基于鸟类生境需求的城市湖岸带设计与修复评估*

——以梁平双桂湖为例

任 璐[1] 袁 嘉[1,2,3] 伍叶丹[1] 徐秋华[4] 游奉溢[5]

1 重庆大学建筑城规学院 重庆 400044
2 重庆大学山地城镇建设与新技术教育部重点实验室 重庆 400044
3 重庆大学三峡库区消落区生态修复与治理研究中心 重庆 400044
4 重庆市梁平区林业局 重庆 404000
5 朴草(重庆)生态环境科技有限公司 重庆 400000

摘要：过度开发和休闲游憩等人类干扰导致湖岸带生境的均质化和退化，影响鸟类生存并制约湖泊湿地的生态服务功能。文章以重庆市梁平区双桂湖国家湿地公园为案例，对 2019 年实施“环境-生物-结构”协同设计的湖岸带修复工程 4 年后的鸟类群落及生境进行调查，结合生境制图法量化生境特征。结果表明：双桂湖湖岸带共有鸟类 49 种、实验区 45 种、对照区 22 种；实验区鸟类香农-威纳指数（北岸 2.665、西岸 2.984）高于东岸对照区（2.563），其中，西岸新增小微湿地面积较北岸更多，水鸟种类及其种群数量增加更为显著。鸟类多样性与生境多样性、鸟类数量与生境丰富度之间呈显著正相关关系（$P<0.01$）。综上可知，修复工程有效促进了鸟类生境单元多样性的增加；构建湖岸带小微湿地和“林-草-湿”复合生境格局能使生境异质性和鸟类多样性得到持续提升。

关键词：城市湖泊湿地；湖岸带；鸟类生境；生物多样性
DOI：10.12169/zgcsly.2024.01.03.0002

Design and Restoration Assessment of Urban Lakeshore Based on Bird Habitat Requirements: A Case Study of Shuanggui Lake in Liangping

Ren Lu[1] Yuan Jia[1,2,3] Wu Yedan[1] Xu Qiuhua[4] You Fengyi[5]

(1. School of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, Chongqing University, Chongqing 4000444, China; 3. Research Center for Ecological Restoration and Control of Water Level Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing University, Chongqing 4000444, China; 4. Forestry Bureau, Liangping 4040004, Chongqing, China; 5. Pucao (Chongqing) Ecological Environment Technology Co., Ltd., Chongqing 400000, China)

Abstract: Anthropogenic interventions like excessive development and recreational activities resulted in the homogenization and degradation of lakeshore habitats and exerted negative impacts on bird survival and

收稿日期：2024-01-03
* 基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目（51808065）；国家自然科学基金项目面上项目（52178031）；国家自然科学基金重点项目（52238003）
第一作者：任璐（2000- ），女，硕士生，研究方向为小微湿地设计。E-mail：Renlu802@163.com
通信作者：袁嘉（1988- ），男，博士，副教授，博士生导师，研究方向为景观规划设计与生态修复。E-mail：jyuan523@vip.163.com

ecological service functions of lake wetlands. Taking Shuanggui National Wetland Park in Liangping District, Chongqing, for a case study, the study investigates the bird communities and their habitats 4 years later after the lakeshore restoration project began to be implemented in 2009, which focused on the coordinated design framework of "environmental elements-biological elements-structure", and quantifies the habitat characteristics using habitat mapping method. The results reveal that there are totally 49 bird species in the Shuanggui lakeshore, among which 45 species are observed in the experimental area and 22 in the control area; the Shannon-Wiener Index for birds is higher on the north shore (2.665) and the west shore (2.984) of the experimental area, compared to the east shore (2.563) in the control area. The west shore has a larger area of micro-wetland than the north shore, thereby with a more significant increase in both the variety and the population sizes of waterfowl species. There is a significant positive correlation between bird diversity and habitat diversity, as well as between bird abundance and habitat richness ($P<0.01$). It is concluded that the restoration project has effectively increased the diversity of bird habitat units, and construction of small and micro-wetlands and integrated "forest-grass-wetland" habitat pattern have continuously improved the lakeshore habitat heterogeneity and bird diversity.

Keywords: urban lake wetland; lakeshore; bird habitat; biodiversity

湖泊湿地是镶嵌于城市硬质基底中的生态斑块，提供观赏游憩、微气候调控和生物生境等重要生态功能。湖岸带作为湖泊水体与陆地之间的交错带，是湖泊与周边环境进行物质和能量交换的重要界面[1]，具有水土保持、缓冲过滤等生态功能，同时为多样的动植物提供栖息地[2]。研究表明，湖泊生态系统中超过 70%的动物物种依赖湖岸带进行觅食、庇护和筑巢等生命活动[3]。然而，城市湖泊周边的密集人口和经济活动使湖岸带易受干扰并造成退化，因此，湖岸带生态修复对于维持湖泊生态系统健康和城市生物多样性至关重要。

在湖泊生态系统中，鸟类通常处于食物链顶端，具有调控生物种群和维持生态平衡的重要作用[4]，并通过传播种子等方式促进植物多样性[5]。鸟类多样性往往能敏感反映湖泊生态的健康状况，是关键的指示动物类群[6]。城市湖泊的湖岸带是鸟类的重要栖息地，但由于人类活动的集中和频繁干扰，导致鸟类生境斑块面积的不断减小和生境质量衰退[7-8]。目前，国内外有关城市鸟类多样性及其生境选择的研究主要侧重于城市绿地[9-11]，鲜有关注城市湖岸带的鸟类多样性维持功能[12]。其中，生境单元制图已成为量化生境组成与结构的重要方法，通过综合运用遥感数据和地面调查数据，构建清晰的鸟类生境分布模型，有助于理解鸟类多样性对城市环境变化的响应，并为评估修复措施对鸟类生境的潜在影响提供了新视角[13-15]。湖岸带生态修复研究多聚焦于自然湖泊[16-18]，城市湖岸带研究倾向于关注其美学价值和游憩服务功能[19]，而针对城市湖岸带鸟类生境的修复实践及科学监测则极为缺乏。

