

生态修复导向下的天津七里海古泻湖湿地景观规划设计策略研究

Research of Landscape Planning and Design Aiming at Ecological Restoration: Taking Tianjin Qilihai Ancient Lagoon Wetland Restoration as an Example

李相逸¹ 马 超² 刘育辰¹ 王 庆^{1*}
LI Xiangyi¹ MA Chao² LIU Yuchen¹ WANG Qing^{1*}

(1.深圳大学建筑与城市规划学院, 深圳 518000; 2.山东省烟台市自然资源和规划局, 烟台 264000)
(1. School of Architecture and Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong, China, 518000; 2. Yantai Natural Resources and Planning Bureau, Yantai, Shandong, China, 264000)

文章编号: 1000-0283(2023)02-0035-08
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2023. 02. 0035. 005
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2022-11-19
修回日期: 2022-12-23

摘 要
湿地生态系统为许多物种提供重要的栖息地和各种生态系统服务, 然而世界范围内湿地生态系统现已受到不同程度的破坏及退化威胁, 对于湿地生态系统的修复与保护迫在眉睫。对天津七里海古泻湖湿地进行实地调查, 结合遥感影像, 识别生境类型。利用景观指数来描述和分析不同生境和植被组合的特征和质量, 以不同共位群鸟类作为研究对象, 调查其数量、种类、首选生境等。分析和评价结果显示, 生境类型的消失、植物种类的同质化以及水资源的短缺是主要制约因素。由此提出根据鸟类的偏好构建和恢复栖息地类型和斑块, 重建和疏浚水系统, 根据 MIKE 21 的模拟结果来确定四季的补水方案。最终形成的方法和过程可为不同地区的湿地修复实践提供借鉴。

关键词
景观修复; 景观规划; 植物群落; 动物栖息地; 湿地生态系统

Abstract
Wetland ecosystems harbour important habitats for many species and supply various ecosystem services, but these have been damaged severely. In this research, site inventories were conducted on the Qilihai ancient lagoon wetland in Tianjin, and together with remote sensing images, habitat types were identified. Landscape indices were used to describe and analyze characteristics and qualities of different habitat and vegetation associations. As the target species, numbers, species, preferred habitats etc., of different guilds of birds were investigated. Analysis and evaluation results revealed that disappearing habitat types, homogeneous plant species, and shortage of water are the main restraints. Therefore, we proposed to create and restore habitat types and patches based on birds' preferences, rebuild and dredge the water system, and supply water resources in different seasons according to simulation results via MIKE 21. The method and processes developed in this study could be used to make recommendations for wetland restoration practices in different sites.

Keywords
landscape restoration; landscape planning; plant associations; animal habitats; wetland ecosystem

湿地生态系统是陆地生态系统和水生生态系统之间的过渡地带, 兼具这两种生态系统的优点^[1], 同时又具有独特的水文条件、土壤条件、植被资源、动物资源等, 是最具生产力和生态功能的生态系统之一^[2]。然而, 近100 年以来, 由于人类活动的加剧, 人地关系

李相逸
1990 年生 / 女 / 甘肃陇南人 / 博士 / 助理教授 / 研究方向为景观生态修复、景观规划设计

马 超
1987 年生 / 男 / 山东青岛人 / 博士 / 烟台市自然资源和规划局副局长 / 研究方向为城市韧性与防灾

王 庆
1978 年生 / 女 / 湖南常德人 / 博士 / 讲师 / 研究方向为园林设计、园林景观规划与设计

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: wangqing@szu.edu.cn

基金项目:
国家自然科学基金青年项目“基于鸟类与栖息地关系的滨海湿地修复与规划方法研究”(编号: 5190081261); 广东省教育厅重点平台及科研项目“面向应用实践的景观生态学PBL教学模式改革与探索”; 深圳市优秀科技创新人才培养项目“基于鸟类多样性提升的深圳红树林湿地生态修复与保护方法研究”(编号: RCB20210609103755112); 深圳大学教学改革项目“面向应用实践的景观生态学PBL教学模式改革与探索”(编号: JG2021064)

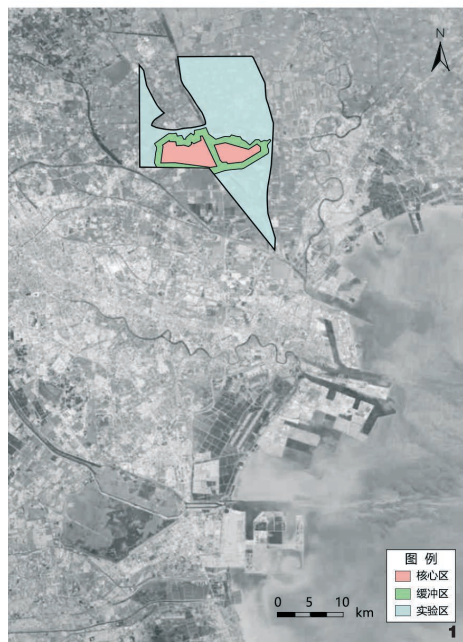


图1 七里海古泻湖湿地地区位图
Fig. 1 Location of Qilihai Ancient Lagoon Wetland

随之不断恶化, 全球范围内的湿地生态系统也遭到大面积、不同程度的破坏和退化^[3-5], 生态功能及生物多样性亦显著下降^[6]。

退化湿地的生态恢复与重建研究起源于英国学者Aber和Jordan^[7]提出的恢复生态学, 并逐渐在北美、欧洲等发达国家形成课题研究中心, 特别是针对洪水泛滥平原和浅湖湿地形成大量的研究成果。1990年美国环境保护署、国家研究委员会、农业部等其他部门提出一项关于湿地修复的计划, 通过保护和恢复河流、湖泊及其他湿地生态系统中的物理、化学和生物完整性^[8], 从而促进并改善生物结构与功能的正常运转^[9-10]。哈佛大学Carl Steinitz^[11]开展一项对圣佩德罗上游生态系统的研究, 在调查研究区域内的生态要素、功能和经济状况后, 建立表达模型、过程模型、评价模型、变化模型、影响模型和决策模型等。经过综合分析和多方案规划, 该项

