

文章编号: 1007-7588(2013)01-0059-07

基于生境等价分析法的胶州湾湿地围垦生态损害评估

李京梅, 王晓玲

(中国海洋大学经济学院, 青岛 266100)

摘要: 评估湿地围垦的生态损害, 对目前迫切需要制定的海洋生态损害补偿政策以及生态修复计划具有重要的现实意义。本文针对黄海胶州湾湿地围垦, 运用生境等价分析法, 完成了围垦湿地的生境受损量、补偿量及补偿面积的评估。结果显示: 1988年-1997年期间, 胶州湾湿地围垦面积约为2264hm², 生境损害程度为54.5%。假设通过人工种植沼泽植被来修复受损湿地生境, 且修复生境所提供的服务等于受损区域的生境服务, 则修复工程的规模为358hm², 才能达到补偿受损湿地生境服务水平的目标。进一步参照不同类型海洋生态系统的平均公益价值标准, 该围垦规模的生境服务损害成本约4264万元/年。

关键词: 生境等价分析法; 围垦; 湿地生态损害; 修复补偿; 胶州湾湿地

1 引言

滨海湿地是生物多样性最丰富、生产力最高、最具价值的生态系统之一, 同时, 滨海湿地是受陆地、海洋和人类活动共同作用的具有典型生态边缘效应的地带, 也是生态环境相对脆弱的区域。近年来, 随着我国沿海地区港口、修造船、电力、石化等临海工业的大规模建设, 滨海湿地面临围垦以增加土地供应的压力。研究表明, 围垦对潮滩湿地的生物多样性影响显著, 大型底栖动物的生物多样性指数均降低, 尤其以围垦圈淤的堤内湿地生物多样性指数最低^[1-3]; 围垦还能导致浅海或湾内的水动力环境改变, 纳潮量减小, 海水自净能力下降^[4-5]。评估滨海湿地围垦的生境损害, 计算受损程度和补偿量, 实施生态修复或生态损害的货币补偿, 是控制围垦规模、保育湿地生态系统的技术依据。

近年来, 国内渐多的学者开展了湿地围垦生境损害评估研究, 根据湿地的经济价值, 分别使用市场价值法、影子工程法、替代成本法、意愿调查法等, 评估了围垦对湿地的食品生产、气体调节、废弃物处理等功能的影响^[6-12]。然而, 湿地作为一种生

境, 是海洋生物繁育和索饵场所, 其生物多样性维持和净化水质等生态服务功能通常没有交易市场, 很难赋予它们相应的市场价值。尽管已有的研究成果使用替代成本和意愿调查等建立市场的方法间接评估湿地的生态价值, 但是由于存在替代价格选择是否得当以及模拟市场时大量的信息偏差, 围垦生态损害评估一直存在方法是否得当、结论是否合理的争议。

生境等价分析法(Habitat Equivalency Analysis Method, HEA)是近年来在国外广泛应用的自然资源损害评估方法之一, 主要用于估算溢油、有害物质排放、船舶搁浅及其它开发方式造成的生物栖息地损害^[13-17]。当受损资源或服务主要是间接地被人类使用(例如生物栖息地), 评估和衡量修复规模最适合的工具是生境等价分析法^[13]。2007年始, 国内有学者引入HEA方法研究矿产资源开发中的受损植被的生态补偿^[18-19]。近年来, 有学者将HEA方法用于我国溢油生态损害评估^[20-23]。

围垦对滨海湿地的生物多样性维护等生态服务功能影响显著。本文针对胶州湾湿地围垦, 依据

收稿日期: 2012-04-08; 修订日期: 2012-11-13

基金项目: 国家社科基金项目: “围填海造地资源 环境价值损失评估及补偿研究”(编号: 12BJY064); 教育部人文社科重点研究基地中国海洋大学海洋发展研究院资助项目: “海洋生态系统服务功能价值损失评估与补偿研究”(编号: 2012JDPY03); 青岛市软科学项目: “青岛市蓝色经济区建设的海洋资源承载力研究”(12-1-3-84-(37)-zhc)。

作者简介: 李京梅, 女, 河北冀县人, 博士, 教授, 主要研究方向为资源、环境与贸易政策。E-mail: jingmeili66@126.com

胶州湾围垦生态影响的科研成果,讨论HEA法评估围垦生境损害的适用性,研究结果可为地方政府实施围垦生态修复或货币补偿提供技术依据,亦可为其它资源开发的生境损害评估提供参考。

