

海洋生态系统服务的产生与实现

王其翔, 唐学玺*

(中国海洋大学海洋生命学院, 青岛 266003)

摘要: 在阐述海洋生态系统服务内涵的基础上, 分析了海洋生态系统服务的产生过程和实现途径, 将海洋生态系统每一组分和(或)功能与其所提供的服务联系起来, 给出了从每种组分和(或)功能到相应的服务所经过的生理生态过程。结果表明, 海洋生态系统的服务一部分是生物组分和(或)系统整体直接提供, 另一部分是通过系统功能产生。系统内的各种生理生态过程不直接产生服务。服务的实现包括海洋生态系统途径和海洋生态经济系统途径两种。

关键词: 生态系统服务; 海洋; 产生; 实现

文章编号: 1000-0933(2009)05-2400-07 中图分类号: Q146, Q148, X171.1, X24 文献标识码: A

Production and realization of marine ecosystem services

WANG Qi-Xiang, TANG Xue-Xi*

College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2400 ~ 2406.

Abstract: Based upon expatiation of the connotation of marine ecosystem services, we analyze the production processes and realization approaches of marine ecosystem services. We attempt to link major components and (or) functions of marine ecosystem to their related services. The physiological and ecological processes from each components and (or) functions to their related services are also presented. The results we obtained show that there are 2 sets of production processes. Some services are directly produced from the biological components and (or) system. The others are produced by system functions. The physiological and ecological processes do not produce services directly. The realization of marine ecosystem services contains 2 approaches. One approach is marine ecosystem; the other is marine ecological- economic system.

Key Words: ecosystem services; marine; production; realization

海洋生态系统为人类提供了多种多样的服务。从餐桌上美味的海产品, 到旖旎的海洋风光; 从各种海洋药用物质, 到建筑装饰材料, 人们正在自觉或不自觉地享用海洋生态系统所提供的这些服务。随着人口的增加, 人类涉海活动的增多, 海洋生态系统正承受着巨大的压力^[1]。除了人类活动之外, 还有许多发生于和相互作用于不同的社会、地理和时间尺度上的其它原因, 也可以导致生态系统发生变化^[2], 进而影响其提供服务的水平。联合国千年生态系统评估(millennium ecosystem assessment, MA)的研究表明, 人类对生态系统服务的利用正在快速增长, 大约 60% 的服务正处于退化或者不可持续利用的状态^[3]。这已经给海洋生态系统和人类的生产生活带来了严重的影响。海洋污染日益加剧, 重要海洋经济资源日益衰退, 近海海域富营养化严重, 赤潮灾害频发, 海岸侵蚀加剧和外来海洋生物入侵等^[4~11]都是这些影响的具体体现。为了应对这些变化, 为了综合管理和永续利用海洋生态系统及其为我们提供的服务, 需要人们了解和掌握海洋生态系统服务是如何产生的, 又是如何实现的。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30270258); 新世纪优秀人才计划资助项目(NCET-05-0597)

收稿日期: 2008-01-16; 修订日期: 2008-05-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wqxbx@163.com

本文在现有研究的基础上讨论了海洋生态系统服务的内涵。将生态系统组分、生理生态过程、生态系统功能和生态系统服务联系起来分析海洋生态系统服务的产生过程。并研究了海洋生态系统服务的实现途径。只有掌握了这些机理,人类才能可持续地利用和管理这些服务。而当服务提供受损的时候,人们也能更有效地找出恢复的途径和方法。

1 海洋生态系统服务的内涵

对于海洋生态系统服务的概念,学术界还没有广泛接受的专门定义。国内学者从不同角度探讨了海洋生态系统服务的定义和内涵。比较有代表性的是:陈尚等^[12]基于 Daily 关于生态系统服务的定义,将海洋生态系统服务阐述为:由海洋生态系统及其生态过程所提供的、人类赖以生存的自然环境条件及其效用。张朝晖等^[13,14]通过服务产生的载体、实现的途径和对人类的效应 3 方面来界定海洋生态系统服务的内涵。即由海洋生态系统及其生物多样性所产生的、通过一定的生态过程实现的、对人类具有益处的各种效应集合。

