北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

北京居住区鸟类群落特征及其影响因素

殷鲁秦 王成 刘锐之

Characteristics and influencing factors of bird communities in residential areas of Beijing

Yin Luqin, Wang Cheng, Liu Ruizhi

引用本文:
殷鲁秦，王成，刘锐之. 北京居住区鸟类群落特征及其影响因素[J]. 北京林业大学学报，2025，47(6):80-89. doi: 10.12171/j.1000-1522.20240062
Yin Luqin, Wang Cheng, Liu Ruizhi. Characteristics and influencing factors of bird communities in residential areas of Beijing[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(6):80-89. doi: 10.12171/j.1000-1522.20240062

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20240062

您可能感兴趣的其他文章
Articles you may be interested in

城市居住区绿地小微尺度下垫面构成对环境微气候的影响
Effects of micro scale underlying surface type and pattern of urban residential area on microclimate: taking Beijing as a case study
北京林业大学学报, 2021, 43(10): 100-109. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20200256

居住区楼间绿化对建筑采光条件影响的数字模拟研究
Numerical simulation study on the influence of greening between buildings on sunlight conditions of building in residential area
北京林业大学学报, 2020, 42(12): 101-114. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20200039

2006—2016年间北京五环内居住区绿地树种组成变化
Change of tree species composition in green area of residential quarter within the Fifth Ring in Beijing from 2006 to 2016
北京林业大学学报, 2018, 40(7): 9-17. https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.20170381

海南省3座城市的植物多样性水平对比研究
Comparison in plant diversity in Haikou, Sanya and Wenchang cities of Hainan Province, southern China
北京林业大学学报, 2019, 41(4): 107-115. https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.20180315

居住区绿地中生长残损植物研究——以北京为例
Study on the damaged plants in green space of residential area:case study in Beijing
北京林业大学学报, 2017, 39(10): 101-108. https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.20170310

“留白增绿”背景下北京市栖息生境型城市森林营建策略研究
Research on habitat-type urban forest construction strategy in Beijing in the background of "leave blank space and increase green space"
北京林业大学学报, 2018, 40(10): 102-114. https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.20180187

DOI:10.12171/j.1000−1522.20240062

北京居住区鸟类群落特征及其影响因素

殷鲁秦[1] 王 成[1] 刘锐之[2]

（1. 中国林业科学研究院林业研究所，国家林业和草原局林木培育重点实验室，国家林业和草原局城市森林研究中心，北京 100091；
2. 国家林业和草原局西北调查规划院，陕西 西安 710048）

摘要:【目的】城市是鸟类的重要栖息地之一，为全面了解城市生物多样性格局，并探索居住区生物多样性保育策略，本研究以鸟类为研究对象，以北京中心城区的居住区为研究区域，探究城市居住区是否是鸟类的重要活动空间，分析留鸟、候鸟以及不同食性鸟类群落特征的季节变化，并揭示鸟类多样性的影响因素，以期为居住区鸟类多样性保护和生物多样性之都建设提供科学依据。**【方法】**共选取了 40 个居住小区，采用直接计数法进行为期一年的鸟类调查。通过方差分析比较了不同季节鸟类群落特征之间的差异，利用主坐标分析对不同季节鸟类的群落构成进行分析，并采用广义线性模型探究居住区环境因子对鸟类群落特征的关键影响因素。**【结果】**(1)共记录鸟类 10 目 23 科 51 种，其中麻雀为极优势种，灰喜鹊、珠颈斑鸠、喜鹊和白头鹎为优势种。(2)鸟类物种丰富度和多度均呈双峰型分布，春秋季物种数显著高于夏季和冬季，但多度的季节差异性不显著。留鸟的物种数、多度和密度均显著高于候鸟，且候鸟在不同季节间差异显著，而留鸟的差异不显著。不同食性鸟类的物种数、多度和密度均存在显著差异，其中杂食性最高，肉食性鸟类最低，虫食性鸟类的物种随季节变化显著。留鸟和候鸟的群落构成对季节变化的响应不同，候鸟的群落构成随季节发生变化，而留鸟全年稳定无明显变化。(3)留鸟受环境因子影响不显著，而候鸟受环境因子的影响显著。建筑密度、道路密度和建筑层数对鸟类多样性具有负效应，乔木覆盖率具有正效应。**【结论】**研究揭示了在高度城市化地区，居住区是鸟类的重要活动空间，对维持城市鸟类多样性具有重要作用。乔木覆盖率对鸟类多样性具有显著的积极影响，未来应加强居住区绿地的生境营建，助力城市生物多样性保育。

关键词：居住区；城市鸟类；季节变化；影响因素；生物多样性

中图分类号：S731.2；Q958.15 **文献标志码：**A **文章编号：**1000−1522(2025)06−0080−10

引文格式：殷鲁秦，王成，刘锐之. 北京居住区鸟类群落特征及其影响因素［J］. 北京林业大学学报，2025，47(6)：80−89.

Yin Luqin, Wang Cheng, Liu Ruizhi. Characteristics and influencing factors of bird communities in residential areas of Beijing［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(6): 80−89.

Characteristics and influencing factors of bird communities in residential areas of Beijing

Yin Luqin[1] Wang Cheng[1] Liu Ruizhi[2]

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, National Forestry and Grassland Administration, Urban Forest Research Center, National Forestry and Grassland Administration, Beijing100091, China;
2. Northwest Surveying and Planning Institute of National Forestry and Grassland Administration, Xi'an 710048, Shaanxi, China)

Abstract: ［**Objective**］ Cities are one of the important habitats for birds. In order to comprehensively understand the characteristics of urban biodiversity and explore strategies for biodiversity conservation in residential areas, this study took birds as the research object and the residential areas in the central urban area

收稿日期: 2024−03−10 **修回日期:** 2024−10−23

基金项目: 国家自然科学基金项目(32401317)，中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(CAFYBB2022SY006)。

第一作者: 殷鲁秦，博士，助理研究员。主要研究方向：城市生物多样性、园林生态。Email：yinluqin@caf.ac.cn 地址：100091 北京市海淀区香山路东小府 1 号。

责任作者: 王成，博士，研究员。主要研究方向：城市林业。Email：wch8361@163.com 地址：同上。

本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn；http://journal.bjfu.edu.cn

of Beijing as research area. We explored whether urban residential areas were important activity spaces for birds, analyzed the seasonal changes in characteristics of resident birds, migratory birds, and bird communities with different feeding habits, and revealed the influencing factors of bird diversity, in order to provide scientific basis for the protection of bird diversity in residential areas and construction of a biodiversity city. [**Method**] 40 residential areas were selected to carry out a one-year bird survey. Variance analysis was used to compare the differences of bird community characteristics in different seasons, and principal coordinates analysis was used to compare bird community composition in different seasons. A generalized linear model was used to explore key factors affecting bird diversity. [**Result**] A total of 51 species, 23 families and 10 orders of birds were recorded. Eurasian tree sparrow (*Passer montanus*) was the most dominant species. Azure-winged magpie (*Cyanopica cyanus*), spotted dove (*Streptopelia chinensis*), common magpie (*Pica pica*) and light-vented bulbul (*Pycnonotus sinensis*) were dominant species. The species richness and abundance of birds showed a bimodal pattern. The species in spring and autumn was significantly higher than in summer and winter, but the difference of abundance was not significant. The species, abundance and density of resident birds were significantly higher than migratory birds. There was a significant difference between migratory birds in different seasons, while the difference in resident birds was not significant. The species, abundance and density of birds with different diets were significantly different. The omnivorous was the highest, the carnivorous was the lowest, and the insectivorous changed significantly with seasons. The community structure of resident and migratory birds was different in response to seasonal changes. Migratory birds changed with seasons, while resident birds remained stable throughout the year. The resident birds were not significantly affected by environmental factors, while the migratory birds were significant. Building density, road density and building floors had negative effects on bird diversity, and tree coverage had positive effects. [**Conclusion**] The study reveals that residential areas are important activity space for birds in highly urbanized areas, which play an important role in maintaining the diversity of urban birds. Arbors have a significant positive effect on bird diversity. In the future, it is necessary to strengthen the habitat construction in residential green space, which help the urban biodiversity conservation.

