

doi:10.3969/j.issn.1674-3636.2022.04.009

江苏响水三圩港海岸带修复效果评价

梁飞刚^{1,2}, 闫玉茹^{1,2}, 张刚^{1,2}, 江雯¹

(1. 地球化学勘查与海洋地质调查研究院, 江苏 南京 210007;

2. 自然资源部滨海盐沼湿地生态与资源重点实验室, 江苏 南京 210007)

摘要:基于生态系统服务功能价值,从供给、调节、文化和支持服务4个方面,选择水质净化、植物供给、气候调节、固碳、抗风消浪、生物多样性维持、休闲观光和科研教育等9个指标建立评价体系,并以江苏响水三圩港附近实施的海岸带生态修复工程为例,对该工程的修复成效进行评估。结果表明:工程实施效果较理想,修复后的湿地总价值为112.27万元/年,较修复前的总价值提升了68%。说明生态修复工程实施后,三圩港修复岸段的生态系统服务价值得到了显著提升,大气调节、休闲观光、消浪固滩为主要价值增量。该方法为类似工程项目修复成效评价提供了参照。

关键词:盐沼湿地;海岸带生态修复;生态系统服务功能;效果评价;响水三圩港;江苏盐城

中图分类号:P753 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-3636(2022)04-0405-06

0 引言

海岸带生态类型多样,为人类提供了丰富多样的服务功能(Costanza et al., 1997)。近年来,江苏陆续实施了一批以恢复滨海盐沼湿地生态功能为目标的海岸带修复工程,但由于缺乏完整的实施效果评价体系与技术标准,相关工程很少进行修复效果的评价工作,难以定量评价工程的修复效果。以江苏盐城响水三圩港附近的海岸线和滨海湿地修复工程为例,建立了一套基于生态系统服务功能的生态修复效果评价指标体系,基于工程前后的湿地调查数据,评估生态系统服务价值,评价工程的生态修复效果,为其他海岸带生态修复工程提供借鉴。

1 研究区区域概况

海岸带生态修复工程位于响水三圩港附近滩涂,盐城湿地珍禽国家级自然保护区北实验区。研究区属南黄海西部地区,是由中、新生代发展起来的

断陷盆地,区内基底为太古—元古界坚硬变质岩系,基岩埋深>120 m。第四纪以来,云台山以南地区发生振荡性沉降,堆积了数十至上百米第四纪沉积物,为区内平原海岸的发育奠定了基础。

研究区海岸类型为粉砂淤泥质海岸,主要环境地质问题为海岸侵蚀。目前该区域已发展成江苏典型的侵蚀型岸段之一,受泥沙补给、人类活动、海岸工程等共同影响,海岸侵蚀范围不断南移,侵蚀强度不断增大,盐沼湿地生态结构和生态系统功能严重退化,主要表现为湿地面积持续减少,湿地植被类型单一,生产力、固碳量不断减小,生物群落结构单一,湿地景观破碎,生态系统的自我恢复能力受损,亟需适度人工干预。2019年开始实施海岸带生态修复工程,针对江苏典型的侵蚀型退化滨海湿地,开展了1 km海岸线整治及6.50 hm²的滨海盐沼湿地修复工作,采取了微地形整治、基底改良、生态化海堤建设、生境岛构建、本地植物引种等一系列措施,使用碱蓬、柽柳与互花米草构建了自然演替的生态系统,修复受损滩面,提高光滩植被的覆盖度,恢复了海岸带潮滩盐沼湿地景观。

收稿日期:2022-04-06;修回日期:2022-05-30;编辑:侯鹏飞

基金项目:江苏省地质勘查专项资金项目“盐城典型退化滨海湿地及地质环境修复示范”(苏财资环[2019]14号-22),江苏省自然资源发展专项资金(海洋科技创新)项目“江苏海岸带整治与修复关键技术研究”(JSZRHYKJ202010),江苏省有色金属华东地质勘查局基础研究专项资金项目“江苏典型侵蚀型海岸生态修复的效果评价”(HDYS-KY00-04)

