

DOI: 10.14188/j.ajsh.20240424001

城市公园特征对广西柳州繁殖鸟类多样性的影响

李斌强^{1,2,3}, 马山俊¹, 张绍辉¹, 谭丽凤³, 黄剑², 章文杰^{1*}

(1. 云南林业职业技术学院 规划设计研究院, 云南 昆明 650224;

2. 云南林业职业技术学院 文化旅游学院, 云南 昆明 650224;

3. 广西生态工程职业技术学院 林业工程学院, 广西 柳州 545004)

摘要: 城市化是导致生物多样性波动的主要因素之一。为了探讨城市公园特征参数(如公园面积、林地面积和距市中心距离等)对城市鸟类物种多样性和功能多样性的影响,于2021-04—2021-08,采用样线法对广西柳州12个城市公园进行鸟类监测。利用多元回归和广义线性模型分析公园特征参数对鸟类物种多样性和功能多样性的影响。结果显示:城市公园面积与鸟类物种丰富度呈正相关,鸟类功能多样性 RaoQ 指数与距市中心距离呈正相关,鸟类功能均匀度指数与林地面积和距市中心距离呈负相关,这表明城市化程度对鸟类功能多样性有显著影响。柳州市繁殖鸟类功能性状呈聚集趋势,随机过程可能是群落组配的主要驱动力,标准化效应值(S.E.S. MNTD.FD)与林地面积呈正相关性。强调了城市公园特征参数对鸟类多样性影响的多维性,研究结果为柳州市及其他类似中小型城市提供了鸟类多样性保护和城市公园规划的重要数据支持和实践指导。建议通过增加城市公园和林地面积,以及减缓城市化进程,有效保护和提升城市鸟类的物种多样性和功能多样性。

关键词: 城市公园;城市化;鸟类多样性;功能多样性;柳州

中图分类号: Q958.15

文献标志码:A

文章编号: 2096-3491(2024)04-0359-09

Effects of urban park characteristics on the diversity of breeding birds in Liuzhou, Guangxi

LI Binqiang^{1,2,3}, MA Shanjun¹, ZHANG Shaohui¹, TAN Lifeng³, HUANG Jian², ZHANG Wenjie^{1*}

(1. Planning and Design Institute, Yunnan Forestry Technological College, Kunming 650224, Yunnan, China;

2. School of Cultural Tourism, Yunnan Forestry Technological College, Kunming 650224, Yunnan, China;

3. Institute of Forestry Engineering, Guangxi Eco-Engineering Vocational & Technical College, Liuzhou 545004, Guangxi, China)

Abstract: Urbanization is recognized as one of the primary drivers of biodiversity fluctuations. To examine the influence of urban park characteristics (such as park area, woodland area and the distance from the city center) on the species diversity and functional diversity of urban birds, we conducted bird detection by the line transect method in twelve urban parks in Liuzhou, Guangxi from April to August 2021. We employed multiple regression and generalized linear models to assess the influence of park characteristics on avian species diversity and functional diversity. Our findings indicated a positive correlation between the size of urban parks and bird species richness, suggesting that larger parks harbor greater species diversity. Additionally, the RaoQ index of bird functional diversity was positively correlated with the distance from the city center, while the functional evenness index showed negative correlations with both woodland area and distance

收稿日期: 2024-03-06 修回日期: 2024-04-29 接受日期: 2024-08-22

作者简介: 李斌强(1996-),男,博士,主要从事野生动植物保护与利用研究。E-mail: wildlife_diversity@163.com

* 通讯联系人: 章文杰(1975-),男,硕士,高级工程师,主要从事林业调查规划研究。E-mail: 895305558@qq.com

基金项目: 云南林业职业技术学院校级项目(KY(YB)202308),KY(QN)202320);云南省教育厅青年人才基础研究专项(2024J1458);广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2022KY1238)

引用格式: 李斌强, 马山俊, 张绍辉, 等. 城市公园特征对广西柳州繁殖鸟类多样性的影响[J]. 生物资源, 2024, 46(4): 359-367.

Li B Q, Ma S J, Zhang S H, et al. Effects of urban park characteristics on the diversity of breeding birds in Liuzhou, Guangxi [J]. Biotic Resources, 2024, 46(4): 359-367.

from the city center, highlighting the significant impact of urbanization on functional diversity. The functional traits of breeding birds in Liuzhou exhibited an aggregation trend, and stochastic processes may be the primary driving force of community composition. Notably, the standardized effect value (SES.MNTD.FD) was positively correlated with woodland area. The study emphasizes the multidimensional impact of urban park characteristics on bird diversity. The results provide significant data support and practical guidance for bird diversity conservation and urban park planning in Liuzhou and other similar small and medium-sized cities. From the perspective of species conservation, it is recommended that increasing the size of urban parks and woodland areas, coupled with a slowdown in the pace of urbanization, can effectively protect and enhance the species diversity and functional diversity of urban birds.

