

# 滩涂围垦养殖的生态损益分析

## ——以江苏条子泥滩涂围垦养殖为例

王 静 徐 敏 张益民

(南京师范大学地理科学学院,江苏 南京 210046)

**[摘要]** 围垦养殖是滩涂开发的主要方式之一,并呈现出大规模工厂化的趋势。本文以江苏省条子泥围垦养殖为例,采用经济价值评估法和能值法,研究围垦工程实施前后的生态服务价值变化和生态损益。根据经济价值评估方法和能值法计算出的条子泥天然湿地的生态服务价值分别为  $1.28 \times 10^4$  元/公顷年和  $1.49 \times 10^4$  元/公顷年。条子泥滩涂的生态服务价值主要体现在食品提供和栖息地服务两个方面。围垦后总的生态服务价值较围垦前相差不大,主要由于围垦后养殖产量大幅增加,食品提供生态服务价值明显增加,而水质净化、气体调节和栖息地等其他生态服务价值损失较大。本文的评估结果为条子泥围垦规模比选和生态补偿提供了依据,分析方法可应用于合理评估围垦规模及由此造成的生态损益,确定生态补偿和建设措施等。

**[关键词]** 滩涂围垦,生态服务价值,生态损益,条子泥

**[中图分类号]** P748 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2012)02-0113-07

# Ecological Profit and Loss Analysis of Tidal Flat Reclamation

## ——Tidal Flat Reclamation of Tiaozini Sand as a Case Study

Wang Jing, Xu Min, Zhang Yimin

(School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** Reclamation and pond aquaculture is one of the main modes of tidal flat development, and showing a trend of large-scale factory aquaculture. The paper takes Tiaozini Sand reclamation in Jiangsu Province as an example, changes of the ecological service value and ecological profit and loss before and after reclamation are studied, by methods of economic evaluation and ecological energy. By economic evaluation method and emergy method calculation, the ecological service value of Tiaozini natural wetland is  $1.28 \times 10^4$  yuan/hm<sup>2</sup> · a and  $1.49 \times 10^4$  yuan/hm<sup>2</sup> · a calculated respectively. The ecological service value of Tiaozini Sand is mainly embodied in the aspects of food supply and habitat services. The total ecological service value has no great difference before and after reclamation, is mainly due to great increase in aquaculture production and food supply service value increases significantly after reclamation, while the water purification, gas regulation, habitat and other ecological services value decrease significantly. The evaluation result of the paper provides a basis for scale selection and ecological compensation of Tiaozini Sand reclamation. The methods of analysis could be applied in rationality assessment of reclamation scale and ecological profit and loss, and determination of ecological compensation and construction measures.

**Key words:** tidal flat reclamation, ecological service value, ecological profit and loss, Tiaozini Sand

江苏沿海滩涂开发历史悠久,建国以来的50年间(1950-1999年),江苏围垦了  $23.3 \times 10^4$  hm<sup>2</sup> 滩涂,形成了160余个垦区。滩涂围垦主要用于种植、养殖、盐业<sup>[1]</sup>。21世纪以来,随着社会经济的发展和土地需求量的激增,潮滩围垦面积、规模和强度有逐渐增大的趋势,开发利用方式发展到港口、临港工业、开发区、城市建设等工业用地和城市建设用地。2003~2008年,用于港口、工业、城镇建设的围填海面积共计  $1.2 \times$

收稿日期: 2012-03-22.

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目(200805082)、国家海洋局海域管理技术重点实验室基金项目。

通讯联系人: 徐 敏,教授,博士生导师,研究方向: 海洋资源环境与开发管理。E-mail: xumin0895@njnu.edu.cn

$10^4 \text{ hm}^2$ .

滩涂围垦必然造成滨海湿地自然属性的改变,也不可避免地对滨海湿地生态系统造成负面影响.江苏滩涂围垦主要的开发利用方向为养殖用围海和建设用填海,根据江苏沿海地区发展规划,至 2020 年江苏将围垦  $18 \times 10^4 \text{ hm}^2$  滩涂,其中 60% 作为农业用地.围垦养殖部分改变了海域自然属性,天然的滩涂湿地转变为人工湿地,仍有一定的生态系统服务功能,但是生态系统服务价值构成将发生变化.

