



# 江苏长江岸线生态修复评价指标体系的应用 \*

廖迎娣<sup>1,2</sup>, 张欢<sup>1</sup>, 张诗敏<sup>1</sup>, 侯利军<sup>1,2</sup>

(1. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏南京 210098; 2. 长江保护与绿色发展研究院, 江苏南京 210098)

**摘要:** 基于江苏长江岸线生态修复评价指标体系, 明确水土保持度中各项影响因子的计算方法。采用层次分析法分别确定水土保持度指标中各因子及评价体系中各指标的权重。补充生态指数的计算方法并明确对应的赋分等级, 提出开展评价的时间节点, 形成一套可用于江苏长江岸线生态修复的评价体系。以南通五山段长江岸线为例, 开展该体系的应用研究。结果表明: 1) 2018—2020年, 使用评价指标体系计算得到的生态指数逐年增大, 最大增长率为90.09%。2) 生态效果由修复工程建设初期的较差逐步提升为优秀。3) 在已实施生态修复的岸线, 应用该评价体系得到的生态效果评价与该岸线实际工程进度、生态变化情况相符, 验证了江苏长江岸线生态修复评价指标体系的科学性与适用性, 可推广应用于江苏其他岸线生态修复评价。

**关键词:** 长江岸线; 生态修复; 评价指标体系

中图分类号: U 656; X 171.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)08-0141-07

## Application of the evaluation index system for ecological remediation of the Yangtze River shoreline in Jiangsu Province

LIAO Ying-di<sup>1,2</sup>, ZHANG Huan<sup>1</sup>, ZHANG Shi-min<sup>1</sup>, HOU Li-jun<sup>1,2</sup>

(1. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

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

**Abstract:** Based on the evaluation index system for ecological remediation of the Yangtze River shoreline in Jiangsu Province, the calculation methods of various influencing factors in the soil water impact index (SWII) are further refined. The analytic hierarchy process (AHP) is used to calculate the weight of each factor in the SWII. Similarly, the weight of each parameter in the evaluation index system is also calculated by the AHP. The calculation method of ecological index (EI) is supplemented, and the corresponding ecological effect levels of different EI values are determined. The suggestions on the time node of evaluation are proposed to form a set of evaluation system that can be used for ecological remediation evaluation of the Yangtze River shoreline in Jiangsu Province. To investigate the application of the evaluation index system, a case study in shoreline of Wushan section, Nantong City, Jiangsu Province is carried out. The results show that: 1) From 2018 to 2020, the values of EI calculated by the evaluation index system have increased year by year, and the maximum growth rate of ecological index is 90.09%. 2) The ecological effect changes from poor to excellent. 3) The evaluation index system is applied to the shoreline for ecological remediation, and the obtained ecological evaluation is consistent with the real project progress and ecological changes of the shoreline, which verifies the scientificity and applicability of the evaluation index system for ecological remediation of the Yangtze River shoreline in Jiangsu Province. It is recommended to be used in the ecological remediation evaluation of other shorelines in Jiangsu Province.

**Keywords:** shoreline of the Yangtze River; ecological remediation; evaluation index system

收稿日期: 2021-12-25

\*基金项目: 江苏省重点研发计划项目(BE2020715)

作者简介: 廖迎娣(1977—), 女, 博士, 副教授, 从事港口航道工程研究。

江苏长江岸线位于长江黄金水道下游,具有陆域平坦、腹地广阔、岸线较稳定、匹敌海岸线的优良建港条件,是江苏长江经济带建设的重要资源<sup>[1-2]</sup>。然而,随着经济发展和人口增长,江苏长江岸线出现了一些生态问题,包括由于建设用地的扩展引起的植物覆盖度减少、工业段重金属污染风险突出、生物多样性较低、水生生物生存环境质量下降、自然水陆交互受阻等<sup>[3-6]</sup>。对长江岸线进行生态修复,不仅是江苏生态建设和区域发展的需求,更是国家生态安全的需求。

近年来为了推进长江岸线生态保护,江苏省一方面对散乱污涉水企业分类实施关停取缔、整合搬迁、提升改造等措施,积极腾退受侵占的高价值生态区域<sup>[7-8]</sup>;另一方面实施江堤改造、绿化种植等多种生态修复工程,为长江加绿<sup>[9]</sup>。然而,修复工程在取得显著成效的同时也存在修复工作不成体系、修复不足或过度修复等问题<sup>[10-11]</sup>。