作者简介:梁飞刚(1986—),男,工程师,硕士,主要从事海洋地质、生态修复、海洋生态环境监测与评价工作,E-mail:1227345708@qq.com

2 材料与方法

2.1 数据来源

数据来源于地方统计年鉴、政府官方网站发布的数据报表、实地调查监测及公开发表成果。

2.2 评估体系

根据湿地生态系统服务功能,参考 Costanza 等(1997)的研究成果,结合修复工程所在地盐沼湿地的生态特点,选择了9项代表性生态服务指标建立生态修复效果评价指标体系,对响水三圩港海岸带生态修复工程实施前后的湿地生态系统服务进行价值评估(表1)。

表1 湿地生态系统服务功能修复价值评估体系
Table 1 Restoration value evaluation system of wetland ecosystem services

生态系统服务	评价指标	计算指标	评价方法
供给服务	植物供给	芦苇、碱蓬价值	市场价值法
	水质净化	水质净化	污染防治成本法
	洪水调节	调节洪水	影子工程法
调节服务	大气调节	植物固碳释氧、土壤固碳价值	造林成本与碳税法
	气候调节	调节气温	影子工程法
	消浪固滩	消浪固滩、抵御风暴潮	替代价值法
支持服务	生物多样性维持	鸟类保育与栖息地功能价值	文献参考法
文化服务	休闲观光	旅游价值	旅行费用法
	科研教育	科研	市场价值法

3 结果与分析

3.1 供给服务价值

修复区属于滨海盐沼湿地,供给服务主要体现在碱蓬、芦苇等植物的供应上(何冬梅等,2016)。修复工程实施后,湿地内种植了一定面积的碱蓬和芦苇,春季可采收碱蓬用作食物,秋季可收割芦苇,产生经济价值。计算公式:

$$V_1 = \sum (S_i Y_i P_i) \quad (1)$$

式(1)中: V_1 为供给服务价值,元/a; S_i 为第*i*类物质的面积, m^2 ; Y_i 为第*i*类物质的生物量, kg/m^2 ; P_i 为第*i*类物质的市场价,元/kg。

经调查,研究区碱蓬面积约为1.79万 m^2 ,地上生物量取0.263 kg/m^2 (彭修强等,2021),新鲜碱蓬市场交易价格为6.50元/kg。采用市场价值法,估算碱蓬产品供给价值约为3.06万元/a。

芦苇面积约为2000 m^2 ,地上生物量取1.234 kg/m^2 (彭修强等,2021),芦材市场交易价格为0.41元/kg(许振等,2014)。采用市场价值法,估算芦苇产品供给价值约为0.10万元/a。

因此,供给服务价值为3.16万元/a。

3.2 调节服务价值

3.2.1 水质净化价值 潮滩湿地可以沉淀并排除地表径流及工农业废水和城市生活污水中的营养物质N、P,从而净化水质(顾蓉等,2014)。采用污染防治成本法计算水质净化价值(何冬梅等,2016)。计算公式:

$$V_2 = S_2 P_2 \quad (2)$$

式(2)中: V_2 为湿地的水质净化功能价值,元/a; S_2 为湿地接纳的污水量,t/a; P_2 为单位污水处理成本,元/t。

2020年盐城地区的废水排放量约为3.267亿t,污水处理企业污水处理量为1099万 m^3 ,约1099万t(盐城市统计局,2021),盐城沿海滩涂湿地面积为36.86万 hm^2 (何冬梅等,2016),近岸二类水体达标率为52.9%(江苏省生态环境厅,2021),近岸海域滩涂是水污染物的重要接纳水体(王磊等,2016),由此近似计算得到修复区盐沼湿地净化污水总量为5568t/a。2020年盐城污水处理费用为1.20元/t,修复湿地净化水质功能价值为0.67万元/a。

