基于鸟类多样性提升的郊野绿道生境营造策略*

裘 杰[1] 郃则语[2] 施逸飞[1] 徐文辉[1]

1 浙江农林大学风景园林与建筑学院 杭州 311300
2 浙江农林大学园艺科学学院 杭州 311300

摘要：为探究城市边缘地区郊野绿道对鸟类群落结构和多样性的影响，文章选取杭州临安区青山湖绿道周边 3 种不同类型的生境，通过样点法调查涵盖 16 目、48 科、156 种的鸟类现状，计算并比较各生境鸟类的多度、丰富度、Shannon 多样性指数和 Pielou 均匀度指数。结果表明：物种丰富度、多度和 Shannon 多样性指数在不同生境间存在显著差异，而 Pielou 均匀度指数差异不显著；结合非度量多维尺度（NMDS）分析发现，3 种生境下的鸟类群落构成了一个生态梯度，并形成了自己独特的鸟类群落结构。在此基础上，提出针对郊野绿道不同生境的鸟类多样性景观优化策略：补植乡土植物和丰富植被层次，提升林地生境质量；构建隔离缓冲区和生态安全岛，改善湿地生境；加强生境连通性和建设生物廊道，优化复合生境结构，以此全面提升郊野绿道对鸟类生境的生态支持功能。

关键词：生境类型；鸟类群落多样性；郊野绿道；杭州临安
DOI：10.12169/zgcsly.2023.12.18.0003

Habitat Construction Strategies for Countryside Greenways Based on Bird Diversity Enhancement

Qiu Jie[1] Tai Zeyu[2] Shi Yifei[1] Xu Wenhui[1]

(1. College of Landscape Architecture, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Hangzhou 311300, China; 2. College of Horticulture Science, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: To explore the impact of countryside greenways at city edges on structure and diversity of bird communities, the paper selects 3 types of habitats in the proximity of Qingshan Lake Greenway in Lin'an District of Hangzhou City to carry out the surveys of 156 species birds from 48 families in 16 orders using the point count method and calculate and compare the abundance, richness, Shannon diversity index, and Pielou evenness index of bird species across the habitats. The results show that there are significant differences in species richness, abundance, and Shannon diversity index among the habitats, while Pielou evenness index shows no significant difference. Non-metric multidimensional scaling (NMDS) analysis further reveals that bird communities in the 3 habitats form an ecological gradient, each with a distinct community structure. Based on the findings, this study proposes habitat optimization strategies for enhancing bird diversity in different habitats at countryside greenways, i. e., improving woodland habitats through repair planting of native species and enrich vegetation layers; improving wetland habitats by constructing buffer zones and ecological safety islands; and optimizing composite habitats through enhancing habitat connectivity and the creation of biological corridors. These strategies aim to comprehensively enhance the ecological support functions of countryside greenways for bird habitats.

收稿日期：2023-12-18
* 基金项目：自然科学基金（LGN20C160003）
第一作者：裘杰（1997-），男，硕士，研究方向为风景园林规划与设计。E-mail：279631748@qq.com
通信作者：徐文辉（1968-），男，硕士，教授，研究方向为风景园林规划与设计。E-mail：392428985@qq.com

Keywords：habitat type；avian community diversity；countryside greenway；Lin'an District，Hangzhou City

在快速城市化的背景下，城市与自然的平衡逐渐成为景观生态学的核心议题[1]。郊野绿道作为城市边缘与自然相结合的关键区域[2]，不仅承担着促进生态连通性的重要角色，也逐渐成为公众休闲娱乐的新场所。当前关于郊野绿道的研究主要集中在整体规划、选线布局和构建评价体系等方面[3]，且多局限于理论和宏观层面的分析，缺少数据支撑；而郊野绿道生物多样性方面的研究多以植物为主[4]，缺少鸟类和其他动物的研究[5]。这种不平衡的研究重点可能会导致郊野绿道规划设计时缺乏生物多样性方面的连贯性和全面性。

当前城市化对鸟类群落影响的研究较多。研究表明，城市化导致的栖息地破碎和环境改变影响了鸟类的生物多样性和行为模式[6]，但针对不同生境如何具体影响鸟类群落和多样性的系统研究仍然不足，尤其是对于鸟类生境优化的策略的研究，往往局限于独立的生境斑块，观测季节也较为特定[7]，同时忽略了生境之间的景观连通性[8]，这种设计模式应用于郊野绿道等复杂生境时的可行性较低[9]，需要更全面和多样化的研究来深入了解不同生境对鸟类群落的综合影响。

因此，本研究旨在探讨杭州临安青山湖绿道不同生境中鸟类群落的具体分布，通过深入的实地调查和分析，在结合实地鸟类分布数据的基础上提出具有可行性和普适性的郊野绿道鸟类生境营造策略。