为了进一步探讨已完成生态修复工程的实际

效果,廖迎娣等<sup>[12]</sup>进行了相关研究,构建了由植物覆盖度、水土保持度、原生植物恢复度、植物物种多样性4项主要指标及护岸形式多样性、岸线曲折度2项附加指标组成的江苏长江岸线生态修复评价指标体系,但尚未将该体系应用于实际修复工程中。本文在该体系的基础上,以南通五山段长江岸线为例,开展江苏长江岸线生态修复评价指标体系的应用研究,旨在验证该体系的科学性与实用性,为后续生态修复评价提供参考。

## 1 评价体系完善

江苏长江岸线生态修复评价指标体系及各项指标对应的计算公式<sup>[13-17]</sup>见表1,该体系目前未提出水土保持度中各项影响因子的具体计算公式及对应权重,且未确定体系中6项指标的权重,所以本文基于以上问题进一步完善该体系,并应用完善后的评价指标体系对江苏南通五山段长江岸线进行生态修复评价。

表1 江苏长江岸线生态修复评价指标体系

重要程度	指标名称	权重	赋分	计算公式
主要指标	植物覆盖度	$X_1$	$Y_{EVI}$	$EVI = \frac{G(\rho_{NIR} - \rho_{red})}{\rho_{NIR} + C_1\rho_{red} - C_2\rho_{blue} + L}$
	水土保持度	$X_2$	$Y_{SWII}$	$SWII = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i$
	原生植物恢复度	$X_3$	$Y_{NPRI}$	$NPRI = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i S_i}{S_0}$
附加指标	植物物种多样性	$X_4$	$Y_{PSDI}$	$R = M; H = -\sum_{i=0}^M P_i \ln P_i; E = \frac{H}{\ln M}; PSDI = k_1 R + k_2 E$
	护岸形式多样性	$X_5$	$Y_{RTI}$	$RTI = t$
	岸线曲折度	$X_6$	$Y_{STI}$	$STI = \frac{\sum_{i=1}^n L}{\sum_{i=1}^n L_s}$

注:4项主要指标权重之和为100%,2项附加指标权重之和为10%。

### 1.1 水土流失影响指数

#### 1.1.1 水土流失影响指数因子

采用水土流失影响指数(soil water impact index, SWII)定量评价水土保持度,其公式为:

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

式中:  $\alpha_i$  为第  $i$  个因子的权重,因子包括降雨侵

蚀力、土壤可蚀性、坡度和坡长、植物覆盖、水土保持措施、影响时限、典型岸段面积、影响区面积等,  $i$  的取值范围为整数 1~8(即  $n$  取 8);  $x_i$  为第  $i$  个因子数据归一化后的值,通过获取  $x_i$  的原始值  $x_{i0}$  后对其进行标准化处理,按式(2)计算。

$$x_i = \frac{x_{i0} - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (2)$$

1) 降雨侵蚀力( $x_1$ )。采用章文波等<sup>[18]</sup>修正的Richardson日降雨侵蚀力模型计算, 以日雨量估算半月侵蚀力:

$$x_{1i} = \alpha \sum_{j=1}^k P_j^\beta \quad (3)$$

式中:  $x_{1i}$  为第  $i$  个半月时段的侵蚀力值 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $k$  为该半月时段内的侵蚀性降雨日数 (d);  $P_j$  为该半月时段内第  $j$  天  $\geq 12 \text{ mm}$  的日雨量 (mm);  $\alpha$  和  $\beta$  为参数, 其计算公式如下:

$$\alpha = 21.586\beta^{-7.1981} \quad (4)$$

$$\beta = 0.8363 + \frac{18.144}{P_{d12}} + \frac{24.455}{P_{y12}} \quad (5)$$

式中:  $P_{d12}$  为日雨量  $\geq 12 \text{ mm}$  的日平均雨量 (mm);  $P_{y12}$  为日雨量  $\geq 12 \text{ mm}$  的年平均雨量 (mm)。

