

海洋生态系统内在价值评估方法初探 ——以厦门湾为例

徐虹霓 盛华夏 张珞平

(厦门大学环境与生态学院 福建 厦门 361102)

摘要: 海洋和海岸带生态系统价值的科学评估对海洋与海岸带开发决策起着重要的支撑作用. 目前盛行的生态系统服务价值评估是从生态系统对人类的效用的角度衡量生态系统的价值, 而缺乏从生态系统自身的角度进行客观评估. 首先分析了生态系统内在价值的内涵, 提出基于能值和 eco-exergy 两种系统生态学方法的价值评估框架, 建立了一套海洋生态系统内在价值较为有效的评估方法. 该框架先通过能值计算将生态系统的生物成分、非生物成分及物种多样性转换为能值货币价值, 再通过 eco-exergy 来体现生态系统的结构与功能过程, 并转换为 eco-exergy 货币价值. 最后将该评估框架应用于厦门湾海洋生态系统内在价值的评估. 结果显示 2010 年厦门湾海洋生态系统的本底内在价值为 1.16×10^{11} CNY, 全年创造内在价值为 9.24×10^{10} CNY, 总计 2.09×10^{11} CNY, 远高于生态系统服务价值 7.27×10^9 CNY 和厦门海洋产业 GDP 2.47×10^{10} CNY.

关键词: 海洋环境科学; 生态系统; 内在价值; 评估; 能值; eco-exergy; 厦门湾

DOI: 10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2014. 04. 019

中图分类号: P76

文献标识码: B

文章编号: 2095-4972 (2014) 04-0585-09

海洋丰富的自然资源和巨大的生态系统服务为海岸带地区人类的生存和发展提供了基础和保障. 海洋生态系统价值评估是海洋产业和海岸带开发重要的决策支持工具, 对海洋生态系统价值的科学评估和海洋与海岸带资源的保护和开发至关重要.

目前对于海洋生态系统价值的认识、价值评估方法以及决策支持研究大都基于生态系统服务展开. 这是一种基于古典经济学的效用论的评估体系, 是从生态系统对人类的效用的角度衡量生态系统的价值^[1]; 一般用总经济价值来考察, 主要包括直接使用价值、间接使用价值、选择价值和存在价值^[2], 并且建立了一系列基于偏好的评估方法和生物物理学评估方法^[3].

然而也有一些重要研究开始关注生态系统的内在价值^[3-5]. 内在价值是指“事物自身及其内含的价值, 而与对其他人有用与否无关”^[6]. 内在价值是

一种非功利主义范式的价值^[4]. 在上个世纪 70 年代环境伦理学领域的非人类中心主义者就提出了生态系统的“内在价值”, 经过近 50 年的辩论与发展, 越来越多的学者已经认为自然界的各个方面 (基因、生物体、物种、生物群落以及生态系统) 以及整个自然界都有内在价值^[4]. 千年生态系统评价 (millennium ecosystem assessment, MA)^[4] 提出根据生态系统服务计算出的生态系统价值仅仅是制定生态系统管理决策的基础之一, 应该要把对生态系统内在价值的考虑融入到决策制定之中, 并且提出了用行政度量体系来衡量实体的内在价值, 但由于方法的局限性至今未能赋予实施. 虽然生态系统内在价值越来越得到重视, 但是目前的研究多停留在生态系统内在价值的概念与内含的讨论上, 缺乏对生态系统内在价值评估方法的研究. 尽管生态系统服务评估中的存在价值等略微涉及到内在价值, 但毕竟出发点是基于人类的效用论, 因此完全不能体现

收稿日期: 2014-01-20

基金项目: 科技部海洋公益性行业科研专项资助项目 (200905005-6)

作者简介: 徐虹霓 (1988 ~), 女, 硕士研究生; E-mail: xuhongnixmu@126.com

通讯作者: 张珞平, 男, 教授; E-mail: lpzhang@xmu.edu.cn

生态系统内价值的基础和全貌。

能值(emergy)理论由美国著名生态学家 Odum 在系统生态学、生态能量学和生态经济学思想基础上于 20 世纪 80 年代创立,是一个新的科学概念和度量标准^[7]。目前的应用研究已经涉及到环境、经济、社会等领域,运用于评价地区或系统的环境生态资源^[8-9]、经济投入和发展模式^[10-11]和环境管理、发展计划与政策方面^[12-13]等。

Exergy 理论源自热力学,于 20 世纪 70 年代末被引入生态学领域^[14],eco-exergy 分析方法在生态学领域主要应用于:(1)在生态结构动力学模型中作为目标函数^[15];(2)作为生态学指标(包括评价生态系统健康和生态修复)被广泛应用于湖泊^[16]、河口^[17]和近海^[18]等水生生态系统。此外,eco-exergy 还用于生态资源价值的评估^[19]。

本研究欲在理清生态系统内价值概念基础上,尝试运用能值分析及 eco-exergy 分析工具为生态系统内价值建立一套评估方法体系,最后将该方法应用于厦门湾海洋生态系统价值评估中,以期对海洋与海岸带资源与生态环境的开发保护决策提供更科学的依据。

