文章编号:1000-1638(2025)04-0435-14 DOI:10.13484/j.nmgdxxbzk.20250411

季节性变化和蓝绿空间微生境镶嵌:探索城乡梯度上鸟类群落的时空分布模式*

王 雪,吴伟赜,刘玉虹,陈逸雪
(河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室,南京 210098)

摘要:土地利用变化等人类干扰活动已成为鸟类栖息地丧失的主要原因。然而,关于人为干扰与生物多样性丧失之间的潜在相互作用及其在指导生态友好型城市规划中的作用,目前的研究尚不充分。在此,通过调查江苏省泰州市姜堰区的鸟类资源和群落结构,分析了城乡用地的景观组成和配置,评估了生物多样性沿城乡分布的季节性时空分布及其影响因素,为区域性生物多样性保护和友好型城市规划提供科学依据。结果显示,湿地的鸟类物种丰富度、Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数最高,草地的鸟类物种丰富度和Shannon-Wiener多样性指数最低。不同季节的鸟类Shannon-Wiener多样性指数依次为夏季>春季>冬季>秋季。尽管繁殖期和非繁殖期鸟类多度无显著差异,但物种丰富度存在明显差异。栖息地特化鸟类和城市泛化鸟类多度、丰富度随城市化程度不同而显著不同,有适度人为干扰的郊区和远郊具有较高的鸟类物种丰富度。虽然特化鸟类群落与城市化程度没有负相关关系,但不同景观组成会影响本土鸟类的分布,鸟类栖息群落的变化依赖于不同土地利用的景观配置模式,这很大程度上取决于蓝绿空间的分布模式。在城市规划中预留自然斑块,重点关注以蓝绿自然斑块为主体的残余生境,建立生态廊道,联结蓝绿空间,可以在一定程度上缓解栖息地破碎化和资源枯竭对生物多样性的负面影响。通过农业生态系统和城市土地利用生态保护与修复可以有效改善城市地区的生物多样性。

关键词:鸟类多样性;景观配置;景观组成;土地利用类型;城市化水平
中图分类号:X171.4;TU986 **文献标志码:**A

城市生物多样性反映了城市环境、生物栖息地和人类活动之间的复杂关系。城市化通常会带来自然栖息地的丧失、人为干扰的增加以及生态过程的改变,进而导致城市生物多样性衰减,物种组成结构逐渐同质化[1]。作为城市生物多样性的重要组成部分,鸟类会受到局部尺度(如城市斑块)[2]、景观尺度(如多个斑块的综合作用)[3]以及季节动态[4]的综合影响。鸟类依赖多样化的栖息地资源来完成重要的生命过程,如巢址选择[5]、繁殖[6]和越冬[7],并对栖息地的变化高度敏感[8]。高度城市化和自然斑块的丧失显著增加了留鸟和候鸟的生存压力[9],影响其分布模式和群落组成[10],物种丰富度的降低更是加剧了城市与邻近农村地区鸟类群落结构的差异[11]。因此,研究城市鸟类群落结构时空分布差异的关键驱动因素,对于进一步实现生物多样性保护、协调城市化发展以及指导生态友好型城

* **收稿日期:**2024-12-29;**修回日期:**2025-02-26
基金项目:国家自然科学基金项目(31370474);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)
作者简介:王 雪(1997—),女,黑龙江齐齐哈尔人,2021级硕士研究生。E-mail:wangxue12@hhu.edu.cn
通信作者:陈逸雪(1994—),女,河南驻马店人,博士。主要从事生物多样性保护与栖息地可持续利用。E-mail:chen_yixue@hhu.edu.cn

市规划具有重要意义。

城市植物区系和动物区系的组成可能受到生物和非生物因素的共同影响,这些因素与当地现有物种库密切相关。一些研究表明,城市结构[12]、人口密度[4]、城市噪声[13]和夜间灯光污染[14]等人为干扰因素会显著影响鸟类物种的多度和多样性。然而,由于区域地理位置、城市规模、城市化水平以及研究所采用的空间尺度等因素的不同,研究结果可能存在显著差异[15]。这表明景观和群落结构受到尺度效应的影响,而不同生态组织层面可能涉及不同的驱动因素[16]。局部尺度的研究表明,城乡梯度、蓝绿空间(Blue-green spaces,BGS)和农田生态系统的景观配置是影响鸟类分布的重要因素[17]。然而,在更大范围的城乡区域景观尺度上,鸟类栖息地的选择及其与蓝绿空间复杂性之间的关系仍需进一步研究。沿城乡梯度的土地覆盖类型在景观配置上存在显著差异,其形状、大小、结构和质量也各不相同[18-19]。这些差异可能进一步影响鸟类群落的多样性。

城市中的蓝绿空间是绿地与水体元素的组合,对生物迁移和保护有重要作用[20]。除了残存的植被斑块外,城市住宅区中种植的个别树木也能显著增加鸟类的丰度和物种多样性[21]。此外,植被管理、绿化政策、森林覆盖率、斑块密度、斑块面积及与最近斑块的距离[2,22-23]都会影响鸟类生境结构和食物资源的季节性变化[24]。另一方面,城市湿地(如河流、湖泊和池塘)也是维持城市生物多样性的关键元素[25,17]。研究表明,水体的存在及其斑块的空间配置是森林鸟类和水生鸟类多样性的关键驱动因素[26]。然而,目前的研究主要集中于典型的城市蓝绿空间(如城市公园)或单一关注绿色空间。

由于基础设施和行政结构的集中管理提升了土地区域价值,平原地区的许多城市发展出现“同心圆”模式[27]。这种城市格局的特点是中心区域核心资源和城市活动高度集中,随着与核心区距离的增加,核心资源和城市活动逐渐递减。在城市规划领域,这一模式已被用于量化城乡梯度[28],并为群落生态学和生物多样性研究提供了新的视角。由于生物多样性调查往往需要较长的时间和较高的成本,在研究景观格局变化时,可以通过分析城市空间梯度的景观差异,适当采用空间代替时间的方法,更高效地揭示景观特征的动态变化。

江苏省泰州市姜堰区作为东亚地区候鸟南北迁徙的重要停歇地和越冬场所,具有较高的科研和保护价值[29]。然而,随着城市不断发展,当地鸟类群落结构的变化越来越值得关注。本研究基于土地利用类型,量化了城市化水平上的景观组成与配置指标,并评估了鸟类群落的季节性和栖息生境的时空分布差异,以期了解驱动鸟类群落多样性的生态格局因素。

1 研究地概况

泰州市姜堰区位于江苏省中部江淮平原,地处长江北翼,跨越长江三角洲和里下河平原,地理坐标为30°20′—32°43′N、120°09′—120°18′E,总面积为927.52 km^2。姜堰区属亚热带季风气候,受季风环流影响,四季分明,冬夏较长,春秋较短[17]。年平均气温为14.5 ℃,年平均降水量为991.7 mm,无霜期为215 d。姜堰区区内河流分属长江和淮河两大水系。姜堰区的溱湖国家湿地公园面积为806.9 hm^2,包括湖泊、河流、沼泽和人工湿地(http://tj.jiangsu.gov.cn/)。该湿地公园是野生动物,尤其是鸟类栖息、觅食和繁殖的重要庇护所。