1　研究区概况

青山湖国家森林公园（30°14′N，119°46′E）位于浙江省杭州市临安区，面积约 2 020 万 m^2。该区域为典型的亚热带季风气候，年平均气温约为 15.9 ℃，年平均降水量约为 1 613.9 mm[10]。青山湖林地覆盖率达到 82.2%以上，植被类型为中亚热带常绿阔叶林，垂直带谱明显；野生动物资源丰富，有国家重点保护野生动物 10 余种[11]。

近年来，随着杭州市快速城市化，青山湖及其周边环境经历了显著变迁。浙江省十大经典绿道青山湖绿道建设完成，全长 42 195 m，沿湖而建，形成了一个综合性的户外休闲与自然观赏区域[12]。这些绿道不仅成为连接城市与自然的重要纽带，也串联起不同类型的生境，为研究郊野绿道中不同生境间的鸟类群落特点提供了理想的研究场所。

2　研究方法

2.1　样点设置

依据郊野绿道的生境特征[13]，选取青山湖绿道的林地、湿地和复合生境 3 种不同生境类型设置样点，这些样点均沿着绿道线性分布（图 1）。由于城市化的影响，郊野绿道的林地生境很难形成较大的面积，往往是以斑块的形式存在[14-15]；由于湿地本身平缓且景观效果好，郊野绿道的湿地生境在建设时为方便游客观赏往往会靠近道路及建设用地[16]；复合生境是郊野绿道林地与湿地的交界区域，同时结合了两者的特点。

青山湖绿道的线性特征在样点选择上起到关键性的作用，在连接不同生境和斑块时清晰界定了不同生境间的界限[17]。同时，绿道在保证游客游憩体验时，也可以有效限定人为活动对自然环境的干扰。在实施调查期间，特别关注了调研场地土地利用性质的一致性，以确保样点在研究周期内的土地利用状态保持不变。

2.2　鸟类调查

调研使用样点法，在 3 种生境类型中分别建立 5 个样点（图 1），每个样点的半径为 50 m，在绿道上均匀分布，样点之间的距离为 300 m 及以上，同时确保每个样点的生境情况都符合郊野绿道的生境特征。在气候良好的秋季（2022 年 10—12 月）和春季（2023 年 4—6 月），由同一经验丰富的调查员在日落前 4 h 和黎明后 4 h 对每个样点进行 30 min 的鸟类调查[18]。在每次鸟类调查中，所有样点均被覆盖，调查员使用双筒望远镜和长焦相机进行观测和记录。鸟类分类和命名参照 *The CBR Check list of Birds of China* v10.0（2022）。