根据已有的研究结果,本文从海洋生态系统服务的对象、物质基础、产生过程和实现途径 4 个方面来阐述海洋生态系统服务。

海洋生态系统服务的对象是人类。服务是对人类的服务,人类是服务的享用者。海洋生态系统提供的食品、原料、废弃物处理等各种服务最终是为人来服务的。在这里有的学者提出服务的效应有好坏之分,存在对人类有益的效应和对人类有害的效应。前述陈尚等^[12]和张朝晖等^[13,14]对服务的表述都认为只应把对人类有益的效应归为服务。本文也采纳同样观点。

海洋生态系统是其服务产生的物质基础,包括各种海洋生物组分和非生物环境。海洋生物群落的组成和数量的变化、海洋非生物环境的改变都影响着海洋生态系统服务的种类和质量。例如,某一海区浮游植物由于营养盐的缺乏,导致群落的衰退,进而影响整个海区的初级生产和食物链(网)结构,导致各营养级生物种群的衰退。这对服务最直接的影响是降低了初级生产服务和食品供给服务,对其它服务也产生了不同的影响。

海洋生态系统的服务是由生物组分、系统本身和系统的各种功能产生的。海洋生态系统由生物组分和非生物环境构成,其中生物组分是构成系统的主体。各项服务的产生过程也离不开生物组分的参与。没有生物组分参与的海洋过程所提供的“服务”不归为海洋生态系统的服务。例如,海洋对人类提供的航运服务,由于没有生物过程参与,不能称为海洋生态系统服务,但属于海洋的服务。陈尚等^[12]和张朝晖等^[13,14]也提出了类似的观点。此外,单纯由于海洋环境要素之间的相互作用产生的功能也不属于生态系统服务。例如,海水的热交换对气候产生的影响,由于没有和生物发生联系,故不能算作生态系统服务。

海洋生态系统服务是通过海洋生态系统和海洋生态经济系统来实现的。有一些服务例如调节气候服务和气体调节服务,直接由海洋生态系统产生并发挥作用。它们的产生过程就是其实现过程。另外一些服务例如食品供给服务和教育科研服务,如果没有人类社会经济系统参与,这些服务将很难实现。这一类服务的实现途径就是海洋生态经济系统。

2 海洋生态系统服务的产生过程

海洋生态系统所提供的服务不是无本之木、无源之水。它是建立在海洋生态系统自身的结构和功能之上的。分析海洋生态系统服务的产生与实现,必须要基于海洋生态系统的结构和功能。海洋生态系统包括海洋生物及其生存的海洋环境。海洋生物根据其生活习性可分为浮游生物、游泳生物和底栖生物三大生态类群。海洋环境可分为水层部分和海底部分。海洋生态系统的功能包括物质循环、能量流动和信息传递。但为了更明确海洋生态系统的功能对其服务产生的影响,在功能组中添加了氧气生产、有机物生产(生物生产力)、吸收 CO₂。添加的这 3 个功能不是独立产生的,它们是海洋生态系统整体功能在 3 个不同方面的具体表现。同时,在研究中只列出了发生在海洋生态系统内部的、与海洋生态系统功能和服务有密切联系的主要生理生态过程。由于人类对海洋的探索还十分有限,关于海洋生态系统的相关知识还在不断的丰富发展中。