将1年内各半月的降雨侵蚀力汇总得到年降雨侵蚀力<sup>[19]</sup>, 即:

$$x_1 = \sum_{i=1}^{24} x_{1i} \quad (6)$$

2) 土壤可蚀性因子( $x_2$ , 一般用  $K$  表示)。受土壤理化性质、外营力和气候等多种因素影响, 国内外学者研究  $K$  值的方法包括土壤理化性质测定法、仪器测定法、小区测定法、数学模型和图解法等<sup>[20]</sup>。由于直接测定  $K$  值的要求较高, 一般采用土壤性质推算  $K$  值。本文利用 Williams 等<sup>[21]</sup>在 EPIC 模型中计算  $K$  值的公式, 用土壤有机碳和土壤颗粒组成资料估算  $K$  值。

$$x_2 = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[ -0.0256 S_d \left( 1 - \frac{S_i}{100} \right) \right] \right\} \cdot \left( \frac{S_i}{Cl + S_i} \right)^{0.3} \cdot \left[ 1 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{0.7\delta}{\delta + \exp(-5.51 + 22.9\delta)} \right] \quad (7)$$

$$\delta = 1 - \frac{S_d}{100} \quad (8)$$

式中:  $S_d$  为砂粒含量 (%);  $S_i$  为粉粒含量 (%);  $Cl$  为黏粒含量 (%);  $C$  为有机碳含量 (%).

3) 地形对土壤侵蚀的影响可用坡度和坡长因子( $x_3$ )。其计算公式为<sup>[22]</sup>:

$$x_3 = \left( \frac{\lambda}{72.6} \right)^m (65.41 \sin^2 \beta + 4.56 \sin \beta + 0.065) \quad (9)$$

式中:  $\lambda$  为坡长 (m);  $m$  为随坡度变化的量;  $\beta$  为坡度 ( $^\circ$ )。当  $\beta \geq 2.86^\circ$  时,  $m = 0.5$ ; 当  $1.72^\circ \leq \beta < 2.86^\circ$  时,  $m = 0.4$ ; 当  $0.57^\circ \leq \beta < 1.72^\circ$ ,  $m = 0.3$ ; 当  $\beta < 0.57^\circ$  时,  $m = 0.2$ 。

4) 植物覆盖因子( $x_4$ )。取植物覆盖度指标计算得到的 EVI (增强植被指数, enhanced vegetation index)。需要注意的是, EVI 值越大说明植物覆盖度越高, 为正向因子。

5) 水土保持措施因子( $x_5$ )。采取专门措施后的土壤流失量与顺坡种植时的土壤流失量之比<sup>[23]</sup>, 其值在 0~1。0 代表不会发生土壤侵蚀, 1 代表未采取任何水土保持措施。SWII 中除植物覆盖因子和水土保持措施因子外, 其他因子均为负向因子, 故将这两项取负以满足 SWII 值越小水土保持越好的要求。

6) 影响时限( $x_6$ )、研究岸段面积( $x_7$ )和影响区面积( $x_8$ ), 3 项因子参考实际工程资料确定。

### 1.1.2 水土流失影响指数各因子权重

采用层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 确定 SWII 中各项因子的权重。层次分析法是一种定性与定量相结合的方法, 通过分析各因子之间的关系建立对比矩阵, 将复杂问题分解为若干层次和若干因子, 在各因子之间进行比较和计算<sup>[24]</sup>。

1) 对各项因子的相对重要性进行两两对比, 参考表 2 以 1~9 的标度对对比结果进行量化。

表 2 因子相对重要性等级

对比结果	标度
2 个因素相比, 具有相同重要性	1
2 个因素相比, 前者比后者稍重要	3
2 个因素相比, 前者比后者明显重要	5
2 个因素相比, 前者比后者强烈重要	7
2 个因素相比, 前者比后者极端重要	9
上述相邻判断的中间值	2, 4, 6, 8
若因素 $i$ 与因素 $j$ 的重要性之比为 $a_{ij}$ , 那么因素 $j$ 与因素 $i$ 重要性之比为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$	$a_{ji} = 1/a_{ij}$

2) 由量化结果的标度构造出判断矩阵, 对判断矩阵进行单排序计算, 确定各项因子的权重。首先进行归一化处理, 设组中因子个数为  $n$ , 先计算矩阵每 1 行元素的乘积  $M_i$ , 再计算  $M_i$  的  $n$  次方