2 研究区概况

胶州湾是以团岛头(36°02'36"N, 120°16'49"E)与薛家岛脚子石(36°00'53"N, 120°17'30"E)连线为界,与黄海相通的扇形半封闭海湾,位于山东半岛南岸、黄海之滨。胶州湾现有滨海湿地3.5万hm²,根据Ramsar湿地公约的湿地分类方案及国内海岸湿地分类的研究成果,胶州湾海岸湿地分为潮下带湿地(6m以浅水域)、潮间带湿地(沙质海滩、岩石滩、泥滩)、潮上带湿地(海滨咸水沼泽、微咸水沼泽)、河口湿地(河口和三角洲)以及人工湿地(港池、养殖池、盐田)等5类^[24]。湿地植被的建群种主要包括河口和三角洲湿地的芦苇、咸水沼泽的碱蓬、微咸水沼泽的盐角草以及滩涂湿地中的浮游植物,其中芦苇群落是胶州湾生态湿地面积较大的禾草型植被类型之一,为水鸟繁殖地、越冬地。湿地生物多样性丰富,有文昌鱼、黄岛长吻虫、多鳃孔蛇形虫等许多珍稀物种,是黄渤海鱼类产卵、索饵洄游的重要场所。

自20世纪50年代以来,胶州湾海岸线不断被人工改造,潮间带面积减少,浅海域水质污染,生物多样性下降。其中,1988年-2009年,由于大规模围垦,胶州湾湿地总面积减少32%^[24-25],见表1。湿地面积减少使得鱼虾尤其是滩涂贝类生长和繁殖空间丧失,海洋生物物种多样性明显下降;大量自然植被消失;湿地水禽数量急剧减少,许多鸟类失去栖息地和觅食地;水质净化功能下降^[24]。总之,围垦

表1 1988年-2009年胶州湾湿地面积变化

Table 1 Changes in area of Jiaozhou Bay wetland from 1988 to 2009

年份	(hm ² , %)				
	1988	1997	2002	2005	2009
湿地	5 0830	4 9840	4 7183	4 3675	3 4580
其中6m以浅 和潮间带滩涂	3 0527	2 8263	2 7470	2 6956	2 2347
年平均变化率		-7.4	-2.8	-1.9	-17.1

注:本文的年均变化率和围垦规模统计数据均使用6m以浅和潮间带滩涂湿地指标。

给整个胶州湾生态系统结构稳定带来潜在的威胁。

3 生境等价分析法:方法与步骤

3.1 生境等价分析法

生境等价分析法(HEA)的基本原理是:假定公众愿意接受在损失的服务和通过修复获得的服务之间一对一的权衡,通过确定需要实施的修复工程或计划,并基于修复工程提供的生态服务和受损生境的生态服务对等假设,估算修复工程的规模以对公众的损失进行补偿^[13]。HEA方法的使用需要满足以下条件^[26]:①损害为单一污染源或单一污染物质;②有相对较短较确定的受损期;③完备的关于受损生境基线服务水平的信息;④一种受影响的服务;⑤类似生境容易建造或可就近选择修复工程的替代生境;⑥有相对确定或相对短的修复期。

本文针对围垦造成的生物栖息地损害,以1988年以前湿地的生境服务功能包括生态类群和环境质量作为受损前的基线服务水平,使用公开出版的1988年-1997年围垦的生态影响的科研成果,筛选出受影响的服务为生物资源量减少和水质净化能力下降,就近选择提供同质服务的种植人工盐沼植被作为修复工程。假定修复期的服务功能水平呈线性恢复,经过修复工程的有限服务年限,达到基线服务水平,估算补偿修复规模。特别提出,对比HEA有相对较短和较确定的受损期假设条件,即生态损害是以急性的灾变形式表现的影响,而围垦工程的持续时间较长、空间范围大,生态损害更多地表现为累积性破坏,受损期相对较长,本文界定为1988年-1997年,据此可能出现的偏差,将予以说明。该方法对湿地围垦生境损害评估亦有适用性。