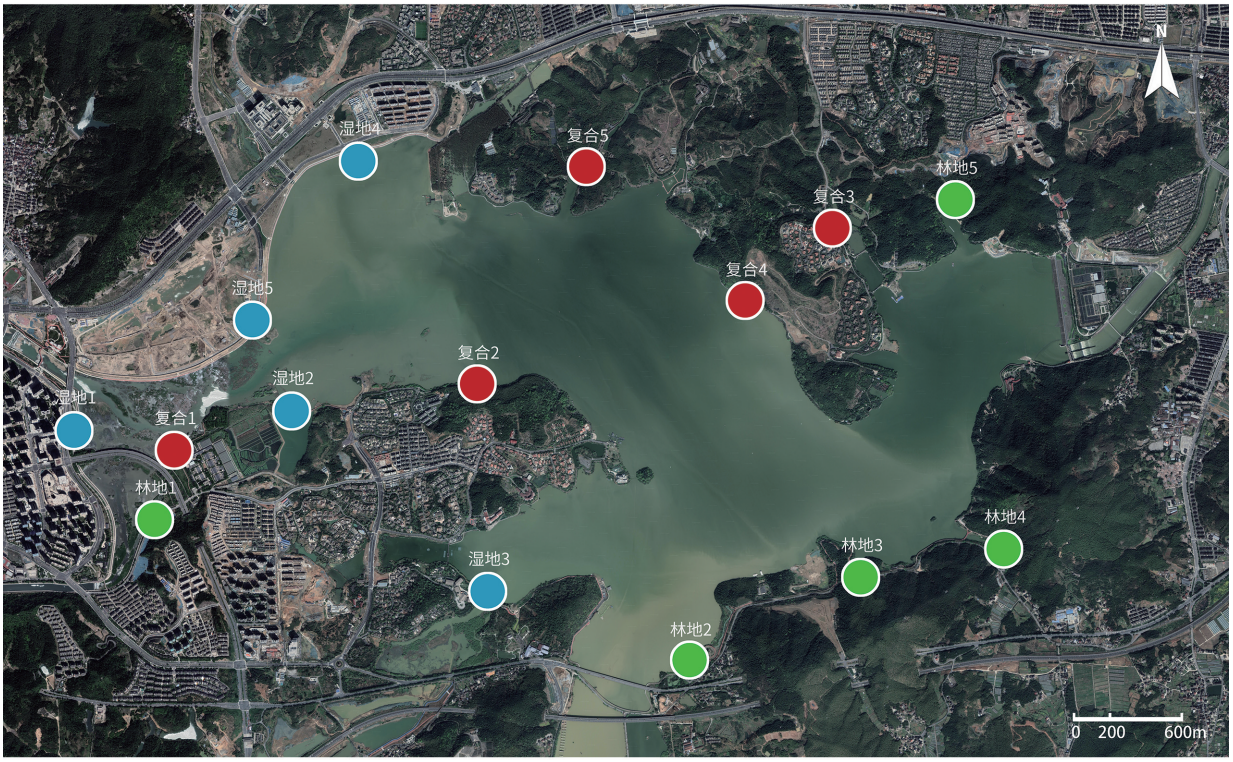


图 1 青山湖鸟类调研样点分布

2.3 数据处理

计算每个样地的鸟类多度、丰富度、Shannon 多样性指数、Pielou 均匀度指数以评估不同栖息地之间的鸟类群落组成[19]（表 1）。

表 1 不同生境类型鸟类群落组成

样点名称	多度/只	丰富度/种	Shannon 多样性指数	Pielou 均匀度
湿地 1	1 071	193	2. 282 165	0. 433 649 9
湿地 2	1 357	221	2. 697 278	0. 499 665 9
湿地 3	441	175	2. 371 054	0. 459 080 8
湿地 4	1 838	315	2. 289 382	0. 397 975 3
湿地 5	759	195	2. 611 287	0. 495 218 5
林地 1	236	68	1. 828 943	0. 433 449 4
林地 2	197	73	2. 262 431	0. 527 316 7
林地 3	241	79	1. 497 695	0. 342 765 3
林地 4	315	83	1. 906 892	0. 431 536 7
林地 5	364	92	2. 138 686	0. 472 973 5
复合 1	655	124	2. 201 585	0. 456 733 7
复合 2	381	122	2. 455 182	0. 511 068 1
复合 3	538	151	2. 636 133	0. 525 410 8
复合 4	613	143	2. 381 682	0. 479 902 6
复合 5	315	109	2. 467 856	0. 526 044 1

运用 Shapiro-Wilk 正态性检验判断数据是否符合正态分布；使用 Bartlett 检验测试数据的方差齐性。对于满足正态分布和方差齐性的数据，采用 ANOVA 进行分析，采用 Tukey 的多重比较探索不同生境类型间的差异[20]；对于不满足这些条件的数据，则运用 Kruskal-Wallis（K-W）检验和 Dunn 的多重比较测试进行分析[21]。

在此基础上，采用非度量多维尺度（NMDS）分析方法探索不同生境类型间的鸟类群落整体组成差异[22]。通过对数据进行平方根转换和威斯康星双重标准化处理，计算每次迭代的 stress 值作为衡量可信度的方法，当 stress 值小于 0. 2 时，则结果总体可信；随后，通过 Procrustes 分析比较连续两次迭代的解决方案，以均方根误差（RMSE）和最大残差为标准评估解决方案间的相似度。最终，利用基于 Bray-Curtis 距离的 PERMANOVA 分析验证其显著性，共进行 999 次置换，当 $P<0.05$ 时，认为不同生境间功能特征组成差异显著。

3 结果与分析

3.1 不同生境类型的鸟类群落组成及分布特征

3.1.1 鸟类构成及分布特征

本次调查共记录 9 321 只鸟类，涵盖 16 个目、48 个科、156 个种（表 2）。湿地生境共收集鸟类 5 438 只，其中占主要比例的为雀形目（Passeriformes）共 49 种、鹈形目（Pelecaniformes）

共 10 种、雁形目（Anseriformes）共 12 种，数量占湿地生境所有鸟类 77.67%；复合生境共收集鸟类 2 502 只，其中雀形目共 44 种、雁形目共 7 种、鹈形目共 9 种，数量占复合生境所有鸟类 78.02%；林地生境共收集鸟类 1 863 只，其中雀形目共 60 种、鸽形目（Columbiformes）共 2 种、鹈形目共 4 种，数量占林地生境所有鸟类 98.76%。

