

广州海珠湿地水质与景观因素相关性研究

周子芥, 肖毅强 (华南理工大学建筑学院, 广东广州 510640)

摘要 以广州海珠湿地一期、二期代表性区域为研究对象, 以水环境质量检测归一化处理、多尺度景观因素调研量化、水质-景观因素相关性分析等为研究方法, 探究湿地水质与景观因素的相关性及其内在逻辑, 并解释湿地一、二期水质差异原因。结果显示, 湿地水环境质量与水流速度、土壤环境、景观格局具有显著相关性。海珠湿地一、二期因景观类型差异(一期偏人工景观, 二期偏原生性农业景观)使得水文条件、土壤环境与景观格局明显不同而影响水环境质量。

关键词 海珠湿地; 水环境质量; 景观因素; 量化分析; 相关性分析

中图分类号 X 824 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)24-0094-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.24.026

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on the Correlation between Water Quality and Landscape Factors of Guangzhou Haizhu Wetland

ZHOU Zi-jie, XIAO Yi-qiang (School of Architecture, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640)

Abstract Taking the representative areas of the Guangzhou Haizhu Wetland North and South Area as the research object, the normalization of water environment quality detection, multi-scale landscape factor survey and quantification, and water quality-landscape factor correlation analysis were adopted to explore the correlation between wetland water quality and landscape and their internal logic, and the reasons for the difference in water quality between the first and second stages of the wetland were explained. The results showed that the quality of wetland water environment had a significant correlation with water flow speed, soil environment and landscape pattern. Due to the differences in landscape types in the first and second phases of the Haizhu Wetland (the north area is artificial landscape, the south area is primitive agricultural landscape), the hydrological conditions, soil environment and landscape pattern were significantly different, which affected the water environment quality.

Key words Haizhu Wetland; Water environment quality; Landscape factors; Quantitative analysis; Correlation analysis

广东海珠国家湿地公园总规划面积约 869 hm², 是城市内湖湿地与农林镶嵌交汇的复合人工湿地生态系统, 具有典型的岭南水乡和垛基果林农业特色^[1]。海珠湿地中海珠湖、一期已经过改造为景观式湿地公园, 二期则保留了大量果基鱼塘的原生湿地景观。经多次对海珠湿地各区进行水环境调查后发现, 湿地水质与其周边环境景观因素、景观类型、景观格局具较强相关性。综合研究湿地水环境质量的景观影响因子体系, 探讨湿地水质时空变异的动力学过程机制, 可形成湿地管理的科学决策^[2]。

影响湿地水环境的自然因子主要包括气候因子、土壤因子、地形因子和植被因子 4 个方面, 景观生态因子主要包括传统景观格局指数、“源-汇”景观指数^[2]。自然因子与景观生态因子在现实湿地环境中关系密切, 且在人为干扰较弱的偏远区域对湿地水环境质量的影响程度尤为显著。笔者通过对海珠湿地一期、二期代表性区域进行水质综合评价、环境因子量化及水质指标与环境因子相关性分析获得影响湿地水质的重要景观因素。

1 材料与方法

1.1 基于模糊综合评价的水环境质量评价方法 将模糊综合评价应用到水环境质量综合评价研究中, 是通过建立评价因子集、隶属函数和权重集, 实现对各水体样本的质量等级综合评判^[3]。模糊综合评价过程包括设定指体系、建立评价集、建立模糊关系矩阵、确定评价因素的模糊权向量、利用加权平均模糊合成算子合成模糊综合评价结果。参考国家自然水体水质评价标准, 结合实地采样观测的可行性, 确定以

下 10 种指标用于湿地水环境质量评价因子集的构建: pH、总氮、总磷、亚硝酸盐、溶解氧、总碱度、总硬度、水温、臭和味、浑浊度、颜色。该研究采用对比矩阵法与专家打分法互相校验获得模糊权向量。最终得到的结果为可代表湿地某区域水环境质量的单一指标。

水环境质量评价因子集中, pH、总氮、总磷、亚硝酸盐、溶解氧、总硬度、总碱度等指标可通过实地取样后经水质分析盒试剂检测进行估测(详细原理与方法不赘述); 臭和味、浑浊度、颜色指标可通过分级评价法估算。

