

DOI: 10.5846/stxb201304080629

赵晟, 李梦娜, 吴常文. 舟山海域生态系统服务能值价值评估. 生态学报, 2015, 35(3): 678-685.

Zhao S, Li M N, Wu C W. Emergy valuation of ecosystem services in the Zhoushan marine area. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 678-685.

## 舟山海域生态系统服务能值价值评估

赵 晟\*, 李梦娜, 吴常文

国家海洋设施养殖工程技术研究中心, 浙江海洋学院, 舟山 316000

**摘要:** 能值作为一种以生态系统为中心的量化方法, 其核心建立在对生态系统的各种输入分析基础之上, 是一种典型的供给者方法。而生态系统服务属于系统的输出, 是人类获得的福祉, 辨别及量化生态系统服务(生态系统输出)的方法称之为使用者方法。以海域生态系统的供给、调节、文化和支持四类服务体系框架为基础, 以生态系统的输出(生态系统服务)为出发点, 计算了舟山海域生态系统服务的能值货币价值, 为运用能值方法(供给者方法)来量化生态系统服务(使用者方法)提供一种新的思路。结果表明: 舟山海域生态系统服务单位面积年能值货币价值为 1.1297 能值元/m<sup>2</sup>。在所评价的四类生态系统服务价值中, 支持服务占总价值的 55.00%, 其次是文化服务占总价值的 20.82%, 调节服务占总价值的 20.08%, 供给服务最小, 仅占总价值的 4.09%。研究结果为开发、利用、管理舟山海域生态系统提供了重要的信息。

**关键词:** 海域生态系统; 生态系统服务; 能值评估; 舟山

## Emergy valuation of ecosystem services in the Zhoushan marine area

ZHAO Sheng\*, LI Mengna, WU Changwen

National engineering research center of marine facilities aquaculture, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China

**Abstract:** Marine ecosystems provide a variety of ecological functions that directly or indirectly translate to economic services and values to humans in the Zhoushan marine area. These ecological functions support fish populations that constitute a significant source of protein, sustain ecosystem stability by conserving biodiversity and mitigating climate change through carbon sequestration, act as sinks for byproducts of industrial or agricultural production, and provide recreational and aesthetic benefits. However, ecosystem services have not been fully recognized or adequately quantified in past accounts of economic or social development. Rapid population growth and human development, such as reclaiming land from the sea and over-exploitation of marine resources, have resulted in degradation of resources, which in turn affects delivery of ecosystem functions and services.

We present a possible approach to using the emergy method (a donor-side approach) by valuing the ecosystem services (a user-side approach). This paper classifies the ecosystem goods and services provided by the Zhoushan marine area into four categories: production services, regulating services, cultural services, and supporting services. We performed this study on the valuation of eight marine ecosystem services: food provision, climate regulation, gas regulation, water quality purification, education and science research, biological control and biodiversity maintenance.

Using the method of emergy analysis, this paper estimated the emergy value of ecosystem services in the Zhoushan marine area. Emergy synthesis is viewed as a “donor-side” evaluation approach because it values items based on energetic inputs, as opposed to consumer preferences. The use of the emergy synthesis method to value ecosystem services provides a stronger basis for management policies as it ensures that the global dynamics of the biosphere are taken into proper account

**基金项目:** 国家自然科学基金 (40971295, 41001001, 41206088); 浙江省科技厅项目 (2009C33083); 国际科技合作项目 (2009DFB20290, 2010DFA32920)

**收稿日期:** 2013-04-08; **网络出版日期:** 2014-04-03

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaosh@zjou.edu.cn

from a “donor-side” perspective. The concept of the “donor-side” is based on the analysis of ecosystems by considering inputs. Emergy synthesis identifies the value of the natural resource in terms of its “donor-side” value. This value then can be used to understand the environmental work needed directly or indirectly to generate a resource, goods, or flow of an economic product.

Ecosystem services are the conditions and processes through which natural ecosystems, and the species that comprise them, sustain and fulfill human life. These “outputs” of the ecosystem provide the goods and services to be directly or indirectly used, or to provide benefits for humans and other species. An ecosystem services approach is a “user-side” approach that has recently been developed and describes ecosystems in terms of their useful outputs. In such “user-side” approaches it is important to define the user, mainly to identify which outputs to consider and the criteria that guide this consideration. Taking this approach, the outputs of systems are related to ecosystem functions, which provide services to be used by humans. This view of the use of ecosystems means that services are valued by means of environmental economic methodologies. These approaches most often assess only non-renewable resources, depending on what human technologies are able to extract from them (a user-side view). In contrast, emergy synthesis is a “donor-side” value approach, and our approach here attempts to combine the two. The calculation of value is related to the work done by ecosystems to produce goods and services that support the economy. The emergy synthesis approach is not an alternative method used to value the ecosystem services. Instead, it is a supplementary and systemic approach to highlight the mechanisms through which services are produced by different systems.