Key words: residential area; urban birds; seasonal change; influencing factors; biodiversity

鸟类作为城市中最常见的野生动物类群[1]，近来年备受公众关注，同时也是反映城市环境的重要指示物种[2]，是城市生物多样性的重要组成部分。城市绿地为鸟类提供了重要的栖息和取食场所[3]，对维持城市鸟类生物多样性发挥着重要作用[4]。然而，随着城市化进程的加速，城市空间布局和用地结构发生了显著变化，导致绿地生境逐渐破碎化[5−6]，这对城市鸟类的活动规律、群落分布特征及生物多样性产生了深远的影响。以往关于城市鸟类群落特征与生物多样性的研究多集中于植被覆盖较高的大型城市公园、森林公园或湿地等区域[7−8]，而对居住区这一典型的破碎化城市生境关注较少。居住区作为人工环境与自然环境的复合体[9]，在城市中占比最大，具有面积小、分布广、总量大的特点，在城市生态系统中发挥着“踏脚石”的重要作用[3]。相比于自然环境或大型城市绿地，居住区的人类活动更加密集，对城市鸟类的干扰更大，其鸟类多样性及维持机制不同于自然环境或大型的城市生境。因此，研究居住区中的鸟类生物多样性，不仅有助于诠释城市鸟类生物多样性格局，还能为探索城市鸟类生物多样性保护管理方式，提高社区居民福祉提供科学依据，同时也为城市鸟类生物多样性保育和绿地规划建设管理提供新的视角。

北京作为世界上生物多样性最丰富的大都市之一，是鸟类的重要迁徙通道，目前正致力于建设生物多样性之都（http://www.beijing.gov.cn/ywdt/gzdt/202210/t20221014_2835557.html）。以往关于北京城市鸟类多样性的研究主要集中于城市公园[10−12]、历史名园[13−14]、城市绿化带[15−16]等区域的鸟类群落特征、空间分布和生境偏好，而针对居住区绿地的鸟类群落特征及影响因素的研究较为匮乏。本研究以城市鸟类为研究对象，以北京中心城区为研究区域，选取 40 个居住区作为研究点，开展为期一年的鸟类调查，比较留鸟、候鸟及不同食性鸟类群落特征的季节变化，探究在高度城市化地区居住区是否为鸟类的重要活动空间，并选取 9 个环境因子分析其对居住区鸟类多样性的影响，以期为城市绿地规划设计和生物多样性保育工作提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究地点

北京(115°24′ ~ 117°30′E、39°38′ ~ 41°05′N)地处华北平原北部，辖区总面积为 16 410 km^2，属暖温带半湿润半干旱季风气候，四季分明，夏季高温多雨，冬季寒冷干燥。中心城区包括东城区、西城区、朝阳区、丰台区、海淀区和石景山区，主要位于五环路范围内。本研究以天安门广场为中心，在五环路范围内沿 8 个地理方向随机选取 40 个居住区(图 1)，各小区之间至少间隔 2 km，以减少相互影响。

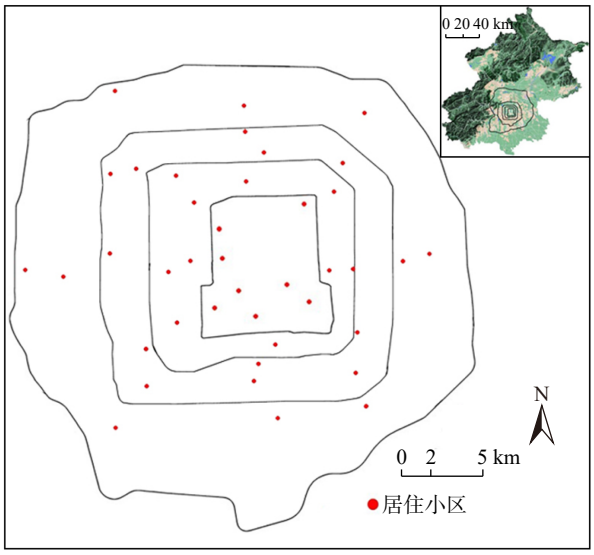


图 1 研究点在北京市的位置分布

Fig. 1 Location distribution of research points in Beijing

1.2 鸟类外业调查

2020 年 6 月—2021 年 5 月，在晴朗无风时日出后 1 ~ 3 h 进行调查，沿小区人行道以 1.0 ~ 1.5 km/h 的步速前行，采用直接计数法。每个小区每月调查 1 次，累计采样 12 次。季节划分如下，春季为 3—5 月，夏季为 6—8 月，秋季为 9—11 月，冬季为 12 月至次年 2 月。在进行分析时，结合实际调查情况和参阅相关资料[17]，将鸟类的居留型分为留鸟和候鸟(包括夏候鸟、冬候鸟和旅鸟)；将鸟类的食性分为杂食性、植食性、虫食性和肉食性[18−19]。

1.3 鸟类指数计算

研究选取了物种丰富度、多度和密度作为鸟类群落特征的表征。其中物种丰富度即记录到的鸟类物种数，多度即记录到的个体数。由于麻雀(*Passer montanus*)属于城市适生种[20−21]，在所有小区均广泛分布且数量庞大，占鸟类个体数的(76.97 ± 9.00)%，考虑到麻雀种群数量全年稳定，四季不存在显著差异($P > 0.05$)，为了更好地反映出小区中其他鸟类的数量特征，仅在分析多度和密度的季节变化时剔除麻雀，同时针对麻雀的密度单独进行了影响因素的分析。

$$D = N/S$$

式中：D 为某个小区中鸟类的密度，N 为某个小区中记录到鸟类的总数量，S 为居住小区的总面积(hm^2)。

$$R_B = (d/T \times N/T) \times 1\,000$$

式中：R_B 为某种鸟的频率指数，R 为遇见某种鸟的概率，B 为平均每次遇见该种鸟的数量，$R = d/T$，d 为遇见该种鸟的次数，$B = N/T$，N 为遇见该鸟种的个体数，T 为调查总次数[22−23]。将每个小区每轮调查看作一次，共计 480 次($T = 480$)。结合实际调查情况，将 $R_B \geqslant 10\,000$，为极优势种；$1\,000 \leqslant R_B < 10\,000$，为优势种；$10 \leqslant R_B < 1\,000$，为常见种；$1 \leqslant R_B < 10$，为偶见种；$0.1 \leqslant R_B < 1$，为罕见种；$R_B \leqslant 0.1$，为极罕见种[14,22]。

