

基于PSR模型的城市河流湿地生态健康评价 ——以苏州市姑苏区为例

朱颖^{1,2} 王春文¹ 周昕宇¹ 冯育青^{2,3*}

(1 苏州科技大学建筑与城市规划学院, 江苏 苏州 215011; 2 江苏太湖湿地生态系统国家定位观测站, 江苏 苏州 215000; 3 苏州市湿地保护管理站, 江苏 苏州 215000)

摘要 城市河流湿地的生态健康是城市生态可持续的重要基础。本研究以苏州市姑苏区河流湿地为研究对象, 运用层次分析法与模糊综合评价法评价其河流湿地健康状况。结果表明: 苏州市姑苏区河流湿地的生态健康状况处于“中等”等级, 接近“亚健康”状态; 准则层的排序权重为状态层指标>压力层指标>响应层指标, 说明状态层指标能直观反映河流湿地的健康状态, 其状态层的综合健康指数为0.658; 各河段健康状态与其所对应的城市流域所承受的压力存在着密切联系, 城市的建设强度和植被覆盖率因素对姑苏区河流湿地的健康状态具有显著影响。

关键词 城市河流湿地; PSR模型; 模糊综合评价; 生态健康评价; 姑苏区

中图分类号: X171.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1673-3290(2024)01-0041-06

Evaluation of Ecological Health of Urban Riverine Wetlands Based on PSR Models——A Case Study of Gusu District of Suzhou City

ZHU Ying^{1,2} WANG Chun-wen¹ ZHOU Xin-yu¹ FENG Yu-qing^{2,3*}

(1 School of Architecture and Urban Planning, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, Jiangsu, China; 2 National Positioning Observatory of Taihu Lake Wetland Ecosystem, Suzhou 215000, Jiangsu, China; 3 Suzhou Wetland Conservation and Management Station, Suzhou 215000, Jiangsu, China)

Abstract The ecological health of urban river wetlands is an important foundation for urban ecological sustainability. In this study, the river wetlands in Gusu District of Suzhou City were used for a case study, and the health status of the river wetlands was evaluated by using hierarchical analysis and fuzzy comprehensive evaluation method. The study shows that: the ecological health status of river wetlands in Gusu District, Suzhou is in the "medium" grade, close to the "sub-healthy" state; the ranking weights of criterion layers are state layer indicators > pressure layer indicators > response layer indicators, which indicates that the state layer indicators can intuitively reflect the health status of the river wetlands. The state layer index is 0.658. The health status of each river section is closely related to the pressure on its corresponding urban watershed, and the construction intensity and vegetation coverage of the city have a significant impact on the health status of the river wetlands in Gusu District.

Key words Urban river wetlands; PSR model; Fuzzy integrated evaluation; Ecological health assessment; Gusu district

城市化进程中的土地扩张和高密度建设对城市河流湿地的生态服务功能产生影响, 导致水污染和生物多样性丧失等问题, 进而影响城市健康发展, 城市河流湿地的生态健康受到社会的广泛关注(李港等, 2022; 刘云等, 2016)。2017年我国实行了严格的河长制, 有相关学者结合地方实际情况选取针对指标, 提出基于河长制的健康评价体系(李慧敏等, 2020)。河流湿地的健康评估是河流管理的关键一环, 同时也是河流生态修复和水体污染控制

工作的首要任务, 对城市的可持续发展具有至关重要的影响(张向徐等, 2023)。

河流湿地健康评价方法主要包括指示物种法和多指标评价法。指示物种法是采用鱼类、底栖动物、藻类等生物类群的物种完整性来进行河流健康的判断和监测(Tianhong et al., 2018; 刘园园等, 2020; 王军等, 2014), 但其监测参数的偏差会导致评价结果的差异, 无法全面评价河流健康状况(张向徐等, 2023)。多指标评价法是选取具有代表性

收稿日期: 2023-10-17

基金项目: 教育部人文社科基金(23YJAZH231); 教育部人文社会科学研究项目(17YJAZH137); 苏州科技大学风景园林学学科建设项目

作者简介: 朱颖(1973—), 女, 博士, 教授, 研究方向: 风景园林规划设计、区域景观规划与生态修复。E-mail: zhuying@mail.usts.edu.cn

