

## 大鹏澳牡蛎养殖区生态服务价值评估

于宗赫<sup>1</sup>, 江涛<sup>2</sup>, 夏建军<sup>1</sup>, 马艳娥<sup>1</sup>, 张涛<sup>3\*</sup>

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301;

2. 暨南大学赤潮与海洋生物学研究中心, 广东 广州 510632;

3. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要:**对中国南海典型的浅海养殖区——大亚湾大鹏澳牡蛎养殖区的生态服务价值进行了评估,结果表明:2012年,牡蛎养殖区生态服务价值总量为3 460.52万元,单位面积生态服务价值为17.30万元/hm<sup>2</sup>。在各项服务价值组成中,供给服务中的养殖生产服务价值(3 158.00万元)占主要份额(91.26%);此外,文化服务中的休闲娱乐(124.00万元)和科研服务(71.52万元)也比较可观,分别占价值总量的3.58%和2.07%;其他服务价值,如氧气生产(31.34万元),气候调节(61.06万元)以及废弃物处理(14.60万元)所占份额较小。2013年,养殖区生态服务价值总量降为814.10万元,单位面积生态服务价值降为4.07万元/hm<sup>2</sup>。在各项服务中,养殖生产服务价值(540.00万元)较2012年出现大幅度降低,但仍占主要份额(66.33%);氧气生产(31.34万元),休闲娱乐(124.00万元)和科研服务(71.52万元)价值与2012年持平,但其所占份额有所提升,分别占服务价值总量的3.85%,15.23%和8.79%;调节服务(包括气候调节与废弃物处理)价值相较2012年有大幅度下降,而其所占份额却有所上升。2013年养殖区生态服务价值的降低主要是由于养殖生产服务价值的大幅度降低造成的,而养殖规模过大和海区环境老化是造成该结果的直接原因。总体来说,牡蛎养殖大大提升了海区的生态服务价值,但是必须对养殖模式进行合理规划,这样才能实现大鹏澳生态服务功能的可持续发展。

**关键词:** 牡蛎; 海水养殖; 生态系统服务; 价值评估; 大鹏澳

**中图分类号:** S 965

**文献标志码:** A

浅海养殖活动在为人类提供大量优质蛋白的同时,也将养殖区的自然生态系统改造成半人工生态系统。研究表明,海水养殖活动会对海洋的生态服务价值产生重大影响:对于局部海域,适当地发展海水养殖对维持和提升海洋生态系统的服务价值具有积极作用;然而,超负荷养殖却会导致养殖区老化,海洋生物多样性降低,甚至造成养殖生物大规模死亡,这样会大大降低海洋生态系统的服务价值<sup>[1-4]</sup>。目前,国内外对海洋生态系统服务价值的研究大多局限于区域性海洋生态服务价值的模仿研究<sup>[1-3,5]</sup>,而对于特定浅海养殖区生态系统服务价值的深入研究则相对较少。分析浅海养殖区生态系统服务价值,并据此对养殖区进行合理规

划,对海水养殖业的可持续发展具有积极意义。

大鹏澳位于大亚湾西南侧,为半封闭型溺谷湾,总面积约为14 km<sup>2</sup>,平均水深约为7 m,该海域环境十分适合各类海产品的增养殖,被列为广东沿岸二类海水增养殖区之一<sup>[6]</sup>。20世纪90年代中期,大鹏澳开始以延绳式平挂的方式吊养葡萄牙牡蛎(*Crassostrea angulata*),近年来,牡蛎已成为当地主要的养殖贝类,大面积的牡蛎养殖区在该湾形成了一个独特的生态系统。大鹏澳牡蛎规模化养殖必然对海湾生态系统的功能和服务价值产生重要影响,然而目前该问题还未得到人们应有的关注。

本研究借鉴《Millennium Ecosystem

收稿日期:2014-01-17 修回日期:2014-04-04

资助项目:“十二五”国家科技支撑计划(2011BAD13B02);海洋公益性行业科研专项(201305010)

通信作者:张涛,E-mail:tzhang@qdio.ac.cn

Assessment》(千年生态系统评估)和《海洋生态资本评估技术导则》所建议的方法与技术手段<sup>[7-8]</sup>,分别于2012—2013年现场调查了大鹏澳牡蛎养殖模式、产量及价格的周年变化情况,监测了牡蛎的贝壳及软组织成分的变化特征,记录了养殖区接纳垂钓等休闲娱乐活动的人次及人均消费情况,并分析了养殖区在科研服务中所发挥的作用。最终,分别从供给服务、调节服务以及文化服务价值3个方面评估了牡蛎养殖区生态服务价值的年际变化,并分析了导致该变化的主要原因,以期为该海湾的可持续开发利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 牡蛎养殖区概况

大鹏澳牡蛎养殖区基本集中于该湾南部,其海域使用总面积约为2.0 km<sup>2</sup>(图1)。养殖区每根浮梗长度为200~300 m,各浮梗间距约为2.4 m,牡蛎种苗购自福建漳浦工厂化育苗场(每根苗绳长为2.5 m,串18只牡蛎壳作为附着基),挂养于水深约1 m处,苗绳间距约为40 cm。通常大鹏澳每年可以养殖2季牡蛎,其中:冬苗1—2月份下海,当年7—8月份收获;夏苗7—8月份下海,翌年1—2月份收获。该海域养殖的牡蛎具有生长迅速,成活率高的特点,近年来给当地渔民带来了不菲的经济收益。