研究为生态系统修复提供了新的思路和方法。在加拿大安大略省开展的生态修复中包括河流重建、退化湿地修复、新湿地重建、岛屿建设、湿地植被恢复等^[12]。

中国湿地修复研究始于20世纪50年代。自1992年中国成为《湿地公约》缔约国以来, 一直致力于湿地保护研究^[13], 并出台一系列相关规划、法律法规, 如《保护行动计划》^[14-15]。从学术层面来看, 对于湿地景观格局的动态研究和湖泊湿地、内陆湿地修复等方面已取得一些成果, 但针对古泻湖这一较为特殊类型的湿地生态系统的研究较少^[16-18]。此外, 湿地生态系统恢复的研究大多从技术层面和格局变化出发^[19-21], 将整个生态系统作为一个整体, 形成自上而下的修复方法或策略^[22]。这种方法需要分析尽可能多的要素或功能, 考虑生态系统的整体情况, 但由于缺乏具体的修复方法和措施, 往往难以进行, 并且分析结果不能完全地用于提出修复措施^[2,23]。

天津七里海古泻湖湿地是在海水后退, 陆地逐渐形成过程中遗留的众多洼地中的一处。且在后来上千年的发展变化中, 经历过降水、淡水河流冲刷、蒸发等相互作用后, 盐度逐渐降低, 水质亦由原来的盐水逐渐变为淡水^[24]。本研究主要针对七里海古泻湖湿地的核心区及缓冲区的现状动植物资源及分布状况等进行调研与分析评估, 进而提出导致该湿地生态系统退化的根本问题及原因, 并有针对性地提出适宜的修复策略与规划设计方法。

1 研究区域概况

七里海古泻湖湿地位于中国天津宁河县境内, 中心位置为北纬39° 17', 东经117° 47' (图1)。该湿地形成于7000多年前,

1992年经由国务院批准为古海岸与湿地国家级自然保护区^[25]。总面积约为344.38 km², 其中核心区约44.85 km², 缓冲区约42.27 km², 实验区约257.02 km²。其中核心区禁止人类活动, 潮白新河横穿核心区, 将核心区划分为东西两部分。目前在缓冲区内分布有农田。

2 研究方法

2.1 数据收集

2.1.1 植被调研

根据科学考察报告, 七里海古泻湖湿地生态系统内生长有植物有290种、200属、69科, 主要为草本植物^[26]。湿地在自然和非自然力的作用下经历了长期演化, 植被种类及其分布可以直接反映该地区的演替过程。由于湿地植被是生态系统中最基本、最重要的组成部分, 因此在改善环境质量和为动物提供栖息地方面发挥着不可替代的作用^[27]。

在植被调查中主要使用遥感影像图和田野调查相结合的方法, 通过谷歌地图和Bigemap下载了17-level的遥感影像^[28], 并于2014年至2016年的3月、5-7月、9月和11月进行田野调查。在进行植被研究时, 随机选择158个样本点, 对于调查物种、植被高度、密度、覆盖度、频率主要采用样方法和样线法^[29]。同时, 研究对比2004年和2007年保护区域的科学调查报告^[24], 发现保护区内的植物主要是人工栽培种, 只有少数为野生种。

2.1.2 动物调研

七里海古泻湖湿地内出现的鸟类共约177种。其中, 国家一级保护鸟类2种、国家二级保护鸟类26种^[24,30]。兽类共约5目7科14种; 两栖类约1目2科3种; 爬行动物约2目3科6种; 陆生昆虫约9目37科85种; 鱼类约6目7科46种。此外, 还有少量的浮游动物

和底栖动物。本研究主要以鸟类作为目标和指标物种，因为它们处于食物链的顶端，可以反映整个生态系统的生物多样性^[31-32]。在2014年至2016年的春季、夏季和秋季使用25 m固定半径的点计数调查进行鸟类普查^[33]。样点设置在不同类型的栖息地，每个样点之间的距离约为400 m^[34]，在每一站点上，以25 m为半径间隔10 min记录从上午6点到下午3点鸟类的种类和数量。

2.1.3 水文情况调研

七里海古泻湖湿地位于海河流域下游。结合历史数据，本研究主要在七里海古泻湖湿地核心区中央水面、分隔核心区的潮白新河布置水文采样点，主要在丰水期、平水期分别采样，并监测水体状况。

2.2 数据分析

2.2.1 栖息地斑块分析

栖息地的异质性和结构影响动植物群的分布和丰富度^[16]，景观指数用于量化景观结构和环境特征，例如斑块面积、斑块形状和空间复杂性。研究利用文献综述构建如下斑块层级与栖息地和生物多样性相关的环境和资源质量的假设。