对围垦养殖造成的滨海湿地生态损失目前主要集中在对生物量损失的计算.围海养殖除了造成滨海湿地生物量的损失外,还破坏滨海湿地生态系统为人类提供的其他服务功能,但围垦形成的人工湿地——养殖塘,也将产生新的生态服务价值.围垦养殖的生态损益是沿海围垦工程经济综合损益分析的组成部分,也是围垦开发决策的依据.

本文以江苏省条子泥围垦养殖工程为例,结合监测和收集的工程区社会、经济、环境和资源资料,采用经济价值评估法和能值法,分析计算了围垦工程导致的主要生态系统服务价值变化.

## 1 工程概况

条子泥沙洲位于江苏盐城东台市沿海中南部的近岸辐射沙洲,条子泥地处辐射沙洲中心,长期以来一直处于淤积环境,邻近岸滩不断淤高成陆,岸段淤涨速率在江苏省沿海地区属于较快地区之一.规划建设条子泥垦区位于江苏盐城东台市弶东垦区和梁南垦区以东的条子泥核心区滩涂,围垦范围北至西洋,东至东大港,南至条鱼港,西界为东台沿海中南部垦区外堤线,围垦总面积  $2.229 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,主要用于水产养殖,见图 1.

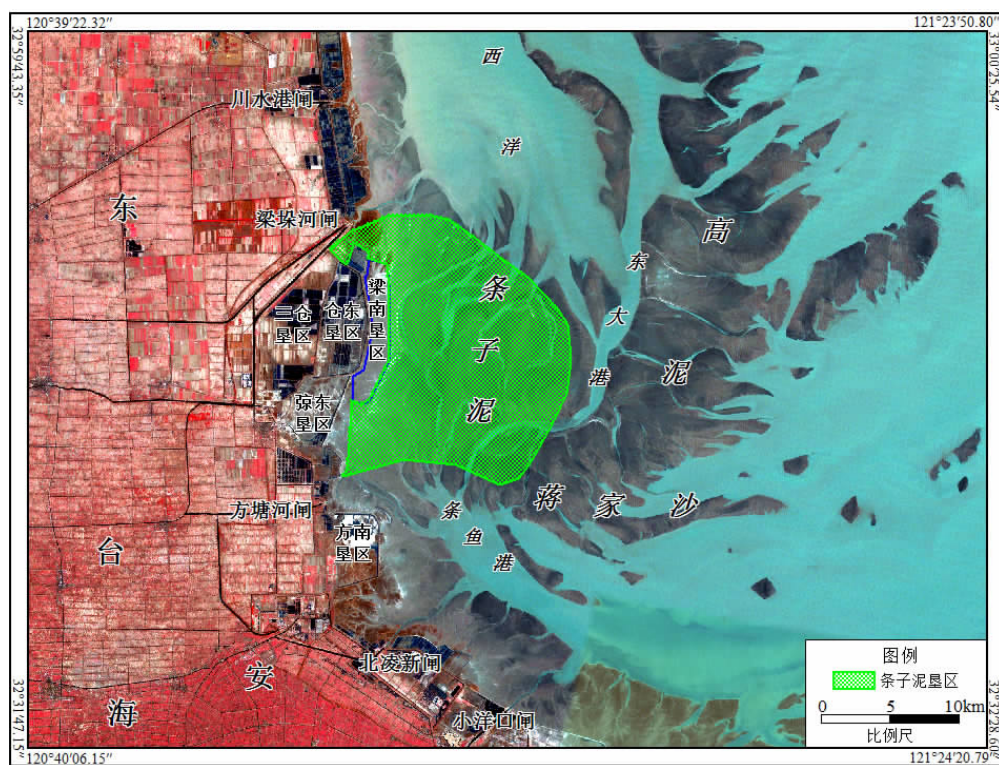


图 1 研究区地理位置图

Fig.1 The location of study area

## 2 研究方法

滨海湿地生态系统服务功能是指生态系统及其物种所提供的能够满足和维持人类生活需要的条件和过程.根据已有的生态系统服务功能价值研究成果<sup>[2-6]</sup>结合条子泥滩涂的特点,确定条子泥滩涂主要的生态服务功能为:① 食品提供,滩涂区生长生产的鱼、虾、蟹、贝、藻等海产品;② 气体调节服务,滩涂植被通过光合作用吸收  $\text{CO}_2$ 、释放  $\text{O}_2$  来保持大气稳定、减缓温室效应;③ 水质净化服务,过滤陆地径流和内陆带