2 研究方法

2.1 鸟类多样性调查

调查开始前,结合生态知识,采用完全随机设计进行了横断面预采样[30]。在实际调查中,根据栖息地类型、地形条件和调查的可行性,对横断面设计进行了适当调整[31]。最终,根据不同城乡水平缓冲区的土地面积,共布设了49条横断面,每条约1.5 km。调查时间选择在晴朗且鸟类活动频繁的时段,即日出后0至3小时和日落前3小时至日落期间,具体的调查时间根据不同季节的日出和日落时间进行相应调整。在有水体斑块的横断面,每次调查后由随行记录员对水鸟

进行计数。使用的观测和记录设备包括 Terra 双筒望远镜(TERRA,(10-30)×50)、Trueyard SP1200 测距仪、佳能数码单反相机(EOS 5D,镜头型号:EF100-400 mm f/4.5-5.6L IS USM)以及 Garmin eTrex 201x GPS 仪器。调查覆盖了 4 个季节,包括 2018 年 7 月底至 8 月初(夏季)、2018 年 10 月底至 11 月初(秋季)、2019 年 1 月(冬季)和 2019 年 4 月(冬春季)。其中,4、7 和 8 月为姜堰区大多数鸟类的繁殖期,11 月和 1 月则为越冬期。调查所选季节依据《生物多样性观测技术导则 鸟类》(HJ 710.4—2014)[32]和《陆生野生动物及其栖息地调查技术规程 第 4 部分:鸟类》(GB/T 37364.4—2024)[33]。

2.2　鸟类物种鉴定和分类

鸟类物种鉴定主要参考《中国鸟类图志》[34]和《中国鸟类野外手册》[35],分类系统依据《中国鸟类分类与分布名录》(第 4 版)[36],区系的确定参考《中国动物地理》[37]。物种保护等级主要依据《IUCN 受威胁物种红色名录》(https://www.iucnredlist.org)、《国家重点保护野生动物名录》[38]以及《中国生物多样性红色名录——脊椎动物卷(2020)》[39]。根据实地调查及物种鉴别结果,整理了姜堰区鸟类物种分布名录,并分析了该区域鸟类种类的多样性特征。依据鸟类的迁徙行为特征,将其分为留鸟和候鸟(包括夏候鸟和冬候鸟)[36]。基于主要栖息地利用特征,鸟类被划分为以下几类:1)湿地特化种(仅依赖自然、人工水体);2)森林特化种;3)湿地-水田兼用型(同时利用水体和农作湿地);4)泛化种(利用≥3 种生境类型,含人工建筑物)。该分类考虑了该地区水田的季节性水文特征(冬季通常处于休耕状态)。

2.3　土地利用分类和城乡水平构建

基于 Google earth engine,使用 Landsat 8(OLI)卫星图像对 2019 年的土地利用类型进行分类,图像的预处理在 ENVI 5.3 中完成。通过 eCognition 的面向对象分类方法,将高分辨率的 Google 底图与野外采集的 GPS 数据相结合,制作植被类型的样本数据。在此过程中,采用 ESTARFM(增强的空间和时间自适应反射率融合模型)、HANTS(时间序列谐波分析)以及神经网络等多种技术进行分类。根据研究需求,将土地利用类型分为耕地(包括水田和旱地)、林地(包括森林和灌丛)、草地、水体(包括河流、水库和水渠)及建设用地(包括居住地、交通用地和工业用地)。其中,林地、草地和耕地均归为绿色空间,水体归为蓝色空间。

为解析研究区景观格局与鸟类空间分布特征,以市中心为起点,基于 GIS 平台构建了同心圆缓冲区(图 1)[40-41]。考虑到调查横断面的合理布设及沿城乡梯度的土地利用类型差异[28],缓冲区被划分为 5 个部分:城市核心区(距离城市中心 0～5 km)、郊区(距离城市中心 5～10 km)、农村(距离城市中心 10～15 km)、远郊(距离城市中心 15～20 km)和边缘地区(距离城市中心＞20 km),完全覆盖整个姜堰区。每个缓冲区之间的径向距离为 5 km(图 1)。利用 Fragstats 4.2 计算每种土地利用类型水平上的景观格局指数,以分析沿城乡梯度鸟类空间分布格局及其与栖息地景观特征变化的关系。

2.4　数据分析

2.4.1　景观尺度上鸟类群落季节性和栖息生境分布差异

景观尺度上采用物种丰富度、多度、Shannon-Wiener 多样性指数 H'[42]以及 Pielou 均匀度指数 E[43]进行分析。Shannon-Wiener 多样性指数计算公式为

$$H'=-\sum_{i=1}^{S}P_i\ln P_i,$$

式中:S 为物种数,P_i 为第 i 物种个体数与全部物种个体数的比值。

Pielou 均匀度指数计算公式为

$$E=H'/\ln S,$$

式中:S 为物种数。

利用 Jaccard 相似性系数 S[44]分析 β 多样性特征,其计算公式为

$$S=c/(a+b-c),$$

式中:c为两种生境中共同出现的鸟类物种数,a与b分别为两种生境中各自出现的鸟类物种数。S值的相似性等级划分如下:$0 \leqslant S < 0.25$表示极不相似,$0.25 \leqslant S < 0.50$表示中等不相似,$0.50 \leqslant S < 0.75$表示中等相似,$0.75 \leqslant S \leqslant 1.00$表示极相似。

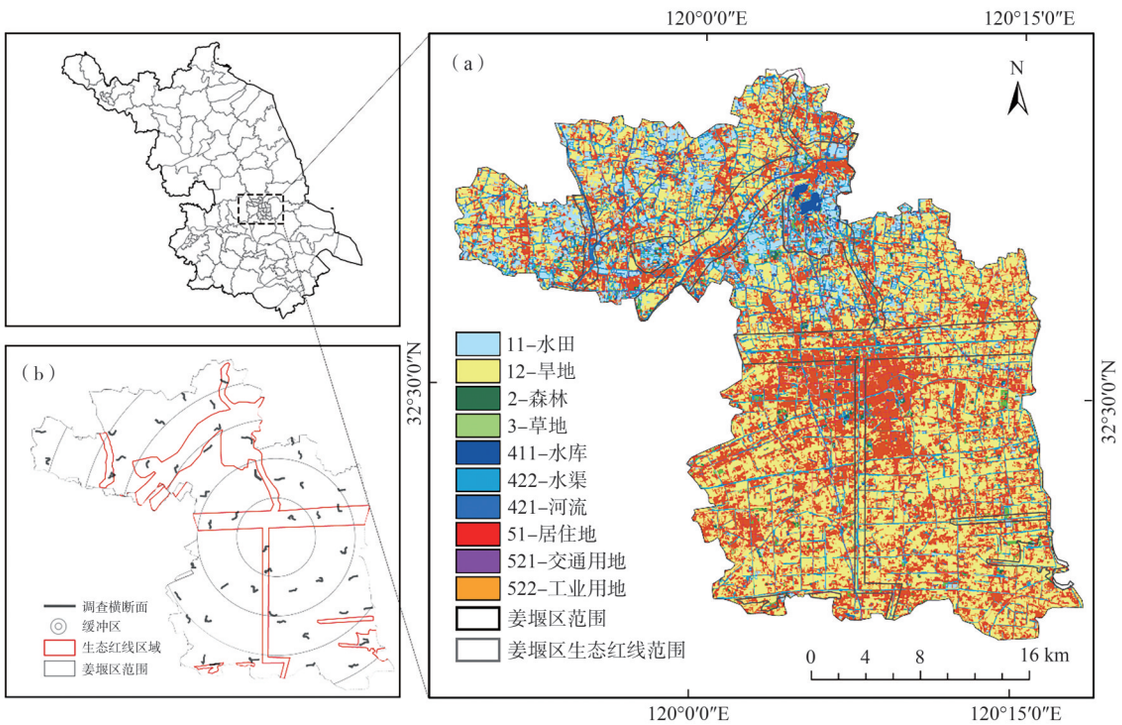


图1 土地利用(a)、梯度分区和鸟类调查横断面分布(b)