(1) 由于不同类型的栖息地会吸引不同的生物，栖息地的主导类型决定了生物的主要种类，因此运用斑块区域的占比来辨别站点内栖息地的重要性和类型^[17]；(2) 在该地块中，不同的栖息地斑块可能嵌套在一起，斑块边缘通常为动物提供重要的生态位，斑块周长是概述栖息地斑块复杂性至关重要的属性^[16,35-36]，在相同的区域，周长越长，斑块越曲折；(3) 周长面积分维度会影响干扰程度，其取值范围为1~2，越接近1，斑块形状越规则，人为干扰程度越大；而越接近

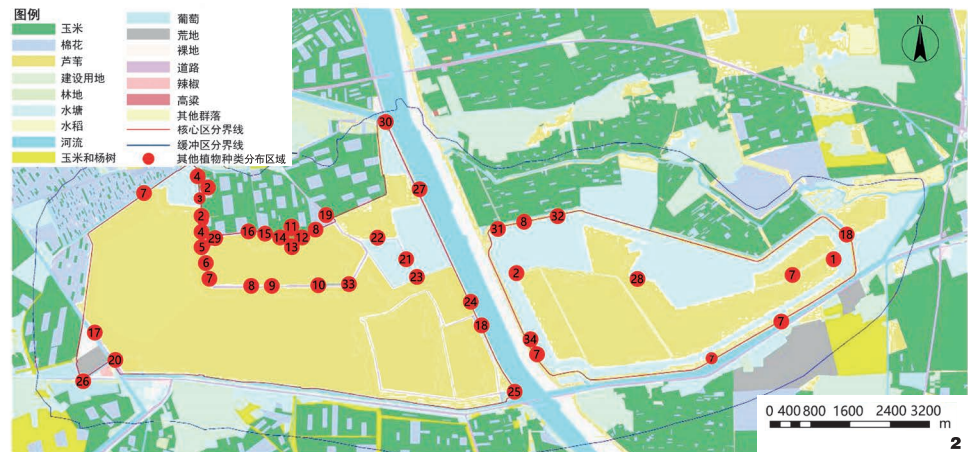


图2 七里海核心区的物种及其分布图
Fig. 2 Species and distribution in the core area of Qilihai

2，斑块形状越不规则，受到的人为干扰越小^[16,20]；(4) 连通性是体现连续性、生态过程和功能连通性的重要指标，当景观连通性高时，更易于群落的迁移、觅食、交流、繁衍和生存；相反，当连通阻力高时，则不利于生存^[16]。

运用高分辨率卫星影像图裁剪出研究区域，并利用ArcGIS 10.6识别和分类栖息地类型，运用ArcGIS平台 (Esri, USA) 的FRAGSTATS 3.3判定上文提到的景观特征。

2.2.2 植被多样性

研究考察了核心区和缓冲区的植被多样性，并用香农-维纳多样性指数来阐述伴生植物的丰富度，推算见公式(1)。其中 s 代表样本内植被的个体数量， P_i 代表第 i 个物种的数量。

$$H = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (1)$$

3 结果分析

3.1 栖息地类型及其分布

根据调查结果显示，七里海古泻湖湿地核心区及缓冲区内植物主要有野生种及人

工种植种类。其中野生种以芦苇 (*Phragmites australis*) 为代表的水生植物为优势种，分布较广，种类较为单一，仅在斑块边缘出现伴生种；人工种植主要以经济作物为主，具体分布如图2和表1。

3.2 动物资源及其偏好栖息地

七里海古泻湖湿地有自然、半自然和人工生态斑块，包括芦苇沼泽、水体、覆草堤坝、人工林、人工鱼塘等，这些斑块为动物提供了不同的栖息地，且由于其气候特征，使该区域成为东亚—澳大利西亚迁飞区的重要驿站。因此，鸟类是该地区的主要动物物种之一，也是重要的指标物种。据记载，保护区内约有177种鸟类，其中国家一级保护鸟类2种，国家二级保护鸟类26种^[29-30]。对鸟类的生态位、鸟类栖息地和食物来源进行分析(表2)，得出鸟类大多在水生植物、草丛、沼泽、广阔水面和树顶中活动，主要以鱼类、爬行动物和植物为食。

根据统计，七里海古泻湖湿地中的鸟类数量急剧下降，其中原有栖息于滩涂的部分鸟类已完全消失。其他动物类型，如兽类

表1 七里海核心区其他植物分布
Tab. 1 The distribution of plant species in the core area of Qilihai