1.2 湿地环境景观因子量化方法 根据湿地水环境质量的景观因子体系研究现状构建湿地景观因子量化评价体系。将水环境质量采样点周围景观因素分为大尺度景观因素与小尺度景观因素。其中大尺度景观因素区域调研范围为以水环境质量采样点为圆心, 100 m 为半径的圆形(约为 31 415 m²), 针对湿地环境的景观格局提出 3 个指标^[4]: 景观形状指数(LSI)、破碎度指数(FN)、斑块密度(PD); 小尺度景观因素区域调研范围为以水环境质量采样点为圆心, 5 m 为半径的圆形区域(约为 78.540 m²), 针对湿地环境的景观元素提出六大类指标包括日照遮阴、植物环境、动物环境、土壤环境、驳岸环境、人为影响、水文因素。

景观形状指数(LSI)表征区域内斑块形状特点, 通过计算区域内某斑块形状与相同面积圆形之间的偏离程度来量化斑块复杂程度。

$$LSI = \frac{E}{2\sqrt{\pi A}} \quad (1)$$

式中, E 为斑块总面积(m²), A 为斑块总周长(m)。破碎度指数(FN)表征景观被分割的破碎程度, 反映景观空间结构的复杂性, 反映人类干扰程度。

$$FN = \frac{N}{E} \tag{2}$$

式中, N 为区域内斑块数目(无量纲)。斑块密度(PD)是单位面积景观区域内的斑块数量, 通常与破碎度指数(FN)正相关。

$$PD = \frac{E}{S} \tag{3}$$

式中, S 为区域总面积。

针对湿地环境的景观元素调查的六大指标亦可细分为①日照遮阴, 包括天空角系数(SVF); ②植物环境, 包括乔木、灌木、地被、水生植物生物量, 优势植物等; ③动物环境, 包括动物丰富程度, 主要物种; ④土壤环境, 包括裸露程度, 含水量, 疏松度, 落叶积累量等; ⑤驳岸环境, 包括坡度, 岸坡稳定性, 水陆交界处落叶量, 水面距地面垂直距离等; ⑥人为影响因素, 包括设备(水泵、管道、进出水口等)、人造地形、维护工作等; ⑦水文因素, 包括水面宽度、水深、流速等^[5]。物量、动物丰富程度、土壤裸露程度、含水量、疏松度、落叶积累量、岸坡稳定性、水陆交界处落叶量^[6]通过观测评级确定(1~5级); 主要动物物种、优势植物物种、人工设备、人造地形、维护工作通过描述记录; 其余因素通过量化指标记录^[7]。

1.3 区域调研与试点选择 由于对海珠湿地一期、二期区域水环境质量及对应景观环境类型进行调查后发现, 一、二期水环境质量存在显著差异(一期明显优于二期), 而一、二期在景观类型上亦存在较大差异, 所以期望研究湿地景观因素对湿地水质的影响。限于试验条件, 该研究在海珠湿地一、二期分别选择 5 个具有代表性的样本区域(水环境质量及周边景观因素差异性尽量大, 以提高研究成果的可信度), 并基于上述方法对样本区域水环境质量及景观因素调研量化。选区地理位置见图 1, 周边环境实景照片见图 2。样本

区域空间分布上基本沿海珠湿地主游览线。

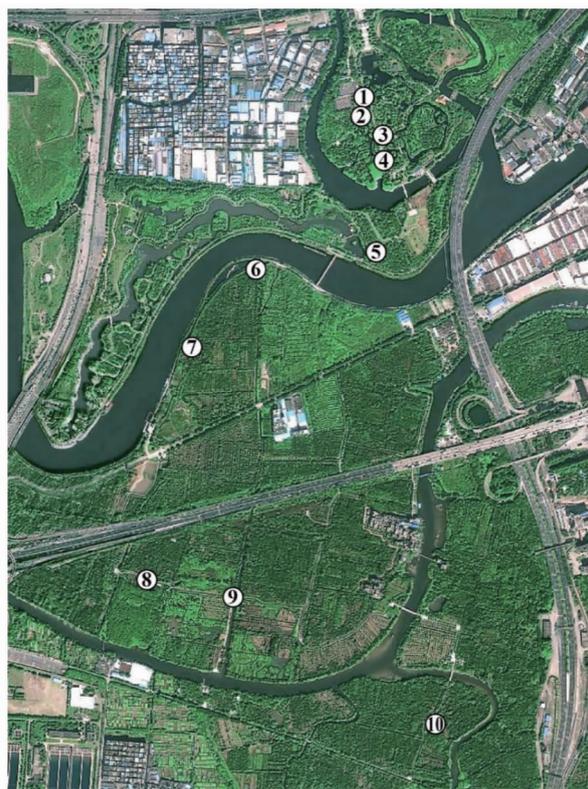


图 1 样本选区地理位置分布

Fig1 Geographical distribution of sample areas

2 结果与分析

对样本区域水环境质量的采样分析及周边景观因素调研量化于 2020 年 4 月 26 日 12:00—17:00 进行。对 10 个样本区域水环境质量采样分析工作时差不超过 1 h(以提高结果的可信度)。