表 2　不同生境类型鸟类组成及优势种概览表

生境类型	名称	占比/%	优势种
复合	雀形目	54.96	白头鹎（*Pycnonotus sinensis*）、斑嘴鸭（*Anas zonorhyncha*）、红头长尾山雀（*Aegithalos concinnus*）、黑水鸡（*Gallinula chloropus*）、棕头鸦雀（*Sinosuthora webbiana*）、白鹭（*Egretta garzetta*）、白鹡鸰（*Motacilla alba*）、小鹪鹩（*Tachybaptus ruficollis*）、家燕（*Hirundo rustica*）、大山雀（*Parus minor*）
	雁形目	12.71	
	鹈形目	10.35	
	鹤形目	9.95	
	鹪鹩目	6.00	
	鸻形目	2.56	
	鸽形目	1.84	
	佛法僧目	0.60	
	鲣鸟目	0.56	
	鹰形目	0.28	
	鹃形目	0.08	
	鸡形目	0.08	
	犀鸟目	0.04	
林地	雀形目	95.38	白头鹎、红头长尾山雀、棕头鸦雀、强脚树莺（*Horornis fortipes*）、丝光椋鸟（*Spodiopsar sericeus*）、家燕、黑短脚鹎（*Hypsipetes leucocephalus*）、麻雀（*Passer montanus*）、大山雀、小灰山椒鸟（*Pericrocotus cantonensis*）
	鸽形目	2.09	
	鹈形目	1.29	
	鹰形目	0.86	
	啄木鸟目	0.21	
	鸻形目	0.05	
	佛法僧目	0.05	
	鹪鹩目	0.05	
湿地	雀形目	41.79	白鹭、斑嘴鸭、丝光椋鸟、白鹡鸰、麻雀、青脚鹬（*Tringa nebularia*）、家燕、白头鹎、小鹪鹩、黑水鸡
	鹈形目	19.30	
	雁形目	16.58	
	鸻形目	11.54	
	鹤形目	3.92	
	鹪鹩目	3.31	
	鸽形目	1.92	
	佛法僧目	1.10	
	鸡形目	0.18	
	鲣鸟目	0.15	
	鹰形目	0.09	
	隼形目	0.09	
	鹳形目	0.02	
	啄木鸟目	0.02	

湿地生境因在迁徙季适合候鸟停留，在鸟类物种数及多度上明显高于林地生境，但其空间上整体较为平坦，植被不够丰富，遮蔽不足，易受到气候及人为干扰[23]。因此，在生境设计时，需考虑地形设计，增加植被，营造多层次的湿地空间。

林地生境虽然具有复杂的垂直空间结构[24]，但生态构成并不完善，其中雀形目占比超过 90%，鸟类多样性较为单一。生态位重叠，导致食源及生存空间紧张，限制了可容纳的个体数量。在林地生境设计中，应优化并增加垂直空间结构，并增加食物来源，在保持雀形目鸟类多样性的同时，积极增加其他本土鸟类的多样性。

复合生境结合了湿地与林地生境的特征，但由于在生境连接处存在绿道，使其易受人为干扰，影响不同生境间鸟类的自然流动。在设计时，应维护生境间的自然连通性并减少人为干扰。

3.1.2　迁徙鸟类分布特征

本次调查共记录了 57 种留鸟，30 种旅鸟，45 种冬候鸟以及 20 种夏候鸟（表 3）。其中，湿地生境发现 41 种留鸟、38 种冬候鸟、21 种旅鸟和 15 种夏候鸟，候鸟数量占总调研数量的 37.94%；复合生境中发现 39 种留鸟、21 种冬候鸟、5 种旅鸟和 14 种夏候鸟，候鸟数量占总调研数量的 31.53%；林地生境中发现 44 种留鸟、11 种冬候鸟、7 种旅鸟和 12 种夏候鸟，候鸟数量占总调研数量的 14.55%。

表 3 不同生境类型迁徙鸟类概览

栖息地类型	迁徙类型	春季		秋季	
		多度/只	物种数/种	多度/只	物种数/种
复合	冬候鸟	32	6	541	18
	留鸟	563	32	1131	32
	旅鸟	7	4	12	2
	夏候鸟	193	14	23	4
林地	冬候鸟	7	3	39	8
	留鸟	851	33	727	38
	旅鸟	12	5	2	2
	夏候鸟	213	12	12	3
湿地	冬候鸟	261	13	1 222	35
	留鸟	988	34	2129	33
	旅鸟	216	11	59	8
	夏候鸟	465	24	126	6
总计		3 808	191	6 023	189

不同生境的物种数在不同的繁殖季节差异并不显著，主要的差异体现在候鸟种类的变化上：春季以冬候鸟为主，如鸭科的斑嘴鸭、赤膀鸭（*Mareca strepera*）和罗纹鸭（*Mareca falcata*）等；秋季则主要以夏候鸟为主，如矶鹬（*Actitis hypoleucos*）、泽鹬（*Tringa stagnatilis*）和扇尾沙锥（*Gallinago gallinago*）等。但秋季记录到的鸟类数量显著多于春季，分别为 6 023 只和 3 808 只。这可能是由于鸻鹬类群居性较强且个体占据的生态位较小，使得相同区域内能够容纳更多的个体数。在生境设计时需要考虑不同候鸟所需的生境和繁殖条件。

3.2 不同生境类型对鸟类生物多样性的影响

鸟类多样性数据的正态分布和方差齐性检验显示，多度和丰富度出现方差不齐的问题（$P<0.05$），因此选择非参数的 K-W 检验；Shannon 多样性指数和 Pielou 均匀度指数接近正态分布且方差相对一致（$P\geq0.05$），因此选择方差分析（ANOVA）进行分析。