城市湖岸带对鸟类多样性保育至关重要，其生态系统的设计与管理需科学考虑鸟类生境需求。因此，本研究以重庆市梁平区双桂湖国家湿地公园为例，针对生境严重退化的湖岸带，提出旨在提升鸟类多样性的设计技术框架，并通过实证研究评估其修复效果。研究成果能够为城市湖泊鸟类多样性保育及生态系统维护提供科学依据和技术范式。

1 研究区概况

双桂湖国家湿地公园位于重庆梁平区的核心区域，总面积约 349.97 hm^2，是关键的城市生物多样性保育区。双桂湖原为用于农业灌溉和水产养殖的水库，湖岸带整体地势较为平缓，从湖岸高地到湖岸前沿，呈缓坡下降。本研究聚焦于湖泊北岸和西岸的生态修复（图 1）。2016 年之前，研究区域内鸟类生境遭严重破坏，主要存在以下问题：1）北岸湖岸带由单一物种的人工草坪覆盖，维护困难，无法满足鸟类的基本生命活动需求，且受到外来物种如白车轴草（*Trifolium repens*）等的侵害；2）西岸则因农耕和养殖活动导致环境污染，以及人工草坪的植物多样性和结构单一，难以为鸟类提供合适的栖息地。

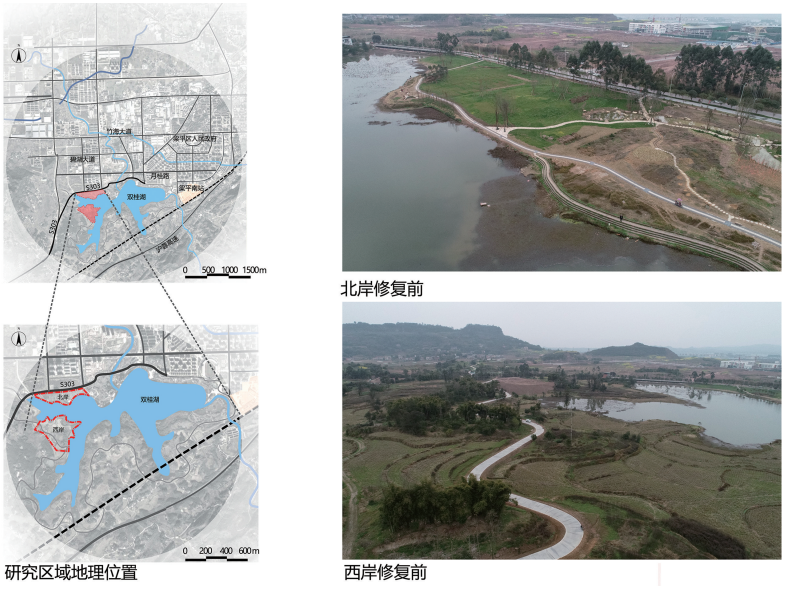


图 1　研究区域示意

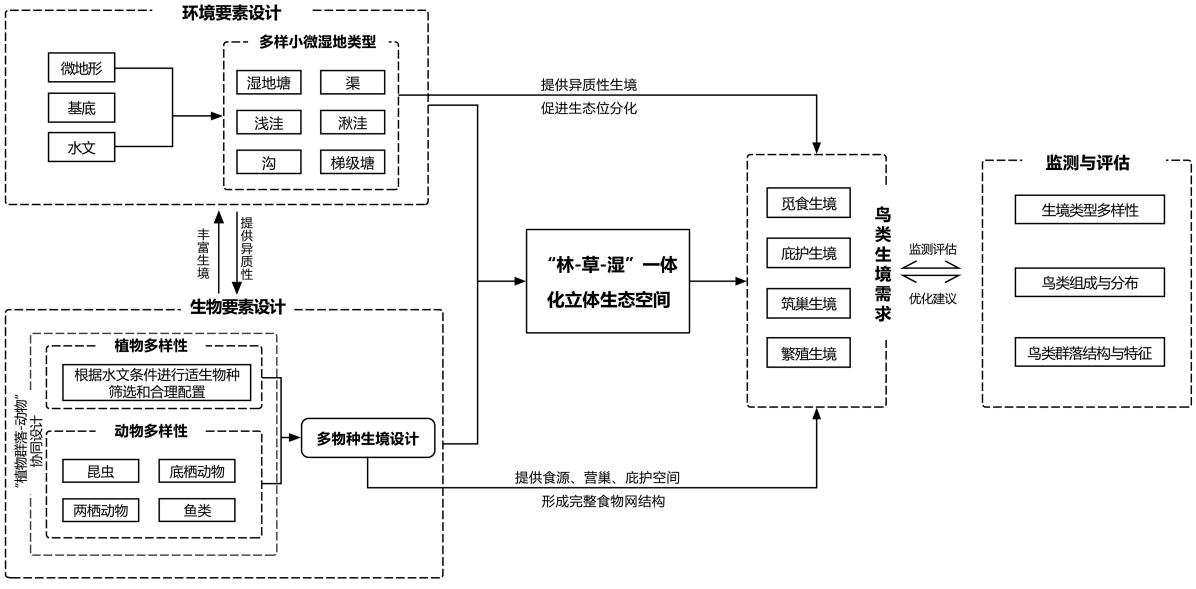


图 2　基于鸟类需求的城市湖岸带修复设计框架

2　基于鸟类生境需求的湖岸带修复技术框架

针对原有湖岸带的人工干扰、生境单一化及生态退化等问题，设计聚焦鸟类基本生境需求的修复技术，具体包括 3 项策略，即环境要素设计、生物要素设计和结构设计，各项技术策略有机协同，构成完整的城市湖岸带修复设计框架（图 2）。