张朝晖^[13]从海洋生态系统的组分、生态过程及生物多样性 3 方面,分析了海洋生态系统能够产生和支持

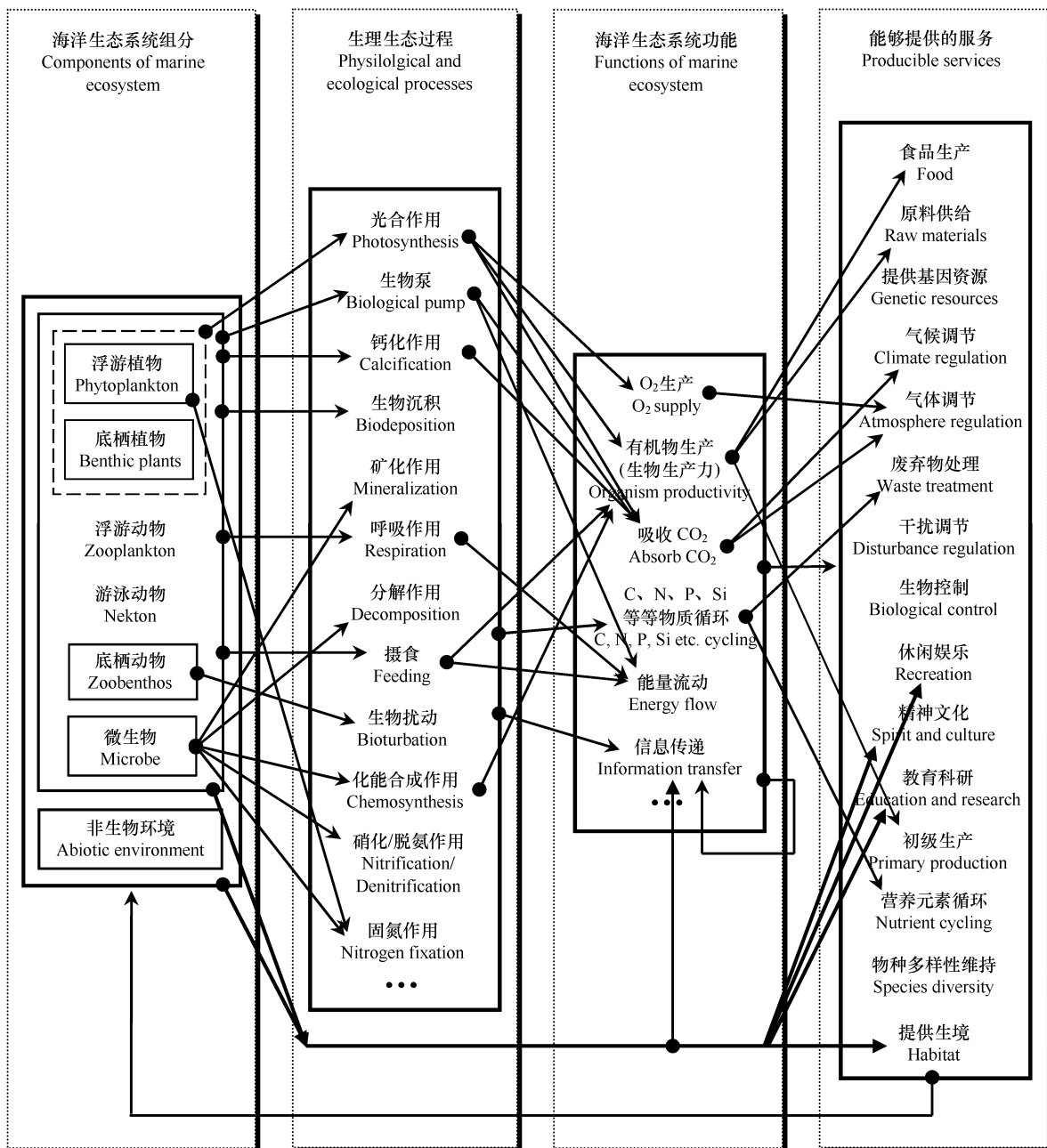


图1 海洋生态系统服务产生机理

Fig. 1 Production mechanism of marine ecosystem services

海洋生态系统服务的产生分为两大主要途径;一是生物组分和(或)系统整体能直接提供对人类的休闲娱乐、精神文化、教育科研和生境提供等服务;第二,通过系统内生物组分自身及其和周围环境之间相互的生理生态过程产生海洋生态系统的功能,由这些系统功能产生出相应的服务;系统内的各种生理生态过程不直接产生服务