1.4 环境因子获取

结合实际调查对研究点的夏季谷歌影像进行目视解译，共选取了小区面积、建筑密度、建筑层数、道路密度、绿地率、乔木覆盖率、灌木覆盖率、500 m 缓冲区不透水地表覆盖率(impervious surface of 500 m buffer，IS)和到城市中心的距离(distance to the center，DTC)9 个环境因子来反映小区内部特征和周围环境特征。在影像图上勾勒小区边界并测量面积，同时分别勾勒出建筑、道路、绿地的边界，并分别计算覆盖率；结合实地调查，勾绘出乔木和灌木树冠的覆盖范围，计算覆盖率；按照占地面积对小区中建筑物的层数进行加权平均，得到建筑层数；从小区边界向外缓冲 500 m，计算缓冲区范围内的不透水地表覆盖率，用来反映城市化水平；同时测量小区质心到城市中心(天安门广场)的直线距离。

1.5 统计分析

1.5.1 季节变化分析

本研究使用 R 4.2.2 对数据进行统计分析。首先对数据进行 Shapiro-Wilk 检验，对不符合正态分布的多度和密度进行对数转换。使用方差分析(ANOVA)分别分析留鸟、候鸟或不同食性鸟类不同季节群落特征的差异，并用 Tukey HSD 进行多重比较。采用主坐标分析(principal coordinates analysis，PCoA)对鸟类群落构成的相异度进行分析，并采用多元响应置换过程(multiple response permutation procedure，MRPP)分别检验留鸟和候鸟在不同季节群落结构的差异。

1.5.2 影响因素分析

为避免各环境因子之间的多重共线性，通过相

关分析进行因子筛选。由于数据不符合正态分布，采用 Spearman 相关分析，结果显示所有因子间的相关系数均小于 0.7。同时用方差膨胀因子(VIF)检验模型中环境因子的共线性，保留 VIF ≤ 10 的因子，结果显示绿地率、建筑密度和道路密度的 VIF > 10，考虑到绿地率与乔木覆盖率和灌木覆盖率相关，同时建筑密度和道路密度能够反映小区的人工环境，故仅去除绿地率，并再检验模型 VIF 均小于 10，满足非共线性。将每个小区的鸟类多样性作为响应变量，对计数数据物种丰富度构建符合 Poisson 分布的广义线性模型，密度构建一般线性模型，建模前对所有数据进行标准化处理。采用小样本校正后的赤池信息量准则(AICc)进行模型评价，利用 MuMIn 程序包中的“dredge”函数进行模型排序和选择，ΔAICc ≤ 2 的模型均被认为是最优模型[24]。利用“model.avg”函数对最优模型进行模型平均，计算每个因子的参数估计值及标准误。

2　结果与分析

2.1　鸟类群落物种组成及其优势物种

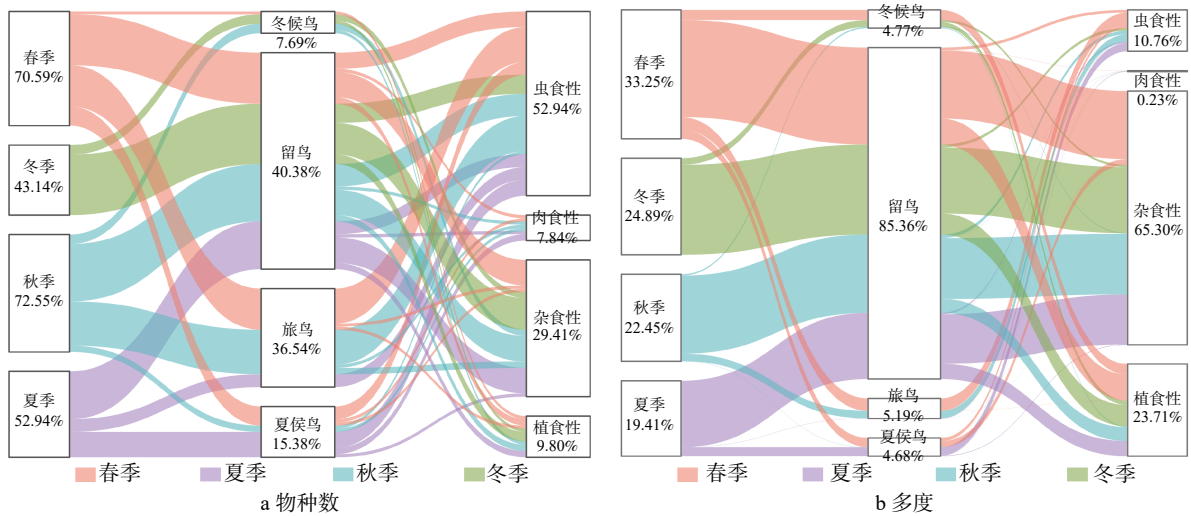
研究共记录鸟类 10 目 23 科 51 种，其中雀形目种类最多，达 40 种(78.43%)，其次为鹈形目 3 种(5.88%)，其余鸽形目、佛法僧目、雨燕目、鹈形目、鹃形目和鹰形目均仅有 1 种(详见附录 1)。按生态类群划分，鸣禽种类最多，共 41 种(82%)，其次为攀禽 5 种(10%)、猛禽 2 种(4%)、陆禽 1 种(2%)和游禽 1 种(2%)。按区系划分，广布种最多，共 24 种(47.06%)，其次为古北界种 19 种(37.25%)和东洋界种 8 种(15.69%)。按食性划分，虫食性鸟最多，共 27 种(52.94%)，其次依次为杂食性鸟 15 种(29.41%)、植食性鸟 5 种(9.80%)和肉食性鸟 4 种(7.84%)。按居留型划分，留鸟(21 种)和旅鸟(19 种)占比较高，分别占 40.38% 和 36.54%，夏候鸟 8 种(15.38%)，冬候鸟最少，仅 4 种(7.69%)。由此可见，居住区是城市鸟类的重要活动空间，尤其是留鸟。

采用频率指数估计法分析优势物种，结果显示，伴人鸟种在居住区中分布广泛，而候鸟分布较少。通过全年数据分析，麻雀的 R_B 值高达 75 843，远高于其他鸟种，为极优势种；优势种共 4 种，分别为灰喜鹊(*Cyanopica cyanus*)、珠颈斑鸠(*Streptopelia chinensis*)、喜鹊(*Pica pica*)和白头鹎(*Pycnonotus sinensis*)；常见种共 8 种，分别为大嘴乌鸦(*Corvus macrorhynchos*)、乌髇(*Turdus merula*)、家燕(*Hirundo rustica*)、黄眉柳莺(*Phylloscopus inornatus*)、黄腰柳莺(*Phylloscopus proregulus*)、灰椋鸟(*Spodiopsar cineraceus*)、大斑啄木鸟(*Dendrocopos major*)和燕雀(*Fringilla montifringilla*)；偶见种有沼泽山雀(*Poecile palustris*)、星头啄木鸟(*Dendrocopos canicapillus*)等 9 种；罕见种有八哥(*Acridotheres cristatellus*)、红隼(*Falco tinnunculus*)、小嘴乌鸦(*Corvus corone*)等 10 种；极罕见种共 19 种。

2.2　鸟类群落的季节变化

2.2.1　不同季节的鸟类物种组成及其季节变化

不同季节鸟类物种组成差异显著，物种数和多度均在春季达到最高值。具体而言，物种数依次为春季 36 种(70.59%)、夏季 27 种(52.94%)、秋季 37 种(72.55%)和冬季 22 种(43.14%)；多度依次为春季 3 943 只(33.25%)、夏季 2 302 只(19.41%)、秋季 2 662 只(22.45%)和冬季 2 951 只(24.89%)(图 2)。从物种数来看，春、秋、冬季以留鸟和旅鸟为主，食