3.2.2 调节洪水价值 滩涂湿地的水文物理性质特殊,其水文调节功能具有与水库类似的洪水调节作用,成为天然蓄水系统,可以削减洪峰,均化洪水,对河川径流起着重要的调节作用。研究区滩涂盐沼湿地位于三圩港口,是当地重要的泄洪通道。采用影子工程法估算调节洪水价值,计算公式:

$$V_3 = M_3 \sum (S_i D_i) \cdot P_3 \times 10^{-4} \quad (3)$$

式(3)中: V_3 为调节洪水价值,万元/a; M_3 为湿地蓄水量, m^3 ; S_i 为第*i*类湿地类型面积, m^2 ; D_i 为第*i*类湿地洪水期平均淹没深度,m; P_3 为水库蓄水成本,元/ m^3 。

参考李健娜(2006)的研究,研究区滩涂湿地的平均淹没深度设为 1 m,推算出修复湿地的总蓄水量为 16 万 m³,水库蓄水成本取 0.67 元/m³(欧阳志云等,2004;何冬梅等,2016),得出研究区滩涂湿地的洪峰期调蓄水量价值为 10.70 万元/a。

3.2.3 大气调节价值 滨海湿地的碳汇功能强大,是降低大气 CO₂浓度、减缓全球气候变化的重要途径(Bonan et al.,2008,唐剑武等,2018),尤其是盐沼湿地,因其很高的净初级生产力,成为碳封存效率较高的生态系统之一(周晨昊等,2016)。研究区盐沼湿地大气调节价值主要是光滩沉积物固碳以及本土优势植物芦苇和碱蓬植被的固碳释氧价值。大气调节价值计算公式:

$$V_4 = [R_s S_4 \times 10^{-6} + 1.63 \times 10^{-3} \times \sum (S_i G_i)] \cdot P_1 + 1.2 \times \sum (S_i G_i) \cdot P_2 - E_{43} \times 10^{-9} \times \sum (S_i h_i) \quad (4)$$

式(4)中:V₄为大气调节价值,万元/a;R_s为沉积物的碳埋藏速率,g·C/(m²·a);S₄为光滩面积,m²;S_i为第i种植被类型的面积,m²;G_i为第i种植被的生物量,kg/m²;P₁为固定CO₂的单价,元/(t·a);P₂为工业制氧价格,元/(t·a);h_i为第i种植被的甲烷排放通量,mg/(m²·h);E₄₃为甲烷的散放值,万元/t。

研究区盐沼湿地沉积物的碳埋藏速率取 168 g·C/(m²·a)(王法明等,2021;Wang et al.,2021),光滩面积为 17 810 m²,计算碳埋藏量为 2.99 t/a。

根据光合作用公式,植物每生产 1 kg 干物质,可吸收固定 CO₂ 1.63 kg,同时释放出 O₂ 1.20 kg。据此计算出研究区滩涂湿地生态系统固碳、释氧价值(表 2)。

表 2 研究区湿地固碳、释氧总价值
Table 2 Total value of carbon sequestration and oxygen release of the study area

植被类型	芦苇	互花米草	碱蓬	光滩	合计
面积/m ²	2 000	29 100	16 090	17 810	65 000
生物量/(kg/m ²)	2.412	6.578	0.402		
产量/(t/a)	4.824	191.420	6.468		
固碳能力/(t/a)	7.86	312.01	10.54	2.99	333.41
释氧能力/(t/a)	5.79	229.70	7.76		243.25
价值/(万元/a)	0.74	29.41	0.99	0.20	31.34

其中,取中国造林成本法 260.9 元/t 和瑞典碳税法 150 美元/t(美元汇率按 1:6.9)的平均值,即 648 元/t为固碳的单位价格;取我国工业制氧价格 0.40 元/kg(顾蓉等,2014)为释氧的单位价格。计算出固碳、释氧总价值为 31.34 万元/a。

