

DOI: 10.5846/stxb202012143182

廖迎娣, 张欢, 侯利军, 陈达. 江苏长江岸线生态修复评价指标体系研究. 生态学报, 2021, 41(10): 3910-3916.

Liao Y D, Zhang H, Hou L J, Chen D. Discussion on evaluation indicator system of ecological remediation along the shoreline of Yangtze River in Jiangsu Province. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(10): 3910-3916.

江苏长江岸线生态修复评价指标体系研究

廖迎娣^{1,2}, 张 欢¹, 侯利军^{1,2}, 陈 达^{1,2,*}

1 河海大学港口海岸与近海工程学院, 南京 210098

2 长江保护与绿色发展研究院, 南京 210098

摘要:通过分析江苏长江岸线生态修复的现状及存在的问题,明确了构建生态修复评价指标体系的必要性。基于江苏长江岸线生态修复的实际情况,借鉴前人相关研究成果及湿地、水生态等领域有关生态评价的规范,提出植物覆盖度、水土保持度、原生植物恢复度、植物物种多样性、护岸型式多样性和岸线曲折度 6 项关键指标,以及各项指标的定量化确定方法。在此基础上,构建了以前 4 项为主要指标,其它为附加指标的评价体系,明确了赋分等级和对应分值。分析研究结果表明,6 项指标全面系统考虑了长江岸线生态修复对植物生长状态、动物生存条件和岸坡稳定等方面要求;修复评价指标体系通过主要指标和附加指标相结合的方式,既实现了对生态修复效果的定量化评价,又体现了对生态修复工程设计理念的引导,为长江岸线生态修复的有序推进奠定了基础。

关键词:江苏长江岸线;江苏省;生态修复;评价指标体系

Discussion on evaluation indicator system of ecological remediation along the shoreline of Yangtze River in Jiangsu Province

LIAO Yingdi^{1,2}, ZHANG Huan¹, HOU Lijun^{1,2}, CHEN Da^{1,2,*}

1 College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China

2 Yangtze Institute for Conservation and Development, Nanjing 210098, China

Abstract: By analyzing the current situation and problems of ecological remediation along the shoreline of Yangtze River in Jiangsu Province, the necessity of establishing an evaluation indicator system of ecological remediation is clarified. Based on the relevant studies and ecological evaluation standards in wetland and aquatic ecosystem, Enhanced Vegetation Index (EVI), Soil Water Impact Index (SWII), Native Plant Remediation Index (NPRI), Plant Species Diversity Index (PSDI), Revetment Type Index (RTI), Shoreline Tortuosity Index (STI) and their quantitative determination methods are built. The EVI is used to analyze the relationship between pixel value and zero. When the pixel value is greater than zero, the increasing EVI indicates that plant mulching is rising, and the effect of shoreline ecological remediation is positive. The soil and water conservation of remediation region is evaluated by the SWII. The smaller the value of SWII is, the less soil and water loss is, which indicates the higher degree of soil and water conservation of shoreline. The native plant remediation is evaluated by the NPRI. The degree of native plant remediation increases with the increasing of NPRI, the larger value of which is beneficial to achieve the transformation from artificial remediation to natural remediation. The PSDI is used to evaluate the species richness and uniformity of the remediation region. The higher the value of PSDI is, the richer and more evenly distributed the plant species are, which indicates a better outcome of this remediation. The RTI is used to evaluate the diversity of bank revetment types. Various types of bank revetment should be used in combination to meet different

基金项目:江苏省重点研发计划项目(BE2020715)

收稿日期:2020-12-14; 修订日期:2021-04-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenda@hhu.edu.cn

ecological requirements. The STI is used to evaluate the tortuosity of the shoreline, and constructing relatively curved shorelines can promote shoreline ecological remediation. In addition, the evaluation method with the former four indexes as main parameters and the others as additional parameters is established, and the grades and corresponding scores are defined. The results show that the growth status of plants, the living conditions of animals and the stability of the bank slope are considered systematically by using the six indexes. Through the combination of the primary indexes and additional indexes in the evaluation indicator system, not only the quantitative evaluation of ecological remediation can be reached, but also the design of ecological remediation engineering projects can be guided properly. This study provides a scientific basis for evaluation of the ecological remediation along the shoreline of the Yangtze River in Jiangsu Province.