色带的宽度表示种数或个体数。

图 2　不同季节的鸟类构成

Fig. 2　Composition of birds in different seasons

性以虫食性居多；夏季以夏候鸟和留鸟为主，食性以虫食性和杂食性为主(图 2a)；从多度来看，各个季节均是留鸟数量最多，食性均是杂食性为主(图 2b)。

方差分析显示，不同季节间物种数存在显著差异($F = 12.99$, $P < 0.05$)，其中春季和秋季显著高于夏季和冬季；而不同季节间多度无显著差异($F = 2.51$, $P = 0.06$)，表明各季节较为稳定；此外，不同季节间密度存在显著差异($F = 4.17$, $P < 0.05$)，春季显著高于夏季(图 3)。

2.2.2 留鸟与候鸟的季节变化

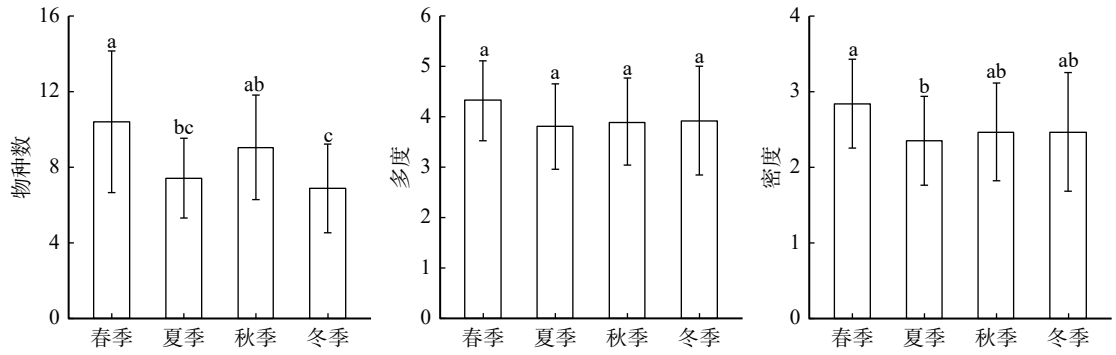
分析留鸟、候鸟在 4 个季节的群落特征发现，留鸟在物种数、多度和密度上均显著高于候鸟(物种数：$F = 585.92$, $P < 0.05$；多度：$F = 367.73$, $P < 0.05$；密度：$F = 478.44$, $P < 0.05$)。此外，物种数、多度和密度在不同季节之间也存在显著差异(物种数：$F = 17.19$, $P < 0.05$；多度：$F = 10.37$, $P < 0.05$；密度：$F = 11.02$, $P < 0.05$)(图 4)。留鸟和候鸟对季节的响应存在显著差异：候鸟的物种数春季和秋季显著高于夏季和冬季，多度春夏秋 3 季显著高于冬季，密度春季显著高于夏秋冬 3 季；而留鸟的物种数、多度和密度不同季节间较为稳定，无明显变化(图 4)。综上所述，留鸟的群落特征全年保持稳定，而候鸟从春季到冬季呈显著下降趋势。

2.2.3 不同食性鸟类的季节变化

分析 4 种食性鸟类(杂食性、虫食性、植食性和肉食性)在 4 个季节中的群落特征发现，物种数、多度和密度在不同食性间均存在显著差异(物种数：$F = 511.50$, $P < 0.05$；多度：$F = 415.09$, $P < 0.05$；密度：$F = 388.77$, $P < 0.05$)，均为杂食性最高、肉食性最低。物种数、多度和密度在不同季节间也表现出显著差异($F = 20.10$、$F = 9.34$ 和 $F = 10.64$, $P < 0.05$)，除肉食性鸟类外均为春季最高(图 5)。不同食性鸟类对季节变化的响应不同，杂食性鸟类的物种、多度和密度在不同季节不存在显著差异；虫食性鸟类物种数在春季和秋季显著高于夏季和冬季，多度和密度则是春、夏、秋 3 季显著高于冬季；植食性鸟类物种数在不同季节不存在显著差异，但多度在春季显著高于秋季，密度在春季显著高于夏、秋季；肉食性鸟类的物种数、多度和密度在不同季节间则保持相对稳定，未表现出明显变化(图 5)。