Key words: urban park; urbanization; bird diversity; functional diversity; Liuzhou

0 引言

城市化是全球生物多样性波动的主要驱动因素之一^[1]。城市化是由自然生境向人造生境转变的过程,城市化过程驱动了城市的土地利用变化,加剧了生境破碎化、污染、外来物种入侵和人为干扰对城市生态系统的影响,直接或者间接造成城市本土生物多样性下降^[1,2]。鸟类是生物多样性的重要组成部分和环境监测指示物种^[3],是城市中常见的动物类群,分布于各种绿地生境中,对于城市的生态系统服务具有重要功能,如传播种子、传粉和捕食害虫等^[4]。预计到2050年,全球城市总面积将增加一倍以上,并持续地影响城市物种的生存及其生态系统功能的发挥^[5,6]。因此,研究城市化对鸟类多样性的影响,可以根据立地条件制定有效的城市鸟类多样性保护措施,缓解城市鸟类功能同质化的进程。

城市公园作为一种特殊类型的城市绿地,是城市鸟类多样性分布的热点地区^[7]。由于不同城市的地理位置、气候、发展历史、经济水平和人口数量的不同,不同城市之间的鸟类多样性存在较大的差异,导致不同城市间的公园特征参数对鸟类多样性的影响并不一致^[8]。大多数研究显示城市公园面积、距市中心距离、不透水面积和林地面积会影响鸟类的物种丰富度^[2,7,9,10]。然而,北京城市公园的鸟类研究表明,鸟类物种丰富度与城市公园面积并不相关^[11]。同时,不同生活史特征的鸟类对绿地面积的敏感程度不一致时,也会导致种-面积关系并不是预测物种丰富度的最佳模型^[11]。公园不透水面积可以反映城市化程度,鸟类丰富度沿城市化梯度逐渐较少,即城市化越严重,鸟类物种丰富度越低,而林地面积对鸟类多样性具有积极的影响^[12],但也有研究表明中等的城市化水平会提高鸟类的物种丰富度^[13]。由于鸟类的扩散能力不同,因而对栖息地尺度的反应也存在差异,甚至在小尺度空间状态下,隔离效应会消失甚至没有影响^[14,15],例如,德国的城市公园鸟类研究表明,斑块大小是影响物

种丰富度的重要预测因子,但在校正了斑块大小的影响后,斑块间的隔离程度仍对整体的物种丰富度有显著影响^[16]。

研究城市公园中的鸟类多样性驱动因素多关注于物种分类多样性,功能多样性的关注程度较低。功能多样性越来越多地被用作生境质量变化的描述性指标,与传统的分类学指标相比,单独的分类学指标在分析鸟类受城市化影响的能力有限,而功能性状可以更好地预测城市化对鸟类多样性的影响^[17,18]。物种分类多样性和功能多样性之间的不匹配性,可能导致鸟类保护策略陷入困境,如以物种丰富度来评估鸟类生物多样性保护的优先序时,可能会排除高功能多样性的区域^[18]。因此,多维度的生物多样性度量指标更有利于从不同方面来反映城市公园特征参数对鸟类多样性的影响^[19]。不少研究表明,公园面积越大,植被结构越复杂则对鸟类功能多样性有积极的影响,而距离市中心距离和不透水面积则相反^[11,17,20]。然而,研究城市鸟类功能多样性的驱动因素,多集中在大型城市^[12,17],而小中型城市研究较少,其驱动鸟类功能多样性的影响因素尚不明确,并不利于制定小中型城市的鸟类保护政策。

广西柳州属于典型的小中型工业城市,境内属于喀斯特山地地貌。由于工业的发展,城市区域原有的天然植被已遭到严重的破坏。因此,如何解决城市生物多样性保护与发展成为大多数生态学家和保护生物学家所关注的重点问题。本文利用样线法调查广西柳州12个城市公园的繁殖鸟类,调查结果主要探讨以下两个问题:(1)柳州城市公园特征参数如何影响鸟类物种分类多样性和功能多样性;(2)城市化对城市公园鸟类的功能性状影响。以上问题的问答,可以有效为小中型城市和以喀斯特地貌为代表的城市鸟类多样性保护提供科学的数据依据和保护措施,如广西的南宁、桂林、百色和云南文山等行政区。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究地概况

广西柳州属于喀斯特山地城市,是中国知名的工业城市,地处 108°50'E~109°44'E、23°54'N~24°50'N,包括5个城区以及柳城和柳江2县。境内地势较为平缓,海拔为100~200 m。气候属于亚热带季风气候,年均气温18℃,年降水量1500 mm,夏季高温湿热,冬季严寒,该地区以石山灌丛、亚热带林灌和农田为主^[21,22]。城市公园主要的绿化植物有115种,隶属于37科81属,较多的科为木兰科(Magnoliaceae)、苏木科(Caesalpinaceae)、夹竹桃科(Apocynaceae)、蝶形花科(Papilionoideae)、山茶科(Theaceae)和桃金娘科(Myrtaceae)等,其中乔木54种、灌木51种和藤木10种^[23]。优势度较高的植物有小叶榕(*Ficus coninna*)、樟树(*Cinnamomum camphora*)、红花羊蹄甲(*Bauhinia blakeana*)、九龙藤(*Bauhinia championi*)等。

1.2 材料与方法

1.2.1 调查方法

鸟类调查采用样线法,因公园面积大小不等(0.05~3.08 km²),每个公园内设置样线1~2条,样线长0.6~2 km,共12个城市公园。繁殖鸟类观察时间为2021-04-2021-08,4月初至5月底对每个城市公园进行2次调查;6月中旬至8月初对每个公园进行最后1次调查,每个公园累计重复调查3次,单个公园调查的时间间隔大于1周。选择6:00至10:00,17:00至19:00两个时间段调查,借助奥林巴斯8×42双筒望远镜记录样线两侧100 m以内的鸟类种类

和数量。调查仅在晴天进行,避开不利天气,如下雨和起雾。鸟类物种鉴定参考《中国鸟类野外手册》^[24],鸟类名称和分类系统参照《中国鸟类分类与分布名录(第四版)》^[25]。柳州市12个城市公园共监测到繁殖鸟类11目37科79种。其中,国家Ⅰ级重点保护野生动物1种,国家Ⅱ级重点保护野生动物9种,留鸟61种,夏候鸟18种^[26]。