出的有机物质和污染物,降解污染物、净化水体;④ 干扰调节服务,抵抗风暴潮、海浪冲击,保护堤岸;⑤ 栖息地服务,为许多海洋生物提供栖息、孵化、产卵和觅食的场所;⑥ 文化科研服务,条子泥滩涂具有美学、教育和科学研究价值。

滨海湿地生态系统服务价值的计算主要有经济价值评估法和能值分析法。

## 2.1 经济价值评估法

目前比较成熟的价值评估法是常规市场评价方法,即建立在费用-效益分析基础之上的经济模型,本文主要采用市场价值法、影子工程法、替代成本法等方法进行价值核算。

### (1) 食品提供

海产品是通过市场交易来实现的,其价值可以采用市场价格法进行计算。条子泥垦区占用海域为东台市海水养殖场所,主要进行贝类养殖。食品提供的计算公式为:

$$P_1 = S_1 \times \frac{F_s}{S_0} \quad (1)$$

其中  $P_1$  为食品提供服务价值;  $S_1$  为研究海域海水养殖面积;  $F_s$  为区域海水养殖业的增加值;  $S_0$  为区域海水养殖面积。  $F_s$ 、 $S_0$  值可从当地海洋渔业统计数据中获得。

### (2) 气体调节服务

气体调节服务价值并没有在市场上通过交易来体现,目前主要通过造林成本法来计算。根据光合作用方程式,植物每生产 1 g 干物质会吸收 1.63 g  $\text{CO}_2$ , 释放 1.19 g  $\text{O}_2$ 。气体调节服务价值的计算公式为:

$$P_2 = 1.19X \times F_{\text{O}_2} + 1.63X \times F_{\text{CO}_2} \quad (2)$$

其中  $P_2$  为气体调节服务的价值;  $X$  为滩涂植被干物质的量;  $F_{\text{O}_2}$  为氧气的价格;  $F_{\text{CO}_2}$  为固定  $\text{CO}_2$  的价格。

### (3) 水质净化服务

不同类型的滩涂湿地(如盐蒿、互花米草、淤泥光滩等)均对 N、P 营养物质有截留效应。水质净化服务价值采用替代成本法来计算,水质净化服务价值计算公式为:

$$P_3 = S_i L_{\text{Ni}} F_{\text{N}} + S_i L_{\text{Pi}} F_{\text{P}} \quad (3)$$

其中  $P_3$  为水质净化服务价值;  $S_i$  为第  $i$  类湿地的面积;  $L_{\text{Ni}}$ 、 $L_{\text{Pi}}$  分别为第  $i$  类湿地单位面积削减 N、P 的量;  $F_{\text{N}}$ 、 $F_{\text{P}}$  分别为除氮、除磷成本。

### (4) 干扰调节服务

滨海湿地及其植被作为一道天然屏障,可缓冲、减轻风暴潮、海浪等对近岸的冲击,削弱其对近岸工程设施的破坏作用,减少损失。干扰调节服务价值可采用影子工程法估算,利用研究岸段期间带滩涂所能消减的波浪,换算成采取工程措施消减这部分波浪所需的工程费用。干扰调节服务价值计算公式为:

$$P_4 = C/n \quad (4)$$

其中  $P_4$  为干扰调节服务价值;  $C$  为采取工程措施消减波浪所需的工程费用;  $n$  为计算年限,一般取 50 年。

### (5) 栖息地服务

栖息地服务价值更多的是体现在存在价值上,并不能在 market 交易中体现,目前栖息地服务价值计算主要通过支付意愿法、自然保护区用于物种保护的经费投入或成果参照法来实现。

### (6) 文化科研服务

文化科研服务价值目前主要利用科研经费投入或者调查人们的支付意愿来计算。

## 2.2 能值分析方法

能值(Emergy)理论和方法是美国著名生态学家、系统能量分析先驱 Odum 为首于 20 世纪 80 年代创立的<sup>[7-11]</sup>。能值的定义是:一种流动或储存的能量所包含的另一种类型能量的数量,即产品或劳务过程形成过程中直接或间接投入应用的一种有效能的总量,就是其所具有的能值。在实际的应用中,常以太阳能值衡量某一种能量的能值,任何流动或储存的能量所包含的太阳能的量,为该能量的太阳能值。能值转换率用来表示等级系统中不同能量类别的能量的品质。其定义为:产生一单位能量所需要的另一种类型能量的量,即单位某种能量或物质所含能值之量。实际应用中常使用太阳能值转换率,即单位某种能量所含太阳能值之量,单位为太阳能焦耳/焦耳(sej/J)。生态系统中的能量流动,从量多而能质低的等级向量少而能质高的等级流动与转换过程中,随着数量的逐步减少,能质逐步增加,能值转换率不断增加。一旦某种能

量类型的能值转换率知道了,可以用下式来计算其能值: 能值 = 能量(J) × 能值转换率(sej/J). 能值分析中非常关键的一步就是能值转换率的计算,许多学者在这方面做了很多研究,取得了大量成果<sup>[7-10]</sup>. 本文在生态系统的能值分析中,应用了已有研究成果中的能值转换率.