The production of marine ecosystem services is through 2 sets of approaches; Some services (Recreation, spirit & culture, education & research and habitat) are directly produced from the biological components and (or) system; The others are produced by system functions; The physiological and ecological processes do not produce services directly

的生态系统服务。根据海洋生态系统的特殊结构和功能,参考张朝晖的研究结果,将海洋生态系统每一组分和(或)功能与其所提供的服务联系起来,给出了从每种组分和(或)功能到相应的服务所经过的生理生态过程。进而得出海洋生态系统服务的产生过程(图1)。结果表明海洋生态系统服务的产生主要经过两个途径:第一,海洋生态系统生物组分和(或)系统整体直接产生某些生态系统服务。第二,在系统内,组分之间通过

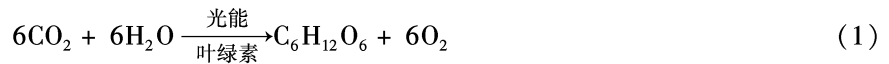
自身及相互的生理生态过程产生生态系统的特定功能,由这些功能产生出相应的生态系统服务。各种生理生态过程不直接产生服务。生态系统服务的变化能够反馈到海洋生态系统及其组分,进而影响到服务的持续产生。

2.1 生物组分和(或)系统整体直接产生服务

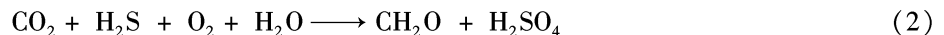
海洋生物组分自身以及在系统层次上海洋生态系统提供的多样化景观直接为人类提供休闲娱乐服务、精神文化服务、教育科研服务和提供生境服务。例如,海洋生物通过其形状、外壳、颜色等给设计提供灵感。点缀着五彩贝壳的海滩给人们休闲娱乐、亲近自然提供场所。潮间带及浅海大型藻类、珊瑚礁、红树林等直接为各种海洋生物提供生境,甚至部分珊瑚礁岛直接被人类作为居住场所。

2.2 系统功能产生服务

O₂生产是海洋生态系统为人类提供的重要服务之一,同时也是海洋生态系统的主要功能之一。有研究显示,海洋植物产生的氧气与陆地植被产生的量相当。海洋生态系统中浮游植物和底栖植物通过光合作用吸收 CO₂,产生 O₂。O₂的产生同时也伴随着海洋的初级生产,具体化学过程可表示为:



有机物生产即生物通过同化作用生产(或积累)有机物的功能。它包括初级生产和次级生产。海洋生态系统的这一功能可以给人类提供食品生产服务、原料供给服务和初级生产等服务。光合作用、化能合成作用和摄食等生理生态过程对这一功能的产生起着十分重要的作用。如公式(1)所示,光合作用在产生氧气的同时,还合成了生物能利用的糖类[(CH₂O)_n]。化能合成作用主要发生在海底沉积物的次表层或少数缺氧的海区。深海热液口和冷渗口也存在化能合成生产。在这些区域中生活着一些化学合成细菌,它们能借助于简单的无机化合物(如 CH₄、H₂S 等)氧化获得能量还原 CO₂来制造有机物^[15]。以利用 H₂S 为例,具体化学过程可表示为^[16]:



光合作用和化能合成作用都是海洋初级生产的来源。海洋植物和化学合成细菌都处于各自食物链的起点。其余海洋生物均直接或间接利用已生产的有机物经同化吸收、转化为自身物质,构成次级生产。摄食作为海洋生物的个体或群体生理生态过程对维持生物自身生存,种群稳定和生态系统运转均起到十分重要的作用。通过摄食,海洋生态系统转化、积累、传递各营养级的有机物生产量。