*通讯作者: 冯育青(1970—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向: 湿地保护与修复。E-mail: wetland-sz@163.com

的影响指标,通过构建评价指标体系,利用数学模型确定河流健康等级,其方法相对快速方便,并被广泛应用在河流健康评价中(陆颖等,2020;刘苗苗等,2019);相关学者通过多指标评价法从不同角度选取和构建评价指标体系,并快速全面地揭示河流湿地存在的健康问题(陈歆等,2019;鲍艳磊等,2021;张宇航等,2022)。

城市河流湿地健康评价指标选取多从河流自然属性及人类活动对城市河流的压力方面考虑,但关于人类积极措施对城市河流影响涉及不多。PSR模型是一种典型的综合指标方法,能够清晰地表征外界压力、系统状态和响应策略与行动三者间的联系与相互作用(汪豪等,2020),在构建城市河流湿地多指标评价体系中引入PSR模型,可筛选出适合研究区的评价指标,这些指标将全面反映人类活动对河流湿地健康的正反影响。利用评价指标体系再结合熵权法(陆威好等,2023)、组合赋权法(杨哲等,2018)、物元可拓法(Zhao et al., 2019)等可判断河流健康水平及预测河流健康状态的发展趋势。

本研究运用PSR(压力-状态-响应)模型构建城市河流湿地健康评价指标体系,采用模糊综合评价模型进行河流湿地健康评价,分析苏州姑苏区河流湿地健康影响因素及空间水平,对河流湿地健康状况进行诊断,为湿地保护与管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

苏州市姑苏区(31°15'25"—31°22'51"N, 120°31'29"—120°39'03"E),面积8342 hm²,截止到2022年,姑苏区常住人口92.84万人。姑苏区保留了2500年以来的城市河网肌理,水源来自于降雨、太湖、阳澄湖和大运河水的输入。据全国第三次湿地调查的结果,姑苏区湿地总面积为677.68 hm²,其中,河流湿地面积为557.96 hm²,占湿地总面积的82.33%。姑苏区河流以水系为脉络、河道为骨架、街巷相依附,其河流水系包含护城河、干流系统和支流系统三个级别,形成“三横四直”布局,具有典型的城市河流湿地特征(图1)。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源及处理

1) 遥感数据。本研究的主要数据来源于地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn/>)所提供的苏州市2022年Landsat8 OLI遥感影像,数据分

辨率为30 m。研究过程中NDVI数据来源于国家综合地球观测数据共享平台(<http://www.chinageoss.org/>),结合2022年谷歌地图和实地调研,利用ENVI5.3、ArcGIS10.8进行监督分类与目视解译相结合的方法获取研究区土地利用数据和植被覆盖数据。

2) 调研数据。2022年8月20日—9月20日对姑苏区湿地现状开展了考察与调研,包括水体透明度、动植物资源、保护管理状况和水利工程施工等。

3) 其他数据。苏州统计局《2022苏州统计年鉴》《2022年苏州市水资源公报》《2022年苏州市生态环境公报》《姑苏区2022年鉴》等相关统计数据。

1.2.2 基于PSR模型的评价体系构建

1) 评价指标筛选及体系构建。本研究综合考虑姑苏区河流湿地实际状况及水文特征,结合与专家咨询并考虑指标的可获取性和普适性,构建压力、状态、响应3个层面共14个指标的城市河流湿地健康评价指标体系(表1)。

2) 评价指标权重确定。根据姑苏区河流湿地实地调研情况及遥感影像数据,并结合专家意见和相关参考资料,选用层次分析法(AHP),得到了评价指标体系中各层次的判断矩阵及各评价指标权重(张宇帆等,2022;赵衡等,2020)(表2)。

