

高密度建成环境鸟鸣声的感知评估与优化提升研究 ——以重庆市南岸区为例

Research on Perception Evaluation and Optimization of Bird Sound in High Density Built Environment: Taking Nan'an District of Chongqing as an Example

李 荷^{1,2} 黄文圣³ 杨培峰^{4*} 黎丽娟¹
LI He^{1,2} HUANG Wensheng³ YANG Peifeng^{4*} LI Lijuan¹

(1.成都市公园城市建设发展研究院, 成都 610036; 2.西南交通大学建筑学院, 成都 611756; 3.浙江省国土空间规划研究院, 杭州 315032; 4.福建省工程学院建筑与城乡规划学院, 福州 350108)

(1. Chengdu Park City Construction & Development Research Institute, Chengdu, Sichuang, China, 610036; 2. School of Architecture in Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuang, China, 611756; 3. Zhejiang Institute of Territorial Spatial Planning, Hangzhou, Zhejiang, China, 315032; 4. College of Architecture and Planning in Fujian University of Technology, Fuzhou, Fujian, China, 350108)

文章编号: 1000-0283(2023)03-0114-11

DOI: 10. 12193/j. laing. 2023. 03. 0114. 015

中图分类号: TU986

文献标志码: A

收稿日期: 2022-11-30

修回日期: 2023-01-19

摘 要

高密度建成环境内自然式鸟鸣声感知特征与城市空间建设运营、鸟类活动行为以及居民感知状况密切相关,是衡量城市空间品质优劣程度、环境适宜性特征以及生态可持续性的关键。通过解析高密度建成环境内鸟鸣声感知的影响因素,构建影响鸟鸣声感知的自然式和人工式影响因子评估体系,识别重庆市南岸区高密度建设空间,结合城市活力特征对比分析城市居民鸟鸣声感知现状和需求意向,针对高密度建成环境内承载鸟类活动的公园绿地、防护绿地、广场绿地和附属绿地4类绿色空间,解析自然式和人工式影响因素与鸟鸣声感知现状的相关性特征。研究发现高密度建成环境内鸟鸣声感知呈现出“听者—环境—感知”复杂的互动关系,区位、外部环境和内部生态特征对鸟鸣声感知产生复杂的影响,生态特征愈优的城市空间,其鸟鸣声感知愈强,人类干扰越高的城市空间呈现对鸟鸣声感知的需求洼地。匹配高密度建成环境内居民鸟鸣声感知需求和建设开发现状,提出提高生态基底质量和降低人类干扰的合理管控和建设引导,并形成“增量—连廊—通源”“提质—优植—共营”“降扰—弱噪—增感”的优化提升路径。

关键词

绿色空间; 感知影响评估; 相关性分析; 景感提升; 优化路径

Abstract

The perception characteristics of natural birdsong in high-density built environments are closely related to the construction characteristics, bird activities, and residents' perceptions. They are the key to measuring the quality of urban space, the aspects of environmental suitability, and ecological sustainability. The study builds a natural and artificial impact factor evaluation system that affects birdsong perception by analyzing the influencing factors of birdsong perception in a high-density built environment. Taking the high-density construction space in the Nan'an District of Chongqing as the research object, the study compares and analyzes the relationship between urban vitality characteristics and urban residents' birdsong perception status and intended needs. Aiming green park space, protective green space, square green space, and affiliated green space are four kinds of green spaces carrying bird activities. The correlation characteristics between natural and artificial influencing factors and the current situation of bird song perception are analyzed. We found that birdsong perception in the high-density built environment presents a complex interaction of "Listener- Environment- Perception." Location, external environment, and internal ecological characteristics impact birdsong perception. The better the environmental characteristics are, the stronger the birdsong perception is. The higher the human interference is, the higher the demand for birdsong perception is, but the perception is weak. Given the residents' birdsong perception needs and the current situation of construction and development, it is proposed to reasonably control and guide the structure of the high-density built environment from the two aspects of improving the quality of the ecological base and reducing human interference and form an optimized improvement path of "Increase quantity - Connecting corridor - Connect the ecological source" "Quality improvement - Optimize vegetation - Co-construction" "Reduce interference - Reduce noise - Enhance perception".

Keywords

green space; perceptual impact assessment; correlation analysis; enhance the sense of scenery; optimize the path

李 荷

1988年生/女/安徽涡阳人/助理研究员/
研究方向为公园城市研究、高密度建成环境
优化、城乡生态规划

黄文圣

1994年生/女/四川成都人/助理规划师/
研究方向为城乡生态规划

杨培峰

1972年生/男/浙江湖州人/博士/教授、博
士生导师/研究方向为城乡生态规划与区域
规划

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: young72@qq.com

基金项目:

成都市哲学社科项目“人本语境下城市公园的生态景观溶解和生态价值转化路径研究”(编号: 2021CS078); 中国博士后基金项目“面向高密度建成环境生态空间韧性提升的协同机制及规划策略研究”(编号: 2022M712638)

城市化进程是自然环境逐渐转变为人工环境,形成高人口集聚、高开发强度和高经济活力的高密度建成环境的建设过程。城市空间品质是衡量高密度建成环境适宜性的关键,其可感知特征能够衡量城市空间品质优劣程度,反映出城市居民对于城市环境的情感状况,令人愉悦的城市声景观是城市空间品质感知的重要组成部分^[1]。景感生态学思想主张将人的五感(视觉、听觉、嗅觉、触觉、味觉)的物理感知和心理感受纳入城市生态环境研究中^[2],认为人类通过感官理解对象,最终以感知(感受和体验)的行为方式和心理特征得以呈现^[3],在此过程中需要关注人的主观思维、感觉和情绪,匹配使用者的栖居环境需求,促使城市空间形成使人受益的舒适感知和审美体验。景感特征是评估高密度人居环境品质的重要组成部分,反映出生态文明建设的整体性特征。听觉维度的景观感知是景感生态学的重要组成部分,令人愉悦的自然声音为主的积极声源可带来令人舒适的景观感知^[4]。国际标准化组织(ISO)定义声景为“特定场景中个人或群体感知、体验及(或)理解的声环境”^[5],动物声景是当前研究的热点之一^[6],其时空变化特征受到包括动物自身响应机制以及植被因子、环境因子、人为干扰等诸多因素的影响^[7],在密度建设的城市环境中尤为突出^[8]。作为各种自然声源的平衡组合所形成的积极声音^[9],自然声景观能够修饰城市噪声并提高声学舒适度^[10],以鸟鸣声为主的自然声景观受到城市居民偏爱,其与城市居民放松、舒适的情绪呈显著正相关^[4]。鸟鸣声在空间上代表了景观的声足迹,包含大量的听觉信息,有助于监测鸟类聚集特征和活动状态^[11],其时空分布可作为城市空间精细化优化的依据^[12]。城市居民的鸟鸣

感知和停留时间与声景体验相关^[13],折射出居民对鸟类保护问题的敏感性认知^[14-15],体现了人与自然和谐以及城市景观的生态可持续性^[16],对构建高品质人居环境极其重要。

