

DOI: 10.5846/stxb202110263019

江海燕, 黄晓彤, 马源, 陆剑, 关志烨, 袁媛. 珠三角河网区典型生境植物群落构成特征及生态修复. 生态学报, 2023, 43(8): 3273-3285.

Jiang H Y, Huang X T, Ma Y, Lu J, Guan Z Y, Yuan Y. Characteristics of plant community composition and application of typical habitats' ecological restoration in the river network area of the Pearl River Delta. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(8): 3273-3285.

珠三角河网区典型生境植物群落构成特征及生态修复

江海燕^{1,2}, 黄晓彤^{1,2}, 马源^{1,2,*}, 陆剑^{1,2}, 关志烨³, 袁媛³

1 广东工业大学建筑与城市规划学院, 广州 510090

2 广东工业大学景观规划与生态修复研究中心, 广州 510090

3 佛山市城市规划设计研究院, 佛山 528000

摘要: 如何实现生态文明建设与三生空间高度混杂地区的高质量协同发展是珠三角河网区新时期面对的重要难题。以 2018—2021 年间积累的第一手田野调查资料为基础, 针对广佛地区 20 处样地 202 个样点, 综合生态学数量分析与风景园林学空间分析方法, 研究河网区典型生境的植物群落构成特征及应用。结果表明: (1) 珠三角河网区植物物种丰富, 维管束植物共 122 科 382 属 551 种; 植物群落“乔、灌、草、藤本”垂直结构完整, 但乡土植物占比较低、外来入侵较严重; (2) 动物友好植物种类丰富, 共有鸟类友好植物 88 种、昆虫类友好植物 90 种、鱼类两栖类友好植物 34 种, 但缺乏针对动物友好生境的科学配置; (3) 河网区包括滨水、坑塘、农田、聚落四类典型生境以及 9 个稳定的植物群系, 但在长期人为干扰下其生态功能和水乡风貌特征被严重削弱。最后, 以佛山大涌公园为例, 探讨了以恢复河网区生物多样性和特色景观风貌为目标的生态修复实践。研究为珠三角河网区地域性景观恢复和三生空间混杂区域的近自然生态修复提供了重要的规划设计蓝本和实践示范。

关键词: 珠三角河网区; 典型生境; 植物群落; 生态修复; 水乡景观恢复

Characteristics of plant community composition and application of typical habitats' ecological restoration in the river network area of the Pearl River Delta

JIANG Haiyan^{1,2}, HUANG Xiaotong^{1,2}, MA Yuan^{1,2,*}, LU Jian^{1,2}, GUAN Zhiye³, YUAN Yuan³

1 School of Architecture and Urban Planning, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China

2 Landscape Planning and Ecological Restoration Research Center, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China

3 Foshan Urban Planning and Design Research Institute, Foshan 528000, China

Abstract: How to realize the high-quality coordinated development between the construction of ecological civilization and the highly mixed areas of production, living and ecological space is an important problem faced by the river network area of the Pearl River Delta in the new era. Based on the first-hand field survey data from 2018 to 2021, aiming at 202 sample points in 20 sample plots in Guangzhou-Foshan area, this paper studied the composition characteristics and application of plant communities in typical habitats in river network area by integrating quantitative analysis method of ecology and spatial analysis method of landscape architecture. The results show as follows. Firstly, there are abundant plant species in the river network area of the Pearl River Delta, with 551 species of vascular plants belonging to 382 genera and 122 families; The vertical structure of “arbor, shrub, grass and vine” of plant community is complete, but the proportion of native plants is relatively low and the alien invasion is more serious. Secondly, there are abundant species of animal friendly plants, including 88 species of bird friendly plants, 90 species of insect friendly plants and 34 species of fish and amphibian

基金项目: 国家自然科学基金项目 (52278053, 51708127); 教育部人文社科基金一般项目 (21YJAZH032); 广东省基础与应用基础研究基金项目 (2021A151010894)

收稿日期: 2021-10-26; **网络出版日期:** 2022-12-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mayuan0714@163.com

friendly plants, but there is a lack of scientific allocation for animal friendly habitats. Thirdly, the river network area includes four typical habitats of waterfront, dike-pond, farmland and settlement, as well as nine stable flora, but its ecological function and features of water town landscape have been seriously weakened under long-term human disturbance. Finally, taking the Damei Park in Foshan as an example, this paper discusses the practice of ecological restoration aimed at restoring biodiversity and characteristic landscape style in the river network area. This paper provides an important planning and design blueprint and practical demonstration for the regional landscape restoration in the river network area of the Pearl River Delta and the near natural ecological restoration in the mixed area of production, living and ecological space.

Key Words: the river network area of the Pearl River Delta; typical habitat; plant community; ecological restoration; water town landscape restoration

珠三角河网区包括西江、北江思贤滘以下和东江石龙以下河网水系,区域内生态要素丰富、生态本底优越,形成河涌纵横、基塘连片的空间格局。但在气候变化与人类活动共同作用下,河网区用地类型犬牙交错、基塘肌理改变、岸线硬化占用,造成流域生态系统稳定性下降、生物多样性降低、岭南水乡风貌丧失等问题,亟需开展生态修复和景观重建工作^[1-3]。具体需要通过河网区典型植物群系构成及其生境空间组合研究,指导植物群落结构调整、本土植物景观重建、动物友好生境营造,以达到恢复河网区生物多样性和岭南水乡传统景观风貌的目标。

首先,植物群落构成是生境形成的最重要最基本支撑,影响动物选择、生态功能及风貌特征等^[4-5]。已有研究指出原生植被的丧失是当今世界面临的最严重土地退化问题之一,植物群落构建用于调节物种结构、时空结构和营养结构^[6],提升动物物种的丰富度^[7]。植物群落构建也是众多生态修复案例的主体内容,如新加坡加冷河和欧洲莱茵河的生态治理^[8]、美国密西西比河流域治理^[9]等,而其中一系列治理方法均以该地域内植物构成为基础。生态学的植物群落构成研究侧重对其数量特征的测度,使用多度、密度、盖度、频度、优势度、生态重要值和生活型比例等数量计算方法^[10-11],风景园林学则侧重于通过图示化语言对其生活型、群落结构^[12]、群落空间分布^[13]和植物景观^[14]进行阐释。生态学和风景园林学各自领域的已有研究不能有效指导近自然植物重建和生境修复设计。另外,针对珠三角地区植物群落构成的研究主要聚焦于森林^[15-16]、风景游憩林^[17]、风水林^[18]及城市园林绿地^[19-20]等类型,侧重群落结构、配置模式及植物多样性等内容。河网坑塘构成了珠三角地区的主要地貌特色,但缺乏河网区植物群落特征和适用于河网区生态修复的植物配置模式的研究。

其次,生境是动植物生活的具体地域环境,是物种演化、植物群落演替及进化适应的主要生态单元。在生境功能营造方面,已有研究包括鸟类食源植物^[21-22]、鸟类栖息地植物^[23-24]、昆虫食源植物^[25]、蝶类生境植物^[26-27]配置模式以及水生动物食物网构建等^[28]。生境修复方面,主要包括动物栖息地生境修复^[23]以及河流^[29]、湿地^[30]、城市建成环境^[31]等生境类型的修复技术,农田中的自然、半自然生境^[32]及其与昆虫群落的相关关系^[33]。珠三角地区的生境修复研究主要聚焦于基塘^[34-36]和河涌^[37]这两类,其中江海燕等在对基塘生境构成、结构和品质等分析的基础上提出了基塘生境生物多样性提升策略^[35],但缺乏典型生境空间组合及其植物群落构成特征研究。