Starting with energy and matter flowing out of an ecosystem (user-side), we present our method in a very schematic way. We use the emergy evaluation (donor-side) approach to quantify marine ecosystems services (output, user-side) in the Zhoushan marine area. The emergy method has been established as a way to properly value ecosystem services. As a “donor-side” approach, the emergy method provides an eco-centric value based on the input that supports a system, rather than the output (ecosystem services) that is useful for humans. The latter approach has been criticized as possibly being erroneous for valuing ecosystem services.

In this paper, the mass or the matter that is related to the ecosystem services (output) was translated to a common unit using the emergy method. The results indicated that the total emergy economic value of ecosystem services in the Zhoushan marine area was 1.1297 Em ¥/m<sup>2</sup>. These indicative results from the valuation of a few services in the Zhoushan marine ecosystem suggest that the marine area is of significant importance to humans.

**Key Words:** marine ecosystems; ecosystem services; emergy valuation; Zhoushan

近年来,随着社会经济的发展、人口的增长以及人口向海岸带地区集中的大趋势使近岸海域生态系统承受的压力日益增大,许多生态系统服务正在锐减,直接影响到人类的生活和社会发展<sup>[1]</sup>。从学术界看,了解并恰当估价生态系统服务已成为研究热点之一<sup>[2-11]</sup>。从政府部门来看,对于海域生态系统服务的质量与可持续性也越来越重视,生态系统服务理论将成为指导海域生态建设和生态规划的重要理论之一<sup>[12]</sup>。认识到生态系统服务的重要性后,就需要寻找适合的量化方法。通过货币来衡量生态系统服务的价值,其结果比较容易被决策者和普通大众所接受,能够为政府部门决策提供科学的依据。但对货币评估的合理性还存在很多争议<sup>[13-15]</sup>。主要原因是大多数生态系统服务或产品缺少市场价格,即使有,也不是生态系统服务价值的真实反映<sup>[16]</sup>。因此,H.T. Odum<sup>[17]</sup>认为货币仅仅支付的是人类活动的贡献,而生态系统的贡献并未在货币价值中体现,他认为最佳的评价方式是以能量作为共同的评价标准。

H.T. Odum<sup>[18-20]</sup>利用能量系统理论发展了一套完整的生态经济系统评价方法,即能值综合方法,以能值为共同单位为评估系统中不同类型的能量与物质流动提供一种有效的工具。能值是“一种流动或储存的能量所包含的另一种类别能量的数量,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,单位是太阳能值焦耳(seJ)”<sup>[20]</sup>。能值转换率用来表示系统中不同能量类别的能量的品质,即产生一单位能量所需要的另一种类型的能量的量,即单位某种能量所含能值之量<sup>[19]</sup>。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,太阳能焦耳/克(seJ/J, seJ/g)。一旦某种能量类型的能值转换率知道了,就可以用下式来计算其能值:能值=能量(J)×能值转换率(seJ/J)。能值也可以表示为公众熟悉的货币价值,即能值货币价值(Em\$, 或 Em¥)。其计算方法是将输入经济系统或经济生产活动的某种能值的量除以能值货币比率。能值货币价值是系统真正财富的衡量,不仅包括支付给人类劳动的价值,还包括了生态系统提供的各种服务。有关能值综合分析方法详细论述见<sup>[20-25]</sup>。本文以 Millennium Ecosystem Assessment (MA)<sup>[26]</sup>, Beaumont 等人<sup>[6]</sup>和 Hein 等人<sup>[27]</sup>有关生态系统服务框架为基础,通过能值分析方法,评估了舟山海域生态系统服务的能值货币价值。

## 1 方法

能值方法的出发点是将系统看成是由外界各种能量和物质不断输入来维持其正常运作的一个等级系统,各种外界输入的能量或物质的数量和质量可通过能值转换率转变成统一的能值单位——能值(seJ),然后以能值为共同单位来对系统进行描述、分析。因此,能值分析是一种建立在对系统各种输入进行评估的方法,称之为供给者方法<sup>[28-30]</sup>。生态系统功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用<sup>[31]</sup>,这些功能可以为人类直接或间接提供各种产品和服务,人类获得的这些产品和服务是生态系统的输出,各种量化生态系统服务(生态系统输出)的方法称之为使用者方法。很多学者认为能值是评估生态系统服务的一种非常有效的方法<sup>[32-34]</sup>;同时,一些学者认为<sup>[35-36]</sup>,能值评估生态系统服务时是建立在对生态系统的各种输入分析的基础上,而生态系统服务属于系统的输出,是人类从中获得的福祉(或者说人们愿意为此服务进行支付)。因此,他们认为能值评估实际上并没有对人类从生态系统服务(系统输出)中获得的各种效益进行评估,用能值来评估生态系统服务可能并不是一个正确的选择<sup>[37]</sup>。本文,以生态系统输出端(即生态系统服务)为出发点,构建了以能值方法为基础的生态系统服务价值评估方法(图1)。