2.1　环境要素设计

针对鸟类觅食、庇护和繁殖等生境需求，并综合考虑城市湖岸带的污染拦截、水源涵养与景观美化等多种生态功能，对微地形、基底及水文这 3 类关键环境要素进行精准配置和优化，形成以小微湿地为主要功能单元的环境要素设计策略。

2.1.1　微地形设计

微地形的变化可以改变阳光照射和降水分布，进而影响土壤养分循环，对土壤动物和植物群落的组成及结构产生重要影响[20]，为鸟类提供多样的生境。本文通过营建一系列在自然湖岸中广泛存在的洼地、水塘、水沟等微地形，增加湖岸带的生境多样性和复杂性。

在双桂湖国家湿地公园北岸区域，通过微调

地表高程，创建形态、面积（5~15 m^2）与深度（10~50 cm）各异的湿塘和浅洼，并利用挖出的土方塑造草丘与土垄。这些设计旨在增加湖岸带下垫面粗糙度和径流滞蓄能力，形成多样化的水热组合条件[21]，提升湖岸带的生境异质性并有利于不同植物和鸟类的共存（图 3）。在西岸，基于原有的梯级水田，设计沿等高线展布的梯塘结构，并在其中构建草丘、浅滩等微地形。这些微地形结构的多样性和组合配置，为水鸟提供了多样化的栖息地，并为水生昆虫和两栖动物的繁殖提供了重要生境，从而丰富了鸟类的食物来源，进一步吸引鸟类到访或留居（图 4）。

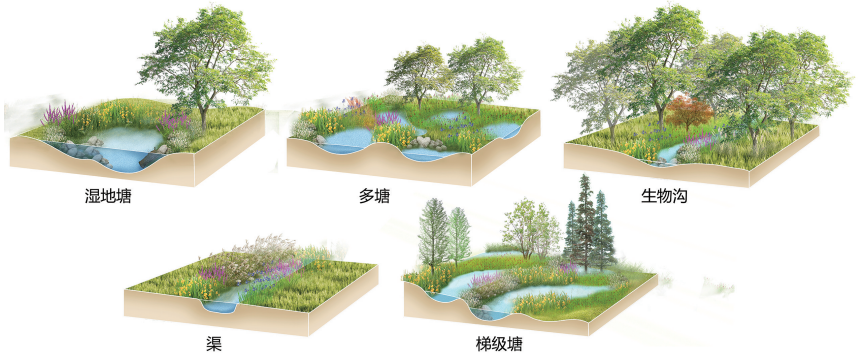


图 3 北岸小微湿地及其要素

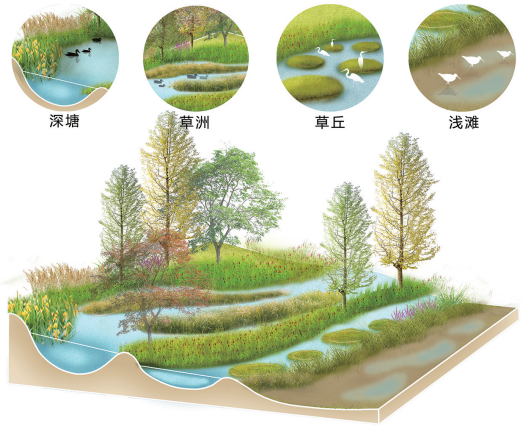


图 4 西岸梯塘小微湿地及其要素

2.1.2 基底设计

基底对湿地生物生存和维持湿地生态系统稳定具有重要作用[22]。设计采用本地黄黏土优化小微湿地基底，增强防渗能力，在其上铺设壤土以利植被恢复，并提升缓冲净化效能。此外，部分小微湿地边缘应用砾石、卵石与倒木等自然材料形成多孔隙基底，为鱼类、虾蟹、水生昆虫和两栖类动物提供巢穴生境，确保鸟类食物稳定。

2.1.3 水文设计

水文连通是湿地斑块之间维持物质与能量交换和循环的关键[23]。双桂湖湖岸带的水文设计包括横向的湖岸-湖泊连通、纵向的小微湿地连通以及地表水与地下水的垂向交流。通过布置如植草沟等线性湿地结构，实现水流的拦截与引导，促进雨水在小微湿地中的蓄存与净化，并通过溢流或潜流补给湖泊。各类小微湿地之间通过浅沟和潜流实现水文连通，促进植物扩散和植物群落的自然野化。小微湿地也有助于增强水分存储，并改善地表水-地下水的垂向交换能力。

2.2 生物要素设计

基于动植物之间的相互作用及其对湿地生态系统稳定性的维持作用[24]，将植物筛选及配置与多物种生境需求相结合，形成“植物群落-鸟类”协同的生物要素设计模式（表 1）。在此基础上，引入自播植物，促进群落自然野化[25]，旨在形成物种组成及结构更为丰富多样的植物群落，有助于拓展空间生态位，促进螺、蚌等底栖动物、昆虫、鱼类和两栖类等不同生态位的生物共存，满足不同食性鸟类的觅食需求并优化食物网结构。

2.3 结构设计

以小微湿地设计营建为基础，优化植被等结构要素，构建“林-草-湿”一体化的复合生境格局，实现生境多样化和连续性（图 5）。北岸保留原有的桉（*Eucalyptus robusta*）、垂柳（*Salix babylonica*）等大乔木，增加林地面积，新增池杉（*Taxodium distichum* var. *imbricarium*）、落羽杉（*Taxodium distichum*）、朴树等乔木丰富林分并提高垂直结构复杂性，改善陆生鸟类的栖息生境。沿湖泊水体设计小微湿地群和水生植物群