Key Words: the shoreline of Yangtze River; Jiangsu Province; ecological remediation; evaluation indicator system

长江岸线是长江沿线一定范围的水域和陆域空间结合带,是国内经济布局、水运发展、生态保护等领域关注的重点区域^[1],目前世界最大规模的内河产业带已在长江沿岸地区建成^[2-4]。长江江苏段拥有优越的水运和区位优势,岸线利用强度高,生态环境风险也较大。

岸线长时间的动态演变及不合理开发利用,使得部分长江岸线产生了生态污染、用地环境污染、林木及湿地资源破坏、硬质驳岸影响水生态环境等问题^[5]。2020年,习近平总书记在江苏考察时强调“要把保护生态环境摆在更加突出的位置”“要使长江经济带成为我国生态优先绿色发展的主战场”。长江岸线保护和生态修复是保障长江流域生态系统安全与完整的必由之路,是长江大保护的核心问题之一。

近年来,江苏省以改善长江生态质量为核心,大力推进长江岸线保护和生态修复,采取江堤改造、种植土覆土、绿化种植等措施构建生态湿地和绿色廊道,取得了显著成效。但是,在长江岸线生态修复过程中也存在一些修复工程未达到预期效果或过度园林化导致投资浪费等问题。究其原因,主要是缺少科学评价标准,具体如何修复、修到何种程度,大多靠各自摸索,修复后的效果也没有标尺来衡量。查阅相关文献,目前关于长江岸线生态修复的研究,主要围绕生态环境修复的技术手段、生态功能布局等^[6-9],鲜有针对生态修复评价标准的研究。标准的缺失导致不能以客观自然状况为依据进行定量评估及考核,对于已完成的岸线修复工程的实际效果无法进行清晰界定,大量后续岸线生态修复工作也缺少有力的支撑。

基于此,本文借鉴前人相关研究成果及湿地、水生态等领域有关生态评价的规范,在充分研究江苏长江岸线生态修复中存在的植物存活率低、原生动物恢复缓慢、水土流失、过度园林化等问题的基础上,提出以植物覆盖度、水土保持度、原生植物恢复度、植物物种多样性、护岸型式多样性和岸线曲折度6项指标,建立江苏长江岸线生态修复评价指标体系,以推动江苏长江岸线生态修复向系统化、高质量迈进。

1 生态修复主要评价指标

1.1 植物覆盖度

植物覆盖度是指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计区域总面积的百分比^[10],是反映一个区域绿化程度的指标。《湿地公园生态管理技术规范》(DB33/T 2032—2018)和《水生态健康评价技术规范》(DB11/T 1722—2020)等规范分别采用植被覆盖率、河岸带植被覆盖率等类似指标,物理意义明确且较为直观。

1982—1999年间,植物覆盖的变化特征研究主要依赖于归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)。自1999年中高分辨率成像光谱仪(MODIS)升空后,因具有较高分辨率,其长时间序列的增强指数数据(Enhanced Vegetation Index, EVI)在近些年被用来开展植被覆盖监测,以期生态环境恢复提供科学依据^[11]。

NDVI在植物覆盖度高的地区红光通道容易饱和,而MODIS EVI避免了基于比值的植被指数饱和问题,同时对基础数据进行了包括大气分子、气溶胶、薄云、水汽和臭氧等的全面校正。采用大气抵抗植被指数

(Atmospheric Resistant Vegetation Index, ARVI) 对残留气溶胶做进一步处理, 采用土壤调节植被指数 (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI) 减弱树冠背景土壤变化对植被的影响^[12]。

EVI 的公式^[13] 如下:

$$EVI = \frac{G \times (\rho_{NIR} - \rho_{red})}{\rho_{NIR} + C_1 \times \rho_{red} - C_2 \times \rho_{blue} + L} \quad (1)$$

式中, ρ_{NIR} 、 ρ_{red} 、 ρ_{blue} 分别为近红外光、红光、蓝光的反射率; G 为增益调整因子; C_1 和 C_2 为大气调节参数; L 为植被冠层背景调整因子。

因此, 可以用 EVI 来量化植物覆盖度。从 Level-1 and Atmosphere Archive and Distribution System Distributed Active Archive Center (LAADS DAAC) 网站下载 MODIS C6 版本, 空间分辨率为 1km 的数据, 对获取的不同时段 EVI 影像进行分级, 利用影像差值法获得它们之间的差值影像, 并根据差值影像中像元与 0 的关系判断 EVI 的变化趋势^[13]。像元值大于 0 时, EVI 上升, 说明植物覆盖度上升, 生态修复效果向着预期方向行进; 反之, 说明生态修复效果向着预期的反方向行进。