仅考虑芦苇和互花米草群落的温室气体(甲烷)排放因素,两者的年均排放通量分别取 4.98、11.00 mg/(m²·h)(全川等,2009)。根据 2 种植被的生长面积,得出研究区盐沼植被甲烷排放总量为 2.896 t/a,甲烷的散放值取 0.11 美元/kg(郑伟等,2012)(美元兑人民币汇率按 1:6.9),计算出甲烷的排放损失为 0.22 万元/a。

以上 3 项计算结果可得,研究区生态修复后,滩涂湿地的大气调节功能价值总额为 31.12 万元/a。

3.2.4 气候调节价值 夏天,盐沼植被通过拦截和吸收太阳辐射,起降温作用;冬天,植物的覆盖能减缓热量散失,起保温作用(宁潇等,2017)。响水三圩港海岸带生态修复工程在堤内种植了乔木和灌木,在堤外种植了芦苇、碱蓬,在生境岛种植了乔木怪柳,一定程度上能改善修复湿地的小气候。气候调节价值计算公式:

$$V_5 = 3.6c\rho PSH(Q_s D_s + Q_w D_w) \times 10^{-6} \quad (5)$$

式(5)中:V₅为气候调节价值,万元/a;c为空气比热,1.03×10³ J/(kg·°C);ρ为空气密度,1.29 kg/m³;P为当地电价,元/(kW·h),1 kW·h = 3.6×10⁶ J;S为湿地面积,m²;H为湿地调节气温的平均高度,m;Q_s为湿地夏季日平均降温度数,°C;D_s为湿地夏季降温天数;Q_w为冬季日平均升温度数,°C;D_w为冬季升温天数。

结合当地气象部门及项目实地观测数据,响水历年夏冬两季平均气温分别为 25.7、5.8 °C,修复区域 2020 年夏冬两季平均气温分别为 24.2、6.0 °C,因此,湿地夏季平均降温 1.5 °C,冬天升温 0.2 °C。湿地夏季的降温天数计 70 天,冬季升温天数计 60 天,当地居民电费标准为 0.528 元/(kW·h)。据此计算出湿地的气候调节价值为 0.94 万元/a。

3.2.5 消浪固滩 修复区为江苏典型的侵蚀型粉砂淤泥质海岸,其盐沼湿地具有促淤固滩、消浪减灾等作用,是受损海岸带免遭进一步侵蚀的生态屏障,具有重要的生态价值。采用替代价值法计算消浪固滩价值,公式为:

$$V_6 = SP \quad (6)$$

式(6)中: V_6 为消浪固滩价值,万元/a; S 为湿地面积, hm^2 ; P 为湿地的单位面积的消浪固滩价值,元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

滩涂湿地抵御沿海风暴潮的价值为 9 140 ~ 30 760 美元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ (Ledoux et al., 2002), 因响水沿海地区风暴潮等海洋灾害发生的频率较低, 取最低值 9 140 美元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ (汇率按 1:6.9)。修复后滨地植被覆盖率大幅上升, 有盐沼植被覆盖的湿地面积约为 4.7 hm^2 。由此计算出修复区盐沼湿地消浪固碳功能的价值约为 29.64 万元/a。

3.3 生物多样性维持

修复区位于江苏盐城国家级珍禽自然保护区实验区, 处在东亚澳大利候鸟迁徙通道中, 是候鸟尤其是鸬鹚类重要的繁殖、停歇和越冬地。生物多样性维持功能价值的计算公式:

$$V_7 = S_7 P_7 \quad (7)$$

式(7)中: V_7 为生物多样性维持价值, 万元/a; S_7 为盐沼湿地的面积, hm^2 ; P_7 为单位面积生物多样性维护价值, 元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

参考 Costanza 等 (1997) 对全球湿地生态系统服务功能的研究, 单位面积生物多样性维持功能价值取 304 美元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ (汇率按 1:6.9), 即 2 097 元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 湿地面积为 6.50 hm^2 , 计算生物多样性维持服务价值为 1.36 万元/a。