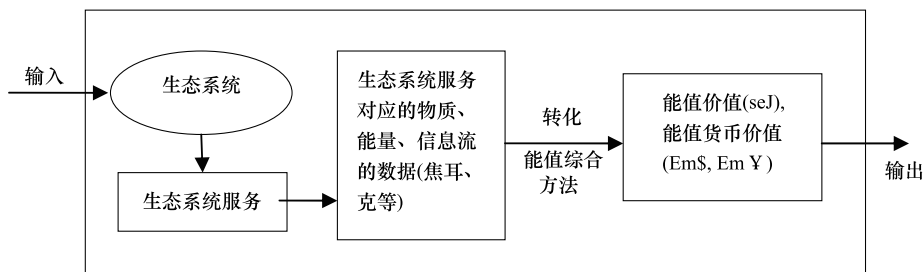


图1 基于能值综合方法的生态系统服务价值评估框架图

Fig.1 The schematic valuation of ecosystem services based on emergy

首先确定人类从海域生态系统中获得的各种服务的种类及数量。因为每一种生态系统服务总是会同某种(一个或多个)生态系统过程或功能相联系,而这种过程总是同一定的物质、能量、信息流相联系,所以这些物质、能量或信息的具体数量(比如当衡量供给服务时,用人们获得的产品的产量来衡量)就可以作为量化生态系统服务的数据基础。其次,将这些收集到的数据与各自的能值转换率相乘,就可以将这些不同类型的数据转换成相同的单位——能值,能值除以能值货币比率,得到能值货币价值,并以此数值作为生态系统服务的价值。下面以海域生态系统的供给、调节、文化和支持四类服务为基础,构建了生态系统服务的能值货币价值评估方法。

### (1) 食品生产(供给服务)

食品生产是指海域生态系统为人类提供可食用产品的服务。食品生产服务具体包括提供各种海产鱼类、贝类、蟹类、虾类、头足类、棘皮类、大型和微型藻类以及其它可食用的海产食品。

其计算公式为:

$$V_f = \left( \frac{Q \times T_s}{Emr} \right) / S_0 \quad (1)$$

式中,  $V_f$  为单位面积海域食品生产服务的能值货币价值(能值元, Em ¥);  $Q$  为研究海域海产品的产量;  $T_s$  为海产品的能值转化率;  $Emr$  为能值货币比率;  $S_0$  为研究海域的面积。

#### (2) 气候调节(调节服务)

海域生态系统对气候的调节服务主要体现对大气中温室气体含量的调节, 全球众多的研究均表明,  $\text{CO}_2$  对全球气温升高的贡献居各种温室气体之首<sup>[38]</sup>。Melillo 等<sup>[39]</sup>的研究显示  $\text{CO}_2$  的这一贡献高达 70%。所以在评估海域生态系统的气候调节服务时, 考虑海域生态系统对大气中  $\text{CO}_2$  含量的调节服务。

其计算公式:

$$V_c = \left( \frac{C \times T_c}{Emr} \right) / S_0 \quad (2)$$

式中,  $V_c$  为单位面积海域气候调节服务的能值货币价值(能值元, Em ¥);  $C$  为研究海域  $\text{CO}_2$  的固定数量;  $T_c$  为  $\text{CO}_2$  的能值转换率;  $Emr$  为能值货币比率;  $S_0$  为研究海域的面积。

#### (3) 气体调节(调节服务)

该服务的评估主要考虑海域生态系统对  $\text{CO}_2$  的吸收和初级生产者通过光和作用产生  $\text{O}_2$  对维持大气化学组分稳定的价值。其中对  $\text{CO}_2$  吸收的价值在气候调节服务中已经计算, 故在此只考虑产生氧气的能值价值。其计算公式为:

$$V_a = \left( \frac{Q_{\text{O}_2} \times T_{\text{O}_2}}{Emr} \right) / S_0 \quad (3)$$

式中,  $V_a$  为单位面积海域气体调节服务的能值货币价值(能值元, Em ¥);  $Q_{\text{O}_2}$  为研究海域产生的氧气量;  $T_{\text{O}_2}$  为氧气的能值转化率;  $Emr$  为能值货币比率;  $S_0$  为研究海域的面积。