表 1　“植物群落-鸟类”协同的生物要素设计模式

目标类群	生境设计策略	主要植物
草丛鸟	筛选适宜湖岸带水分条件、植株较高的禾本科植物，创建高草丛生境，为草丛鸟提供庇护与筑巢空间	蒲苇（*Cortaderia selloana*）、狼尾草（*Pennisetum alopecuroides*）、斑叶芒（*Miscanthus sinensis*）细叶芒（*Miscanthus sinensis*）
林栖鸟	扩展乔木群落，增加林地面积和群落层次，构建具有林窗、林下较为丰富的复层疏林群落，为林栖鸟提供筑巢、夜栖与庇护生境	乌桕（*Triadica sebifera*）、朴树（*Celtis sinensis*）栾（*Koelreuteria paniculata*）黄葛树（*Ficus virens*）
水禽	丰富沉水植物，改善水质并为鱼类和底栖动物提供生境，确保水禽的食物供应；在各类小微湿地边缘配置挺水植物，构建湿草甸群落，为水禽提供夜栖和繁殖育雏生境；在浅滩及草洲中，保留一部分裸土与低矮自然草本植被交混镶嵌，形成适宜涉禽觅食的生境	沉水植物群落：苦草（*Vallisneria natans*）、黑藻（*Hydrilla verticillata*）、金鱼藻（*Ceratophyllum demersum*） 湿草甸群落：水葱（*Schoenoplectus tabernaemontani*）、黄菖蒲（*Iris pseudacorus*）、千屈菜（*Lythrum salicaria*）、灯心草（*Juncus effusus*） 浅滩草洲：白茅（*Imperata cylindrica.*）狗牙根（*Cynodon dactylon*）

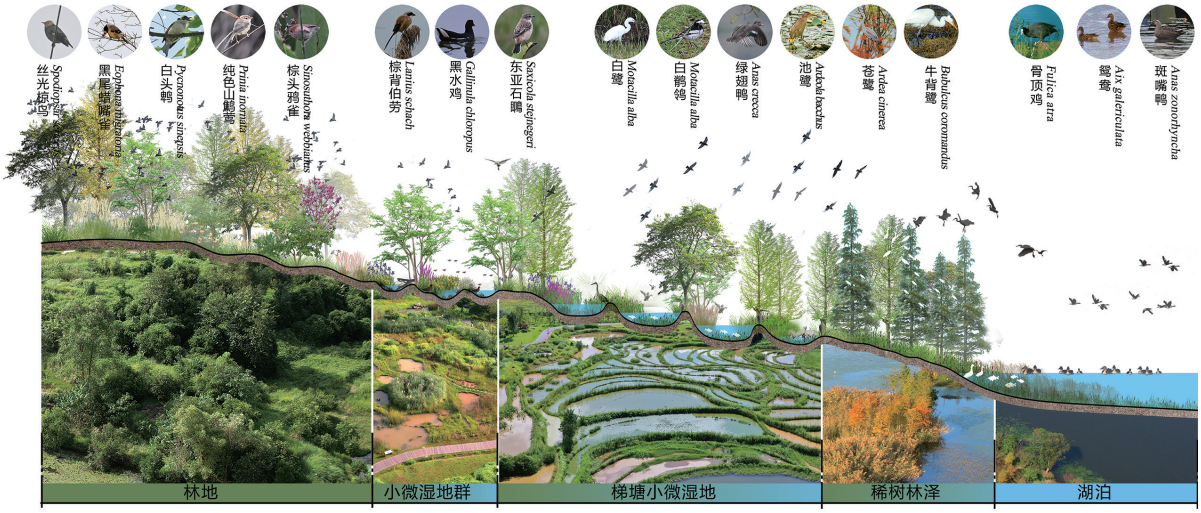


图 5　双桂湖湖岸带的“林-草-湿”一体化复合生境格局

落，缓冲人类活动对水鸟的干扰。小微湿地内引入大花萱草（*Hemerocallis hybridus*）、钓钟柳（*Penstemon campanulatus*）、黄金菊（*Euryops pectinatus*）等蜜粉植物吸引传粉昆虫，保障植物繁殖，丰富食虫鸟类食源。西岸保留原有竹林和乔木林，在浅水岸带种植以乌桕、池杉为优势种的稀树林泽，形成林鸟、水鸟夜栖地。梯塘湿地中种植菰（*Zizania latifolia*）、菱（*Trapa natans*）、慈姑（*Sagittaria trifolia* subsp. *leucopetala*）等水生经济植物，提供食植性鸟类食物并实现可食用小微湿地景观。

3　修复效果评估

3.1　调查与分析方法

选择双桂湖北岸、西岸内修复后湖岸带为实验组，选择坡度、土壤、原有植被及人类活动干扰等环境条件相似且未进行修复设计的东岸为对照组（图 6），于 2023 年 7 至 12 月进行鸟类群落调查。各岸段均设置两条平行样线，季度性开展地面调查。调查在晴朗、鸟类活跃的清晨和傍晚进行，以 1.5～2.0 km·h^{-1}速度沿样线行走，对样线两侧 100 m 范围内的鸟类进行观测，记录其种类、数量与分布。参考《中国鸟类野外手册》[26]《中国鸟类分布与名录》（第 3 版）进行种类鉴定并确定其生态类群、居留型和食性[27]。

记录并分析实验组和对照组内鸟类生境的类型、数量及其分布情况。结合航拍影像和生境单元分类系统[14]，对岸段生境进行可视化和量化。利用 eCongition 对地表覆盖物进行初步分类，将结果导入 ArcGIS，并通过实地核验与人工目视解译精细化分类，完成实验组与对照组的鸟类生境单元制图（图 6）。最后，使用 Fragstats 4.2 软件分析景观格局，得出生境丰富度（PR）和生境多样性指数（SHDI）。