若修复区域的城市建设用地、村庄居民用地、水体等全年 EVI 变化较小, 要利用 EVI 时序曲线的波动幅度 (年内变化标准差) 剔除这些“干扰”像元^[14]。通过与中高空间分辨率影像和土地利用数据的对比, 设定标准差阈值, 提取常绿植被、建设用地和水体等非水稻种植区, 并将它们掩模^[14]。EVI 时序标准差 δ ^[14] 为:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (EVI_i - EVI_m)^2}{N}} \quad (2)$$

式中, N 为影像期数; i 为影像期号; EVI_i 为第 i 幅影像 EVI 值, EVI_m 为时序影像 EVI 的平均值。

1.2 水土保持度

《中国水利百科全书》将水土保持定义为“防治水土流失、保护、改良与合理利用水土资源, 维护和提高土地生产力, 以利于充分发挥水土资源的生态效益、经济效益和社会效益, 建立良好生态环境的事业。”在长江沿岸区域, 水土流失会造成岸坡失稳及河床淤积, 若不及时处理, 将影响岸线区域生态环境且影响生物多样性, 使得岸线变得脆弱^[15]。因此, 水土保持既是避免土壤流失, 保持岸坡稳定, 减少河床淤积, 维持生态系统稳定的需要, 又是改良土壤, 满足植物和动物生存需要的重要条件, 应作为长江岸线生态评价的重要指标。

水土流失影响指数 (Soil Water Impact Index, SWII) 常被用于水土保持方案的评价^[16-17], 可定量评价长江岸线生态修复工程的水土保持度。将水土保持损益分析中的关键性影响指标进行加权求和, 得到反映水土流失影响程度的无量纲值, 计算公式^[16-17] 如下:

$$SWII = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i \quad (3)$$

式中, α_i 为第 i 个因子的权重, 因子可包括工程面积、影响时限、流失水土量和恢复度等, i 的取值范围为 1 到 n ; x_i 为第 i 个因子数据归一后的值, 通过获取 x_i 的原始值 x_{i0} 后对其进行标准化处理^[16], 按式 (4) 计算。

$$x_i = \frac{x_{i0} - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (4)$$

SWII 值越小, 工程影响时间越短、水土流失量越小, 水土保持度越好; SWII 值越大, 对土壤侵蚀的影响越大, 水土流失量越大^[16-17]。

1.3 原生植物恢复度

原生植物是指自然存在且长期生长于该区域的各种植物。作为历经流域气候变迁、生物物种侵害等自然灾害后仍能蓬勃生长于当地的植物种类^[18], 原生植物适应能力强, 能最大程度减少人工维护, 并保持良好的生长状态。同时, 有利于原生动物的觅食、栖息和繁殖, 对维持当地原有生态系统稳定具有重要意义。因此, 在岸线生态修复工程中, 应提倡恢复原生植物的占比, 从而实现由人工修复向自然修复过渡。

在进行长江岸线生态修复时, 应通过实地调查、走访、查阅历史资料等, 首先形成该区域的原生植物名录,

然后根据物种特性、生长状态、物候期等特点,从植物在岸线范围生境中水土保持、固碳、污染物吸附、景观营造、繁殖培育及养护管理等^[18]方面进行筛选,确定用于修复的原生植物类型。采用原生植物恢复指数(Native Plant Remediation Index, NPRI)表征原生植物恢复度:

$$NPRI = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i S_i}{S_0} \quad (5)$$

式中, n 为筛选的原生植物类型总数; β_i 为第*i*类原生物种权重; S_0 为修复区域总面积; S_i 为修复后第*i*类原生植物覆盖面积。

NPRI 越大,修复区域内原生植物的覆盖范围越大,生态修复效果越好。

1.4 植物物种多样性

植物物种多样性是保证动物多样性的基础,是维持良好生态系统的重要条件。长江流域植物物种丰富,在选择原生植物进行修复时,应采用尽可能多的种类,避免过于单一。《湿地生态质量评估规范》(DB11/T 1503—2017)等规范采用植被类型多样性、湿地植物相对丰度等类似指标。因此,本文选用植物物种多样性指标反映修复区域内植物物种的丰富度、均匀度^[19-20]。