#### (4) 生物控制(调节服务)

海域生态系统的生物控制服务正常发挥作用时, 人们不易察觉。只有当这一服务被削弱或受损时, 才会有明显的感受(例如赤潮发生等)。通过渔业资源最大可持续产量来评估这一服务的价值<sup>[40]</sup>。在海域生态系统物质循环和能量流动中, 各营养级生物存在“上行效应”和“下行效应”。此方法正是利用较低营养级生物对渔业资源发挥的调控作用, 来评估整个海域生态系统的生物控制服务价值。这一方法的基础是基于渔业的资源量评估, 较低营养级生物对渔业资源所发挥的调控作用价值至少是潜在渔业资源量价值的 30%<sup>[4]</sup>。具体计算公式为:

$$V_{bc} = \left( \frac{Q_{pc} \times T_f \times 30\%}{Emr} \right) / S_0 \quad (4)$$

式中,  $V_{bc}$  为单位面积海域生物控制服务的能值货币价值(能值元, Em ¥);  $Q_{pc}$  为研究海域潜在渔业资源量;  $T_f$  为渔获物的能值转化率;  $Emr$  为能值货币比率;  $S_0$  为研究海域的面积。

#### (5) 教育科研(文化服务)

海域生态系统的教育科研价值体现在通过开展海洋科学研究、普及海洋知识、培养海洋人才等教育科研活动所带来的国民经济的增长和人民福利的提高。从海洋基础理论研究和软科学研究和海洋教育两个方面来评估海域生态系统的教育科研价值。

##### 1) 海洋基础理论研究

海洋基础理论研究以发表科技论文为主要的成果体现形式。具体计算公式:

$$V_p = \left( \frac{Q_p \times T_p}{Emr} \right) / S_0 \quad (5)$$

式中,  $V_p$  为单位面积海域基础研究能值货币价值(能值元, Em ¥);  $Q_p$  为涉及研究海域的论文数量;  $T_p$  为论文的能值转化率;  $Emr$  为能值货币比率;  $S_0$  为研究海域的面积。

## 2) 海洋教育

广义地讲, 海洋教育包括学校教育、公众宣传等不同类型。在本评估中, 仅考虑海洋相关专业的普通高等教育, 用它来代表海域生态系统在海洋教育方面的价值。具体计算公式:

$$V_s = \left( \frac{Q_s \times T_s}{Emr} \right) / S_0 \quad (6)$$

式中,  $V_s$  为单位面积海域海洋教育能值货币价值(能值元, Em ¥);  $Q_s$  为研究海域高校海洋相关专业在校学生人数;  $T_s$  为学生能值转化率;  $Emr$  为能值货币比率;  $S_0$  为研究海域的面积。

## (6) 废弃物处理(支持服务)

海域生态系统的废弃物处理功能主要是指其对各种排海废弃物的降解、转化和消除的能力。这些废弃物主要是人类活动产生的各种排海废水。根据我国多年的海洋环境质量公报, 均表明无机氮和活性磷酸盐始终是我国海域的主要污染物。海域生态系统中的浮游藻类, 在初级生产的同时, 可以吸收固定海水中的氮和磷, 对处理氮、磷等污染物发挥作用。因此, 这里考虑浮游植物吸收氮磷的量作为计算基础数据。具体计算公式:

$$V_w = \left( \frac{Q_w \times T_w}{Emr} \right) / S_0 \quad (7)$$

式中,  $V_w$  为单位面积海域废弃物处理服务的能值货币(能值元, Em ¥)价值;  $Q_w$  为研究海域浮游植物吸收氮(磷)的数量;  $T_w$  为氮(磷)的能值转化率;  $Emr$  为能值货币比率;  $S_0$  为研究海域的面积。

## (7) 物种多样性维持(支持服务)

海域生态系统通过其组分与生态过程维持物种多样性水平的服务。这一服务主要包括海域生态系统维持自身物种组成、数量的稳定, 为系统内物质循环和能量流动提供生物载体, 并对其它服务的供给提供支撑。具体计算公式:

$$V_d = \left( \frac{Q_d \times T_d}{Emr} \right) / S_0 \quad (8)$$

式中,  $V_d$  为单位面积海域物种多样性维持的能值货币价值(能值元, Em ¥);  $Q_d$  为研究海域物种种类数量;  $T_d$  为物种的能值转化率;  $Emr$  为能值货币比率;  $S_0$  为研究海域的面积。