深入分析典型生境的植物群落构成、掌握珠三角河网区生境特征,对恢复其生物多样性及重塑水乡特色景观风貌具有基础支撑意义。生活型的差别可以一定程度反映植物群落生境条件的改变^[4],本文拟从珠三角河网区植物的生活型分析入手,将生态学数量特征测度与风景园林学图示化空间分析方法相结合,总结典型生境的植物群落物种组成、结构特征、动物友好性以及典型生境空间之间的组合特征,用于指导以恢复河网区生物多样性和特色景观风貌为目标的生态修复实践。

1 材料与方法

1.1 研究区

广州和佛山位于珠三角的中间地带,珠江的三条支流从中穿行而过,地域内生境类型和植物群落特征在珠三角河网区具有代表性。本研究以 2018—2021 年间在广佛地区开展的生态修复规划设计工作为基础,考虑该区域地理水文特征、农业生产和工业化发展等影响,选择植被现状良好、生境类型多样、植物群落完整和景观风貌典型的样地共 20 处,包括河心岛类型样地 7 处、生态公园样地 7 处、陆域样地 6 处(图 1、图 2)。

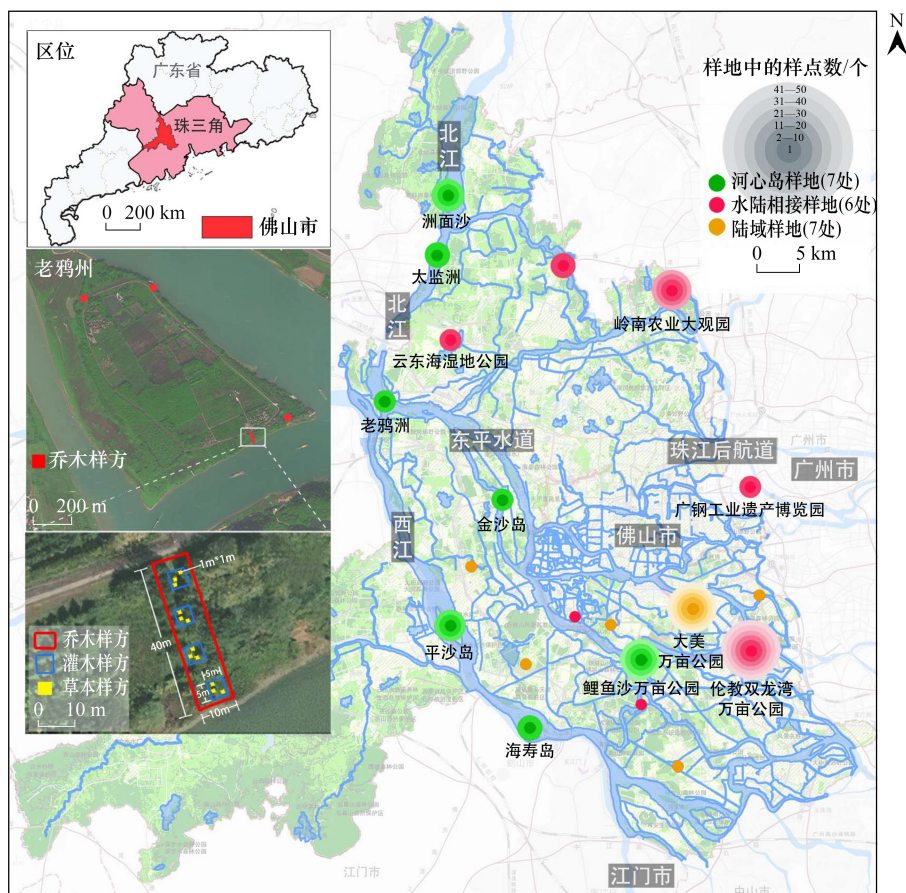


图 1 研究区样地及样点数分布图

Fig.1 Distribution of sample plots and sample points

1.2 调查方法

调查过程按照“航空影像图初步定点→现场无人机航拍识别→典型样点样方法实验→现场观察、评估和记录→拍照后专家校验→专业人员幻灯片评价→建立数据库”的流程进行。①以高清航空影像图为基础,结合无人机航拍和现场踏勘,按照场地生境类型、周边环境及植被特征,在 20 处样地内共布得调查样点 202 个(图 1、表 1)。每个样点调查人员为 4—5 名,由植物学、生态学、风景园林学的教授、副教授、研究生和本科生组成。②用样方法对受人工干扰相对较小的老鸦洲展开植被调查,在岛上设置 4 条样线,并分别设 10 m×10 m 乔木调查样方、5 m×5 m 的灌木调查样方和 1 m×1 m 的草本调查样方,对样方内的植物群落指标进行观测记录后计算每种植物的重要值。在同年的冬、夏两季进行了两次调查。③每个样点参照样方法,借助无人机航拍,评估和识别样点植被的层次、植物群系的盖度以及骨架树种;④现场识别并记录各层植物种构成及其重要性排序,并用剖立面图记录植物群落及其周边环境的空间特征;⑤对样点生境拍照,用于后续专家对每个

样点记录数据的核实和校验;⑥筛选不同生境类型的典型植物群落照片,组织相关专业背景的师生进行植物景观美景度打分评价。⑦分别根据《中国植被》和《广东森林植物》归类样点植物科属种、《中国外来入侵物种名单》识别入侵植物、《中国蜜粉源植物及其利用》识别蜜源植物,并建立河网区植物调查数据库。

1.3 研究思路与方法

采用“植物-生境-景观”的逻辑框架,建立河网区植物资源数据库,从生境区属、乡土属性、动物友好性等方面解释植物的特性;并选择生境类型全、组合特征典型且位于生态廊道的大美公园为案例,探索生态修复设计应用(图2)。参考生物多样性评价和视觉景观评价方法,“植物特征指标”包括植物优势度(某一植物区系中含属种数量排序)、乡土植物占比(N_i/N)、外来入侵植物占比(N_p/N);“生境质量指标”包括生境单元占比(A_i/A)、平均邻近指数(PROX);“景观质量指标”为景观美景度(Z_{ij}),分别采用 Excel、ArcGIS、Fragstats 软件,主要计算公式如下:

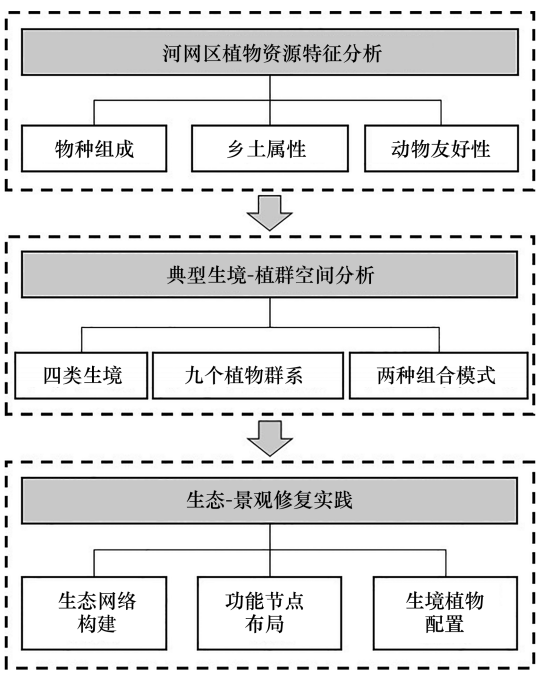


图2 研究框架图
Fig.2 Research framework

表1 调查样地和样点统计表
Table 1 Statistical table of sample plots and sample points

样地类型 Sample plot type	样地名称 Sample plot name	中心坐标 Coordinate	样地内不同生境的样点数 Sample number of different habitats in the sample plot				样点总数 Total number of the sample point
			滨水 Waterfront	农田 Farmland	坑塘 Dike-pond	聚落 Settlement	
河心岛样地 River island	老鸦洲	23°9'16"N、 112°49'8"E	4	/	/	/	4
	海寿岛	22°48'29"N、 112°59'16"E	4	/	/	/	4
	金沙岛	23°3'31"N、 112°57'52"E	6	/	/	2	8
	平沙岛	22°55'16"N、 112°53'33"E	4	3	4	1	12
	太監洲	23°19'9"N、 112°52'47"E	2	1	1	1	5
	洲面沙	23°22'51"N、 112°53'34"E	2	7	4	2	15
生态公园样地 Ecological park	岭南农业大观园	23°15'29"N、 113°10'11"E	11	4	5	3	23
	鲤鱼沙公园	22°52'50"N、 113°7'23"E	14	1	4	3	22
	大美公园	22°55'7"N、 113°11'3"E	11	13	8	8	40
	伦敦双龙湾公园	22°53'24"N、 113°14'52"E	22	6	8	9	45
	云东海湿地公园	23°13'11"N、 112°53'29"E	6	1	1	/	8
	广钢工业遗产博览园	23°4'2"N、 113°14'37"E	1	/	/	5	6
沿江工业遗产样地 Riverside industrial heritage	其他样地(8处)	/	4	/	1	5	10
	合计 Total		91	36	36	39	202

$$\text{PROX} = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijg}^2}$$

$$Z_{ij} = (R_{ij} - R_i) / S_j$$

PROX 表示某一类斑块的面积(a_{ijs})除以该类斑块到中心斑块边缘之间最小距离(h_{ijg})的平方的总和。 Z_{ij} 为第 i 个评价者对第 j 张照片的标准化得分值, R_{ij} 为第 i 个评价者对第 j 张照片的打分值, R_i 为第 i 个评价者对所有照片的打分值的平均值, S_j 为第 i 个评价者对所有照片评分值的标准差。

2 植物资源构成特征

2.1 物种组成

经统计,研究区维管束植物共有 122 科、382 属、551 种,生活型分布为乔木 129 种、灌木 87 种、草本 316 种、藤本 19 种。其中,优势科是指某一植物区系中含属种数最多的科,通常构成相应植物区系种类组成的主体。经统计,研究区含 15 种以上的区域性大科有禾本科(53 种)、菊科(46 种)、桑科(22 种)、大戟科(19 种)、豆科(19 种);含 8—14 种的区域性较大科有桃金娘科(14 种)、苋科(12 种)、天南星科(11 种)、蝶形花科(11 种)、木犀科(11 种)、旋花科(10 种)、锦葵科(10 种)、茜草科(9 种)、芸香科(8 种)、马鞭草科(8 种)。

2.2 乡土属性

乡土植物能够更好地适应当地气候、水文和生态环境,是保障各类生态功能和地方景观特色的基础,《国家生态园林城市标准》要求本土植物指数不小于 0.7。根据《广东植物志》对本区系植物的产地记载,识别调查植物物种的乡土属性,结果为珠三角河网区典型生境中乡土植物共有 292 种、占比 52.99%。较低占比与该区域城镇化、工业化、农业现代化程度较高,受人为干扰较大有关(图 3)。乡土植物中乔木 60 种、灌木 41 种、草本 182 种、藤本 9 种,其中构树、小叶榕、海芋、白茅、狗牙根、芦苇的盖度最大。

外来入侵植物易与被入侵地物种竞争资源、占据物种的生态位、影响生物多样性。入侵植物上昆虫的丰富度通常较低,会对当地动植物群落产生重大影响^[38],掌握外来入侵植物特征利于有效防控生态风险。依据国家环境保护部发布的《中国外来入侵物种名单》,珠三角河网区典型生境中外来入侵植物有三叶鬼针草、五爪金龙、薇甘菊、凤眼莲、小蓬草、藿香蓟、刺苋、银胶菊、假臭草、钻形紫菀、马缨丹、绞股蓝,共 12 种,占比 2.07%。其中,草本 8 种、灌木 1 种、藤本 3 种,三叶鬼针草、五爪金龙、薇甘菊、凤眼莲的盖度最大,对珠三角河网区的植物群落格局及生态稳定性危害严重(图 4)。

2.3 动物友好性

植物的动物友好性指其对动物栖息、觅食、繁衍等活动的积极影响。其中,鸟类友好植物包括营巢和食源植物,昆虫类友好植物包括宿主和蜜粉源植物,鱼类两栖类友好植物包括栖息和食源植物。统计表明:研究区共有鸟类友好植物 88 种,其中营巢植物 11 种,主要有垂柳、刺槐、水杉、桂花等;食源植物 78 种,主要有苦楝、

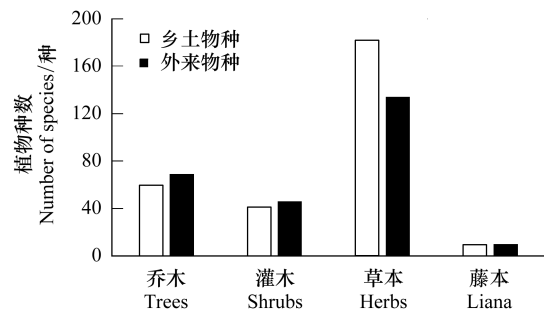


图 3 研究区乡土物种与外来物种种数对比

Fig.3 Comparison of native and alien species



图 4 入侵植物五爪金龙对河涌旁水杉的绞杀

Fig.4 Strangulation of Metasequoia beside the river by the invasive plant Golden Dragon

龙眼、番石榴、木棉等。昆虫类友好植物 90 种,其中宿主植物 35 种,主要有枇杷、小叶榕、垂柳、白茅等;蜜源粉源植物 61 种,主要有桂花、龙眼、田菁、芒果等。鱼类两栖类友好植物 34 种,主要有芦苇、香蒲、莲子草、蓼等。各类动物友好植物主要分布在聚落、岸线和湿地,大多是本地居民基于经济和观赏目的种植的果树、观花植物和政府基于绿化修复为目的种植的榕树类、水杉类和水生类植物,缺乏以生物多样性建设为目标进行科学配置和生境营造。

3 典型生境-植群特征

3.1 典型生境的植物构成特征

河网区受自然和人类共同影响形成了滨水、坑塘、农田、聚落四类典型生境,其中滨水生境样地和样点数最多,占比近一半(表 2)。物种构成方面,滨水和聚落生境更为丰富,特别是滨水生境因位于水陆交界处,物种丰富度最高;滨水洪泛区多种草本先锋物种占领优势,草本植物多样性明显。聚落生境作为人类主要生活区域,发挥遮荫、风水、景观、生产等功能的乔木树种占比高达 41.98%。坑塘和农田受生产标准化影响乡土植物占比不足 50%,由于应用化肥、农药、除草剂等,草本层物种多样性极低;而在机耕路旁、弃耕地等人为干预程度较低的区域,均出现结构较为完整、稳定性较好的次生植被群落。外来入侵方面,聚落占比最低,说明人工管理对防治入侵物种成效明显;而坑塘入侵物种占比达 10.3%,且由于基面过窄复层种植较少,灌木树种较少。

表 2 典型生境类型植物构成统计表

Table 2 Statistical table of plant composition of typical habitat types

生境类型 Habitat types	样点数 Total number of sample plot	物种组成 Species composition			生活型 Life form				乡土属性 Local attribute	
		科数 Family number	属数 Genera number	种数 Species number	乔木 Arbor	灌木 Shrub	草本 herbaceous	藤本 Liana	乡土植物占比 Proportion of native plants	外来入侵植物占比 Proportion of alien invasive plants
滨水 Water front	91	79	81	220	56	27	128	8	57.08%	5.94%
农田 Farmland	36	45	95	113	32	25	52	4	44.25%	5.31%
坑塘 Dike-pond	36	40	89	99	26	3	66	4	45.45%	10.10%
聚落 Settlement	39	52	107	131	55	25	48	3	52.31%	3.01%