将生态系统中各种能量、物质、储存等转化为具有可比性的能值后,即可进行生态系统的能值分析,继而可通过能值/货币比率,把能值流与货币流统一起来进行分析评价. 能值-货币价值是指能值相当的货币价值,即将能值折算成市场货币时,能值相当多少货币,可以由生态系统的能值除以能值货币比率得到. 一国的能值货币比率等于该国全年的能值总量除以当年的国内生产总值(GDP).

### 3 围垦前后生态服务价值计算

#### 3.1 经济价值评估方法计算结果

##### (1) 食品提供

根据2009年东台市渔业统计报表,东台市单位面积滩涂海水养殖增加值为 $0.75 \times 10^4$ 元/hm<sup>2</sup>,条子泥垦区占用的海水养殖面积为 $1.3 \times 10^4$ hm<sup>2</sup>,则条子泥围垦前养殖产生的食品提供服务价值约 $97.5 \times 10^6$ 元/年. 根据2010年潮间带生态调查,条子泥垦区所在潮间带滩涂上优势种主要有异足索沙蚕、四角蛤蜊、青蛤,主要种类有托氏虫昌螺、文蛤、小头虫、巧言虫等. 其中异足索沙蚕平均生物量 $14.5$ g/m<sup>2</sup>,经济贝类四角蛤蜊平均生物量 $24.7$ g/m<sup>2</sup>,青蛤为 $17.0$ g/m<sup>2</sup>,文蛤为 $9.6$ g/m<sup>2</sup>. 沙蚕的市场平均价格为20元/kg,四角蛤蜊市场平均价格为8元/kg,青蛤市场平均价格为16元/kg,文蛤平均价格为12元/kg. 条子泥垦区占用潮间带滩涂面积为 $9\,290$ hm<sup>2</sup>(除养殖区面积外),条子泥围垦前潮间带滩涂天然的食品提供服务价值约 $81.27 \times 10^6$ 元/年. 因此条子泥围垦前潮滩湿地食品提供服务总价值约 $178.77 \times 10^6$ 元/年.

根据条子泥垦区养殖规划,围垦后淡水养殖区面积 $6\,887$ hm<sup>2</sup>,海水养殖区面积 $5\,780$ hm<sup>2</sup>. 根据2009年东台市渔业统计报表,单位面积池塘海水养殖增加值为 $0.95 \times 10^4$ 元/hm<sup>2</sup>,单位面积淡水池塘养殖增加值为 $4.08 \times 10^4$ 元/hm<sup>2</sup>. 养殖效益按东台2009年单位面积养殖增加值计算,则条子泥围垦养殖后的食品提供服务价值约 $335.9 \times 10^6$ 元/年.

##### (2) 气体调节服务

条子泥垦区现有植被以互花米草、碱蓬为主,面积分别为 $1\,593$ hm<sup>2</sup>、 $892$ hm<sup>2</sup>,单位面积互花米草、碱蓬干重分别为 $925$ g/m<sup>2</sup>、 $250$ g/m<sup>2</sup>,则滩涂植被的干物质量为 $1.7 \times 10^4$ t. 我国氧气的造林成本为352.93元/t,固定CO<sub>2</sub>的造林成本为273.3元/t<sup>[12]</sup>,条子泥围垦前的气体调节生态服务价值为 $14.71 \times 10^6$ 元/年.

条子泥垦区建成后,将在养殖塘周边进行植被恢复,估计植被恢复量为现有植被的一半,则条子泥滩涂围垦养殖后的气体调节服务价值为 $7.36 \times 10^6$ 元/年.