根  $\bar{W}_i$ ; 最后对向量  $\bar{W} = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n]^T$  归一化处理, 则  $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$  为所求的权重向量。

3) 判断矩阵的一致性检验。为了保证计算结果的科学性和可靠性, 利用式(10)和式(11)对判断矩阵进行一致性检验, CR 值小于 0.1 时说明判断矩阵具有良好的一致性, 否则应重新调整判断矩阵元素的取值。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (10)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (11)$$

式中:  $\lambda_{\max}$  为判断矩阵的最大特征根;  $n$  为判断矩阵阶数; RI 为与  $n$  对应的平均随机一致性取值, 见表 3。

采用层次分析法计算得 SWII 各项因子权重, 见表 4。

表 3 平均随机一致性指标 RI 的取值

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
平均随机一致性取值	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

表 4 水土流失影响因子权重

因子	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$
权重	0.142	0.118	0.199	0.142	0.129	0.109	0.102	0.059

## 1.2 生态效果等级

根据岸线所处功能区的实际情况, 确定各项

评价指标的最佳数值范围作为等级 I 的赋分区间, 后设定级差(各项指标级差可不同), 依次确定等级 II、III、IV 的赋分区间。采用层次分析法确定的评价体系中各项指标权重、研究区域各项指标具体数值及对应分值见表 5。

表 5 指标具体数值及对应分值

重要等级	指标名称	等级 I	等级 II	等级 III	等级 IV	权重
主要指标	EVI	>0.17	0.16~0.17	0.15~0.16	<0.15	0.328
	SWII	<0.10	0.10~0.20	0.20~0.30	>0.30	0.274
	NPRI	>0.40	0.30~0.40	0.20~0.30	<0.20	0.234
	PSDI	>2.20	2.10~2.20	2.00~2.10	<2.00	0.164
附加指标	RTI	≥3	2	1	0	0.050
	STI	1.3~1.4	1.2~1.3, 1.4~1.5	1.1~1.2	1.0~1.1, >1.5	0.050
赋分		100	75	50	25	

生态指数(ecological index, EI)计算公式为:

$$EI = X_1 Y_{EVI} + X_2 Y_{SWII} + X_3 Y_{NPRI} + X_4 Y_{PSDI} + X_5 Y_{RTI} + X_6 Y_{STI} \quad (12)$$

式中:  $Y_{EVI}$ 、 $Y_{SWII}$ 、 $Y_{NPRI}$ 、 $Y_{PSDI}$ 、 $Y_{RTI}$  和  $Y_{STI}$  分别为 6 项指标对应的赋分;  $X_1 \sim X_6$  分别为 6 项指标对应的权重。

采用式(12)分别计算生态修复前后的生态指数(EI), 并根据 EI 值的大小对生态效果进行等级评定, 等级评定结果体现岸线生态修复效果好坏。EI 值越大则生态效果越好, 见表 6。

表 6 生态效果等级

等级	优秀	良好	一般	较差
生态指数 EI	95~110	80~95	65~80	<65

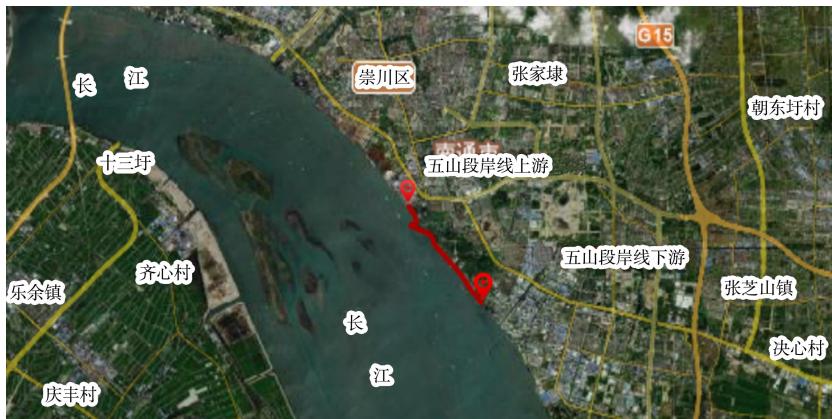
1 年内生态效果达到良好等级(或以上)即认为达到修复要求; 若修复工程有明确修复效果要求, 则以该要求为准。