Fig. 1 Land use (a), gradient zoning and bird transects distribution (b)

2.4.2 土地利用尺度上鸟类群落多样性驱动因素

土地利用尺度上采用单因素方差分析(ANOVA)检验鸟类多度和丰富度在城乡水平上的分布模式。由于数据呈现非正态分布且方差不齐,采用了非参数Kruskal-Wallis H检验。Pearson相关性分析用于探讨姜堰区不同居留类型鸟类群落的景观构成驱动因素。为调整数据分布并提高正态性,采用对数转换方法。最后,使用CANOCO(第5版)进行去趋势对应分析(Detrended correspondence analysis,DCA)以估计群落变化。由于研究结果中第一轴的梯度长度小于3[45,17],故采用冗余分析(Redundancy analysis,RDA)探索影响各栖息地类型鸟类群落分布的关键景观组成和景观配置指标。

3 结果

3.1 城乡梯度上土地利用类型景观组成差异

水体、旱地和建设用地是姜堰区主要的土地利用类型(图2),其余土地类型占比较小。随着距城市中心的距离增加,不同土地利用类型的梯度特征表现明显。建设用地的占比逐渐减少,而水体和水田面积显著增加,旱地在远郊等中度干扰水平地区的占比最高。

3.2 景观尺度鸟类群落结构

调查共记录鸟类65种,隶属13目31科46属。其中,留鸟29种(44.62%),冬候鸟19种(29.23%),夏候鸟10种(15.38%),旅鸟7种(10.77%)。列入《国家重点保护野生动物名录》的二级重点保护鸟类有3种:红隼(*Falco tinnunculus*)、灰背隼(*Falco columbarius*)和长耳鸮(*Asio otus*)。IUCN名录中属易危等级(VU)的鸟类(2023年评估)有1种:凤头麦鸡(*Vanellus vanellus*)。在鸟类区系方面,广布种有28种(43.08%),古北种有25种(38.46%),东洋种有12种(18.46%)。

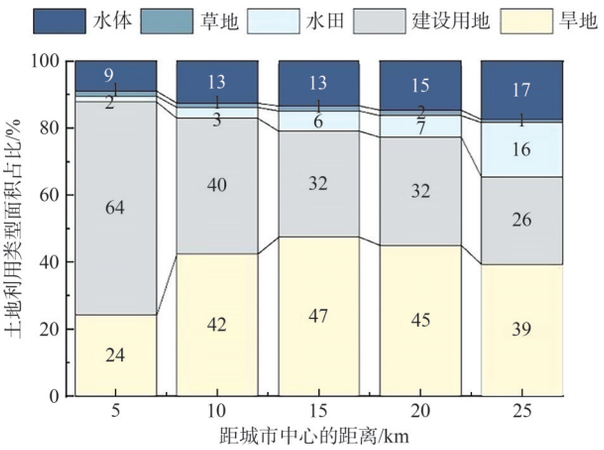
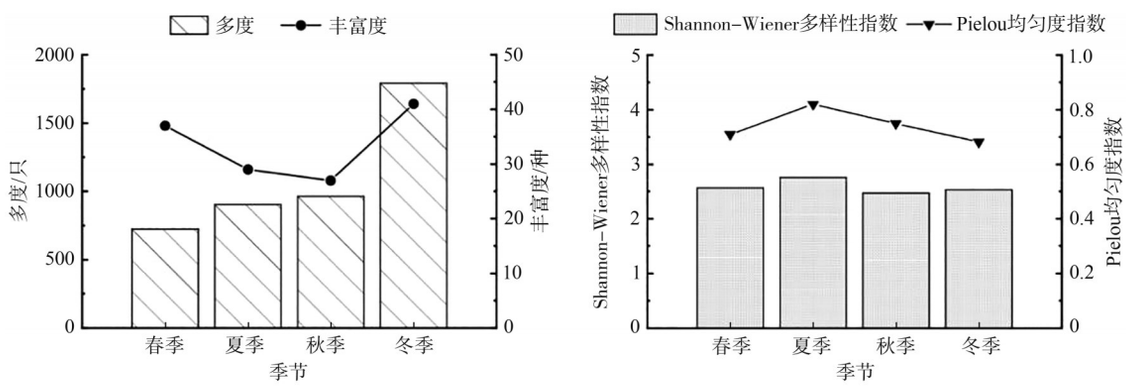


图 2　不同土地利用类型沿城乡梯度占比

Fig. 2　Proportions of different land use types along the urban-rural gradient

3.2.1　鸟类多样性指数季节差异和生境类型差异及相似性

由图 3(a)可知,冬季鸟类物种最丰富,共计 41 种,秋季鸟类物种最少,共计 27 种。鸟类多度在冬季达到高峰,共计 1792 只,而春季鸟类多度最低,仅为 724 只。Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数从春季到夏季逐渐升高,夏季达到最高,秋、冬季再次下降。



(a) 不同季节鸟类多度和物种丰富度　　(b) 不同季节鸟类多样性指数和均匀度指数

图 3　鸟类多度、丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数的季节变化

Fig. 3　Seasonal variation in bird abundance, species richness, Shannon-Wiener diversity and Pielou evenness index

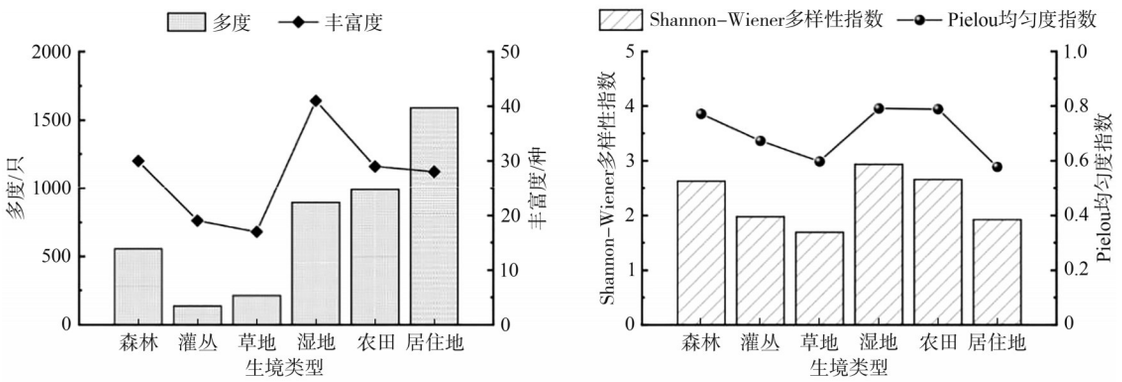
由图 4 可知,从鸟类多度来看,各生境的排序为:居住地>农田>湿地>森林>草地>灌丛。就物种丰富度而言,排序为:湿地>森林>农田>居住地>灌丛>草地。Shannon-Wiener 多样性指数的排序为:湿地>农田>灌丛>居住地>草地;而 Pielou 均匀度指数的排序为:湿地>农田>森林>灌丛>草地>居住地。其中,农田即耕地,湿地即水体。