1.2.2 公园特征参数

公园特征参数选取公园面积、隔离度、距市中心距离、林地面积和不透水面积5个变量(表1)。公园面积、隔离度和距市中心距离均由ArcGIS 10.7计算。隔离度采用每个公园到附近大型公园的距离。将柳州市风情港作为市中心,分别计算各城市公园到该位置的距离,距市中心距离反映了城市化的进程。土地类型数据来自于中国1 m分辨率的土地利用覆盖数据集(SinoLC-1)^[27],将土地利用类型中的“Building”和“Road”定义为不透水面,“Tree cover”为林地,并在Arcgis 10.7中计算各公园中心点500 m缓冲区范围内的不透水面面积和林地面积^[27]。为了排除变量之间的相关性,将所有数据进行标准化处理(均值为0,标准差为1的正态分布数据),利用Pearson相关性分析,排除相关性 $|r|$ 大于0.7的变量,成对变量中仅保留其中一个具有重要生物学意义的参数。不透水面和公园面积显著负相关($r=-0.79, P<0.001$),仅保留公园面积作为公园特征参数。

1.2.3 数据处理

已有研究对柳州市城市公园繁殖鸟类抽样充分性进行过评估,鸟类总体样本覆盖度为(0.98±0.02),显示鸟类抽样充分^[26]。物种分类多样性采用物种丰富度量,功能多样性采用Rao二次熵指数

表1 广西柳州12个城市公园的特征参数

Table 1 Characteristic parameters of 12 urban parks in Liuzhou of Guangxi

公园及代码	林地面积/hm ²	不透水面 积/hm ²	公园面 积/hm ²	隔离度/ km	距市中心距 离/km	物种丰富度	RaoQ指数	FEve指数
君武森林公园(JW)	63.09	2.85	308	0.41	17.76	45	0.05	0.60
大龙潭公园(DLT)	53.96	13.79	303	2.49	3.59	24	0.03	0.67
鱼峰公园(YF)	38.68	38.07	6	2.48	0.89	9	0.03	0.65
柳候公园(LH)	37.13	38.40	23	0.88	1.12	8	0.02	0.68
花果山公园(HGS)	35.33	16.29	48	2.05	17.05	15	0.04	0.57
雀儿山公园(QES)	38.31	16.81	75	7.00	6.69	27	0.04	0.62
三门江森林公园(SMJ)	61.81	8.62	179	0.90	9.16	37	0.04	0.52
北部湿地公园(SD)	10.84	11.16	106	3.35	14.22	22	0.05	0.65
江滨公园(JB)	11.98	20.89	7	0.98	0.34	9	0.02	0.69
长林公园(CL)	10.01	63.15	5	0.71	5.27	8	0.02	0.70
蟠龙山公园(FLS)	33.47	26.53	31	3.79	1.61	14	0.03	0.68
马鞍山公园(MAS)	17.73	12.70	17	2.37	0.85	10	0.03	0.73

(Rao's quadratic entropy index, RaoQ)和功能均匀度指数(functional evenness index, FEve)度量^[28]。RaoQ指数代表物种对之间功能特征的差异,兼具功能丰富度和功能分异度两个方面的信息^[28]。功能均匀度指数为一个群落的生物量在生态位空间中的分布程度,指数越大,说明对有效资源的利用越全面^[29]。

鸟类功能特征数据参考中国鸟类生活史和生态学特征数据集^[30],选择体重、体长、食性和筑巢类型4个数据作为鸟类的功能性状。其中,体重和体长为连续变量,食性和筑巢类型为分类变量,各性状的解释见Luck等^[4]的说明。功能多样性数据的分析采用Gower距离,在R软件(3.6.1)FD程序包^[31]中完成。

为了检验鸟类功能结构,使用非加权组平均法(unweighted pair-group method with arithmetic means, UPGMA)构建功能性状树^[32],根据功能性状树,计算种间平均距离(mean pairwise distance, MPD)和最近种间距离(mean nearest taxon distance, MNTD)来分析功能多样性结构^[32,33]。为检验鸟类在功能上是否聚集或分散,使用零模型独立的交换算法(迭代999次),随机生成物种丰富度和发生频率,分别计算零模型MPD和MNTD的平均值,将观测到的MPD和MNTD与该平均值作比较,计算两者的标准化效应值(standard effect size, SES)^[32],其计算公式为:

$$SES = (M_{obs} - M_{null}) / SD_{null}$$

式中, M_{obs} 为MPD或MNTD的观测值; M_{null} 为随机产生的999个零模型MPD或MNTD的平均值; SD_{null} 为999个随机值的标准差。若 $SES < 0$,表示群落功能结构聚集;反之,表示群落功能结构发散^[33]。当 $SES \geq 1.96$ ($P < 0.05$)时,则说明群落结构显著发散,群落建群机制可能由竞争排斥引起。当 $SES \leq -1.96$ ($P < 0.05$)时,则说明群落结构显著聚集,群落建群机制可能由环境过滤引起。 SES 值在 $-1.96 \sim 1.96$ ($P > 0.05$)区间内则说明群落构建属于随机过程。

1.2.4 数据分析

首先,将公园特征参数数据和物种丰富度均进行lg10转换,利用多元回归分析鸟类丰富度与公园特征参数的关系,每个多样性指数均得到16个候选模型,采用赤池信息量准则(Akaike information criterion, AIC)来判断模型的优劣,AIC值越小,模型越好。根据 $\Delta AICc < 2$ 和每个模型的权重来选择最佳模型,模型权重值越大,则说明候选模型越好,数据结果仅列出 $\Delta AICc < 5$ 的结果。物种功能多样性