3.4 文化服务

3.4.1 休闲观光 修复区位于响水陈家港镇滨海湿地, 气候适宜, 动植物资源丰富, 是当地不可多得的滨海休闲观光目的地。海岸带修复工程实施后, 给予公众近海、亲海的空间, 成为居民观光休闲地, 修复区无门票费用收入, 其休闲观光价值体现在时间成本、吃住行成本及在旅游过程中产生的其他费用成本, 如观鸟、摄影、滩涂游玩等。休闲观光价值计算公式:

$$V_8 = P_8 N_8 \times 10^{-4} \quad (8)$$

式(8)中: V_8 为休闲观光价值, 万元/a; P_8 为人均旅行费用, 元/人; N_8 为游客人数, 人/a。

修复区位于当地重点规划的最美乡村公路边, 附近的滨海栈道项目为主要的旅游目的地, 带动修复区的游览, 旅游人次与客源距离成负相关。游客中, 70%是当地人群, 休闲观光价格约为 20 元/人; 25%为主城区人群, 休闲观光价格约为 50 元/人; 5%为外地游客, 休闲观光价格约为 100 元/人。按

每天 20 人次参观频率, 年旅客人数约为 0.6 万人次。采用旅行费用法, 估算修复区提供休闲观光的价值约为 18.90 万元/a。

3.4.2 科研教育 修复区配建的景观长廊可作为科普场所定期开展海洋科普活动, 增强大众的海洋意识。科研教育价值计算公式:

$$V_9 = (E_9 + R_9) \times 10^{-4} \quad (9)$$

式(9)中: V_9 为科研教育价值, 万元/a; E_9 为科普教育价值, 元/a; R_9 为科学研究价值, 元/a。

根据 Costanza 等 (1997) 的研究, 湿地的科普教育单位价值为 861 美元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ (汇率按 1:6.9), 湿地修复区面积为 6.50 hm^2 , 则修复区科普教育服务价值约为 3.86 万元/a。

作为江苏典型的侵蚀型退化湿地, 修复区可作为滨海湿地研究的试验基地, 目前, 有多个项目将研究区设置在该区, 研究内容包括湿地整治修复关键技术、盐沼湿地修复效果研究、滨海湿地碳汇等, 已有相关科研论文产出, 年论文产出量为 1 篇, 发表每篇论文投入的科研经费按 11.92 万元/a 计 (周文昌等, 2019)。

综上, 科研教育总价值为 15.78 万元/a。

3.5 生态系统服务价值的构成

通过对响水三圩港海岸带修复工程实施后的湿地生态系统服务功能价值评价, 得到修复滨海湿地的服务功能总价值为 112.27 万元/a (表 3)。

表 3 不同生态服务功能价值量
Table 3 Value of different ecological service functions

生态系统服务分类	评价指标	总价值/ (万元/a)	单位面积价值/ [万元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]	占比 /%
供给服务	植物供给	3.16	0.49	2.81
	水质净化	0.67	0.10	0.60
	调节洪水	10.70	1.65	9.53
调节服务	大气调节	31.12	4.79	27.72
	气候调节	0.94	0.14	0.84
	消浪固滩	29.64	4.56	26.40
支持服务	生物多样性维持	1.36	0.21	1.21
文化服务	休闲观光	18.90	2.91	16.83
	科研教育	15.78	2.43	14.06
生态系统服务价值总计		112.27	17.27	100.00

其中,大气调节服务的价值最大,为31.12万元/a,占总价值的27.72%;其次是消浪固滩和休闲观光价值,分别占总价值的26.40%、16.83%;其余湿地生态系统服务功能对总价值的贡献率由大到小依次为:科研教育(14.06%)、调节洪水(9.53%)、植物供给(2.81%)、生物多样性维持(1.21%)、气候调节(0.84%)、水质净化(0.60%)。从湿地生态系统服务功能价值的大小看,调节服务价值>文化服务价值>供给服务价值>支持服务价值。