分布区域 Distribu- tion area	物种 Species	分布区域 Distribu- tion area	物种 Species	分布区域 Distribu- tion area	物种 Species	分布区域 Distribu- tion area	物种 Species
1	藜属 (<i>Chenopodium</i>)	10	益母草 (<i>Leonurus artemisia</i>)	19	苍耳 (<i>Xanthium sibiricum</i>)	28	野草
2	地肤 (<i>Kochia scoparia</i>)	11	长芒稗 (<i>Echinochloa caudata</i>) 、 草木犀 (<i>Melilotus officinalis</i>)	20	茜草 (<i>Rubia cordifolia</i>) 、葎 草 (<i>Humulus scandens</i>)	29	茜草
3	圆叶牵牛花 (<i>Pharbitis purpurea</i>)	12	苣荬菜 (<i>Sonchus arvensis</i>)	21	芦苇、藜	30	黄花蒿 (<i>Artemisia annua</i>)
4	结缕草 (<i>Polygonum aviculare</i>)	13	水葱 (<i>Scirpus validus</i>)	22	扁秆蔗草 (<i>Scirpus planicul- mis</i>)	31	翅果菊、马唐
5	虎尾草 (<i>Chloris virgata</i>) 、马唐 (<i>Digitaria sanguinalis</i>)	14	长芒稗	23	芦苇、滨藜 (<i>Atriplex patens</i>)	32	长芒苋 (<i>Amaran- thus palmeri</i>)
6	榆树 (<i>Ulmus pumila</i>) 、碱蓬 (<i>Suaeda glauca</i>)	15	鬼针草 (<i>Bidens pilosa</i>) 、野大豆 (<i>Glycine soja</i>)	24	虎尾草	33	家独行菜 (<i>Lepidi- um sativum</i>)
7	葎草 (<i>Humulus scandens</i>)	16	曼陀罗 (<i>Datura stramonium</i>)	25	紫穗槐 (<i>Amorpha fruticosa</i>) 、 碱蓬	34	马唐
8	翅果菊 (<i>Pterocypsela indica</i>)	17	碱蓬	26	苘麻 (<i>Abutilon theophrasti</i>)		
9	刺槐 (<i>Robinia pseudoacacia</i>) 、 碱蓬	18	狗尾草 (<i>Setaria viridis</i>)	27	铁苋菜 (<i>Acalypha australis</i>)		

表2 七里海古泻湖湿地鸟类栖息地分布情况
Tab. 2 Bird niches of Qilihai Ancient Lagoon Wetland

鸟目 Ornithales	物种数量 Species number	栖息地 Habitat	筑巢地 Nesting sites	食物 Food
雀形目	18	栖息地复杂多样, 例如森林、草原、河边、湖泊 和沼泽地等	位于灌木丛或矮树丛中	谷物、杂草种子、昆虫等
鸻形目	6	浅水或潮湿的地方, 如泥潭、沼泽、芦苇、草 地、稻田、低草丛、路边树林等	靠近水和相对潮湿的地方, 如河岸和 岛屿	节肢动物门、昆虫、鱼类、 谷物、草茎、植物果实
鹬形目	3	易被淹没的地区, 如河岸、草地、芦苇、沼泽、 稻田、沟渠、浅水塘和水域附近的灌木等	在阔叶树或针叶树、竹子、茂密的芦苇 或苔藓的顶部	节肢动物、软体动物、甲壳 动物、昆虫、鱼、无尾目、 鼠科、水草
隼形目	3	开阔场地, 最好有草地沼泽、芦苇和稻田	树或悬崖顶部	蛇、无尾目、鼠科、鸟类、 鱼类
鹤形目	2	河岸、水边灌木、湖边、草地、竹林、稻田和芦 苇池塘	蒲公英、芦苇或近水灌木	鱼、昆虫、鼠类、豌豆、谷 类
鸱鸺目	1	深水区, 如平原、沼泽、河流、湖泊、池塘和水 库	河流与湖泊的间隙, 芦苇、灌木、香 蒲, 漂浮在水面的巢穴	水生植物、鱼、蜗牛、虾
佛法僧目	1	栖息在湖泊、河流和海滩上	树中或地面	鱼、软体动物
雁形目	1	在湖泊、池塘、河流、水库、稻田和耕地中捕食。 白天在水中休息, 黄昏时分飞到食场觅食, 晚 上返回住宿地	野草、浅洞、水岛、运河、灌木丛、沼泽 湿地, 河流和湖泊附近的树洞	木薯、石榴、昆虫、水生植 物、谷类等的芽和茎
鸡形目	1	栖息于针叶林和阔叶混交林附近的密林、河边 和农田	森林中的岩石下以及森林的边缘, 灌 木丛中	谷物、豆类、玉米、草籽、 腹足纲动物、蜘蛛、昆虫
鸽形目	1	栖息在村庄周围和稻田, 高树, 电线。在开阔的 农田、稻田、干燥场和谷物堆上觅食	在落叶松、云杉、柏树、灌木和荆棘的 枝干上, 其他密实而隐蔽的地方	杂草种子、农作物种子和 各种植物果实

注：表中关于鸟类栖息地、筑巢地及食物来源根据鸟类网、参考文献[37-38]及观察总结得出。

(以啮齿类为主)、两栖爬行类、昆虫类及底栖类的数量、种类均大幅下降,动物资源状况不容乐观。

3.3 栖息地斑块特征

为了描述景观斑块特征,本研究计算了核心区域内不同类型斑块的斑块数量、斑块周长、斑块面积、斑块形状指数以及景观相似度指数,如表3所示。核心区域和缓冲区域植被的香农-威纳多样性指数如图3所示。

由以上分析可得出,七里海核心区以芦苇丛为主,占总面积的68%,远超其他类型的斑块。此外,还有河流和开阔水域、耕地以及其他类型的栖息地,例如草地、裸地和道路等。分析结果表明,虽然芦苇丛的总面积是最大的,但其总周长不是最长的,并且具有最低的周长面积分形维数,连通性较低,这意味着芦苇丛的形状规则,人为干扰严重。大多数芦苇丛的香农-威纳多样性指数较低,约0.53~1.05。第二大斑块是河流(包括开阔水域),有第二长的周长。与芦苇丛相比,河流斑块略好一些,但形状仍然规整且受人为干扰。由于河流斑块边缘生长着一些水生植物,因此香农-威纳多样性指数最低,约为0~0.53。潮白新河沿岸植物群落多样性较高,有草本植物、灌木、藤本植物和小乔木。耕地斑块虽然是人工的,但具有相对较高的连通性。