## 2 结果——案例研究

舟山海域(行政区属舟山市)位于我国海岸线的中部, 浙江省的东北部, 长江、钱塘江、甬江三江入海口, 是江海联运和长江流域走向世界的主要海上门户。地理位置介于  $29^{\circ}32' - 31^{\circ}04'N$ ,  $121^{\circ}30' - 123^{\circ}25'E$  之间, 海域面积  $20800 \text{ km}^2$ , 海岸线漫长, 总长度达  $2448 \text{ km}$ 。海域内盛产鱼、虾、贝、藻类等海水产品 500 多种, 是全国最大的渔场。根据第 2 节的公式(1—8), 对舟山海域的食品生产、气候调节、气体调节、生物控制、教育科研、废弃物处理和物种多样性等服务的能值货币价值进行了计算(表 1)。

### (1) 食品生产(供给服务)

2007 年舟山市海水养殖总产量为  $115861 \text{ t}$ (舟山 2008 年统计年鉴), 海产品能值转换率  $3.35 \times 10^6 \text{ seJ/J}^{[42]}$ , 根据公式(1)计算得到单位面积海域食品生产的能值货币价值为  $0.0462 \text{ Em ¥/m}^2$ 。

### (2) 气候调节(调节服务)

根据李国胜等人<sup>[43]</sup>关于东海初级生产力研究, 舟山海域的年平均初级生产力大于  $400 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ , 本文采用  $400 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  作为舟山海域初级生产力的最低保守值, 则每年单位面积固定  $\text{CO}_2$  量为  $400 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ,  $\text{CO}_2$  能值转换率  $8.85 \times 10^7 \text{ seJ/g}^{[44]}$ , 根据公式(2)计算气候调节的能值价值为  $3.96 \times 10^8$  元, 单位面积海域气候调节的能值货币价值为  $0.0191 \text{ Em ¥/m}^2$ 。

表 1 舟山海域生态系统服务能值价值  
Table 1 Emery valuation of ecosystem services in Zhoushan marine area

| 海洋生态系统服务<br>Marine Ecosystem Services | 原始数据<br>Raw data | 能值转化率<br>Transformity/<br>(seJ/unit) | 能值<br>Emergy/<br>(seJ) | 能值价值<br>Emdollars value/<br>(Em ¥/a) | 单位面积<br>能值价值<br>Emdollars Value<br>per unit area/<br>(Em ¥/m <sup>2</sup> ) | 价值比例<br>Ratio/% |
|---------------------------------------|------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 供给服务<br>Supply service                | 食品生产             | $5.33 \times 10^{14}$ J              | $3.35 \times 10^6$     | $1.79 \times 10^{21}$                | $9.62 \times 10^8$                                                          | 0.0462          |
| 调节服务<br>Regulating services           | 气候调节             | $8.32 \times 10^{12}$ g              | $8.85 \times 10^7$     | $7.37 \times 10^{20}$                | $3.96 \times 10^8$                                                          | 0.0191          |
|                                       | 气体调节             | $6.07 \times 10^{12}$ g              | $8.65 \times 10^7$     | $5.26 \times 10^{20}$                | $2.83 \times 10^8$                                                          | 0.0136          |
|                                       | 生物控制             | $2.24 \times 10^{15}$ J              | $3.35 \times 10^6$     | $7.51 \times 10^{21}$                | $4.04 \times 10^9$                                                          | 0.1942          |
| 文化服务<br>Cultural services             | 科研论文             | 493.2 篇                              | $1.17 \times 10^{18}$  | $5.78 \times 10^{20}$                | $3.11 \times 10^8$                                                          | 0.0150          |
|                                       | 海洋教育             | 17783 人                              | $4.79 \times 10^{17}$  | $8.51 \times 10^{21}$                | $4.58 \times 10^9$                                                          | 0.2203          |
| 支持服务<br>Support services              | 营养元素 N           | $1.47 \times 10^{12}$ g              | $1.51 \times 10^9$     | $2.21 \times 10^{21}$                | $1.19 \times 10^9$                                                          | 0.0572          |
|                                       | 营养元素 P           | $2.03 \times 10^{11}$ g              | $1.36 \times 10^{10}$  | $2.75 \times 10^{21}$                | $1.48 \times 10^9$                                                          | 0.0713          |
|                                       | 物种多样性            | 1163 种                               | $1.64 \times 10^{19}$  | $1.91 \times 10^{22}$                | $1.03 \times 10^{10}$                                                       | 0.4929          |
| 合计 Total                              |                  |                                      | $4.37 \times 10^{22}$  | $2.35 \times 10^{10}$                | 1.1297                                                                      | 100             |

能值货币比率:  $1.2080 \times 10^{13}$  seJ/ \$<sup>[41]</sup>, 人民币美元汇率: 1 \$ = 6.5 ¥

### (3) 气体调节(调节服务)

根据李国胜<sup>[43]</sup>的研究结果,舟山海域的年平均初级生产力大于  $400 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ,本文采用  $400 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 作为舟山海域初级生产力的最低保守值,则每年单位面积释放氧气  $292 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ,氧气能值转换率  $8.65 \times 10^7 \text{ seJ/g}$ <sup>[45]</sup>,根据公式(3)计算气体调节的能值货币价值为  $2.83 \times 10^8 \text{ Em ¥}$ ,单位面积海域气体调节能值货币价值为  $0.0136 \text{ Em ¥/m}^2$ 。

