DOI: 10.5846/stxb201812052666
郝晟,王春连,林浩文.城市湿地公园生物多样性设计与评估——以六盘水明湖国家湿地公园为例.生态学报,2019,39(16): - .
Hao S,Wang C L, Lin H W.Design and assessment of biodiversity in urban wetland parks: Take liupanshui minghu national wetland park as an example. Acta Ecologica Sinica,2019,39(16): - .

城市湿地公园生物多样性设计与评估
——以六盘水明湖国家湿地公园为例

郝 晟[1],王春连[2,3],林浩文[1]
1 北京大学建筑与景观设计学院, 北京 100871
2 北京大学景观设计学研究院, 北京 100871
3 北京土人城市规划设计股份有限公司, 北京 100080

摘要:由于中国城市化进程加快,湿地公园中的生物多样性也随之受到影响,科学合理的设计和评估生物多样性对城市中同类型的湿地公园建设或维护有着重要的参考价值。研究选取基于人工设计的贵州省六盘水明湖国家湿地公园为例,从生境多样性与物种多样性两个方面对生物多样性进行评估。得出以下结论:(1)公园生境单元类型较丰富,公园中面状、现状要素饱和度指数都超 50%,生境多样性状况良好。(2)公园建成 5 年后场地内乔灌木植物的种类明显增多,其中丁香、香樟、蜡梅、榆树等植物成为新的优势种群,表现在园区的西部、南部与东部;草本水生植物种类也明显增多,优势种群结构并没有发生太大改变,集中表现在园区的西南部、南部与中部。(3)影响生物多样性变化的两大因素一是优势群落的自然演替恢复速度效果明显,二是人为干扰严重的地区生物多样性减少。

关键词:城市湿地公园;生物多样性;设计和评估;六盘水

Design and assessment of biodiversity in urban wetland parks: Take liupanshui minghu national wetland park as an example

HAO Sheng[1], WANG Chunlian[2,3,*], LIN Haowen[1]
1 *College of Architecture and Landscape of Peking University*, *Beijing* 100871, *China*
2 *The Graduate School of Landscape Architecture*, *Peking University*, *Beijing* 100871, *China*
3 *Beijing Turen Urban Planning and Design Company Limited*, *Beijing* 100080, *China*

Abstract: As the process of urbanization in China is accelerating, the biodiversity in wetland parks will also be affected. Scientific and rational assessment of biodiversity provides an important reference value for the construction or maintenance of the same types of wetland parks in cities. In this study, we selected the 5-year-old Liupanshui Minghu National Wetland Park in Guizhou Province and analyzed its biodiversity from habitat and species diversity. The former categorizes the "habitat units" in wetland parks into categories: punctual elements, linear elements, and planar elements, and calculates the corresponding area. The latter uses a sample method to investigate the number of species of vascular plants in the park and uses the Shannon-Wiener index for calculation, based on the diversity index of the two. ArcGIS overlay analysis was used to obtain the spatial coupling relationship between habitat diversity and species diversity. Subsequently, the corresponding habitat elements that affected the variation of species diversity were analyzed and optimized protection measures were proposed.

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0401105);国家自然科学基金面上项目(51678002)
收稿日期:2018-12-05; **网络出版日期**:2019-00-00
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: 402208932@qq.com

Key Words: city wetland park; biodiversity; design and assessment; Liupanshui City

城市湿地公园是一种独特的公园类型,是指纳入城市绿地系统规划的、具有湿地的生态功能和典型特征的,以生态保护、科普教育、自然野趣和休闲游览为主要内容的公园[1]。公园是在城市化过程中幸存下来的或者是恢复了的破碎的城市生境[2]。合理的规划和设计使得城市公园中往往具有高度多样化的生境,例如森林、灌丛、树篱、草地、草坪、花园、坑塘、湖泊、建筑物、道路等,保存着某些自然植被片段和多种动物,那里的生物多样性往往非常高[3],对于维护城市生态系统稳定具有重要意义。城市湿地公园生物多样性的评估研究中,国外比利时学者提出了一种对城市和郊区公园中的生物多样性评估的方法[4],主要从生境多样性与物种多样性两个方面进行评估。生境多样性将"栖息地单元"归整为点、线、面三种类别,物种多样性通过样方法统计与归类维管植物的物种数量,最终利用 Shannon-Wiener 指数计算得到两者相对应的多样性指数;国内学者在评估方面的研究工作多集中于物种水平[5-8],从定性研究逐步走向定量化研究,出现了 10 多种评估群落物种多样性的指标,如物种的丰富度(Richness)、多样性(diversity)、多度(abundant)、均匀度(evenness)等[9],方法上有学者构建了一种国家湿地公园管理评估指标体系,并给出了每个因子的权重、赋值范围以及具体的定量化评估方法[10]。生态系统拥有的物种和栖息地种类越多,抗干扰能力就越强[11]。

本文以明湖国家地公园为例,通过对公园生物多样性设计和评估,对比计算湿地公园刚建成时与建成五年后的生物多样性指数,以定量化的数据分析为基础,通过建立对生境多样性与物种多样性的空间耦合关系,分析影响公园物种多样性变化的生境要素,系统研究湿地公园在生态恢复、游憩审美方面的变化,为我国城市人工湿地公园设计提供借鉴。

1 研究区概况和规划设计策略

六盘水明湖国家湿地公园在六盘水市中心城区,水城河的上游区段,距市区二级水源地窑上水库约 1.5 km(图 1)。明湖湿地原场地中,有被垃圾和污水污染的湿地区域,有废弃的鱼池及管理不善的山坡地,垃圾遍地、污水横流。作为生态基础设施的示范项目,该项目设计的第一步就是重建生态健康的土地生命系统,包括改善雨水水质,恢复原生栖息地,建造通向高品质开放空间的游憩道,最后促进整个城市的发展。为实现这些目标,工程的具体策略包括:

(1)拆除混凝土河堤,恢复滨水生态地带,为各种挺水、浮水和沉水植物提供生境(图 2)。沿河建造曝气低堰,以增加水体含氧量,促进富营养化的水体被生物所吸收。

图 1 明湖国家湿地公园平面

Fig.1 Minghu national wetland park master plan

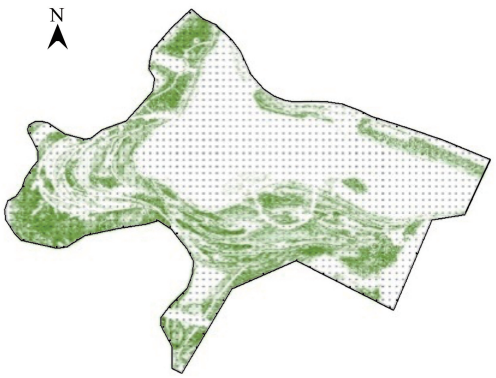

图 2 公园植被分布

Fig.2 Park vegetation distribution

(2)建造梯田湿地和陂塘系统(图 3),以削减洪峰流量,调节季节性雨水。梯田的灵感来源于当地的造田技术,通过拦截和保留水分,使陡峭的坡地成为丰产的土地。它们的方位、形式、深度都依据地质因素和水

流分析而设定。根据不同的水质和土壤环境,种植了乡土植被(主要采用播种的方式)[12]。这些梯田状栖息地减缓了水流,水中过盛的营养物质成为微生物和植物生长所需养分来源,从而加快了水体营养物质的去除。

(3)人行道和自行车道沿着水系铺展(图 4),在湿地梯田之间形成网络。设有大量座椅、凉亭和观光塔的休息平台融入设计的自然系统中,便于所有人进入,促进了学习、娱乐和景观审美体验,并设计了一个环境解说系统以帮助游客理解这些地方的自然和文化含义。

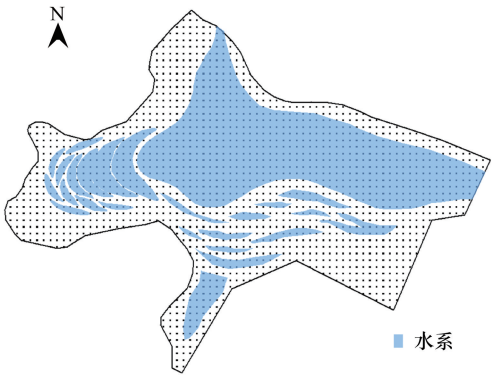

图 3　公园水系分布

Fig.3　Park water system distribution

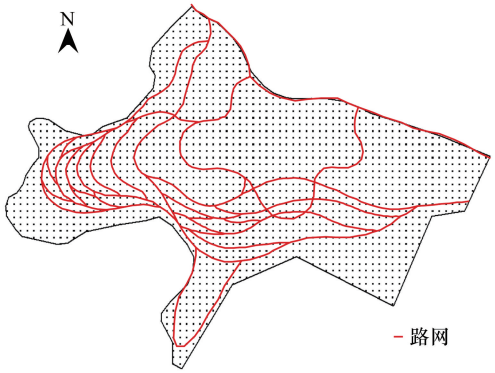

图 4　公园道路分布

Fig.4　Park road distribution

2　研究方法

明湖国家湿地公园建成于 2012 年 4 月,至今已有 5 年的历史,通过现场考察与相关文献的对比研究发现公园中的景观结构系统已经发生了较大的改变,研究以六盘水市明湖国家湿地公园为例,通过生境多样性(Habitat diversity)与物种多样性(Species diversity)对公园刚建成与建成 5 年后的城市湿地景观中生物多样性的评估与优化进行研究。

2.1　生境多样性

2.1.1　生境单元调查和分类方法

生境多样性是对于公园的生境单元多样性(Habitat unit diversity)进行评估,由于不同类型的生境单元对公园中的生物多样性具有不同的影响,并且测量方法不同,因此按照类型分为面状要素、线状要素与点状要素(表 1)。按此分类标准可将明湖国家湿地公园中面状要素包括自然林、灌木林、草地、水域等;线性要素包括道路、树列、墙壁、桥梁等;点状要素主要有水池与其他公共基础设施。

表 1　生境单元多样性分类标准

Table 1　Classification criteria for habitat units

生境类型 Habitat units	面状要素 Planar elements	线状要素 Linear elements	点状要素 Punctual elements
分类标准 Classification criteria	面积 area ≥100m^2 长度 length <10m	≥10m	<100m^2

表中数据引自 Hermy and Cornelis, 2000 [4]

2.1.2　生境单元多样性测度计算方法

(1)生境多样性指数

根据分类标准计算出公园中生境单元的总面积、长度或数量的比例。将这些比例代入 Shannon-Wiener 公式,即可计算出生境单元的多样性指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} (n_i/N)\ln(n_i/N)$$

式中, H' 是生境单元多样性指数, i 是第 i 个生境单元, s 是生境单元的总数, n_i 是生境单元 i 的面积、长度或

数量, N 是公园中生境单元的总面积、总长度或总数。

(2)生境饱和度指数

生境饱和度指数(Habitat saturation)是实际测定的多样性指数和最大可能的多样性指数之比(%),即:饱和度指数 $S = \frac{H'}{H'_{max}} \times 100\%$,其中 H'_{max} 可根据以下公式计算得出

$$H'_{max} = -\ln \frac{1}{S_{max}}$$

式中 S_{max} 代表生境单元的总数

2.2 物种多样性

2.2.1 物种多样性调查方法

城市公园的景观结构主要体现于植物多样性的变化,故研究重点在于对比公园刚建成与建成 5 年后植物多样性指标的变化,研究采用样方法[3]进行植物群落的调查。

由于物种丰富度和多样性通常随面积而增加,故所采样方数与园区总面积成正比,植物样方类别分为乔灌木与草本水生植物两类,其中乔灌木的样方采用 10 m×10 m 的单元面积,其总面积占至公园建成面积的 1%;草本水生植物的样方则采用 2 m×2 m 单元面积,其总面积占公园建成面积的 0.2%[4]。场地面积约为 21.36hm^2,遵循样方的选取规律,计算得出乔灌木样方数为 21 个,草本样方数为 107 个。其中调查样方的分布为在场地内随机均匀取样(图 5),并记录样方内乔灌木植物的种类、科、属与数量(草本与水生植物换算为覆盖度)。