3) 评价分级。本研究结合国内外河流健康评价的研究成果、河湖健康评价规范以及水网地区河流湿地的实际情况,将河流湿地健康分为5个健康等

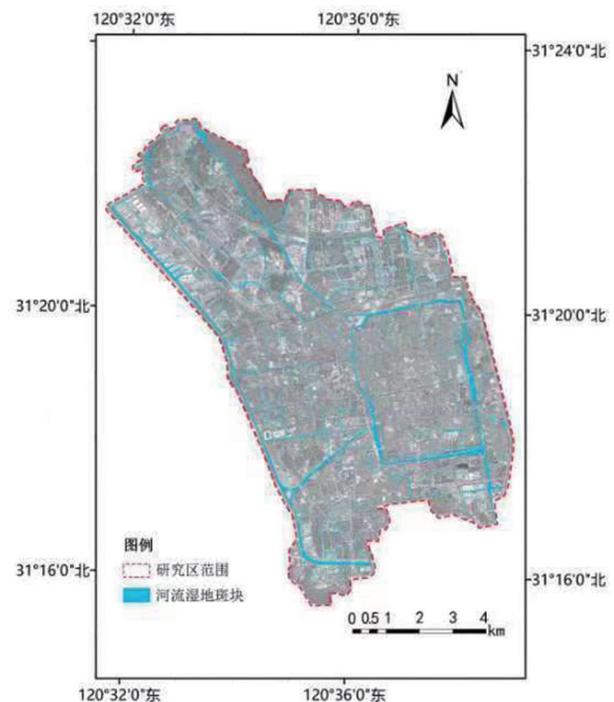


图1 研究区位置及河流湿地斑块分布图

Fig.1 Location of the study area and distribution of riverine wetland patches

表 1 评价指标体系及指标计算方法
Table 1 Evaluation indicator system and indicator calculation method

目标层	准则层	指标层	单位	计算方法	主要来源
城市 河流 湿地 健康	压力层 B_1	人口密度 C_1	人 /km ²	姑苏区人口总数 / 研究区总面积	第七次人口普查数据
		建设用地占比 C_2	%	建设用地面积 / 研究区总面积	遥感解译
		路网密度 C_3	km/km ²	道路长度 / 区域面积	遥感解译
		河流年径流量 C_4	%	河流当年径流量与多年平均值比例	2022 年苏州市水资源公报
	状态层 B_2	水质等级 C_5	类	地表水环境质量标准 生态河湖状况评价规范	2022 年姑苏区年鉴
		透明度 C_6	%	河段透明度 / 河段水深	实地调查
		植物多样性 C_7	种		实地调查
		鸟类种类与数量 C_8	种		实地调查
		河流连通性 C_9	个	每百千米 (不足百千米按百千米计) 河道闸 坝、水电站等水利工程个数	遥感解译、 实地调查
		河岸带宽度 C_{10}	m	河岸带宽度 / 河段河宽	遥感解译
	响应层 B_3	植被覆盖率 C_{11}	%	湿地植被面积占湿地总面积的比率	遥感解译
		污水处理率 C_{12}	%	污水处理量 / 总排放量	2022 年苏州生态环境公报
		防洪达标率 C_{13}	%	符合防洪标准的长度 / 河道总长度	2022 年姑苏区年鉴
		湿地保护率 C_{14}	%	受保护湿地面积 / 湿地总面积	部门管理数据

表 2 城市河流湿地健康评价指标权重
Table 2 Weights of indicators for evaluating the health of urban riverine wetlands

目标层	准则层	权重	指标层	权重
城市 河流 湿地 健康	压力层 B_1	0.2493	人口密度 C_1	0.0706
			建设用地占比 C_2	0.0572
			路网密度 C_3	0.0664
			河流年径流量 C_4	0.0551
	状态层 B_2	0.5936	水质等级 C_5	0.1057
			透明度 C_6	0.0987
			植物多样性 C_7	0.0992
			鸟类种类与数量 C_8	0.0948
			河流连通性 C_9	0.0972
			河岸带宽度 C_{10}	0.0980
	响应层 B_3	0.1571	植被覆盖率 C_{11}	0.0452
			污水处理率 C_{12}	0.0276
			防洪达标率 C_{13}	0.0387
			湿地保护率 C_{14}	0.0456

级，即健康、亚健康、中等、亚病态、病态 (表 3)。
1.2.3 模糊综合评价法 本研究使用模糊综合评价法，将定性和定量要素与影响相结合以反映评价标准和影响变量的模糊性；该方法将人的主观经验充分纳入审查，提高客观性并使评估结果与实际情

况保持一致性 (Chengguang et al., 2015; 汪顺生等, 2018)。

通过模糊算术运算将模糊隶属度矩阵与指标权重相结合，得到评估向量：

$$b = wr = (w_1, w_2, \dots, w_m) \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (1)$$