根据不同生境的鸟类分布相似性系数及相同物种数可知(表 1),鸟类物种在森林生境与农田及森林生境与居住地之间显示中等相似(0.50≤S<0.75)。相似度为 0.5 的生境包括灌丛与农田、居住地与农田。森林与灌丛、草地、湿地的相似性系数,灌丛与草地、湿地、居住地的相似性系数,以及草地与湿地、农田、居住地的相似性系数,湿地与农田和居住地的相似性系数都在 0.25≤S<0.50 之间,属于中等不相似。

3.2.2　沿城乡梯度上的繁殖期和越冬期鸟类分布差异

繁殖期和越冬期鸟类丰富度在城乡梯度上存在显著差异(繁殖期:r=36.1241,P<0.0001;越冬期:r=23.2691,P<0.01)(图 5);而沿城乡梯度鸟类多度未发现明显差异(繁殖期:r=1.677,P>

0.05;越冬期:r=2.3059,P>0.05)。在繁殖期,距离城市中心15~20 km的郊区、远郊和农村地区物种丰富度最高,而城市核心区的物种丰富度最低。在越冬期,距离城市核心越远,鸟类物种丰富度越高,尤其在15~20 km的远郊和农村地区的丰富度较高且稳定。



(a)各生境鸟类多度和物种丰富度 (b)各生境鸟类多样性指数和均匀度指数

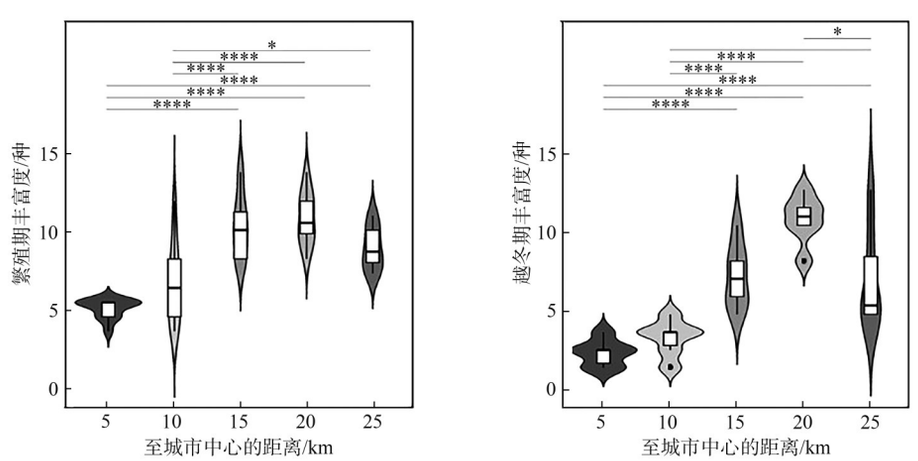
图4 各生境中鸟类多度、物种丰富度、Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数

Fig. 4 Bird abundance, species richness, Shannon-Wiener diversity index and Pielou evenness index in each habitat

表1 不同生境间相同鸟类物种数及相似性系数

Table 1 Number of the identical bird species between different habitats and similarity coefficients

生境	森林	灌丛	草地	湿地	农田	居住地
森林		15	14	18	21	20
灌丛	0.44		10	13	16	13
草地	0.42	0.38		13	14	14
湿地	0.34	0.28	0.29		23	18
农田	0.55	0.50	0.44	0.49		19
居住地	0.53	0.38	0.45	0.35	0.50	



(a)繁殖期 (b)越冬期

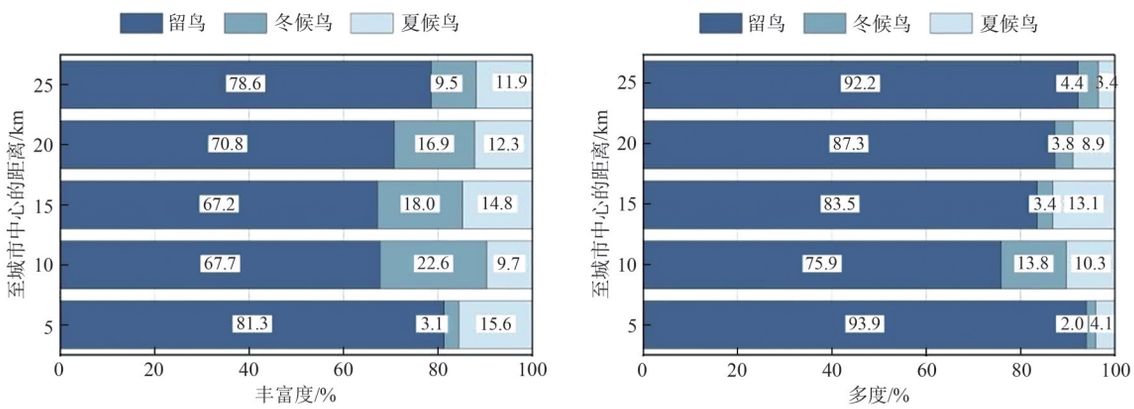
****表示P<0.0001,***表示0.0001<P<0.001,**表示0.001<P<0.01,*表示0.01<P<0.05,P>0.05。

图5 不同季节鸟类物种数沿城乡距离分布情况

Fig. 5 Distribution of seasonal bird species numbers along urban-rural distances

3.2.3　不同栖息地鸟类沿城乡距离分布差异

整体来看,鸟类丰富度和多度的最低值出现在城市核心区(图 6)。留鸟占总记录鸟类数量的 83.5%,在郊区、远郊和农村(15~20 km)出现的概率最高。候鸟的总物种数占姜堰区全部鸟类的 43%(冬季候鸟占 17%,夏季候鸟占 26%)。冬候鸟在郊区的多度和物种丰富度占比最高,城市核心区(0~5 km)仅发现一种冬候鸟。在农村的夏候鸟多度最高,其物种丰富度则在城市和农村地区占比最高。



(a) 物种丰富度　　(b) 多度

图 6　鸟类留居型群落多度和丰富度沿城乡梯度分布情况

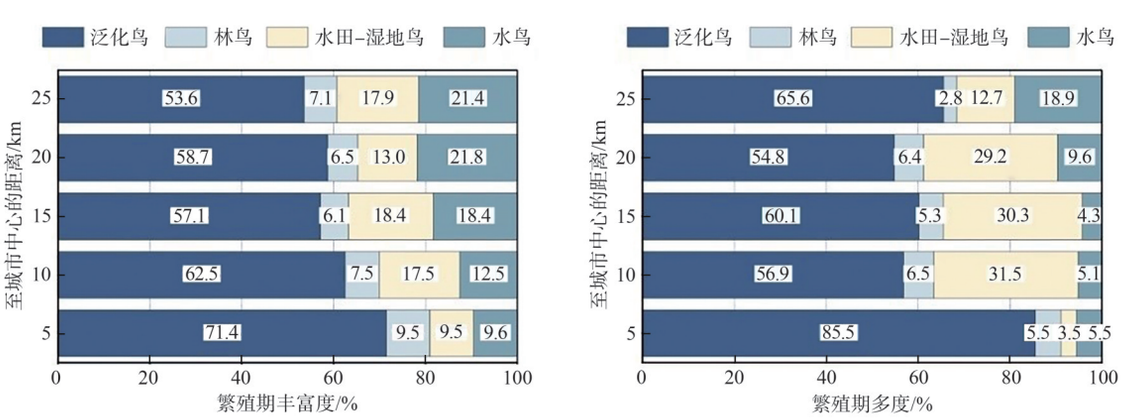
Fig. 6　Bird migratory status community abundance and species richness proportion along the urban-rural gradient