### (4) 生物控制(调节服务)

根据倪海儿等<sup>[46]</sup>研究结果,舟山海域最大可持续渔业资源量为  $48.6678 \times 10^4 \text{ t/a}$ ,海产品能值转换率  $3.35 \times 10^6 \text{ seJ/J}$ <sup>[42]</sup>,根据公式(4)计算生物控制的能值货币价值为  $4.04 \times 10^9 \text{ Em ¥}$ ,单位面积海域生物控制能值货币价值为  $0.1942 \text{ Em ¥/m}^2$ 。

### (5) 教育科研(文化服务)

在中国期刊全文数据库(<http://www.edu.cnki.net/newweb/>)中,以舟山海域为主题词检索 2006 年到 2010 年 5 年期间发表的学术论文,检索结果共计 2466 篇,平均每年 493.2 篇,以这些学术论文的能值货币价值作为海洋基础理论研究的服务价值,论文的能值转换率  $1.17 \times 10^{18} \text{ seJ/篇}$ <sup>[47]</sup>,根据公式(5)单位面积海域的海洋基础研究能值货币价值为  $0.0150 \text{ Em ¥/m}^2$ 。

根据舟山市统计年鉴,2007 年舟山高校海洋相关专业在校学生人数为 17783 人,学生的能值转换率  $4.79 \times 10^{17} \text{ seJ/人}$ <sup>[42]</sup>,根据公式(6)计算海洋教育的能值货币价值为  $4.58 \times 10^9 \text{ Em ¥}$ ,单位面积海域的海洋教育能值货币价值为  $0.2203 \text{ Em ¥/m}^2$ 。

上述 2 项代表了教育科研的服务价值,小计为  $4.89 \times 10^9 \text{ Em ¥}$ ,单位面积海域能值货币价值为  $0.2352 \text{ Em ¥/m}^2$ 。

### (6) 废弃物处理(支持服务)

Redfield 等的研究发现,浮游植物是按一定比例从海水中吸收氮、磷等生源要素的<sup>[48]</sup>。这一比例为 C:N:P=106:16:1,即浮游植物固定 1 mol C 的同时还吸收了 16 mol 的 N 和 1 mol 的 P。根据舟山海域初级生产固定碳量  $400 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ,即可得出浮游植物吸收的氮、磷量分别为  $70.44 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 和  $9.75 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。氮、磷的能值转换率分别为  $1.51 \times 10^9 \text{ seJ/g}$ 和  $1.36 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$ <sup>[49]</sup>,根据公式(7)计算废物处理的能值货币价值为  $2.67 \times 10^9 \text{ Em ¥}$ ,单位面积海域废物处理的能值货币价值为  $0.1285 \text{ Em ¥/m}^2$ 。

### (7) 物种多样性维持(支持服务)

舟山海域海洋生物种类共 1163 种(《舟山海域海洋生物志》),海洋生物能值转换率  $1.64 \times 10^{19}$  seJ/种<sup>[50]</sup>,根据公式(8)计算得到物种多样性维持的能值货币价值为  $1.03 \times 10^{10}$  Em ¥,单位面积海域的物种多样性维持的能值货币价值为  $0.4929$  Em ¥/m<sup>2</sup>。

从表 1 中可见,舟山海域单位面积生态系统服务的能值货币价值为  $1.1297$  Em ¥/m<sup>2</sup>。其中,支持服务最大,其值为  $0.6214$  Em ¥/m<sup>2</sup>,占总价值的 55.00%,说明支持服务是舟山海域最主要的生态系统服务。其次是文化服务为  $0.2352$  Em ¥/m<sup>2</sup>,占总价值的 20.82%,调节服务  $0.2269$  Em ¥/m<sup>2</sup>,占总价值的 20.08%,供给服务相对比较小,只有  $0.0462$  Em ¥/m<sup>2</sup>,只占总价值的 4.09%。