式中： w_i 指的是第 i 个 ($i=1, 2, 3, \dots, m$) 评价准则的权重； r_{ij} 指的是 i 的第 j ($j=1, 2, \dots, n$) 级模糊隶属度的表示； b_j 指的是在评价等级划分中的隶属度； m 指的是评价指标总数； n 指的是评价等级数。

姑苏区河流湿地生态系统的健康状况可以用综合评价指数 (CEI) 来反映。通常使用多目标线性加权函数进行计算。在本文中，评估等级的数量为 $n=5$ ，CEI 的计算公式为：

$$CEI = \frac{1}{5}(5b_1 + 4b_2 + 3b_3 + 2b_4 + b_5) \quad (2)$$

表 3 姑苏区河流湿地健康评价指标分级标准及指标数据
Table 3 Grading criteria and indicator data of river wetland health evaluation indicators in Gusu District

目标层	指标层	单位	等级划分					2022 年指标数据	分级依据
			健康	亚健康	中等	亚病态	病态		
姑 苏 区 河 流 湿 地 健 康 评 价	人口密度 C_1	人 /km ²	0 ~ 5 000	5 000 ~ 8 000	8 000 ~ 1.2 × 10 ⁴	1.2 × 10 ⁴ ~ 1.8 × 10 ⁴	1.8 × 10 ⁴ ~ 2.5 × 10 ⁴	1.1084 × 10 ⁴	肖希等 (2017)
	建设用地占比 C_2	%	< 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	≥ 40	89	于嵘等 (2022)
	路网密度 C_3	km/km ²	0 ~ 4	4 ~ 6	6 ~ 9	9 ~ 13	13 ~ 22	6.71	Sk (2023)
	河流年径流量 C_4	%	> 90	90 ~ 70	70 ~ 40	40 ~ 10	< 10	72	孙雪等 (2019)
	水质等级 C_5	类	I	II	III	IV	V		地表水环境质量标准
	透明度 C_6	%	0.42 ~ 0.5	0.34 ~ 0.42	0.26 ~ 0.34	0.16 ~ 0.26	0.1 ~ 0.18	0.45	李港等 (2022)
	植物多样性 C_7	种	≥ 1 000	800 ~ 999	400 ~ 799	100 ~ 399	< 100	413	赵衡等 (2020)
	鸟类种类与数量 C_8	种	≥ 200	150 ~ 199	100 ~ 149	50 ~ 99	< 50	103	赵衡等 (2020)
	河流连通性 C_9	个	< 1	1 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 10	≥ 10	1	于嵘等 (2022)
	河岸带宽度 C_{10}	m	> 1	0.5 ~ 1	0.25 ~ 0.5	0.1 ~ 0.25	< 0.1	0.68	李港等 (2022)
	植被覆盖率 C_{11}	%	> 80	60 ~ 80	40 ~ 60	20 ~ 40	< 20	36	汪顺生等 (2018)
	污水处理率 C_{12}	%	> 80	70 ~ 80	60 ~ 70	50 ~ 60	< 50	89	汪顺生等 (2018)
	防洪达标率 C_{13}	%	≥ 90	80 ~ 90	70 ~ 80	60 ~ 70	< 60	83	傅春等 (2020)
	湿地保护率 C_{14}	%	90 ~ 100	70 ~ 90	40 ~ 70	20 ~ 40	0 ~ 20	63	曹文平等 (2021)

综合国内外学者对湿地生态系统健康评估的相关研究成果 (Sk et al., 2023; 赵衡等, 2022), 结合姑苏区河流湿地实际情况, 对其健康程度进行等级划分 (表 4)。

表 4 湿地生态系统健康程度分级
Table 4 Grading of wetland ecosystem health

生态系统健康状况	CEI
健康	$0.850 \leq CEI \leq 1.000$
亚健康	$0.700 \leq CEI < 0.850$
中等	$0.550 \leq CEI < 0.700$
亚病态	$0.400 \leq CEI < 0.550$
病态	$CEI < 0.400$