如表 4 所示：不同生境的多度、丰富度和 Shannon 多样性指数存在显著差异（$P<0.05$），表明不同生境中鸟类的组成和数量结构各不相同；Pielou 均匀度指数差异不显著（$P\geq0.05$），意味着鸟类在各生境中的分布均匀性可能相似。总体来说，郊野绿道不同生境中鸟类群落结构和多样性是存在明显差异的，需要针对不同生境选取合适的设计策略。

表 4 不同生境类型中鸟类群落多样性

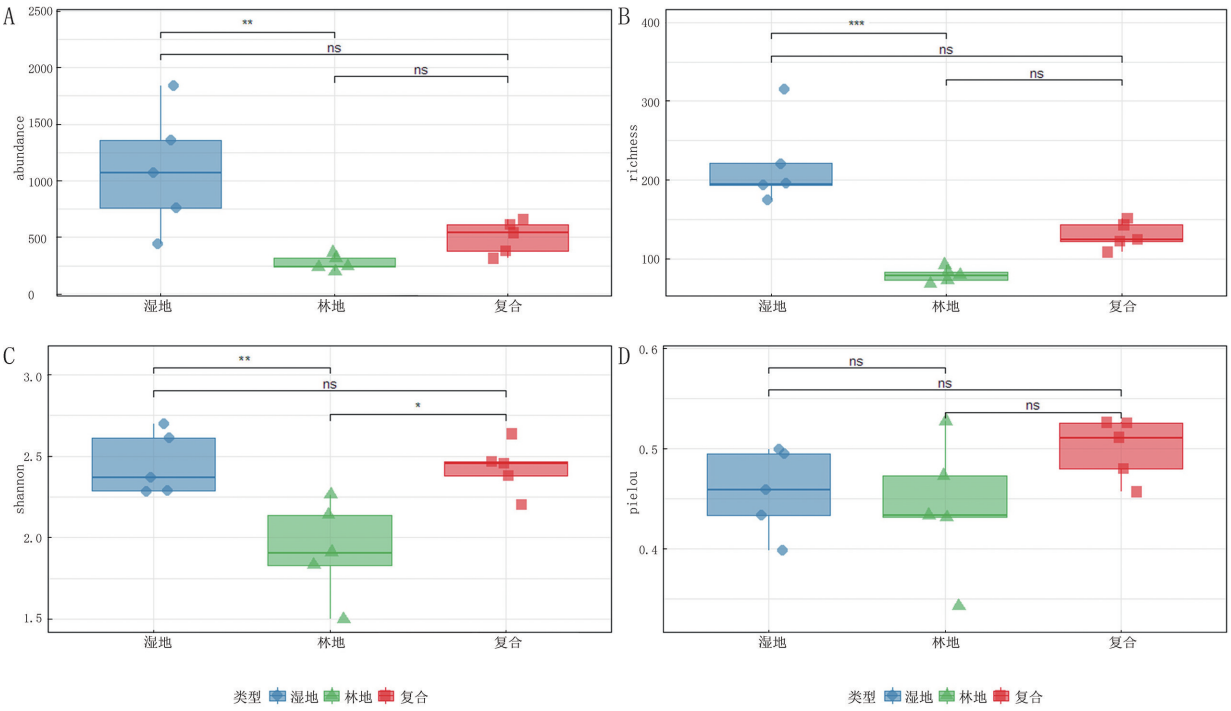
指标	Shapiro-Wilk 检验 P 值	Bartlett 检验 P 值	组间比较检验类型	组间比较检验 P 值
多度	0.005 694 **	0.001 243 **	K-W	0.005 507 **
丰富度	0.100 3	0.004 406 **	K-W	0.001 93 *
Shannon 多样性指数	0.269 6	0.457 8	ANOVA	0.004 45 *
Pielou 均匀度指数	0.642	0.592	ANOVA	0.198

注：*** 表示 $P<0.001$；** 表示 $P<0.01$；* 表示 $P<0.05$；下同。

多重比较结果（图 2）显示：在多度和丰富度方面，林地和湿地之间的差异显著（$P<0.01$），而其余生境则并不显著（$P\geq0.05$）；在 Shannon 多样性指数方面，林地与另外两种生境之间存在显著的差异（$P<0.05$），但复合生境与湿地之间的差异并不显著（$P\geq0.05$）；在 Pielou 均匀度指数方面，所有生境之间的比较差异均不显著（$P\geq0.05$）。研究结果进一步揭示了林地和湿地生境中已形成了各自独特的鸟类群落，但复合生境在生物多样性指标方面与两种生境相比差异并不显著，需要作进一步的分析。