2.2.4 不同季节群落构成的相异性分析

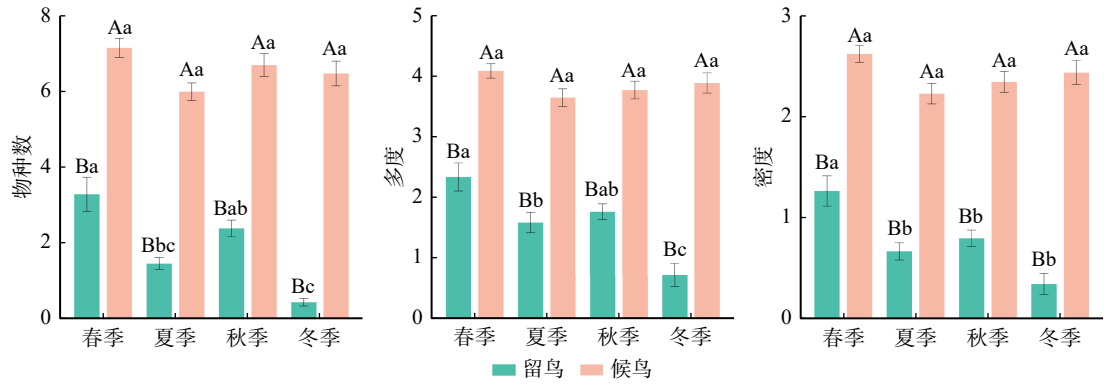
分别对留鸟和候鸟在 4 个季节的鸟类群落构成



不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

图 3 鸟类群落特征的季节变化

Fig. 3 Seasonal changes of bird community characteristics



不同大写字母表示不同类群之间差异显著($P < 0.05$)，不同小写字母表示不同季节之间差异显著($P < 0.05$)。下同。

图 4 留鸟和候鸟的季节变化

Fig. 4 Seasonal changes of resident and migratory birds

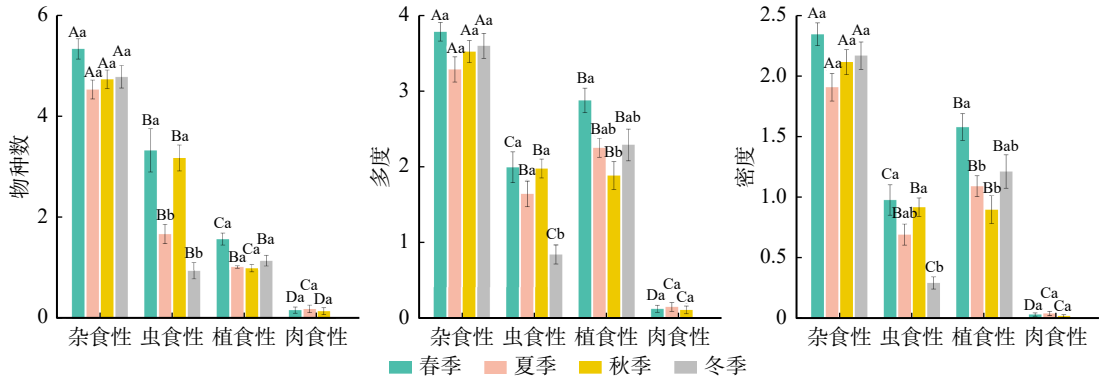


图 5　不同食性鸟类的季节变化

Fig. 5　Seasonal changes of birds with different diets

进行了基于 Bray-Curtis 距离的主坐标分析。结果表明，留鸟和候鸟的前 2 个主成分分别解释了群落构成变异的 26.57% 和 17.34%(图 6a 和图 6b)。MRPP 分析表明，候鸟的群落构成在不同季节存在显著差异($P = 0.023$)，其中春季和秋季的群落构成部分相似，而冬季的群落构成则属于春季或秋季的一部分(图 6a)。相比之下，留鸟群落构成在不同季节间不存在显著差异($P = 0.978$)，各季节相似度极高。然而，留鸟的 4 种优势种(喜鹊、灰喜鹊、白头鹎和珠颈斑鸠)在主坐标分析中均聚集在第三象限(图 6b)。进一步对优势种和其他种进行检验，发现两者存在显著差异($P = 0.001$)，且二者完全区分开，分别位于不同象限(图 6c)。综上所述，留鸟和候鸟的群落构成对季节变化的响应存在显著差异。其中，候鸟的群落构成随季节变化显著，而留鸟的群落构成稳定，全年无明显变化，尤其是 4 种优势种的分布表现出极高的稳定性。

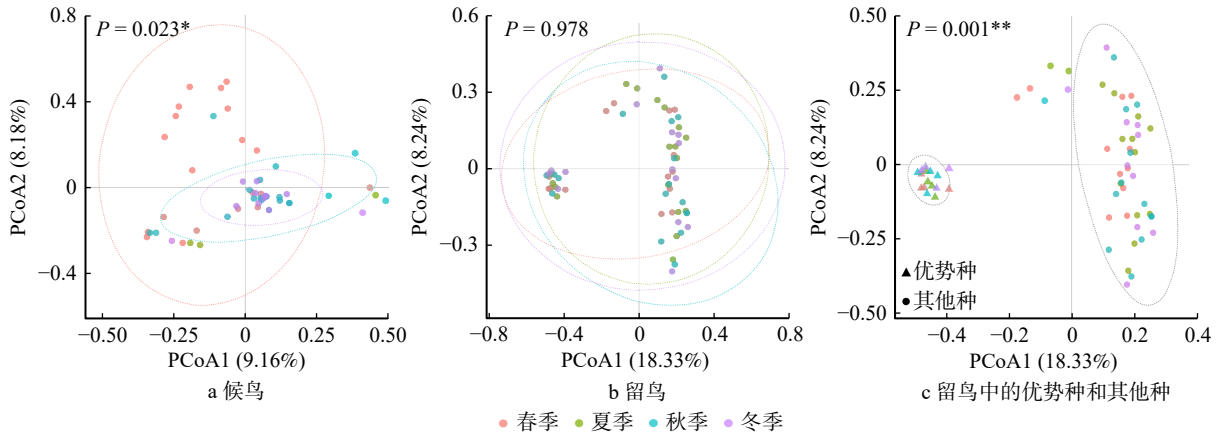
2.3　群落多样性的影响因素

2.3.1　鸟类物种丰富度的影响因素

居住区环境因子对鸟类物种丰富度的模型拟合结果表明(表 1)，留鸟受环境因子影响不显著，候鸟受环境因子的影响显著，使得整体物种丰富度受环境因子影响也较为显著。具体而言，小区面积和乔木覆盖率对候鸟物种丰富度具有显著正效应($P < 0.001$ 和 $P = 0.025$)，而建筑层数具有显著负效应($P = 0.008$)。对所有鸟种而言，建筑密度和道路密度也具有一定的负效应($P = 0.033$ 和 $P = 0.038$)。灌木覆盖率和 500 m 缓冲区不透水地表覆盖率的影响不显著，到城市中心的距离未被包括在模型中。

2.3.2　鸟类密度的影响因素

居住区环境因子对鸟类密度的模型拟合结果表明(表 2)，除麻雀外，留鸟、候鸟和整体的鸟类密度均与乔木覆盖率呈显著正相关($P < 0.001$)，但对候鸟密度的解释率低于留鸟和整体，500 m 缓冲区不透水地表覆盖率未纳入模型中。对麻雀进行单独分析，发现其密度的影响因素与其他鸟种不同，小区面积、道路密度和建筑层数均有显著的负效应($P = 0.011\ 8$，$P = 0.024\ 0$ 和 $P = 0.043\ 2$)，乔木覆盖率和灌木覆盖率均未纳入模型中。到城市中心的距离未被包括在任何模型中。



椭圆为 95% 的置信区间。*表示 $P < 0.05$，**表示 $P < 0.01$。

图 6　留鸟和候鸟的主坐标分析

Fig. 6　PcoA of resident and migratory birds

表 1 鸟类物种丰富度平均模型的参数估计

Tab. 1 Parameter estimation of average model for bird species richness

环境因子	整体(R^2 = 0.406)			留鸟(R^2 = 0.171)			候鸟(R^2 = 0.437)		
	参数估计	标准误	*P*	参数估计	标准误	*P*	参数估计	标准误	*P*
小区面积	0.285	0.103	< 0.001	0.165	0.109	0.127	0.538	0.156	< 0.001
建筑密度	−0.226	0.120	0.033	−0.131	0.128	0.306	−0.385	0.203	0.058
道路密度	−0.197	0.095	0.038	−0.096	0.111	0.388	−0.247	0.192	0.198
建筑层数	−0.220	0.112	0.049				−0.482 2	0.181	0.008
乔木覆盖率	0.192	0.08	0.030	0.115	0.109	0.293	0.317	0.141	0.025
灌木覆盖率	0.141	0.098	0.149	0.140	0.108	0.197	0.196	0.156	0.208
500 m缓冲区不透水地表覆盖率	−0.116	0.090	0.194	−0.194	0.108	0.072			

表 2 鸟类密度平均模型的参数估计

Tab. 2 Parameter estimation of average model for bird density

环境因子	整体(R^2 = 0.368)			留鸟(R^2 = 0.357)			候鸟(R^2 = 0.181)			麻雀(R^2 = 0.395)		
	参数估计	标准误	*P*	参数估计	标准误	*P*	参数估计	标准误	*P*	参数估计	标准误	*P*
小区面积	−0.111	0.070	0.112	−0.120	0.073	0.100				−0.138	0.055	0.012
建筑密度	0.089	0.075	0.233	0.092	0.078	0.239	0.081	0.117	0.491			
道路密度	−0.089	0.074	0.229	−0.085	0.077	0.274	−0.108	0.116	0.351	−0.099	0.044	0.024
建筑层数	−0.103	0.081	0.202				−0.112	0.108	0.297	−0.097	0.048	0.043
乔木覆盖率	0.278	0.074	< 0.001	0.292	0.077	< 0.001	0.227	0.053	< 0.001			
灌木覆盖率	0.091	0.079	0.254	0.084	0.074	0.251						
500 m缓冲区不透水地表覆盖率										−0.070	0.048	0.148