## 2 评价体系应用

### 2.1 研究区域概况

江苏省南通市长江岸线自如靖界起, 下至长江北支入海口<sup>[25]</sup>。五山段长江岸线(图 1)位于南通市崇川区, 地理坐标为北纬  $31^{\circ}55'36'' \sim 31^{\circ}57'48''$ 、东经  $120^{\circ}51'51'' \sim 120^{\circ}53'50''$ , 位于长江北岸。五山地区属亚热带季风气候区, 气候温和、四季分明、雨水充沛, 年平均气温  $15^{\circ}\text{C}$  左右, 年平均降水量  $1000 \sim 1100 \text{ mm}$ <sup>[26]</sup>。土壤为地带性的黄棕壤。

若生态修复工程无特殊要求时, 工程竣工后



注: 基于 Local Space Viewer 提供的天地图。

图1 研究区域

## 2.2 数据来源与处理

### 2.2.1 遥感数据

遥感数据来源于 Level-1 and Atmosphere Archive and Distribution System Distributed Active Archive Center (LAADS DAAC) 网站下载的 MOD13Q1 产品, 数据的空间分辨率为 250 m, 为 16 d 的合成产品, 时间序列为 2018—2020 年。通过 MODIS Reprojection Tool 工具将产品中的 EVI 数据转换成 WGS1984 的投影, 并提取出 EVI 波段影像; 之后采取 ArcGIS 处理, 首先利用 Raster Calculator (栅格计算器) 中的 SetNull 函数去除影像中的无效值, 再对 EVI 影像进行典型岸段矢量边界的掩膜提取, 最后得到典型岸段的 EVI 遥感影像<sup>[27]</sup>。

### 2.2.2 其他数据

雨量数据来自南通市气象局网站 (<http://js.cma.gov.cn/dsjwz/nts/>), 土壤类型、植物种类等数据来源于南通狼山旅游度假区管理一处。

## 2.3 结果与讨论

### 2.3.1 植物覆盖度

提取五山段岸线 MODIS 数据, 处理后得到 2018—2020 年的 EVI 值分别为 0.157、0.173 和 0.174。2019 年 EVI 值比 2018 年提高了 10.19%, 2020 年比 2019 年提高了 0.58%、比 2018 年提高了 10.83%, 说明 2018—2020 年, 研究区域(即修复区域)整体植物覆盖度呈上升趋势。

### 2.3.2 水土保持度

1) 从南通市气象局网站得到 2018—2020 年每

月详细的降雨情况, 利用式(3)~(6)计算得到年降雨侵蚀力, 通过式(2)对结果进行标准化处理后, 2018—2020 年  $x_1$  分别为 0.408、0.406 和 0.686。

2) 研究区域土壤类型主要为黄棕壤和石灰岩土, 其  $K$  值( $x_2$ )分别为 0.362 和 0.384<sup>[28]</sup>。

3) 利用研究区的地形图数据, 借助 Local Space Viewer 软件进行地形特征分析, 提取坡度、坡长数据。计算得 2018—2020 年修复区域同一位置的年际坡度坡长变化很小, 利用式(9)计算得  $x_3$  约为 0.162。

4) 植物覆盖因子采用 EVI 值, 即 2018—2020 年的  $x_4$  分别为 0.157、0.173 和 0.174。

5) 结合实地考察资料对研究区域内的不同土地利用类型赋值, 见表 7。根据不同土地利用类型的  $P$  值和其对应的面积, 对水土保持措施因子进行归一化处理后得到 2018 年  $x_5$  为 0.342、2019 和 2020 年均为 0.769。

表 7 不同土地类型的  $P$  值

土地类型	水域	硬质道路	林地	草地	沼泽
$P$	0	0	1	1	1

6) 影响时限、研究岸段面积和影响区面积 3 项因子均参照水利工程合理的最值范围<sup>[29]</sup>进行标准化处理, 计算得 2018—2020 年的  $x_6$  分别为 0.667、0.333 和 0,  $x_7$  为 0.226,  $x_8$  为 0.024。