综上所述,七里海核心区的生境类型很

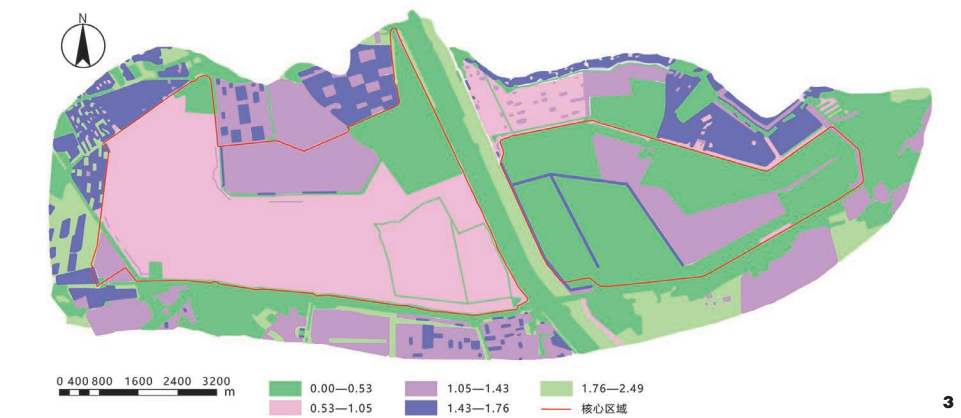


图3 核心区和缓冲区植被的香农-威纳多样性指数^[29,39]
Fig. 3 Shannon-Wiener Diversity Index of vegetation in core area and buffer zone^[29,39]

少,植物资源和群落结构简单,斑块边缘形状规则,并且景观连通性很低。栖息地斑块的边缘是一个生态交错的区域,曲折的边缘在一定程度上可以增加水生植被的数量,促进水的自然流动,净化水质。同时,斑块曲折的边缘,可为水生生物提供迁徙和产卵的场所。但由于人为因素的干扰,大部分芦苇沼泽斑块的边缘规则,不适合水生生物栖息繁衍。

3.4 水文状况

根据历史数据及检测数据,七里海古泻湖湿地pH值为8.4,属于微咸水湿地。核心区被潮白新河分隔为东西两部分,其中东部的水域主要用于水产业及畜牧业,西部淤泥较深,水量较小。根据记录,研究区域内在9月底至次年4月水位通常会保持在3 m左右,

到6月底由于蒸发量大于降雨量,且天然补水来源不足,水位会降至1 m左右。且由于七里海古泻湖湿地内部动植物所需的水分亦来自东西部的水域,因此水资源短缺问题较为严重。

4 讨论

通过数据分析可知,研究区域内的大多数斑块形状是规则的,因此它们的连通性较低,这导致景观同质化和生物多样性减少。为解决这些问题,应增加更适宜的栖息地类型,修复现存的栖息地斑块和植物群落。此外,由于干旱和水资源的过度利用,在缺水对整个生态系统造成极其恶劣影响的情况下,需要重视对水资源的保护。因此提出三项策略,包括构建或修复栖息地、确保水源和增加植物群落,以此来提升该地区的环境质量和生物多样性。

4.1 增加栖息地类型和修复栖息地斑块

七里海古泻湖湿地核心区现有的生境类型有芦苇沼泽、水渠/水域、人工养殖池、鸟岛及少量的浅滩等,为了保证生态系统的自然状况,须进行恢复和改善。

表3 七里海古泻湖湿地核心区不同生境景观指数
Tab. 3 Landscape index of different habitats in the core area of Qilihai Ancient Lagoon Wetland

生境类型 Habitat type	芦苇沼泽 Reed marsh	河流 Rivers	耕地 Cultivated land	其他 Others
斑块总面积 (TA) /km ²	30.6309	6.9437	3.9333	3.3421
斑块总周长 (TP) /km	84.7080	53.8200	73.8180	37.6920
周长面积分形维数 (PAFRAC)	1.1082	1.2625	1.2781	1.1814
连通性	24.0791	25.9255	28.3419	18.0952