当前城市内部自然生态空间被挤压,植被覆盖率、绿地形态以及植被类型等均受到高密度城市建设和高强度人类活动的干扰影响^[17],直接影响城市鸟类活动和鸟鸣感知的空间分布特征^[18]。高密度建成环境内城市声景观构成特征的复杂性,与生态空间的分布特征、植被格局,对鸟类多样性的支撑特征以及人群的感知特征密切相关^[19],加之城市居民对鸟鸣声的感知机理更加复杂^[20],因此探明居民对自然鸟鸣声的感知需求,揭示城市高密度建成环境、居民活动与鸟鸣声感知之间复杂的互动机理,识别鸟鸣声感知的影响因素,有助于进一步理解高密度建成环境对鸟类多样性和活动特征的支撑特征,为构建面向鸟鸣声感知提升的城市空间格局提供针对性的优化策略。

1 高密度建成环境内鸟鸣声感知的影响因素分析

芬兰地理学家格拉诺(Grano)于1929年提出“声景(soundscape)”一词,指特定范围内以听者为中心的整体环境的声音情况^[21]。由于声音感知与感知者和发声者周边的微环境特征以及自身的生理和心理状态密切相关,加之高密度建成环境内充斥着各种声音类型,其声源、分贝、听众、环境不同,城市居民的感知需求和感知现状存在偏差^[22]。此外,生态空间的分布特征影响鸟类栖居特征:区域环境的生态用地规模和生态联通性特征影响区域鸟类的多样性特征;城市水体、山体和绿地等鸟类潜在的水源地和栖息地的空间分布特征和内部景观构成特征影响活动于其

中的鸟类种类、数量和活动行为类型。城市绿色空间作为城市鸟类潜在的食物和巢源空间^[23],是生物多样性的热点空间^[24]和重要的鸟类栖息空间^[25],既有研究表明城市绿色空间面积越大生物多样性可能性越高^[26],尺度超过80hm²以上可以满足鸟类作为栖息地的基本需求^[27-28],小尺度绿色空间则为鸟类觅食等活动提供空间,鸟鸣活动在物候特征较为丰富的灌木层和空间结构较为简单的乔木林中更加丰富^[29]。此外,鸟类对生态环境变化和干扰敏感程度较高^[30],建设开发强度和人类活动强度会干扰鸟类活动,即鸟类的丰富度与城市建筑物的覆盖面积、道路密度、停车场密度、车辆数量以及城市建设干扰呈现负相关^[31]。

高密度建成环境内鸟鸣声与鸟类多样性和活动行为特征、整体建设特征和运行特征密切相关,其影响因素解析为自然式和人工式两类。其中区域环境特征反映出支撑区域性鸟类多样性的生态源地等关键性活动空间特征^[32];城市生态空间格局反映出影响鸟类栖居、觅食等的空间分布特征以及景观生态特征,与城市内鸟类活动的整体性空间分布特征密切相关;城市绿色空间内部的植被构成和组合特征影响鸟类个体的活动类型^[33],直接关联城市居民的鸟鸣声感知。此外,高密度建设空间的开发建设强度影响鸟类多样性特征及其在城市内的活动分布特征^[34],以交通和居民活动为主的人类活动会惊扰鸟类活动^[35-36],并最终反映在鸟类的鸣叫特征上,高密度建成环境内能够被人类感知的愉悦鸟鸣体验才有可能形成高品质的城市声景观特征。

2 研究对象与方法

2.1 研究对象

研究以重庆南岸区高密度建设的核心区

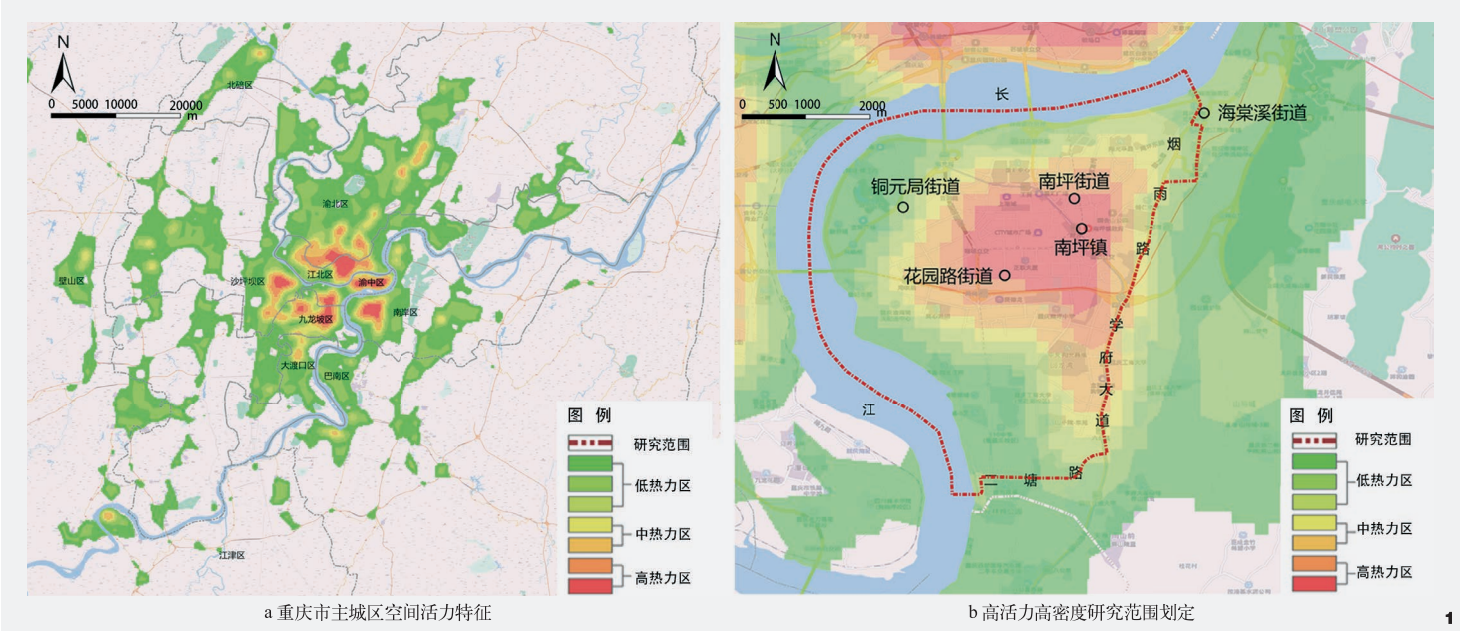


图1 结合城市活力特征所确定的研究对象及其范围
Fig. 1 Research object and scope determined in combination with urban vitality characteristics

为研究对象，按已有规划折算，人口密度高达2.6万人/km²，毛容积率高达2.37，具有高开发强度、高人口集聚的特征，是城市内环范围内高密度建成环境的重要组成部分，亦是当前生态文明建设下人居环境亟待提升的关键性空间。重庆市整体的城市建设逐渐从无序高密度的自由式发展转向有序高密度建设的合理性发展，开始有意通过生态修复修正不合理建设所带来绿色空间的破碎化、人工化、同质化和量少质劣的现状问题^[37]。利用百度热力图解析城市活力空间特征^①可识别出高密度开发的南坪组团是高人口密度的活动空间，也是城市鸟鸣声感知的重点空间^[38-39]（图1），其内部绿色空间呈现出高人工化和景观化特征，仅在邻近长江和南山空间存留一定范围的自然式绿色空间。