2 结果与分析

2.1 姑苏区河流湿地生态健康特征

采用模糊综合评价法来构建模糊关系矩阵, 并从中得出各评价指标的隶属度 (表 5)。通过多目标线性加权函数的运算, 最终计算得出 2022 年苏州市姑苏区河流湿地的生态健康综合评价指数为 0.653。这一数据揭示出该区域的生态系统健康等级为“中等”, 接近“亚健康”状态, 评价结果的真实性与湿地实际健康现状相符。

2.1.1 压力分析 姑苏区河流湿地压力层综合评价指数为 0.625, 健康等级为“中等”等级。其中, 建设用地占比处于“病态”等级, 这主要由于城市化进程的加快, 城市河流湿地受城市建设干扰, 导致生境破碎化加剧, 湿地面积丧失。部分区域在政府或相关部门进行统一规划、投资和管理下, 呈现出湿地健康状况良好, 生态效益可观。部分河流湿地由于本身的康复能力无法立即有效应对和解决这些问题, 因此, 河流湿地生态系统的健康状况等级相对较低。

表 5 姑苏区河流湿地生态健康评价指数及等级隶属度
Table 5 Ecological health evaluation index and rank affiliation of river wetlands in Gusu district

目标层	评价指数	准则层	评价指数	评价指标	各评价等级隶属度				
					健康	亚健康	中等	亚病态	病态
姑苏区河流湿地生态健康评价	0.625	压力层 B_1	0.625	C_1	0	0.229	0.771	0	0
				C_2	0	0	0	0	1.000
				C_3	0	0.763	0.237	0	0
				C_4	0.100	0.900	0	0	0
	0.653	状态层 B_2	0.658	C_5	0	0	1.000	0	0
				C_6	0.375	0.625	0	0	0
				C_7	0	0	0.035	0.965	0
				C_8	0	0.060	0.940	0	0
				C_9	0	1.000	0	0	0
				C_{10}	0	0.400	0.600	0	0
	0.663	响应层 B_3	0.663	C_{11}	0	0	0.800	0.200	0
				C_{12}	1.000	0	0	0	0
				C_{13}	0.300	0.700	0	0	0
				C_{14}	0	0	0.767	0.233	0

2.2.2 状态分析 姑苏区河流湿地状态层综合评价指数为 0.658, 健康等级为“中等”等级。水质状况和生物多样性是评估河流湿地生态系统健康状态的两大主要指标, 植被多样性处于“亚病态”等级, 这主要是由于城市化进程使得湿地面积减少, 原有的湿地被填埋或者被开发建设, 导致湿地生态系统受到破坏, 植被多样性受到影响。元和塘和平门塘河处于人类活动频繁的商业街区之间, 河流两岸采用硬质护岸, 增加了面源污染, 在降雨时易直接冲刷进入河道, 并且河岸带缺乏植被覆盖, 使河流整体的健康状态较低。

2.2.3 响应分析 姑苏区河流湿地响应层综合评价指数为 0.663, 健康等级为“中等”等级。污水处理率和防洪达标率分别处于“健康”与“亚健康”等级, 这主要是由于近年来姑苏区通过控源截污、河道清淤、自流活水、长效保洁等工程实施, 改善了河网的水流流动速度。姑苏区河流湿地受上游水源地太湖、阳澄湖等影响, 以及该区域尚未实施大型或中型的生态恢复工程, 主要依靠人工干预以及生态系统自身的恢复能力来改善当前状况, 植被覆盖率和湿地保护率恢复缓慢。

2.2 姑苏区河流湿地健康影响因素及空间水平

以姑苏区河流湿地为例, 河流湿地健康状态在城市不同类型功能区域呈现出显著的差异性, 例如公园绿地、居民区、商业区等。这些不同类型区域对河流湿地的水质和生态健康具有明显的影响。聚焦不同层面的影响因素, 压力层中城市化进程、人类活动、气候变化等均是造成河流湿地健康水平差异的因素; 状态层中水质状况、生物多样性等是造成不同地区河流湿地状态不同的重要因素; 响应层

中政府和社会对河流湿地的保护和治理措施是影响健康水平的重要因素, 也是造成不同地区政府和社会对河流湿地的响应程度差异的重要原因。

综上所述, 不同区域河流湿地健康水平存在较大差异性的原因是不同区域受到人类活动所产生的压力, 状态层能更好地直观表现河流湿地受到压力的健康状态, 因此, 土地利用类型及人为活动干扰是影响城市河流湿地健康状况的主要因素。