3.2 评估步骤

(1)识别受损生境及其主要的服务功能。识别受损生境及其主要的服务功能,经贴现可进一步表示为确定资源受损期间服务损失的现值。图1区域A为未经贴现的由围垦导致生境总损害量。设A为该受损湿地生境功能损失的现值; T_1 为湿地围垦发生的时间,即生境受损的时间; T_2 为受损生境功能恢复到基线状态的时间,即湿地生态服务功能损失持续时间; $Q(t)$ 为 t 时刻(T_1 到 T_2 期间)围垦面积; I_t 是损害在 t_t 时点跨越 A_t 范围上的损害程度

2013年1月

(损害跨越空间的严重程度); V_i 是单位受损湿地提供服务量, d 为贴现率。则有:

$$A = \sum_{i=T_1+1}^{T_2} Q(t)V_i I_i \frac{1}{(1+d)^{t-T_1}} \quad (1)$$

(2)估算补偿修复工程所能提供的服务水平。估算补偿修复工程所能提供的服务水平,经贴现可表示为确定补偿性修复工程提供服务的当前价值。图2区域 B 为未经贴现的补偿修复工程提供的生境服务量。假设 B 为实施人工修复工程增加的生境服务功能现值; T_3 为修复工程开始的时间; T_4 为修复工程提供的服务逐渐补偿受损生境服务的时间;设 Q_2 为所需修复工程面积; R_i 是修复工程在 t 时点跨越 Q_2 范围提供改善的大小(修复收益/改进的量级), V_r 是修复工程单位面积所提供的服务量, 则有:

$$B = \sum_{i=T_3}^{T_4} Q_2 V_r R_i \frac{1}{(1+d)^i} \quad (2)$$

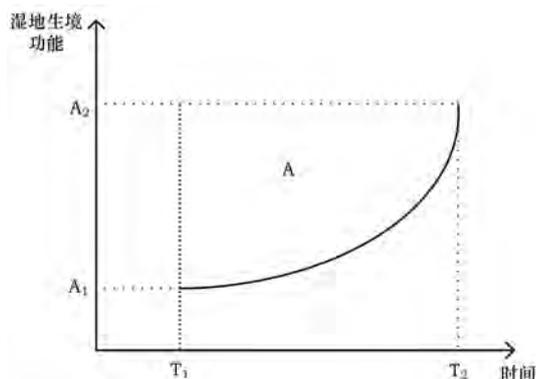


图1 湿地生境受损量模型

Fig.1 Model of injured wetland habitat services

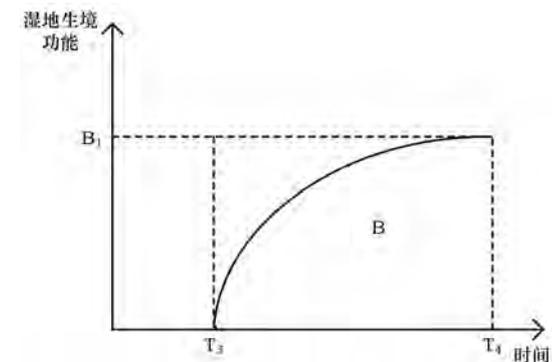


图2 湿地生境补偿量模型

Fig.2 Model of compensatory habitat services

(3)确定使损失和所得相等的补偿性修复的规模。基于修复工程提供的服务等于被围垦湿地的生境服务损失 $A=B$, 则:

$$\sum_{i=T_1}^{T_2} Q(t)V_i I_i \frac{1}{(1+d)^i} = \sum_{i=T_3}^{T_4} Q_2 V_r R_i \frac{1}{(1+d)^i} \quad (3)$$

确定补偿性修复工程所需的规模 Q_2 :

$$Q_2 = \left(\sum_{i=T_1}^{T_2} Q V_i I_i \frac{1}{(1+d)^i} \right) / \left(\sum_{i=T_3}^{T_4} V_r R_i \frac{1}{(1+d)^i} \right) \quad (4)$$

4 胶州湾湿地围垦的生境损害评估

4.1 指标及数据来源

合适的指标是HEA成功的关键,指标必须捕捉到初始生境的服务水平、受损后生境服务水平、补偿生境所提供的服务的质量和数量的相对差异^[13]。

4.1.1 受损生境面积 Q 通过梳理国内相关研究资料,已完成的胶州湾围垦生境损害的科研成果主要局限于1988年-2002年期间,考虑到研究的时滞性,本文对围垦规模的统计数据仅界定在1988年-1997年时间段,即湿地面积减少量约为2264hm²,见表1。