2.2 研究方法

通过对遥感影像解译、图斑修正和性质匹配，识别鸟鸣声感知重点空间以及承载鸟类活动的绿色空间，并根据《城市绿地分类标准》（CJJ/T85-2017）对校正后的绿色空间进行分类。利用GIS平台整理问卷调查法所获取的鸟鸣声感知意愿数据，构建居民的鸟鸣声感知意愿地图。匹配声音主观属性、声学效应和声景感知构建鸟类自然声景观空间评价体系，结合专家打分法进行权重赋值获取鸟鸣声感知权重平均值，通过PSPL和“声漫步法”^[40-41]获取鸟鸣声感知现状图。结合居民鸟鸣声感知的影响因素，将区域环境、生态格局、植被特征归为自然式影响因素，建设强度和人类活动归为人工式影响因素，针对高密度建成环境内公园绿地、防护绿地、广

场绿地和附属绿地4类绿地，筛选出22个评价因子（表1）。针对高密度建成环境内公园绿地、防护绿地、广场绿地和附属绿地4类城市绿地，在数据均符合正态分布特征的基础上，采用Pearson相关性分析解析居民的鸟鸣声感知与影响因素之间的相关性特征，对比分析并探明影响机制，探索优化提升策略。

3 研究结论

高密度建成环境内绿色空间的区位特征、形态面积、类型性质以及内部组分的不同会导致居民对鸟鸣声感知差异（表2）：绿色空间与区域环境变量中生态源地的相对关系（距离及连通度）是影响区域鸟类多样性关键，绿色空间形态面积和类型特征受到

① 通过对百度热力图Band4通道结合总人口数据进行矢量化数据扩样，输出每小时的热力图进行平均值计算，得出平均热力图。计算公式为 $H = (\sum H_{d1} + \sum H_{d2} + \sum H_{d3}) / 72$ ，式中 H 代表3 d的平均热力值， H_{d1} 为2021年11月30日（第一天）在第 i 点时刻的热力值， $i = 0:00, 1:00, 2:00, \dots, 23:00$ （一天共24个时刻点）， H_{d2} 为2021年12月1日（第二天）24个时刻的热力值， H_{d3} 则为2021年12月2日（第三天）24个时刻的热力值，得出3 d平均的热力图数据。

表1 城市高密度建成环境鸟鸣声感知的影响因子分类及评价标准
Tab. 1 Classification and evaluation criteria of influencing factors of bird sound perception in urban high-density built environment

影响因素分类		评价指标	评价标准	指标说明	
Classification of influencing factors		Evaluating indicator	Evaluation criteria	Indicator description	
自然式影 响因素	区域环境	河流	与水体距离	建成环境内用地与研究范围外区域最近自然水体的最短距离和最 长距离	区域环境内关键性生态源 地直接影响区域性鸟类多 样性特征,是鸟类活动的区 域性支撑代表性生态要素 ^[1]
		山体	和山体距离	建成环境内用地与研究范围外区域最近自然山体的最短距离和最 长距离	
	生态格局	用地规模	斑块面积	林地、灌木、地被、水体中某一斑块类型的总面积、最大面积、最 小面积	高密度建成环境内生态格 局特征与城市中鸟类活动空 间的分布特征密切相关,是 影响建成环境内鸟类多样 性和鸟类活动的关键因素 ^[6]
		空间格局	斑块类型占景观面 积百分比	不同类型斑块面积占景观面积的比值	
			斑块数量	林地、灌木、地被、水体某一斑块的总数量	
			斑块密度	单位面积内乔木、灌木、地被、水体某一斑块的数量	
			景观破碎度	林地、灌木、地被的斑块数与对应斑块面积的比值	
		斑块形状复杂度	林地、灌木、地被、水体不同类型斑块的周长面积比		
	植被特征	植被结构	植被丰富度	林地、灌木、地被的种类丰富度,分为非常丰富、比较丰富、中等、 不太丰富和极不丰富5个等级	生态空间的植被特征与微 观层面鸟类的活动类型相 关,能够反映出斑块内植被 组合模式对于鸟鸣声感知的 影响特征 ^[18]
			乔木层高度	研究范围内乔木的平均高度	
		植被结构	乔木郁闭度	大样方中乔木的树冠闭合程度,包括5个等级:(1)疏林,树冠闭 合程度[0, 20%];(2)较疏林,树冠闭合程度[20%, 40%];(3)半 疏半密林,树冠闭合程度[40%, 60%];(4)较密林,树冠闭合程度 [60%, 80%];(5)密林,树冠闭合程度[80%, 100%]	
			植被自然度	植被的自然度,包括5个等级:(1)近天然,自然度值[0.8~1.0];(2) 半天然林,自然度值[0.6~0.8];(3)远天然林,自然度值[0.4~0.6]; (4)近人工林,自然度值[0.2~0.4];(5)人工林,自然度值[0~0.2]	
		覆被形态	水体岸线自然度	水体岸线的自然度,包括5个等级:人工岸线、近人工岸线、半人工 半自然岸线、近自然岸线和自然林	
			总用地面积	研究范围内建设空间用地总面积	
	人工式影 响因素	开发强度	容积率	总建筑面积与总用地面积的比值	城市高密度开发建设特征 对鸟类活动产生一定的干 扰,反映出开发强度对鸟类 活动的干扰程度 ^[9]
			建筑密度	建筑占地面积与总用地面积的比值	
			绿化覆盖率	研究范围内全部绿化覆盖面积与区域总面积的比值	
			建筑层数	研究范围内最高建筑层数、最低建筑层数、所有建筑平均层数	
人类活动		高架道路离地高度	针对防护绿地中的高架空间,指防护绿地距离高架桥最短的距离	城市交通特征与居民活动 特征对鸟类活动产生干扰, 影响居民对鸟鸣声的感知, 反映出人类活动对于鸟类 活动和居民感知的干扰程 度 ^[9]	
		交通量	出入口进行实测值统计,对着秒表记录1 min内经过的所有车辆数, 分为5个等级(0~5辆、6~15辆、16~30辆、31~50辆、>50辆)		
		活动人次	出入口进行实测值统计,对着秒表记录1 min内经过的行人数,分为 5个等级(<5人、6~15人、16~30人、31~50人、>51人)		
		环境声声量	研究范围内所有观测点环境声实测分贝值的平均值		

注:环境声是指除了鸟叫之外的所有声音,包括交通、音乐、风声、说话等所有的人工声、自然声和生活声。

城市开发影响,其内部组分关系到鸟类觅食等活动。相关性分析结果整体呈现出生态源地、绿色空间生态复杂性与鸟鸣声感知正相关,人类干扰负相关,但绿地类型和绿色空间组分特征的不同对鸟鸣声感知影响具有差异性,呈现出“听者—环境—声音”之间复杂的互动关系^[42]。