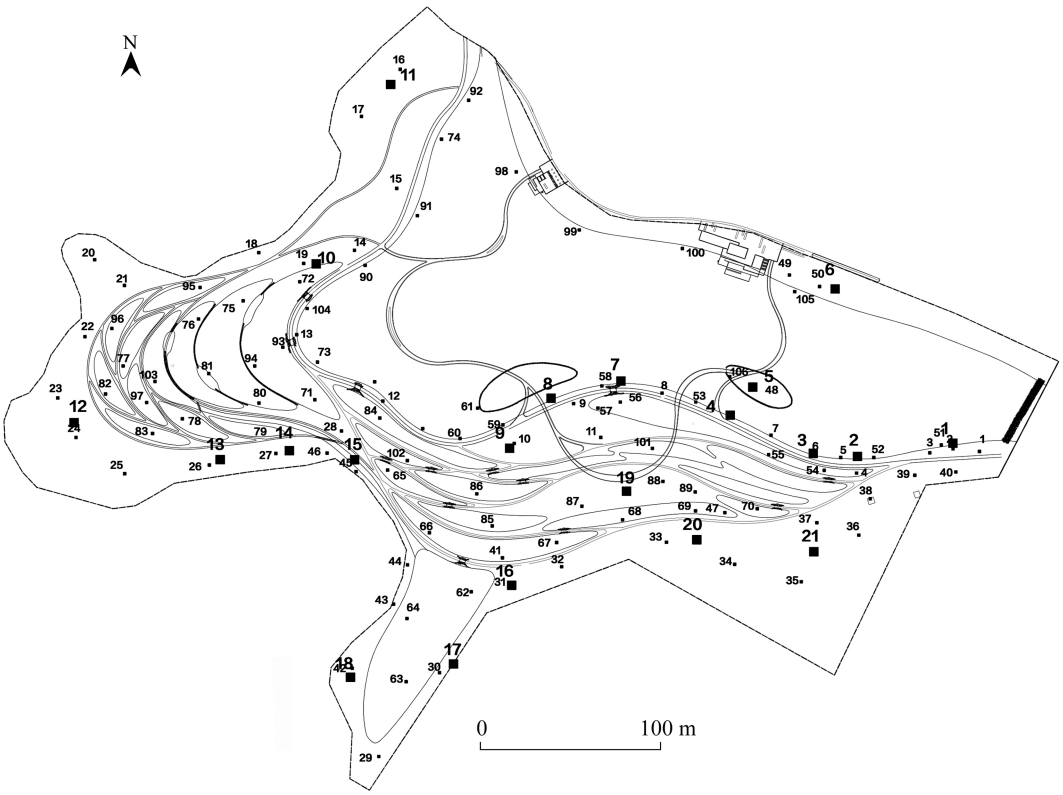

图 5 场地植物样方分布

Fig.5 Sample distribution of site plants

2.2.2 物种多样性计算方法

研究分别对 2012 年和 2017 年湿地公园的生物多样性指数进行计算,其中 2012 年数据来源为公园设计

施工图图纸与其他相关资料,2017 年数据为研究者实地调研数据采集得到的成果。调查样方的分布为在场地内随机均匀取样,记录样方内植物的种类、科、属与数量(其中草本与水生植物为覆盖度),通过 Shannon-Wiener 公式得出乔灌木与草本植物的多样性指数(species richness):$H=-\sum_{i=1}^{s}(P_i \ln P_i)$ 式中,P_i 为第 i 个植物物种株数在植物群落总株数(草本植物为覆盖度)中所占百分比,S 为植物群落植物物种数目。

3　研究结果分析

3.1　人工湿地生境多样性设计和分析

经过对湿地公园生境实地调研,结合场地施工图设计,采用地理信息系统分析提取出面状要素的面积、线状要素的长度和点状要素的个数,得出场地的生境单元的分布情况(图 6),并计算对应的生境多样性指数与饱和度指数(表 2)。数据分析反映出公园生境单元类型较丰富,公园中面状、现状要素饱和度指数都超 50%,生境多样性情况良好。公园内面状要素多样性指数最高达到 1.28,水域、草地与自然林占主体,占比最大的要素为水域,占到 40%,也是湿地公园重要的组成元素,集中水域面积主要分布于场地地势较低的东北侧,主要功能为对雨水的收集消纳与对公园小气候的调节;分散水域主要集中于场地中较大高差的中部至南部,主要功能为对雨水的净化与汇流。线状要素中主要元素为道路,占到 63.1%,主要集中于场地中部,是场地人群活动的主要发生地。点状要素较少,主要为水井、凉亭、小型建筑物,调研发现场地的水井主要分布在自然程度较高的西侧与南侧,主要用于场地局部的雨水消解。