4.1.2 受损类别及程度 I

(1)生物资源损害。围垦使湿地大面积减少,导致鱼虾和贝类以及其它各动植物群落生长、繁殖空间的大量丧失。

①浮游植物。据调查,近40年来,由于大规模的围垦及其它人工开发,胶州湾潮下带湿地浮游植物细胞数量明显下降。使用胶州湾不同年代浮游植物细胞数量比较(万个/m³)指标:1977年-1978年,胶州湾四季浮游植物细胞数量分别为1200、3780、1470和5430;1980年-1981年,胶州湾四季浮游植物细胞数量分别为340、317、414和1050;1992年-1993年,胶州湾四季浮游植物细胞数量分别为207、94、72和464。可以看出,在80年代以前,胶州湾浮游植物细胞数量明显比80年代以后多^[27]。在这里按照年平均细胞数量进行比较,1977年-1978年胶州湾浮游植物细胞的平均细胞数量为2970万个/m³,1992年-1993年胶州湾浮游植物细胞的年平均细胞数量为164.25万个/m³,减少了133%。

②浮游动物。浮游动物是海洋次级生产力的代表,是海洋食物链中重要的环节,在生态系统中

起着承上启下的作用。20世纪80年代初胶州湾浮游动物年平均生物量为 $550\text{mg}/\text{m}^3$,该期调查鉴定浮游动物80种,包括桡足类25种,水螅水母类32种,毛颚类3种,枝角类3种,糠虾类和浮游背囊类各2种,其它浮游动物10余种。1991年-1993年胶州湾浮游动物细胞的平均生物量为 $85\text{mg}/\text{m}^3$,调查鉴定浮游动物43种,其中桡足类22种,水螅水母类8种,枝角类2种,糠虾4种,端足类2种,毛颚类等其它类共5种^[27]。以浮游动物平均生物量为计算依据,浮游动物量减少了84%。

③滩涂贝类。湾内底栖经济贝类菲律宾蛤仔,20世纪80年代以前年产量高达10万t,由于湿地退化,栖息面积缩减,蛤仔资源锐减,年产量仅在3~5万t,减少了50%^[28]。胶州湾双埠潮间带甲壳类生物资源,1977年-1978年为16种,1994年下降为11种^[29],减少了31%。基于以上调查结果围垦对滩涂贝类的平均损害程度为40%。

④鸟类栖息地。据20世纪80年代的调查,胶州湾湿地鸟类有156种,包括冬候鸟34种,夏候鸟25种,留鸟7种,旅鸟90种,1992年的调查显示湿地鸟类有11目23科59属124种,其中水禽、涉禽116种,鸟类中以旅鸟、冬候鸟为主^[29]。鸟类种类大约减少了20.5%。

将以上湿地各动植物种类进行加权平均,围垦导致的湿地生物资源损害程度为84%。

(2)水质净化能力下降:

①纳潮量的大小与海湾的水域面积成正比,它直接影响到海湾与外海的交换强度,制约着海湾的自净力。湿地围垦导致湿地面积大幅减少,从而纳潮能力下降。1980年胶州湾滩涂面积为 14200hm^2 ,纳潮量为 $9.626\text{亿}\text{m}^3$;而在1997年,胶州湾滩涂面积为 8500hm^2 ,纳潮量为 $9.22\text{亿}\text{m}^3$ ^[27]。由此得出湿地围垦的纳潮量损害为4.2%

②海水营养盐浓度。围垦使湿地自净能力下降,大量的工农业废水及生活污水经过排污管道和地表径流直接进入海洋,使得海洋中的无机态和有

机态营养物质大量增加,从而引起海水富营养化。在1981年-1986年期间,胶州湾海水平均营养盐浓度, $\text{NO}_2\text{-N}$ 为 $5.94\text{ }\mu\text{g}/\text{L}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 为 $21.46\text{ }\mu\text{g}/\text{L}$, $\text{NO}_4\text{-N}$ 为 $84.82\text{ }\mu\text{g}/\text{L}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 为 $13.22\text{ }\mu\text{g}/\text{L}$;而在1997年-1998年间, $\text{NO}_2\text{-N}$ 为 $9.70\text{ }\mu\text{g}/\text{L}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 为 $30.25\text{ }\mu\text{g}/\text{L}$, $\text{NO}_4\text{-N}$ 为 $115.99\text{ }\mu\text{g}/\text{L}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 为 $9.85\text{ }\mu\text{g}/\text{L}$ ^[27]。除胶州湾海水表层磷酸盐的含量略有下降之外,其它各氮化合物都有明显上升。据此,胶州湾海水质量受损害程度为46%。