3.1 “听者—环境—感知”复杂的互动关系影响鸟鸣声感知

声景观感知的三个重要要素为听者(individual)、声音(sound)和环境(environment),听者作为声音受体,其主客观因素影响对声音的感知特征;声音通过声压级、声色、频率和时长4个特征变量呈现出不同的感知特

征^[43];环境则影响声音提供者的行为方式,以及声音在环境中的扩散、反射等传播方式,对于城市声音关键构成部分的鸟鸣声而言,高密度建成环境的复杂性决定了三者之间更加复杂的互动关系。

结合研究范围内通过信效度检验的197份鸟鸣声感知满意度调查问卷发现,居民感

表2 高密度建成环境内不同绿色空间与鸟鸣声感知强度的影响相关性分析
Tab. 2 Correlation analysis of the influence of different green spaces on bird sound perception intensity in high-density built environment

生态特征变量 Ecological characteristic variables			皮尔森 (Pearson) 相关性系数 Pearson's correlation coefficient				
变量类别		变量名称	公园绿地	防护绿地	广场绿地	附属绿地	
区域环境	与河流的距离	最长距离	-0.073	-0.698	-0.289	-0.485	
		最短距离	-0.443*	0.674*	0.376	0.551	
	与山林的距离	最长距离	-0.199	-0.527	-0.331	-0.055	
		最短距离	-0.428*	0.617*	0.328	0.344	
自然式影响 因素	斑块面积	林地层斑块面积	最大面积	0.647**	0.407*	0.805*	0.675*
			最小面积	0.012	0.517	-0.430	0.588
			总面积	0.459**	0.386	0.457**	0.497*
		灌木层斑块面积	最大面积	0.008	0.132	0.038	0.215
			最小面积	0.053	0.630	-0.446	0.429
			总面积	0.177	0.508	0.178	0.301
		地被层斑块面积	最大面积	0.419*	0.487*	0.518*	0.481**
			最小面积	-0.155	-0.233	0.366	0.190
			总面积	0.417*	0.485*	0.795*	0.538*
		水体斑块面积	最大面积				0.515*
			最小面积				0.423
			总面积				0.485
	斑块类型占景观面 积百分比	林地层斑块面积占景观面积百分比	0.635*	0.489*	0.346	0.813*	
		灌木层斑块面积占景观面积百分比	0.122	0.240	0.046	0.187	
		地被层斑块面积占景观面积百分比	0.355	0.401*	0.657*	0.459*	
	生态用地	斑块数量	林地层	-0.335	-0.64*	-0.838*	-0.522
			灌木层	0.205	-0.047	0.444	-0.128
			地被层	-0.090	0.141	0.015	-0.271
			水体	0.614			0.512
	斑块密度		林地层	-0.472*	-0.601*	-0.589*	-0.730*
			灌木层	-0.386	-0.131	-0.059	-0.622
			地被层	-0.422*	-0.321	-0.408	-0.453*
			水体	0.611			0.533
	斑块破碎度		林地层	-0.521**	-0.492*	-0.529	-0.860**
			灌木层	-0.400	-0.221	-0.147	-0.470
			地被层	-0.398	-0.46*	-0.436	-0.465*
			水体	0.582			0.566
	斑块周长		林地层	-0.266	-0.573	-0.111	0.427
			灌木层	0.162	0.139	0.314	0.187
			地被层	0.142	0.001	0.639	0.219
			水体	0.422			0.497
	斑块形状复杂度		林地层	-0.392	-0.632*	-0.681	-0.668*
			灌木层	-0.473	-0.464	-0.086	-0.414*
			地被层	-0.412	-0.332	-0.558	-0.559*
			水体	0.615*			0.543*
植被格局	植被丰富度	林地层	0.766*	0.659*	0.406*	0.443*	
		灌木层	0.519*	0.693*	0.368	0.418	
		地被层	0.621*	0.933**	0.819*	0.479*	
	自然度	乔木层高度	0.680*	0.630*	0.421*	0.718*	
		乔木郁闭度	0.850**	0.526*	0.791*	0.737*	
		植被自然度	0.464*	0.572*	0.707*	0.478*	
		水体岸线自然度	0.459*			0.542*	

续上表

生态特征变量		皮尔森 (Pearson) 相关性系数					
Ecological characteristic variables		Pearson's correlation coefficient					
人工式影响 因素	开发强度	总用地面积		-0.060	0.180	-0.181	0.479
		建筑密度			0.783*		-0.741*
		道路与防护绿地的相对高度	道路离防护绿地最高高度		0.926**		
			道路离防护绿地最低高度				
		容积率				0.572*	-0.411*
		绿化覆盖率		0.481*	0.426*	0.437*	0.808*
		建筑层数	建筑最高层数				0.104
			建筑最低层数				-0.538*
			建筑平均层数				0.262
		人类活动	交通量		-0.343	-0.522*	-0.541
活动人次			-0.594**	-0.332	-0.253	-0.411*	
环境声声量			-0.314	-0.714*	-0.422	-0.445*	

注：数据通过信效度检验，且符合正态分布特征，*在 0.05 水平（双侧）上显著相关；**在 0.01 水平（双侧）上显著相关。

知意愿呈现出对鸟鸣声、蝉鸣声、音乐声、流水声的高期望，更希望在公园绿地、广场绿地、小区绿地等空间听到更多鸟鸣声^[44]，希望将鸟鸣声控制在容易被人接受且较为舒适的范围内，反映出居民对折射自然特征的声景观感知的高品质需求（图 2-a，图 2-b）。居民对不同类型绿地现状鸟鸣声的感知满意度，呈现出 18 岁以下和 65 岁以上居民感知满意度较高、女性感知满意度总体低于男性的特征。在整体环境较为安静、轻松的用地空间内，如绿地广场用地、居住用地、文化设施以及科研教育用地，对现状鸟鸣声感知的满意度普遍较高，而在环境较为嘈杂（如工业用地、商业服务业设施用地）、情绪较为紧张的用地空间（如行政办公用地）则普遍较低（图 2-c）。鸟鸣声感知强度与城市空间活力度大致呈现负相关特征，空间活力度低、人群聚集度较少的空间呈现出较好的感知特征，活力较高空间反之（图 2-d），高密度建设和高人口集聚的中心地带的绿地空间，具有更高感知需求和较差的现状感知。临江和临山的绿地存在较优的感知特征，并与开发建设强度和人群活力强度具有较弱关联性。可

见，在高密度的建成环境内“听者—环境—感知”之间的互动关系更加复杂，整体呈现出感知强度分布与城市空间活力负相关的特征，但部分绿色空间的感知特征却因其他影响因素的共同作用表现出不确定性。

3.2 高密度建成环境内鸟鸣声的感知特征及规律

传统建设模式下高密度建成环境更关注居民的活动行为需求，较少考虑其他生物（如鸟类等）活动需求。鸟类需要在高密度建成环境内寻求合适的空间来满足觅食等活动需求，激发匹配不同活动类型的鸟鸣声。居民对鸟鸣声的感知现状折射出空间建设与鸟类活动之间的相关性特征^[45]，但高密度建成环境特征对鸟类活动和听者行为的影响更加复杂。