3 讨论

河流和湿地生态系统涉及的健康评价范

围宽泛, 评估指标种类众多, 因此, 构建河流湿地健康评价指标体系时, 无法避免存在大量的主观因素, 各个区域和不同类型河流之间的差别也十分明显。例如, 南方和北方的河流, 城市河道和天然河流, 河流主流和支流之间的差异都很显著。同时, 河流中的水文资源、生态环境、生物以及经济社会属性也各不同。指标的选取作为河流湿地健康评价的难点之一, 众多国内外学者们在河流健康概念发展的基础上, 采用生物多样性、水质、植被覆盖率、河流纵向连通性、河岸带等指标用以建立河流生态健康评价体系 (Zhao et al., 2019; Sk et al., 2023)。评价方法主要分为单因素评价和多指标综合评价, 多指标综合评价体系可以全面地反映河流湿地生态系统的健康状况 (刘苗苗等, 2019; 陈歆等, 2019; 鲍艳磊等, 2021; 张宇帆等, 2022)。本文根据水网地区和姑苏区河流湿地的特征, 并参考相关学者选取的评价指标, 建立基于压力 (P)、状态 (S)、响应 (R) 模型的评价指标体系, 这一体系对于提升城市河流湿地健康评价的准确性具有明显的效果, 且适合应用于人类活动与自然过程交互作用下的城市河流湿地。此外, 河流湿地不仅需具备河流的生态功能, 还需具备一定的社会功能。河流在流经不同类型区域所受到的影响导致不同区域河流湿地健康水平存在较大的差异性。

4 结论

1) 苏州市姑苏区 2022 年河流湿地生态系统健康综合评价指数为 0.653, 河流湿地生态系统健康状况处于“中等”等级, 接近“亚健康”状态。

2) 根据 PSR 模型构建的姑苏区河流湿地健康评价体系包含了压力指标、状态指标和响应指标 3 个方面。该评价体系选取了人口密度、建设用地占比、水质等级、植被覆盖率等共计 14 个指标。3 个指标层的排序权重为状态层指标 > 压力层指标 > 响应层指标, 说明状态层指标可直观的表现河流湿地健康状态, 其状态层的综合健康指数为 0.658。

3) 本研究揭示了姑苏区河流湿地的健康水平在不同区域具有显著差异, 这些差异与各河段所处城市流域所承受的压力有重要的关系。流经建设强度大、居住区密集、植被覆盖率低的河段其健康水平较低; 反之, 那些周边建设强度较低, 靠近大城市公园的河段, 其湿地健康水平相对较高。这意味着城市的建设强度和植被覆盖率因素对姑苏区河流湿