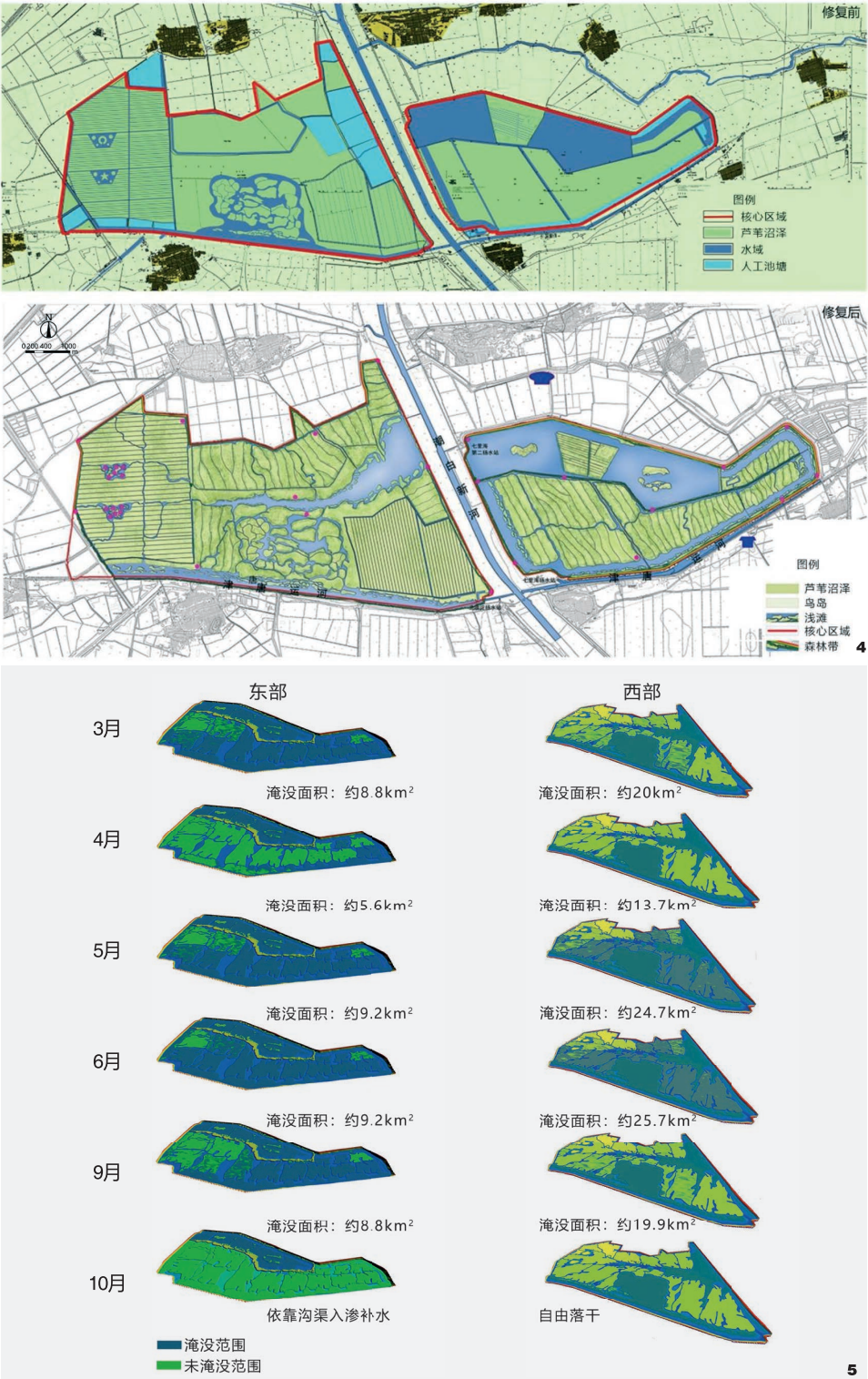


图4 七里海古泻湖湿地核心区修复前后
Fig. 4 Core area of Qilihai Ancient Lagoon Wetland before and after restoration.

图5 七里海古泻湖湿地不同季节淹没面积变化
Fig. 5 Water area of Qilihai Ancient Lagoon Wetland in different seasons

(1) 栖息地斑块修复。由于核心区内芦苇沼泽斑块连续性过强，造成植物多样性过低，均质化严重等问题，需要对此类斑块进行调整。可以通过将原有人工化痕迹严重的规整边缘调整为仿自然式的斑块边缘形式；根据植物生长需求，需在斑块内开挖水渠，将外部水系引入斑块内；由于常年淤泥堆积，水系统受阻，需要疏浚原有环形输水渠，清除淤泥，形成较为开阔的中央水面，以形成蓄水池的作用；需与潮白新河联通，沟通东西两部分，形成内循环。

(2) 栖息地斑块重建。据分析可知，核心区内栖息地类型单一，生物多样性亦较低。可在原有基础上，通过在核心区芦苇沼泽边缘构建浅滩，为鸟类、底栖类等提供合适的栖息环境；扩大鸟岛面积，增加人工鸟巢，放置汲水、取食设施，保证与鸟类更好生存。七里海核心区现状南临国道，周围被村庄包围，人为干扰因素较强。在西七里海西部及东七里海北部等处原有稀疏杨树林的基础上，修复并拓宽林带，对核心区形成有效绿色屏障（图4）。

4.2 水资源供给

水文条件是维系湿地生态系统正常运行的关键因素之一^[39]，水文周期直接影响着湿地的植被类型、分布及生物产量^[40]，而水资源短缺阻碍着七里海古泻湖湿地生态系统的健康发展。为使内部水资源足以支持动植物的生存，研究运用ArcGIS的MIKE21软件建立七里海核心区水系格局的二维模型，并基于该地区年降水量和蒸发量模拟不同季节的湿地淹没情况。选取核心区具有代表性的芦苇，分析其不同季节下的生态需水量，确定季节性补水方案。具体措施如下：春季3月进行第一次补水，使水深达到芦苇斑块中约

10 ~ 15 cm处, 4月依靠自然蒸发渗透排水, 并需要依靠芦苇斑块内部的沟渠保持内部贯通。这个季节补水的目的是润湿土层, 促进芦苇抽芽, 因此补水深度不宜过量; 夏季补水排水需要反复交替, 且在芦苇斑块中的水深需达到20 cm左右。这一季节是芦苇快速生长的时期, 一定深度的补水和补排水交替有助于芦苇的生长; 秋季浅补水, 使得水深达到约5 cm, 以排水为主。这一季节的芦苇需要增加茎秆的硬度, 促进根壮, 因此只需保持斑块内有水的状态即可。补水前后见图5。