3.2.1 区位及外部特征影响鸟鸣声感知

区位及外部特征是影响鸟鸣声感知差异的背景与基础。区域性鸟类多样性及鸟类活动受到高密度建成环境外围临近生态源地的影响，结合毗邻区域性河流（长江）沿岸以

及外围山体（南山）的城市空间鸟鸣声感知来看，虽然存在快速路和非正规建设的现状干扰，但感知特征整体呈现出与生态源地之间明显的“近优远劣”，并在生态连通性较好的地段表现更佳。高密度建成环境建设和开发强度逐渐从中心向边缘衰减，为鸟类的自发性和自主性活动提供可能。城市公园绿地在植被构成、生物多样性以及面积等方面普遍优于其他绿地，其感知特征理应更优，但实际调研发现，区位特征、定位和性质的不同会导致公园绿地内部建设状况和景观特征差异，感知体验差距较大，例如毗邻社区（图 2-e），自然度较高且所处环境较为安静的后堡公园呈现更强鸟鸣声感知，而受到商业活动、工程施工、交通噪音等影响的其他公园则较差，表明干扰效应较高的绿色空间难以获得鸟类青睐，各种活动均会被外部环境的干扰所影响。

3.2.2 生态特征愈优鸟鸣声感知愈强

由于各类型绿地内部植被特征的不同，表现为植被丰富度较高、乔木高度较高、植被郁闭度较优、植被自然度以及水体岸线自

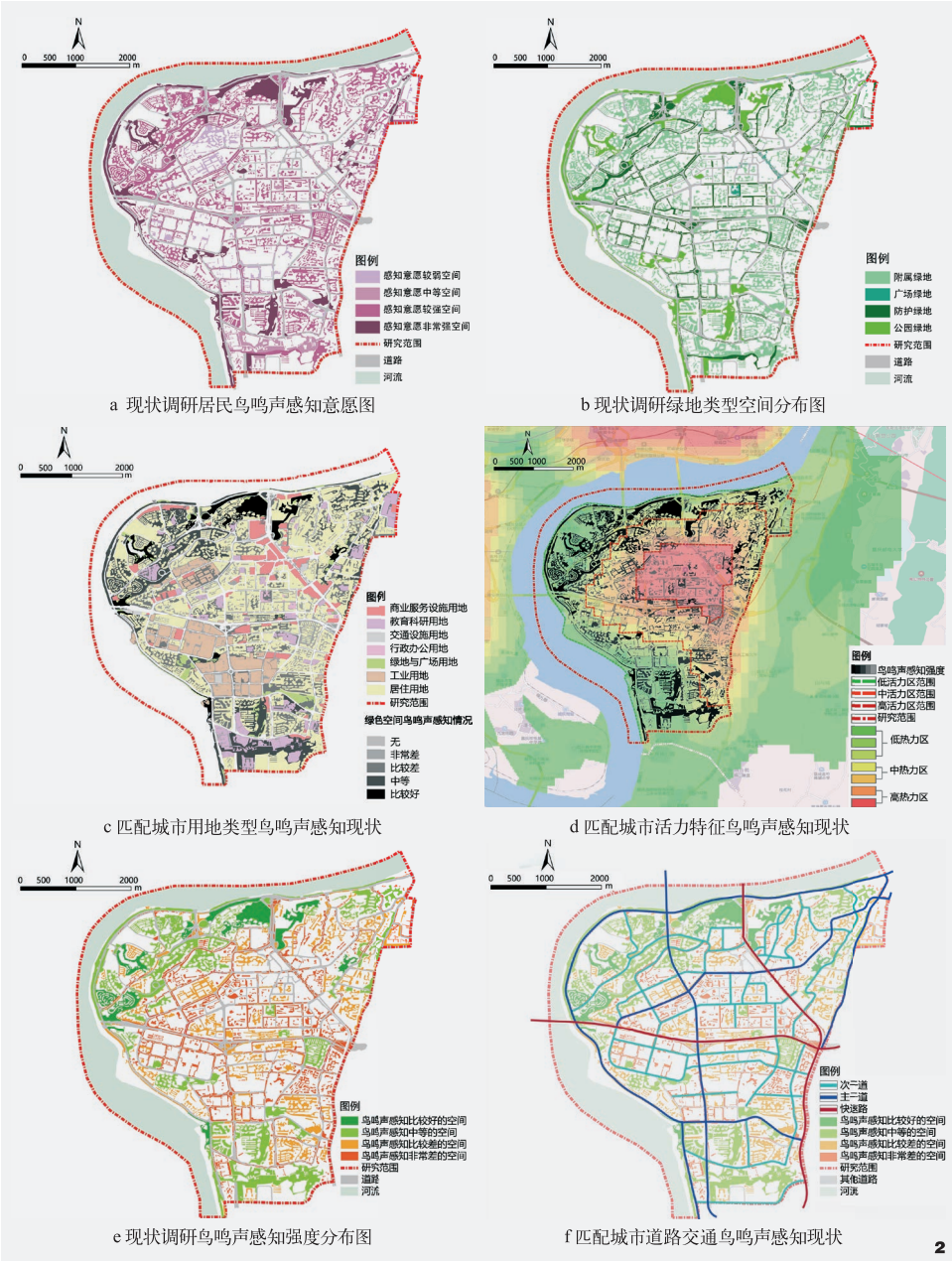


图2 高密度建成环境内鸟鸣声感知意愿及感知现状对比
Fig. 2 Comparison of bird song perception willingness and perception status in high-density built environment

然度较高的空间鸟鸣声感知较优，呈现出生态特征愈优鸟鸣声感知愈强的特征。但同类绿地上差异化的绿色空间特征与鸟鸣声感知的相关性呈现差别：例如公园绿地呈现出乔木郁闭度>林地层植被丰富度>乔木层高度>

地被层植被丰富度>灌木植被丰富度>植被自然度>水体岸线自然度；防护绿地呈现出地被层植被丰富度>灌木植被丰富度>林地层植被丰富度>乔木层高度>乔木郁闭度>植被自然度。忽视生态源地的引力作用来看，绿

色空间斑块面积(CA)越大感知强度越高，破碎度(PF)越大感知强度越差，斑块形状越复杂感知强度越优，具有较优生态特征的绿色空间为鸟类活动提供更多可能性。结合绿色空间特征来看，整体斑块面积、百分比以及植被丰富度、内部乔木林层、灌木林层和地被层的面积特征呈现正相关，破碎度和形状复杂度呈现负相关。公园绿地、社区绿地所对应的绿色空间整体面积较大，内部林地层的生态复杂性(表现在物种丰富度、郁闭度、高度等方面)较高，鸟鸣声感知更优。城市广场用地和防护绿地的地被层植物和灌木植被的丰富度与鸟鸣声感知正相关度较高，可见邻近道路的绿色空间虽然受到道路噪音的影响，但提高物种丰富度会对鸟类活动产生较高的吸引作用。整体而言，提高城市绿地的生态特征有助于提高鸟鸣声感知特征，绿色空间不同特征的相关性差别为精细化修正和提升绿色空间的生态特征提供参考。