1 海洋生态系统内价值及其评估方法

1.1 内价值的概念

内价值的概念源于笛卡尔和康德的哲学^[20],对于内价值的定义、内涵及其主体还存在很多争议。现在被大部分环境伦理学家接受的内在价值的 3 种表述是^[6, 21-23]:(1)内价值是非工具价值。工具价值是指某事物因作为实现某目的的手段而具有价值。内价值则为“目的价值”,是其自身而非其结果就是可欲的。例如一个鱼群作为人类或其他种类的食物来源而具有工具价值,这种价值源自对维持这类消耗性群体的贡献。但是假如它不再是人类的食物来源(例如人类没有认识到这个类群可以作为食物),那么这个时候存在的价值就是它的内价值^[5]。(2)内价值是指对象自身具有的“内在属性”。(3)内价值等同于客观价值。客观价值是指它的存在不依赖于有感觉生物的意见、感受等等,它的存在与评价者无关。

生态系统指在一定时间和空间范围内,生物(一个或者多个生物群落)与非生物环境通过能量流动和物质循环所形成的一个相互联系、相互作用并具有自动调节机制的自然整体^[24]。是一个具有层级结构的自组织系统,一个耗散结构系统^[25]。其结构是生态系统内各要素相互联系、作用的方式,包

括营养结构(例如食物链、食物网)和空间结构。具备能量流动、物质循环、信息传递 3 大功能。生态系统是一个动态的系统。一旦受到干扰就能通过大量的正负反馈实现自我调节,达到系统的内稳态。但是这种干扰一旦超过阈值,整个系统可能崩溃^[24]。

综合环境伦理学对内在价值的 3 种表述——非工具性、内在属性、客观价值,以及生态系统的基本概念与内容,我们从自然科学或者生态学角度可以将生态系统内价值理解为:生态系统内价值就是生态系统本身,包括生态系统的成分、结构以及生态过程功能,生态系统的存在就是一种价值,并不是因为对人类有益而被人类赋予价值。

生态系统的总经济价值是基于效用论,即生态系统具有价值是基于生态系统对人类的惠益,不管这种惠益是现在或将来,还是自己或他人受用^[2]。即使为人类非使用的存在价值,即人们知道某一物种或者生态系统存在所获得的满足,即使永远也不会直接利用这些生态系统,人类也赋予这些生态系统价值^[26]。这种价值仍与人的意识有关,是对人类的惠益,是人赋予的价值,是一种外在价值。生态系统的内价值不同于生态系统的总经济价值,与人的评价、感受无关,并不因为人类是否赋予其价值而客观存在。没有生态系统的存在就没有它的服务价值,因此生态系统的内价值是生态系统经济价值或服务价值的基础。

1.2 内价值的评估方法

能量是生态系统运行的动力,物质循环和信息传递都是伴随着能量流动。因此,我们选用能量作为生态系统所有成分、结构及功能过程的表达和价值体现。目前系统生态学和生物物理学最常用的分析工具是能值分析和 exergy 分析^[25]。

1.2.1 能值分析 能值的定义为:一种流动或贮存的能量中所包含的另一种类别能量的数量,称为该能量的能值。进一步理解即:产品或劳务形成过程中直接和间接投入应用的一种有效能量,就是其所具有的能值^[7]。能值实质就是内含能量(embodied energy,也有翻译成“包被能”^[7])。以能值为基准,可以衡量和比较生态系统中不同等级能量的真实价值与贡献。任何形式的能量均源于太阳能,因此在实际应用中以“太阳能值”衡量某一能量的能值。任何资源、产品或劳务形成所需直接和间接应用的太阳能之量,就是其所具有的太阳能值,单位为太阳能焦耳(solar emjoules,即 sej)^[7]。

能值分析中最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^[7 27-28].

$$E_m = E_n \cdot \tau \text{ 或 } E_m = M \cdot \tau \text{ 或 } E_m = S \cdot \tau \quad (1)$$

$$E_{m_s} = E_m / E_{mR} \quad (2)$$

式(1、2)中 E_m 表示能值(sej); E_n 为能量(J); M 为质量(g); S 为物种数; τ 为能值转换率(sej/J 或 sej/g 或 sej/种); E_{m_s} 为能值货币价值(CNY); E_{mR} 为能值货币比率(sej/CNY). 某一产品或劳务具体的能值可以用公式(1)^[7]来计算,将能值转换为货币价值时通过公式(2)^[7]获得.

1.2.2 eco-exergy 分析 exergy 从热力学角度来理解,是指系统从给定状态到与其周围介质达到平衡所能做的最大功^[25]. 目前,我国对于 exergy 还没有统一的翻译,有部分学者将其翻译为“埃三级”、“能质”、“有效能”等^[14]. 鉴于此,本研究直接使用英文表达 exergy. exergy 是一个可以实测的参数,它代表了系统的有序化程度,exergy 越大,则系统组织程度越高,稳定性也越好^[14 29]. 在生态系统研究中,称之为 eco-exergy,是指生态系统从给定状态到与周围介质达到热力学平衡的参考状态所能做的最大总功. 其中参考状态为没有生命的无机混沌体,eco-exergy 为零. eco-exergy 是对系统达到热平衡状态的潜在做功能力的量度,在生物学意义上代表了来自系统所有成分的生物地理化学能,这是一种生物相对环境所具有的自由能^[14 30]. 系统的 eco-exergy 越大,系统的自由能也就越大,意味着外界破坏系统使之恢复到热平衡状态所需的能量就越多. 也说明系统的 exergy 越大,系统的组织性、有序化程度越高,稳定性越强. 在生态系统演替过程中,系统自发地向着 exergy 最大化方向发展^[14 29].

生态系统的 eco-exergy 密度计算通常如下^[30]:

$$Ex_d = E_d \sum_{i=1}^N \beta_i \cdot C_i \quad (3)$$

式(3)中 Ex_d 为 eco-exergy 密度(kJ/m²); E_d 为单位质量碎屑的自由能(kJ/g),一般取 18.7 kJ/g; N 为系统的生物种类; C_i 为生物 i 的密度(g/m²); β_i 值相当于碎屑的权重转换因子,是每种生物相当于碎屑物 eco-exergy 的 eco-exergy 含量,本文采用的 β 值参见文献[30].