(RaoQ和FEve)、功能标准化效应值(SES. MNTD. FD和SES. MPD. FD)与公园特征参数的关系利用广义线性模型进行分析。物种功能多样性拟合Beta分布,标准化效应值进行lg10($X+5$)转换,拟合高斯分布(Gaussian distribution),模型选择方法与上述一致。采用单样本均值 t 检验分析标准化效应值是否显著小于0。以上数据分析过程在R软件(3.6.1)MuMIn程序包和batereg程序包中完成。

2 结果与分析

2.1 繁殖鸟类多样性的驱动因素

多元回归结果表明,城市公园面积是预测鸟类物种丰富度的最佳因子,距市中心距离是功能多样性RaoQ指数的最佳预测因子,林地面积和距市中心距离是功能均匀度的最佳预测因子(表2)。其中,公园面积越大,鸟类物种丰富度越多(图1(a));距市中心越近,RaoQ指数越低;反之,则呈上升趋势(图1(b))。鸟类功能均匀度指数随着林地面积越大(图1(c))和离市中心距离越远(图1(d)),指数越小。隔离度对城市公园繁殖鸟类的物种丰富度和功能多样性影响均较小(表2)。

2.2 鸟类功能结构

标准化效应值SES. MNTD. FD取值范围在 $-3.78 \sim 0.39$,SES. MPD. FD取值范围在 $-1.83 \sim 1.24$ 。单样本均值 t 检验表明,标准化效应值SES. MNTD. FD ($t = -3.65, d_f = 11, P = 0.002$)和SES. MPD. FD ($t = -4.32, d_f = 11, P < 0.001$)均显著小于0,表明柳州市繁殖鸟类功能性状呈聚集趋势。12个公园中,仅大龙潭公园(DLT)和江滨公园(JB)的SES. MPD. FD < -1.96 ,其余公园均介于 $-1.96 \sim 1.96$ (图2(a))。12个公园的SES. MNTD. FD取值均在 $-1.96 \sim 1.96$ (图2(b))。综合表明,随机过程可能主导了柳州市的城市公园繁殖鸟类的群落组配机制。

广义线性模型分析表明,标准化效应值SES. MPD. FD和SES. MNTD. FD全模型均不显著。其中,子模型中SES. MNTD. FD与林地面积呈正相关关系($\beta = 0.21, P = 0.03$)(图3(a)),与其余变量均无显著相关。SES. MPD. FD与所有公园特征参数均无显著相关性,但最佳预测因子为距市中心距离($\beta = 0.08, P = 0.09$)(表2、图3(b))。

3 讨论

本次调查为首次在广西柳州市开展城市公园繁殖鸟类物种分类多样性和功能多样性的驱动因素分

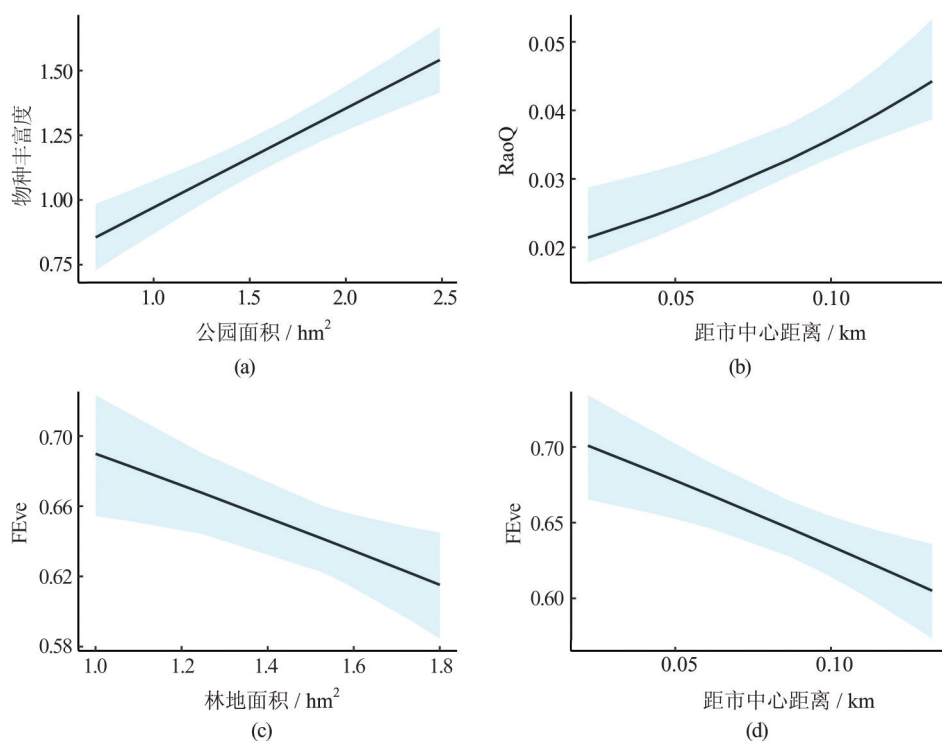


图1 广西柳州城市公园繁殖鸟类的驱动因素可视化

Fig. 1 Visualization of the driving factors of breeding birds in Liuzhou parks of Guangxi