注：整体、留鸟和候鸟为剔除了麻雀的结果。

3 讨论与结论

3.1 鸟类群落特征及季节变化

根据《北京市陆生野生动物名录(2023)》，北京市共有 515 种鸟类，中心城区 448 种(中国观鸟记录中心 http://www.birdreport.cn/)，常见鸟类约 100 种[25]。本研究共调查到鸟类 51 种，占城区鸟类的 11.38%。表明居住区是城市鸟类的重要活动空间，对维持城市鸟类多样性具有重要作用。与之前在北京城市公园[10,26]、森林公园[11]、绿化带[15−16]等城市绿地的研究相比，本研究中鸟种数显著减少，且群落组成存在差异。研究显示鸟类多样性与绿地面积呈正相关[27]，而小区的绿地面积较小，因此鸟类更倾向于占据城市公园[28]。由于小区内植被人工化程度高、生境单一、缺少水域以及人为干扰大等因素，水鸟和较为胆小的鹟类、鸻类等鸟种鲜有记录，而与人类关系较为密切的麻雀、珠颈斑鸠、喜鹊等与人类伴生的鸟种比城市公园或自然生境中多，这与 Kurucz 等[29]在高度城市化地区的研究结果一致。麻雀繁殖快、食性杂，高度适应了城市环境和人为干扰[20−21]，在小区中占据了绝对的优势地位；灰喜鹊、喜鹊和白头鹎均为留鸟且为杂食性鸟类，食物来源丰富，在各小区中均数量较多且稳定；珠颈斑鸠虽以取食谷物、种子为主，食性较单一，但居民投喂谷物的友好行为，使其也成为小区中的优势物种。

居住区鸟类群落的季节变化与其他类型的城市绿地的趋势一致，均表现为春秋季鸟类多样性高于夏冬季[12,30]。迁徙是留鸟和候鸟对季节变化产生不同响应的根本原因。留鸟常年生活在北京地区，不会随季节变化而长途迁徙，种类和数量全年保持相对稳定，即使有短距离迁移，也不会显著改变留鸟的群落特征。例如，大嘴乌鸦白天飞到城郊觅食，夜晚飞回二环附近栖息；又如大山雀(*Parus major*)等留鸟繁殖季在近郊山地森林里栖息，秋冬季非繁殖季食物匮乏时则到城区游荡式觅食和栖息。因此，冬季留鸟会有小幅上升，这与 Tzortzakaki 等[31]的研究结果一致。由于城市中的留鸟食性杂、长期适应城市环境[32−33]，且居住区内全年均有稳定且丰富的食物来源[34]，因此小区中的四季鸟种均以留鸟为主。

对于候鸟而言，每年节律性的迁徙使得春秋季鸟类群落较夏冬季更为丰富。北京位于东亚−澳大利亚鸟类迁徙路线上，春秋季有大量旅鸟过境，物种丰富度在 5 月和 9 月出现 2 个峰值。由于春季鸟类急于飞往繁殖地繁殖，迁徙期会更加集中，因此 5 月的峰值更明显。除家燕、灰椋鸟会依托建筑或墙洞筑巢外，没有其他夏候鸟在小区内繁殖，主要是由于

缺少生境条件。例如，夏候鸟中有许多为水鸟，主要在有水面的公园中栖息[14]，林鸟则前往郊区的山地森林繁殖育雏。由于气候原因，北京的冬候鸟种类不及夏候鸟丰富，在居住区中也仅有燕雀和黑尾蜡嘴雀(*Eophona migratoria*)等。针对具体群落组成而言，由于春季和秋季为迁徙季，同时有夏候鸟和冬候鸟的启程与到达，以及旅鸟过境，各鸟种在时空上出现重叠，因此春季和秋季鸟类群落组成较为相似；而冬季过境的鸟种已南下到达越冬地，小区中仅剩冬候鸟和留鸟，因此其群落组成是春季或秋季的一部分。灰喜鹊等 4 种优势种在与其他种存在显著差异，可能是由于优势种已适应城市环境，不太依赖于居住区的生境条件，而其他鸟种对居住区仍存在生境选择和适应的过程。

不同食性鸟类对季节变化的响应存在显著差异。除虫食性鸟种冬季数量骤减外，其他 3 类鸟的变化较小。杂食性鸟种食性广泛更能适应居住区的复杂环境，全年较稳定；虫食性鸟种则以取食鞘翅目、蛛形目、膜翅目和鳞翅目的昆虫为主[35]，主要为柳莺类、鹟类、灰椋鸟等旅鸟和夏候鸟，冬季不在北京越冬；植食性的燕雀冬季喜在小区集群越冬，取食元宝枫和白蜡的翅果，因此植食性鸟种在冬春季有小幅上升；肉食性鸟种中除红隼常在高层建筑上筑巢栖息外，其余鸟种在城市环境中都较罕见。食物来源对鸟类的分布具有重要影响[36]。不同季节气候条件和物候变化影响了鸟类的食物来源，从而间接影响了鸟类群落的物种组成。春夏季植物萌芽、展叶、开花且蛰伏的昆虫开始活动，此时取食叶芽、花芽和昆虫的杂食性鸟类和食虫鸟较多[37]；而秋冬季植物结果，果肉能够吸引众多的食果鸟[38]，此时杂食性和植食性鸟较多。

3.2　小区环境因素对鸟类多样性的影响

绿地面积是影响鸟类多样性的最重要因子，与总体物种丰富度呈极强正相关[28]，这一结果在针对公园的研究结果也得到了验证[8]。本研究中，居住区面积对鸟类物种丰富度具有着显著的正效应，这主要是由于更大的面积通常意味着更多的绿地，这一结果与“种–面积”关系相契合。不同生境中的土地利用会影响到鸟类多样性[39]，研究中就选取了居住区的建筑、道路绿地 3 类土地利用作为鸟类多样性的环境预测因子。研究发现，建筑和道路等人工构筑物对鸟类物种丰富度具有显著的负效应，尤其是对环境较为敏感的候鸟，其受小区内部环境影响较大。更多的建筑和道路意味着更少的绿地，以往的研究中城市绿地的数量和规模越大、异质性越强，鸟类多样性越高[40]，因此减少小区内道路和建筑的面积、增加绿地面积，有助于增加鸟类的物种丰富度[41]。同时，建筑层数对鸟类的物种丰富度也有显著的负效应，可能是由于高层建筑限制了鸟类的飞行空间，不利于其觅食和迁徙等飞行活动，增加了“鸟撞”的发生概率，因此低层住宅对鸟类更加友好。上述结果对留鸟均不显著，可能是由于留鸟长期适应城市环境，对小区不存在明显的生境选择，因此候鸟等不太常见鸟种的生境选择更适宜作为城市鸟类生境营建的参考。

鸟类多样性与植被盖度呈正相关[42]，其中树冠覆盖的梯度是鸟类群落变化的主要原因[43]。本研究中，乔木覆盖率对鸟类多样性具有显著的积极影响，而灌木覆盖率则未表现出显著作用。乔木树冠为鸟类提供了繁殖或觅食的庇护所[44–45]，使其能够远离人类干扰[46]，而更大的树冠斑块则能够支持更多样化的物种[47]。因此，增加乔木覆盖率有助于提高鸟类的丰富度[48]。居住区应合理规划绿地，注重大树的培育，为小树的生长留出足够的空间和时间，同时避免过度修剪，频繁砍掉树枝导致冠宽变窄，不利于城市鸟类多样性的保护[49]。研究中灌木覆盖率没有显著影响，可能是由于小区人为活动较多，灌木的高度不利于鸟类躲避人为干扰，同时灌木上的鸟类食物来源较少，因此鸟类生境营建要更加注重乔木的培育。值得特别说明的是，由于麻雀为高度与人类伴生的鸟种，适应城市环境而不依赖于植被环境，因此乔木和灌木的覆盖率均不能影响其密度。