本文中欲求 1a 内生态系统的 eco-exergy 值,因此用年生产力代替生物量或生物浓度,年生产力通过生物量乘以周转率求得,然后通过乘以研究区的面积求得整个区域 1a 总的 eco-exergy 值,然后通过 exergy 货币比率换算为 eco-exergy 货币价值,见如下公式^[19].

$$Ex_i = S \cdot E_d \sum_{i=1}^N \beta_i (C_i \cdot R_i) \quad (4)$$

$$Ex_s = Ex_i \cdot Ex_R \quad (5)$$

式(4、5)中 Ex_i 为生态系统 1a 总的 eco-exergy 值(kJ/a); S 为研究区面积(m²); E_d 、 N 、 C_i 和 β_i 的定义同上; R_i 为生物 i 的周转率; Ex_s 为 eco-exergy 货币价值(CNY/a); 而 Ex_R 则表示 exergy 货币比率(CNY/kJ).

能值计算的是系统的存在价值,eco-exergy 计算的是系统的最大做功价值.

1.3 内在价值评估的基本步骤

对一个生态系统的内在价值进行评估,首先要划定边界范围. 本文建议遵循基于生态系统管理的方法划定合适的边界范围^[31].

其次,对研究区生态系统的基本情况进行调查,搜集相关的监测和调查数据、报告和文献资料等,对于生物成分重点搜集生物量数据及周转率数据.

然后通过公式(1)求得系统所有成分及物种多样性的能值,通过公式(4)求得研究区 1a 内的 eco-exergy 值. 再分别通过公式(2)和公式(5)换算为货币价值. 二者相加的结果即为生态系统整年的内在价值的货币表现.

2 厦门湾海洋生态系统内在价值评估

2.1 厦门湾海洋生态系统概况

厦门湾地处中国福建省沿海、台湾海峡西岸、九龙江入海处. 根据生态系统管理原则,依据海洋地形和水动力特征确定厦门湾海洋生态系统研究范围见图 1(厦门湾海洋生态系统仅指厦门湾的海域部分,即平均高潮线以下的水域),其水域面积为 984.36 km²,行政区分属泉州、厦门、漳州市以及金门县管辖^[31]. 厦门湾海域潮汐属于正规半日潮,平均潮差 3.98 m,平均水深为 6.1 m,滩涂(潮间带)面积为 128.6 km²^[32]. 厦门湾物种多样性丰富,截止至 2004 年共记录到海洋生物有 5 713 种^[33]. 2004 年厦门湾建立了以中华白海豚、文昌鱼、白鹭为保护对象的“厦门海洋珍稀物种国家级自然保护区”^[31]. 同时厦门湾周边分布着 210.7 hm²左右的红树林^[34],包括九龙江河口的龙海县红树林自然保护区以及厦门部分海岸的红树林.

2.2 厦门湾海洋生态系统内在价值的评估

厦门湾海洋生态系统的成分包括非生物成分和生物成分. 非生物成分包括太阳、风、雨水、海水、潮汐、波浪、无机营养物质、底质、有机碎屑等. 生物成分包括浮游植物、红树林、浮游动物、大型底栖动物(水

域底层和潮间带)、小型底栖动物、游泳动物(鱼类、头足类、甲壳类等)、海洋哺乳类(白海豚等)、海洋水鸟

类、异养细菌等. 本案例以厦门湾 2010 年的数据为基准, 没有 2010 年数据的以相近年份的替代.