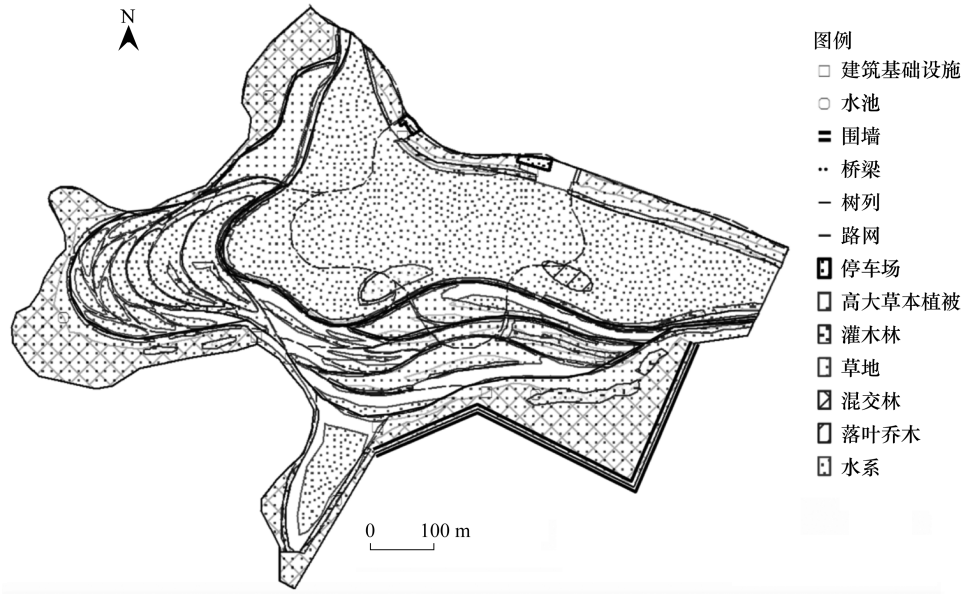

图 6　场地生境类型分布

Fig.6　Habitat units distribution

通过植物群落的设计和营造栖息地,创造出适宜动植物生存的生境区域,城市湿地公园中的植物是动物栖息地的主要载体,其种植设计考虑鸟嗜植物的应用,还应重视植被盖度和植被的群落结构,多选用适宜动物栖息的乡土物种,在园内不同区域营建多样的植物群落。城市湿地公园的生境营建考虑降低人类活动对生物栖息地的干扰,建筑设施和园路应远离栖息地,保证动物有较为隐蔽的活动空间。种类多样的乡土植物经过长期的生长、竞争和演替,在当地形成了功能稳定且动态平衡的复杂植物群落,是一个地区重要的物种基金库,也是生物多样性的重要组成部分。六盘水明湖湿地在植物群落配置上大量使用乡土植物,例如乔灌木物种香樟、水杉、枫杨等,水生植物物种包括白车轴草、麦冬、芦苇等。生境建成后,根据其所表现出来的发展趋势进行目标监控,对发展不佳及逆向发展生境要进行及时调整,随时根据目标监控结果进行新一轮的生境设

计循环。

表 2 明湖国家湿地公园生境单元分类名单与统计表

Table 2 List of Habitat Units and Statistical Tables of Minghu National Wetland Park

生境单元 Habitat unit	统计 Statistics	多样性指数 Diversity index	饱和度指数/% Saturation index
1 面状要素/m^2	651782	1.28	65.6
1.1 自然林分:由天然或半天然森林植被组成的单元	116822		
1.1.1 落叶树林:落叶树林分(1)	14374		
1.1.2 混交林:落叶和针叶林林分(2)	102448		
1.2 灌木林:由灌木组成的单元(3)	30684		
1.3 草地:由草本植物组成的单元(4)	229268		
1.4 高大草本:包括芦苇类植被组成的单元(5)	12592		
1.5 水文要素:由水组成的单元(6)	260979		
1.6 停车场:由停靠车辆的场所组成的单元(7)	1437		
2 线状要素/m	16139	0.99	71.7
2.1 宽度小于 2m 小路(8)	10178		
2.2 树列:列植的树木(9)	3793		
2.3 墙壁:用来围合空间的线状砖石建筑(10)	997		
2.4 桥梁(11)	1171		
3 点状要素/个	12	0.68	27.3
3.1 水井(12)	7		
3.2 基础设施:建筑(井、亭子、纪念碑、雕像)(13)	5		

3.2 人工湿地物种多样性评估

(1)乔灌木多样性变化

通过调研发现,明湖国家湿地公园刚建成时期乔灌木植物达到 15 科,22 属,27 种,其中香樟、水杉、枫杨、无患子等植被占比数较高,属于场地内的优势种;同时对比整理出公园建成 5 年后的植物种类可以发现场地内乔灌木植物达到 34 科,50 属,59 种,植物的种类明显增多,其中丁香、香樟、蜡梅、榆树等植物成为新的优势种群(图 7)。

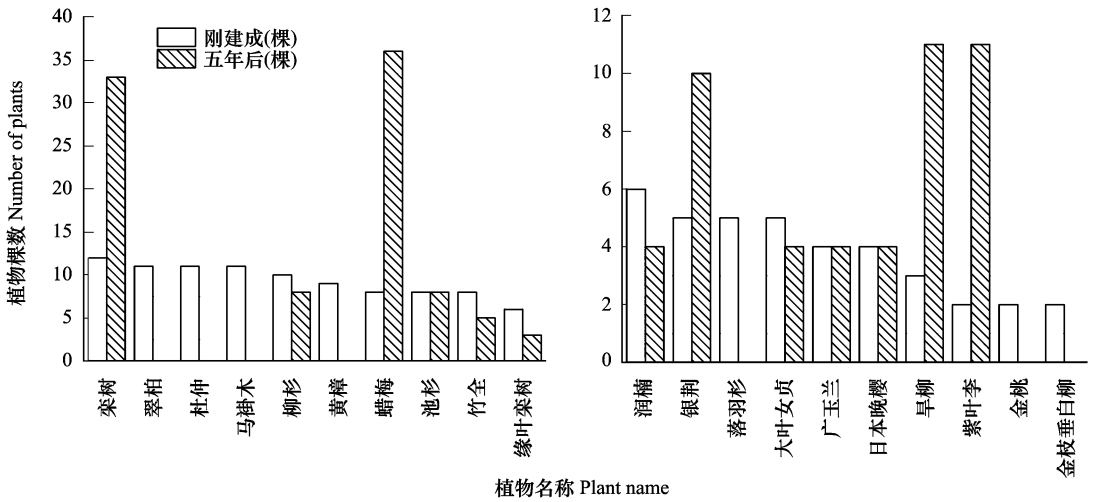

图 7 明湖国家湿地公园植物种类对比

Fig.7 Comparison of plant species in Minghu National Wetland Park

研究对 2012 年公园刚建成时乔灌木样方的 Shannon-wiener 指数与 2017 年公园建成 5 年后的乔灌木样方的 Shannon-wiener 指数进行计算(图 8),结果显示公园刚建成时期的植物多样性指数普遍低于建成五年后,甚至有些区域会出现指数为 0 的现象。多样性指数增幅为 0.18—1.61.利用 ArcGIS 将计算结果进行空间分布研究(图 9),发现公园建成 5 年后乔灌木群落多样性程度恢复明显,集中表现在园区的西部、南部与东部。其中东部、南部指数变化较大,东部为自然林分布区域生物多样性指数增幅达到 1 至 1.61,南部为梯级水域区域生物多样性指数增幅为 0.87-0.99 之间。