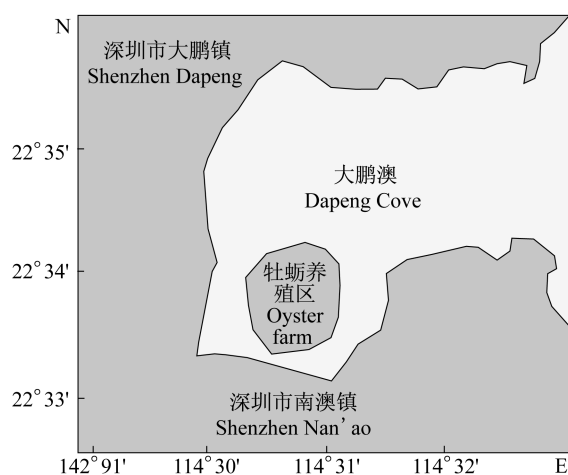


图1 大鹏澳牡蛎养殖区分布

Fig. 1 The oyster farm in the Dapeng Cove

### 1.2 养殖区生态服务价值构成

海洋生态系统服务由海洋供给服务、海洋调节服务、海洋文化服务和海洋支持服务4个要素

组成<sup>[7-9]</sup>。本研究在分析大鹏澳牡蛎养殖区的自然环境特征及开发利用现状,并综合考虑相关数据可获得性的基础上,认为大鹏澳牡蛎养殖区的生态服务价值可从以下3个方面进行评估:(1)海洋供给服务价值,具体包括养殖生产和氧气生产2部分;(2)海洋调节服务价值,具体包括气候调节和废弃物处理2部分;(3)海洋文化服务价值,具体包括休闲娱乐和科研服务2部分。由于海洋支持服务主要通过珍稀濒危生物和关键生境的维持和保存来实现<sup>[10]</sup>,而大鹏澳牡蛎养殖区未涉及到海洋自然保护区及保护物种,因此,本研究不考虑该海域的支持服务价值。另外,被评估海域基本被牡蛎养殖筏架所占用,导致刺网、地笼网作业无法展开,当地捕捞活动仅限于渔获量较少的游客垂钓,因此,本研究将垂钓归于休闲娱乐服务范畴,为了避免重复统计,忽略捕捞生产对供给服务价值的贡献。

### 1.3 数据来源

本研究中的养殖生产和休闲娱乐数据来源于现场调查及监测资料;初级生产力等自然环境资料参考近年发表的相关文献报道<sup>[11]</sup>;气候调节服务价值根据浮游植物和养殖牡蛎对CO<sub>2</sub>的固定量进行估算;废弃物处理价值根据养殖牡蛎对氮(N)、磷(P)的固定量进行估算;科研服务价值采用科研成本法进行评估<sup>[7]</sup>。本研究评估年份为2012—2013年,由于相关数据统计时间间隔较短,故不考虑年际消费价格指数变化对评估结果的影响。

#### 海洋供给服务价值

##### (1) 养殖生产

养殖生产的价值量采用市场价格法进行评估,即根据评估年份各时期牡蛎的产量和市场价格,确定养殖牡蛎的价值量。各时期牡蛎产量直接由现场调查获得,牡蛎价格通过访问养殖户获得,为码头批发均价。

##### (2) 氧气生产

氧气生产物质量采用海洋植物光合作用的产氧量进行评估<sup>[7]</sup>。由于黄斑篮子鱼(*Siganus oramin*)等的摄食,大鹏澳大型海藻生物量很少,因此本研究暂不考虑大型海藻对氧气生产的贡献。养殖区氧气生产数据主要根据浮游植物的初级生产力,结合光合作用方程计算获得<sup>[7]</sup>,计算公式:

$$Q_{O_2} = 2.67 \times Q_{PP} \times S \times 365 \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中,  $Q_{O_2}$  为评估海域浮游植物初级生产提供的氧气量 (t/a);  $Q_{PP}$  为浮游植物的初级生产力 [mg/(m<sup>2</sup>·d)];  $S$  为评估海域的面积 (km<sup>2</sup>)。

氧气生产的价值量采用替代成本法进行评估<sup>[7]</sup>, 计算公式:

$$V_{O_2} = Q_{O_2} \times P_{O_2} \times 10^{-4} \quad (2)$$

式中,  $V_{O_2}$  为氧气生产价值量 (万元/a);  $Q_{O_2}$  为氧气生产的物质量 (t/a);  $P_{O_2}$  为人工生产氧气的单位成本 (元/t)。

#### 海洋调节服务价值

##### (1) 气候调节

对于小面积海域, 其气候调节服务价值可依据海洋植物对 CO<sub>2</sub> 的固定量进行评估<sup>[7]</sup>。大鹏澳牡蛎养殖区大型海藻生物量很少, 因此, 本研究只考虑浮游植物的固碳量。另外, 收获养殖贝类可从海水中高效地移除碳<sup>[12-13]</sup>, 而大鹏澳牡蛎养殖密度很高, 产量巨大, 其对海区碳的固定起着举足轻重的作用, 因此, 在养殖区气候调节服务价值计算中必须考虑牡蛎的固碳作用。本研究根据浮游植物和牡蛎的固碳量计算养殖区的气候调节服务价值。