4.3 修复并重建植物群落

经过长时间的演替和演化, 七里海古泻湖湿地的植物结构相对稳定和单一。由于外部干扰, 一些原有的群落结构和种间关系遭到破坏, 整个植物系统的生态平衡受到严重影响。修复工作应遵循维持原生植物、避免外来物种入侵的原则。经过充分调查, 恢复植物群落的第一步是选择植物品种, 建立土壤种子库, 该地区主要植物种类如下:

(1) 乔木: 毛白杨 (*Populus tomentosa*)、桃 (*Amygdalus persica*)、榆树; (2) 灌木: 柽柳 (*Tamarix chinensis*)、刺槐、酸枣 (*Ziziphus jujuba*)、鬼针草 (*Bidens pilosa*)、野大豆群落、地肤群落、狗尾草群落、刺儿菜 (*Cirsium setosum*) 群落、牵牛花 (*Pharbitis nil*) 群落、翅果菊群落; (3) 草甸: 碱蓬和地肤群落、长芒稗群落、马唐群落、铁苋菜群落、白茅 (*Imperata cylindrica*) 群落; (4) 水生和潮湿的水生物种: 芦苇、水葱、窄叶香蒲 (*Typha angustifolia*)、盒子草 (*Actinostemma tenerum*)、荻 (*Triarrhena sacchariflora*)、扁秆蔗草等。

本研究主要从芦苇沼泽、鸟岛、浅滩、林带等斑块为切入点, 为满足动物的需要, 应在不同的动物栖息地形成植物群落结构。

在植物选择方面, 尽量选择已在研究区域内出现的乡土物种, 并邀请10位专家进行物种选择评估, 最终确定植物修复方案, 具体如下:

(1) 在芦苇沼泽斑块中, 要保证优势芦苇的健康生长, 需同时在斑块边缘区域种植少量的伴生种, 如香蒲和扁秆蔗草; (2) 鸟岛植物群落的恢复需要建造灌木和水生植物的多层结构, 并保留原有的乔灌木, 同时, 该地区还应增加少量的本土引鸟植物, 如榆树、刺槐、酸枣、紫穗槐等; (3) 浅滩相对光滑, 可以保证两栖动物的生存和繁殖, 主要选择种植水生和湿生植物; (4) 森林带是由乔、灌、草组合而成的, 主要选择当地毛白杨、桃、榆树、怪柳和香花槐 (*Robinia pseudoacacia*)。

5 结论

湿地生态修复是一项综合性、科学性的项目, 涉及地理学、生态学、植物学、水文学等学科。景观设计师必须充分利用研究成果和场地现状, 这是制定景观规划策略的重要科学基础。针对特定的湿地生态系统修复, 调查场地现状, 全面了解和现有资源及其退化原因, 根据实际发展情况不断完善修复方案以达到更好效果。

(1) 了解原状: 分析退化生态系统的原始地形、生态格局、水文条件、自然资源等。(2) 分析现状: 全面调查和总结退化生态系统的自然格局和现状, 同时在更大的范围内认识自然和人类状况。(3) 分析问题和原因: 通过掌握现状数据, 应用相关理论和分析模型, 对生态系统现状进行分析诊断。(4) 研究修复措施: 对于具体修复措施, 需要将问题尽可能细化, 从不同专业领域的角度来解决, 同时也要统一、协调、有针对性, 来确

保修复措施的完整性和系统性。(5) 实时监测: 湿地生态系统是动态更新的, 需要进行监测。运用现代科学技术进行数据监测可以确保更加有效和更有针对性的修复方法提供科学依据。

湿地中的物种和要素很多, 其间又存在着复杂的关系, 并且由于生态弹性, 如恢复力和自净力等, 修复策略和措施还需根据定期实时监测和评估进行调整。作为最具生产力和生态功能的生态系统, 湿地生态系统在防汛抗旱、调节气候、减缓径流、蓄水排水、美化环境等方面具有很高的价值, 对其进行修复工作对人与自然和谐相处至关重要。

注: 文中图表均由作者自绘。

参考文献

- [1] HALLS A J. Wetlands, Biodiversity and the Ramsar Convention: the Role of the Convention on Wetlands in the Conservation and Wise Use of Biodiversity[M]. India: Ramsar Convention Bureau Ministry of Environment and Forest, 1997.
- [2] MELI P, BENAYAS J, BALVANERA P, et al. Restoration Enhances Wetland Biodiversity and Ecosystem Service Supply, but Results are Context-Dependent: A Meta-Analysis[J]. PLoS ONE, 2014, 9(4): e93507.
- [3] ERWIN K L. Wetlands and Global Climate Change: the Role of Wetland Restoration in a Changing World[J]. Wetlands Ecology & Management, 2009, 17(1): 71.
- [4] ZEDLER J B, KERCHER S. Wetland Resources: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability[J]. Annual Review of Environment & Resources, 2005, 15(30): 39-74.
- [5] 牛振国, 张海英, 王显威, 等. Mapping Wetland Changes in China Between 1978 and 2008[J]. 科学通报, 2012(16): 1400-1411.
- [6] BENAYAS J M R, NEWTON A C, DIAZ A, et al. Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: a Meta-analysis[J]. Science, 2009, 325(5944): 1121-1124.