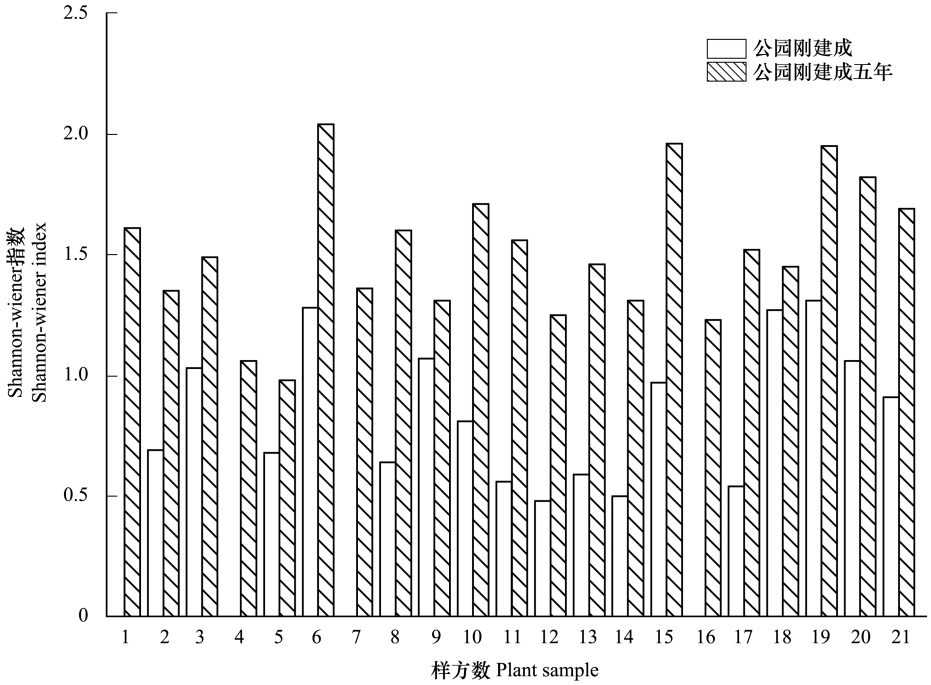

图 8　公园建成时和建成 5 年后场地乔灌木植物样方 Shannon-wiener 指数对比(H)

Fig.8　Comparison of the Shannon-wiener index of the shrub plant sample at the completion of the park and after 5 years of construction (H)

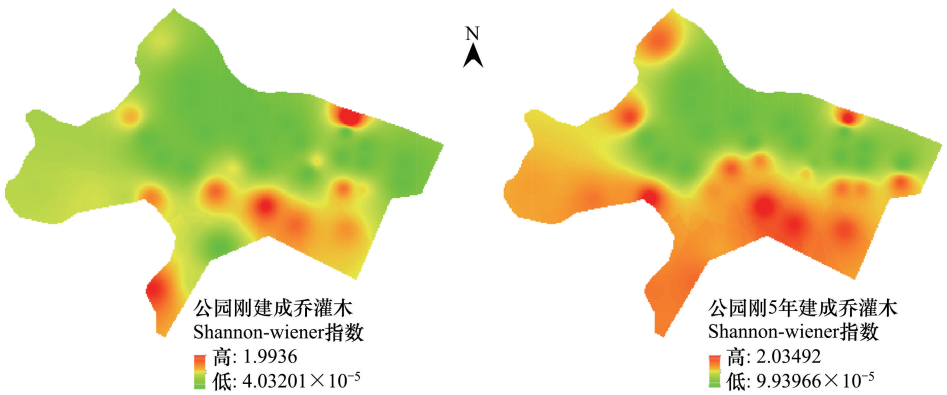

图 9　公园刚建成和建成 5 年后乔灌木 Shannon-wiener 指数分布图

Fig.9　The park has just been built and after 5 years of construction Shannon-wiener index distribution of shrubs and shrubs

(2)草本水生植物多样性变化

通过调研发现,公园刚建成时期草本水生植物达到 20 科,34 属,39 种,其中白车轴草、麦冬、芦竹、芦苇等植被占比数较高,属于场地内的优势种;公园建成 5 年后场地内草本水生植物达到 39 科,71 属,84 种,植物的