浮游植物对 CO<sub>2</sub> 的固定量由公式 (3) 进行计算:

$$Q'_{CO_2} = 3.67 \times Q_{PP} \times S \times 365 \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中,  $Q'_{CO_2}$  为浮游植物固定 CO<sub>2</sub> 的物质量 (t/a);  $Q_{PP}$  为浮游植物的初级生产力 [mg/(m<sup>2</sup>·d)];  $S$  为评估海域的面积 (km<sup>2</sup>)。

养殖牡蛎对 CO<sub>2</sub> 的固定量由公式 (4) 进行计算:

$$Q''_{CO_2} = 3.67 \times \sum_{i=1}^n (W_{Si} \times C_{Si} + W_{Mi} \times C_{Mi}) \quad (4)$$

式中,  $Q''_{CO_2}$  为评估年份牡蛎固定 CO<sub>2</sub> 的物质量 (t/a);  $W_{Si}$  为第  $i$  次收获牡蛎贝壳的干重 (t);  $C_{Si}$  为第  $i$  次收获牡蛎贝壳的平均含碳量 (%);  $W_{Mi}$  为第  $i$  次收获牡蛎软组织的干重 (t);  $C_{Mi}$  为第  $i$  次收获牡蛎软组织的平均含碳量 (%).

养殖区气候调节的价值量采用替代市场价格法进行评估<sup>[7]</sup>, 计算公式:

$$V_{CO_2} = (Q'_{CO_2} + Q''_{CO_2}) \times P_{CO_2} \times 10^{-4} \quad (5)$$

式中,  $V_{CO_2}$  为气候调节价值量 (万元/a);  $Q'_{CO_2}$  为浮游植物固定 CO<sub>2</sub> 的物质量 (t/a);  $Q''_{CO_2}$  为牡蛎固定 CO<sub>2</sub> 的物质量 (t/a);  $P_{CO_2}$  为 CO<sub>2</sub> 排放权的市场交

易价格 (元/t)。

目前对气候调节价值的估算方法有造林成本法、碳税法以及 CO<sub>2</sub> 排放权交易价格法等。我国造林成本是以 1990 年的不变价格进行计算的, 其时效性较差, 并且海洋与森林的结构不同, 所提供的服务差别较大<sup>[2,10]</sup>。碳税法则采用瑞典等发达国家的碳税率标准, 不符合我国国情<sup>[14]</sup>。近年来, 国内学者通常采用中国造林成本 250 元/t 和国际碳税率标准 150 美元/t 的平均值 770 元/t 作为标准计算气候调节服务价值<sup>[15-16]</sup>。2008 年以来, 随着上海、北京、天津等几个主要城市的环境交易所相继成立, 我国 CO<sub>2</sub> 排放权配额拥有了符合本国国情的市场价格, 因此, 采用 CO<sub>2</sub> 排放权交易价格计算气候调节服务价值更具有现实意义。

##### (2) 废弃物处理

滤食性贝类可将食物中的营养物质以贝壳和软组织生长的形式加以固定, 收获贝类可从海洋生态系统中移除大量的 N、P, 因此贝类养殖被认为是缓解沿海营养负荷, 增加系统生态服务价值的有效手段<sup>[17-18]</sup>。本研究根据牡蛎对海区 N、P 的固定量, 采用替代成本法计算养殖区的废弃物处理价值<sup>[7]</sup>。

牡蛎对 N(P) 的固定量由公式 (6) 进行计算:

$$Q_w = \sum_{i=1}^n (W_{Si} \times C_{Si} + W_{Mi} \times C_{Mi}) \quad (6)$$

式中,  $Q_w$  为牡蛎固定 N(P) 的物质量 (t/a);  $W_{Si}$  为第  $i$  次收获牡蛎贝壳的干重 (t);  $C_{Si}$  为第  $i$  次收获牡蛎贝壳的平均 N(P) 含量 (%);  $W_{Mi}$  为第  $i$  次收获牡蛎软组织的干重 (t);  $C_{Mi}$  为第  $i$  次收获牡蛎软组织的平均 N(P) 含量 (%).

废弃物处理价值量计算公式:

$$V_w = Q_w \times P_w \times 10^{-4} \quad (7)$$

式中,  $V_w$  为废弃物处理价值量 (万元/a);  $Q_w$  为牡蛎固定 N(P) 的物质量 (t/a);  $P_w$  为我国生活污水 N(P) 的处理成本价格 (元/t)。

##### (3) 牡蛎对 C、N、P 的固定作用

本实验分别于 2012 年和 2013 年收获季节随机地抽取 50 只牡蛎, 将贝壳和软组织进行分离, 60 °C 条件下烘干并称重, 粉碎和过筛后, 测定其中的 C、N、P 含量。最终, 根据贝壳及软组织的干重及成份, 结合牡蛎的产量, 确定收获牡蛎可从海湾中移除的 C、N、P 总量 (参见公式 4, 6), 据此计算养殖牡蛎的气候调节和废弃物处理价值量 (参见公式 5, 7)。另外, 大鹏澳养殖牡蛎附着生物较