3.2 典型生境的 9 个植物群系特征

典型生境植物群系反映了河网区生态空间的重要构成及水乡景观风貌,植物群系构成及其生物友好性是进行河网区生境修复设计的重要参照蓝本(表 3)。四类典型生境共 9 个本土植物群系,其中滨水生境 6 个,其他三类生境各 1 个。滨水生境根据坡度、宽度及水文-生态特征划分为非洪泛区和洪泛区两类,非洪泛区以完整的乔灌草复层结构为主,鸟类和昆虫友好植物种类较丰富;洪泛区以单层天然群落为主,特别是湿生草本植物种类丰富,其植物群系经过长期大自然的选择形成了稳定群落,是水网区裸露滩涂、荒地、人工湿地等选择先锋修复物种的最好种质资源和参照蓝本,但鱼类友好植物种类有限。聚落、农田、坑塘植物构成反映出强烈的地方生产性特征,如木瓜、芭蕉、乡土果树等兼顾人类食用、象草用于鱼塘食料等,是反映岭南水乡特色的重要自然载体,对塑造地方风貌具有重要参考价值。

3.3 两种“生境-植群”空间组合模式

典型生境及其植物群系在平面上的空间形态、分布特征影响生态格局,对场地生态功能至关重要。以堤围为中心将珠三角河网区空间划分为岸带和内陆两大片区,岸带是河网区的骨架,形成了“聚落-农田-滨水”空间组合模式,具有长带状的形态特征;内陆是河网区的基底,形成了“坑塘-河涌-苗圃”空间组合模式,具有网格状的形态肌理(图 5、图 6)。岸带是生态修复和生态管控最主要的区域,包含了人工化和自然化的两极——聚落和滨水:聚落生境建筑密集、植被稀少、人工化程度高,但受南方风水林文化影响,其乡土果树、撑篙竹群系植株高大、视觉形象突出。滨水生境位于外河的水陆交错地带,对于维持河网区生态系统平衡和

表 3 典型生境植物群系及其动物友好特征
Table 3 Plant formation of typical habitats and their animal-friendly characteristics

生境类型 Habitat types	植物群系 Plant formation	植物构成 Plant composition	动物友好性 Animal friendliness	
滨水 Water front	非洪泛区	构树 + 苦楝-海芋群系	常绿阔叶人工-天然混交林,2—3 层结构;构树+苦楝+小叶榄仁-对叶榕+芭蕉+海桐-海芋+类芦+芒+白茅	B-除芦、芒、白茅外,I-白茅
		落羽杉群系	落叶人工林,2—3 层结构;落羽杉+构树+苦楝+小叶榕+芭蕉-苧麻+海芋-象草+肾蕨+结缕草	B-除象草、肾蕨、结缕草外, I-小叶榕、结缕草
		撑篙竹+苦楝+木棉群系	常绿阔叶人工-天然混交林,2—3 层结构;撑篙竹+苦楝+木棉-构树+苧麻-芭蕉+海芋+芋头+火炭母+红蓼+莠竹+鸭跖草	B-苦楝、木棉、构树、芭蕉、海芋、苧麻, I-红蓼、三叶鬼针草、鸭跖草, F-红蓼、芋头
	洪泛区	马唐+狗牙根群系	单层人工-天然混合群落;菖蒲+马唐+酸模+莲子草+狗牙根+鸭跖草等草本植物	B-酸模, I-鸭跖草, F-菖蒲、酸模、莲子草
		构树+芭蕉-海芋群系	常绿天然林,2—3 层结构;构树+芭蕉-毛草龙+海芋+芋头+白茅	B-除类芦、白茅外, I-白茅, F-芋头
		湿生草本群系	单层天然群落:芦苇+稗草+薏米+鸡矢藤+蕹菜+毛草龙+白茅+火炭母+鸭跖草+水蓼+莲子草+马齿苋+独行草+水芹+东方香蒲+车前草+酸模+天胡荽+齿果草+雪见草+蛇莓+蛇床+石竹+冷水花+狗尾草+芥+红花酢浆草+野苘蒿+土荆芥	B-酸模, I-白茅、鸭跖草、马齿苋、车前草、水蓼, F-芦苇
农田 Farmland	木瓜+芭蕉群系	常绿阔叶人工-天然混交林,3—4 层结构;木瓜+芭蕉-芦苇+类芦+芒+芋头+牛筋草+田菁+马唐	B-芭蕉、牛筋草、芦苇, I-田菁, F-芦苇、芋头	
聚落 Settlement	乡土果树+撑篙竹群系	常绿阔叶人工-天然混交林,2—3 层结构;芒果+小叶榕+龙眼+木棉+黄皮+撑篙竹+粉单竹-桂花-芥菜+鱼腥草+马唐+牛筋草+鸡屎藤	B-撑篙竹、粉单竹、桂花、小叶榕、龙眼、木棉、黄皮, I-芒果、龙眼、桂花	
坑塘 Dike-pond	构树+芭蕉-象草群系	常绿阔叶人工-天然混交林,多为 2—3 层;构树+芭蕉+木瓜-象草+芋头-莲子草+田菁+藿香蓟+苋	B-构树、芭蕉, I-田菁, F-象草、芋头、莲子草	

B-鸟类食源或营巢,I-昆虫蜜源粉源或寄主,F-鱼类两栖类营巢或食源

健康具有重要作用^[8],其撑篙竹-苦楝-木棉群系生态功能和景观特色显著,是生态修复值得推广的配置模式;但岸带普遍面临滩涂耕种侵占、植被稀疏、缓冲带不够、生物多样性不足的问题。内陆“坑塘-河涌-苗圃”是农业生产最主要的区域,其中坑塘受高租金和高标准渔业发展影响,形态上由自然肌理演变为人工几何化,塘基变窄,基与塘的面积比由传统的 4:6—5:5 减少到 1:9—2:8,以果基、菜基和草基为主,大部分基面荒废缺乏管理维护,造成生态功能减弱和生物友好性不足。同样,受高标准农田建设影响,苗圃总体形态及其灌溉沟渠多为规则几何形,对鸟类、鱼类和两栖类动物也缺乏亲和性;高流转的生产方式不仅面临土壤流失、耕作层破坏风险,而且由于植物层更替周期短、不稳定,造成土壤层和作物层动物友好性不足。河涌落羽杉群系形态独特、且有丰富的季相变化,受到园林绿化的青睐,成就了水网区独特的林网景观;但也存在物种单一、不能为多种动物提供全年食源或栖息地,需要根据目标物种丰富该群系植物层次或分段布局多样化植物群落。

4 生态修复设计应用——以佛山市大美公园为例

传统景观规划设计以人工化和园艺化程度较高的园林植物配置方式为主,用于指导兼具生物多样性功能和地方景观风貌恢复的设计方法较为缺乏。本部分基于大美公园现状分析,在前文研究指导下进行兼具生产、生态、观赏和游憩功能的近自然景观修复实践探索。在规划层面,以前文总结的四种生境类型及其两类空间组合模式为基础,进行大美公园生物廊道、生境斑块以及生态节点的布局;在设计层面,以 9 个本土植物群系指导各节点生物友好和特色景观的人工近自然群落配置。

4.1 现状生态特征

弄清现状生态和景观特征是修复设计的基础。生境格局方面,大美公园的主要生境单元是苗圃和坑塘,场地内自然生态功能斑块占比极低,林、草、园地等总和不足 10%;生态结构不连续,其中连通度较高等级(35.15—497.69)的斑块仅占公园总面积 33.7%;生态敏感性中高区域占比较大,主要表现为洪涝调节和土壤保持敏感性