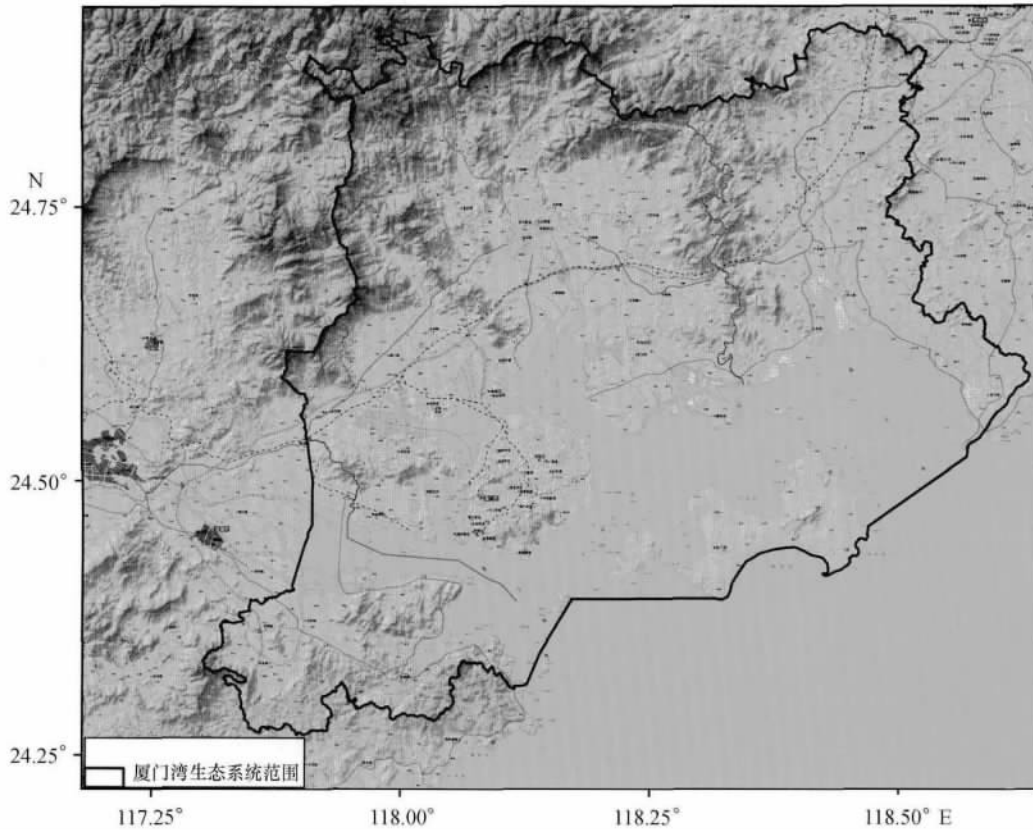


图 1 厦门湾海洋生态系统内在价值评估研究范围

Fig. 1 Spatial boundary of marine ecosystems intrinsic value evaluation in Xiamen Bay

厦门湾海洋生态系统研究范围为图中厦门湾生态系统的海域部分

非生物成分的能量为 2010 年整年数据计算得到, 计算公式可参考能值分析相关文献^[28, 35]. 生物成分通过如下公式计算:

$$E_n = S \cdot C_i \cdot K \cdot R \cdot \varepsilon \quad (6)$$

式(6)中 E_n 为生物能量(J); S 为面积(m^2); C_i 为生物 i 的浓度(g/m^2); K 为生物干重与湿重之比, 一般取 0.2, 若为含碳量与湿重之比, 取 0.1^[29]; R 为生物热值(kcal/g), 一般取 4, 鱼类取 5.5^[36]; ε 为焦耳与卡路里的换算系数, 取 4 186 J/kcal, 浮游动物按 2

$\times 10^4$ J/g^[37] 换算.

能值美元比率取 8.70×10^{12} sej/USD^[7]. 根据 2010 年 1 月 1 日当天的美元对人民币的兑换比率 6.828 2 CNY/USD 换算得到能值人民币比率大约为 1.27×10^{12} sej/CNY. 最后得到非生物成分的能量货币价值约为 3.15×10^9 CNY, 生物成分的约为 4.25×10^9 CNY, 物种多样性的能值货币价值约为 1.09×10^{11} CNY, 合计 1.16×10^{11} CNY(表 1).

表 1 厦门湾海洋生态系统的能值分析

Tab. 1 Energy analysis of marine ecosystems in Xiamen Bay

| 项目 | 成分 | 面积 / $10^8 m^2$ | 生物量* / $g \cdot m^{-2}$ | 总能量 /J | 能值转换率 ^[35] /sej $\cdot J^{-1}$ | 能值 /sej | 能值货币价值 / CNY |
|-------|---------|--------------------|----------------------------|-----------------------|--|-----------------------|--------------------|
| 非生物成分 | 太阳能 | | | 4.81×10^{18} | 1 | 4.81×10^{18} | 3.78×10^6 |
| | 风能 | | | 3.05×10^{15} | 663 | 2.02×10^{18} | 1.59×10^6 |
| | 雨水(化学能) | | | 6.81×10^{15} | 15 444 | 1.05×10^{20} | 8.25×10^7 |
| | 潮汐能 | | | 5.58×10^{16} | 23 564 | 1.31×10^{21} | 1.03×10^9 |
| | 波能 | | | 7.20×10^{16} | 30 550 | 2.20×10^{21} | 1.73×10^9 |