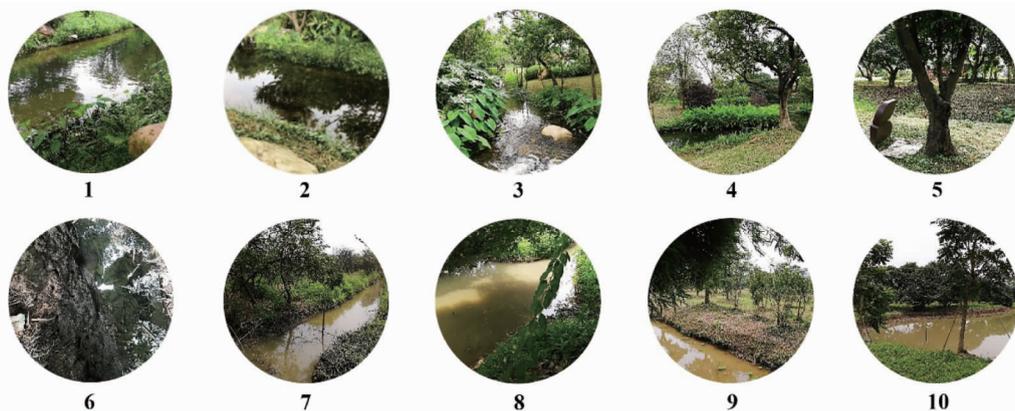


图 2 样本选区周边环境

Fig.2 The surrounding environment of the sample areas

2.1 样本区域水环境质量采样分析及指标归一化处理 样本区域水环境质量各指标采样分析结果见表 1。总氮氨检测结果因试剂盒精确度限制而无法使用, 须排除。通过对比矩阵法及专家打分法获得综合各类水质监测指标的各样本区域水环境质量归一化指标(表征各样本区域的水质好坏)。2

套指标结果见表 2。将对比矩阵法与专家打分法获得的样本区域水质归一化指标互相校验, 可见其数据在各样本区域间变化趋势相近, 在绝对值上存在差异, 故归一化指标数据可信度较高。采用样本区域间数据差距较大的对比矩阵法得到的归一化指标进行后续研究。

表1 样本区域水环境质量采样检测指标

Table 1 Sampling and testing indicators for water environment quality in sample areas

样本区域位置 Sample areas location	样本区域序号 Sample areas number	化学检测类指标 Chemical testing index					感官评级类指标 Sensory rating index			
		pH	亚硝酸盐 Nitrite mg/L	溶解氧 Dissolved oxygen mg/L	总碱度 Alkalinity (H ⁺) mg/L	总硬度 Hardness (CaCO ₃) mg/L	总氨氮 Ammonia (N) // mg/L	浑浊度 Turbidity	臭和味 Smell	颜色 Colour
海珠湿地一期 North area of Haizhu Wetland	1	7.2	0.005	3	3.15	157.5	<0.20	2	2	2
	2	7.0	0.005	3	3.15	157.5	<0.20	2	2	2
	3	7.6	0.005	4	3.15	157.5	<0.20	1	1	1
	4	6.8	0.005	3	2.70	135.0	<0.20	3	3	3
	5	6.8	0.050	4	2.70	135.0	<0.20	5	2	5
海珠湿地二期 South area of Haizhu Wetland	6	6.6	0.150	3	1.80	90.0	<0.20	3	1	3
	7	6.6	0.050	3	1.35	67.5	<0.20	5	4	4
	8	6.6	0.100	3	1.35	67.5	<0.20	5	5	4
	9	6.6	0.150	4	1.35	67.5	<0.20	4	2	4
	10	6.8	0.100	3	1.80	90.0	<0.20	3	2	3

表2 2种方法获得的测点水质单一指标对比

Table 2 Comparison of single index of water quality at measuring point obtained by two methods