3.3 不同生境类型鸟类群落差异的非度量多维标度

非度量多维尺度（NMDS）分析结果（图 3）显示，数据经标准化处理后，执行的 20 次 NMDS 迭代中，stress 值均小于 0.2，其中第三次迭代显示出最低的 stress 值（0.104 302），表明其为最佳解决方案。Procrustes 分析进一步证实了该解决方案的稳定性，其中均方根误差为 0.000 437 814 5，最大残差为 0.001 295 471。



注：A 生境类型对鸟类多度的影响；B 生境类型对鸟类丰富度的影响；C 生境类型对鸟类 Shannon 多样性指数的影响；D 生境类型对鸟类 Pielou 均匀度指数的影响。

图 2　不同生境类型对鸟类生物多样性指标的影响

湿地生境的样本点主要集中在负半轴，林地生境的样本点分布在正半轴，而复合生境则位于中心区域，3 种生境点所构成的区域并未产生交集，表明 3 种生境之间的鸟类群落组成在种层面上没有相关性，进一步进行的 PERMANOVA 置换检验（$F = 5.8617$，$P < 0.001$）也证实了以上结果。这表明复合生境当中已形成了不同于其他两种生境的独特鸟类群落。

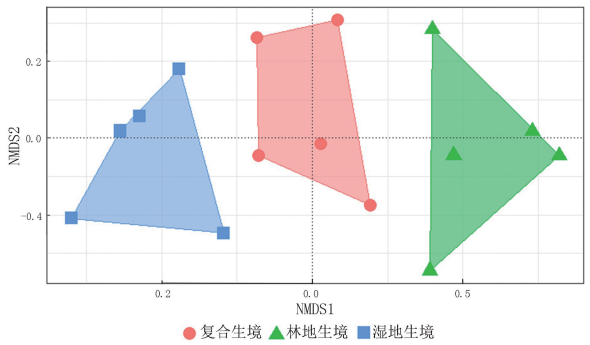


图 3　不同生境类型鸟类群落差异的非度量多维标度（NMDS）

4　郊野绿道鸟类多样性景观营造策略

4.1　林地生境鸟类景观营造策略

林地生境拥有多层次的纵向空间结构，在一定程度上划分了明显的生态位。例如，上层乔木层可以为凤头鹰（*Accipiter trivirgatus*）、红嘴蓝鹊（*Urocissa erythroryncha*）、白颈鸦（*Corvus torquatus*）等鸟类捕食提供更广阔的视野，中层乔木层可以为珠颈斑鸠（*Spilopelia chinensis*）、强脚树莺、黑短脚鹎等鸟类提供更大的活动空间，而灌木草本层则为斑文鸟（*Lonchura punctulata*）、棕头鸦雀、画眉（*Garrulax canorus*）等鸟类提供了食物和庇护。但由于植物层次不够丰富，导致这些生态位之间还存在一定的重叠，从而对整体的鸟类群落产生了负面影响[25]。

结合上述分析及林地鸟类调研结果，提出针对郊野绿道林地生境景观优化和提升的策略（图 4）。首先，补植本地原有的乡土型树种，如浙江楠（*Phoebe chekiangensis*）、三叶木通（*Akebia longeracemosa*）、紫花地丁（*Viola philippica*）等，以完善林地各个生态位的结构；同时保留一定的枯木和落叶，使林地生境从乔木、灌木到草本地被形成更为丰富的垂直植被结构，为以雀形目为主的林鸟类提供更多的生存空间和食物来源。其次，在靠近绿道处设置生态排水渠，这既可以作为游客的缓冲带，减少其对鸟类群落的干扰，也

可以为鸟类提供日常的取水来源；在雨天，排水渠还能有效排水，减少水土流失的风险。

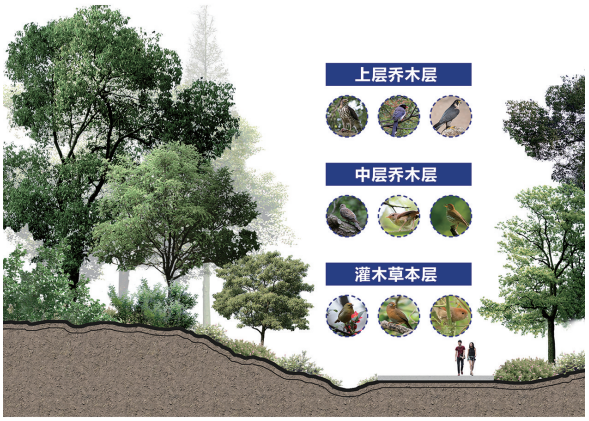


图 4 林地生境营造策略

4.2 湿地生境鸟类景观营造策略

由于青山湖绿道位于东亚—澳大利西亚候鸟迁徙东线[26]，大量候鸟会选择在湿地生境中进行短暂停留，导致湿地生境的物种多度和丰富度均显著高于其他类型的生境。调研发现，湿地生境的开放性会吸引一些特定的人为活动[27]，如垂钓、观鸟等，这些人为干扰会穿越绿道的边界对湿地生境产生负面影响。