续表 1

| 项目 | 成分 | 面积 /10 ⁸ m ² | 生物量* / g · m ⁻² | 总能量 /J | 能值转换率 ^[35] /sej · J ⁻¹ | 能值 /sej | 能值货币价值 / CNY |
|-------|--------------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---|-----------------------------|-------------------------|
| | 底质 | | | | | 2.57 × 10 ¹⁹ [7] | 2.02 × 10 ⁷ |
| | 海水 | | | 3.05 × 10 ¹⁶ | 4 800 | 1.47 × 10 ²⁰ | 1.15 × 10 ⁸ |
| | 无机营养物质(N、P) | | | | | 2.30 × 10 ¹⁹ c | 1.80 × 10 ⁷ |
| | 生物碎屑 | 9.84 | 1.04 × 10 ^{3a} | 1.71 × 10 ¹⁶ | 11 000 | 1.88 × 10 ²⁰ | 1.48 × 10 ⁸ |
| | 小计 | | | | | | 3.15 × 10 ⁹ |
| 生物成分 | 浮游植物 | 9.84 | 3.36 | 5.54 × 10 ¹³ | 4 700 | 2.60 × 10 ¹⁷ | 2.04 × 10 ⁵ |
| | 红树林 | 0.02 | 4.89 × 10 ⁴ | 1.72 × 10 ¹⁵ | 4 700 | 8.11 × 10 ¹⁸ | 6.36 × 10 ⁶ |
| | 浮游动物 | 9.84 | 0.106 | 2.09 × 10 ¹² | 1.68 × 10 ⁵ [45] | 3.50 × 10 ¹⁷ | 2.75 × 10 ⁵ |
| | 大型底栖动物 | 8.56 | 7.52 | 1.08 × 10 ¹⁴ | 1.30 × 10 ⁷ | 1.40 × 10 ²¹ | 1.10 × 10 ⁹ |
| | 潮间带大型底栖动物 | 1.29 | 138 | 2.96 × 10 ¹⁴ | 1.30 × 10 ⁷ | 3.85 × 10 ²¹ | 3.02 × 10 ⁹ |
| | 小型底栖动物 | 9.84 | 0.046 0 | 7.58 × 10 ¹¹ | 1.30 × 10 ⁷ | 9.85 × 10 ¹⁸ | 7.73 × 10 ⁶ |
| | 鱼类 | 9.84 | 0.144 | 3.26 × 10 ¹² | 3.10 × 10 ⁷ | 1.01 × 10 ²⁰ | 7.94 × 10 ⁷ |
| | 头足类 | 9.84 | 7.40 × 10 ⁻³ | 1.22 × 10 ¹¹ | 3.10 × 10 ⁷ | 3.78 × 10 ¹⁸ | 2.97 × 10 ⁶ |
| | 甲壳类(游泳) | 9.84 | 0.044 8 | 7.38 × 10 ¹¹ | 3.10 × 10 ⁷ | 2.29 × 10 ¹⁸ | 1.80 × 10 ⁷ |
| | 白海豚 | 9.84 | 2.28 × 10 ⁻³ | 3.75 × 10 ¹⁰ | 6.42 × 10 ⁷ [45] | 2.41 × 10 ¹⁸ | 1.89 × 10 ⁶ |
| | 水鸟类 | 9.84 | 8.94 × 10 ⁻³ | 1.47 × 10 ¹¹ | 1.03 × 10 ⁸ | 1.52 × 10 ¹⁹ | 1.19 × 10 ⁷ |
| | 异养细菌 | 9.84 | 0.164 | 2.70 × 10 ¹² | 1.10 × 10 ⁴ | 2.97 × 10 ¹⁶ | 2.33 × 10 ⁴ |
| | 小计 | | | | | | 4.25 × 10 ⁹ |
| 物种多样性 | | 9.84 | 5 713 种 | | 2.43 × 10 ¹⁹ b | 1.39 × 10 ²³ | 1.09 × 10 ¹¹ |
| 合计 | | | | | | 1.48 × 10 ²³ | 1.16 × 10 ¹¹ |

注: * 数据来自文献[31, 33, 38-44]; a: 通过水体、沉积物及红树林底质有机碳含量计算得到; b: 物种的太阳能值转换率为 1.26×10^{25} sej/种^[7], 厦门湾每个物种的太阳能值转换率为 2.43×10^{19} sej/种^[45]; c: 无机营养物质主要核算对生物生长起重要作用的无机氮和活性磷酸盐的能值^[28, 46]; 生物量以干重计, 下同

厦门湾 2010 年的 eco-exergy 基于 2010 年厦门湾生物的年生产力计算, 由式(4)求得厦门湾总的 eco-exergy 值约为 9.67×10^{14} kJ/a, 再乘以 exergy 货币比率 1.40×10^{-5} USD/kJ^[19] 求得厦门湾 2010 年的 eco-exergy 货币价值为 1.35×10^{10} USD, 即 $9.24 \times$

10^{10} CNY(表 2)。

因此, 厦门湾生态系统成分及物种多样性的内在价值(存在价值)为 1.16×10^{11} CNY, 全年系统结构及功能创造的内在价值(做功价值)为 9.24×10^{10} CNY, 总计 2.09×10^{11} CNY。

表 2 厦门湾海洋生态系统的 eco-exergy 分析

Tab. 2 Eco-exergy analysis of marine ecosystems in Xiamen Bay

| 成分 | 面积 /10 ⁸ m ² | 生物量* /g · m ⁻² | 周转率 ^[24, 47-48] /a ⁻¹ | 权重转换 因子 β ^[49] | Ex /kJ · a ⁻¹ | Ex 货币价值 /CNY · a ⁻¹ |
|-----------|---------------------------------------|------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 生物碎屑 | 9.84 | 1.04 × 10 ³ | 1 ^a | 1 | 1.91 × 10 ¹³ | 1.82 × 10 ⁹ |
| 浮游植物 | 9.84 | 3.36 | 230 | 20 | 2.84 × 10 ¹⁴ | 2.72 × 10 ¹⁰ |
| 红树林 | 0.02 | 4.89 × 10 ⁴ | 0.03 ^b | 393 | 2.31 × 10 ¹³ | 2.21 × 10 ⁹ |
| 浮游动物 | 9.84 | 0.106 | 32 | 210 | 1.31 × 10 ¹³ | 1.25 × 10 ⁹ |
| 大型底栖动物 | 8.56 | 7.52 | 6.5 | 200 | 1.56 × 10 ¹⁴ | 1.50 × 10 ¹⁰ |
| 潮间带大型底栖动物 | 1.29 | 138 | 6.5 | 200 | 4.30 × 10 ¹⁴ | 4.11 × 10 ¹⁰ |
| 小型底栖动物 | 9.84 | 0.046 | 6.57 | 133 | 7.40 × 10 ¹¹ | 7.07 × 10 ⁷ |
| 鱼类 | 9.84 | 0.144 | 2 | 499 | 2.64 × 10 ¹² | 2.53 × 10 ⁸ |