采用植物物种多样性指数(Plant Species Diversity Index, PSDI)用于定量化表征植物物种多样性。通过 Patrick 丰富度指数(R)、Shannon-Wiener 多样性指数(H)和 Pielou 均匀度指数(E)进行分析,其公式^[20-21]分别为:

$$R = M \quad (6)$$

$$H = - \sum_{i=1}^M P_i \ln P_i \quad (7)$$

$$E = \frac{H}{\ln(M)} \quad (8)$$

$$PSDI = k_1 R + k_2 E \quad (9)$$

式中, M 为调查区域内植物物种总数; P_i 为第*i*个物种的重要值,是该物种相对频度、相对盖度、相对密度的平均值^[22]; k_1 和 k_2 分别为 Patrick 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数的权重。

PSDI 越大,区域内植物物种越丰富、分布越均匀,越有利于恢复生态系统原本的面貌,最终达到自然修复的目的。在进行长江岸线生态修复时,应首先考虑原生植物恢复度,尽可能选择更多种类的原生植物,兼顾植物物种多样性的需要。

2 生态修复附加评价指标

2.1 护岸型式多样性

护岸的主要作用是保持岸坡稳定,维持河道形态。但是传统的硬质护岸阻碍了坡面上下、陆域水域间的物质、能量和生物的交流与联系,对生态系统造成严重影响。在长江岸线生态修复工程中,应尽可能多采用生态护岸,在确保护岸结构稳定和安全的的前提下兼顾生态效应^[23]。

生态护岸型式多样,不同护岸型式的特点不同,对改善生态的作用也不一样。如,木桩植被复合护岸,能有效改善河流生态系统与近岸陆地系统的连通性,为水生生物提供栖息、繁殖场所^[24]。石笼净水复合护岸通过在石笼上部固定纤维垫作为植物生长床来种植水生植物,河水在其内部的砾石与植物根系间流动,使水中污染物得到去除^[25],对改善水生植物的生存环境有很大帮助。自嵌式植生护岸可结合块体内种植的植物,有良好的景观效益和生态效果^[26]。连锁式生态护岸开孔率高,渗透性、排水性好,有利于水生植物生根以及水生动物栖息、繁殖等^[27]。

因此,本文提出护岸型式多样性作为附加指标的目的在于鼓励采用更多类型的护岸型式,采用护岸型式指数(Revetment Type Index, RTI)定量表征护岸型式的多样性。

$$RTI = t \quad (10)$$

式中, t 为修复岸线范围内的护岸种类。

RTI 越大, 护岸型式越丰富, 能满足的生态需求就越多元, 更有利于达到生态修复的目标。

2.2 岸线曲折度

自然因素及人类活动的干扰使岸线处于不断变化过程中, 曲折是岸线的一个基本属性, 水流冲刷、岸坡侵蚀等自然因素及岸线资源开发利用、人类活动等社会因素均会引起岸线曲折度的变化^[28]。

岸线形态直接影响近岸水体的水动力条件。当岸壁曲折时, 水体会出现局部扰动, 在凹凸岸区域甚至产生横向水流, 带动小颗粒泥沙向不同水深梯度扩散, 进而影响底泥中氮、磷和有机碳等的释放和扩散^[29]。与平直岸线相比, 凹凸形岸线近岸段不同水深梯度带的表层底泥中各指标含量差异更显著, 可有效促进氮、磷和有机碳等营养物质再分配^[29]。此外, 凹形岸线相对平直岸线, 水体流动及行船等引起的波动相对较小, 有利于底栖动物的寄居。

因此, 本文提出岸线曲折度 (Shoreline Tortuosity Index, STI) 作为附加指标的目的在于引导岸线修复设计时尽可能考虑岸线形态的影响, 为水生动植物生存提供更多有利环境。岸线曲折度可以采用两点之间折线距离与直线距离的比值^[28]或岸线长度与等面积圆周长的比值^[30]计算。但这两种方法不能体现整段岸线的曲折程度。张云等^[28]提出使用 SuperMap 工具, 设置一定的重采样距离, 得到一条岸线的简化线, 即岸线轮廓基线。利用岸线长度与岸线轮廓基线的比值计算岸线曲折度, 即:

$$STI = \frac{\sum_{i=1}^n L}{\sum_{i=1}^n L_s}$$

(11)