有研究表明，鸟类物种丰富度随城市扩张而发生变化，随着城市向外扩展，鸟类多样性会逐渐增加[5]。由于本研究的样点均位于北京市五环路范围内，属于高度城市化地区，空间异质性低，未跨越城市中心–近郊–远郊的城乡梯度，整体城市环境差异不显著。因此，到城市中心的距离未被纳入到模型中，鸟类多样性也未呈现从中心向外围递减的趋势。同时，研究选取了不透水地表覆盖率来衡量城市化水平。通常来说，鸟类物种丰富度与城市化呈负相关[42]，与 500 m 半径内人工环境比例呈负相关[50]。然而，本研究中未发现这种关系，这可能是由于研究区高度城市化导致自然环境同质化，从而对鸟类多样性影响不显著。

本研究以北京居住区为研究对象，探究了人居环境中的生物多样性，分析了不同季节的鸟类群落特征。研究揭示出城市居住区是鸟类的重要活动空间，对维持城市鸟类多样性具有重要作用，尤其是留鸟和杂食性鸟种。乔木对鸟类多样性具有显著的积极作用，因此需加强居住区绿地的生境营建，为城市生物多样性保育提供“踏脚石”。由于居住区环境复

杂多样，未来可进一步探究居住区绿地空间格局、植被结构和人为干扰等因素对鸟类多样性的影响，揭示影响小区鸟类多样性的驱动因子，为城市界面内的鸟类生境营造和城市化进程中的生物多样性保护提供重要依据。

附录 1 数据详见 http://j.bjfu.edu.cn/article/doi/10.12171/j.1000-1522.20240062

参 考 文 献

[1] 张梦园, 冉呈程, 滕雨欣, 等. 北京温榆河生态廊道春季鸟类物种构成与多尺度环境因子的关系 [J]. 北京林业大学学报, 2022, 44(6): 115−127.
Zhang M Y, Ran C C, Teng Y X, et al. Correlation between bird species composition and multi-scale environmental factors in spring in Wenyu River Ecological Corridor of Beijing[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2022, 44(6): 115−127.

[2] Sandstrom U G, Angelstam P, Mikusinski G. Ecological diversity of birds in relation to the structure of urban green space[J]. Landscape and Urban Planning, 2006, 77: 39−53.

[3] 干靓, 吴志强, 郭光普. 高密度城区建成环境与城市生物多样性的关系研究: 以上海浦东新区世纪大道地区为例 [J]. 城市发展研究, 2018, 25(4): 97−106.
Gan J, Wu Z Q, Guo G P. The influence of built environment on urban biodiversity in high-density urban areas: case study in blocks along Century Avenue, Pudong New District, Shanghai[J]. Urban Development Studies, 2018, 25(4): 97−106.

[4] 王向荣. 城市荒野与城市生境 [J]. 风景园林, 2019, 26(1): 4−5.
Wang X R. Urban wilderness and urban habitat[J]. Landscape Architecture, 2019, 26(1): 4−5.

[5] Xu X, Xie Y, Qi K, et al. Detecting the response of bird communities and biodiversity to habitat loss and fragmentation due to urbanization[J]. Science of the Total Environment, 2018, 624: 1561−1576.

[6] Palmeirim A, Emer C, Benchimol M, et al. Emergent properties of species-habitat networks in an insular forest landscape[J]. Science Advances, 2022, 8: eabm0397.

[7] Xie S, Lu F, Cao L, et al. Multi-scale factors influencing the characteristics of avian communities in urban parks across Beijing during the breeding season[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 29350.

[8] Liu J, Bai H, Ma H, et al. Bird diversity in Chinese urban parks was more associated with natural factors than anthropogenic factors[J]. Urban Forestry Urban Greening, 2019, 43: 126358.

[9] Jiao M, Xue H, Yan J, et al. Tree abundance, diversity and their driving and indicative factors in Beijing's residential areas[J]. Ecological Indicators, 2021, 125: 107462.

[10] 王沫, 刘畅, 李晓璐, 等. 近自然社区公园的生物多样性特征研究: 以北京市中心城区为例 [J]. 生态学报, 2022, 42(20): 8254−8264.
Wang M, Liu C, Li X L, et al. Biodiversity characteristics in near-natural community parks: a case study in the central area of Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(20): 8254−8264.

[11] 张皖清, 董丽. 北京城市公园中鸟类对植物生境及种类的偏好研究 [J]. 中国园林, 2015, 31(8): 15−19.
Zhang W Q, Dong L. Study of bird preference to plant habitat and species in Beijing urban park[J]. Chinese Landscape Architecture, 2015, 31(8): 15−19.

[12] 郭铁英, 杨均炜, 曲媛媛, 等. 北京紫竹院公园鸟类群落多样性分析 [J]. 四川动物, 2010, 29(6): 975−980.
Guo T Y, Yang J W, Qu Y Y, et al. Investigations on diversity of birds at the Black Bamboo Park in Beijing[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2010, 29(6): 975−980.

[13] 范宗骥, 董大颖, 郑然, 等. 北京静福寺侧柏古树林鸟类群落多样性研究 [J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(5): 46−55.
Fan Z J, Dong D Y, Zheng R, et al. Avian community diversity in *Platycladus orientalis* ancient trees at the Jingfu Temple in Beijing[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2013, 35(5): 46−55.

[14] 陈志强, 付建平, 赵欣如, 等. 北京圆明园遗址公园鸟类组成 [J]. 动物学杂志, 2010, 45(4): 21−30.
Chen Z Q, Fu J P, Zhao X R, et al. The construction of birds in Yuanmingyuan Relic Park, Beijing[J]. Chinese Journal of Zoology, 2010, 45(4): 21−30.

[15] 隋金玲, 胡德夫, 李凯, 等. 北京市区不同绿化带内夏季鸟类的群落特征 [J]. 林业科学, 2006, 42(7): 66−72.
Sui J L, Hu D F, Li K, et al. Characteristics of bird communities at different green belts of Beijing urban area in summer[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(7): 66−72.

[16] 隋金玲, 张香, 胡德夫, 等. 北京绿化隔离地区鸟类群落与环境因子关系研究 [J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(5): 121−126.
Sui J L, Zhang X, Hu D F, et al. Relationship between bird communities and environment factors at green belts in the urban area of Beijing[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(5): 121−126.

[17] 赵欣如. 北京鸟类图鉴 [M]. 2 版. 北京: 北京师范大学出版社, 2014.
Zhao X R. Atlas of Beijing birds [M]. 2nd ed. Beijing: Beijing Normal University Publishing Group, 2014.

[18] Franco L S, Francisco V N, Francisco S N, et al. Impervious surface and heterogeneity are opposite drivers to maintain bird richness in a Cerrado City[J]. Landscape and Urban Planning, 2019, 192: 103643.

[19] 王勇, 许洁, 杨刚, 等. 城市公共绿地常见木本植物组成对鸟类群落的影响 [J]. 生物多样性, 2014, 22(2): 196−207.
Wang Y, Xu J, Yang G, et al. The composition of common woody plant species and their influence on bird communities in urban green areas[J]. Biodiversity Science, 2014, 22: 196−207.