续表 2

| 成分 | 面积 /10 ⁸ m ² | 生物量* /g · m ⁻² | 周转率 ^[24, 47-48] /a ⁻¹ | 权重转换 因子 β ^[49] | Ex /kJ · a ⁻¹ | Ex 货币价值 /CNY · a ⁻¹ |
|---------|---------------------------------------|------------------------------|--|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 头足类 | 9.84 | 7.40 × 10 ⁻³ | 3.1 | 310 | 1.31 × 10 ¹¹ | 1.25 × 10 ⁷ |
| 甲壳类(游泳) | 9.84 | 0.044 8 | 5 | 232 | 9.56 × 10 ¹¹ | 9.14 × 10 ⁷ |
| 白海豚 | 9.84 | 2.28 × 10 ⁻³ | 0.045 | 2127 | 4.01 × 10 ⁹ | 3.83 × 10 ⁵ |
| 水鸟类 | 9.84 | 8.94 × 10 ⁻³ | 0.06 | 980 | 9.68 × 10 ⁹ | 9.25 × 10 ⁵ |
| 细菌 | 9.84 | 0.164 | 1 400 | 8.5 | 3.59 × 10 ¹³ | 3.43 × 10 ⁹ |
| 合计 | | | | | 9.67 × 10 ¹⁴ | 9.24 × 10 ¹⁰ |

注: * 数据来自文献[31, 33, 38-44]; a: 没有找到相关参数, 暂且按每年更新一次估算; b: 通过红树林生产力除以生物量计算得到^[50]

2.3 评估方法科学性分析

生态系统内在价值是生态系统非工具的、客观的内在属性, 包括生态系统的成分、结构以及生态过程功能。它强调生态系统的存在本身就是一种价值, 并不会因为人的主观价值判断标准的改变而改变。因此在选取评估方法的时候, 尽量选用生态学的评估手段, 避免以效用论为基础的经济学评估方法。能量是生态系统运行的动力, 物质循环和信息传递都是伴随着能量流动。因此, 我们选用能量作为生态系统所有成分、结构及功能过程的表达和价值体现。能值和 eco-exergy 理论正是建立在能量基础上的。

能值在经济系统和生态系统之间起了一个桥梁作用, 是一个能够评估非市场输入价值的客观手段, 是一个生态中心主义的评估方法, 提供了一个为所有资源或者物质可以比较衡量的标准。生态系统的成分是生态系统一切活动的基础, 所有成分都可以转化为能值。生态系统的结构包括种类组成和物种多样性、群落的空间结构和营养结构, 它是生态系统中各种群在相互作用、协同进化中形成的, 并且是对环境适应性的表现^[24]。一个生态系统演变成丰富的物种需要大量的能值, 这些能值输入到不同分类单元的储藏基因信息中, 因此可以通过能值分析来计算一个系统物种多样性的能值价值。通过能值计算出的系统成分和物种多样性的价值是整个生态系统发展过程中储存的, 是一个系统的静态财富, 或者说财富的本底值(存在价值)。

同时, 生态系统是一个动态发展的耗散系统, 如果没有系统源源不断的吸收能量、合成物质、创造生命, 那么系统的本底值将不断削减直至消失。eco-exergy 代表生态系统的有效能, 是系统的组织性、有序化程度、稳定性、复杂性以及不断再生产而创造价值的量度^[51]。因此, 用 eco-exergy 来体现生态

系统的结构和功能及其做功价值(创造价值)是更为合理的。通过 eco-exergy 评估出来的正是该系统在现有结构与功能状态下创造出的财富。

2.4 生态系统内在价值理论及其评估是对生态系统价值的客观认识

生态系统内在价值是从生态系统自身的角度关注生态系统的价值, 即生态系统作为主体客观存在的价值。而生态系统的总经济价值或服务价值, 关注的是人类能从生态系统获得多少好处, 即生态系统作为客体对主体——人的效用。这是从两种不同的视角来看待和理解生态系统。内在价值的评估基于系统生态学, 将生态系统看做一个整体, 并且以能量来体现生态系统的内在价值。遵循生态系统的规律, 是基于自然本身的评估, 并不会因为人类的主观评判而发生变化。

经济价值以效用论为基础, 核算的是生态系统对人类有益的部分, 对人类无益的物种或生态过程等只是融入在维持物种多样性或支持服务等中, 没有直视它们的价值, 并且多采用支付意愿法、影子工程法等主观判定方法进行评估, 这种评估方法所得价值会随社会经济的发展以及人类认识的变化而改变, 不能体现生态系统的真实价值。因此, 生态系统服务价值评估是人类对生态系统的主观评判, 容易低估生态系统的真实价值。此外, 目前对生态系统服务价值的评估都是将这些服务分门别类进行核算, 忽视了生态系统的整体性, 这样就存在重复计算的问题^[52]。

因此, 生态系统内在价值评估为生态系统价值研究提供了一个新思路、新方法。

2.5 海洋生态系统内在价值评估为海洋决策提供了更科学全面的信息

蔡燕如(2013) 计算得到厦门湾海岸带生态系统服务总价值为 7.27 × 10⁹ CNY/a^[53]。2010 年厦门

市海洋产业(包括临海工业、港口交通运输、滨海旅游和海洋高新技术产业等)全年经济增加值 2.47×10^{10} CNY^[54]。2010年,厦门湾海洋生态系统的内在价值高达 2.09×10^{11} CNY,其中 1.16×10^{11} CNY 为截止到2010年整个系统存储的总价值(存在价值) 9.24×10^{10} CNY 为系统当年创造出来的新价值(做功价值)。总的内在价值是服务价值的28.7倍,是海洋产业的8.5倍;生态系统1a新创造的价值是服务价值的12.7倍,约为海洋产业的3.8倍。