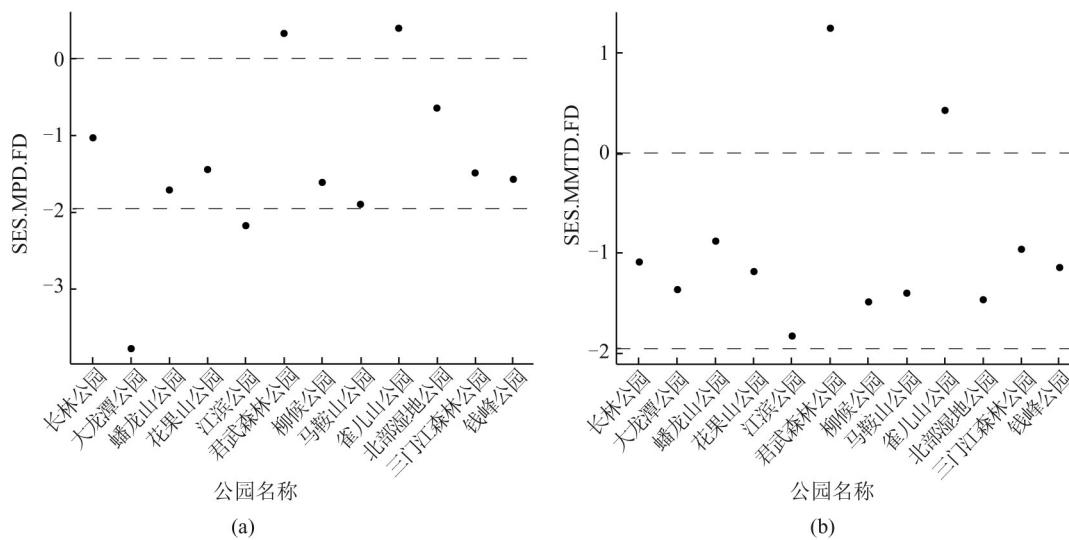


图2 广西柳州城市公园繁殖鸟类功能性状分析

Fig. 2 Analysis of functional traits of breeding birds in Liuzhou parks of Guangxi

析,其结果也可以反映城市化对小中型城市繁殖鸟类多样性的影响。结果表明,物种丰富度与功能多样性的驱动因素并不一致,公园面积是影响柳州繁殖鸟类物种分类多样性主要驱动因素,而距市中心距离和林地面积是鸟类功能多样性的主要驱动因素。柳州市城市公园繁殖鸟类的功能性状以聚集为主。本文重点强调了多维度的生物多样性度量指标更能较为全面地反映城市公园特征参数对鸟类多样性的影响,该

结果为柳州市城市鸟类多样性的保护和城市公园规划提供了重要的数据依据和实践指导。

城市公园面积是影响鸟类物种丰富度的主要因素。城市公园面积越大,鸟类物种丰富度越多,大型城市公园拥有最多的鸟类物种,而小型城市公园拥有的鸟类物种丰富度较少,其结果支持种-面积关系理论^[34]。本文的研究结果与大多数大型城市的城市公园鸟类研究结果一致,如北京^[10]、南京^[9]、济南^[35]、卢

表2 基于AIC的鸟类多样性与预测变量的模型选择结果
Table 2 Model selection results of bird diversity and predictor variables based on AIC

指标	模型	模型选择	自由度	AICc	ΔAICc	权重
物种丰富度	Model1	公园面积	3	-11.7	0.00	0.70
	Model2	公园面积+距市中心距离	4	-8.5	3.12	0.15
	Model3	公园面积+隔离度	4	-7.0	4.64	0.07
	Model4	公园面积+林地面积	4	-7.0	4.71	0.07
RaoQ指数	Model5	距市中心距离	3	-77.8	0.00	0.36
	Model6	距市中心距离+公园面积	4	-76.6	1.23	0.19
	Model7	公园面积	3	-76.1	1.72	0.15
	Model8	距市中心距离+隔离度	4	-75.5	2.32	0.11
	Model9	林地面积+距市中心距离	4	-74.3	3.53	0.06
功能均匀度	Model10	距市中心距离+林地面积	4	-34.7	0.00	0.43
	Model11	距市中心距离	3	-33.6	1.12	0.25
	Model12	林地面积	3	-31.5	3.24	0.09
	Model13	公园面积	3	-30.8	3.90	0.06
SES.MPD.FD	Model14	Null	2	-4.8	0.00	0.44
	Model15	距市中心距离	3	-3.1	1.63	0.19
	Model16	隔离度	3	-1.2	3.55	0.08
	Model17	距市中心距离+公园面积	4	-1.1	3.61	0.07
	Model18	林地面积	3	-1.1	3.64	0.07
SES.MNTD.FD	Model19	林地面积	3	-23.5	0.00	0.37
	Model20	公园面积	3	-21.5	2.03	0.13
	Model21	Null	2	-21.3	2.23	0.12
	Model22	距市中心距离+林地面积	4	-21.2	2.33	0.11
	Model23	距市中心距离	3	-20.5	3.01	0.08
	Model24	隔离度+林地面积	4	-19.4	4.08	0.05
	Model25	林地面积+公园面积	4	-19.4	4.12	0.05