样本区域序号 Sample areas number	专家打分法 指标归一化成果 Index normalization results of expert scoring method	对比矩阵法 指标归一化成果 Index normalization results of comparison matrix method
1	11.185 0	5.556
2	11.167 0	5.551
3	11.047 0	5.392
4	10.159 0	5.348
5	10.667 0	5.944
6	7.270 0	3.993
7	6.631 0	4.139
8	6.756 0	4.277
9	6.448 0	3.996
10	7.397 0	4.106

分析样本区域水环境质量归一化指标可得,海珠湿地一期、二期水质存在较明显差异(与感知调研成果匹配)。湿地一期5个样本区域(1~5)水环境质量明显优于湿地二期5个样本区域(6~10)(且数据差距巨大不受试验误差影响)。观察海珠湿地一期、二期内部样本区域水质指标,数据差异

较小且并未发现显著的随时空变化规律。

2.2 样本区域景观因素 样本区域流域及斑块形状见图3。样本区域所在区位景观格局的相关指标见表3。湿地二期景观破碎度(FN)与景观形状指数(LSI)显著高于湿地一期,斑块密度(PD)显著低于湿地一期。说明湿地二期景观区域边界相对一期不规则、变化复杂,水域流线较复杂^[8],整体景观原生性较高(人为介入较少)。

样本区域周边景观因素的相关指标见表4。湿地植物环境对水环境的影响通常分2个方向,水生植物及陆生大型乔木的根系对湿地水系底、侧面土壤起到物理锚固及生物净化功能,间接提高水质;过量的植物种植导致落叶枯枝积累在岸际与水域内增加水体总氨氮,降低水质^[9]。湿地某区域动物出现频率,栖息地分布从侧面验证湿地环境质量与水质(不同类型动物适应不同类型水质环境,并非优质水环境适合一切动物栖息)。土壤环境是湿地水中污染物的来源与去向,类似势能原理。驳岸环境主要反映人为介入程度与影响,同时也是区域景观类型的印证(不同特征的驳岸对应不同类型的景观),但其对湿地水质的影响很难量化。日照遮阴环境描述光照,影响水生植物(如藻类)光合作用,间接影响水体溶解氧、亚硝酸盐、总氨氮等水质指标。

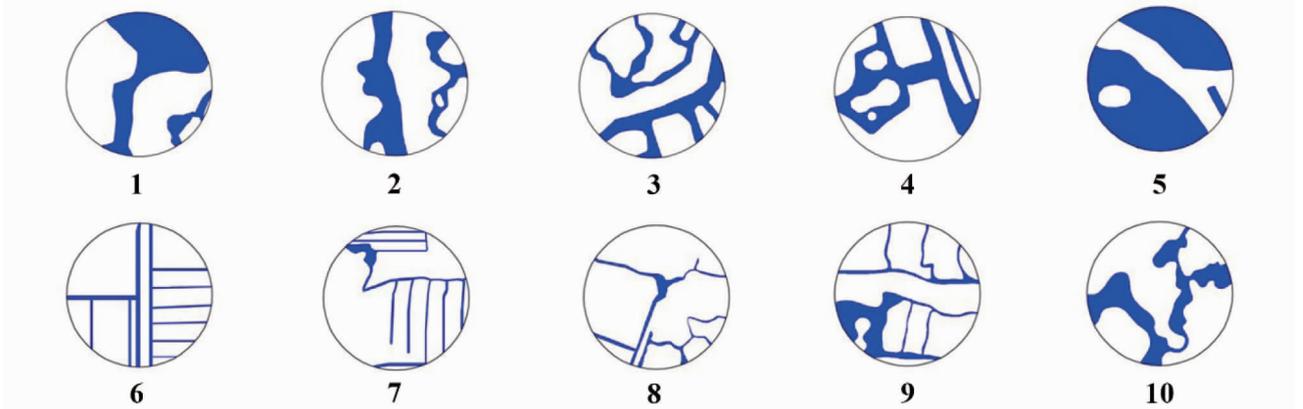


图3 样本区域流域及斑块

Fig.3 Watershed and plaque in sample areas

表 3 样本区域景观格局相关指标

Table 3 Relevant indicators of landscape pattern in sample areas

样本区域位置 Sample areas location	样本区域编号 Sample areas number	景观形状指数 (LSI) Landscape shape index	斑块密度 (PD) Plague density	破碎度指数 (FN) Fragmentation index
海珠湿地一期	1	2.260 37	0.377 05	3.57
North area of Haizhu Wetland	2	2.013 42	0.295 72	8.03
	3	4.524 79	0.292 48	4.23
	4	3.737 36	0.338 08	2.98
	5	2.085 30	0.689 61	5.68
	6	9.701 96	0.123 19	8.75
海珠湿地二期	7	10.787 10	0.101 04	7.26
South area of Haizhu Wetland	8	7.497 89	0.077 44	11.10
	9	6.514 87	0.199 45	15.20
	10	3.320 77	0.274 46	9.38