通过海洋生态系统内在价值与海洋生态系统服务价值以及海洋产业产值的比较可以发现,生态系统内在价值远大于服务价值及海洋产业产值,如果仅通过服务价值或海洋产业产值来进行战略决策或管理决策,势必会低估一个区域或系统的生态环境价值。生态系统内在价值是生态系统客观存在的价值,是一切服务价值产生的基础,在决策的时候不仅要考虑生态系统输出产品或服务的多少,更要关注这些产品或服务输出来源的总状态、总能力、总的价值大小,这样才能保证生态系统可持续发展、可持续输出。特别是在衡量社会经济发展对生态系统的影响和损失时,不能仅仅考虑生态系统服务的损失,而必须考虑生态系统内在价值的损失,否则将有可能导致生态系统的损毁,无法确保永续发展。

3 结论

(1) 生态系统内在价值就是生态系统本身,包括生态系统的成分、结构以及生态过程功能,生态

系统的客观存在就是一种价值,并不是因为对人类有益而被人类赋予价值。本文提出的生态系统内在价值的理念遵循了内在价值的基本概念及基础,不同于从人类观点出发的自然的总经济价值或经济价值,是从两种不同视角看待自然的价值。

(2) 本文提出的生态系统内在价值综合评估方法(基于能值和 eco-exergy 两种系统生态学方法)遵循了生态系统的特点及规律,是基于自然本身的评估,是一种客观评估,能体现及表达生态系统的内在价值。该方法成功应用于厦门湾海洋生态系统内在价值的评估,结果显示,2010年厦门湾海洋生态系统存在的内在价值为 1.16×10^{11} CNY,全年创造的内在价值为 9.24×10^{10} CNY,总计 2.09×10^{11} CNY。该评价结果远大于服务价值及海洋产业产值。并且内在价值是一切服务价值产生的基础,因此在决策中不仅要考虑生态系统输出或损失的价值,更要将生态系统内在价值的评估纳入到决策的受益—成本分析框架中,为决策过程提供一个更加科学客观的依据。

(3) 本文提出的生态系统内在价值理论及其评估为生态系统价值研究和海洋与海岸带开发与保护战略决策提供了一个崭新的思路和方法。然而本研究是对生态系统价值进行客观评估的一个初步探索,其理论、方法及实施过程受限于笔者的时间及能力,望今后更多的学者对本领域进行更深入的研究。

参考文献:

- [1] Costanza R, D'arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6 630): 253-260.
- [2] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论,方法与应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [3] TEEB. The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations[M]. Earthscan, London and Washington: TEEB, 2010.
- [4] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment[M]. Washington D C: Island Press, 2003.
- [5] National Research Council. Valuing ecosystem services: toward better environmental decision-making[M]. Washington D C: National Academies Press, 2005.
- [6] 张德昭. 深度的人文关怀: 环境伦理学的内在价值范畴研究[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2006.
- [7] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [8] 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, 29(1): 147-154.
- [9] 钦佩, 黄玉山. 从能值分析的方法来看米埔自然保护区的生态功能[J]. 自然杂志, 1999, 21(2): 104-106.
- [10] Lei K, Wang Z. Emergy synthesis and simulation for Macao[J]. Energy, 2008, 33(4): 613-625.
- [11] Zhang L X, Chen B, Yang Z F, et al. Comparison of typical mega cities in China using emergy synthesis[J]. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2009, 14(6): 2 827-2 836.
- [12] 万树文, 钦佩, 朱洪光, 等. 盐城自然保护区两种人工湿地模式评价[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 759-765.