种类明显增多,优势种群结构并没有发生太大改变(图 10)。

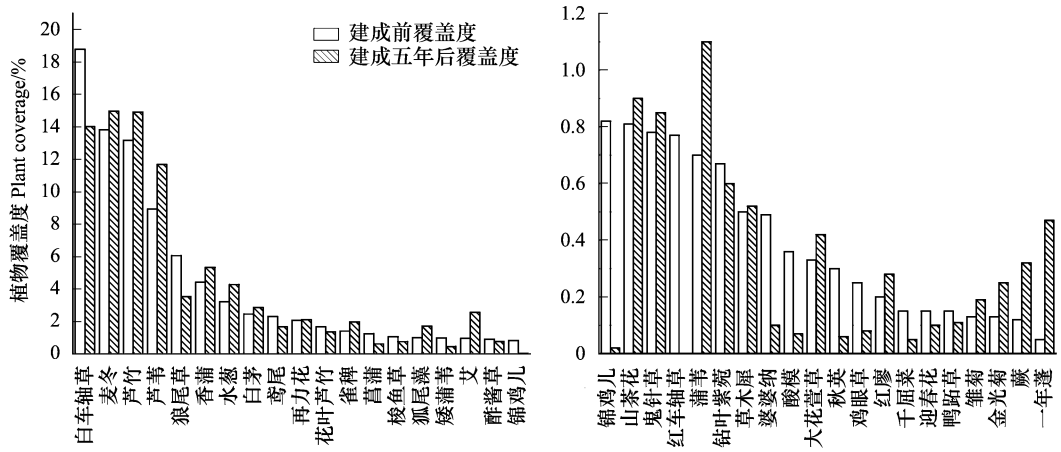

图 10 明湖国家湿地公园草本水生植物覆盖度对比

Fig.10 Comparison of Herb Aquatic Plant Coverage in Minghu National Wetland Park

研究对公园 2012 年刚建成时各个草本水生植物样方的 Shannon-wiener 指数与 2017 年公园建成 5 年后的草本水生植物样方的 Shannon-wiener 指数进行计算(图 11),结果显示调查样地 75%以上的样方公园 5 年后的草本水生植物的生物多样性指数高于公园刚建成时期,多样性指数增加最大值 1.05,平均增加 0.3。利用 ArcGIS 将计算结果进行空间分布研究(图 12)发现公园草本水生植物群落多样性程度恢复同样明显,集中表现在园区的西南部、南部与中部。西南部与南部自然林占比最高,基本增幅在 0.8 左右,故自然的演替使生物多样性得到了大幅提高;中部虽人为活动干预较多,但调研发现,此区域主要为人工对植被进行了补种,故生物多样性也得到了部分提升,基本增幅为 0.34 左右,而多样性指数变化较少的区域则主要分布于靠近人工构筑物或硬质驳岸附近,进本增幅仅为 0.1 左右。

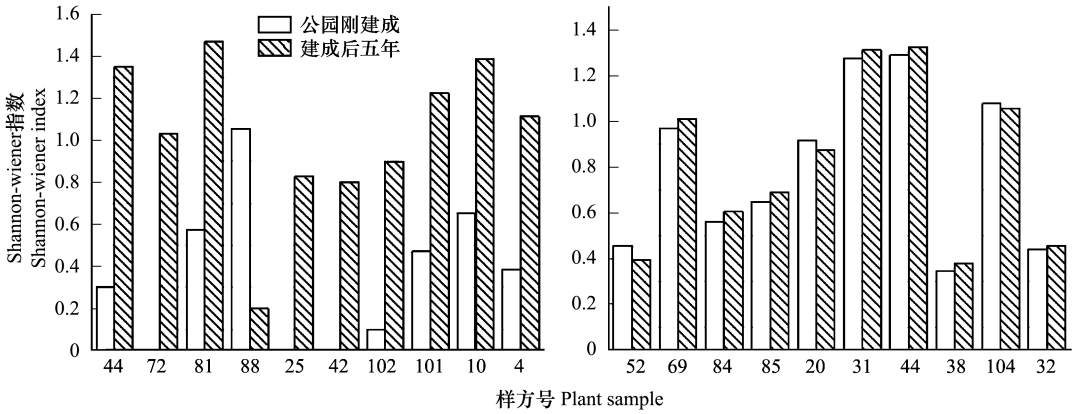

图 11 场地草本水生植物 Shannon-wiener 指数对比图

Fig.11 Comparison of Shannon-wiener index of herbaceous aquatic plants in the site

3.3 人工湿地生境与物种多样性的空间耦合分析

通过对比明湖国家湿地公园从建成至今的生物多样性变化,可以发现公园整体的乔灌木以及草本水生植物的多样性平均指数提升很大,乔灌木植被变化明显的区域主要集中在公园的中部、南部、东部(图 13,14),草本水生植被变化明显的区域主要集中在公园的西部、南部、中部(图 15,16)。将其分别与公园的生境分布进行叠加耦合可知,促使生物多样性变化的主要为两大原因:一、公园中自然林的演替结果,主要反映在场地的东侧与南侧,其中优势乔灌木种群为香樟、枫杨、白车轴草、狼尾草等,水生植被为芦苇、芦竹、香蒲等;二、人

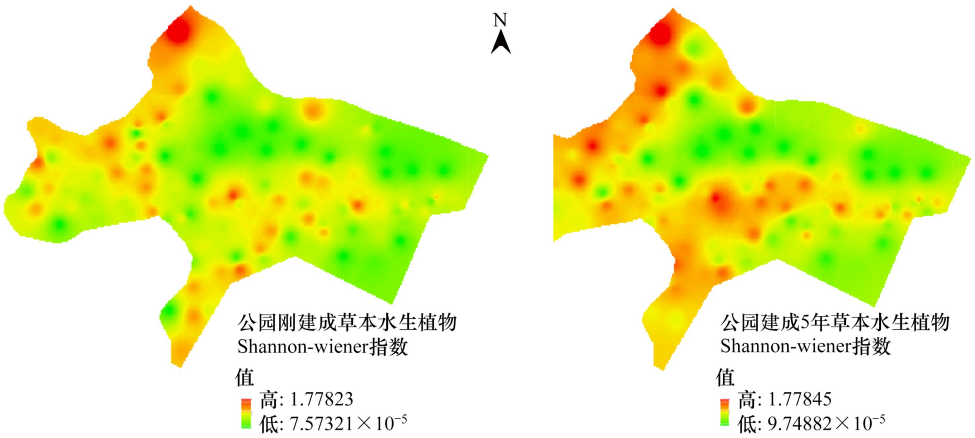

图 12　公园建成时和建成 5 年后草本水生植物 Shannon-wiener 指数

Fig.12　When the park is completed and after 5 years of construction Shannon-wiener index of herbaceous aquatic plants

为对公园植被的补种,结果显示影响公园乔灌木指数变化的空间主要集中于公园道路分叉口、公园出入口与基础设施建筑周边,影响公园草本水生植物指数变化的空间主要集中于公园梯级水系、步行天桥下方空间与西南部分的混交林区域。同时通过对此现象进行访谈得知,该区域范围内五年进行过多次的人工植被补种,补种的乔木植被主要为池杉、国槐、玫瑰、海桐等观赏类植物,水生植被为花叶芦竹、再力花等,观察发现人工种植的植物主要集中分布在公园的中部与东南部等靠近人行步道附近区域,种植形式主要为线性行道树、绿篱和部分的花坛景观,其目的是为了维持公园修剪维护、提升观赏价值与营造景观安全氛围。