采用 Shannon-Weiner 指数计算鸟类多样性，计算公式为：

$$H = -\sum P_i \ln P_i \qquad (1)$$

采用 PieLou 指数计算鸟类均匀度，计算公式为：

$$J = H/\ln S \quad (2)$$

式（1）（2）中：H 为鸟类多样性指数；J 为鸟类均匀度；P_i 表示第 i 个物种个体数占总数的比例；S 为物种数。

3.2 调查结果

3.2.1 鸟类生境类型多样性

各级生境单元构成方式如表 2 所示，生境制图（图 6）直观展示了湖岸带的生境单元分类层级、主要生境类型及其分布。与未修复的东岸相比，修复后的北岸与西岸展现出更丰富的生境单元和更高的生境多样性指数（SHDI）（表 3）。提升的生境多样性与复杂性为各类鸟类提供了优质的生存环境，有助于维持湖岸带生态系统的完整与健康。

表 2 各级生境单元组成

一级生境		二级生境	三级生境	四级生境因子
林地	乔木林（A）	针叶林（A_1）	单层林 A_XV_2	平坦地坡度<3%（T_1）
		阔叶林（A_2）	双层林 A_XB_X/A_XC_X	微地形缓坡坡度（3%~30%）（T_2）
		混交林（A_3）	多层林 $A_XB_XC_X$	陡坡山地坡度>30%（T_3）
		竹林（A_4）		
	灌木林（B）	矮乔木（B_1）	单层林 B_1V_2	
		灌木（B_2）	双层林 B_1C_X	
	地被（C）	草地（C_1）	—	
		草甸（C_2）		
		高草草本（C_3）		
水域	水体（D）	水面（D_1）	—	浅滩<15 cm（H_1）
				浅水水面（15~30 cm）（H_2）
				深水水面>30 cm（H_3）
	水生植物盖区（E）	挺水植物盖区（E_1）	—	—
		浮水植物盖区（E_2）	—	—
人工表面	建筑（F）	建筑（F_1）	—	铺砖场地 V_1
	场地或设施（G）	场地道路（G_1）	—	木质铺装 V_2
		设施及其他构筑（G_2）	—	

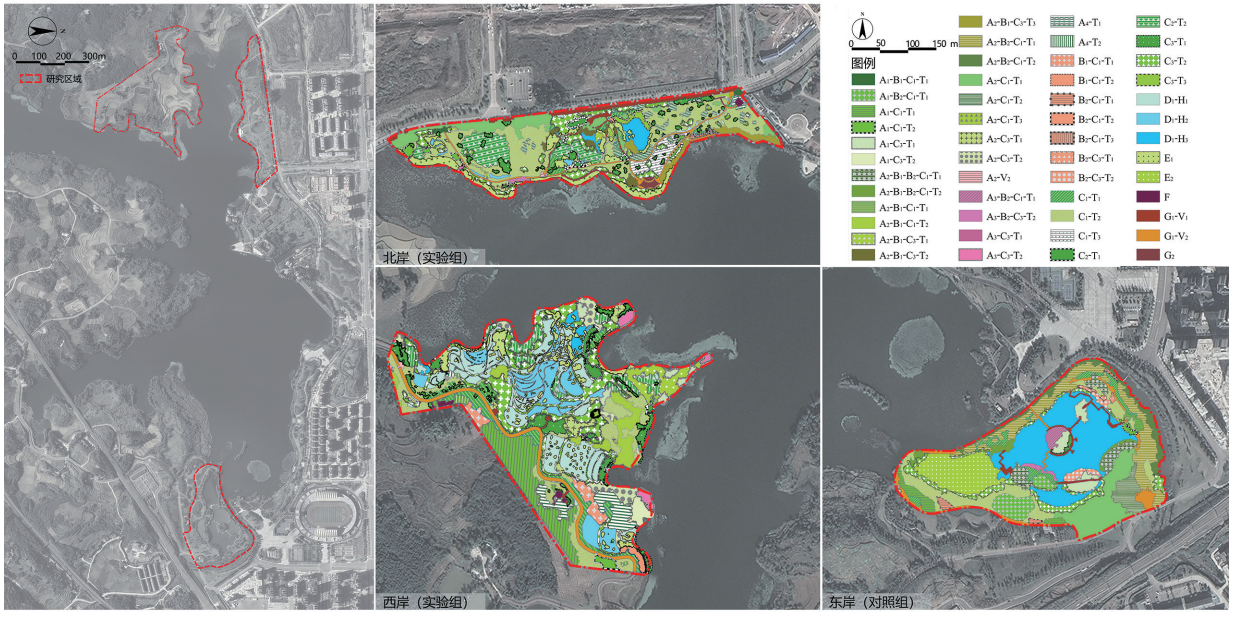


图 6 双桂湖湖岸带鸟类生境单元制图

表 3 各级生境单元类型多样性

湖岸带	一级生境单元类型数量	二级生境单元类型数量	三级生境单元类型数量	四级生境单元类型数量	PR	SHDI
北岸	6	14	18	29	29	2.716
西岸	6	13	17	30	30	2.901
东岸	5	9	16	23	23	2.662

北岸通过构建湿塘、洼地、沟渠等多样化的小微湿地提高了生境丰富度（PR），其生境单元种类和鸟类生境空间异质性均超过东岸（图 7）。多样化的生境孕育了丰富的水生昆虫、鱼类、虾类及软体动物，为鸟类提供了丰富的食物源，而食物资源的多样性与鸟类多样性密切相关[28]，从而促进了鸭科和椋鸟科等杂食性鸟类以及伯劳科等肉食性鸟类的种类和数量增加。原有林地区域在“林-草-湿”立体生境格局的优化下，为更多鸟类提供了觅食、栖居和庇护的有效生境，而新增的大乔木和高草丛群落则为黑尾蜡嘴雀（*Eophona migratoria*）、珠颈斑鸠（*Streptopelia chinensis*）等鸟类提供了避人干扰的栖息地。