式中, L 为岸段间的岸线长度; L_s 为岸段间的岸线轮廓基线长度; n 为研究区域内岸段的数量。

STI 越大, 岸线形态越丰富, 越有利于水生动植物的生长, 生态修复效果越好。

3 生态修复评价体系

在综合考虑植物覆盖度、水土保持度、原生植物恢复度、植物物种多样性、护岸型式多样性、岸线曲折度等 6 项指标的基础上, 本文提出生态修复效果指数 (Ecological Remediation Effect Index, EREI) 用以定量评价江苏长江岸线生态修复的效果, 计算公式如下:

$$EREI = X_1 Y_{EVI} + X_2 Y_{SWII} + X_3 Y_{NPRI} + X_4 Y_{PSDI} + X_5 Y_{RTI} + X_6 Y_{STI}$$

(12)

式中, Y_{EVI} 、 Y_{SWII} 、 Y_{NPRI} 、 Y_{PSDI} 、 Y_{RTI} 、 Y_{STI} 分别是 6 项指标对应的赋分; X_1 — X_6 分别是 6 项指标的权重, 如表 1 所示。在工程应用中, 应首先根据修复项目的特点和要求确定各项指标的权重值并进行计算。其中, 4 项主要指标的权重总和为 100%, 2 项附加指标的总权重原则上不超过 10%。

表 1 江苏长江岸线生态修复评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system of ecological remediation along the shoreline of the Yangtze River in Jiangsu Province				
重要程度 Importance level	指标名称 Parameter	衡量标准 Measurement	赋分 Score	权重 Weight
主要指标 Main parameters	植物覆盖度	增强型植被指数 (EVI)	Y_{EVI}	X_1
	水土保持度	水土流失影响指数 (SWII)	Y_{SWII}	X_2
	原生植物恢复度	原生植物恢复指数 (NPRI)	Y_{NPRI}	X_3
	植物物种多样性	植物物种多样性指数 (PSDI)	Y_{PSDI}	X_4
附加指标 Additional parameters	护岸型式多样性	护岸型式指数 (RTI)	Y_{RTI}	X_5
	岸线曲折度	岸线曲折度 (STI)	Y_{STI}	X_6

在对各项指标进行赋分时,首先应根据岸线所处功能区的实际情况,确定每一项指标的最佳值范围,将其作为等级 I 的赋分区间。然后,设定每个等级之间的区间级差,依次确定等级 II、等级 III、等级 IV 的赋分区间(表 2)。

表 2 各项指标赋分等级
Table 2 Specific index rating

等级 Grade	I	II	III	IV
赋分 Score(Y)	100	75	50	25

4 结论与展望

- (1)植物覆盖度、水土保持度、原生植物恢复度、植物物种多样性、护岸型式多样性和岸线曲折度 6 项指标全面系统考虑了长江岸线生态修复对植物生长状态、动物生存条件和岸坡稳定等方面要求。
- (2)江苏长江岸线生态修复评价指标体系通过主要指标和附加指标相结合的方式,既实现了对生态修复效果的定量化评价,又体现了对生态修复工程设计理念的引导,为长江岸线生态修复的有序推进奠定了基础。
- (3)在对长江岸线生态修复进行评价的过程中,操作层面仍有大量的后续研究工作需要深入开展,如每个指标的权重,各指标在四个等级的取值范围,植物物种调查方法,开展评价的时间节点等,最终形成可用于长江岸线生态修复评价的操作指南或规范。

参考文献(References):

[1] 段学军, 邹辉. 长江岸线的空间功能、开发问题及管理对策. 地理科学, 2016, 36(12):1822-1833.

[2] 段学军, 邹辉, 王晓龙. 长江经济带岸线资源保护与科学利用. 中国科学院院刊, 2020, 35(8):970-976.

[3] Peng L, Xia J, Li Z H, Fang C L, Deng X Z. Spatio-temporal dynamics of water-related disaster risk in the Yangtze River Economic Belt from 2000 to 2015. Resources, Conservation and Recycling, 2020, 161:104851.

[4] Luo Q L, Zhou J F, Li Z G, Yu B L. Spatial differences of ecosystem services and their driving factors:a comparison analysis among three urban agglomerations in China's Yangtze River Economic Belt. Science of the Total Environment, 2020, 725:138452.

[5] 宋安琪, 季心蕙, 赵兵. 基于生态修复理论的长江岸线林带景观营造——以扬州市江都经济开发区沿江区域林带景观规划设计为例. 园林, 2020, (3):71-75.

[6] 周文. 基于分层控制的长江经济带生态保护与修复策略研究——以江苏省沿江区域为例//活力城乡 美好人居——2019 中国城市规划年会论文集. 重庆:中国城市规划学会, 2019:1119-1126.

[7] 吴鹏. 生态修复法律概念之辩及其制度完善对策. 中国地质大学学报:社会科学版, 2018, 18(1):40-46.