7) 首先将 SWII 的各因子进行计算并标准化处理, 再代入式(1)计算得 2018—2020 年的 SWII 值, 见表 8。

表 8 水土流失影响因子标准化处理结果及 SWII 值

年份	降雨侵蚀力	土壤可蚀性	坡度、坡长	植物覆盖	水土保持措施	影响时限	岸段面积	影响区面积	SWII 值
2018	0.408	0.746	0.162	-0.157	-0.342	0.667	0.226	0.024	0.217
2019	0.406	0.746	0.162	-0.173	-0.769	0.333	0.226	0.024	0.122
2020	0.686	0.746	0.162	-0.174	-0.769	0	0.226	0.024	0.119
权重	0.12	0.14	0.2	0.14	0.13	0.11	0.10	0.06	-

由计算结果可知, 2018—2020 年 SWII 值逐年减小。2019 年比 2018 年减小了 43.78%, 2020 年比 2019 年减小了 2.46%、比 2018 年减小了 45.16%。SWII 值减小的趋势表明生态修复工程实施后起到了保持水土的效果。

### 2.3.3 原生植物恢复度

通过实地考察、走访、查阅现有资料等, 形成研究区域的原生植物名录, 经过筛选后确定用于修复的原生植物类型<sup>[30]</sup>。研究区域原生植物名录中, 乔木类包括枫杨、黄连木、构树、柘树、朴树、榔榆, 灌木类包括构树、柘树、竹叶椒, 草本类包括渐尖毛蕨、苎麻、威灵仙、井栏边草、海金沙、狗尾草、葎草等。

修复区域原生植物恢复指数(native plant remediation index, NPRI)采用表 1 中对应的计算公式计算并对结果进行标准化后得 2018—2020 年的 NPRI 分别为 0.185、0.335 和 0.485。NPRI 逐年增大, 即修复区域内原生植物的覆盖面积越来越大, 说明生态修复工程实施后原生植物恢复较快。

### 2.3.4 植物种多样性

基于对修复区域内植被类型分布、地形地貌等因素的考虑, 在合适区域设置了 2 个样地、8 个样方, 每个样方面积为 100 m<sup>2</sup>。通过调查确定 2018—2020 年修复区域内的植物名录。据统计, 修复区域内乔木物种共 12~15 种、灌木物种共 13~15 种、草本物种共 14 种。

计算得 2018—2020 年植物物种多样性指数

(plant species diversity index, PSDI) 分别为 2.183、2.221 和 2.267。PSDI 的增长趋势说明随着生态修复工程的推进, 修复区域内植物物种丰富度、均匀度都在增加, 有利于恢复区域原本生态系统面貌, 促使生态修复向自然修复过渡。

五山段岸线原有植物种类较多, 且生态修复提倡使用原生植物, 故 PSDI 虽然逐年增大, 但增加的幅度较小, 如 2020 年相对于 2018 年仅增大了 3.85%。

### 2.3.5 护岸形式多样性

实地考察修复区域、查阅修复工程相关资料等发现, 在保证河势稳定和防洪安全的前提下, 该生态修复工程设置了多种生态护岸。建设初期(2018 年)仅设置了块石和植被护岸, 2020 年建设完成后生态护岸形式包括块石和植被护岸、生态袋护岸、自嵌式植生护岸、箱式绿化挡墙 4 类。护岸形式多样且具生态效应。

### 2.3.6 岸线曲折度

因修复区域较小, 本文采用两点之间折线距离与直线距离的比值计算岸线曲折度。利用 Google Earth 获取 2018—2020 年间岸线起始点间的直线与折线距离, 计算得 2018 年岸线曲折度为 1.165, 2019 年和 2020 年岸线曲折度基本不变, 为 1.185。相较于 2018 年, 2019 和 2020 两年岸线曲折度略有增加, 但变化幅度仅为 1.72%, 即岸线形态变化不大。评价体系中 6 项指标及生态指数(EI)的计算结果见表 9。

表 9 指标计算结果及得分

年份	内容	EVI	SWII	NPRI	PSDI	RTI	STI	EI
2018	结果	0.157	0.217	0.185	2.183	1	1.165	53.00
	$Y_i$	50	50	25	75	50	50	
2019	结果	0.173	0.122	0.335	2.221	4	1.185	94.75
	$Y_i$	100	75	75	100	100	50	
2020	结果	0.174	0.119	0.485	2.267	4	1.185	100.75
	$Y_i$	100	75	100	100	100	50	