### 3 结论

近年来,舟山市初步形成了以临港工业、港口物流、海洋旅游、现代海洋渔业等以“海”为核心的开放型经济体系。2011 年舟山群岛国家级新区获国务院批准,其定位为海洋经济发展的先导区、海洋综合开发试验区和长江三角洲地区经济发展的重要增长极。可以预见,未来舟山海域生态系统将面临更多的来自人类经济系统的压力,对其服务价值进行量化,可以使人们充分认识和理解海域生态系统服务对人类发展的重要性,为海洋资源可持续利用、政府管理决策和舟山群岛新区海洋经济发展提供有价值信息。从宏观角度来说,服务价值量化可以让我们进一步认识到海域生态系统对于人类发展的重要性,在制定区域经济社会发展规划中(比如人类活动造成的生态系统服务价值的损失、自然资本的退化等引入区域环境经济综合核算体系)认识到海洋环境问题的重要性。从微观角度来说,可以使我们更好地了解具体的涉海工程实施所带来的全部成本(包括海域生态系统损失)和效益。对生态系统服务价值进行全面的量化,可以促进决策者更好的管理生态系统使其不断地提供有价值的产品和服务。

### 参考文献(References):

- [1] Lotze H K, Lenihan H S, Bourque B J, Bradbury R H, Cooke R G, Kay M C, Kidwell S M, Kirby M X, Peterson C H, Jackson B C. Depletion, degradation, and recovery Potential of estuaries and coastal seas. *Science*, 2006, 312(5781): 1806-1809.
- [2] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京:中国人民大学出版社, 2008.
- [3] Zhang B, Li W H, Xie G D. Ecosystem services research in China: progress and perspective. *Ecological Economics*, 2010, 69(7): 1389-1395.
- [4] Costanza R, d'Arge R, de Groot R S, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [5] Beaumont N, Townsend M, Mangi S, Austen M C. Marine biodiversity: an economic valuation. Defra report, UK, presented at BIO.ECON 2007, Cambridge (UK). [2 013-06-20]. [http://www.defra.gov.uk/science/Project\\_Data/DocumentLibrary/WC04029\\_4013\\_FRP.pdf](http://www.defra.gov.uk/science/Project_Data/DocumentLibrary/WC04029_4013_FRP.pdf).
- [6] Beaumont N J, Austen M C, Atkins J P, Burdon D, Degraer S, Dentinho T P, Deros S, Holm P, Horton T, van Ierland E, Marboe A H, Starkey D J, Townsend M, Zarzycki T. Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: Implications for the ecosystem approach. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, 54(3): 253-265.
- [7] Costanza R, Perez-Maqueo O, Luisa M M, Sutton P, Anderson S, Mulder K. The value of coastal wetlands for hurricane protection. *Ambio*, 2008, 37(4): 241-248.
- [8] Schroter D, Cramer W, Leemans R. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, 2005, 310(5752): 1333-1337.
- [9] 王其翔,唐学玺. 海洋生态系统服务的产生与实现. *生态学报*, 2009, 29(5): 2400-2407.
- [10] 陈尚,任大川,李京梅,夏涛,王栋,杜国英,王其翔,柯淑云,王丽,王敏,赵志元. 海洋生态资本概念与属性界定. *生态学报*, 2010, 30(23): 6323-6330.
- [11] 张振明,刘俊国. 生态系统服务价值研究进展. *环境科学学报*, 2011, 31(9): 1835-1842.
- [12] 余兴光,卢昌义,王金坑,林志兰. 福建近岸海洋生态系统服务面临的挑战与调控对策. *台湾海峡*, 2005, 24(2): 257-264.
- [13] Rees W E, Wackernagel M. Monetary analysis: Turning a blind eye on sustainability. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 47-52.
- [14] Pearce D W, Seccombe-Hett T. Economic valuation and environmental decision-making in Europe. *Environmental Science & Technology*, 2000, 34(8): 1419-1425.
- [15] Wilson M A, Howarth R B. Discourse-based valuation of ecosystem services: Establishing fair outcomes through group deliberation. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 431-443.
- [16] Farrow R S, Goldberg C B, Small M J. Economic valuation of the environment: A special issue. *Environmental Science & Technology*, 2000, 34(8): 1381-1383.