3.2.3 人类干扰越大的城市空间呈现出感知需求的供给洼地

人类活动对鸟类的干扰驱逐性明显，导致鸟鸣声感知强度整体上呈现出公园绿地>附属绿地>防护绿地>广场绿地的特征。结合现状用地类型来看，工业用地和商业用地感知较差，居住用地随其内部绿色空间的特征不同而感知强度不同，教育用地中学校园中鸟鸣声感知明显优于中小学空间。交通流量越大的道路两侧绿色空间呈现出较差的感知体验^[35]，但研究范围内道路多存在高架空间，并于立交桥和高架空间下预留一定的绿色空间，可见影响部分路段感知强度的原因是较高的道路噪音影响(图2-f)。交通和人的活动噪音是影响感知的重要因素，邻近城市干道和高强度城市活力中心的绿色空间

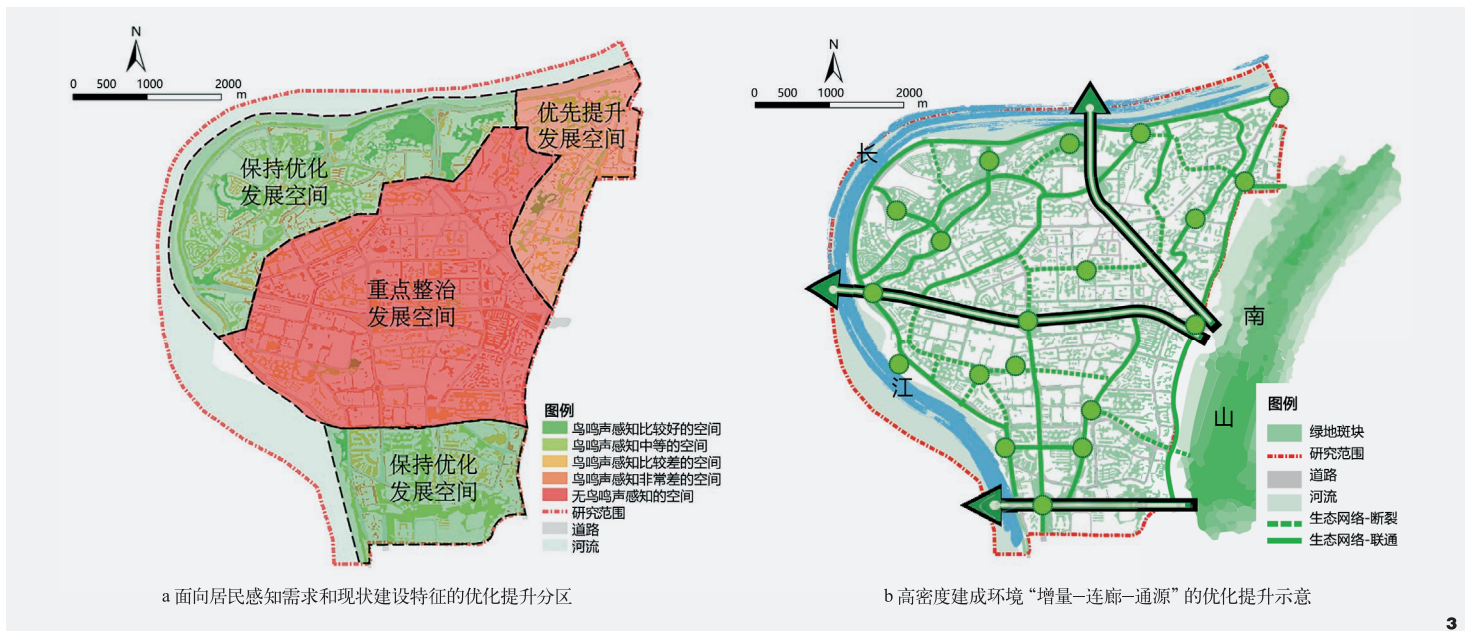


图3 提升高密度建成环境内鸟鸣声感知的优化路径示意
Fig. 3 Optimized path to improve bird sound perception in high-density built environment

感知较弱，反映出居民日常活动以及周边开发建设对鸟类活动的驱逐性和忽视性；高架桥两侧防护绿地林地层的鸟鸣声感知较弱，表明车行交通对鸟类活动的驱逐性^[32]；广场绿地则更进一步验证了人类活动和车行交通对鸟鸣声感知会产生消极影响。社区附属绿地的鸟鸣声感知与建设开发强度和居民活动呈现明显负相关，表现为建筑密度>建筑最低层数>环境声量>交通量>容积率和活动人次的特征。总之，高开发强度与高活力强度的城市空间通常面临较高的鸟鸣声感知需求，但呈现出供给洼地特征，在优化过程中需平衡供给与需求之间的互动关系。

整体来看，高密度建成环境内保留生态特征明显以及自然性状况较好的空间能够满足鸟类活动的需求，并削弱来自周边环境对于鸟类活动的干扰，形成较优的鸟鸣声感知。作为激发鸟鸣声的物质载体，绿色空间虽然为鸟类提供求偶、觅食、嬉戏和筑巢等活动

空间，但弱自然性和强景观性的营建特征往往无法匹敌自然式的生态源地空间，鸟类活动受到食源、水源、巢源的空间分布、城市开发建设以及人类活动的综合影响。较之风声、水流声等自然声景观而言，鸟鸣声的多层次性、丰富性和独特性更加明显^[46]，感知特征与地域特征、物质载体、发声种类相关，有助于增益城市空间体验性和感知舒适性，反映出建成环境的独特性、包容性和自然性特征^[43]。鸟类多样性及其活动多样性会形成更多鸟鸣声，为自然式城市声景观形成提供资源，悦耳的鸟鸣声作为一种具有积极性和自然性的声景观组分，是构成城市声景观的重要组成部分，有助于彰显建成环境宜居性、特色性和高品质特征。

4 优化提升路径

自然式声景观是增益建成环境品质的景观类型之一，因此如何匹配居民需求，增强

鸟鸣声感知，是城市空间精细化优化的关键。在高密度建成环境内增强城市绿色空间对鸟类的吸引特征（提高生态基底质量），并降低建成环境的开发建设以及人类活动对鸟类活动以及居民感知的干扰（降人类干扰）的合理管控和引导性建设（表3），有助于增强居民对自然式鸟鸣声的感知特征。

4.1 增量—连廊—通源：强化鸟类在高密度建成环境内的均衡扩散

高密度建成环境在一定程度上促进了鸟类的进化，使其行为适应城市化特征^[45]。需从匹配鸟类活动行为的角度形成高品质的鸟鸣声感知，增强建成环境内部绿色空间与外部生态源地之间的生态连通性（通源）^[47]，打通鸟类从区域临近生态源地进入城市内绿色空间的路径，在高密度建成环境内形成“集中绿地+连通廊道+小尺度踏脚石”的生境网络系统；匹配高密度建成环境的空间约

表3 高密度建成环境内增强鸟鸣声感知管控指引
Tab. 3 Enhanced bird sound perception control guidelines in high-density built environments