无论是在繁殖期还是越冬期,鸟类的栖息群落主要以泛化鸟类为主,其次是栖息于水田和湿地的水鸟,林鸟占比最小(图 7)。水鸟的多度和物种丰富度在繁殖期呈现出距离城市中心越远占比越高的趋势,而在越冬期中,郊区(5~10 km)的水鸟多度占比达到峰值,在城市核心区外,水鸟的物种丰富度波动较小。林鸟在整个研究区占比很小,主要集中于距离城市中心 0~20 km 的地区。

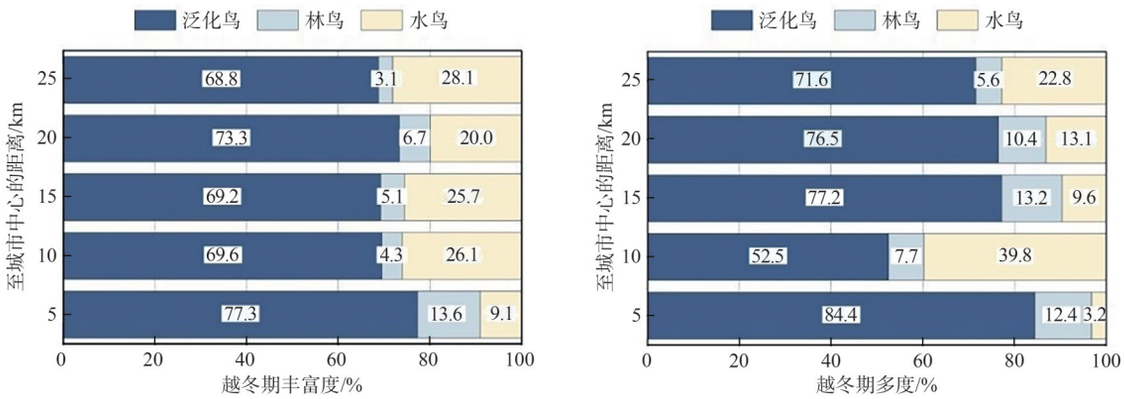
3.3　土地利用尺度上沿城乡梯度的鸟类群落结构

3.3.1　鸟类群落多样性与栖息地景观组成之间的相关性

不同土地利用类型景观组成与各居留型鸟类群落关系见图 8。从绿色空间来看,旱地对留鸟丰富度和多度均有显著正向影响,冬候鸟的物种丰富度和多度与灌丛呈显著正相关。尽管统计上不显著,但灌丛和草地组成的绿色空间仍显示出对鸟类多度或丰富度的正向关联。水体这一蓝色空间则对留鸟和夏候鸟的丰富度表现出正相关。然而,留鸟和候鸟群落的丰富度及多度均与城市化干扰(即不透水面景观组成)呈负相关。



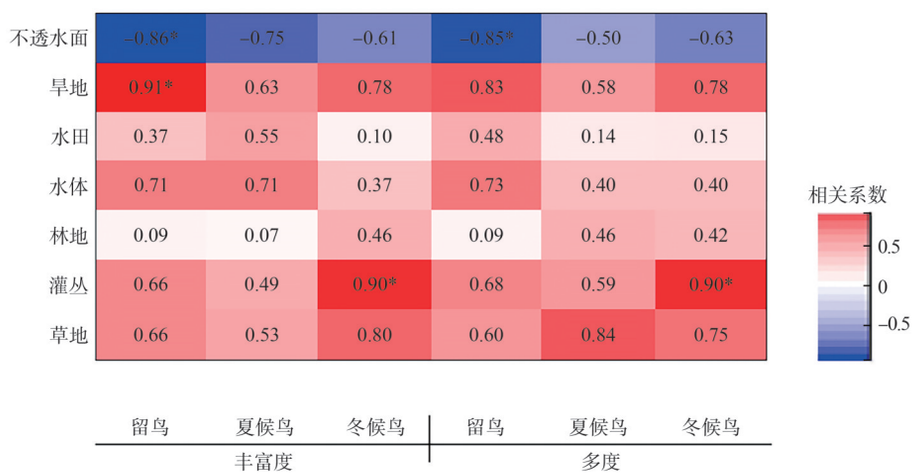
(a) 物种丰富度　　(b) 多度



(c) 物种丰富度 (d) 多度

图 7 鸟类栖息群落物种丰富度和多度沿城乡梯度分布占比

Fig. 7 Bird habitat species richness and community abundance proportion along the urban-rural gradient



*相关性达到统计学显著($P<0.05$)。

图 8 不同土地利用类型景观组成与各居留型鸟类群落关系

Fig. 8 Correlation between landscape composition of different land-use types and each bird migratory status community