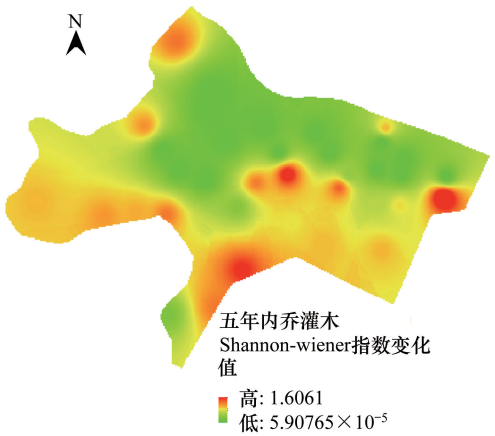

图 13　公园 5 年中乔灌木 Shannon-wiener 指数变化

Fig.13　Changes in the Shannon-wiener index of the shrubs in the park during the past 5 years

研究根据六盘水明湖湿地公园建成 5 年后生物多样性恢复能力的评估,提出相对应地适宜性的优势植物群落和营造的空间形式,为未来本土地区公园建设提供相应借鉴。适宜的优势植物群落主要包括 4 组陆生优势植物群落和 3 组水生优势植物群落。其中 4 组陆生优势植物群落为:(1)香樟+白车轴草+麦冬,适宜在坑塘、湖泊的缓冲带,(2)香樟+狼尾草+鬼针草,适宜在缓坡地,(3)枫杨+香蒲+狼尾草,适宜在水域周边与步行道两侧,(4)池杉+水杉+白车轴草,适宜湖中岛等大水面边源与地下水位较高地段。3 组水生优势植物群落为:(1)芦竹+水葱+麦冬,(2)芦苇+再力花,(3)花叶芦竹+水葱+鸢尾。

4　结论与讨论

4.1　公园经过 5 年的时间,整体生态环境恢复良好

明湖国家湿地公园的建设在不破坏场地水文条件的情况下,种植设计通过最少程度的人为干预对公园建成前湿地的植被类型与多样性进行了优化,自然植物的群落类型大体随梯级湿地与明湖周边分布。建成五年的时间内,植物群落整体演替效果明显,湿地公园的生态环境已经得到了初步的改善,公园内部的栈道、亲水平台与梯级湿地周边可以观赏到水位变化而产生新的湿地景观,例如:旱生植物群落、湿生植物群落与旱生湿生结合的植物群落景观。公园对湿地景观的优化过程中并未生硬的种植大量观赏性花木,主要以六盘水市的

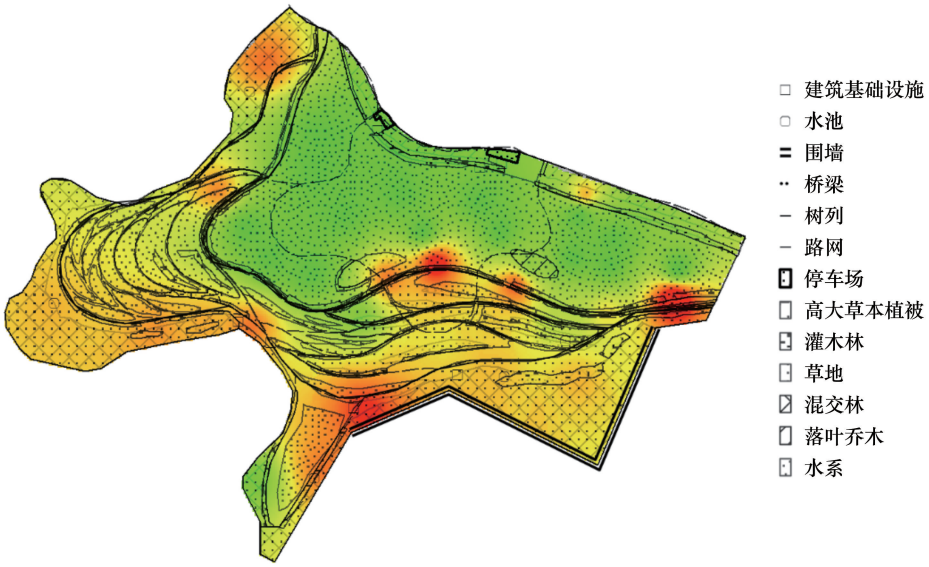

图 14 生境多样性与乔灌木生物多样性空间耦合图

Fig.14 Spatial coupling map of habitat diversity and biodiversity of shrubs and shrubs

本土植物种植为主,观赏性花木为辅,在梯级湿地景观区域形成了以芦苇/芦竹为优势种群的沼泽草本植物群落,并伴生有水葱、鸢尾、花叶芦竹和再力花等植物,在陆域范围内形成了主要以香樟/枫杨为主的优势乔木种群,并伴生有白车轴草、麦冬、狼尾草、鬼针草、一年蓬和金光菊等草本植物群落。场地内的人工湿地景观也为动物群落也创造了优良的栖息环境。

4.2 公园生境多样性和生物多样性恢复明显

总体来看,场地从原始的农田改造成为国家级生态湿地公园,经过五年的植被演替之后,已深受人们喜爱。公园的生物多样性较建成前大大提升,公园中随处可见散步、锻炼、垂钓、摄影和聚餐等行为活动,人与自然的联系得到了加强,生态恢复治理对场地的生物多样性起到了显著作用,达到了设计之初增加群落内的植物多样性、维持并形成稳定状态的目标。通过研究分析得出结论:

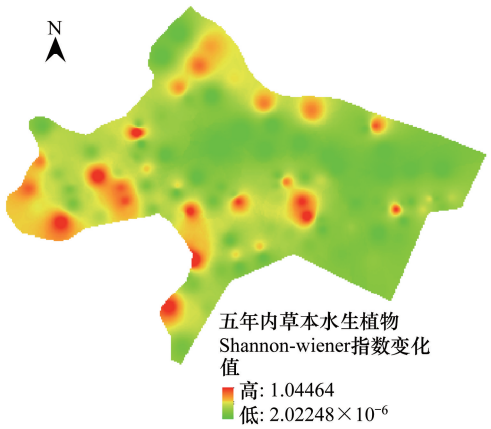

图 15 公园 5 年中草本水生植物 Shannon-wiener 指数变化

Fig.15 Changes in Shannon-wiener index of herbaceous aquatic plants in the park for 5 years

(1)从生境多样性指数来看,公园生境单元类型较丰富,公园中面状、现状要素饱和度指数都超 50%,生境多样性情况良好。

(2)从物种多样性指数来看,公园建成 5 年后场地内乔灌木植物的种类明显增多,其中丁香、香樟、蜡梅、榆树等植物成为新的优势种群,表现在园区的西部、南部与东部;草本水生植物种类也明显增多,优势种群结构并没有发生太大改变,集中表现在园区的西南部、南部与中部。

(3)生物多样性指数恢复与生境要素空间耦合分析表明影响生物多样性变化的两大因素一是优势群落的自然演替恢复速度效果明显,二是人为干扰严重的地区的大规模人工补种。

4.3 优化设计策略

通过上述分析,未来城市公园生物多样性设计方面提出以下优化建议:(1)结合生境单元分类,通过重新组合优化营造适于该城市湿地公园的多样性生境组合方式;(2)根据当地的遗传基因库和土壤水文特性综合

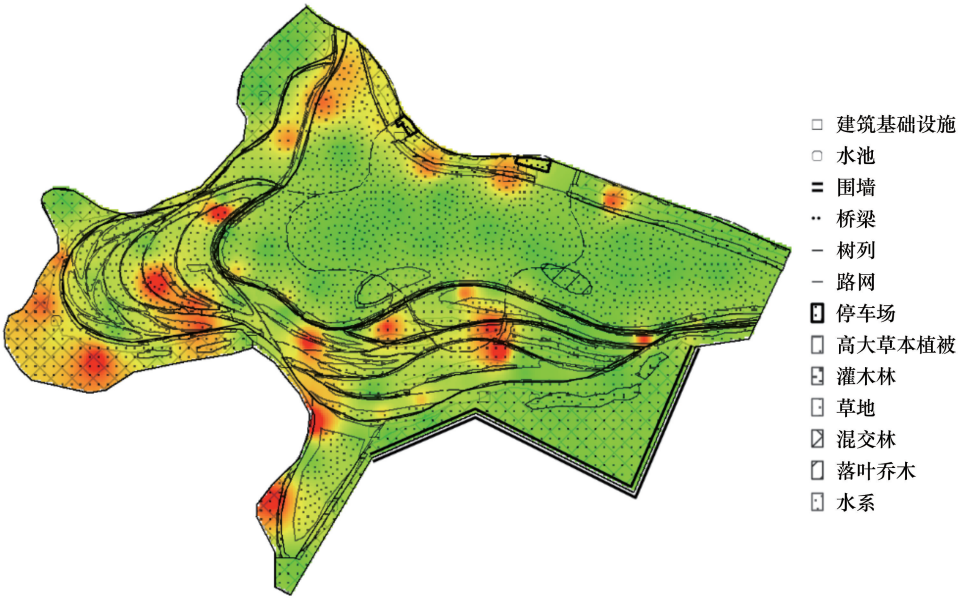

图 16　生境多样性与草本水生植物生物多样性空间耦合图

Fig.16　Spatial coupling map of habitat diversity and biodiversity of herbaceous aquatic plants

选择生境单元内部的植物配置,通过对自然群落的调整来设计出生境单元内部最优物种配置方式,提高生物群落的自然演替能力[13];三、针对生境状态良好的区域,应相对减少公园内人工建筑和设施的数量、增加景观廊桥等垂直性交通,以降低人类活动对于生物多样性的影响。

参考文献(References):

[1] 国家建设部. 国家城市湿地公园管理办法.2005.

[2] Fernández-Juricic E.and Jokim-ki J. A habitat island approach to conserving birds in urban landscapes:case studies from southern and northern Europe.Biodiversity and Conservation, 2001.10(12):2023-2043.

[3] 陈波,包志毅.城市公园和郊区公园生物多样性评估的指标.生物多样性,2003,11(2):169-176.

[4] Hermy M, Cornelis J. Towards a monitoring method and a number of multifaceted and hierarchical biodiversity indicators for urban and suburban parks. Landscape and Urban Planning, 2000, 49(3/4): 149-162.

[5] 林涓, 唐礼俊, 钱吉. 城市发展与生物多样性保护. 上海环境科学, 1999, 18(4): 188-189.

[6] Primack R, 季维智. 保护生物学基础. 北京: 中国林业出版社, 2000.

[7] 傅伯杰. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001.

[8] 谢世林, 逯非, 曹垒, 周伟奇, 欧阳志云. 北京城区公园景观格局对夏季鸟类群落的影响. 景观设计学, 2016, 4(3): 10-21.

[9] 曾志新, 罗军, 颜立红, 邹建文, 肖绿田. 生物多样性的评价指标和评价标准. 湖南林业科技, 1999, 26(2): 26-29.

[10] 崔丽娟, 张曼胤, 李伟, 王义飞, 商晓静.国家湿地公园管理评估研究. 北京林业大学学报, 2009, 31(5): 102-107.

[11] 仇保兴, 王胤瑜, 冉玲于, 汪默英, 田乐, 张健. 基于复杂适应系统理论的韧性城市设计方法及原则. 景观设计学, 2018, 6(4): 42-47.

[12] 俞孔坚, 李迪华, 潮洛蒙. 城市生态基础设施建设的十大景观战略. 规划师, 2001, 17(6): 9-1.

[13] 王敏,宋岩。服务于城市公园的生物多样性设计。城市生物多样性,2014,1(3):47-52.