最终,湿地围垦导致水质净化能力受损的平均程度确定为25%。

4.1.3 折现率 d 为了使过去的损害和未来的收益能够相比较,需要采用折现率。美国国家海洋和大气管理局(NOAA)以及相关美国法规推荐使用3%的折现率。根据我国海洋溢油生态损害评估技术导则,折现率选取1%~3%,其中海洋生态环境敏感区折算率为3%,海洋生态环境亚敏感区取2%,海洋生态环境非敏感区取1%^[30]。本文折现率选取3%。

4.1.4 补偿工程修复收益 R 假定补偿修复工程提供的单位生境服务水平等于受损前资源基线所提供的单位服务水平,在恢复率是线性的变化的前提下,补偿修复开始的时间为受损后5年,工程达到基准服务水平所需时间为4年,每年提供的服务水平递增25%。根据谢高地等^[31]在Costanza等人提出的全球生态系统服务功能评价模型的基础上,综合得出的“中国生态系统生态服务价值当量因子”表,本文节选出湿地生态系统从A到I共9项生态服务功能,分别为气体调节A、气候调节B、水源涵养C、土壤形成与保护D、废物处理E、生物多样性维持F、食物生产G、原材料生产H和休闲娱乐I,用当量因子表示各类生态系统单位面积具有的生态服务功能水平,见表2。

根据本文选取的生物资源损害和水质净化能力下降指标,对应湿地的生态服务价值当量因子选

表2 中国湿地生态系统生态服务价值当量因子

Table 2 Indicators of ecological systems service functions of wetland in China (当量/ hm^2)

生态系统类型	A	B	C	D	E	F	G	H	I
湿地	1.8	17.1	15.5	1.71	18.18	2.50	0.3	0.07	5.55

2013年1月

取 D 废物处理和 E 生物多样性维持两项功能。则补偿工程修复收益的计算公式为:

$$R_t = \frac{x_t - b^p}{b_j} \quad (5)$$

式中 x_t 为在 t 时期末,修复工程单位面积提供的服务水平; b_j 为湿地基线服务水平,取 D 和 E 功能当量之和,为 19.89 当量/hm²; b^p 表示修复工程提供服务的初始水平,这里为湿地基线服务水平乘以受损程度,为 10.82 当量/hm²;假定通过补偿性修复工程得到的服务水平在达到基线后一直保持良好的生态服务,其提供服务的期限无限大。

4.2 估算补偿性修复工程规模

修复工程生境服务的补偿量等于被围垦湿地的生境服务的受损量,即 $V_i = V_r$,则修复工程规模应为:

$$Q_2 = \left(\sum_{i=T_1}^{T_2} QI_t^i \frac{1}{(1+d)^i} \right) / \left(\sum_{i=T_3}^{T_4} R_t \frac{1}{(1+d)^i} \right) \quad (6)$$

代入以上各参数,求得 $Q_2 = 358\text{hm}^2$ 。假设通过人工种植沼泽植被作为修复工程,种植面积应为 358hm² 才能满足湿地受损前基线水平,即提供的 19.89 当量/hm² 服务。该公式中涉及的全部参数描述见表 3。

4.3 生态损害的货币化补偿

如管理部门需要征收生态补偿金,则参照海洋

生态系统平均公益价值表^[20],其中潮滩的平均公益价值为 11.91 万元/(hm²·a),胶州湾湿地的生境类型可归类于潮滩生态系统,则修复补偿的费用 $358 \times 11.91 = 4264$ 万元/年,可作为围垦的生态补偿金。

5 结论与讨论

5.1 主要结论

运用 HEA 方法,对 1988 年-1997 年胶州湾湿地围垦面积为 2264hm² 造成的生境损害进行评估,结果显示:胶州湾湿地的生物资源损害程度为 84%,水质净化能力下降程度为 25%,选择提供同质服务的种植人工盐沼植被作为修复工程,种植规模为 358hm² 才能补偿生境损害。如果参照不同类型海洋生态系统的平均公益价值标准,则该规模湿地围垦的生境服务损害成本约 4264 万元/年。