少,本研究在取样过程中未将附着生物与贝壳进行分离,因此,牡蛎对 C、N、P 的固定总量中包含附着生物的部分贡献。

#### 海洋文化服务价值

##### (1) 休闲娱乐

大鹏澳牡蛎养殖区饵料丰富,是各种鱼类聚集与栖息的良好场所。近年来,“南澳东山蚝场钓鱼”已成为该地特色旅游项目之一,每年都吸引大量的垂钓爱好者到此光顾,这对促进当地经济发展做出了巨大贡献。本研究采用旅行费用法评估养殖区的休闲娱乐服务价值<sup>[7]</sup>,相关数据通过实地调查获得,其中:养殖区接待游客人数通过现场直接观察记录获得,游客个人消费情况通过码头上随机访问并结合咨询有养殖区垂钓经历的网友获得。

##### (2) 科研服务

科研服务价值是指海洋生态系统提供的科研场所和材料所产生和吸引的科学研究及对人类知识的补充等贡献<sup>[19-20]</sup>。目前,国内外用于评估海洋生态系统科研服务价值的方法主要有专家评估法和科研成本法 2 种<sup>[1,7,21]</sup>,由于后者时效性较好,更符合我国国情<sup>[10]</sup>,故本研究以科研成本法评估养殖区的科研服务价值。

科研服务价值量计算公式:

$$V_R = Q_R \times P_R \quad (8)$$

式中, $V_R$ 为科研服务的价值量(万元/a); $Q_R$ 为科研服务的物质量(篇/a); $P_R$ 为每篇海洋类科技论文的科研经费投入(万元/篇)。

## 2 结果

### 2.1 海洋供给服务价值

#### (1) 养殖生产

养殖生产的价值量由 2012 年冬季(1—2 月份)与夏季(7—8 月份),以及 2013 年夏季(7—8 月份)大鹏澳养殖牡蛎的产量及码头批发价进行统计(表 1)。其中,2012 年冬季养殖规模较大,海区筏架全部挂养牡蛎,该阶段牡蛎生长较慢,收获时规格偏小,价格较低,总产量约为  $1.21 \times 10^4$  t,产值为 1 694.00 万元;冬季牡蛎收获后养殖户即挂夏苗,由于担心台风对生产的破坏,挂养规模仅为冬季的 1/3,该阶段牡蛎生长较快,收获时规格较大,批发价格较高,夏季大鹏澳牡蛎总产量约为  $0.61 \times 10^4$  t,产值为 1 464.00 万元。最终,2012 年大鹏澳养殖牡蛎的总产量为  $1.82 \times 10^4$  t,总产值为 3 158.00 万元,该年度牡蛎养殖给养殖户带来了丰厚的经济效益。

表 1 2012—2013 年大鹏澳牡蛎养殖及收获概况

Tab. 1 Status of oyster culture and harvest in the Dapeng Cove during 2012 and 2013

时间 time	养殖量/只 culture biomass	湿重/ (g/只) wet weight	贝壳干重/ (g/只) dry shell weight	软组织干重/ (g/只) dry tissue weight	总产量/t total production	单价/ (元/kg) price	总产值/万元 total product value
2012 年冬 winter of 2012	$6 \times 10^8$	$20.12 \pm 5.62$	$8.86 \pm 2.48$	$0.73 \pm 0.20$	$1.21 \times 10^4$	1.4	1 694.00
2012 年夏 summer of 2012	$2 \times 10^8$	$30.29 \pm 7.0$	$13.80 \pm 3.21$	$1.12 \pm 0.26$	$0.61 \times 10^4$	2.4	1 464.00
2013 年夏 summer of 2013	$7 \times 10^8$	$38.02 \pm 9.68$	$15.81 \pm 4.19$	$0.94 \pm 0.28$	$0.90 \times 10^4$	0.6	540.00

注:牡蛎产量基于收获上市部分统计

Notes: the calculation of total production based on the oyster being harvested

2012 年夏季牡蛎收获后,养殖户将海区筏架全部挂养牡蛎,为了扩大生产,甚至将筏架间的空白海域也利用起来进行养殖,据统计,2012 年下半年大鹏澳牡蛎养殖规模较去年同期增加了 20% 左右。由于养殖规模的扩大,加之养殖区老化,造成该阶段牡蛎苗生长缓慢,迟迟达不到上市规格,从而使该批牡蛎的收获错过了 2013 年春节前后的消费旺季;同时,由于牡蛎占据筏架,后续的夏苗养殖也无从谈起。2013 年入夏后,随着水温的升高,养殖牡蛎出现了大规模死亡现象,到 7 月份以后其死亡率甚至高达 70%,此时牡蛎虽已达

到商品规格,但是由于空壳过多,肥满度低,加之集中上市导致的市场饱和,其销售价格一路走低,到 8 月份其批发价格甚至跌至 0.2 元/kg。由于牡蛎收获人工成本居高不下,一些养殖户为了给冬苗养殖腾出空间,只得将挂满空壳的苗绳砍断沉至海底。最终,牡蛎养殖规模的扩大并未给养殖户带来丰厚的回报,甚至影响到后续的生产,如此形成恶性循环。最终,2013 年大鹏澳仅收获 1 季牡蛎,其总产量为  $0.90 \times 10^4$  t,总产值为 540.00 万元,不足 2012 年总产值的 20%,大部分养殖户亏损严重。