图 5 “聚落-农田-滨水”典型生境组合及其植物群系剖面图(摄于佛山市丹灶镇金沙岛)

Fig.5 Sectional view of plant formations in Settlement-Farmland-Waterfront habitats (Photo taken at Jinsha Island, Danzao Town, Foshan City)

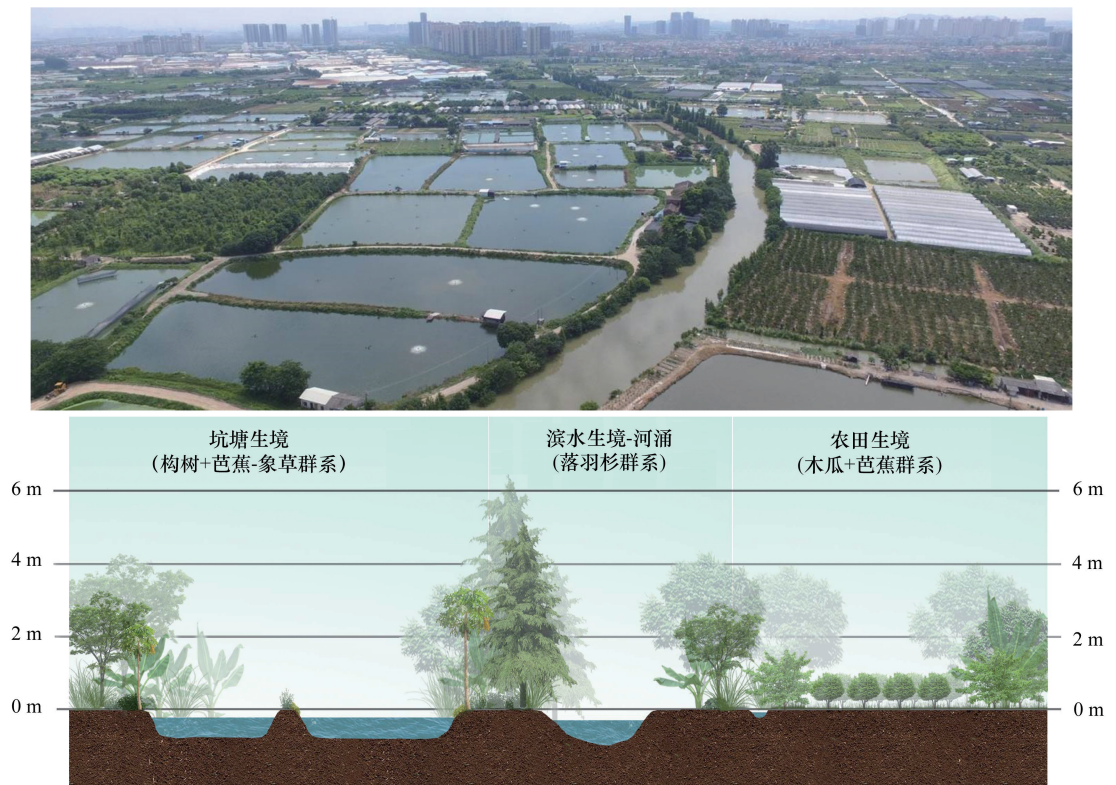


图 6 “坑塘-河涌-苗圃”典型生境组合及植物群系剖面图(摄于佛山市顺德区大圃公园)

Fig.6 Sectional view of plant formations in Dike-pond-River-Nursery habitats(Photo taken at Damei Park , Shunde District , Foshan City)

高。生境品质方面,苗圃种植单一,外来入侵严重,农田、坑塘形态几何化严重,生物多样性缺乏。景观感受方面,以农业和渔业生产功能为主,参与体验性差;植物色彩和层次单一,水乡景观特色不突出(图 7)。

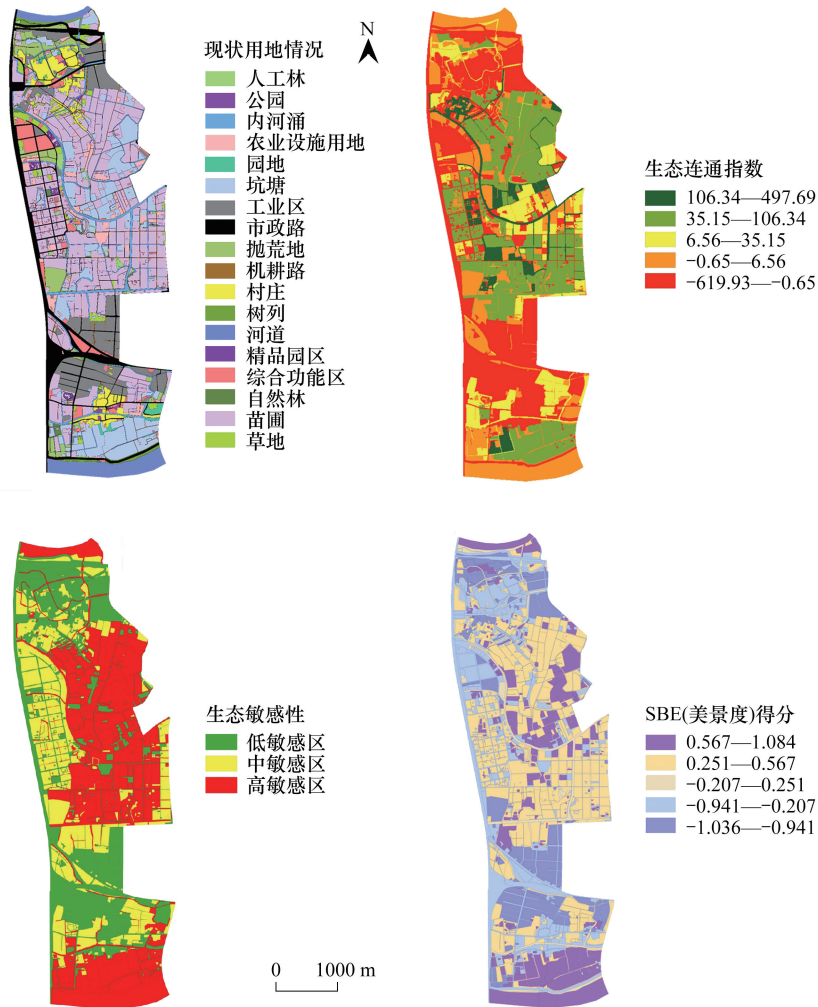


图 7 大美公园现状分析

Fig.7 Analysis on current quality of Damei Park

4.2 总体布局

针对现状特征和问题,首先依托河涌水系等建构生态廊道网络,修复场地基质-斑块-廊道体系,形成“三廊+多斑块”的格局(图 8);其次将公园活动趣点与生态保育点相结合,通过生物多样性恢复示范、生态景观体验、自然教育和农业产业提升四个维度,重新建立公园生态新格局、重塑岭南水乡景观风貌(图 9)。

4.3 分类设计

根据斑块地形、植被景观差异,将生态功能点分为“水系景观”、“田园景观”、“树丛景观”。结合游人体验、生态功能提升、自然教育策划生态节点,植物配置以前文总结的植物群系结构树种构建骨架,以遮荫、食源、吸污、固土、观赏等功能的辅助植物点缀斑块(表 4);同时注重植物群落物种的组成、物种间的层次搭配及群落林冠线、林缘线空间关系等,达到生境修复和水乡风貌恢复的双重目标(图 10、图 11)。