##### (3) 水质净化服务

条子泥垦区现有互花米草、碱蓬和淤泥光滩面积分别为 $1\,593$ hm<sup>2</sup>、 $892$ hm<sup>2</sup>、 $1.98 \times 10^4$ hm<sup>2</sup>. 各类湿地对N、P营养物质的截留效应引用现有的一些研究成果,欧维新等<sup>[13]</sup>对盐城潮滩湿地对N、P营养物质的截留效应进行了研究,互花米草、碱蓬和淤泥光滩对TN的截留效果分别为每年 $220.660$ kg/hm<sup>2</sup>、 $9.965$ kg/hm<sup>2</sup>和 $0.385$ kg/hm<sup>2</sup>,互花米草、碱蓬和淤泥光滩对TP的截留效果分别为每年 $36.754$ kg/hm<sup>2</sup>、 $0.470$ kg/hm<sup>2</sup>和 $0.042$ kg/hm<sup>2</sup>. 因此,条子泥围垦前全年可截留TN和TP的量分别是368.0t、59.8t. 江苏生活污水处理成本平均为1.1元/m<sup>3</sup>,污水处理去除N、P的浓度分别约为32mg/L、4mg/L,脱氮、除磷成本分别为 $3.4 \times 10^4$ 元/t、 $27.5 \times 10^4$ 元/t. 根据式3计算,条子泥围垦前现有生态系统的水质净化服务价值为 $28.96 \times 10^6$ 元/年.

条子泥垦区规划淡水养殖面积为 $6\,887$ hm<sup>2</sup>,规划海水养殖区面积为 $5\,780$ hm<sup>2</sup>. 淡水养殖排水量为 $4.1322 \times 10^9$ m<sup>3</sup>/a,其中TN、TP增量为0.12mg/L、0.03mg/L;海水养殖排水量为 $1.0404 \times 10^9$ m<sup>3</sup>/a,其中TN、TP增量为0.04mg/L、0.01mg/L. 则条子泥围垦养殖后新增TN、TP排放为537.5t/a、134.4t/a,根据式3计算,条子泥围垦养殖后的水质净化服务价值为 $-55.24 \times 10^6$ 元/年.

##### (4) 干扰调节服务

江苏潮滩一般都是破碎波,不同的水深部位破波波高可以粗略计算,一般等于水深的0.6倍. 根据条

子泥垦区所在岸段潮间带地形和水深,可计算出潮间带滩涂最外侧波高,以及近岸波高,滩涂外侧和近岸波高差就是该段潮间带滩涂消减的波浪。条子泥垦区潮间带滩涂所能消减的波浪高度为 2.9 m,采用影子工程法,计算出条子泥垦区所在海域潮间带滩涂的干扰调节服务价值为  $11.45 \times 10^6$  元/年。

条子泥滩涂围垦后,生态系统的干扰调节服务价值将丧失。

(5) 栖息地服务

Costanza<sup>[2]</sup> 等对全球生态系统评估时得到的湿地作为避难所的价值为 304 美元/hm<sup>2</sup>,如果按照这一数据,条子泥滩涂围垦前的栖息地服务价值为  $6.77 \times 10^6$  美元/年,合人民币  $45.36 \times 10^6$  元/年(人民币与美元的换算比率:1 美元=6.7 人民币元)。

条子泥滩涂围垦后用作养殖,部分水浅的养殖塘可作为水鸟的食物来源,根据围垦后水浅的养殖塘面积比例估算,围垦后生物栖息地价值按围垦前的 1/4 计,即人民币约  $11.34 \times 10^6$  元/年。

(6) 文化科研服务

由于数据可获性的原因,这里只计算滨海湿地生态系统的科学研究价值,根据 CNKI 中文期刊全文数据库上条子泥(或辐射沙洲)为主题或关键词的 2010 年论文数 16 条记录和我国海洋领域每篇论文的平均投入  $35.76 \times 10^4$  元<sup>[14]</sup>,得到条子泥滩涂湿地的科研服务价值为  $5.72 \times 10^6$  元。

条子泥滩涂围垦养殖后,滩涂湿地的科研服务价值将有所降低;但作为规模较大的示范工程,科研服务价值也不容忽视,以围垦养殖前科研服务价值的 1/2 计,则条子泥滩涂围垦养殖后的科研服务价值为  $2.86 \times 10^6$  元。