## (2) 氧气生产

大鹏澳海域初级生产力平均值为  $402 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ <sup>[11]</sup>,由公式(1)可以计算,全年整个牡蛎养殖区浮游植物可以生产  $783.54 \text{ t O}_2$ 。人工制造氧气的平均成本为  $400 \text{ 元}/\text{t}$ <sup>[1,15]</sup>,则由公式(2)可以计算,养殖区氧气生产的价值量为  $31.34 \text{ 万元}/\text{a}$ 。评估海域面积不变,2012年与2013年氧气生产量一致。

## 2.2 海洋调节服务价值

### (1) 气候调节

本研究气候调节服务价值主要来自于浮游植物和牡蛎对  $\text{CO}_2$  的固定。大鹏澳海域初级生产力

均值为  $402 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ <sup>[11]</sup>,由公式(3)可以计算,每年牡蛎养殖区浮游植物可以固定  $\text{CO}_2$  的总量为  $1\,077.00 \text{ t}$ 。

2012—2013年各时期收获牡蛎的贝壳与软组织的碳含量见表2,由公式(4)可以计算,2012年收获牡蛎可从海湾中移除  $\text{CO}_2$  的总量为  $4\,672.42 \text{ t}$ ;2013年收获牡蛎可以从海湾中移除  $\text{CO}_2$  的总量为  $2\,947.56 \text{ t}$ 。我国  $\text{CO}_2$  排放权的市场平均交易价格为  $106.2 \text{ 元}/\text{t}$ <sup>[10]</sup>,由公式(5)可以计算,2012年大鹏澳牡蛎养殖区的气候调节服务价值量为  $61.06 \text{ 万元}$ ;2013年大鹏澳牡蛎养殖区的气候调节服务价值量为  $42.74 \text{ 万元}$ 。

表2 大鹏澳养殖牡蛎的C,N,P含量变化

Tab.2 Variations in C,N,and P contents of the oyster cultured in Dapeng Cove

指标 parameters	贝壳 shell			软组织 soft tissue		
	C/%	N/%	P/(mg/kg)	C/%	N/%	P/(mg/kg)
2012年冬 winter of 2012	12.17	0.18	513	41.50	10.08	$1.37 \times 10^4$
2012年夏 summer of 2012	12.51	0.12	690	43.81	8.42	$0.99 \times 10^4$
2013年夏 summer of 2013	12.88	0.19	595	48.10	10.71	$1.11 \times 10^4$

### (2) 废弃物处理

根据牡蛎的产量及其贝壳与软组织的N、P含量(表2),由公式(6)可以计算,2012年收获牡蛎共从海湾移除  $75.89 \text{ t N}$  和  $12.85 \text{ t P}$ ;2013年收获牡蛎共从海湾移除  $22.28 \text{ t N}$  和  $4.64 \text{ t P}$ 。目前,我国生活污水N、P的处理成本分别为  $1\,500 \text{ 元}/\text{t}$  和  $2\,500 \text{ 元}/\text{t}$ <sup>[16]</sup>。由公式(7)可以计算,2012年养殖区的废弃物处理总价值量为  $14.60 \text{ 万元}$ ;2013年养殖区的废弃物处理总价值量为  $4.50 \text{ 万元}$ 。

## 2.3 海洋文化服务价值

### (1) 休闲娱乐

大鹏澳牡蛎养殖区的游客基本来自于深圳、香港等周边地区,据统计,2012年牡蛎养殖区共接待游客约  $6\,200$  人次,人均消费约为  $200 \text{ 元}$ ,由此,养殖区休闲娱乐服务价值为  $124.00 \text{ 万元}/\text{a}$ 。2013年养殖区休闲娱乐服务价值参考2012年的统计数据。

### (2) 科研服务

鉴于科技论文发表具有一定的滞后性,本研究以近4年来发表论文的平均值统计养殖区支持的科研论文数量,具体通过科技文献检索引擎查询筛选获得,检索的关键词为“大鹏澳”和“Dapeng Cove”,结果表明,2010年、2011年、2012

年以及2013年关于大鹏澳海域的科技论文数量分别为13、18、11和14篇,年均14篇。大鹏澳牡蛎养殖区面积为  $200 \text{ hm}^2$ ,约占海湾总面积的  $1/7$ ,由此,本研究认为牡蛎养殖区对大鹏澳海域发表论文数量的贡献率为  $1/7$ ,即  $2 \text{ 篇}/\text{a}$ 。我国海洋类科技论文的平均成本为  $35.76 \text{ 万元}/\text{篇}$ <sup>[10]</sup>,由公式(8)可以计算,大鹏澳牡蛎养殖区的平均科研服务价值为  $71.52 \text{ 万元}/\text{a}$ 。

## 2.4 大鹏澳牡蛎养殖区的生态服务价值

综合上述研究结果,可以得到大鹏澳牡蛎养殖区的生态服务价值构成(表3)。其中,2012年养殖区生态服务价值总量为  $3460.52 \text{ 万元}$ ,单位面积生态服务价值为  $17.30 \text{ 万元}/\text{hm}^2$ 。在各项服务构成中,供给服务中的养殖生产价值为  $3\,158.00 \text{ 万元}$ ,占生态服务价值总量的  $91.26\%$ ;另外,文化服务中的休闲娱乐和科研服务价值也比较可观,分别为  $124.00$  和  $71.52 \text{ 万元}$ ,占生态服务价值总量的  $3.58\%$  和  $2.07\%$ ;其他,如氧气生产( $31.34 \text{ 万元}$ ),气候调节( $61.06 \text{ 万元}$ )以及废弃物处理( $14.60 \text{ 万元}$ )价值所占份额较小。2013年养殖区生态服务价值总量降为  $814.10 \text{ 万元}$ ,单位面积生态服务价值降为  $4.07 \text{ 万元}/\text{hm}^2$ 。在各项服务构成中,供给服务中的养殖生产价值为  $540.00 \text{ 万元}$ ,其所占生态服务价值总量的份额

