, 2021, 42(2): 605–640.
List of national key protected wildlife in China (revised on February 1, 2021) [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2021, 42(2): 605–640.
- [31] 国家林业和草原局公告: 2023年第17号: 有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录 [EB/OL]. (2023-06-26) [2024-11-21]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202307/content_6889361.htm.
National Forestry and Grassland Administration Announcement: No.17 of 2023: list of terrestrial wildlife with important ecological, scientific and social value [EB/OL]. (2023-06-26) [2024-11-21]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202307/content_6889361.htm.
- [32] 中华人民共和国生态环境部, 中国科学院. 中国生物多样性红色名录: 脊椎动物卷: 2020 [EB/OL]. (2023-05-18) [2024-11-24]. https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk01/202305/t20230522_1030745.html.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Chinese Academy of Sciences. Red list of China's biodiversity: vertebrate: 2020 [EB/OL]. (2023-05-18) [2024-11-24]. https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk01/202305/t20230522_1030745.html.
- [33] 张荣祖. 中国动物地理 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
ZHANG R Z. Zoological geography of China [M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [34] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究: II. 丰富度、均匀度和物种多样性指数 [J]. *生态学报*, 1995, 15(3): 268–277.
MA K P, HUANG J H, YU S L, *et al.* Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China: II. Species richness, evenness and species diversities [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(3): 268–277.
- [35] 况胜剑. 城市土地利用/土地覆盖对上海植物物种多样性的影响 [D]. 上海: 华东师范大学, 2015.
KUANG S J. The impacts of urban land use/land cover on plant species diversity in Shanghai, China [D]. Shanghai: East China Normal University, 2015.
- [36] 斯幸峰, 赵郁豪, 陈传武, 等. Beta多样性分解: 方法、应用与展望 [J]. *生物多样性*, 2017, 25(5): 464–480.
SI X F, ZHAO Y H, CHEN C W, *et al.* Beta-diversity partitioning: methods, applications and perspectives [J]. *Biodiversity Science*, 2017, 25(5): 464–480.
- [37] 张荣祖. 我国动物地理学研究的前景: 方法论探讨 [J]. *动物学报*, 1995, 41(1): 21–27.
ZHANG R Z. The prospective of zoogeographical study in