(7) 基于经济价值法计算的围垦养殖前后生态服务价值变化见表 1。

3.2 能值法计算结果

(1) 食品提供

食品提供的能值 = 食品产量(g) × 能量折算标准(J/g) × 相应的能值转换率(sej/J)。

根据 2009 年东台渔业统计报表,单位面积滩涂海水养殖产量为 1.85 t/hm<sup>2</sup>。条子泥垦区占用的海水养殖面积为  $1.3 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>;根据 2010 年条子泥海域生态调查,潮间带平均生物量为 72.5 g/m<sup>2</sup>,条子泥垦区占用的潮间带滩涂面积为 9 290 hm<sup>2</sup>(除养殖区域外)。条子泥潮滩湿地每年的食品提供服务的能值 =  $3.08 \times 10^{10}$  g ×  $3 \times 10^3$  J/g ×  $2.0 \times 10^6$  sej/J<sup>[10]</sup> =  $1.85 \times 10^{20}$  sej。

2009 年东台市单位面积海水围塘养殖产量为 2.36 t/hm<sup>2</sup>,单位面积淡水围塘养殖产量为 6.67 t/hm<sup>2</sup>。条子泥围垦养殖后的产量约为  $5.96 \times 10^4$  t。条子泥围垦养殖后每年的食品提供服务能值 =  $5.96 \times 10^{10}$  g ×  $3 \times 10^3$  J/g ×  $2.0 \times 10^6$  sej/J<sup>[10]</sup> =  $3.6 \times 10^{20}$  sej。

(2) 气体调节服务

固定 CO<sub>2</sub> 的能值 = 1.63 × 植物干物质质量(g) × 相应的能值转换率(sej/g),

释放 O<sub>2</sub> 的能值 = 1.19 × 植物干物质质量(g) × 相应的能值转换率(sej/g)。

条子泥现有滩涂植被的干物质质量为  $1.7 \times 10^4$  t,则条子泥潮滩每年固定 CO<sub>2</sub> 的能值 =  $1.63 \times 1.7 \times 10^{10}$  g ×  $3.78 \times 10^7$  sej/g<sup>[15]</sup> =  $1.05 \times 10^{18}$  sej,每年释放 O<sub>2</sub> 的能值 =  $1.19 \times 1.7 \times 10^{10}$  g ×  $5.11 \times 10^7$  sej/g<sup>[15]</sup> =  $1.03 \times 10^{18}$  sej。

条子泥垦区建成后,将在养殖塘周边进行植被恢复,植被恢复量为现有植被的一半,则条子泥滩涂围垦养殖后每年固定 CO<sub>2</sub> 的能值和释放 O<sub>2</sub> 的能值为  $1.04 \times 10^{18}$  sej。

(3) 水质净化服务

水质净化的能值 = N、P 的年截留量(g) × 相应的能值转换率(sej/g)。

条子泥潮滩湿地现有生态系统全年可截留 TN 和 TP 的量分别是 368.0 t、59.8 t,则条子泥潮滩湿地每

表 1 基于经济价值法计算的围垦养殖前后

生态服务价值的变化

Table 1 Changes of the ecological service value before and after reclamation by method of economic evaluation

序号	生态服务类型	生态服务价值		
		围垦前	围垦养殖后	变化值
1	食品提供	178.77	335.9	157.13
2	气体调节	14.71	7.36	-7.35
3	水质净化	28.96	-55.24	-84.2
4	干扰调节	11.45	0	-11.45
5	栖息地服务	45.36	11.34	-34.02
6	文化科研服务	5.72	2.86	-2.86
	合计	284.97	302.22	17.25

10<sup>6</sup> 元/年

年的水质净化服务能值 =  $368.0 \times 10^6 \text{ g} \times 38 \times 10^8 \text{ sej/g}^{[16]} + 59.8 \times 10^6 \text{ g} \times 39 \times 10^8 \text{ sej/g}^{[16]} = 1.63 \times 10^{18} \text{ sej}$ .

条子泥围垦养殖后新增 TN、TP 排放为 537.5 t/a、134.4 t/a,条子泥围垦养殖后每年的水质净化服务能值 =  $-(537.5 \times 10^6 \text{ g} \times 38 \times 10^8 \text{ sej/g}^{[16]} + 134.4 \times 10^6 \text{ g} \times 39 \times 10^8 \text{ sej/g}^{[16]}) = -2.57 \times 10^{18} \text{ sej}$ .

(4) 干扰调节服务

抗风消浪能值<sup>[10]</sup> = 岸线长( m)  $\times 0.125 \times$  密度(  $\text{kg/m}^3$ )  $\times$  地心引力(  $\text{m/s}^2$ )  $\times$  速率( m/s)  $\times$  浪高( m)  $\times 3\,154 \times 10^4$  ( s/年) /海浪周期( s)  $\times$  能值转换率( sej/J) .