图 7　修复后北岸鸟类生境

分析结果显示，西岸相较于东岸拥有更为多样化的水域生境，展现出更高的生境多样性指数（SHDI）。西岸设计通过构建不同深度的梯塘，形成从浅滩到深塘的多样化栖息环境，促进了鸟类多样性（图 8）。这些不同类型及深度的水域提升了生境丰富度（PR），特别是富含挺水和浮叶植物的区域，为雁形目、鸡形目的水鸟提供了丰富的食物源和适宜的栖息地。此外，西岸的梯塘湿地也吸引了如白鹡鸰（*Motacilla alba*）、珠颈斑鸠、东亚石鹏（*Saxicola stejnegeri*）等林栖鸟前来觅食活动。白鹭（*Egretta garzetta*）、彩鹮（*Plegadis falcinellus*）等涉禽偏好在水塘中觅食，斑嘴鸭（*Anas zonorhyncha*）、绿翅鸭（*Anas crecca*）等游禽则偏好在深塘水面游动或在塘基上成群休憩。这说明西岸多样化的湿地生境对提升鸟类多样性及生态系统功能发挥了关键作用。



图 8　修复后西岸鸟类生境

3.2.2　鸟类种类组成及分布特征

共记录鸟类 770 只次，涵盖 11 目 31 科 49 种（表 4）。北岸观测到鸟类 288 只，包含 6 目 17 科 24 种，其中雀形目占 70.83%；西岸观测到鸟类 305 只，涉及 8 目 21 科 36 种，其中雀形目占 47.22%，鹅形目占 25%。西岸记录到国家级重点保护野生鸟类 2 种，包括国家Ⅰ级重点保护的彩鹮和国家Ⅱ级重点保护的雀鹰，彩鹮为重庆市新

表 4 实验区及对照区鸟类组成及数量

目	科	种名	留居类型*	北岸	西岸	东岸
佛法僧目	翠鸟科 Alcedinidae	普通翠鸟 *Alcedo atthis*	R	1	0	1
鸽形目	鸠鸽科 Columbidae	山斑鸠 *Streptopelia orientalis*	R	6	8	2
		珠颈斑鸠 *Streptopelia chinensis*	R	6	6	2
鹤形目	秧鸡科 Rallidae	骨顶鸡 *Fulica atra*	R	0	4	0
		黑水鸡 *Gallinula chloropus*	R	7	9	0
		红胸田鸡 *Porzana fusca*	R	1	0	0
鸻形目	彩鹬科 Rostratulidae	彩鹬 *Rostratula benghalensis*	R	0	1	0
	鹬科 Scolopacidae	白腰草鹬 *Tringa ochropus*	W	0	1	0
鸡形目	雉科 Phasianidae	环颈雉 *Phasianus colchicus*	R	0	1	0
啄木鸟目	啄木鸟科 Picidae	灰头绿啄木鸟 *Picus canus*	R	0	0	1
鹃鹛目	鹃鹛科 Podicipedidae	小鹃鹛 *Tachybaptus ruficollis*	R	2	0	2
雀形目	鹎科 Pycnonotidae	白头鹎 *Pycnonotus sinensis*	R	23	5	20
		黄臀鹎 *Pycnonotus xanthorrhous*	R	4	0	4
	伯劳科 Laniidae	棕背伯劳 *Lanius schach*	R	5	9	4
	鸫科 Turdidae	乌髇 *Turdus mandarinus*	R	0	0	23
	鹡鸰科 Motacillidae	白鹡鸰 *Motacilla alba*	R	7	8	5
	卷尾科 Dicruridae	黑卷尾 *Dicrurus macrocercus*	S	0	2	1
		八哥 *Acridotheres cristatellus*	R	23	3	19
	椋鸟科 Sturnidae	灰椋鸟 *Spodiopsar cineraceus*	W	16	0	7
		丝光椋鸟 *Spodiopsar sericeus*	R	47	15	30
	柳莺科 Phylloscopidae	黄眉柳莺 *Phylloscopus inornatus*	T	2	2	2
	梅花雀科 Estrildidae	白腰文鸟 *Lonchura striata*	R	56	0	0
	雀科 Passeridae	麻雀 *Passer montanus*	R	4	0	0
	扇尾莺科 Cisticolidae	纯色山鹪莺 *Prinia inornata*	R	14	9	5
		北红尾鸲 *Phoenicurus auroreus*	W	3	2	2
		东亚石 *Saxicola stejnegeri*	W	0	5	0
	鹟科 Muscicapidae	蓝额红尾鸲 *Phoenicurus frontalis*	R	0	0	1
		紫啸髇 *Myophonus caeruleus*	R	0	1	0
		鹊鸲 *Copsychus saularis*	R	0	1	0
	鹀科 Emberizidae	灰头鹀 *Emberiza spodocephala*	W	8	0	6
		小鹀 *Emberiza pusilla*	W	2	0	0
	鸦科 Corvidae	红嘴蓝鹊 *Urocissa erythroryncha*	R	0	7	0
	燕雀科 Fringillidae	黑尾蜡嘴雀 *Eophona migratoria*	R	2	1	0
		金翅雀 *Chloris sinica*	R	0	2	0
	莺鹛科 Sylviidae	棕头鸦雀 *Sinosuthora webbianus*	R	16	0	0
	噪鹛科 Leiothrichidae	白颊噪鹛 *Garrulax sannio*	R	30	20	32
	长尾山雀科 Aegithalidae	红头长尾山雀 *Aegithalos concinnus*	R	0	7	7
鹈形目	鹮科 Threskiorothidae	彩鹮 *Plegadis falcinellus*	T	0	1	0
	鹭科 Ardeidae	白鹭 *Egretta garzetta*	R	0	59	1
		苍鹭 *Ardea cinerea*	R	0	2	0
		草鹭 *Ardea purpurea*	T	0	1	0
		池鹭 *Ardeola bacchus*	R	3	5	0
		大白鹭 *Ardea alba*	S	0	8	0
		牛背鹭 *Bubulcus coromandus*	S	0	5	0
		夜鹭 *Nycticorax nycticorax*	S	0	4	0
		中白鹭 *Ardea intermedia*	S	0	24	0
雁形目	鸭科 Anatidae	斑嘴鸭 *Anas zonorhyncha*	R	0	23	0
		绿翅鸭 *Anas crecca*	W	0	43	0
鹰形目	鹰科 Accipitridae	雀鹰 *Accipiter nisus*	T	0	1	0
总物种数/总个体数				24/288	36/305	22/177