[20] 张淑萍, 郑光美, 徐基良. 城市化对城市麻雀栖息地利用的影响: 以北京市为例 [J]. 生物多样性, 2006, 14(5): 372−381.
Zhang S P, Zheng G M, Xu J L. Habitat use of urban tree sparrows in the process of urbanization: Beijing as a case study[J]. Biodiversity Science, 2006, 14(5): 372−381.

[21] 刘娜娜, 寿丹艺, 达良俊. 上海公园绿地鸟类多样性的城市化梯度格局及类群划分 [J]. 生态学杂志, 2018, 37(12): 3676−3684.
Liu N N, Shou D Y, Da L J. Biodiversity pattern and species group classification of park birds along urbanization gradient in Shanghai[J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(12): 3676−3684.

[22] 徐诗, 王成, 韩丹, 等. 北京综合性社区鸟类群落构成及其季节变化: 以中国林业科学研究院社区为例 [J]. 中国城市林业, 2021, 19(1): 25−30.
Xu S, Wang C, Han D, et al. Bird community composition and its seasonal variation in comprehensive communities in Beijing: a case study of Chinese Academy of Forestry[J]. Journal of Chinese

Urban Forestry, 2021, 19(1): 25−30.

[23] 盛和林, 王岐山. 脊椎动物野外实习指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1991: 144−182.
Sheng H L, Wang Q S. Field practice guide for vertebrates[M]. Beijing: Higher Education Press, 1991: 144−182.

[24] Mortelliti A, Fagiani S, Battisti C, et al. Independent effects of habitat loss, habitat fragmentation and structural connectivity on forest-dependent birds[J]. Diversity and Distributions, 2010, 16: 941−951.

[25] 关翔宇. 北京 100 种常见鸟类名录 [J]. 森林与人类, 2016(2): 158−159.
Guan X Y. List of 100 common birds in Beijing[J]. Forest & Humankind, 2016(2): 158−159.

[26] Huang Y, Zhao Y, Li S, et al. The effects of habitat area, vegetation structure and insect richness on breeding bird populations in Beijing urban parks[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2015, 14: 1027−1039.

[27] Callaghan C T, Major R E, Lyons M B, et al. The effects of local and landscape habitat attributes on bird diversity in urban greenspaces[J]. Ecosphere, 2018, e02347.

[28] Tiwary N K, Urfi A J. Spatial variations of bird occupancy in Delhi: the significance of woodland habitat patches in urban centres[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2016, 20: 338−347.

[29] Kurucz K, Purger J, Batáry P. Urbanization shapes bird communities and nest survival, but not their food quantity[J]. Global Ecology and Conservation, 2021, 26: e01475.

[30] 贾丽丽, 陈卓琳, 关文彬. 城市公园鸟类群落多样性与复杂性初探: 以北京地坛公园为例 [J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(6): 989−995.
Jia L L, Chen Z L, Guan W B. The diversity and complexity of the bird community in city park: a case study of Ditan Park in Beijing[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2016, 43(6): 989−995.

[31] Tzortzakaki O, Kati V, Kassara C, et al. Seasonal patterns of urban bird diversity in a Mediterranean coastal city: the positive role of open green spaces[J]. Urban Ecosystems, 2018, 21: 27−39.

[32] Amaya-Espinel J D, Hostetler M, Henríquez C, et al. The influence of building density on neotropical bird communities found in small urban parks[J]. Landscape and Urban Planning, 2019, 190: 103578.

[33] Geschke A, James S, Bennett A F, et al. Compact cities or sprawling suburbs? Optimising the distribution of people in cities to maximise species diversity[J]. Journal of Applied Ecology, 2018, 55: 2320−2331.

[34] 殷鲁秦, 王成, 韩文静. 基于取食行为探究北京居民区鸟类的食源特征及多样性 [J]. 生物多样性, 2023, 31(5): 37−50.
Yin L Q, Wang C, Han W J. Food source characteristics and diversity of birds based on feeding behavior in residential areas of Beijing[J]. Biodiversity Science, 2023, 31(5): 37−50.

[35] Katerina S, Bonny K, Samuel J, et al. Diet of land birds along an elevational gradient in Papua New Guinea[J]. Scientific Reports, 2017, 7: 44018.

[36] Ferger S W, Schleuning M, Hemp A, et al. Food resources and vegetation structure mediate climatic effects on species richness of birds[J]. Global Ecology and Biogeography, 2014, 23: 541−549.

[37] 朱光, 王雪, 张文文, 等. 城市景观格局对鸟类群落的影响: 以南京溧水区为例 [J]. 生态与农村环境学报, 2022, 38(3): 327−333.
Zhu G, Wang X, Zhang W W, et al. Effects of urban landscape pattern on bird community: a case study of Lishui District, Nanjing[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2022, 38(3): 327−333.

[38] Zhu C, Li W, Gregory T, et al. Arboreal camera trapping: a reliable tool to monitor plant-frugivore interactions in the trees on large scales[J]. Remote Sensing in Ecology and Conservation, 2021, 8(1): 92−104.

[39] Ortega-Álvarez R, Ruiz-Gutiérrez V, Robinson O J, et al. Beyond incidence data: assessing bird habitat use in indigenous working landscapes through the analysis of behavioral variation among land uses[J]. Landscape and Urban Planning, 2021, 211: 104100.

[40] Zorzal R, Diniz P, Oliveira R, et al. Drivers of avian diversity in urban greenspaces in the Atlantic forest[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2021, 59: 126908.

[41] Leveau L, Leveau C. Street design in suburban areas and its impact on bird communities: considering different diversity facets over the year[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2020, 48: 126578.

[42] Keten A, Eroglu E, Kaya S, et al. Bird diversity along a riparian corridor in a moderate urban landscape[J]. Ecological Indicators, 2020, 118: 106751.

[43] Salgueiro P A, Mira A, Rabaça J, et al. Identifying critical thresholds to guide management practices in agro-ecosystems: insights from bird community response to an open grassland-to-forest gradient[J]. Ecological Indicators, 2018, 88: 205−213.

[44] Chin A, Ruppert J, Shrestha N, et al. Urban avian conservation planning using species functional traits and habitat suitability mapping[J]. Land, 2022, 11(10): 1831.

[45] Mirski P. Tree cover density attracts rare bird of prey specialist to nest in urban forest[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2020, 55: 126836.

[46] Yin L, Wang C, Han W, et al. Birds' flight initiation distance in residential areas of Beijing are lower than in pristine environments: implications for the conservation of urban bird diversity[J]. Sustainability, 2023, 15(6): 4994.

[47] Li X, Jia B, Zhang W, et al. Woody plant diversity spatial patterns and the effects of urbanization in Beijing, China[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2020, 56: 126873.

[48] Morelli F, Mikula P, Benedetti Y, et al. Cemeteries support avian diversity likewise urban parks in European cities: assessing taxonomic, evolutionary and functional diversity[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2018, 36: 90−99.

[49] Francis S, Fabio S. The impact of pruning and mortality on urban tree canopy volume[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2023, 79: 127810.

[50] Exantus J, Beaune D, Cézilly F. The relevance of urban agroforestry and urban remnant forest for avian diversity in a densely-populated developing country: the case of Port-au-Prince, Haiti[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2021, 63: 127217.

（责任编辑　范　娟
责任编委　臧润国）