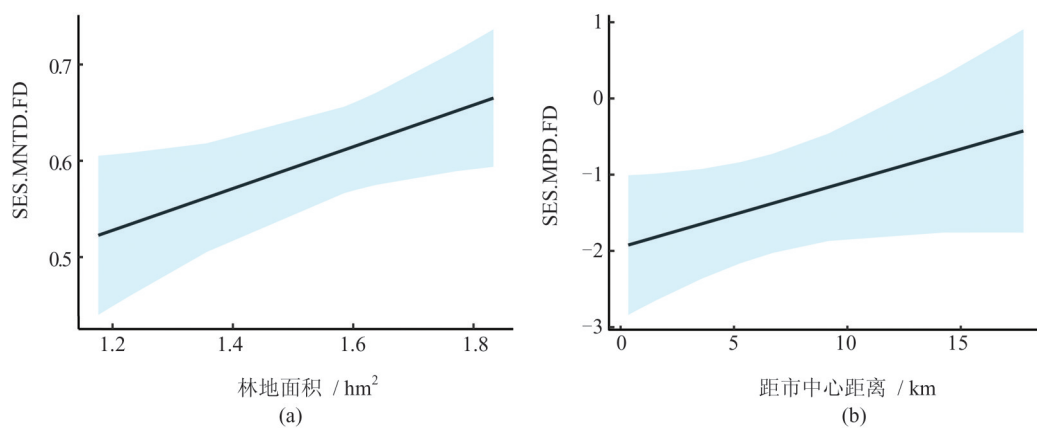


图3 公园参数特征对广西柳州城市公园繁殖鸟类功能性状的影响

Fig. 3 The impacts of park characteristics on functional traits of breeding birds in urban parks of Liuzhou, Guangxi

奥^[36]和维也纳^[19]等城市。究其原因,可能有以下因素影响大城市公园的鸟类物种丰富度:(1)城市公园面积越大,可能包含的生境越复杂。南京城市公园的鸟类多样性调查结果表明,栖息地多样性与鸟类多样性

显著正相关^[9]。生境多样性越高,则可以为鸟类提供更多的食物资源、筑巢生境和隐蔽生境。(2)大型城市公园可以缓解边缘效应的影响^[37],城市公园边缘效应越强烈,其城市噪音和人为干扰对鸟类物种丰富度影

响越大,从而导致鸟类物种丰富度减少^[38]。值得注意的是,在本次鸟类调查中,IUCN^[39]受胁物种海南鸚(*Oroanassa magnifica*)(EN)和仙八色鸚(*Pitta nympha*)(VU)仅分布于大型城市公园内,并在公园内部生境筑巢,说明大型城市公园提供的庇护作用高于小型城市公园。

距市中心距离是影响鸟类功能多样性的主要因素。距市中心距离可以作为反映城市化水平的一种指标^[9]。鸟类功能多样性 RaoQ 指数距市中心越近,值越低,表明城市化降低了鸟类的功能性状差异。距市中心越近,林地面积越少,鸟类功能均匀度指数越大,表明市中心的鸟类物种对城市中的有效资源的利用比较全面^[29]。鸟类功能均匀度在受干扰的生境中更高并不奇怪^[40],其结果与印度班加罗尔的鸟类研究结果一致^[17],该分析表明随着城市化水平的提高,鸟类功能丰富度呈现明显的下降趋势,而鸟类的功能均匀度呈现上升趋势。以往的研究也表明了柳州城区公园的鸟类功能丰富度和功能离散度更低,而功能均匀度则更高^[41]。本文的结果也与全球模式一致^[12],即城市化增加了鸟类同质化现象,降低了鸟类的功能性状多样性。

城市公园隔离度对鸟类多样性的影响较弱,可能的原因有:(1)跟鸟类的扩散能力较强有关,在小尺度的地理范围内,城市化并不能阻止鸟类的扩散和交流^[9];(2)城市街道的绿植和小型林地斑块在一定程度上增加了景观连通性,加强了城市各公园间鸟类物种的交流和流通^[42]。林地面积没有显著影响鸟类的物种丰富度和功能多样性,即没有发现林地面积越大,鸟类多样性越高。其原因可能有:(1)本土植物较少和外来树种会降低鸟类的丰富度^[43];(2)中国城市森林绿化树种具有均质化现象^[44],树种均质化在一定程度上可能导致林地面积对鸟类的物种丰富度和功能多样性影响较小。中国的城市公园鸟类研究发现,归一化植被指数与鸟类物种丰富度和功能多样性均没有显著关系^[45]。综合来看,生境异质性(包括水体)和植物丰富度可能对鸟类多样性的影响更大。

柳州市繁殖鸟类功能性状呈现聚集趋势,随机过程可能主导了其群落组配机制,仅大龙潭公园和江滨公园的鸟类群落可能受到环境过滤的影响。鸟类功能性状呈现聚集趋势与中国城市公园鸟类^[45]和欧洲^[35]的鸟类研究结果一致,也与全球模式一致^[12],相似的研究还有印度班加罗尔城市鸟类^[17]和中国校园鸟类^[46]。鸟类功能聚集主要与城市化排除了城市不适应物种、保留城市适应物种或耐干扰物种有关,

从而增加了鸟类物种之间功能相似性,导致鸟类功能性状更为聚集^[47]。SES. MNTD. FD 与林地面积有关,以往的研究表明绿地面积的增加可以使鸟类的功能性状趋于发散^[48],而城市不透水面积的增加会导致鸟类的功能性状趋于聚集^[49]。SES. MPD. FD 与所有公园特征参数均无显著相关性,表明本文所选的公园参数特征并不能有效探测与 SES. MPD. FD 之间的关系,其机制还有待研究。综上所述,鉴于柳州城市快速扩张的背景,增加城市公园面积、林地面积和减缓城市化进程(如保留半自然生境),可以有效缓解柳州城市鸟类多样性的丧失,其结果也同样可以用于广西、云南和贵州等其他喀斯特地貌的小中型城市鸟类多样性保护。