- [17] Odum H T, Odum E P. The energetic basis for valuation of ecosystem services. *Ecosystems*, 2000, 3(1): 21-23.
- [18] Odum H T. *Systems Ecology*. New York: Wiley, 1983: 644.
- [19] Odum H T. Self-Organization, Transformity, and Information. *Science*, 1988, 242(4882): 1132-1139.
- [20] Odum H T. *Environment Accounting: Emery and Environment Decision Making*. New York: John Wiley, 1996.
- [21] Brown M T, Brandt-Williams S L, Tilley D, Ulgiati S. *Emergy Synthesis 1: Theory and Application of the Emery Methodology*. University of Florida, Center for Environmental Policy, Gainesville, FL, USA, 2000.
- [22] Brown M T, Odum H T, Tilley D, Ulgiati S. *Emergy Synthesis 2: Theory and Applications of the Emery Methodology*. University of Florida, Center for Environmental Policy, Gainesville, FL, USA, 2003.
- [23] Brown M T, Bardi E, Campbell D E, Comar V, Huang S L, Rydberg T, Tilley D, Ulgiati S. *Emergy Synthesis 3: Theory and Applications of the Emery Methodology*. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA, 2005.
- [24] Brown M T, Bardi E, Campbell D, Comar V, Huang S L, Rydberg T, Tilley D, Ulgiati S. *Emergy Synthesis 4: Theory and Applications of the Emery Methodology*. University of Florida, Center for Environmental Policy, Gainesville, FL, USA, 2007.
- [25] Hau J L, Bakshi B R. Promise and problems of emery analysis. *Ecological Modelling*, 2004, 178(1-2): 215-225.
- [26] Millennium Ecosystem Assessment (MA). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington DC, 2005.
- [27] Hein L, Koppen K, de Groot R, Ierland E. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 2006, 57(2): 209-228.
- [28] Brown M T, Ulgiati S. Energy quality, emery, and transformity: H.T Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, 2004, 178(1-2): 201-213.
- [29] Dong X D, Ulgiati S, Yan M C, Gao W S. Progress, influence and perspectives of emery theories in China, in support of environmentally sound economic development and equitable trade. *Energy Policy*, 2008, 36(3): 1019-1028.
- [30] Ulgiati S, Zucaro A, Franzese P P. Shared wealth or nobody's land? The worth of natural capital and ecosystem services. *Ecological Economics*, 2011, 70(4): 778-787.
- [31] Daily G C, ed. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington D.C., 1997, P3.
- [32] Brown M T, Ugliati S. Emery evaluation of the biosphere and natural capital. *Ambio*, 1999, 28(6): 486 - 493.
- [33] Ulgiati S, Brown M T. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling*, 1998, 108(1-3): 23-36.
- [34] Ulgiati S, Brown M T. Emery and ecosystem complexity. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2009, 14(1): 310-321.
- [35] Cleveland C J, Kaufmann R K, Stern D I. Aggregation and the role of energy in the economy. *Ecological Economics*, 2000, 32(2): 301-317.
- [36] Herendeen R A. Energy analysis and EMERGY analysis—a comparison. *Ecological Modelling*, 2004, 178(1-2): 227-237.
- [37] Pulselli F M, Coscieme L, Bastianoni S. Ecosystem services as a counterpart of emery flows to ecosystems. *Ecological Modelling*, 2011, 222(16): 2924-2928.
- [38] IPCC, 2007: 气候变化 2007: 综合报告. 政府间气候变化专门委员会第四次评估报告第一、第二和第三工作组的报告 (核心撰写组、Pachauri, R.K 和 Reisinger, A.(编辑)). IPCC, 瑞士, 日内瓦, 2007.
- [39] Melillo J M, Callaghan T V, Woodward F I. Effects on ecosystems//Houghton J T, Jenkins G J, Ephraums J J, eds. *Climate change: the IPCC scientific assessment*. Cambridge University Press, 1990: 283-310.
- [40] 王其翔. 黄海海洋生态系统服务评估 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [41] Jiang M M, Zhou J B, Chen B, Chen G Q. Emery based ecological account for Chinese economy in 2004. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2008, 13(10): 2337-2356.
- [42] Campbell D E, Brandt-Williams S L, Meisch M E A. *Environmental Accounting Using Emery: Evaluation of the State of West Virginia*. EPA/600/R-02/011. USEPA, Office of Research and Development, Washington, D.C., 2005, pp. 116.
- [43] 李国胜, 王芳, 梁强, 李继龙. 东海初级生产力遥感反演及其时空演化机制. *地理学报*, 2005, 58(4): 483-493.
- [44] Buenfil A A. Emery evaluation of water [D]. Florida: University of Florida, 2001.
- [45] Ulgiati S, Tabacco A M. Emery evaluation of atmospheric oxygen and nitrogen. Paper submitted to the Second Emery Research Conference, Gainesville, FL, 20-22, September, 2001.
- [46] 倪海儿, 陆杰华. 舟山渔场渔业资源动态解析. *水产学报*, 2002, 26(5): 428-432.
- [47] Chen D. Study on emery evaluation of Guangzhou national agricultural science and technology area [D]. Guangzhou: Hunan Agricultural University, 2007.
- [48] 王保栋, 陈爱萍, 刘峰. 海洋中 Redfield 比值的研究. *海洋科学进展*, 2003, 21(2): 232-235.
- [49] Odum H T, Brown M T, Williams S B. *Handbook of Emery Evaluations Folios 3*. Center for Environmental Policy. University of Florida, Gainesville FL, 2000.
- [50] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. *生态经济系统能值分析*. 北京: 化学工业出版社, 环境科学与工程出版中心, 2002.