利用式(12)计算得2018—2020年EI值分别为53.00、94.75和100.75。EI值逐年增加,与前一年EI值相比较,2019年增幅较大,增长了78.77%;2020年相较于2019年增长了6.33%,较2018年增长了90.09%。参照生态效果等级(表6)可知,由于2018年是岸线生态修复工程建设初期,其生态效果较差;2019年,生态修复工程大面积实施,该年生态效果相较于2018年有了很大提升,生态效果良好;2020年下半年,修复工程完工,生态效果等级达到优秀。

随着生态修复工程的推进,生态效果指数逐渐增大,说明生态修复效果需要一定时间才能提升到更好的状态,这与工程建设周期、植物种植进度、植物生长存活状态等密不可分。

### 3 结论

1)以江苏南通五山段长江岸线为例,开展江苏长江岸线生态修复评价指标体系的应用研究。进一步细化了水土保持度指标中各项影响因子的计算方法,采用层次分析法分别计算了水土保持度指标中各项影响因子和评价体系中各项指标的权重,同时确定了各项指标在4个等级的取值范围及不同生态指数对应的生态效果等级,并明确了开展评价的时间节点。

2)研究结果表明:2018—2020年,使用评价体系计算得到的生态指数逐年增大,其值分别为53.00、94.75和100.75,最大增长率为90.09%,生态效果由较差变为优秀;在生态修复工程建设初期,生态效果较差,随着修复工程的推进,生态效果逐步提升。在已实施生态修复的岸线应用该评价体系得到的生态效果评价与该岸线实际工程进度、生态变化情况相符,验证了江苏长江岸线生态修复评价指标体系的科学性与适用性,可推广应用到江苏其他岸线生态修复评价。

### 参考文献:

- 陈诚,甄云鹏.江苏省长江岸线资源利用变化及合理性分析[J].自然资源学报,2014,29(4):633-642.
- 周思悦,何金廖,黄贤金.江苏长江内河港口群竞争格

局与一体化发展研究[J].长江流域资源与环境,2018,27(3):493-502.

- 段学军,王晓龙,徐昔保,等.长江岸线生态保护的重大问题及对策建议[J].长江流域资源与环境,2019,28(11):2641-2648.
- 邹辉,段学军,陈维肖.长江自然岸线分类划定、空间分布及保护状况研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(11):2649-2656.
- 师傅颖,王智源,刘俊杰,等.长江江苏段饮用水源地3种雌激素污染特征[J].环境科学学报,2018,38(3):875-883.
- 李娣,牛志春,王霞,等.长江江苏段底栖动物群落结构与多样性分析[J].应用与环境生物学报,2015,21(1):96-100.
- 申斯春,苏瑞娜,蔡怀平.江苏长江大保护的“加减乘除”思维[J].江苏地方志,2020(4):32-35,39.
- 陈静茹.长江南通段岸线布局优化研究[J].珠江水运,2020(21):10-12.
- 陈欣.长江经济带绿色生态廊道如何打造—母亲河江苏段造林绿化工程势在必行[J].中国林业产业,2020(12):12-13.
- 林俊强,陈凯麒,曹晓红,等.河流生态修复的顶层设计思考[J].水利学报,2018,49(4):483-491.
- 吕忠梅,窦海阳.修复生态环境责任的实证解析[J].法学研究,2017,39(3):125-142.
- 廖迎娣,张欢,侯利军,等.江苏长江岸线生态修复评价指标体系研究[J].生态学报,2021,41(10):3910-3916.
- 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)[J].遥感技术与应用,2020,35(1):245-254.
- 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[J].中国水土保持,2010(12):4-6.
- 张峰,陈吉虎,姜德文,等.高速公路项目水土流失影响指数的应用研究[J].水土保持通报,2014,34(2):116-119.
- 刘璐,刘志成,杨瑞莹,等.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[J].生态学报,2020,40(24):9129-9137.
- 张云,张建丽,景昕蒂,等.近20a来我国海岸线曲折度变化分析[J].海洋环境科学,2015,34(1):76-80.
- 章文波,谢云,刘宝元.利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J].地理科学,2002,22(6):705-711.