参考文献

- [1] McKinney M L. Urbanization as a major cause of biotic homogenization [J]. *Biol Conserv*, 2006, 127(3): 247-260.
- [2] McKinney M L. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals [J]. *Urban Ecosyst*, 2008, 11(2): 161-176.
- [3] Koskimies P. Birds as a tool in environmental monitoring [J]. *Ann Zool Fennici*, 1989, 26(3): 153-166.
- [4] Luck G W, Lavorel S, McIntyre S, *et al.* Improving the application of vertebrate trait-based frameworks to the study of ecosystem services [J]. *J Anim Ecol*, 2012, 81(5): 1065-1076.
- [5] Sidemo-Holm W, Ekroos J, Reina García S, *et al.* Urbanization causes biotic homogenization of woodland bird communities at multiple spatial scales [J]. *Glob Chang Biol*, 2022, 28(21): 6152-6164.
- [6] Seto K C, Güneralp B, Hutyra L R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2012, 109(40): 16083-16088.
- [7] Nielsen A B, van den Bosch M, Maruthaveeran S, *et al.* Species richness in urban parks and its drivers: a review of empirical evidence [J]. *Urban Ecosyst*, 2014, 17(1): 305-327.
- [8] Sun B, Lu L Y, Yang Y F, *et al.* Urbanization affects spatial variation and species similarity of bird diversity distribution [J]. *Sci Adv*, 2022, 8(49): eade3061.
- [9] Yang X R, Tan X W, Chen C W, *et al.* The influence of urban park characteristics on bird diversity in Nanjing, China [J]. *Avian Res*, 2020, 11(1): 45.
- [10] Huang Y, Zhao Y Z, Li S H, *et al.* The Effects of habitat area, vegetation structure and insect richness on breeding bird populations in Beijing urban parks [J]. *Ur-*

- ban For Urban Green, 2015, 14: 1027-1039.
- [11] 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 For Urban Green*, 2017, 23: 84-92.
- [12] Sol D, Trisos C, Múrria C, *et al.* The worldwide impact of urbanisation on avian functional diversity [J]. *Ecol Lett*, 2020, 23(6): 962-972.
- [13] Blair R B. Land use and avian species diversity along an urban gradient [J]. *Ecol Appl*, 1996, 6(2): 506-519.
- [14] Chen C W, Marcel H, Si X F, *et al.* Do seasonal species assemblages differ in their biogeography? Evidence from the spatial structure of bird communities on land-bridge islands [J]. *J Biogeogr*, 2018, 45(2): 473-483.
- [15] 吴奕如, 斯幸峰, 陈传武, 等. 千岛湖陆桥岛屿繁殖鸟类的扩散能力差异对群落动态的影响[J]. *生物多样性*, 2016, 24(10): 1135-1145.
- Wu Y R, Si X F, Chen C W, *et al.* Effects of dispersal abilities on community dynamics of breeding birds on the land-bridge islands in the Thousand Island Lake, China [J]. *Biodivers Sci*, 2016, 24(10): 1135-1145.
- [16] Bräuniger C, Knapp S, Kühn I, *et al.* Testing taxonomic and landscape surrogates for biodiversity in an urban setting [J]. *Landsc Urban Plan*, 2010, 97(4): 283-295.
- [17] Marcacci G, Westphal C, Wenzel A, *et al.* Taxonomic and functional homogenization of farmland birds along an urbanization gradient in a tropical megacity [J]. *Glob Chang Biol*, 2021, 27(20): 4980-4994.
- [18] Devictor V, Mouillot D, Meynard C, *et al.* Spatial mismatch and congruence between taxonomic, phylogenetic and functional diversity: the need for integrative conservation strategies in a changing world [J]. *Ecol Lett*, 2010, 13(8): 1030-1040.
- [19] Zhang T X, Chen X, Wu Y J, *et al.* Diversity and structure of bird communities in contrasting forests of the Hengduan Mountains, China [J]. *Biodivers Conserv*, 2020, 29(13): 3739-3755.
- [20] Schütz C, Schulze C H. Functional diversity of urban bird communities: effects of landscape composition, green space area and vegetation cover [J]. *Ecol Evol*, 2015, 5(22): 5230-5239.
- [21] 肖海龙, 周善义. 柳州市夏季鸟类多样性的研究[J]. *广西师范大学学报(自然科学版)*, 2001, 19(2): 78-83.
- Xiao H L, Zhou S Y. Study on the diversity of birds in Liuzhou urban district [J]. *J Guangxi Norm Univ Nat Sci*, 2001, 19(2): 78-83.
- [22] 蒋爱伍, 周天福, 韦振海, 等. 广西柳州市鸟类调查及区系研究初报[J]. *四川动物*, 2005, 24(2): 186-190.
- Jiang A W, Zhou T F, Wei Z H, *et al.* Preliminary study on avifauna of Liuzhou region [J]. *Sichuan J Zool*, 2005, 24(2): 186-190.
- [23] 马翠平. 柳州市木本观花植物资源调查与观赏特性研究[J]. *河池学院学报*, 2019, 39(2): 30-37, 97.
- Ma C P. Research on resource status and ornamental characteristics of woody flower plants in Liuzhou [J]. *J Hechi Univ*, 2019, 39(2): 30-37, 97.
- [24] 约翰·马敬能, 卡伦·菲利普斯, 何芬奇. 中国鸟类野外手册[M]. 长沙: 湖南教育出版社, 2000.
- MacKinnon J, Phillipps K, He F Q. A field guide to the birds of China [M]. Changsha: Hunan Education Publishing House, 2000.
- [25] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录[M]. 北京: 科学出版社, 2023.
- Zheng G M. A checklist on the classification and distribution of the birds of China [M]. Beijing: Science Press, 2023.
- [26] 李斌强, 唐婷婷, 杨妙丹, 等. 城市公园繁殖鸟类多样性与嵌套分布格局: 以广西柳州为例[J]. *自然保护地*, 2022, 2(3): 50-64.
- Li B Q, Tang T T, Yang M D, *et al.* Breeding bird diversity and nestedness on urban park: taking Liuzhou, Guangxi as an example [J]. *Nat Prot Areas*, 2022, 2(3): 50-64.
- [27] Li Z H, He W, Cheng M F, *et al.* SinoLC-1: the first 1-meter resolution national-scale land-cover map of China created with the deep learning framework and open-access data [J]. *Earth Syst Sci Data*, 2023, 87:1-38.
- [28] Mouchet M A, Villéger S, Mason N W H, *et al.* Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules [J]. *Funct Ecol*, 2010, 24(4): 867-876.
- [29] Mason N W H, Mouillot D, Lee W G, *et al.* Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity [J]. *Oikos*, 2005, 111(1): 112-118.
- [30] 王彦平, 宋云枫, 钟雨茜, 等. 中国鸟类的生活史和生态学特征数据集[J]. *生物多样性*, 2021, 29(9): 1149-1153.
- Wang Y P, Song Y F, Zhong Y X, *et al.* A dataset on the life-history and ecological traits of Chinese birds [J]. *Biodivers Sci*, 2021, 29(9): 1149-1153.
- [31] Laliberté E, Legendre P. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits [J]. *Ecology*, 2010, 91(1): 299-305.
- [32] 袁思佳, 苗可儿, 孙婉, 等. 盐城九龙口湿地公园鸟类群落谱系和功能结构[J]. *南京师大学报(自然科学版)*,