注:R 为留鸟,S 为夏候鸟,W 为冬候鸟,T 为旅鸟

纪录种;东岸对照组共记录鸟类 177 只,隶属 6 目 17 科 22 种,雀形目占 72.73%,其余目鸟类未超过 3 种。

北岸和西岸的修复设计有效地满足了多样化的鸟类需求。北岸湿塘和高大挺水植物吸引了黑水鸡等水鸟,为它们提供食物和隐蔽的繁殖地。小微湿地边缘的卵石、倒木等自然材料,提供了水生昆虫和两栖类动物需求的孔穴生境,从而吸引了池

鹭、棕背伯劳等肉食性鸟类的到访。白腰草鹬、彩鹬等鸻鹬类水鸟只在西岸分布，并集中在浅滩生境活动。西岸梯塘内的香蒲（*Typha orientalis*）、慈姑等挺水植物通过围合水道与水面，为水鸟提供了私密性良好的小生境。草丘、草洲等生境中有大量黑水鸡、夜鹭、白鹭等水鸟栖息（图 8）。此外，沟、渠等线性湿地结构不仅保证了湖岸带水体的流动性，也为八哥、珠颈斑鸠等林栖鸟提供了饮水和觅食场所。

通过构建“林-草-湿”立体生境格局，在湖岸带营建了多样的植物群落和小微湿地生境，显著扩展了林地和草地面积并丰富了它们的层次结构，提升生境异质性，进而为鸟类创造了丰富的生态位。在北岸，落羽杉、桑（*Morus alba*）、构（*Broussonetia papyrifera*）等形成的混交林为白头鹎、白颊噪鹛、八哥等林栖鸟类提供了理想的觅食场所，同时成为近水鸟类如普通翠鸟、黑卷尾等的优选栖息地。水际线附近的稀树林泽中则有大量白鹭、苍鹭、夜鹭等鹭科鸟类栖息和营巢。与东岸未修复区域相较，北岸和西岸的修复工程显著增加了棕头鸦雀、纯色山鹪莺、灰头鹀等小型草丛鸟类的数量。这一变化归功于浅洼湿地中白茅、钻叶紫菀（*Symphyotrichum subulatum*）、毛花雀稗（*Paspalum dilatatum*）等自生植物构建的草甸群落，为草丛鸟类提供了优良的庇护生境。由此可见，设计为特定鸟类提供了专属的栖息和觅食环境，提升了湖岸带的鸟类多样性。

3.2.3　不同岸段的鸟类群落结构及特征

本研究记录到的鸟类可划分为鸣禽、陆禽、游禽、涉禽、攀禽和猛禽 6 个生态类群。北岸主要观测到鸣禽 17 种，涉禽 3 种，游禽 1 种，表明鸣禽在该区域占主导地位。西岸则记录到鸣禽 17 种，涉禽 12 种，游禽 3 种，西岸新增的小微湿地面积较北岸更多，因此以涉禽与游禽为主的水鸟种类及其数量增加更为显著。东岸对照组观测到鸣禽 14 种，陆禽与攀禽各 2 种，游禽与涉禽各 1 种。以上说明修复设计提升了北岸与西岸的鸟类生境多样性和适宜性，尤其提升了应对水鸟及鸣禽的栖息和繁衍等生命活动的支持功能。居留型方面，留鸟占总记录的 67.33%，共有 33 种，直观反映了修复后湖岸带为鸟类留居繁殖提供了极为适宜的条件。同时，也记录到了 7 种冬候鸟，如赤麻鸭（*Tadorna ferruginea*）、鸳鸯（*Aix galericulata*）等，主要在近岸水域活动；绿翅鸭、斑嘴鸭大量聚集在小微湿地中活动。

鸟类多样性指标分析（表 5）显示，北岸与西岸的鸟类丰富度和多样性指数均高于东岸，而西岸鸟类的多样性指数则显著高于东岸对照组，说明了湖岸带修复对鸟类多样性保护的积极效果。由表 6 可知，鸟类多样性指数与生境多样性（SHDI）显著正相关（$P<0.01$），鸟类数量与生境丰富度（PR）亦正相关（$P<0.01$），这说明增强生境类型和多样性有效提升了湖岸带的鸟类多样性和种群数量；也说明通过对原有人工缓坡、单一草地或农地进行微地形、基底、水文和生物群落等要素的综合协同设计，实现了城市湖岸带鸟类生境多样性与鸟类多样性的提升。

表 5　各岸段鸟类丰富度及多样性指数

类型	北岸	西岸	东岸
物种丰富度	24	36	22
香农-威纳指数 Shannon-Weiner index	2.665	2.984	2.563
均匀度指数 Pielou evenness index	0.839	0.833	0.829

表 6　Pearson 相关性分析结果

项目	物种多样性指数	物种丰富度	鸟类数量
面积（TA）	0.790	0.848	0.218
生境丰富度（PR）	0.777	0.709	1.000 **
生境多样性（SHDI）	1.000 **	0.995	0.768