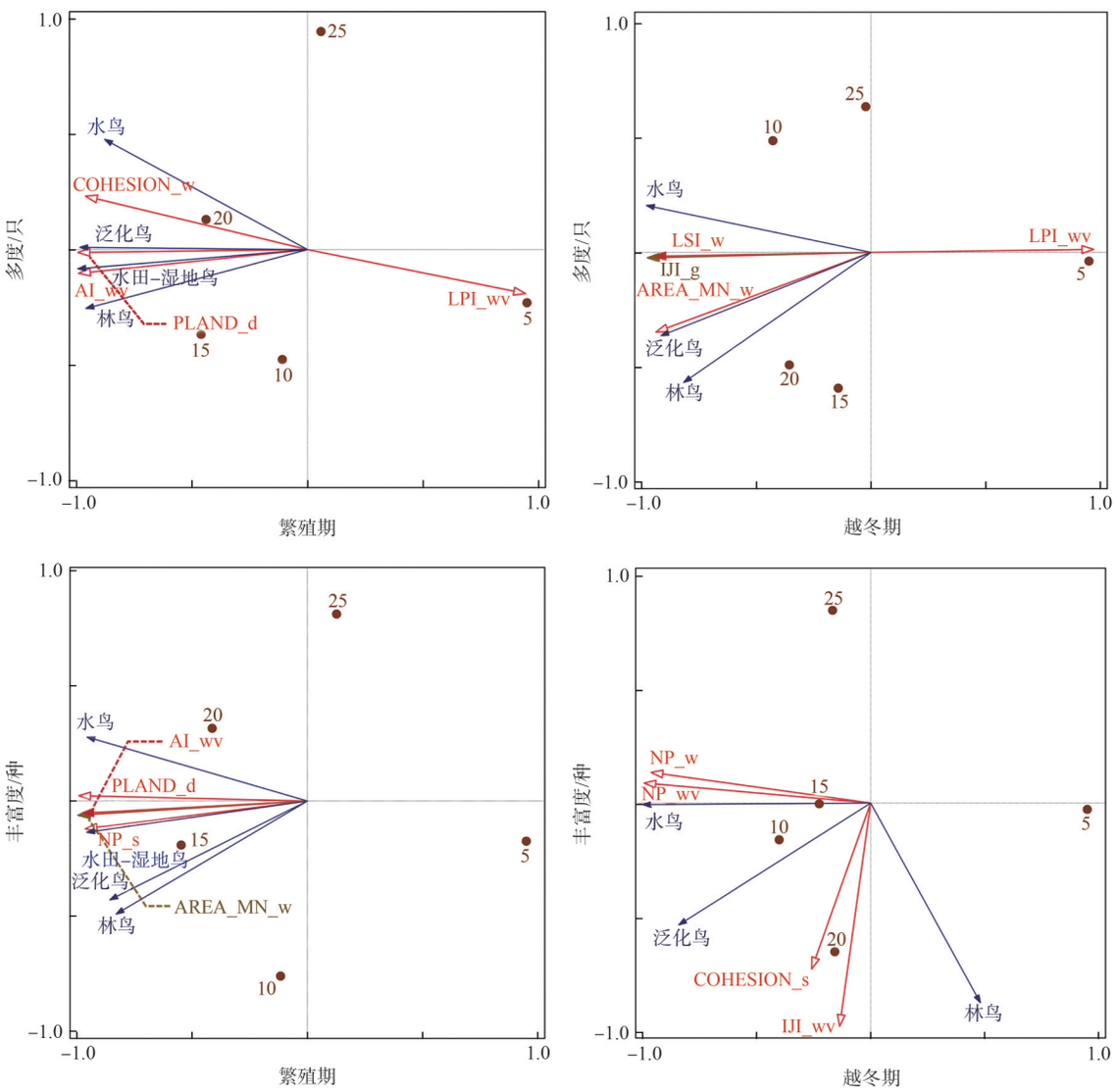
3.3.2 鸟类栖息群落与栖息地景观配置之间的相关性

城乡梯度上土地利用与鸟类栖息群落间的冗余分析结果见图 9。由图 9 可知,郊区、远郊和农村地区是鸟类栖息和生存的首选地。其中,旱地的景观组成(PLAND_d)在繁殖期对所有栖息地群落的鸟类多度和丰富度均起到积极作用。不论是繁殖期还是越冬期,鸟类多度都受到最大绿色空间植被斑块(LPI_wv)的负面影响,而连通性较好的绿色空间植被斑块的聚集度(AI_wv)有利于繁殖期鸟类的栖息,尤其是灌木丛斑块数量(NP_s),是提升远郊地区鸟类物种丰富性的关键指标。此外,繁殖期鸟类的聚集受到蓝色空间中水体连通性(COHESION_w)的正面影响,水体的平均斑块面积(AREA_MN_w)也是影响鸟类物种丰富性的一个重要因素。在越冬期,草地的连接性指数(IJI_g)、湿地的形状指数(LSI_w)和平均斑块面积是吸引大量鸟类栖息的良好指标。另外,湿地的斑块数量(NP_w)、灌木的内聚力指数(COHESION_s)、植被的斑块数量(NP_wv)和连通性分布(IJI_wv)对鸟类栖息群落的物种丰富性均有积极作用。

4 讨论

当前的城市规划需高度重视生物多样性的需求,合理设计生态敏感的城市景观。尽管不透水面的扩张可能是导致鸟类生物多样性丧失的重要因素,但连通性更好的蓝绿空间在一定程度上可以缓

解城市化带来的负面影响。不同土地利用类型的异质性、景观配置、季节性变化和宏观景观背景共同影响了城市化地区的鸟类群落结构。这些景观特征描述了支持城市生物多样性所需的条件[46-47],并为环境决策提供了重要参考。



wv:植被/绿色空间;d:旱地;g:草地;s:灌木地;w:水体/蓝色空间;PLAND:斑块所占景观面积比例;NP:斑块数量;LPI:最大斑块指数;AREA_MN:平均斑块面积;COHESION:斑块内聚力指数;AI:聚集指数;IJI:散布与并列指数;LSI:景观形状指数;实心圆数字:至城市中心的距离,共5个梯度水平。

图9　城乡梯度上土地利用与鸟类栖息群落间的冗余分析

Fig. 9　Redundancy analysis between land-use and bird habitat-type communities on an urban-rural gradient

4.1　景观尺度鸟类群落影响因素

姜堰区位于东亚—澳大利西亚航道(EAAF)沿线,是重要的冬候鸟迁徙聚集地[48]。该地区冬季的物种丰富度和多度最高,但因为种群间的资源竞争,也存在鸟类多样性和均匀度较低的问题。随着春夏季节的到来,气温升高、降雨增多以及植被和食物资源日益丰富,许多鸟类在此筑巢并繁殖[17]。物种多样性和均匀度随共存物种增多而提升,并在夏季达到最高水平。

分析显示,尽管不透水面积的增加可能导致某些稀有物种消失,但人类活动所带来的食物资源吸引了泛化栖息鸟类、广义食性鸟类和部分森林鸟类,使得居住地生境中的鸟类多度增加。湿地作

为蓝色空间,提供丰富的水源、食物和繁殖地,尤其吸引水禽,有助于提升物种丰富性[26]。此外,蓝绿空间中的湿地、农田和森林生境提供了多样的微生境和生态位[49]。这种多样的结构可以提供更多资源分区和生态位分化机会,从而增加物种多样性和均匀度。

与 Blair 等[50]关于城乡梯度的研究相似,江苏省泰州市姜堰区的鸟类多样性依赖于适度人为干扰下的城市化生境,这主要归功于适度城市化水平下蓝绿空间中的微生境镶嵌[51]。此外,城市居住区和农田在景观结构和食物资源上的相似可能导致鸟类物种趋向同质化[52]。在城乡梯度上,专化鸟的多度和物种丰富度波动显著,这主要是由于城市核心区和边缘区自然湿地生境及原生林覆盖率的减少,而非城市化本身的独立影响[53-54]。不同生境鸟类的均匀度指数波动较小,主要得益于麻雀(*Passer montanus*)、喜鹊(*Pica pica*)、岩鸽(*Columba rupestris*)等城市耐受型物种的绝对优势。它们的生态位分布广泛,对特定生境的要求不明显,能更好地适应城市化和农田集约化的影响[55]。

4.2 土地利用尺度沿城乡梯度的鸟类群落影响因素

城市鸟类群落的多样性更依赖于蓝绿空间(水体和植被)的覆盖和景观配置[56]。此外,农田生态系统在繁殖季节作为区域内鸟类主要栖息地,产生了显著的种群溢出效应[17]。几乎所有栖息群落的鸟类在繁殖期对蓝绿空间的连通性表现出积极反应。在越冬期,蓝色空间的连通性、异质性水平以及绿色空间中草地的分布成为推动鸟类数量的重要指标。大部分小型蓝绿空间的存在有助于水鸟和泛化鸟类物种的增加,而合理规划的绿色空间和灌丛的连通性则提升了泛化鸟类和林鸟的数量。在半自然水平的郊区,蓝绿空间中密集的本地植被和湿地表现出更高的景观异质性和结构多样性,为鸟类提供了良好的筑巢和栖息环境。

绿色空间对所有鸟类栖息地群落具有显著影响,复杂结构的植被生态系统能为鸟类提供丰富的生态位空间[57]。树木的位置和布局在支持城市鸟类组合方面也至关重要[46,19]。然而,在城市边缘地区,同质性较高的绿地斑块可能不利于鸟类的聚集。相比之下,郊区、远郊和农村地区包含了多种栖息地类型,并拥有足够规模的连续绿地景观,更适合鸟类的繁殖。这些景观的连通性和异质性是提升鸟类群落多样性和增加森林鸟类的重要因素[54,58]。姜堰区的绿色空间主要分布在公园和城市次生林中,尽管频繁的人类干扰导致景观异质性提升,这些零散的小森林斑块仍对保护城市鸟类的丰富性至关重要[59]。