5.2 讨论

使用 HEA 方法进行湿地生境损害评估,有以下几点需要进一步研究:

(1) 试验表明,人工湿地在土壤有机条件、土壤氮、种植密度及其它特性都不如天然湿地,还有一个可能,栖息地修复可能会失败。这些因素意味着提供的补偿性修复相较于损失比例应该大于 1:1。如何用一个大于 1:1 的补偿比率估算修复规模则成为进一步研究的内容。

(2) 量化服务受损程度时,应根据各个指标的

表 3 胶州湾湿地围垦生态损害评估 HEA 参数

Table 3 The parameters used in Jiaozhou Bay wetland reclamation by HEA

输入量	描述	参数
V_i	受损生境单位面积时间所提供的服务价值	在此案例中, $V_i = V_r$, 因此这两个变量不是影响因素
V_r	替代补偿生境单位面积时间所提供的服务量价值	
R_t	补偿工程修复收益	通过生境转换前后服务水平变化程度确定
X_p	t 时间结束后补偿生境所能提供的服务量水平	在恢复率是线性的变化的前提下,在达到基准水平前,即资源和生态的修复中的收益是均匀发生的
b^p	受损生境单位面积在受损后提供的基准服务水平	在这里取受损后生境初始水平
b_j	资源受损前提供的服务基线	19.89 当量/hm ²
I_t^i	t 时刻受损生境单位面积的损害程度	84%和 25%
d	折现率	3%
T_1	湿地受损害的时间	在这里 T_1 和 T_2 取时间段 10 年
T_2	受损生境服务功能恢复到基线水平的时间	
T_3	补偿修复工程开始的时间	受损后第 5 年
T_4	补偿量等于损失量时的时间	这里假定补偿生境功能可以一直提供下去,所以取 ∞
Q	受损生境的面积	2264hm ²
Q_2	修复补偿工程的规模	358hm ²

相对重要性赋予权重,权重应来源于经验数据或专业判断,本文按照平均权重进行简单处理;同时修复工程达到的基线服务水平的恢复率是线性变化的估计,不能精确模拟众多类似案例的实际情况。

(3)替代补偿项目达到基线服务水平时间的长短和折现率的大小会增加结论的不确定性,应进行敏感性分析。

以上三个方面将是本文进一步研究的方向。但是,有一点可以明确,如果有充分的关于受损和修复的系统知识的情况下,HEA模型是一个简单且被公众所接受的评估某种生境的服务功能损失并确定修复规模的实用分析工具。

参考文献(Reference):