结合上述分析及湿地鸟类调研结果，提出针对郊野绿道湿地生境景观优化和提升的策略（图 5）。首先，参考水鸟的惊飞距离[28]，在绿道边缘 5~10 m 范围内设立隔离缓冲区，并设置栏杆，种植高大乔木，如水杉（*Metasequoia glyptostroboides*）、垂柳（*Salix babylonica*）、樟（*Cinnamomum camphora*）等，这既可防止游客进入，又能减少郊野绿道中人为活动对鸟类的干扰，增加迁徙鸟类及濒危鸟种的实际活动范围。其次，在湿地核心的滩涂区域，设计多个生态安全岛和湿地水泡，种植草本及灌木，如芦苇（*Phragmites australis*）、水柳（*Salix warburgii*）、黄菖蒲（*Iris pseudacorus*）等，一方面增加湿地的地形起伏，使整体景观效果更加自然；另一方面也能为迁徙鸟类提供额外的食源、繁殖地及遮蔽处。

4.3 复合生境鸟类景观营造策略

NMDS 结果显示，复合生境形成了自己独特的鸟类群落结构，并与其他生境构成了一个生态梯度。这可能是郊野绿道的存在分割了生境之间的联系，其中的游客行为使得生境之间的边界效

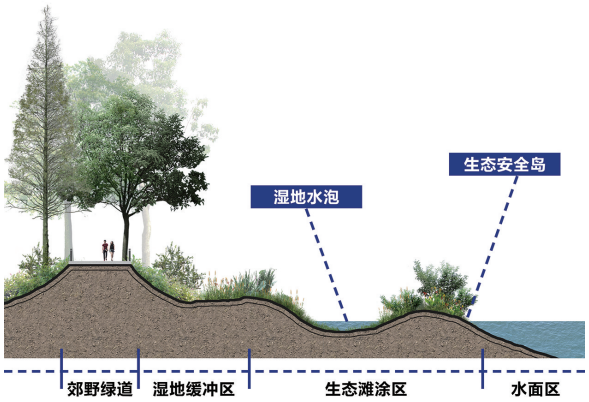


图 5 湿地生境营造策略

应加剧[29]，从而使得复合生境的鸟类多度和丰富度出现了下降。

结合上述分析及复合生境鸟类调研结果，提出针对郊野绿道复合生境景观优化和提升的策略（图 6）。首先，由于复合生境本身的特点[30]，可以保留林地和湿地生境的边缘设计。其次，在此基础上应恢复复合生境的连通作用，通过补种冠幅较大的乡土树种，如苦槠（*Castanopsis sclerophylla*）、石栎（*Lithocarpus glaber*）、臭椿（*Ailanthus altissima*）等，以及建设爬藤植物构成的廊架来重新连通两种生境，这样不仅可以模糊生境边界，也可以对游客进行自然的遮蔽。最后，在湿地生境种植适合林鸟的食源植物，同时在林地生境补种能够吸引水鸟栖息的乔木，主动吸引鸟类在生境之间的流动，形成生物廊道[31]。

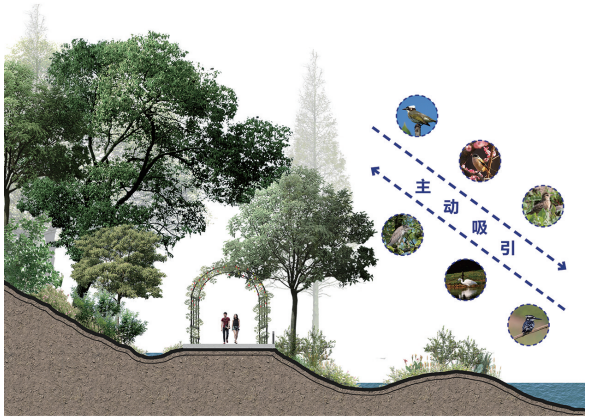


图 6 复合生境营造策略

参考文献

[1] AGUIRRE-GUTIÉRREZ J, MALHI Y, LEWIS S L, et al. Long-term droughts may drive drier tropical forests towards increased functional, taxonomic and phylogenetic homogeneity[J]. Nature