注：** 表示不同处理间差异显著（$P<0.01$）。

4　结语

本文针对城市化背景下湖岸带的生境均质化和质量退化问题，以双桂湖湖岸带为例，提出了以“环境-生物-结构”多要素协同设计的创新修复策略。基于提升鸟类多样性的现实目标，该策略通过构建小微湿地系统，显著增强了湖岸空间的生境异质性，并通过建立“林-草-湿”一体化复合生境格局，为鸟类提供了丰富的空间生态位、食物源和繁殖庇护地，显著增加了鸟类多样性。2022 年 6 月，重庆市梁平区被授予“国际湿地城市”荣誉，双桂湖国家湿地公园作为该区域湿地生态保护和景观建设的核心，受到了国际社会和学术界的广泛赞誉。这一城市湖岸带修复设计框

架，不仅为鸟类生境恢复提供了科学依据和实践模式，也为城市化环境中生物多样性保护提供了重要参考，具有广泛的应用价值和指导意义。

本研究受时间限制，对修复后湖岸带鸟类种群的长期、系统性监测仍需加强。未来研究应对湖岸带鸟类及其他生物进行持续监测，了解其数量及分布的变化趋势，识别影响其数量和结构的关键因素，并基于实际生态需求调整生境管理策略。此外，应进一步探究复杂城市化干扰下湖岸带鸟类多样性的维持机制，辨识鸟类群落对湖岸带环境变化的响应机理，以及鸟类与其他生物间的交互影响，为湖岸带鸟类生境的科学营建、湖泊湿地生态系统的综合健康与城市生物多样性保育提供精准指导。

参考文献

[1]尹澄清.内陆水—陆地交错带的生态功能及其保护与开发前景[J].生态学报,1995,15(3):331-335.

[2] NILSSON C, BERGGREN K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation[J]. BioScience, 2000, 50(9): 783-792.

[3] VADEBONCOEUR Y, MCINTYRE P B, VANDER ZANDEN M J. Borders of biodiversity: life at the edge of the world's large lakes[J]. BioScience, 2011, 61(7): 526-537.

[4] MACGREGOR-FORS I, BLANCO-GARCÍA A, LINDIG-CISNEROS R. Bird community shifts related to different forest restoration efforts: a case study from a managed habitat matrix in Mexico[J]. Ecological Engineering, 2010, 36(10): 1492-1496.

[5] HELENO R H, ROSS G, EVERARD A, et al. The role of avian 'seed predators' as seed dispersers[J]. Ibis, 2011, 153(1): 199-203.

[6]赵洪峰,雷富民.鸟类用于环境监测的意义及研究进展[J].动物学杂志,2002,37(6):74-78.

[7] MCKINNEY M L. Urbanization as a major cause of biotic homogenization[J]. Biological Conservation, 2006, 127: 247-260.

[8] CARRETE M, TELLA J L, BLANCO G, et al. Effects of habitat degradation on the abundance, richness and diversity of raptors across Neotropical biomes[J]. Biological Conservation, 2009, 142(10): 2002-2011.

[9] DE CAMARGO R X, BOUCHER-LALONDE V, CURRIE D J. At the landscape level, birds respond strongly to habitat amount but weakly to fragmentation[J]. Diversity and Distributions, 2018, 24(5): 629-639.

[10]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.

[11]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.

[12]吴小辉,刘晖,王晶懋等.银川市中心城区不同滨水绿地的鸟类群落结构差异[J].中国城市林业,2023,21(4):8-14.

[13]陈天一,赵聪聪,文素洁,等.城市生境单元制图研究进展及其在生物多样性保护中的应用[J].风景园林,2022,29(1):12-17.

[14]徐逸飞,冯一凡,杨金明等.基于 Arcgis 和 Fragstats 的大沽河河口候鸟栖息地生境格局分析与优化[J].中国城市林业,2022,20(6):48-56.

[15]张颖,朱建宁.融入风景园林因子的生境单元制图法及在公园鸟类微生境研究中的应用[J].风景园林,2021,28(2):96-102.

[16]杨胜苏,刘卫柏.基于恢复生态学的洞庭湖区"山水林田湖草"生态修复研究[J].生态学报,2021,41(16):6430-6439.

[17]刘大钊,周立志.安徽安庆菜子湖国家湿地公园景观格局变化对鸟类多样性的影响[J].生态学杂志,2021,40(7):2201-2212.

[18]杨麟,裘鸿菲,武静.武汉东湖绿心鸟类栖息地保护与生态修复策略[J].中国园林,2021,37(6):93-98.

[19]王敏,陈梦璇,宋昊洋.生境质量与游憩服务的耦合协调对滨水空间活力的影响[J].中国城市林业,2022,20(3):7-13.

[20]卫伟,余韵,贾福岩,等.微地形改造的生态环境效应研究进展[J].生态学报,2013,33(20):6462-6469.

[21]成玉宁,袁旸洋,成实.人工引导下的湿地公园生态修复[J].中国园林,2014,30(4):5-10.

[22]崔丽娟,张曼胤,李伟,等.湿地基质恢复研究[J].世界林业研究,2011,24(3):11-15.

[23]崔保山,蔡燕子,谢湉,等.湿地水文连通的生态效应研究进展及发展趋势[J].北京师范大学学报(自然科学版),2016,52(6):738-746.

[24] GARCÍA D. Birds in ecological networks: insights from bird-plant mutualistic interactions[J]. Ardeola, 2016, 63(1): 151-180.

[25]袁嘉,游奉溢,侯春丽,等.基于植被再野化的城市荒野生境重建:以野花草甸为例[J].景观设计学,2021,9(1):26-39.

[26]约翰·马敬能,菲利普斯,何芬奇,等.中国鸟类野外手册:马敬能新编版[M].李一凡,译.北京:商务印书馆,2022.

[27]郑光美.中国鸟类分类与分布名录[M].第 3 版.北京:科学出版社,2017.

[28] 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]. Urban Forestry & Urban Greening, 2015, 14(4): 1027-1039.