[8] 韩博, 金晓斌, 项晓敏, 赵庆利, 林金煌, 洪长桥, 金志丰, 胡静, 周寅康. 基于“要素—景观—系统”框架的江苏省长江沿线生态修复格局分析与对策. 自然资源学报, 2020, 35(1):141-161.

[9] Yuan J, Zhang G X, Chen L, Luo J Q, You F Y. Experiment using semi-natural meadow vegetation for restoration of river revetments;a case study in the upper reaches of the Yangtze River. Ecological Engineering, 2020, 159:106095.

[10] 张云霞, 李晓兵, 陈云浩. 草地植被盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述. 地球科学进展, 2003, 18(1):85-93.

[11] 李美丽, 尹礼昌, 张园, 苏旭坤, 刘国华, 王晓峰, 奥勇, 伍星. 基于 MODIS-EVI 的西南地区植被覆盖时空变化及驱动因素研究. 生态学报, 2021, 41(3):1138-1147.

[12] 王正兴, 刘闯, Huete A. 植被指数研究进展:从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI. 生态学报, 2003, 23(5):979-987.

[13] 王一帆, 徐涵秋. 利用 MODIS EVI 时间序列数据分析福建省植被变化(2000—2017 年). 遥感技术与应用, 2020, 35(1):245-254.

[14] 邓刚, 唐志光, 李朝奎, 陈浩, 彭焕华, 王晓茹. 基于 MODIS 时序数据的湖南省水稻种植面积提取及时空变化分析. 国土资源遥感, 2020, 32(2):177-185.

[15] 郑洋, 符娟娟, 李苏. 生态理念与技术在岛屿生态规划中的应用:以重庆中坝岛为例. 湿地科学与管理, 2020, 16(2):19-22.

[16] 姜德文. 运用水土流失影响指数评价主体工程设计及水土保持方案. 中国水土保持, 2010, (12):4-6.

[17] 张峥, 陈吉虎, 姜德文, 赵廷宁. 高速公路项目水土流失影响指数的应用研究. 水土保持通报, 2014, 34(2):116-119.

[18] 高国刚, 孟秀元. 公路绿化中原生植物利用的筛选方法探讨——以山西省阳城市为例. 山西交通科技, 2019, (2):65-68.

- [19] 郑元润. 大青沟森林植物群落物种多样性研究. 生物多样性, 1998, 6(3):191-196.
- [20] 保琦蓓. 高速公路施工对原生植物群落的影响评价研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2007.
- [21] 刘璐, 刘志成, 杨瑞莹, 张任菲, 李豪, 许晓明. 永定河干涸段(卢梁段)河流廊道植物群落数量分类及多样性特征. 生态学报, 2020, 40(24):9129-9137.
- [22] 陈书琴, 夏建东, 王志高, 龙锦云. 长江马鞍山段沿岸陆生植物分布及多样性研究. 安庆师范大学学报:自然科学版, 2018, 24(4):95-100.
- [23] 梁开明, 章家恩, 赵本良, 叶延琼, 孔旭晖. 河流生态护岸研究进展综述. 热带地理, 2014, 34(1):116-122, 129-129.
- [24] 花全, 于小娟, 王小会. 间隔木桩+桑条秸秆拱生态护岸结构. 水运工程, 2020, (9):138-141.
- [25] 何旭升, 鲁一晖, 逢勇, 李文奇. 净水型护岸理念与技术探讨//中国水利学会第四届青年科技论坛论文集. 北京:中国水利学会, 2008:187-191.
- [26] 王勇, 云超. 自嵌式植生挡墙在栗水河治理中的应用. 江西水利科技, 2016, 42(2):120-124.
- [27] 顾鑫, 黄浩浩. 生态护岸的技术应用. 城市道桥与防洪, 2019, (3):124-126.
- [28] 张云, 张建丽, 景昕蒂, 宋德瑞. 近 20a 来我国海岸线曲折度变化分析. 海洋环境科学, 2015, 34(1):76-80.
- [29] 袁芳, 陈怀艳, 康昕, 盛晟, 徐驰, 刘茂松. 岸线形态与近岸底泥元素分布特征的相关性分析. 南京林业大学学报:自然科学版, 2017, 41(2):9-14.
- [30] 郭芬芬, 胡涛骏, 应元康, 潘国富, 刘彬. 近 15 年洞头五岛海岸线时空变化分析. 海洋开发与管理, 2019, 36(7):25-30.