管控维度 Management dimension	指标类别 Index category		指标名称 Index name	影响效应 Influence effect	影响等级 Influence level	管控方式 Management method	
提高生态基 底质量	增强区域环 境联系	与自然河流距离	与自然水系最短距离	—	三	指标结合图 则管控	
		与自然山体距离	与自然山体最短距离	—	三		
	提高生态用 地质量	绿地生态用地	林地层斑块最大面积	+	一	指标结合图 则管控	
			林地层斑块总面积	+	一		
			地被层斑块最大面积	+	二		
			地被层斑块总面积	+	二		
			林地层斑块面积占景 观面积百分比	+	二		
			地被层斑块面积占景 观面积百分比	+	二		
			林地层斑块密度	—	二		
			林地层斑块破碎度	—	二		
			水体生态用地	水体斑块总面积	+		二
				水体斑块数量	+		二
	水体斑块周长	+		二			
	水体斑块形状复杂度	+		二			
	优化植被格 局质量	丰富度	乔木高度	+	一	指标结合建 设引导	
			乔木郁闭度	+	一		
			林地层植被丰富度	+	一		
		灌木层植被丰富度	+	二			
地被层植被丰富度		+	二				
自然度		植被自然度	+	二			
		水体岸线自然度	+	二			
降低人类 干扰	控制城市开发强度	建筑密度	—	一	指标结合图 则管控		
		容积率	—	二			
		建筑最低层数	—	二			
		绿化覆盖率	+	二			
	降低人类活动干扰	交通量	—	二	指标管控		
		活动人次	—	二			
		环境声声量	—	二			
		道路离防护绿地最低 高度	+	一	指标结合图 则管控		
			道路离防护绿地最高 高度	+		一	

注：强显著相关和极强显著相关的影响因素定为一级指标，中等程度相关的影响因素定为二级指标，非显著相关指标定为三级指标，从一级到三级指标管控严格度依次渐降。

束特征，尽可能增加绿色空间规模，为鸟类多样化的活动提供可能；通过增加形态和组合要素的复杂性提高生态空间质量。“增量—连廊—通源”旨在从城市空间整体层面，形成适应鸟类活动特征和满足鸟类多样化活动的空间格局，为鸟类在高密度建成环境内的扩散和活动行为提供支撑（图3）。

4.2 提质—优植—共营：提升绿色空间对鸟类行为的适应和吸引

需结合鸟类的行为特征和生存空间需求对绿色空间进行精细化优化提升，提升高密度建成环境内有限绿色空间的生态质量。“提质”的关键在满足城市景观化需求的基础上，结合鸟类食源需求调整绿色空间的植被构成和食物链网结构，强化可持续性的自然化设计，提升绿色空间的自组织功能，减少人工干预，维持微观环境的稳定性；“优植”则是匹配鸟类四时的活动特征，精细化优化绿色空间内配套设施、植物类型及乔灌木组合关系，强化对于鸟类多样化活动的支撑；“共营”则是侧重公众参与，结合鸟类的行为活动需求增设绿色空间内的吸引物和配套服务空间，将人工式鸟类友好设施融入绿色空间内部^[40]，以吸引更多鸟类留驻并激发鸟类多种活动。为有效解决当前空间约束性以及景观化的建设模式对鸟类活动支撑性不足的现状问题，“提质—优植—共营”的关键在于提升绿色空间生态质量，增强对鸟类吸引性和多样化活动的支撑作用。

4.3 降扰—弱噪—增感：弱化对居民感知鸟鸣声的环境干扰

高密度建成环境内静谧的环境氛围更有利于居民对鸟鸣声的感知。需要结合支持鸟类活动的生境网络，制定弱化两侧建设空

间环境干扰的建设指引，精细化指引邻近城市空间“静谧化”发展。“降扰”侧重于优化城市夜景照明，通过降低照度、强化绿光光谱、弱化紫外线光污染等方式弱化对鸟类活动的干扰；“弱噪”侧重于弱化城市噪音对鸟类的惊扰和驱逐，如引导居民高噪音活动如广场舞等远离鸟类活动的密集空间；“增感”一方面结合生境网络的重要节点，构建鸟鸣声感知的互动场景，另一方面通过增加城市空间内鸟类友好设施，吸引部分鸟类与居民形成适宜的互动活动，如观鸟平台、人工投食设施等，在高密度建成环境内形成特色感知节点和感知路径相结合的鸟鸣声感知游憩网络，增强城市的景观感知特征，以实现高密度建成环境内“人一鸟一城”之间更优的互动体验。

总之，面向自然式城市声景观感知提升的精细化建设引导，是通过正向优化高密度建成环境促进人与自然融合，提供支撑鸟类多样性的生境网络和环境支撑配套等物质基础，为居民感知鸟鸣声提供环境干扰少的感知游憩网络，有助于为高密度建成环境形成适应鸟类行为习惯，吸引鸟类留驻的城市生态景观，引导居民参与鸟鸣声感知体验等活动。

5 总结与展望

研究从声景观三要素出发，结合高密度建设城市空间特征，利用城市活力空间数据、城市绿色空间数据和鸟鸣声感知数据，构建鸟鸣声感知影响要素指标体系，分析了影响因素与鸟鸣声感知特征之间的关系，为高密度建成环境优化鸟鸣声感知提供参考路径。虽然结合人的感知行为以及建成环境的空间建设特征识别出可能影响鸟鸣声感知的要素，利用 Pearson 相关性分析方法能够有效

识别出影响因素与鸟鸣声感知之间正负和强弱的相关特征，但由于鸟鸣声感知数据收集方法的局限性，难以直接关联鸟类多样性和具体活动行为特征，在未来的研究中还需进一步构建感知数据与鸟类活动生态学特征之间的关系，深入探究影响机制。

参考文献

[1] FISHER J C, IRVINE K N, BICKNELL J E, et al. Perceived Biodiversity, Sound, Naturalness and Safety Enhance the Restorative Quality and Wellbeing Benefits of Green and Blue Space in a Neotropical City[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 755: 143095.

[2] ZHAO J, YAN Y, DENG H, et al. Remarks About Landsenses Ecology and Ecosystem Services[J]. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2020, 27(3): 196-201.

[3] 毛齐正, 王鲁豫, 柳敏, 等. 城市居住区多功能绿地景观的景感生态学效应[J]. *生态学报*, 2021, 41(19): 7509-7520.

[4] 许晓青, 庄安顿, 韩锋. 主导音对自然保护区声景感知情绪的影响——以武陵源世界遗产地为例[J]. *中国园林*, 2019, 35(8): 28-33.

[5] ISO. (ISO 12913-1:2014) Acoustics - Soundscape - Part 1: Definition and Conceptual Framework (ISO 12913-1:2014)[S]. 2018.

[6] 肖荣波, 岑渝华, 王鹏, 等. 城市绿地动物声景的时空特征及其驱动因素[J]. *生物多样性*, 2023, 31: 22359.

[7] GÓMEZ O M, FORS I M. A Global Synthesis of the Impacts of Urbanization on Bird Dawn Choruses[J]. *Ibis*, 2021(163): 1133-1154.

[8] CAITLIN, R, KIGHT, et al. Eastern Bluebirds Alter their Song in Response to Anthropogenic Changes in the Acoustic Environment[J]. *Integrative & Comparative Biology*, 2015, 55(3): 418-431.

[9] JOO W, GAGE S H, KASTEN E P. Analysis and Interpretation of Variability in Soundscapes Along an Urban-Rural Gradient[J]. *Landscape & Urban Planning*, 2011, 103(3-4): 259-276.