海洋生态系统对 CO₂的吸收为人类提供了气候调节和气体调节的服务。随着全球变暖加剧,人们对 CO₂等温室气体的排放和吸收越来越关注。海洋生态系统中可溶性 CO₂(碳酸氢盐离子,碳酸盐离子及溶解的 CO₂)的总量约 3.8 × 10³t,是大气 CO₂总量的 50 多倍^[16]。这使得人们把控制或减缓全球变暖的希望寄托于海洋。海洋生态系统是通过光合作用、生物泵、钙化作用等生理生态过程实现对 CO₂的吸收与贮存。海洋真光层的浮游植物通过光合作用吸收表层海水中的 CO₂,使表层海水 CO₂的分压小于大气中的 CO₂分压。这促使大气中 CO₂进入海洋表层,同时也开始了海洋生物泵过程。浮游植物将 CO₂转化为有生命的颗粒有机碳(living POC)和可溶性有机物(DOM)。Living POC 通过食物链(网)逐级转移。在这一过程中,各级动物的尸体、粪团、蜕皮等构成大量非生命颗粒有机碳(non-living POC)通过生物沉积向下沉降。各类生物的代谢活动同时产生大量 DOM。此外,浮游动物通过垂直洄游也构成有机物从表层到深层的传递。DOM 一部分无机化进入再循环,另一部分被异养微生物利用进入微食物环,再进入经典食物链(网)。这一系列有机物生产、消费、转移、沉积和分解等生物学过程组成了吸收、传递、转化和贮存 CO₂的生物泵。底栖植物、大型藻类吸收 CO₂的过程和上述过程类似。某些海洋生物能将钙与碳酸盐离子相结合成生物钙质的骨骼物质^[13]。这一钙化过程也构成了对 CO₂的吸收和贮存。

海洋生态系统是全球生物地化循环的重要环节。物质循环是海洋生态系统的基本功能,特别是 C、N、P、Si、S 等营养元素的循环对海洋生态系统整体功能的发挥和系统的健康起到关键的作用。海洋生态系统的物

质循环功能为人类提供了废弃物处理服务和营养元素循环服务。这两个服务均是由物质循环过程产生的,是这一系统功能在两个方面的具体体现。营养元素循环服务更是物质循环功能的一个组成部分。海洋生态系统主要的生理生态过程均支持着系统的物质循环功能。其中,光合作用、生物泵、钙化作用和呼吸作用主要参与海洋 C 循环;硝化/脱氮作用和固氮作用参与海洋 N 循环。通常由微生物完成的矿化作用将有机物转换成无机物,重新参与循环。分解作用使得生物代谢废物和死亡的生物体重新变成无机物形式释放到环境中,可再次被生物利用。主要由底栖生物参与的生物扰动过程有助于底质中营养元素的悬浮与再次回到系统循环^[13]。

海洋生态系统的主要能量来源于太阳能,地球内部的热能、化学能等其它能源。在海洋生态系统内,能量由浮游植物、底栖植物、化能合成细菌等初级生产者固定入系统,经食物链(网)在各个营养级之间流动。伴随着物质循环和能量流动,海洋生态系统形成信息传递功能。海洋生态系统的各个组分、具体的生理生态过程和海洋生态系统所具有的各种功能都构成了系统的信息源。能量流动功能和信息传递功能都是在生态系统整体功能层次上支持着为人类提供的服务。

2.3 服务对海洋生态系统的反馈

海洋生态系统所能提供的服务是处在一个不断变化的状态中的。不仅是服务的内容不断变化,服务的数量和质量也处在不断的变化中。服务的这些变化能够反馈到海洋生态系统,使得系统的状态、功能也相应地做出改变,进而影响新服务的产生。这一反馈过程在很多情况下都离不开人类活动的参与。

3 海洋生态系统服务的实现途径

是不是只要海洋生态系统的结构完整、功能健全,它所产生的各种服务对人类来说都能完全实现呢?答案是否定的。如果没有人类社会的渔业经济活动,美味的海产品不会自己跳到餐桌上来。如果没有人类社会的大规模工业生产和其它生产性活动,海洋生态系统的原材料供给服务就会变得没有目标。如果没有人类社会生活、生产所产生的各种排海污染物,海洋生态系统的废弃物处理功能就会变得毫无价值。如果没有人类社会的发展、文明的进步,海洋生态系统的精神文化服务、教育科研服务便失去了存在的物质载体。只能说健康的海洋生态系统能够产生对人类的各种服务,或者说有提供多样化的优质服务的潜力。产生的服务是否能够完全实现,除了海洋生态系统本身,还需要有健康的海洋生态经济系统。海洋生态系统服务的实现不能完全离开人类社会经济系统。