4.3 保护与规划建议

总的来说,城市规划和建设中应重视绿化和自然景观的保留,并合理规划城市布局和结构。一个重要的策略是增加蓝绿空间的覆盖率和连通性(如林荫道和湿地公园的建设),以连通城市外围的自然栖息地,维护中小型城市的生物多样性[60]。这种生态廊道网络能降低不透水面的负面影响,为城市鸟类的栖息和迁徙提供可靠保障。

5 结论

城市化引起的生境丧失和破碎化增加了中小型城市的生态压力,导致生物多样性迅速下降,这一影响可能会随着城市化的发展持续存在。城市空间特征可通过特定时期的城市形态进行反映,土地利用的变化也会改变景观的组成和配置特征。城市蓝色和绿色空间作为自然生境的重要组成部分,对维持较高的生物多样性贡献良多[61]。分布在城市中的高异质性耕地斑块、高覆盖和连通良好的湿地与乔木植被斑块是重要的鸟类栖息场所[56,62],即使在城市化水平较高的地区,一些耐受性较高的食谷和食腐鸟类也能从这些蓝绿斑块中受益。这些蓝绿空间的植被异质性通常由外来或人工种植物种主导,为鸟类的筑巢和繁殖提供庇护。从保护生物学的角度来看,城市规划者应在不同空间尺度上保留原生绿地,保持植被类型的多样性,建立小型人工湿地,连通蓝绿空间,维护和改善城市生物多样性。此外,制定有效政策和措施对城市环境的可持续发展和生物多样性保护也具有重要意义。

参考文献:

[1] 毛齐正,马克明,邬建国,等. 城市生物多样性分布格局研究进展[J]. 生态学报,2013,33(4):1051-1064.

[2] SOIFER L G,DONOVAN S K,BRENTJENS E T,et al. Piecing together cities to support bird diversity:Development and forest edge density affect bird richness in urban environments[J]. Landscape and Urban Planning,2021,213:104122.

[3] DE ZWAAN D R,ALAVI N,MITCHELL G W,et al. Balancing conservation priorities for grassland and forest specialist bird communities in agriculturally dominated landscapes[J]. Biological Conservation,2022,265:109402.

[4] LEVEAU L M,LEVEAU C M. Does urbanization affect the seasonal dynamics of bird communities in urban parks?[J]. Urban Ecosystems,2016,19(2):631-647.

[5] TARJUELO R,BENÍTEZ-LÓPEZ A,CASAS F,et al. Living in seasonally dynamic farmland:The role of natural and semi-natural habitats in the movements and habitat selection of a declining bird[J]. Biological Conservation,2020,251:108794.

[6] BELLOCQ M I,LEVEAU L M,FILLOY J. Urbanization and bird communities:Spatial and temporal patterns emerging from southern south America[J]. Ecology and Conservation of Birds in Urban Environments,2017,36(5) 35-54.

[7] BURNSIDE R J,SALLISS D,COLLAR N J,et al. Birds use individually consistent temperature cues to time their migration departure[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2021,118(28):e2026378118.

[8] COLDING J. "Ecological land-use complementation" for building resilience in urban ecosystems[J]. Landscape and Urban Planning,2007,81(1/2):46-55.

[9] SAVARD J P L,CLERGEAU P,MENNECHEZ G. Biodiversity concepts and urban ecosystems[J]. Landscape and Urban Planning,2000,48(3):131-142.

[10] RAPPORT D J,REGIER H A,HUTCHINSON T C. Ecosystem behavior under stress[J]. The American Naturalist,1985,125(5):617-640.

[11] CHACE J F,WALSH J J. Urban effects on native avifauna:A review[J]. Landscape and Urban Planning,2006,74(1):46-69.

[12] JAMES BARTH B,IAN FITZGIBBON S,STUART WILSON R. New urban developments that retain more remnant trees have greater bird diversity[J]. Landscape and Urban Planning,2015,136:122-129.

[13] SUMMERS P,CUNNINGTON G,FAHRIG L. Are the negative effects of roads on breeding birds caused by traffic noise?[J]. Journal of Applied Ecology,2011,48:1527-1534.

[14] 郝庆丽,任卓菲,刘刚,等. 光和噪声污染胁迫下城市生态斑块鸟类风险评价[J]. 生态学报,2022,42(6):2186-2201.

[15] THOMPSON P S,GREENWOOD J J D,GREENAWAY K. Birds in European gardens in the winter and spring of 1988-89[J]. Bird Study,1993,40(2):120-134.

[16] BŪHNING-GAESE K. Determinants of avian species richness at different spatial scales[J]. Journal of Biogeography,1997,24(1):49-60.

[17] CHEN Y X,RASOOL M A,HUSSAIN S,et al. Bird community structure is driven by urbanization level,blue-green infrastructure configuration and precision farming in Taizhou,China[J]. Science of the Total Environment,2023,859:160096.

[18] DAVIS R,GOLE C,ROBERTS D. Impacts of urbanisation on the native avifauna of Perth,western Australia[J]. Urban Ecosystems,2013,16:427-452.

[19] THRELFALL C G,WILLIAMS N S G,HAHS A K,et al. Approaches to urban vegetation management and the

impacts on urban bird and bat assemblages[J]. Landscape and Urban Planning,2016,153:28-39.

[20] 周燕,刘梦瑶,禹佳宁,等. 基于生境网络构建优化的生物多样性保护规划途径研究[J]. 中国园林,2024,40(5):111-117.

[21] 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.

[22] SHOCHAT E,WARREN P S,FAETH S H,et al. From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology[J]. Trends in Ecology & Evolution,2006,21(4):186-191.

[23] BUYANTUYEV A,WU J G. Urbanization diversifies land surface phenology in arid environments:Interactions among vegetation,climatic variation,and land use pattern in the Phoenix metropolitan region,USA[J]. Landscape and Urban Planning,2012,105(1/2):149-159.

[24] CAULA S,MARTY P,MARTIN J L. Seasonal variation in species composition of an urban bird community in Mediterranean France[J]. Landscape and Urban Planning,2008,87(1):1-9.

[25] XIE S L,WANG X K,REN Y F,et al. Factors responsible for forest and water bird distributions in rivers and lakes along an urban gradient in Beijing[J]. Science of the Total Environment,2020,735:139308.

[26] XIE S L,MARZLUFF J M,SU Y B,et al. The role of urban waterbodies in maintaining bird species diversity within built area of Beijing[J]. Science of the Total Environment,2022,806:150430.

[27] 冯长春,杨志威. 欧美城市土地利用理论研究述评[J]. 国外城市规划,1998(1):2-9.

[28] HOU L,WU F Q,XIE X L. The spatial characteristics and relationships between landscape pattern and ecosystem service value along an urban-rural gradient in Xi′an city,China[J]. Ecological Indicators,2020,108:105720.

[29] 费宜玲. 江苏省鸟类物种多样性及地理分布格局研究[D]. 南京:南京林业大学,2011.

[30] 张伟. 京杭运河苏北段防堵保畅工作研究[D]. 大连:大连海事大学,2011.