地的健康状态具有显著影响。



参考文献

- 鲍艳磊, 田冰, 张瑜, 等. 2021. 雄安新区河流健康评价 [J]. 生态学报, 41(15): 5988-5997.
- 曹文平, 刘喜坤, 赵天晴, 等. 2021. 基于压力-状态-响应 (PSR) 模型的潘安湖湿地水环境健康评价 [J]. 环境工程, 39(5): 231-237, 245.
- 陈歆, 靳甜甜, 苏辉东, 等. 2019. 拉萨河河流健康评价指标体系构建及应用 [J]. 生态学报, 39(3): 799-809.
- 傅春, 邓俊鹏, 吴远卓. 2020. 基于 BP 神经网络和协调度的河流健康评价 [J]. 长江流域资源与环境, 29(6): 1422-1431.
- 国家环境保护总局科技标准司. 2002. 地表水环境质量标准: GB3838-2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社.
- 李港, 陈诚, 姚斯洋, 等. 2022. 基于压力-状态-响应和物元可拓模型的城市河流健康评价 [J]. 生态学报, 42(9): 3771-3781.
- 李慧敏, 陈星, 许钦, 等. 2020. 基于河长制的河流健康与可持续利用评价 [J]. 中国农村水利水电, 6(9): 157-162.
- 刘苗苗, 赵鑫涯, 毕军, 等. 2019. 基于 DPSIR 模型的区域河流健康综合评价指标体系研究 [J]. 环境科学学报, 39(10): 3542-3550.
- 刘园园, 阿依巧丽, 张森瑞, 等. 2020. 着生藻类和浮游藻类在三峡库区河流健康评价中的适宜性比较研究 [J]. 生态学报, 40(11): 3833-3843.
- 刘云, 李升峰, 李沛泽. 2016. 南京市河流湿地生态健康评价与生态对策研究——以绿水湾湿地为例 [J]. 现代城市研究, 6(5): 10-15.
- 陆威好, 刘博, 苏晓鹭, 等. 2023. 基于 ESG 理念的河流健康评价体系构建 [J]. 人民长江, 54(6): 34-40.
- 陆颖, 陈宇顺. 2020. 河流生境的评估方法及应用的研究进展 [J]. 水生生物学报, 44(3): 670-684.
- 吕金霞, 蒋卫国, 王文杰, 等. 2019. 基于移动窗口法雄安新区湿地景观演变及其与人为干扰间的关系 [J]. 国土资源遥感, 31(2): 140-148.
- 孙雪, 于格, 刘汝海, 等. 2019. 海河南系子牙河流域湿地生态系统健康评价研究 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 49(11): 120-132.
- 汪豪, 娄厦, 刘曙光, 等. 2020. 湿地环境质量评价方法研究进展 [J]. 水利水电科技进展, 40(6): 85-94.
- 汪顺生, 黄天元, 陈豪, 等. 2018. 基于 CRITIC 赋权的模糊综合评判模型在水质评价中的应用 [J]. 水电能源科学, 36(6): 48-51.
- 王军, 周琼, 谢从新, 等. 2014. 新疆额尔齐斯河大型底栖动物的群落结构及水质生物学评价 [J]. 生态学杂志, 33(9): 2420-2428.
- 肖希, 李敏. 2017. 绿斑密度: 高密度城市绿地规划布局适用指标研究——以澳门半岛为例 [J]. 中国园林, 33(7): 97-102.
- 谢伊涵, 李根, 杨梦杰, 等. 2020. 基于 PSR 和物元可拓模型的跨界河流健康评价——以太浦河干流为例 [J]. 华东师范大学学报 (自然科学版), 13(1): 110-122.

(下转第 51 页)

为 30, 相对集中。

3) 经济水平是影响中国湿地旅游网络关注度的基础因素, 网络普及度决定了网络关注度的高低, 网络越普及的地区, 关注度也越高。湿地发展水平与文化水平是提升网络关注度的关键, 湿地数量越多、受教育水平越高的地区, 网络关注度越高。

参考文献

- 陈昆仑, 邓亚星, 林晨暄, 等. 2023. 中国攀岩运动网络关注度的时空特征及影响因素 [J]. 山东体育科技 (5): 36-45.
- 陈昆仑, 宋新昊, 刘小琼, 等. 2023. 中国露营活动网络关注的时空特征及影响因素 [J/OL]. 旅游科学: 1-15[2023-12-01].
- 何若晨, 冯育青, 李黎. 2023. 基于城市生态系统服务协同性的湿地修复优先区分析 [J]. 湿地科学与管理, 19(5): 20-26.
- 贺锋, 董金凯, 谢小龙, 等. 2010. 北京奥林匹克森林公园人工湿地生态系统服务非使用价值的评估 [J]. 长江流域资源与环境, 19(7): 782-788.
- 李艺, 李杨帆, 赵文珺, 等. 2012. 快速城市化地区人工湿地景观生态功能优化研究 [J]. 环境保护科学, 38(2): 13-15, 29.
- 龙茂兴, 孙根年, 龙珍付. 2013. 遵义红色旅游网络关注度的客流响应研究 [J]. 地理与地理信息科学, 29(5): 98-101, 118.
- 龙茂兴, 孙根年, 马丽君, 等. 2011. 区域旅游网络关注度与客流量时空动态比较分析——以四川为例 [J]. 地域研究与开发, 30(3): 93-97.
- 罗明春, 谌战飞. 2023. 岳麓山-橘子洲景区国内网络关注度时空分布的特征 [J]. 长沙大学学报, 37(4): 51-59.
- 马丽君, 孙根年, 黄芸玛, 等. 2011. 城市国内客流量与游客