- 2021, 44(3): 112-122.
- Yuan S J, Miao K E, Sun W, *et al.* Phylogenetic and functional structure of bird communities in Yancheng Jilulongkou wetland park [J]. *J Nanjing Norm Univ Nat Sci Ed*, 2021, 44(3): 112-122.
- [33] Webb C O, Ackerly D D, McPeck M A, *et al.* Phylogenies and community ecology [J]. *Annu Rev Ecol Evol S*, 2002, 33: 475-505.
- [34] MacArthur R H, Wilson E O. The theory of island biogeography [M]. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1967.
- [35] 庄艳美, 孔繁花, 尹海伟, 等. 济南城市绿地空间格局对鸟类群落结构的影响研究[J]. *山东师范大学学报(自然科学版)*, 2014, 29(1): 102-109.
- Zhuang Y M, Kong F H, Yin H W, *et al.* Effects of urban green space pattern on birds community in Jinan city [J]. *J Shandong Norm Univ Nat Sci*, 2014, 29(1): 102-109.
- [36] Jokimäki J, Suhonen J, Jokimäki-Kaisanlahti M L, *et al.* Effects of urbanization on breeding birds in European towns: impacts of species traits [J]. *Urban Ecosyst*, 2016, 19(4): 1565-1577.
- [37] Fernández-juricic E. Avian spatial segregation at edges and interiors of urban parks in Madrid, Spain [J]. *Biodivers Conserv*, 2001, 10(8): 1303-1316.
- [38] 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]. *Landsc Urban Plan*, 2021, 213: 104122.
- [39] IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. [Http://www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).
- [40] de Carvalho Barros F, Almeida S M, Godoy B S, *et al.* Taxonomic and functional diversity of bird communities in mining areas undergoing passive and active restoration in eastern Amazon [J]. *Ecol Eng*, 2022, 182: 106721.
- [41] 李斌强, 谭丽凤, 唐婷婷, 等. 广西柳州不同城市化梯度的繁殖鸟类多样性[J]. *西部林业科学*, 2023, 52(3): 101-108.
- Li B Q, Tan L F, Tang T T, *et al.* Diversity of breeding birds with different urbanization gradients in Liuzhou, Guangxi [J]. *J West China For Sci*, 2023, 52(3): 101-108.
- [42] Fernández-Juricic E, Jokimäki J. A habitat island approach to conserving birds in urban landscapes: case studies from southern and northern Europe [J]. *Biodivers Conserv*, 2001, 10(12): 2023-2043.
- [43] Garizabal-Carmona J A, Mancera-Rodríguez N J. Bird species richness across a Northern Andean city: effects of size, shape, land cover, and vegetation of urban green spaces [J]. *Urban For Urban Green*, 2021, 64: 127243.
- [44] 靳程, 胡四维, 胡远东, 等. 不同地理尺度下中国城市绿化树种多样性的均质化特征[J]. *风景园林*, 2022, 29(1): 53-58.
- Jin C, Hu S W, Hu Y D, *et al.* Homogeneous characteristics of urban landscape woody plants species biodiversity in China under different geographical scales [J]. *Landsc Archit*, 2022, 29(1): 53-58.
- [45] Liu J, Bai H T, Ma H Y, *et al.* Bird diversity in Chinese urban parks was more associated with natural factors than anthropogenic factors [J]. *Urban For Urban Green*, 2019, 43: 126358.
- [46] Liu J J, Zhao Y P, Si X F, *et al.* University campuses as valuable resources for urban biodiversity research and conservation [J]. *Urban For Urban Green*, 2021, 64: 127255.
- [47] Bonier F, Martin P R, Wingfield J C. Urban birds have broader environmental tolerance [J]. *Biol Lett*, 2007, 3(6): 670-673.
- [48] Muvengwi J, Fritz H, Mbiba M, *et al.* Land use effects on phylogenetic and functional diversity of birds: significance of urban green spaces [J]. *Landsc Urban Plan*, 2022, 225: 104462.
- [49] Zhao Z X, Borzée A, Li J H, *et al.* Urban bird community assembly mechanisms and driving factors in university campuses in Nanjing, China [J]. *Animals*, 2023, 13(4): 673.

□

(编辑: 杨晓翠)