- [7] SURHONE L M T M. Restoration Ecology[M]. Betascript Publishing, 2013.
- [8] XIAO X. Implementation and Implications of Everglade Wetland Restoration Plan in Southern Florida, USA[J]. Wetland Science & Management, 2012(03): 31-35.
- [9] JORDAN WR, GILPIN ME, ABER JD. Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research[J]. Journal of Applied Ecology, 1990(4).
- [10] BENDOR T. A Dynamic Analysis of the Wetland Mitigation Process and its Effects on no Net Loss Policy[J]. Landscape and Urban Planning, 2009, 89(1): 17-27.
- [11] DEAL, BRIAN. Alternative Futures for Changing Landscapes: The Upper San Pedro River Basin in Arizona and Sonora (Book)[J]. Journal of the American Planning Association, 2004, 70(2): 245-246.
- [12] POND D. Ontario's Greenbelt: Growth Management, Farmland Protection, and Regime Change in Southern Ontario[J]. Canadian Public Policy, 2009, 35(4): 413-432.
- [13] DR U P. China National Wetland Conservation Action Plan[M]. China Forestry Pub, House, 2002.
- [14] 国家林业局, 等. 中国湿地保护行动计划[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [15] FINLAYSON C M, DAVIDSON N, PRITCHARD D, et al. The Ramsar Convention and Ecosystem-Based Approaches to the Wise Use and Sustainable Development of Wetlands[J]. Journal of International Wildlife Law & Policy, 2011, 14(3): 176-198.
- [16] 邬建国. 景观生态学——概念与理论[J]. 生态学杂志, 2000. 19(1): 42-52.
- [17] LI X, MOONEY P. Implications of Avian Habitats: Relationships in Wetland Restoration[J]. Landscape Journal, 2019(1/2): 38.
- [18] 蔡剑英, 王烜, 李春晖, 等. 湿地景观格局研究前沿热点及发展趋势[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(10): 127-139.
- [19] RUIZ-JAEN M C, AIDE T M. Restoration Success: How is it Being Measured?[J]. Restoration Ecology, 2005, 13(3): 569-577.
- [20] IMAI H, NAKASHIZUKA T. Environmental Factors Affecting the Composition and Diversity of Avian Community in Mid- to Late Breeding Season in Urban Parks and Green Spaces[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 96(3): 183-194.
- [21] XIAO D, XIE F, WEI J. Regional Ecological Construction and Mission of Landscape Ecology[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004.
- [22] PALMER M A, ZEDLER J B, FALK D A. Foundations of Restoration Ecology: Second edition[M]. Restoration Ecology, 2017.
- [23] BROPHY L S, GREENE C M, HARE V C, et al. Insights into Estuary Habitat Loss in the Western United States Using a New Method for Mapping Maximum Extent of Tidal Wetlands[J]. PLoS ONE, 2019, 14(8): 0218558.
- [24] 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津古海岸与湿地国家级自然保护区管理处. 天津古海岸与湿地国家级自然保护区综合科学考察报告[R]. 天津, 2012.
- [25] 张光玉, 汪苏燕. 天津湿地与古海岸遗迹[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008: 18-46.
- [26] 于增会. 七里海野生植物图鉴[M]. 北京: 大众文艺出版社, 2008.
- [27] 李方正, 郭轩佑, 陆叶, 等. 环境公平视角下的社区绿道规划方法——基于POI大数据的实证研究[J]. 中国园林, 2017, 33(09): 72-77.
- [28] 李发明, 李娜, 王婷婷, 等. 基于BD-GIS耦合模型的北京奥林匹克森林公园景观优化策略研究[J]. 中国园林, 2020, 36(01): 65-69.
- [29] MORRISON M L, MARCOT B G, MANNAN W. Wildlife-Habitat Relationship: Concepts and Applications[J]. Journal of Range Management, 2007, 57(4): 980-981.
- [30] 宁河县地方志志编修委员会. 宁河县志[M]. 天津: 天津社会科学院出版社, 1991.
- [31] CROONQUIST M J, BROOKS R P. Use of Avian and Mammalian Guilds as Indicators of Cumulative Impacts in Riparian-wetland Areas[J]. Environmental Management, 1991, 15(5): 701-714.
- [32] TAULMAN J F. A Comparison of Fixed-Width Transects and Fixed-Radius Point Counts for Breeding-Bird Surveys in a Mixed Hardwood Forest[J]. Southeastern Naturalist, 2013, 12(3): 457-477.
- [33] WILSON R R, TWEDT D J, ELLIOTT A B. Comparison of Line Transects and Point Counts for Monitoring Spring Migration in Forested Wetlands[J]. Journal of Field Ornithology, 2000, 71(2): 345-355.
- [34] SODHI N S, et al. Bird Use of Linear Areas of a Tropical City: Implications for Park Connector Design and Management[J]. Landscape & Urban Planning, 1999, 45(2-3): 123-130.
- [35] HARGIS C D, BISSONETTE J A, DAVID J L. The Behavior of Landscape Metrics Commonly used in the Study of Habitat Fragmentation[J]. Landscape Ecology, 1998, 13(3): 167-186.
- [36] LIU H, et al. Characterizing Landscape Dynamics of a Small Catchment Under Ecological Rehabilitation Interventions in Northwestern China[J]. Landscape & Urban Planning, 2009, 93(3-4): 201-209.
- [37] 郑光美. 中国鸟类分类及分布名录[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [38] EHRLICH P R, DOBKIN D S, WHEYE D. The Birder's Handbook[M]. New York: Simon & Schuster, 1998.
- [39] 李相逸, 曹磊. 基于景观环境综合评价的七里海湿地恢复研究[J]. 天津大学学报(社会科学版), 2017, 19(03): 241-247.
- [40] HANSEN A T, et al., Contribution of Wetlands to Nitrate Removal at the Watershed Scale[J]. Nature Geoscience, 2018. 11(2): 127.