5 结论与展望

5.1 结论

(1)珠三角河网区植物物种丰富,但乡土植物占比较低、外来入侵较严重;通过对广佛河网区20个样地

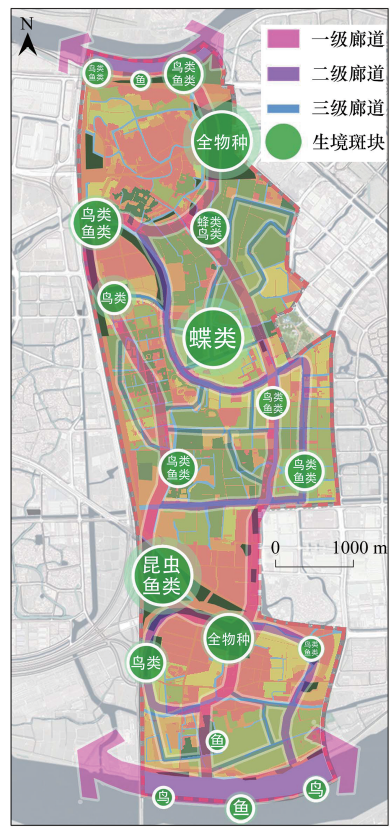


图 8 生境廊道与斑块结构构建图

Fig.8 Construction map of habitat corridor and patch structure

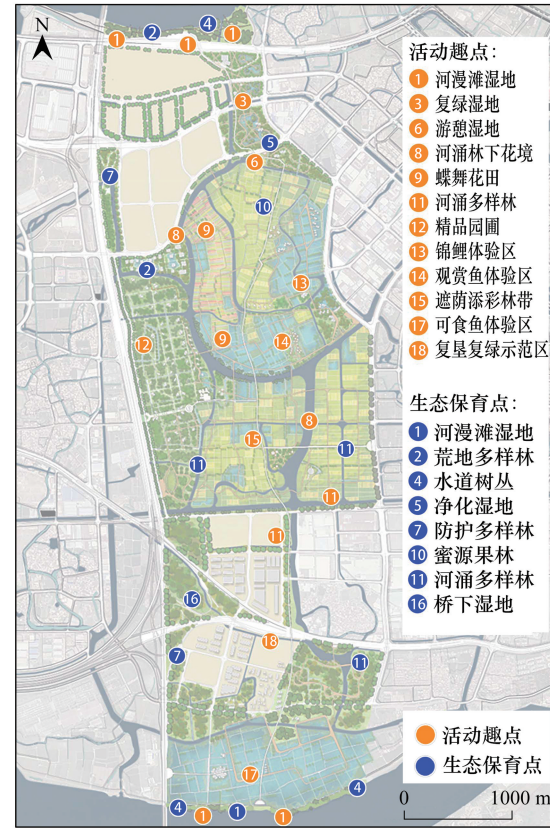


图 9 生态功能点平面布局图

Fig.9 Layout plan of ecological function points

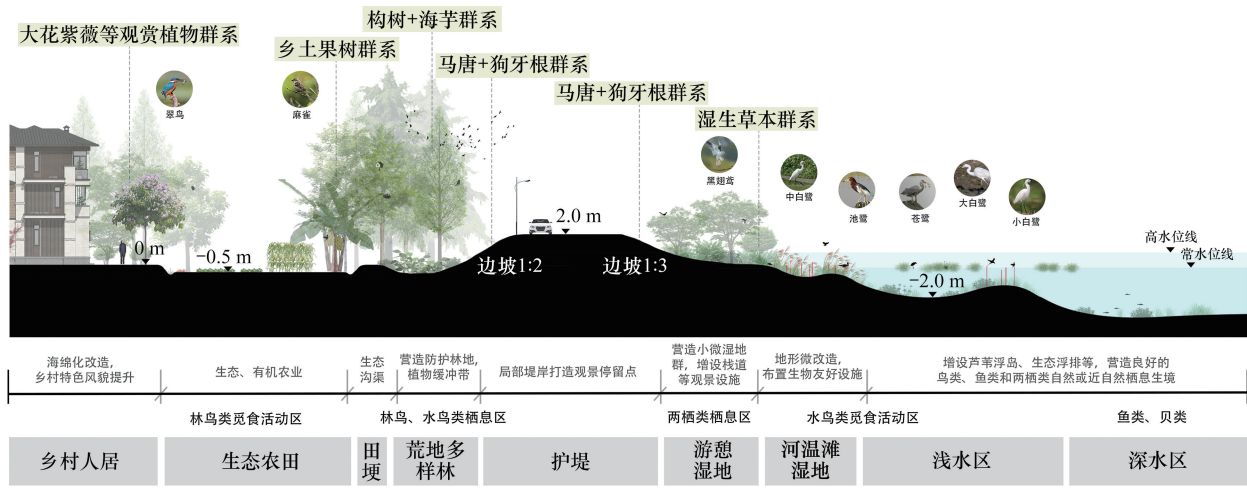


图 10 “聚落-农田-滨水”典型生境组合生态功能修复与景观营造模式

Fig.10 Ecological function restoration and landscape construction mode of Settlement-Farmland-Waterfront habitats

202 个样点 (不包括山林地) 的调查分析, 研究区维管束植物构成为 122 科 382 属 551 种, 远高于同类型的上海河岸带植物 70 科 135 属 165 种^[39]、宁波杭州湾新区 364 种 (野生 164 种)^[40]、成都新津河网河岸带维管束植物 64 科 159 属 212 种^[41]。但受坑塘、苗圃、园地等类型的农业生产以及园林绿化影响, 本土植物占比不足 53%, 外来入侵植物占比 2.07%。需要有意识提升本土植物比重, 加强入侵植物管控治理。

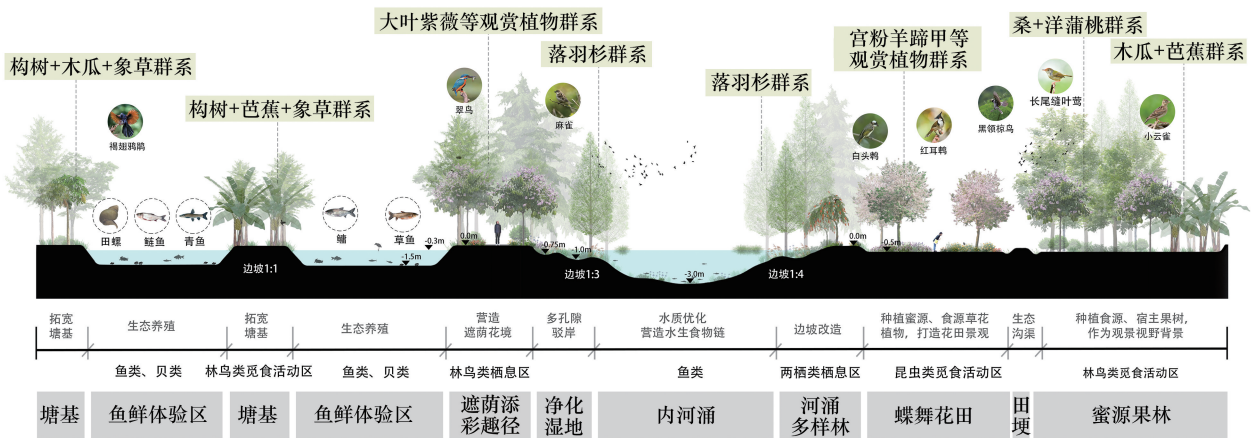


图 11 “坑塘-河涌-苗圃”典型生境组合生态功能修复与景观营造模式

Fig.11 Ecological function restoration and landscape construction mode of Dike-pond-River-Nursery habitats