- China: a discussion on methodology [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1995, 41(1): 21–27.
- [38] 张有瑜, 周立志, 王岐山, 等. 安徽省繁殖鸟类分布格局和热点区分析[J]. *生物多样性*, 2008, 16(3): 305–312.
- ZHANG Y Y, ZHOU L Z, WANG Q S, *et al.* Distribution pattern and hotspot analysis of breeding birds in Anhui Province [J]. *Biodiversity Science*, 2008, 16(3): 305–312.
- [39] 徐基良, 王艺霏, 张文文, 等. 浙江省庆元县鸟类多样性分布格局与季节变化研究[J]. *生物资源*, 2022, 44(4): 370–382.
- XU J L, WANG Y F, ZHANG W W, *et al.* Distribution pattern and seasonal variation of bird diversity in Qingyuan County, Zhejiang Province [J]. *Biotic Resources*, 2022, 44(4): 370–382.
- [40] 陈莹, 马鸣, 李维东, 等. 新疆阜康荒漠区不同生境鸟类群落的季节变化[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(2): 273–280.
- CHEN Y, MA M, LI W D, *et al.* Seasonal changes of bird communities in different habitats in desert region of Fukang, Xinjiang [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(2): 273–280.
- [41] 贺春容, 康艺馨, 文哲, 等. 湖南夹山国家森林公园鸟类区系和群落季节性特征[J]. *湖南林业科技*, 2020, 47(6): 24–36.
- HE C R, KANG Y X, WEN Z, *et al.* Avifauna and seasonal characteristics of Hunan Jiashan National Forest Park [J]. *Hunan Forestry Science & Technology*, 2020, 47(6): 24–36.
- [42] 邹丽丽, 陈晓翔. 米埔湿地冬季鸟类对气象及生态质量响应研究[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(5): 824–828.
- ZOU L L, CHEN X X. Responses of resident birds to meteorological conditions and ecological quality in Mai Po Wetland [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(5): 824–828.
- [43] 刘超, 丁志锋, 丁平. 千岛湖陆桥岛屿鸟类集团对栖息地片段化的敏感性及其季节变化[J]. *生态学报*, 2015, 35(20): 6759–6768.
- LIU C, DING Z F, DING P. Seasonal changes in sensitivity of bird guilds to habitat fragmentation on land-bridge islands in the Thousand Island Lake, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(20): 6759–6768.
- [44] 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]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2021, 42(1): 124–136.
- [45] 刘慧明, 高吉喜, 张海燕, 等. 2010—2015年中国生物多样性保护优先区域人类干扰程度评估[J]. *地球信息科学学报*, 2017, 19(11): 1456–1465.
- LIU H M, GAO J X, ZHANG H Y, *et al.* Human disturbance monitoring and assessment in the biodiversity conservation priority area China [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2017, 19(11): 1456–1465.
- [46] MAYOR S J, CAHILL J F, Jr, HE F, *et al.* Regional boreal biodiversity peaks at intermediate human disturbance [J]. *Nature Communications*, 2012, 3: 1142.
- [47] 龚浩林, 曹铭昌, 崔鹏, 等. 浙江省开化县钱江源国家公园及周边区域的鸟类多样性[J]. *生态与农村环境学报*, 2019, 35(4): 469–475.
- GONG H L, CAO M C, CUI P, *et al.* Bird diversity of Qianjiangyuan National Forest Park and the surrounding area, Kaihua County, Zhejiang Province, China [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2019, 35(4): 469–475.
- [48] 段菲, 刘鸣章, 卜红亮, 等. 城市化对鸟类群落组成及功能特征的影响: 以京津冀地区为例[J]. *生物多样性*, 2024, 32(8): 89–102.
- DUAN F, LIU M Z, BU H L, *et al.* Effects of urbanization on bird community composition and functional traits: a case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *Biodiversity Science*, 2024, 32(8): 89–102.
- [49] FOX J F. Intermediate-disturbance hypothesis [J]. *Science*, 1979, 204(4399): 1344–1345.
- [50] MENDELSSOHN H, YOM-TOV Y. A report of birds and mammals which have increased their distribution and abundance in Israel due to human activity [J]. *Israel Journal of Zoology*, 1999, 45(1): 35–47.
- [51] STEIN A, GERSTNER K, KREFT H. Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales [J]. *Ecology Letters*, 2014, 17(7): 866–880.
- [52] FENG G, HUANG X W, MAO L F, *et al.* More endemic birds occur in regions with stable climate, more plant species and high altitudinal range in China [J]. *Avian Research*, 2020, 11(1): 17.
- [53] HARMS K E, CONDIT R, HUBBELL S P, *et al.* Habitat associations of trees and shrubs in a 50-ha neotropical forest plot [J]. *Journal of Ecology*, 2001, 89(6): 947–959.
- [54] GUNATILLEKE C V S, GUNATILLEKE I A U N, ESUFALI S, *et al.* Species-habitat associations in a Sri Lankan dipterocarp forest [J]. *Journal of Tropical Ecology*, 2006, 22(4): 371–384.
- [55] FREESTONE A L, INOUE B D. Dispersal limitation and environmental heterogeneity shape scale-dependent diversity patterns in plant communities [J]. *Ecology*, 2006, 87(10): 2425–2432.

附录 Supplementary Material

附录1 黄山区甘棠镇、焦村镇及太平湖镇调查鸟类名录

Appendix 1 List of birds in Gantang Town, Jiaocun Town and Taipinghu Town, Huangshan District

<https://dx.doi.org/10.12375/ysdwxb.20250326>