条子泥所在潮间带滩涂长度为 23.62 km,条子泥潮间带滩涂所能消减的波浪高度为 2.9 m,则条子泥潮滩湿地每年的抗风消浪能值 =  $23\,620 \times 0.125 \times 1.5 \times 10^3 \times 9.8 \times 1.52 \times 2.9 \times 3\,154 \times 10^4 / 4 \times 3.0 \times 10^4 \text{ sej/g}^{[10]} = 4.53 \times 10^{19} \text{ sej}$ .

条子泥围垦后抗风消浪能值为 0.

(5) 栖息地服务

栖息地能值( sej) <sup>[7,10]</sup>: 物种种数( 种)  $\times$  能值转换率( sej/种); 其中能值转换率( sej/种) = 物种的能值转换率(  $1.26 \times 10^{25} \text{ sej/种}$ )  $\times$  可利用生境面积占全球面积的比例.

条子泥滩涂是鸟类的栖息地,根据 2010 年 8 月对条子泥滩涂鸟类的调查,共统计到鸟类 42 种,则条子泥潮滩湿地每年的鸟类栖息地能值 =  $42 \text{ 种} \times 3.9 \times 10^{18} \text{ sej/种} = 1.64 \times 10^{20} \text{ sej}$ .

条子泥围垦养殖后,由于周边仍然存在东沙等大型湿地,鸟类种类不会减少,但鸟类数量将大大减少,根据条子泥围垦工程对保护区影响的专题研究,围垦后鸟类数量仅为围垦前的 1/4,因此条子泥围垦后的鸟类栖息地能值为  $4.1 \times 10^{19} \text{ sej}$ .

(6) 文化科研服务

根据 CNKI 中文期刊全文数据库上条子泥( 或辐射沙洲) 为主题或关键词的 2010 年论文数 16 条记录,每篇论文以 6 页计,则条子泥潮滩湿地每年的科学研究能值 =  $16 \times 6 \times 33.9 \times 10^{16[16,17]} = 3.25 \times 10^{19} \text{ sej}$ .

条子泥滩涂围垦养殖后,以围垦养殖前科研能值的 1/2 计,条子泥滩涂围垦养殖后每年的科研能值为  $1.625 \times 10^{19} \text{ sej}$ .

(7) 基于能值分析法的围垦养殖前后生态服务价值变化见表 2.

表 2 基于能值分析法计算的围垦养殖前后生态服务价值的变化

Table 2 Changes of the ecological service value before and after reclamation by method of ecological energy

序号	生态服务类型	围垦前		围垦后		变化值	
		能值 /	价值 /	能值 /	价值 /	能值 /	价值 /
		( sej/a)	( $10^6$ 元/年)	( sej/a)	( $10^6$ 元/年)	( sej/a)	( $10^6$ 元/年)
1	食品提供	$1.85 \times 10^{20}$	142.47	$3.6 \times 10^{20}$	277.24	$1.75 \times 10^{20}$	134.77
2	气体调节	$2.08 \times 10^{18}$	1.60	$1.04 \times 10^{18}$	0.8	$-1.04 \times 10^{18}$	-0.8
3	水质净化	$1.63 \times 10^{18}$	1.26	$-2.57 \times 10^{18}$	-1.98	$-4.2 \times 10^{18}$	-3.24
4	干扰调节	$4.53 \times 10^{19}$	34.89	0	0	$-4.53 \times 10^{19}$	-34.89
5	栖息地服务	$1.64 \times 10^{20}$	126.30	$4.1 \times 10^{19}$	31.57	$-1.23 \times 10^{20}$	-94.73
6	文化科研服务	$3.25 \times 10^{19}$	25	$1.625 \times 10^{19}$	12.5	$-1.625 \times 10^{19}$	-12.5
	合计	$430.51 \times 10^{18}$	331.52	$415.72 \times 10^{18}$	320.13	$-14.79 \times 10^{18}$	-11.39

注: 能值货币比率为  $8.7 \times 10^{12} \text{ sej/美元}^{[10,11]}$ , 人民币与美元的换算比率: 1 美元 = 6.7 人民币元.