- 网络关注度时空相关分析 [J]. 经济地理, 31(4): 680-685.
- 孙根年, 马丽君. 2007. 西安旅游气候舒适度与客流量年内变化相关性分析 [J]. 旅游学刊 (7): 34-39.
- 万田户, 段小芬, 周运输, 等. 2023. 基于网络关注度的江西省居民赣菜消费需求时空特征及其影响因素研究 [J]. 四川旅游学院学报 (5): 17-23.
- 肖凝. 2023. 景区网络关注度时空特征及相关影响因素研究——基于对云南省 8 个 5A 级景区的分析 [J]. 改革与开放 (7): 12-23.
- 许家伟, 王伟, 杜锦. 2023. 中部六省红色旅游网络关注格局及影响因素的时空分异 [J]. 重庆大学学报 (社会科学版), 29(2): 82-96.
- 杨利, 谢慧, 谢炳庚. 2022. 中国大陆 31 个省 (市、自治区) 湿地旅游网络关注度时空差异及其影响因素 [J]. 湖南师范大学自然科学学报, 45(4): 77-85.
- 杨贤群. 2021. 人工湿地功能及其生态系统价值研究 [J]. 资源节约与环保 (7): 9-10.
- 张华玉, 陈国艺, 德祥. 2023. 2022 年北京冬奥会网络关注度时空变化特征及其影响因素分析 [J]. 体育教育学刊 (5): 76-82.
- 中国互联网络信息中心. 2022. 第 50 次《中国互联网络发展统计报告》[EB/OL]. (2022-08-31)[2023-11-13]. https://baike.baidu.com/item/第50次《中国互联网络发展状况统计报告》/61938940?fr=ge_al
- Clark M, Wilkins E J, Dagan D T, et al. 2019. Bringing forecasting into the future: using Google to predict visitation in US National Parks [J]. Journal of Environmental Management, 20(243): 22-27.
- Correa A. 2021. Forecasting Tourist Arrivals to Colombia from Google Trends Search Criteria [J]. Lecturas de Economía (95): 105-134
- Padhi S S, Pati R K. 2017. Quantifying potential tourist behavior in choice of destination using Google trends [J]. Tourism Management Perspectives (24): 82-97.
- US EPA. 2020. Guiding principles for constructed treatment wetlands: providing for water quality and wildlife habit [R]. Washington. D C: US EPA, Office of Wetlands, Oceans and Watershed.

(上接第 45 页)

- 杨哲, 杨侃, 刘朗, 等. 2018. 组合赋权模糊熵-灰云聚类二维河流健康评价 [J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 46(5): 90-94.
- 于嵘, 潘泳羽, 苏相琴. 2022. 广西九洲江流域生态健康评价 [J]. 桂林理工大学学报, 42(1): 170-176.
- 张向徐, 韩美, 倪娟, 等. 2023. 基于文献计量和可视化分析的河流生态健康评价研究进展与展望 [J/OL]. 西安理工大学学报: 1-15[2023-09-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.n.20230707.1755.004.html>.
- 张宇帆, 朱莹莹, 陈奕洁, 等. 2022. 基于韧性理念的城市河流健康评价——以郑州市金水河为例 [J]. 水土保持通报, 42(6): 238-246, 257.
- 赵衡, 闫旭, 王富强, 等. 2020. 基于 PSR 模型的三门峡库区湿地生态系统健康评价 [J]. 水资源保护, 36(4): 21-25, 74.

- Chengguang L, Xiaohong C, Xiaoyu C, et al. 2015. A fuzzy comprehensive evaluation model for flood risk based on the combination weight of game theory [J]. Natural Hazards, 77(2): 1243-1259.
- Sk M, Nawaj M S, Neha P, et al. 2023. Wetland health assessment using DPSI framework: a case study in Kolkata Metropolitan Area [J]. Environmental science and pollution research international.
- Tianhong L, Xulei H, Xiaohui J, et al. 2018. Assessment of ecosystem health of the Yellow River with fish index of biotic integrity [J]. Hydrobiologia, 814(1): 31-43.
- Zhao Y, Zhou L, Dong B, et al. 2019. Health assessment for urban rivers based on the pressure, state and response framework—A case study of the Shiwuli River [J]. Ecological Indicators, 99: 324-331.