表 4 样本区域周边景观因素相关指标

Table 4 Relevant indicators of landscape factors around the sample areas

样本区域位置 Sample areas location	样本区域编号 Sample areas number	日照遮阳 Shading		植物环境 Plant environment			动物环境 Animal environment	
		天空角系数 Sky vision factor (SVF) // %	种类数目 Species number	优势种类 Dominant species	植物丰富度等级 Richness level	植物生物量等级 Biomass level	优势动物种类 Dominant species	动物丰富度等级 Richness level
海珠湿地一期	1	85	7	水石榕	5	4	蛤蟆	4
North area of Haizhu Wetland	2	70	5	蒲桃	4	5	蛤蟆	4
	3	70	5	水翁	4	5	鱼类	2
	4	50	3	荔枝	2	2	无	1
	5	30	3	荔枝	2	1	鸟类	2
	6	70	5	荔枝	4	4	鸟类	2
South area of Haizhu Wetland	7	60	4	阳桃	3	3	鸟类	3
	8	100	4	构树	3	5	蚯蚓	2
	9	30	2	龙眼	1	2	鱼类	5
	10	15	2	火焰树	1	3	无	1

样本区域位置 Sample areas location	样本区域编号 Sample areas number	土壤环境 Soil environment				驳岸环境 Revetment environment					水文因素 Hydrological factors		
		裸露程度等级 Nudity level	含水量等级 Moisture level	疏松度等级 Porosity level	落叶积累量等级 Falling leaves level	水-地面垂直距离 Water surface height // cm	坡度 Slope %	岸际落叶量等级 Falling leaves level	人工程度等级 Artificial level	稳定程度等级 Stability level	水面宽度 Water surface width // m	水深 Water depth m	流速 Flow velocity cm/s
海珠湿地一期	1	4	3	1	1	80	30	2	4	5	4.0	40	8.3
North area of Haizhu Wetland	2	4	2	1	2	60	20	2	3	4	14.0	50	4.3
	3	3	2	2	1	15	5	1	2	4	2.2	33	14.7
	4	3	2	2	2	10	5	1	1	4	3.6	65	3.7
	5	2	4	2	3	70	80	5	5	3	1.0	30	0
	6	3	5	5	5	110	80	3	3	3	28.0	45	1.0
South area of Haizhu Wetland	7	2	5	3	4	50	90	5	5	3	3.0	75	1.1
	8	2	4	4	3	90	40	1	1	2	1.5	90	0
	9	4	4	3	3	80	80	4	3	3	6.5	60	2.6
	10	1	3	1	1	80	20	1	4	1	27.0	70	0

2.3 样本区域水质指标与景观因素指标相关性分析 将湿地一期、二期各样本区域水质归一化指标与各类景观因素指标进行相关性分析,结果见表 5。可见湿地水环境质量与周边景观因素中水流速度、土壤疏松程度、土壤含水量、驳岸稳定性具中等相关性;与景观格局因素中景观格局指数、破碎度指数、斑块密度均具有强相关性。湿地一、二期在水流速度、土壤环境与景观格局上存在较明显差异,故水质亦存在

明显差异。

3 结论

3.1 水流速度与湿地水质相关性分析 海珠湿地一期水体主要形式为整治后的景观水系,在调查时发现一期水流具有明显的方向性(由北至南);湿地二期水体大量为埗基果林中的沟渠水体,少部分为简单整治的河涌(河涌引水进入沟渠)。埗基果林沟渠底、侧面对水流的阻滞作用远大于整治

后的景观水系,使湿地二期水流速度显著低于一期,污染物冲离速度下降,水环境质量下降^[2]。

表5 水质归一化指标与各类景观因素指标相关性分析

Table 5 Correlation analysis of normalized water quality indicators and various landscape factor indicators