4 结论与讨论

本文运用经济价值评估方法和生态能值法估算了条子泥潮滩围垦前后主要生态系统服务价值及变化情况. 运用经济价值评估方法估算出围垦前条子泥天然湿地的生态服务价值为  $284.97 \times 10^6$  元/年,单位面积为  $1.28 \times 10^4$  元/ $\text{hm}^2$  年; 运用生态能值法估算出围垦前条子泥天然湿地的生态服务价值为  $331.52 \times 10^6$  元/年,单位面积为  $1.49 \times 10^4$  元/ $\text{hm}^2$  年; 两种方法计算出的生态服务价值基本相当. 围垦前的条子泥滩涂生态服务价值主要体现在食品提供和栖息地服务两个方面.

根据经济价值评估方法估算出条子泥围垦后生态服务价值为  $302.22 \times 10^6$  元/年,较围垦前生态服务



价值增加了  $17.25 \times 10^6$  元/年,增加约 6%。运用生态能值法估算出条子泥围垦后生态服务价值为  $320.13 \times 10^6$  元/年,较围垦前生态服务价值减少了  $11.39 \times 10^6$  元/年,减少约 3%。总体来看,运用两种方法计算出的围垦后的生态服务价值与围垦前相比变化不大。围垦后生态服务价值明显增加的是食品提供服务价值,食品提供生态服务价值均增加了接近 1 倍。主要原因是条子泥天然滩涂上的养殖为贝类护养,养殖产量相对较小,而围垦后池塘养殖产量明显增加。条子泥天然潮滩食品提供价值的实现主要依靠生态系统自身,成本较小。而条子泥垦区的形成需要较大的投资成本,条子泥垦区的总投资为  $40.73 \times 10^8$  元,如按照 50 年的营运期来计算,条子泥垦区的投资成本平均每年为  $8146 \times 10^4$  元,如考虑条子泥垦区的投资成本,则条子泥围垦后的食品提供价值较围垦前并无明显优势。

除了食品提供价值,其余各项生态服务价值则明显降低。由此可见,在潮滩湿地围垦养殖,虽然会带来一定的经济效益,为人类提供食品的价值增加,但潮滩围垦会造成其他方面尤其是水质净化、气体调节和栖息地生态服务价值的损失。为了补偿围垦带来的生态损失,建议在垦区内部通过建设人工生态水库净化水质,实现生态养殖,尽量减少对周边海域的养殖废水排放。同时在垦区内部围堤、养殖塘、生态水库、沟渠周边种植植物。虽然滩涂围垦造成了一定面积的天然湿地丧失,但可有针对性地采取一些生态建设措施,补偿围垦养殖带来的一些生态服务价值的损失,减轻潮滩围垦养殖对湿地生态服务功能的影响。

### [参考文献]

- [1] 江苏省农业资源开发局. 江苏沿海垦区[M]. 北京: 海洋出版社, 1999.
- [2] Costanza R, Agre R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [3] De Groot R S, Wilson M A, Boumans R M J. A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem function, goods, and services[J]. Ecological Economics, 2002, 41(3): 393-408.
- [4] World Resources Institute. Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment[M]. Washington, DC: Island Press, 2003.
- [5] Millennium Ecosystem Assessment (MA). Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis[M]. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [6] 陈尚, 张朝晖, 马艳, 等. 我国海洋生态系统服务功能及其价值评估研究计划[J]. 地球科学进展, 2006, 21(11): 1127-1133.
- [7] Odum H T. Environment Accounting: Energy and Environment Decision Making[M]. New York: John Wiley and Sons, 1996.
- [8] Odum H T. Self-organization, transformity, and information[J]. Science, 1988, 242: 1132-1139.
- [9] Odum H T, Brown M T, Williams S B. Handbook of Emergy Evaluations Folios 1-4[M]. Gainesville: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2000.
- [10] 蓝盛芳, 欽佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [11] 赵桂慎. 生态经济学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [12] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统生态服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 608-613.
- [13] 欧维新, 杨桂山, 高建华. 盐城潮滩湿地对 N、P 营养物质的截留效应研究[J]. 湿地科学, 2006, 4(3): 179-186.
- [14] 刘键. 黄海三角洲滨海湿地生态系统服务评价研究[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2008.
- [15] 孙洁斐. 基于能值分析的武夷山自然保护区生态系统服务功能价值评估[D]. 福州: 福建农林大学经济与管理学院, 2008.
- [16] 赵晟, 洪华生, 张珞平, 等. 中国红树林生态系统服务的能值价值[J]. 资源科学, 2007, 9(1): 147-154.
- [17] Meilaud F, Gay J B, Brown M T. Evaluation of a building using the energy method[J]. Solar Energy, 2005, 79(2): 204-212.

[责任编辑: 丁 蓉]