[31] BRAGA P F,MORCATTY T Q,EL B H R,et al. Congruence of local ecological knowledge (LEK)-based methods and line-transect surveys in estimating wildlife abundance in tropical forests[J]. Methods in Ecology and Evolution,2022,13(3):743-756.

[32] 生态环境部. 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,2014:10-20.

[33] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 陆生野生动物及其栖息地调查技术规程 第4部分:鸟类:GB/T 37364.4—2024[S]. 北京:中国标准出版社,2024:1-28.

[34] 段文科,张正旺. 中国鸟类图志(下卷)[M]. 北京:中国林业出版社,2017.

[35] MACKINNON J. 中国鸟类野外手册[M]. 李一凡,译. 北京:商务印书馆,2022.

[36] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录[M]. 4版. 北京:科学出版社,2005.

[37] 张荣祖. 中国动物地理[M]. 北京:科学出版社,2011.

[38] 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)[2024-12-20]. http://www.forestry.gov.cn/main/5461/20210205/122418860.html.

[39] 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)[M]. 北京:科学出版社,2020.

[40] SUN X,LIU H X,LIAO C,et al. Understanding recreational ecosystem service supply-demand mismatch and social groups′ preferences:Implications for urban-rural planning[J]. Landscape and Urban Planning,2024,241:104903.

[41] LU Y P,YUE W Z,HE T T,et al. Urban form centrality and thermal environment:An empirical study of Chinese megacities[J]. Sustainable Cities and Society,2022,83:103955.

[42] PEET R. The measurement of species diversity[J]. Annual Review of Ecology and Systematics,2003,5:285-307.

[43] PIELOU E C. An introduction to mathematical ecology[J]. Bioscience,2011,24(2):7-12.

[44] JACCARD P. Etude de la distribution florale dans une portion des Alpes et du Jura[J]. Bulletin de la Societe Vaudoise des Sciences Naturelles,1901,37(142):547-579.

[45] 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]. Science of the Total Environment,2018,624:1561-1576.

[46] GRAFIUS D R,CORSTANJE R,WARREN P H,et al. Using GIS-linked bayesian belief networks as a tool for modelling urban biodiversity[J]. Landscape and Urban Planning,2019,189:382-395.

[47] BENINDE J,VEITH M,HOCHKIRCH A. Biodiversity in cities needs space:A meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation[J]. Ecology Letters,2015,18(6):581-592.

[48] MØLLER A P. The effect of dairy farming on barn swallow *Hirundo rustica* abundance,distribution and reproduction[J]. Journal of Applied Ecology,2001,38(2):378-389.

[49] ROSIN Z M,PÄRT T,LOW M,et al. Village modernization may contribute more to farmland bird declines than agricultural intensification[J]. Conservation Letters,2021,14(6):e12843.

[50] BLAIR R. Land use and avian species diversity along an urban gradient[J]. Ecological Applications,1996,6(2):506-519.

[51] CROOKS K,SUAREZ A,BOLGER D. Avian assemblages along a gradient of urbanization in a highly fragmented landscape[J]. Biological Conservation,2004,115:451-462.

[52] 杨灿朝,蔡燕,梁伟,等. 海南北黎湾和后水湾湿地水鸟的季节动态、物种丰富度和种间相关性[J]. 生物多样性,2009,17(3):226-232.

[53] 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,2018,9(7):e02347.

[54] SANDSTRÖM U G,ANGELSTAM P,MIKUSIŃSKI G. Ecological diversity of birds in relation to the structure of urban green space[J]. Landscape and Urban Planning,2006,77(1/2):39-53.

[55] SOL D,TRISOS C,MÚRRIA C,et al. The worldwide impact of urbanisation on avian functional diversity[J]. Ecology Letters,2020,23(6):962-972.

[56] MORELLI F,BENEDETTI Y,SU T P,et al. Taxonomic diversity,functional diversity and evolutionary uniqueness in bird communities of Beijing's urban parks:Effects of land use and vegetation structure[J]. Urban Forestry & Urban Greening,2017,23:84-92.

[57] 谭丽凤. 柳州城市公园冬季鸟类群落特征与生境的关系[J]. 广西科学,2012,19(2):180-186.

[58] DAVIS A Y,BELAIRE J A,FARFAN M A,et al. Green infrastructure and bird diversity across an urban socioeconomic gradient[J]. Ecosphere,2012,3(11):1-18.

[59] CARBÓ-RAMÍREZ P,ZURIA I. The value of small urban greenspaces for birds in a Mexican city[J]. Landscape and Urban Planning,2011,100(3):213-222.

[60] ARONSON M F,LEPCZYK C A,EVANS K L,et al. Biodiversity in the city:Key challenges for urban green space management[J]. Frontiers in Ecology and the Environment,2017,15(4):189-196.

[61] PAKER Y,YOM-TOV Y,ALON-MOZES T,et al. The effect of plant richness and urban garden structure on bird species richness,diversity and community structure[J]. Landscape and Urban Planning,2014,122:186-195.

[62] VILLASEÑOR N R,ESCOBAR M A H,JAIME HERNÁNDEZ H. Can aggregated patterns of urban woody vegetation cover promote greater species diversity,richness and abundance of native birds?[J]. Urban Forestry & Urban Greening,2021,61:127102.

（责任编委　张　庆）

Seasonal Variations and Microhabitat Mosaics in Blue-Green Spaces: Evaluating Spatial and Temporal Distribution of Bird Communities along Urban-Rural Gradients

WANG Xue, WU Weize, LIU Yuhong, CHEN Yixue

(*Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lake, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing* 210098, *China*)

Abstract: Land use change and human disturbance are the primary drivers of bird habitat loss. However, the research of the potential interactions between human activities and biodiversity loss and their role in guiding eco-friendly urban planning remains limited. Therefore, the bird resources and community structure in the Jiangyan District of Taizhou City, Jiangsu Province was investigated. Additionally, the landscape composition and configuration of urban and rural areas was analyzed, and the impact of biodiversity and its influencing factors was assessed. These findings will provide a scientific basis for regional biodiversity conservation and ecologically friendly urban planning. Specifically, our results showed that wetlands had the highest bird species richness, Shannon-Wiener diversity index, and evenness index, while grasslands had the lowest bird species richness and Shannon-Wiener diversity index. In terms of seasonal bird diversity during different seasons, the ranking was as follows: summer>spring>winter>autumn. While there was no significant difference in bird abundance between the breeding season and non-breeding season, there was a significant difference in species richness. The abundance and richness of habitat-specialized birds and urban-adapted birds varied significantly with the degree of urbanization. Suburban and exurban areas with moderate human disturbance supported higher bird species richness. Although specialized bird communities were not negatively correlated with the intensity of urbanization, different landscape compositions did affect the distribution of local birds. Additionally, changes in bird habitat communities largely depended on the landscape configuration of different land uses, which were highly influenced by the distribution patterns of blue-green spaces. Based on our findings, it can be concluded that reserving natural patches in urban planning and focusing on the remaining habitats composed of blue-green patches can help mitigate the negative impacts of habitat fragmentation and resource depletion on biodiversity. Establishing ecological corridors to connect blue-green spaces is also recommended. Furthermore, improving biodiversity in urban areas can be achieved through agricultural ecosystem and urban land use ecological conservation and restoration.

Key words: bird diversity; landscape configuration; landscape composition; land use change; urbanization