相关程度 Correlation degree	R^2	环境(景观)量化指标 Environmental (landscape) quantitative indicators
弱相关性/无相关性 Weak/No correlation	0~0.4	水面宽度、水深、植物生物量、土壤裸露程度、驳岸岸际落叶量、人工干预程度、天空角系数、植物种数、植物丰富度、落叶累积程度、驳岸坡度、动物丰富程度等
中等相关性 Moderate correlation	0.4~0.6	水流速度、土壤疏松程度、土壤含水量、驳岸稳定性
强相关性 Strong correlation	0.6~0.8	景观格局指数、破碎度指数、斑块密度
极强相关性 Extreme strong correlation	0.8~1.0	无

观察海珠湿地一期、二期水系布局。虽然二期的进出口数量大于一期,但二期整体面积远大于一期,且内部水体大量由沟渠组成,整体水道长度大于一期。在水流势能相同的前提下,二期水流动力低于一期,水体更替周期大于一期,使污染物容易沉积^[7]。

3.2 土壤环境与湿地水质相关性分析 土壤对湿地水质有两方面影响:当土壤中污染物含量低于水体时,土壤对水体起到净化作用;当土壤中污染物含量高于水体时,则会释放污染物进入水体。海珠湿地一期土壤经过整体翻新,故土壤中污染物含量较小,且水底淤泥量极小,水底与水岸土壤对水体主要起净化作用。湿地二期土壤受长期农耕、化肥沉积等影响,污染物含量较高^[10],对水体有持续污染作用。

3.3 景观格局差异与湿地水质相关性分析 景观破碎度高能降低水系中水流速度,造成有机物沉积,水质下降。景观形状指数越高,水系形态越复杂,环境干扰因素增加,亦会使

水质下降^[11]。湿地斑块面积越大(水体面积越大),外界干扰对水体的影响容易被减弱,水质易维持^[12]。景观类型与景观格局密不可分,海珠湿地一、二期主体景观类型差异巨大,一期偏人工景观,二期则偏原生农业景观,水系类型差异巨大,故水质也存在显著差异。

4 讨论

从景观因素视角切入讨论湿地水质,其目标在于对湿地进行适当的景观改造。海珠湿地一期在改造后几乎彻底景观化,原生景观保留极少,受到诟病。研究显示,海珠湿地原生的垛基果林在历史上属于农业生产地块,与普遍认识中的湿地存在差异。当湿地水环境质量提升与原生景观保护更新存在矛盾时,设计管理者应平衡这两者。湿地水环境质量的评估在湿地环境质量中并非唯一因素,也并非单纯的正相关影响因素。湿地水质的适宜指标应与湿地类型、生物栖息地、景观功能匹配。

参考文献

- [1] 国家高原湿地研究中心.广东海珠国家湿地公园总体规划[R].昆明:西南林业大学,2012.
- [2] 贾慧慧,王俊坚,高梅,等.湿地水环境质量时空分异的影响因子[J].生态学杂志,2011,30(7):1551-1557.
- [3] 吴国金.模糊数学法在地下水污染评价中的应用[J].江西地质,1999,13(3):232-237.
- [4] 肖笃宁.景观生态学[M].北京:科学出版社,2003.
- [5] 章光新,武瑶,吴燕锋,等.湿地生态水文学研究综述[J].水科学进展,2018,29(5):737-749.
- [6] 杨帆,李雁泽,郭小雅,等.莱州湾滨海湿地景观类型与土壤因子相关性研究[J].生态科学,2018,37(4):86-96.
- [7] 王永洁,邓伟.湿地水环境可持续性度量指标体系的构建研究[J].湿地科学,2006,4(4):253-257.
- [8] 张大伟,李杨帆,孙翔,等.入太湖河流武进港的区域景观格局与河流水质相关性分析[J].环境科学,2010,31(8):1775-1783.
- [9] 刘锦芳,刘晨,许睿,等.海珠湿地植物群落与水质的关系[J].仲恺农业工程学院学报,2018,31(4):43-47.
- [10] 邓雪.广东海珠国家湿地公园重金属物质流研究[D].广州:华南农业大学,2016.
- [11] 刘丽娟,李小明,何兴元.流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展[J].生态学报,2011,31(19):5460-5465.
- [12] 李胜男,崔丽娟,赵欣胜,等.湿地水环境生态恢复及研究展望[J].水生态学杂志,2011,32(2):1-5.