- [1] 胡知渊,李欢欢,鲍毅新,等.灵昆岛围垦区内外滩涂大型底栖动物生物多样性[J].生态学报,2008,28(4):1498-1506.
- [2] 李真.罗源湾围垦前后水动力环境的变化研究[D].青岛:中国海洋大学,2009.
- [3] 黄少峰,刘玉,李策,等.珠江口滩涂围垦对大型底栖动物群落的影响[J].应用与环境生物学报,2011,17(4):499-503.
- [4] 李真.罗源湾围垦前后水动力环境的变化研究[D].青岛:中国海洋大学,2009.
- [5] 李加林,杨晓平,童亿勤.潮滩围垦对海岸环境的影响研究进展[J].地理科学进展,2007,26(2):44-51.
- [6] 肖建红,陈东景,徐敏,等.围填海对潮滩湿地生态系统服务影响评估[J].海洋湖沼通报,2010,(4):95-100.
- [7] 高元竟.闽江河口湿地生态服务功能价值评价[D].福建:福建农林大学,2009.
- [8] 赵斐斐,陈东景,徐敏,等.基于CVM的潮滩湿地生态补偿意愿研究[J].海洋环境科学,2011,30(6):872-876.
- [9] 苗丽娟.围填海造成的生态环境损失评估方法初探[J].环境与可持续发展,2007,(1):47-48.
- [10] 王静,徐敏,张益民,等.围填海的滨海湿地生态服务功能价值损失的评估[J].南京师大学报,2009,32(4):134-138.
- [11] 俞炜炜,陈彬,张珞平,等.海湾围填海对滩涂湿地生态服务累积影响研究[J].海洋通报,2008,27(1):88-94.
- [12] 彭本荣,洪华生,陈伟琪,等.填海造地生态损害评估:理论、方法及应用研究[J].自然资源学报,2005,20(5):714-726.
- [13] NOAA Coastal Services Center. Restoration Economics--Habitat Equivalency Analysis [EB/OL]. <http://www.csc.noaa.gov/coastal/economics/habitatequ.htm>, 2012-04-08.
- [14] French D, McCay JJ, Rowe NW, et al. Estimation of potential impact and natural resource damages of oil[J]. *Journal of Hazard Materials*, 2004, (107):11-25.
- [15] Shay Viehman, Steven M. Thur, Gregory A. piniak. Coral reef metrics and habitat equivalency analysis[J]. *Ocean and Coastal Management*, 2009, 52(3-4): 181-188.
- [16] Cacela D, Lipton J, Beltman D, et al. Associating ecosystem service losses with indicators of toxicity in habitat equivalency analysis[J]. *Environmental Management*, 2007, 35(3):343-351.
- [17] Brian Roacha, William W. Wade. Policy evaluation of natural resource injuries using habitat equivalency analysis[J]. *Ecological Economics*, 2006, 58(2): 421-433.
- [18] 张思锋,余平,孙博.基于HEA方法的陕西省受损植被生态服务功能补偿评估[J].资源科学,2007,29(6):61-67.
- [19] 张思锋,权希,唐远志.基于HEA方法的神府煤炭开采区受损植被生态补偿评估[J].资源科学,2010,32(3):491-498.
- [20] 高振会,杨建强,崔文林,等.海洋溢油对环境与生态损害评估技术及应用[M].北京:海洋出版社,2005.
- [21] 黄明娜.海洋资源损害补偿机制[D].厦门:厦门大学,2008.
- [22] 李京梅,曹婷婷. HEA方法在我国溢油海洋生态损害评估中的应用[J].中国渔业经济,2011,29(3):80-86.
- [23] 杨寅等.生境等价分析在溢油生态损害评估中的应用[J].应用生态学报,2011,22(8):2113-2118.
- [24] 马妍妍.基于遥感的胶州湾湿地动态变化及质量评价[D].青岛:中国海洋大学,2006.
- [25] Dichadd W. Dunfodd, Thomas C. Ginn, William H. Desvousges. The use of habitat equivalency ana8lysis in natudal desoudce damage assessments[J]. *Ecological Economics*, 2004, 8(4):49-70.
- [26] 李乃胜.胶州湾自然环境与地质变化[M].北京:海洋出版社,2006.
- [27] 张绪良,夏东兴.海岸湿地退化对胶州湾渔业和生物多样性保护的影响[J].海洋技术,2004,23(6):68-71.
- [28] 张绪良,张朝晖,徐宗军,等.胶州湾海岸湿地的生物多样性特征[J].科技导报,2009,(13):36-41.
- [29] HY/T 095-2007, 海洋溢油生态损害评估技术导则[S].
- [30] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911-919.

Wetland Reclamation and Habitat Damage Assessment in Jiaozhou Bay

LI Jingmei, WANG Xiaoling

(School of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Assessing habitat damage resulting from wetland reclamation is important for developing marine ecological damage compensation policy. The process of reclamation in Jiaozhou Bay has become increasingly serious in recent decades, and has affected the ecological environment and wetland habitats. Here, we summarize relevant research in this field and introduce habitat equivalency analysis (HEA) to the Chinese research community. The two main indicators in this assessment are biological diversity and the ability of water quality clarification. Using HEA we found that the area of wetland reclamation in Jiaozhou Bay is 2264 hm² and the level of habitat damage is approximately 54.5%. By planting salt marshes as a form of restoration and where the service level is equivalent to that of the damaged area, the scale of the restoration project should be 358 hm² to achieve initial habitat service levels of filled wetlands. With reference to the average public value of different ocean ecosystem services, the habitat service damage is worth 42.64 million CNY per year. Whether the services provided by the restoration project match losses caused by reclamation requires further study. Sensitivity analysis on the discount rate and the time required to reach base service levels should now be examined.

Key words: Habitat equivalency analysis; Reclamation; Wetland habitat damage assessment; Compensatory restoration; Ecosystem services