Communications,2020,11(1):3346.
[2]徐文辉.生态浙江省域绿道网规划实践[J].规划师,2005,21(5):69-72.
[3]郑段雅,周星宇,何迎佳,等.基于多源大数据和网络模型的城市绿道精细化选线研究:以武汉市城市绿道为例[J].现代城市研究,2023,38(8):113-118.
[4]成佳璇,陈蕾如,许克福.马鞍山市环雨山湖中心绿道植物群落结构与多样性分析[J].安徽大学学报(自然科学版),2023,47(5):85-93.
[5]GRAVIOLA G R,RIBEIRO M C,PENA J C.Reconciling humans and birds when designing ecological corridors and parks within urban landscapes[J].Ambio,2022,51(1):253-268.
[6]LIORDOS V,JOKIMÄKI J,KAISANLAHTI-JOKIMÄKI M L,et al.Patch,matrix and disturbance variables negatively influence bird community structure in small-sized managed green spaces located in urban core areas[J].Science of the Total Environment,2021,801:149617.
[7]张兰,和正华,邓云,等.普达措国家公园越冬期鸟类群落功能空间及驱动机制[J].动物学杂志,2023,58(5):703-733.
[8]罗佳鑫,鲍敏,韩军,等.西宁北川河湿地公园鸟类群落结构[J].生态学杂志,2024,43(5):1348-1353.
[9]任璐,袁嘉,伍叶丹,等.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[J].中国城市林业,2024,22(1):43-52.
[10]熊璨.基于乡土资源利用的郊野型绿道景观设计研究:以临安青山湖绿道一期为例[D].杭州:浙江农林大学,2018.
[11]黄俊臻.青山湖针阔混交林主要树种生态位特征及其演替研究[D].杭州:浙江农林大学,2010.
[12]胡玲,陈挺帅,顾力天,等.风景型绿道的设计研究:以青山湖绿道二期设计为例[J].中国园林,2022,38(S1):59-64.
[13]刘欣瑜.基于生物多样性保护的城乡绿道规划设计研究:以内蒙古科右前旗科尔沁镇为例[D].北京:北京林业大学,2020.
[14]吴未,胡余挺,范诗薇,等.不同鸟类生境网络复合与优化:以苏锡常地区白鹭、鸳鸯、雉鸡为例[J].生态学报,2016,36(15):4832-4842.
[15]包玉斌,刘康,李婷,等.基于 InVEST 模型的土地利用变化对生境的影响:以陕西省黄河湿地自然保护区为例[J].干旱区研究,2015,32(3):622-629.
[16]张敏,宫兆宁,赵文吉,等.近 30 年来白洋淀湿地景观格局变化及其驱动机制[J].生态学报,2016,36(15):4780-4791.
[17]王青君.康体活动视角下的城市线性景观设计研究[D].衡阳:南华大学,2022.
[18]WANG X,ZHU G,MA H H,et al.Bird communities' responses to human-modified landscapes in the southern Anhui Mountainous Area[J].Avian Research,2022,13:100006.
[19]田璐嘉,杨小波,李东海,等.海口和三亚两城市破碎化林地中鸟类群落多样性与嵌套分布格局[J].生物多样性,2022,30(6):92-102.
[20]王小平,郝志,许爽,等.大连老铁山雀形目鸟类环志优势种数量与气候因子的相关性分析[J].安徽农业科学,2020,48(12):90-94.
[21]王业勤,李露,于海悦,等.次级洞巢鸟类对不同生境下人工巢箱的选择[J].林业科学,2021,57(12):99-107.
[22]胡艺,李秋华,李钥,等.基于 NMDS 和 RDA 方法分析贵州百花水库后生浮游动物群落结构动态[J].环境科学研究,2019,32(9):1510-1518.
[23]余定坤,徐志文,龚磊强,等.越冬期、迁徙期和繁殖期鄱阳湖区中鸻鹬类水鸟的多样性[J].湿地科学,2023,21(5):671-680.
[24]吴庭天,陈毅青,陈宗铸,等.海南热带雨林代表性种群空间分布特征研究[J].林草资源研究,2023(5):133-141.
[25]韩丹,韩丛海,王成,等.北京不同城市区域蝴蝶多样性及优势种生态位差异[J].中国城市林业,2023,21(5):74-81.
[26]黄源欣,李梦婷,胡慧建,等.广州南沙湿地公园鸟类 2014—2018 年际动态及其对生境变化的响应[J].热带地理,2023,43(1):71-87.
[27]ARZEL C,RÖNKÄ M,TOLVANEN H,et al.Species diversity,abundance and brood numbers of breeding waterbirds in relation to habitat properties in an agricultural watershed[J].Annales Zoologici Fennici,2015,52(1/2):17-32.
[28]MA Z J,CAI Y T,LI B,et al.Managing wetland habitats for waterbirds:an international perspective[J].Wetlands,2010,30(1):15-27.
[29]贾一非,王云才.由单一走向多样:平原农业区生物多样性保护的规划途径:以辽宁省黑山县为例[J].中国园林,2022,38(7):26-31.
[30]潘英,王子进,杨静怡.贵阳城市化和边缘效应对城市残存森林木本植物系统发育特征的复合影响[J].生态学杂志,2024,43(1):106-114.
[31]闫明,刘曼舒,姚新治,等.基于林鸟日常活动范围的郑州金水区景观连通性研究[J].西南林业大学学报(自然科学),2020,40(6):107-117.