3.6 生态修复效果

三圩港盐沼湿地位于江苏典型的侵蚀型岸段,修复前光滩面积占比>72.6%,滩面遭受侵蚀发生后退,生态系统结构和功能受损严重,生态服务功能价值较低。参考前人(吉丽娜等,2013;宁潇等,2016;王磊等,2016;吴威等,2020)对不同湿地生态服务单位面积价值的研究成果,实施生态修复工程前的单位价值取他们的平均值即10.31万元/(hm²·a)为计算依据,由此得出生态修复工程实施前的生态服务总价值为66.98万元/a。

根据评估结果,湿地修复工程实施后,生态服务功能总价值达112.27万元/a,较修复前提升了近68%,价值增量主要来源于大气调节、休闲观光、消浪固滩功能。从修复后湿地的生态系统服务价值分布来看,调节服务和文化服务价值占比最大,分别为65.1%、30.9%,表明生态修复效果主要体现在调节服务和休闲观光功能上,印证了海岸带修复项目的核心价值所在(韩爽等,2010;吴威等,2020)。

4 结 论

(1) 基于生态系统服务功能价值,建立了供给服务、调节服务、文化服务和支持服务等9个指标的海岸带生态修复工程效果评估体系,计算了生态修复工程前后滨海湿地的生态服务功能价值,为直观评价海岸带生态修复工程的实施效果提供了依据。

(2) 从评估总价值量看,实施修复工程后,响水三圩港湿地的生态系统服务价值显著提高,生态服务功能总价值达112.27万元/a,较修复前的价值总量提升了68%,修复效果明显。评价结果为该工程项目修复成效提供了依据,此方法也可作为评估当地类似的海岸带生态修复工程提供借鉴。

(3) 从单个指标来看,大气调节价值、消浪固滩

价值和休闲观光价值为占比最大的3个指标,分别为27.72%、26.40%、16.83%。表明修复区承载着区域气候调节器的功能,对修复区侵蚀岸段的修复起到了一定的作用。

上述结论是基于目前掌握的资料进行的生态系统服务功能价值评价与分析,对该生态工程的修复成效进一步的准确评估,还有待长期的监测与多方法、多手段的系统研究。

参考文献

- 顾蓉,高军,张松贺,等,2014. 滨海湿地类自然保护区的成本效益研究:以江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区为例[J]. 生态与农村环境学报,30(1):32-37.
- 韩爽,张华兵,2010. 盐城市沿海滩涂湿地生态服务价值研究[J]. 特区经济(11):54-55.
- 何冬梅,王磊,倪霞,等,2016. 江苏盐城沿海滩涂湿地生态系统服务价值评估[J]. 江苏林业科技,43(6):29-33.
- 吉丽娜,温艳萍,2013. 崇明东滩湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 中国农学通报,29(5):160-166.
- 江苏省生态环境厅,2020. 2020年度江苏省生态环境状况公报[R]. 南京:江苏省生态环境厅.
- 江苏省统计局,2020. 江苏统计年鉴(2019)[M]. 北京:中国统计出版社.
- 李健娜,2006. 杭州西溪湿地生态系统服务功能研究[D]. 重庆:西南大学.
- 宁潇,邵学新,胡咪咪,等,2016. 杭州湾国家湿地公园湿地生态系统服务价值评估[J]. 湿地科学,14(5):677-686.
- 宁潇,胡咪咪,邵学新,等,2017. 杭州湾南岸滨海湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 生态科学,36(4):166-176.
- 欧阳志云,赵同谦,王效科,等,2004. 水生态服务功能分析及其间接价值评价[J]. 生态学报,24(10):2091-2099.
- 彭修强,孙祝友,罗敏,2021. 江苏盐城盐沼生态系统碳储量调查与评估报告[R]. 南京:江苏省自然资源厅.
- 仝川,曾从盛,王维奇,等,2009. 闽江河口芦苇潮汐湿地甲烷通量及主要影响因子[J]. 环境科学学报,29(1):207-216.
- 唐剑武,叶属峰,陈雪初,等,2018. 海岸带蓝碳的科学概念、研究方法以及在生态恢复中的应用[J]. 中国科学:地球科学,48(6):661-670.
- 王磊,何冬梅,江浩,等,2016. 江苏滨海湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 生态科学,35(5):169-175.
- 吴威,李彩霞,陈雪初,等,2020. 基于生态系统服务的海岸带生态修复工程成效评估:以鸚鵡洲湿地为例[J]. 华东师范大学学报(自然科学版)(3):98-108.
- 王法明,唐剑武,叶思源,等,2021. 中国滨海湿地的蓝色碳汇