- [13] Lu H, Campbell D, Chen J, et al. Conservation and economic viability of nature reserves: an emergy evaluation of the Yancheng Biosphere Reserve [J]. *Biological Conservation*, 2007, 139(3/4): 415-438.
- [14] 李晴新, 冯剑丰, 朱琳. 生态能质(eco-exergy)在水生生态系统建模和评价中的应用[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(2): 376-383.
- [15] Zhang J, Gurkan Z, Jørgensen S E. Application of eco-exergy for assessment of ecosystem health and development of structurally dynamic models [J]. *Ecological Modelling*, 2010, 221(4): 693-702.
- [16] Xu F. Exergy and structural exergy as ecological indicators for the development state of the Lake Chaohu ecosystem [J]. *Ecological Modelling*, 1997, 99(1): 41-49.
- [17] 章飞军. 长江河口大型底栖动物生态学研究中的 Exergy 理论的应用 [D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [18] Jørgensen S. Application of exergy and specific exergy as ecological indicators of coastal areas [J]. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 2000, 3(3): 419-430.
- [19] Jørgensen S E. Ecosystem services, sustainability and thermodynamic indicators [J]. *Ecological Complexity*, 2010, 7(3): 311-313.
- [20] 卢风. “内在价值”概念再检讨 [J]. *道德与文明*, 2012(5): 16-20.
- [21] O'neill J. The varieties of intrinsic value [J]. *Monist*, 1992, 75(2): 119-133.
- [22] Sandler R. Intrinsic value, ecology, and conservation [J]. *Nature Education Knowledge*, 2012, 3(10): 4.
- [23] 王海明. 自然内在价值论 [J]. *中国人民大学学报*, 2002(6): 36-43.
- [24] 沈国英, 施并章. 海洋生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [25] Jørgensen S E. Ecosystem ecology [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [26] 彭本荣, 洪华生. 海岸带生态系统服务价值评估: 理论与应用研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [27] Odum H T. Self-organization, transformity, and information [J]. *Science*, 1988, 242(4882): 1132-1139.
- [28] Brown M, Bardi E. Handbook of emergy evaluation folio 3: emergy of ecosystems [M]. Gainesville: Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, 2001.
- [29] Jørgensen S E, Nors Nielsen S. Application of exergy as thermodynamic indicator in ecology [J]. *Energy*, 2007, 32(5): 673-685.
- [30] Jørgensen S E. 系统生态学导论 [M]. 陆健健, 译. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [31] 黄春秀. 海岸带区域决策中生态系统健康评价研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2012.
- [32] 张珞平, 江毓武, 陈伟琪, 等. 福建省海湾数模与环境研究——厦门湾 [M]. 北京: 海洋出版社, 2009.
- [33] 黄宗国. 厦门湾物种多样性 [M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [34] 闫静, 张彩云, 骆炎民, 等. 福建九龙江口红树林变化的遥感监测 [J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2012, 51(3): 426-433.
- [35] 陈洁. 盐城自然保护区湿地生态系统能值分析 [D]. 广州: 华南农业大学, 2003.
- [36] 由文辉, 卢波, 王培潮. 环境温度和食物种类对乌龟幼仔生长和消化的影响 [J]. *动物学研究*, 1993, 14(2): 136-142.
- [37] 聂丹丹, 张波, 金显仕. 黄海中南部浮游动物春季和秋季生化成分及能值分析 [J]. *渔业科学进展*, 2009, 30(1): 8-14.
- [38] 周细平, 蔡立哲, 梁俊彦, 等. 厦门海域大型底栖动物次级生产力的初步研究 [J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2008, 47(6): 902-906.
- [39] 余兴光, 刘正华, 马致远. 九龙江河口生态环境状况与生态系统管理 [M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
- [40] 张玉红, 王彦国, 林荣澄, 等. 厦门东海域和安海湾小型底栖动物的密度和生物量 [J]. *台湾海峡*, 2009, 28(3): 386-391.
- [41] 金亮. 九龙江口秋茄红树林生态系统的碳吸存与碳平衡 [D]. 厦门: 厦门大学, 2012.
- [42] 黄良敏, 谢仰杰, 张雅芝, 等. 厦门海域渔业资源现存量评析 [J]. *集美大学学报: 自然科学版*, 2010, 15(2): 81-87.
- [43] 郑天凌, 王斐, 徐美珠, 等. 台湾海峡海域细菌产量, 生物量及其在微食物环中的作用 [J]. *海洋与湖泊*, 2002, 33(4): 415-423.
- [44] 孙秀武, 林彩, 黄海宁, 等. 夏季台湾海峡及邻近海域总有机碳含量的分布特征和影响因素 [J]. *台湾海峡*, 2012, 31(1): 12-19.
- [45] 孟范平, 李睿倩. 基于能值分析的滨海湿地生态系统服务价值量化研究进展 [J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(1): 74-80.

- [46] 张一帆. 海岸带区域决策中的海洋环境质量评价方法研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2012.
- [47] 陈作志, 邱永松. 南海北部生态系统食物网结构、能量流动及系统特征[J]. 生态学报, 2010, 30(18): 4 855-4 865.
- [48] 王雪辉, 杜飞雁, 邱永松, 等. 大亚湾海域生态系统模型研究 I: 能量流动模型初探[J]. 南方水产, 2005, 1(3): 1-8.
- [49] Jørgensen S E, Ladegaard N, Debeljak M, et al. Calculations of exergy for organisms[J]. Ecological Modelling, 2005, 185(2): 165-175.
- [50] 林鹏, 胡宏友, 郑文教, 等. 深圳福田白骨壤红树林生物量和能量研究[J]. 林业科学, 1998, 34(1): 18-24.
- [51] Silow E A, Mokry A V, Jørgensen S E. Eco-exergy use for ecosystem health assessment[J/OL]. (2011-06-17) [2014-01-20]. http://leme.u-paris10.fr/exergy/files/17_06_11/SilowA.pdf.
- [52] Wallace K J. Classification of ecosystem services: problems and solutions[J]. Biological Conservation, 2007, 139(3/4): 235-246.
- [53] 蔡燕如. 海湾海岸带主体功能区划生态补偿研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2013.
- [54] 厦门市地方志编纂委员会办公室. 厦门年鉴[M]. 北京: 中华书局, 2011.

Evaluation of marine ecosystem intrinsic value —— a case study of Xiamen Bay

XU Hong-ni, SHENG Hua-xia, ZHANG Luo-ping

(College of the Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361102, China)

Abstract: Scientific evaluation on the ecosystems of marine and coastal zones plays an important role in supporting the strategic decision-making in marine and coastal zone management. So far the most popular methods for ecosystem valuation are ecosystem services valuation which base on the utility of ecosystems to human being. And there are no any approaches and methods that focus on the evaluation based on ecosystems themselves. In this paper the definition of ecosystem intrinsic value was identified. The approach and methods for the objective evaluation of marine ecosystem intrinsic value were developed based on emergy and eco-exergy analysis, and then applied to Xiamen Bay. Emergy valuation was applied to intrinsic valuation of components and species diversity of marine ecosystems. Then eco-exergy analysis was used to measure the structures and functions of ecosystems. The results showed that, in 2010, marine ecosystem intrinsic value in Xiamen Bay was 2.09×10^{11} CNY, including 1.16×10^{11} of emergy and 9.24×10^{10} of eco-exergy, which is much higher than 7.27×10^9 CNY of the value of ecosystem service and 2.47×10^{10} CNY of GDP of Xiamen Marine Industry in 2010.

Key words: marine environmental science; ecosystem; intrinsic value; evaluation; emergy; eco-exergy; Xiamen Bay

DOI: 10.3969/J. ISSN.2095-4972.2014.04.019

(责任编辑: 杜俊民)