表 4 典型生境植物群落修复与水乡景观风貌恢复

Table 4 Restoration of plant communities in typical habitats and restoration of water town landscape

景观类型 Landscape types	生态节点 Ecological node	功能 Function	植物配置 Plant Arrangement	
			乡土植物构建骨架 Native plants used for backbone tree species	功能植物点缀斑块 Functional plant patches
水系景观 Water landscape	河漫滩湿地	适应水文变化,为鸟、鱼、两栖类动物提供生境,保持滨江水土,提供游憩空间	落羽杉、水杉、木棉、芦苇、芦竹、海芋、狗牙根、马唐、鸭跖草	睡莲、灯心草、菖蒲、毛草龙、风车草、野牡丹、香蒲、李氏禾、鱼黄草
	净化湿地	为鸟、鱼、两栖类动物提供生境,同时帮助净化内河涌和基塘水质	池杉、落羽杉、芦苇	垂柳、红花继木、沿阶草、浮萍、大藻、灯心草、菰、水花生、香蒲、石菖蒲、狐尾藻、茭白、水葱、菖蒲
	游憩湿地	为各类动物提供生境,同时作为游客观光的区域	落羽杉、池杉、水杉、水蒲桃、水翁、乌桕、白饭树、水横枝、芦苇	垂柳、黄槐、地毯草、白茅、黄花鸢尾、千屈菜、狐尾藻、黑藻、苦草、眼子菜
	复绿示范湿地	作为场地内部与滨江区域之间的鸟类生态踏脚石,同时作为复绿的科普示范点	狗牙根、木豆、落羽杉、木棉、小叶榕、狗牙根、蔓生莠竹、芦苇、白饭树、马唐、	海桐、野牡丹、李氏禾、鸭跖草、鱼黄草
田园景观 Farmland landscape	精品园圃	精品苗木与锦鲤文化结合进行场景式展示,同时作为生态补偿点构建各类生境	毛竹、撑篙竹、黄槿、狼尾草	凤凰木、无忧树、复羽叶栎木、假槟榔、鱼尾葵、水石榕、龙船花、杜鹃、黄蝉、含笑、红花继木、葱兰、鸢尾
	蝶舞花田	为昆虫提供蜜源植物,同时作为锦鲤大道及水上趣径的视野背景,兼具生产功能	串钱柳、红千层、洋蒲桃	短穗鱼尾葵、黄花风铃木、假连翘、虾子花、大叶马兜铃、含笑花、龙船花、毛杜鹃、野牡丹
	蜜源果林	为昆虫提供蜜源植物和宿主植物,并为花田和趣径的视野背景,兼具生产功能	桑、洋蒲桃、桂花	大叶紫薇、黄槐、宫粉羊蹄甲、黄花风铃木、大腹木棉
	鱼鲜体验区	展示顺德本地可食鱼类的生态养殖技术,并引入休闲、美食等本地文化体验功能	大叶榕、落羽杉、人面子、蒲桃、洋蒲桃、毛竹、撑篙竹、	大花紫薇、串钱柳、乌桕、香樟、凤凰木、无忧树、鱼尾葵、黄槿、水石榕、海桐、九里香、野牡丹、龙船花、杜鹃、黄蝉、含笑、红花继木、鸢尾、狼尾草、花叶良姜
树丛景观 Bush landscape	河涌林下花境	为水上游径提供丰富的视觉景观,同时为昆虫类和鸟类提供生境	落羽杉、水杉、狗牙根、海芋、白茅	樟树、小叶榕、大叶榕、小叶榄仁、鸡蛋花、阴香、白千层、枫杨、矢车菊、万寿菊、金叶假连翘、鸭脚木、软枝黄蝉、地毯草、萱草、花叶长春蔓
	遮荫添彩趣径	完善趣径的遮荫和景观功能,同时为昆虫类和鸟类提供生境	小叶榕、黄葛树、蒲桃、落羽杉、狗牙根、类芦、芦竹、芦苇、	广玉兰、山杜英、阴香、白兰、秋枫、樟树、大叶紫薇、红千层、白千层、海桑、桂花、天堂鸟、女贞、茶花、红花继木、地毯草、结缕草、沿阶草、美人蕉、菖蒲

续表

景观类型 Landscape types	生态节点 Ecological node	功能 Function	植物配置 Plant Arrangement	
			乡土植物构建骨架 Native plants used for backbone tree species	功能植物点缀斑块 Functional plant patches
	水道树丛	作为滨江区域的树丛斑块,同时作为人类活动的树丛景观背景	落羽杉、池杉、构树、海芋	香蒲、红蓼、鸢尾
	荒地多样林	利用抛荒地建立各类动物生境,作为场地内的生态补偿点	构树、苦楝、木棉、撑篙竹、海芋、白茅、狗牙根	朴树、木豆、野牡丹
	河涌多样林	以生态涵养为主要目的,充分发挥水系空间的生态优势,为各类动物提供生境	构树、青果榕、对叶榕、苦楝、撑篙竹、狗牙根、马唐、白茅	朴树、木豆、鸭跖草、海芋、石竹、非洲凤仙、孔雀草、万寿菊

(2) 珠三角河网区动物友好植物种类丰富,但缺乏主动科学应用:研究区共有鸟类友好植物 88 种、昆虫类友好植物 90 种、鱼类两栖类友好植物 34 种,相比广州城市园林绿地常见的鸟类食源 25 种、蜂蝶类 20 种^[21]、福建地区蝶类友好植物 62 种^[27]等,在可筛选的植物种类上具有一定的优势。但现有植物种植多以食用、观赏、绿化为目的或自然生长,缺乏针对动物友好生境的科学配置,难以满足不同动物不同季节、不同生活习性的需求。

(3) 珠三角河网区典型生境包括 9 个稳定的本地植物群系,但质量和数量不足:滨水、农田、坑塘、聚落生境在长期的自然演替和人工干扰共同作用下,形成了构树-海芋、落羽杉、撑篙竹-苦楝-木棉、马唐、狗牙根等 9 个有代表性的本地植物群落,具有较强的固土截污、动物友好、遮荫观赏等功能及鲜明的岭南水乡特色。但大部分受经济林、苗圃、园林植物干扰较大,生物多样性不足,特别是适宜各种鸟类的生境数量和质量不足,且已有种植存在采用单一物种或园林树种情况,反而不利于生物多样性的修复。论文成果为今后珠三角地区自然生境的生态修复提供了珍贵的蓝本和参照,通过提升典型植物群系质量和数量,达成恢复河网区生物多样性和特色景观风貌的生态修复目标。

5.2 展望

(1) 持续推进面向生态修复“最后一公里”的植物群落重建研究:典型生境植物群落研究是协调生态修复与地方三生空间高质量发展的重要基础,传统风景园林以人为服务对象的植物学研究不完全适用于生物多样性和生境修复目标,传统生态学“见数不见物”、“见物不见场地”的植物学研究难以指导落地性的生态修复设计。以恢复生物多样性和特色景观风貌为目标的生态修复建设,更需要持续推进针对典型生境的空间组合、空间形态、空间布局的植物群落及其生物友好功能的跨学科研究,通过风景园林学的介入,解决生态科学最后一公里的生态设计落地问题。

(2) 持续推进修复技术和修复效果研究:随着团队在珠三角生态修复规划设计工作的持续推进以及已有修复工程的逐步实施,将进一步补充珠三角典型生境植物数据库并通过生态环境监测和感知调查,对生态修复效果进行评价,检验并完善修复技术方法。包括确定目标物种进行有针对性生境设计、实施过程中乡土物种的替代方案以及推进乡土物种苗圃培育等。

参考文献 (References):

[1] Yang Z F. Watershed ecology and its applications. Engineering, 2018, 4(5): 582-583.