海洋生态系统服务的实现途径有两条:海洋生态系统和海洋生态经济系统。这两个系统不是互相独立的。海洋生态经济系统是包含海洋生态系统和人类社会经济系统的复合系统。具体采用哪一种实现途径,每种服务都不完全相同。气候调节服务、气体调节服务、生物控制服务、干扰调节服务、初级生产服务、营养元素循环服务、物种多样性维持服务和提供生境服务的实现主要决定于海洋生态系统自身的结构与功能。这八项服务的产生过程即是它们的实现过程。换句话说,这 8 项服务的实现不依赖于人类的社会经济活动,它们属于海洋生态系统自身的功能和效用。其余 7 种服务的实现必须要有人类的社会经济活动参与。具体地说,食品生产服务必须要有人类的渔业经济活动参与;原料供给服务必须要有人类的社会经济活动参与;提供基因资源服务需要有基因工程技术的参与;废弃物处理服务是针对人类社会生活、生产所产生的各种排海污染物而言的;休闲娱乐服务需要人们来体验和消费;离开人类社会,精神文化服务、教育科研服务便失去了存在的载体。

4 结论与讨论

根据本文的分析,海洋生态系统服务是以人类作为服务对象,以海洋生态系统自身为服务产生的物质基础,由生物组分、系统本身、系统功能产生,通过海洋生态系统和海洋生态经济系统实现的人类所能获得的各种惠益。同时应该注意到,这些惠益包括人们已经获得的和海洋生态系统潜在提供的两部分。潜在提供的服务,其产生过程和实现途径可能是已知的,也可能是目前所未知的。但是其物质基础仍然是海洋生态系统自身,服务对象依然是人类。

从这 4 个方面来阐述海洋生态系统服务的内涵是基于实际应用的需要来考虑的。明确了服务对象实际上就明确了只有对人类有益的效用才有可能成为海洋生态系统服务。明确了服务的物质基础才能使人们从本质上认清服务的来源。明确了服务的产生过程和实现途径才能使人们更准确地找出影响服务正常提供的具体环节,才能在服务受损的时候更有效地制定出恢复措施。

本文对海洋生态系统服务内涵的描述与已有的相关概念比较,既有联系又有着自己的特点。本文认为生态过程不直接产生服务。这与陈尚等^[12]基于 Daily 的定义中指出服务由“生态过程所提供”不矛盾。生态过程对服务的产生有十分重要的作用,但本文通过分析得出生态过程是通过系统功能间接产生服务,即间接提供服务。张朝晖等^[13,14]的定义中指出服务是“通过一定的生态过程实现”的,而本文通过分析认为服务的实现依赖于海洋生态系统和海洋生态经济系统。生态过程对服务的实现发挥作用,但服务的实现不仅仅需要生态过程的参与。

以往对海洋生态系统服务的研究,往往忽视了人类社会经济系统所发挥的作用。相当数量的服务需要社会经济系统的配合才能完全实现。同时,社会经济系统的改变往往是海洋生态系统服务发生变化的重要驱动力之一。这样的例子有很多,食品供给服务和原料生产服务需要渔业生产的配合才能实现。但过度的渔业生产(例如过度捕捞、高密度养殖)反而会降低这些服务的供给水平^[10]。休闲娱乐服务需要旅游资源的合理开发、运营和管理。盲目地、过度地开发旅游资源同样会使这一服务的水平降低,甚至丧失。明确部分海洋生态系统服务的实现需要人类社会经济系统的参与,对于可持续利用这些服务,维持这些服务稳定健康地提供有着不可忽视的作用。结合社会经济系统研究海洋生态系统服务是今后相关研究必须要考虑的问题。