- 功能及碳中和对策[J]. 中国科学院院刊, 36(3): 241-251.
- 许振, 左平, 王俊杰, 等, 2014. 6个时期盐城滨海湿地植物碳储量变化[J]. 湿地科学, 12(6): 709-713.
- 盐城市生态环境局. 2020年全市生态环境统计报表[R]. 江苏盐城: 盐城市生态环境局.
- 盐城市统计局, 2020. 盐城统计年鉴(2019)[M]. 北京: 中国统计出版社.
- 盐城市统计局, 2021. 盐城统计年鉴(2021)[M]. 北京: 中国统计出版社.
- 郑伟, 石洪华, 徐宗军, 等, 2012. 滨海湿地生态系统服务及其价值评估: 以胶州湾为例[J]. 生态经济(学术版)(1): 179-182.
- 周晨昊, 毛覃愉, 徐晓, 等, 2016. 中国海岸带蓝碳生态系统碳汇潜力的初步分析[J]. 中国科学: 生命科学, 46(4): 475-486.
- 周文昌, 史玉虎, 潘磊, 等, 2019. 2017年武汉东湖湿地生态系统最终服务价值评估[J]. 湿地科学, 17(3): 318-323.
- Bonan G B, 2008. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests [J]. *Science*, 320(5882): 1444-1449.
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 387(6630): 253-260.
- Ledoux L, Turner R K, 2002. Valuing ocean and coastal resources: A review of practical examples and issues for further action [J]. *Ocean & Coastal Management*, 45: 583-616.
- McLeod E, Chmura G L, Bouillon S, et al., 2011. A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂ [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10): 552-560.
- Wang Faming, Sanders C J, Santos I R, et al., 2021. Global blue carbon accumulation in tidal wetlands increases with climate change [J]. *National Science Review*, 8(9): 140-150.

Evaluation of coastal zone restoration effect of Sanwei Port in Xiangshui, Jiangsu Province

Liang Feigang^{1,2}, Yan Yuru^{1,2}, Zhang Gang^{1,2}, Jiang Wen¹

- (1. Institute of Geochemical Exploration and Marine Geological Survey, Nanjing 210007, Jiangsu, China;
2. Key Laboratory of Coastal Salt Marsh Ecosystems and Resources, Ministry of Natural Resources, Nanjing 210007, Jiangsu, China)

Abstract: Based on the functional value of ecosystem services, this paper selected 9 indicators including water purification, plant supply, climate regulation, carbon sequestration, wind and wave resistance, biodiversity maintenance, leisure and sightseeing, scientific research and education from 4 aspects of supply, regulation, culture and support services to establish the evaluation system, and evaluated the restoration effectiveness of the coastal ecological restoration project implemented near Sanwei Port of Xiangshui in Yancheng, Jiangsu Province. The results show that the implementation effect of the restoration project is ideal, and the total value of the restored wetland is 1.1227 million yuan/year, which increases by 68% compared with the total value before restoration. In terms of total value, after the implementation of the ecological restoration project, the ecosystem service value of Sanwei Port restoration coastline has been significantly improved, with air conditioning, leisure and sightseeing, wave resistance and beach consolidation as the main value increment. This method could provide a reference for the evaluation of restoration effect of similar engineering projects.

Key words: salt marsh; coastal zone ecological restoration; ecosystem service; evaluation of effect; Sanwei Port, Xiangshui; Yancheng, Jiangsu