降为 66.33%;供给服务中的氧气生产,文化服务中的休闲娱乐和科研服务价值与 2012 年度相同,分别为 31.34,124.00 和 71.52 万元,其所占份额

则升为 3.85%,15.23% 和 8.79%;调节服务价值相对 2012 年有大幅度下降,但是其所占比例较上年度有大幅度的上升。

表 3 大鹏澳牡蛎养殖区生态服务价值构成  
Tab.3 Composition of the ecosystem service of the oyster farm in Dapeng Cove

统计年份 statistical year	服务类型 type of ecosystem services	供给服务 provision service		调节服务 regulating service		文化服务 culture service		合计 total
		养殖生产 aquaculture production	氧气生产 oxygen production	气候调节 climate regulation	废弃物处理 waste treatment	休闲娱乐 recreation	科研服务 scientific research	
2012	价值/万元 value of ecosystem service	3 158.00	31.34	61.06	14.60	124.00	71.52	3 460.52
	所占比例/% percentage	91.26	0.91	1.76	0.42	3.58	2.07	100.00
	单价/(万元/hm <sup>2</sup> ) value of per unit area	15.79	0.16	0.31	0.07	0.62	0.36	17.30
2013	价值/万元 value of ecosystem service	540.00	31.34	42.74	4.50	124.00	71.52	814.10
	所占比例/% percentage	66.33	3.85	5.25	0.55	15.23	8.79	100.00
	单价/(万元/hm <sup>2</sup> ) value of per unit area	2.70	0.16	0.21	0.02	0.62	0.36	4.07

### 3 讨论

特定海域的海洋生态系统服务价值并非一成不变,其受评估者所采用的标准和评估年份的影响很大。以桑沟湾为例,张朝晖等<sup>[2]</sup>认为桑沟湾海洋生态系统服务价值由食品供给、原材料供给、气候调节、空气质量调节、水质净化调节、有害生物与疾病的生物调节与控制、知识扩展服务与旅游娱乐服务 8 部分构成,2003 年该湾海洋生态系统服务价值总量为  $6.07 \times 10^8$  元;而石洪华等<sup>[1]</sup>则认为桑沟湾海洋生态系统服务价值由渔业生产、气体调节、污水处理、空气净化、滨海旅游以及文化价值 6 部分构成,2004 年该湾的生态服务价值总量为  $10.51 \times 10^8$  元。本研究分别从养殖生产、氧气生产、气候调节、废弃物处理、休闲娱乐以及科研服务 6 个方面较为系统地分析了大鹏澳牡蛎养殖区的生态服务价值,所采用的相关数据大多来自于养殖区实地调查,所采取的评价标准与方法,如 CO<sub>2</sub> 排放权交易价格法以及科研成本法等,更符合我国国情,因此相关结果能够更为客观和真实地反映出人类从该海域生态系统中得到的效益——生态服务价值。

需要指出的是,滤食性贝类养殖过程中会源源不断地向海底输送生物沉积(粪便和假粪),而

生物沉积中的部分 C、N、P 会长期地封存于海底<sup>[12-13,22-23]</sup>。本研究只统计了收获牡蛎对海区 C、N、P 的移除作用,而未考虑生物沉积对污染物的埋藏作用,因此,评估结果中的气候调节以及废弃物处理服务价值可能偏低。另外,在贝类养殖区生态服务价值评估中是否需要剔除浮游植物的贡献尚待商榷,这是因为养殖区浮游植物被贝类摄食、同化后,浮游植物初级生产所固定的碳很大一部分会转换为贝类的生物量。如本研究中,牡蛎养殖区浮游植物初级生产每年可以固定 1 077.00 t CO<sub>2</sub>,而 2012 年和 2013 年牡蛎对 CO<sub>2</sub> 的固定量分别为 4 672.42 和 2 947.56 t,牡蛎固定的碳中必然包含海区浮游植物初级生产的贡献,因此,研究结果中的气候调节服务价值可能存在一定程度的重复计算。

大鹏澳牡蛎养殖区的主要功能定位是生产海产品——牡蛎,因此,在其生态服务价值构成中,养殖生产服务价值占主要份额不足为奇。2012 年该海域单位面积服务价值为 17.30 万元/hm<sup>2</sup>,该值要远超桑沟湾、香港米埔湿地以及长江口牡蛎礁等生态系统的服务价值<sup>[1-2,24-25]</sup>,牡蛎养殖对海区生态服务价值的提升起着至关重要的作用。2013 年由于养殖户无视海区容纳量的限制,大幅度地增加养殖规模,加之长期养殖引起的海