[2] 聂呈荣, 骆世明, 章家恩, 黎华寿, 赵玉环. 现代集约农业下基塘系统的退化与生态恢复. 生态学报, 2003, 23(9): 1851-1860.

[3] 赵玲玲, 夏军, 杨芳, 杨龙, 徐飞. 粤港澳大湾区水生态修复及展望. 生态学报, 2021, 41(12): 5054-5065.

[4] 郭燕, 杨邵, 沈雅飞, 肖文发, 程瑞梅. 三峡水库消落带现存植物自然分布特征与群落物种多样性研究. 生态学报, 2019, 39(12): 4255-4265.

[5] 郭泉水, 康义, 洪明, 金江群, 朱妮妮, 聂必红, 王佐庆. 三峡库区消落带陆生植被对首次水陆生境变化的响应. 林业科学, 2013, 49(5): 1-9.

[6] 韩宝龙, 束承继, 蔡文博, 贾倩, 王效科, 欧阳志云. 植被群落特征对城市生态系统服务的影响研究进展. 生态学报, 2021, 41(24):

9978-9989.

- [7] 付战勇, 马一丁, 罗明, 陆兆华. 生态保护与修复理论和技术国外研究进展. 生态学报, 2019, 39(23): 9008-9021.
- [8] 段红东, 刘小勇, 李晓晓. 运用近自然修复理念维护河湖健康生命的认识与思考. 水利发展研究, 2019, 19(9): 3-5, 9.
- [9] de Jager N R, Thomsen M, Yin Y. Threshold effects of flood duration on the vegetation and soils of the Upper Mississippi River floodplain, USA. *Forest Ecology and Management*, 2012, 270: 135-146.
- [10] 郭水良, 于晶, 陈国奇. 生态学数据分析: 方法、程序与软件. 北京: 科学出版社, 2015.
- [11] 郑丽婷, 苏田, 刘翔宇, 尹芳, 郭超, 妥彬, 阎恩荣. 庙岛群岛典型植物群落物种、功能、结构多样性及其对环境因子的响应. 应用生态学报, 2018, 29(2): 343-351.
- [12] 储亦婷, 杨学军, 唐东芹. 从群落生活型结构探讨近自然植物景观设计. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2004, 22(2): 176-180.
- [13] 李明娟, 赵娟娟, 江南, 潘妮, 张曼琳, 束承继. 深圳近海公园植物群落结构特征及其与景观格局的相关性. 生态学报, 2021, 41(22): 8732-8745.
- [14] Czortek P, Pielech R. Surrounding landscape influences functional diversity of plant species in urban parks. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, 47: 126525.
- [15] 李楚均, 陈小梅, 温小浩, 林敏丹, 许展颖. 城市化背景下珠江三角洲常绿阔叶林群落结构及植物多样性. 生态学杂志, 2019, 38(11): 3298-3305.
- [16] 翟石磊. 珠三角城市区典型森林植被的群落结构及功能的对比研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2016.
- [17] 许东先, 杨清, 陈星澄, 潘秋霞, 赵庆. 珠三角城市风景游憩林基调树种组成特征. 林业科技通讯, 2020(12): 23-29.
- [18] 程俊. 珠三角村落风水林调查及研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [19] 胡传伟, 赵强民, 孙冰, 甘美娜, 刘欣. 珠三角人居绿地木本植物数量特征研究. 生态科学, 2017, 36(2): 76-81.
- [20] 李许文, 叶自慧, 宁阳阳, 陈红锋. 广东珠三角地区典型景观大道植物景观调查及评价. 中国园林, 2015, 31(12): 98-101.
- [21] 洗丽铨, 徐彬瑜, 翁殊斐, 冯志坚. 广州城市园林绿地食源树种应用及其生态景观营造. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(2): 142-147.
- [22] 黄润峰, 李海生, 陈嘉瑜, 王海雯, 黄茵茵, 苏河开. 广州海珠国家湿地公园鸟类食源植物研究. 生态科学, 2021, 40(1): 52-61.
- [23] 李相逸, 崔冬瑾, 马超, 刘瑞雪. 基于鸟类生境修复与营造的湿地生态设计策略. 中国园林, 2020, 36(5): 133-138.
- [24] Strohbach M W, Lerman S B, Warren P S. Are small greening areas enhancing bird diversity? Insights from community-driven greening projects in Boston. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 114: 69-79.
- [25] 朱欣, 李龙兴, 龚正发, 陈光燕, 代兴红, 赵丽丽. 贵州省主要蜜源植物及泌蜜习性的调查研究. 江苏农业科学, 2021, 49(5): 221-225.
- [26] 任一涵, 杨凡, 史琰, 包志毅. 杭州地区构建蝶类生境的植物景观设计. 风景园林, 2016(3): 105-114.
- [27] 李龙, 孙佳婷, 陈云, 周育真, 陈建芳, 彭东辉. 福建地区蝴蝶生态园植物选择与配置. 湖北林业科技, 2021, 50(2): 23-27.
- [28] 贾慧娟, 赖子尼, 王超. 珠三角河网浮游植物物种丰富度时空特征. 生态学报, 2019, 39(11): 3816-3827.
- [29] 袁兴中, 贾恩睿, 刘杨靖, 陈松. 河流生命的回归——基于生物多样性提升的城市河流生态系统修复. 风景园林, 2020, 27(8): 29-34.
- [30] 袁兴中, 袁嘉, 胡敏, 余先怀, 申珂婷. 顺应高程梯度的山地梯塘小微湿地生态系统设计. 中国园林, 2021, 37(8): 97-102.
- [31] 王睿, 朱文莉, 朱玲. 基于草本植物景观的城市脆弱生境修复自然途径. 中国风景园林学会 2020 年会议论文集(下册). 成都, 2020: 346-351.
- [32] 卢训令, 汤茜, 梁国付, 丁圣彦. 黄河下游平原不同非农生境中植物多样性. 生态学报, 2015, 35(5): 1527-1536.
- [33] 胡文浩, 段美春, 那书豪, 张锋, 宇振荣. 坝上地区农田及两种恢复生境中蜘蛛多样性与群落特征. 应用生态学报, 2020, 31(2): 643-650.
- [34] 陈彩霞, 黄光庆, 叶玉瑶, 赵玲玲, 金利霞, 刘旭拢. 珠江三角洲基塘系统演化及生态修复策略——以佛山 4 村为例. 资源科学, 2021, 43(2): 328-340.
- [35] 江海燕, 张天行, 黄晓彤, 袁媛, 陆剑. 珠三角基塘农业生态系统修复及其生物多样性提升策略研究——以佛山市鲤鱼沙万亩公园为例. 广东工业大学学报, 2022, 39(1): 107-114.
- [36] 陈彩霞, 叶玉瑶, 黄光庆, 宫清华, 刘旭拢. 粤港澳大湾区基塘多功能性尺度效应及生态修复策略. 生态学报, 2021, 41(9): 3394-3405.
- [37] 付小平, 余珊, 黄敏华, 麦炜文. 佛山市河涌水环境治理修复技术研究与实践. 环境工程, 2016, 34(S1): 138-141.
- [38] Bezemer T M, Harvey J A, Cronin J T. Response of native insect communities to invasive plants. *Annual Review of Entomology*, 2014, 59: 119-141.
- [39] 徐洁思. 上海市河岸带植物配置研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2008.
- [40] 胡智东. 宁波杭州湾新区生物群落结构现状调查与评估[D]. 上海: 同济大学, 2016.
- [41] 刘婷婷, 王晓锋, 袁兴中, 龚小杰, 侯春丽. 新津河网系统河岸带植物种类组成与多样性研究. 水生态学杂志, 2021, 42(6): 24-33.