对服务的产生过程分析表明海洋生态系统服务的产生与系统的组分、具体的生理生态过程和系统的功能密不可分。一个服务可能对应着多个来源,一个组分、过程或功能可能产生多种服务。这说明海洋生态系统服务的提供是有弹性的。同时也意味着海洋生态系统服务受损后,需要较长一段时间才能表现出来。

虽然开展了长期的海洋调查、监测与研究,但人类对海洋的了解还十分有限。很多的海洋现象与各种生理生态过程依然困扰着海洋科学家们。海洋生态系统服务的研究是基于当今海洋科学的基础研究。人们对海洋生态系统服务的认识也是随着海洋基础研究的深入而不断加深的。本文所列海洋生态系统的各种生理生态过程、功能、服务,会随着相关研究的深入而更清晰地展现在人们面前。许多人们现在所未知的服务,也可能在将来为人们所利用。海洋生态系统服务研究是一种综合性、多学科的系统研究。因此对海洋生态系统服务的研究,应更多地考虑各种服务的产生过程与实现途径,以及它们对人类活动的响应。只有清楚地了解各种服务的产生与实现机理,才能更有针对性地制定各种相关政策、措施,促进海洋资源的可持续利用。

References:

- [1] Limburg K E, Folke C. The ecology of ecosystem services: introduction to the special issue. *Ecological Economy*, 1999,29(2):179—182.
- [2] Millennium Ecosystem Assessment. Zhang Y M translated. *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Beijing: China Environment Science Press, 2007.
- [3] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington DC: Island Press, 2005.
- [4] Bostford L W, Castilla J C, Peterson C H. The management of fisheries and marine ecosystems. *Sciences*,1997,277: 509—515.
- [5] Cohen A N, Carlton J T. Accelerating invasions rate in a highly invaded estuary. *Science*,1998,279:555—558.
- [6] Paine R T, Tegner M J, Johnson E A. Compounded perturbations yield ecological surprises. *Ecosystems*,1998,1(6): 535—545.
- [7] Pikitch E K, Santora C, Babcock EA, *et al.* Ecosystem based fishery management. *Science*, 2004,305:346—347.
- [8] Qi Y Z, *et al.* China coastal red tide. Beijing: Science Press,2003.
- [9] Ho K C, Hodgkiss I J. Red tides in subtropical waters: An overview of Hier occurrence. *Asian Marine Biology*,1991,8: 5—23.
- [10] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Washington DC: Island Press, 2005.
- [11] Patrik R, Primavera J H. Illuminating the need for ecological knowledge in economic valuation of mangroves under different management regimes-acritique. *Ecological Economics*, 2000,35: 135—141.
- [12] Chen S, Zhang Z H, Ma Y, *et al.* Program for service evaluation of marine ecosystems in China waters. *Advances in Earth Science*, 2006,21

(11):1127—1133.

- [13] Zhang Z H, Shi H H, Jiang Z B, *et al.* Sources and implementation of marine ecosystem services. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(12): 1574—1579.
- [14] Zhang Z H, Zhou J, Lü J B, *et al.* Connotation and characteristics of marine ecosystem services. *Marine Environmental Science*, 2007, 26(3): 259—263.
- [15] Shen G Y, Shi B Z. *Marine Ecology*. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2002.
- [16] Lalli C M, Parsons T R. *Biological oceanography: an introduction*. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.

参考文献:

- [2] 千年生态系统评估. 张永民译. 生态系统与人类福祉: 评估框架. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [8] 齐雨藻, 等. 中国沿海赤潮. 北京: 科学出版社, 2003.
- [12] 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. *地球科学进展*, 2006, 21(11): 1127 ~ 1133.
- [13] 张朝晖, 石洪华, 姜振波, 等. 海洋生态系统服务的来源与实现. *生态学杂志*, 2006, 25(12): 1574 ~ 1579.
- [14] 张朝晖, 周骏, 吕吉斌, 等. 海洋生态系统服务的内涵与特点. *海洋环境科学*, 2007, 26(3): 259 ~ 263.
- [15] 沈国英, 施并章. *海洋生态学*. 第二版. 北京: 科学出版社, 2002.