区环境老化,造成牡蛎生长缓慢,肥满度低,死亡率高,严重地影响了牡蛎的产量及价格,导致养殖生产服务价值大幅度降低,最终,2013年养殖规模的扩大并未给养殖户带来丰厚的回报,养殖区的生态服务价值也大幅度降低。因此,为了实现大鹏澳生态服务功能的可持续发展,对牡蛎养殖容量进行科学评估,并据此采取有效的手段对该海区养殖模式进行规划与管理迫在眉睫。

本研究的现场调查工作由王满红、宋江以及多位匿名受访者协助完成,特此感谢。

#### 参考文献:

- [1] Shi H H, Zheng W, Ding D W, *et al.* Valuation of typical marine ecosystem services—A case study in Sanggou Bay [J]. *Marine Environmental Science*, 2008, 27(2): 101 - 104. [石洪华, 郑伟, 丁德文, 等. 典型海洋生态系统服务功能及价值评估——以桑沟湾为例. *海洋环境科学*, 2008, 27(2): 101 - 104.]
- [2] Zhang Z H, Lü J B, Ye S F, *et al.* Values of marine ecosystem services in Sanggou Bay [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2540 - 2547. [张朝晖, 吕吉斌, 叶属峰, 等. 桑沟湾海洋生态系统的服务价值. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2540 - 2547.]
- [3] Wang Q X, Tang X X. Connotation and classification of marine ecosystem services [J]. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(1): 131 - 138. [王其翔, 唐学玺. 海洋生态系统服务的内涵与分类. *海洋环境科学*, 2010, 29(1): 131 - 138.]
- [4] Zheng W, Shi H, Chen S, *et al.* Benefit and cost analysis of mariculture based on ecosystem services [J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(6): 1626 - 1632.
- [5] Zhao Y J. Summary of marine ecosystem services valuation [J]. *Ocean Development and Management*, 2007, 24(2): 114 - 118. [赵玉杰. 海洋生态系统服务价值评估综述. *海洋开发与管理*, 2007, 24(2): 114 - 118.]
- [6] Gan J L, Lin Q, Huang H H, *et al.* Distribution, variation and pollution of the sulfide in surficial sediment at cage culture area in Dapengao Bay [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27(6): 570 - 574. [甘居利, 林钦, 黄洪辉, 等. 大鹏澳网箱养殖区底质硫化物分布、变化和污染分析. *水产学报*, 2003, 27(6): 570 - 574.]
- [7] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Technical directives for marine ecological capital assessment [S]. Beijing: China Standards Press, 2012. [GB/T 28058 - 2011. 海洋生态资本评估技术导则. 北京: 中国标准出版社, 2012.]
- [8] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being [M]. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [9] Qin C X, Chen P M, Jia X P. Effects of artificial reef construction to marine ecosystem services value: A case of Yang-Meikeng artificial reef region in Shenzhen [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(8): 2160 - 2166. [秦传新, 陈丕茂, 贾晓平. 人工鱼礁构建对海洋生态系统服务价值的影响——以深圳杨梅坑人工鱼礁区为例. *应用生态学报*, 2011, 22(8): 2160 - 2166.]
- [10] Chen S, Ren D C, Xia T, *et al.* Preparation instructions of technical directives for marine ecological capital assessment [C] // China Society of Natural Resources, Xinjiang Society Natural Resources. Develop advance of resource technology, guarantee the innovated development of the west area—2011 Academic Proceeding of China Society of Natural Resources (Vol. One). Wulumuqi: China Society of Natural Resources, Xinjiang Society Natural Resources, 2011. [陈尚, 任大川, 夏涛, 等. 海洋生态资本评估技术导则编制说明 // 中国自然资源学会、新疆自然资源学会. 发挥资源科技优势保障西部创新发展——中国自然资源学会 2011 年学术年会论文集(上册). 乌鲁木齐: 中国自然资源学会、新疆自然资源学会, 2011.]
- [11] Peng Y H, Wang Z D. Analysis of nutritive status and variation of hydrochemical indexes in seawater of aquaculture area at Dapengao Bight in Daya Bay [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1999, 18(1): 26 - 32. [彭云辉, 王肇鼎. 大亚湾大鹏澳养殖海区水化学指标的变化及营养状况分析. *台湾海峡*, 1999, 18(1): 26 - 32.]
- [12] Zhang J H, Fang J G, Tang Q S. The contribution of shellfish and seaweed mariculture in China to the carbon coastal ecosystem [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(3): 359 - 365. [张继红, 方建光, 唐启升. 中国浅海贝藻养殖对海洋碳循环的贡献. *地球科学进展*, 2005, 20(3): 359 - 365.]
- [13] Tang Q, Zhang J, Fang J. Shellfish and seaweed mariculture increase atmospheric CO<sub>2</sub> absorption by coastal ecosystems [J]. *Marine Ecology Progress*