[10] 郑光美. 北京及其附近地区夏季鸟类的生态分布[J]. *动物学研究*, 1984(01): 33-44.

[11] FREEMARK K. Assessing Effects of Agriculture on Terrestrial Wildlife: Developing a Hierarchical Approach for the US EPA[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1995, 31(1-3): 99-115.

[12] 许晓青, 金云峰, 钟乐. 基于声景资源时空分布特征的自然保护地自然宁静管理与规划[J]. *风景园林*, 2021, 28(12): 58-62.

[13] KHANAPOSHTANIM G, GASC A, FRANCOMANO D, et al. Effects of Highways on Bird Distribution and Soundscape Ddiversity Around Aldo Leopold's Shack in Baraboo, Wisconsin, USA[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 192: 103666.

[14] NIEMELÄ J. Ecology and Urban Planning[J]. *Biodiversity and Conservation*, 1999, 8(1): 119-131.

[15] 陈国建. 城市化对植物物种多样性的影响: 方法, 格局与机制[D]. 上海: 华东师范大学, 2015.

[16] FULLER R A, IRVINE K N, DEVINE W P, et al. Psychological Benefits of Greenspace Increase with Biodiversity[J]. *Biology Letters*, 2007, 3(4): 390-394.

[17] CURZEL F E, BELLOCQ M I, LEVEAU L M. Local and Landscape Features of Wooded Streets Influenced Bird Taxonomic and Functional Diversity[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 66: 127369.

[18] 赵伊琳, 白梓彤, 王成, 等. 城市公园春季声景观与植被结构的关系[J]. *生态学报*, 2021, 41(20): 8040-8051.

[19] 汪元凤, 董仁才, 肖艳兰, 等. 从景感生态学视角分析城市立体绿化内涵与功能——以深圳市为例[J]. *生态学报*, 2020, 40(22): 8085-8092.

[20] JO H I, JEON J Y. Overall Environmental Assessment in Urban Parks: Modelling Audio-visual Interaction with a Structural Equation Model Based on Soundscape and Landscape Indices[J]. *Building and Environment*, 2021, 204: 108166.

[21] 于博雅. 从物理到文化: 声景观研究综述[J]. *建筑与文化*, 2017(07): 113-114.

[22] LEE H M, LIU Y, LEE H P. Assessment of Acoustical Environment Condition at Urban Landscape[J]. *Applied Acoustics*, 2020, 160: 107126.

[23] MORELLI F, BENEDETTI Y, SU T, 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.

[24] NANCAI P A, CHENG W B, JIALI J B, et al. Long-term Afforestation Efforts Increase Bird Species Diversity in Beijing, China - ScienceDirect[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 29: 88-95.

- [25] 魏聪, 刘善思, 刘威, 等. 拉萨市主要城市绿地的繁殖鸟类多样性[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(03): 348-352.
- [26] CLAUDIA S, SCHULZE C H. Functional Diversity of Urban Bird Communities: Effects of Landscape Composition, Green Space Area and Vegetation Cover[J]. Ecology and Evolution, 2015, 5(22): 5230-5239.
- [27] GAVARESKI C A. Relation of Park Size and Vegetation to Urban Bird Populations in Seattle[J]. Condor, 1976(78): 375-382.
- [28] MACGREGOR-FORS I, ORTEGA-ÁLVAREZ R. Fading from the Forest: Bird Community Shifts Related to Urban Park Site-specific and Landscape Traits[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2011, 10(3): 239-246.
- [29] 郝泽周, 王成, 裴男才, 等. 深圳3处典型城市森林的春季生物声景多样性[J]. 林业科学, 2020, 56(02): 184-192.
- [30] LESSI, B F, PIRES, et al. Vegetation, Urbanization, and Bird Richness in a Brazilian Peri-urban Area[J]. Ornitot Neotrop, 2016, 27: 203-210.
- [31] FINNICUM N E. Patterns of Avian Species Diversity Along an Urbanization Gradient in Edinburgh, Scotland[J]. 2012.
- [32] BARBOSA K V D C, RODEWALD A D, RIBEIRO M C, et al. Noise Level and Water Distance Drive Resident and Migratory Bird Species Richness Within a Neotropical Megacity[J]. Landscape and Urban Planning, 2020, 197: 103769.
- [33] SILVA B F, PENA J C, VIANA-JUNIOR A B, et al. Noise and Tree Species Richness Modulate the Bird Community Inhabiting Small Public Urban Green Spaces of a Neotropical City[J]. Urban Ecosystems, 2021, 24(1): 71-81.
- [34] 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.
- [35] SENZAKI M, KADOYA T, FRANCIS C D. Direct and Indirect Effects of Noise Pollution Alter Biological Communities in and Near Noise-exposed Environments[J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2020, 287(1923): 20200176.
- [36] KOGAN P, ARENAS J P, BERMEJO F, et al. A Green Soundscape Index (GSI): The Potential of Assessing the Perceived Balance Between Natural Sound and Traffic Noise[J]. Science of The Total Environment, 2018, 642: 463-472.
- [37] 李荷. 韧性营建: 高密度建成环境内生态空间优化研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2020.
- [38] 王录仓. 基于百度热力图的武汉市主城区城市人群聚集时空特征[J]. 西部人居环境学刊, 2018, 33(02): 52-56.
- [39] 吴志强, 叶锺楠. 基于百度地图热力图的城市空间结构研究——以上海中心城区为例[J]. 城市规划, 2016, 40(04): 33-40.
- [40] 廉英奇, 欧达毅, 潘森森, 等. 不同景观空间类型的声景评价研究[J]. 建筑科学, 2020, 36(08): 57-63.
- [41] 何谋, 庞弘. 声景的研究与进展[J]. 风景园林, 2016(05): 88-97.
- [42] 朱天媛, 刘江, 郭渲, 等. 城市森林公园声景感知的空间差异性特征及其影响因素[J]. 声学技术, 2022, 41(05): 742-750.
- [43] 赵莹, 申小莉, 李晟, 等. 声景生态学研究进展和展望[J]. 生物多样性, 2020, 28(07): 806-820.
- [44] WANG R, ZHAO J. A Good Sound in the Right Place: Exploring the Effects of Auditory-visual Combinations on Aesthetic Preference[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2019, 43: 126356.
- [45] 谢世林, 曹垒, 逯非, 等. 鸟类对城市化的适应[J]. 生态学报, 2016, 36(21): 6696-6707.
- [46] 刘江, 郝珊珊, 王亚军, 等. 城市公园景观与声景体验的交互作用研究[J]. 中国园林, 2017, 33(12): 86-90.
- [47] CLAUZEL C, JELIAZKOV A, MIMET A. Coupling a Landscape-based Approach and Graph Theory to Maximize Multispecific Connectivity in Bird Communities[J]. Landscape and Urban Planning, 2018, 179: 1-16.
- [48] 徐正春, 袁莉, 冯永军, 等. 基于物种落差分析的公园鸟类多样性提升设计——以湖南常德螺湾湿地公园为例[J]. 生态学报, 2019, 39(19): 6981-6989.