- Series,2011,424:97-104.
- [14] Yang H,Liu G P. Valuation of ecosystem services in Yangtze River Estuary [J]. Marine Environmental Science,2008,27(6):624-628. [杨红,刘广平. 长江口生态系统服务功能价值评估. 海洋环境科学,2008,27(6):624-628.]
- [15] Han Q Y,Huang X P,Shi P, *et al.* Effects of human activities on seagrass bed ecosystem services value in Hupu of Guangxi Province [J]. Chinese Journal of Ecology,2007,26(4):544-548. [韩秋影,黄小平,施平,等. 人类活动对广西合浦海草床服务功能价值的影响. 生态学杂志,2007,26(4):544-548.]
- [16] Zhuang D C, Yang Q S. Evaluation of the urban wetlands ecosystem service function in Guangzhou [J]. Tropical Geography,2009,29(5):407-411. [庄大昌,杨青生. 广州市城市湿地生态系统服务功能价值评估. 热带地理,2009,29(5):407-411.]
- [17] Lindahl O, Hart R, Hernroth B, *et al.* Improving marine water quality by mussel farming: a profitable solution for Swedish society [J]. AMBIO: A Journal of the Human Environment,2005,34(2):131-138.
- [18] Higgins C B, Stephenson K, Brown B L. Nutrient bioassimilation capacity of aquacultured oysters: quantification of an ecosystem service [J]. Journal of Environmental Quality,2011,40(1):271-277.
- [19] Chen S,Zhang Z H, Ma Y, *et al.* Program for service evaluation of marine ecosystems in China waters [J]. Advance in Earth Sciences,2006,21(11):1127-1133. [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.]
- [20] Qin C X, Chen P M, Jia X P, *et al.* Change of marine ecosystem service and its value in Shenzhen surrounding sea areas [J]. Journal of Wuhan University: Natural Science Edition, 2012, 58(1):54-60. [秦传新,陈丕茂,贾晓平,等. 深圳市周边海域海洋生态系统服务功能及价值的变迁. 武汉大学学报:理学版,2012,58(1):54-60.]
- [21] 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(6630):253-260.
- [22] Newell R I E. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: a review [J]. Journal of Shellfish Research,2004,23(1):51-61.
- [23] Zhou Y, Yang H, Zhang T, *et al.* Influence of filtering and biodeposition by the cultured scallop *Chlamys farreri* on benthic-pelagic coupling in a eutrophic bay in China [J]. Marine Ecology Progress Series,2006,317:127-141.
- [24] Xin K, Tan F Y, Huang Y S, *et al.* Valuation of ecologic services of Maipo marish in Hongkong [J]. Acta Ecologica Sinica,2006,26(6):2020-2026. [辛琨,谭凤仪,黄玉山,等. 香港米埔湿地生态功能价值估算. 生态学报,2006,26(6):2020-2026.]
- [25] Quan W M, Zhang J P, Ping X Y, *et al.* Purification function and ecological services value of *Crassostrea* sp. in Yangtze River estuary. [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2007,18(4):871-876. [全为民,张锦平,平仙隐,等. 巨牡蛎对长江口环境的净化功能及其生态服务价值. 应用生态学报,2007,18(4):871-876.]



## Ecosystem service value assessment for an oyster farm in Dapeng Cove

YU Zonghe<sup>1</sup>, JIANG Tao<sup>2</sup>, XIA Jianjun<sup>1</sup>, MA Yan'e<sup>1</sup>, ZHANG Tao<sup>3\*</sup>

(1. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

2. Jinan University, Guangzhou 510632, China;

3. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** In this study, we assessed the ecosystem service value of the oyster farm in Dapeng Cove, Daya Bay, using the methods and procedures of Millennium Ecosystem Assessment and Technical Directives for Marine Ecological Capital Assessment. Results indicated that, the total ecosystem service value (ESV) of the oyster farm in 2012 was  $3\,460.52 \times 10^4$  RMB, and the unit ESV was  $17.30 \times 10^4$  RMB/hm<sup>2</sup>. The aquaculture production service value ( $3\,158.00 \times 10^4$  RMB) accounted for the largest proportion of the ESV (91.26%); besides, the recreation service value ( $124.00 \times 10^4$  RMB) and scientific research service value ( $71.52 \times 10^4$  RMB) accounted for comparatively high proportions (3.58% and 2.07%, respectively); the rest, such as oxygen generation value ( $31.34 \times 10^4$  RMB), climate regulation value ( $61.06 \times 10^4$  RMB) and waste treatment value ( $14.60 \times 10^4$  RMB) accounted for lower proportions of the ESV. However, for the year 2013, the total ESV of this area decreased to  $814.10 \times 10^4$  RMB, and the unit ESV decreased to  $4.07 \times 10^4$  RMB/hm<sup>2</sup>. In the composition of the ESV, the aquaculture production service value ( $540.00 \times 10^4$  RMB) was much lower than that of the former year, but it still accounted for the largest proportion (66.33%) of the ESV; the oxygen production service value ( $31.34 \times 10^4$  RMB), recreation service value ( $124.00 \times 10^4$  RMB) and scientific research service value ( $71.52 \times 10^4$  RMB) were consistent with the previous year, however, their proportions increased to 3.85%, 15.23% and 8.79% of the ESV, respectively; the regulating service (including climate regulation and waste treatment) value decreased sharply during this year, however, it accounted for comparatively higher proportion of the ESV than that of 2012. We concluded that the degradation in the ESV was due to decrease of aquaculture production service, which was mainly caused by high stocking intensity and environmental degradation. In conclusion, the oyster culture promotes the ESV of the Dapeng Cove, however, reasonable regulation should be made for the sustainable development of the ecosystem function of this cove.

**Key words:** oyster; marine culture; ecosystem service; value assessment; Dapeng Cove

**Corresponding author:** ZHANG Tao. E-mail: tzhang@qdio.ac.cn