

桑沟湾不同区域养殖栉孔扇贝的固碳速率

张继红¹ 方建光¹ 唐启升¹ 任黎华^{1,2,3}

(¹ 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 碳汇渔业实验室, 青岛 266071)

(² 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

(³ 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要 测定桑沟湾深水区、浅水区栉孔扇贝固碳量, 并进行固碳速率的标准化处理, 增加了与陆地生态系统固碳率的可比性, 分析了栉孔扇贝在不同养殖区的固碳速率及其主要控制因素。研究显示, 对于同一养殖种类, 深水区生物固碳的速率比浅水区高两倍。不同区域, 贝类壳碳及软体部中碳的含量没有显著性差异, 导致区域性差异的主要原因是由于生长速度、养殖密度及存活率的不同而导致单位面积的产量存在差异。养殖栉孔扇贝的固碳速率可与森林相媲美。另外, 贝类的养殖活动与浅海生态系统的碳循环之间关系复杂, 需要加强贝类的摄食、呼吸、生物沉积、钙化等整个生理生态学过程研究。

关键词 生物固碳 栉孔扇贝 桑沟湾 海水养殖

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2013)01-0012-05

Carbon sequestration rate of the scallop *Chlamys farreri* cultivated in different areas of Sanggou Bay

ZHANG Ji-hong¹ FANG Jian-guang¹ TANG Qi-sheng¹ REN Li-hua^{1,2,3}

(¹ Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Carbon-Sink Fisheries Laboratory, Qingdao 266071)

(² Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

(³ University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

ABSTRACT The annual yield of shellfish aquaculture in China is reaching nearly 10 million tonnes. Carbon sequestration rate of the maricultured scallop *Chlamys farreri* in different areas of Sanggou Bay was measured in this study, and the main controlling factors in different areas were analyzed and discussed. Also, the comparability with terrestrial ecosystems was increased by standardizing carbon unit. No significant difference was found for scallop shell and soft tissue carbon content in different areas. However, differences in growth rate, stocking density and survival rate in different areas caused the differences in yield, which consequently resulted in different biological carbon sequestration rates in different areas. Carbon sequestration rate of

国家自然科学基金(41076111;41276172)、国家科技支撑计划课题(2011BAD13B06;2008BAD95B11)和国家 973 课题(2011CB409805)共同资助

收稿日期:2012-04-09;接受日期:2012-07-19

作者简介:张继红(1969-),女,研究员,主要从事养殖生态学研究。E-mail:zhangjih@ysfri.ac.cn, Tel:(0532)85822957

cultured scallop *C. farreri* was comparable with the forest. In addition, shellfish farming activities had complicated the relationship with ecosystem carbon cycling in shallow water. Physiological processes such as feeding, breathing, bio-deposit and calcification need to be further studied in the future.

KEY WORDS Carbon biosequestration Scallop *Chlamys farreri* Sanggou Bay Mariculture

海洋作为地球上最大的碳库,每年吸收了人类排放 CO_2 总量的 20%~35% (Khaliwala *et al.* 2009; Hood *et al.* 2009), 大约为 2.0×10^9 t (Nellemann *et al.* 2009)。海洋在全球碳循环中发挥着重要作用,有效延缓了温室气体排放对全球气候的影响。虽然,目前关于海洋碳源/汇评估、计量方法尚待完善,全球海岸带有关温室气体的封存率及排放率尚未纳入国际社会或各国应对气候变化对策的考虑范畴,但是,人们正在研究提高海洋吸收或固碳的方法和技术,例如,将二氧化碳注入深海的海底 (Doneha 2004)、通过施铁促进浮游植物的初级生产力,提高海洋吸收二氧化碳的能力等 (Rehdanz *et al.* 2006)。随着全球温度的升高,海洋中 CO_2 趋于饱和,海洋吸收 CO_2 的能力将会发生改变 (Rehdanz *et al.* 2006)。因此,有必要考虑从海洋中移出 C,以促进海洋对 CO_2 的吸收。中国是浅海贝养殖的第一大国,年产量近 1 000 万 t。利用养殖贝类来固定和移出海洋中的碳,可能是一种比较有潜力的方法 (Tang *et al.* 2011)。关于养殖贝类固碳潜力的报道很少 (张继红等 2005; 张明亮等 2011; Tang *et al.* 2011)。

桑沟湾是我国北方典型的筏式贝类养殖区,栉孔扇贝是桑沟湾的主要养殖品种之一。本研究通过测定桑沟湾深水区、浅水区栉孔扇贝固碳量,并进行固碳速率的标准化处理,与陆地生态系统固碳率进行比较,分析了栉孔扇贝在不同养殖区的固碳潜力。

1 材料与方 法

1.1 养殖方式

桑沟湾栉孔扇贝养殖深水区、浅水区的取样点见图 1。

栉孔扇贝筏式养殖区,筏绳长 100 m,筏间距 4 m,每个养殖单元(养殖亩)的面积为 1 600 m^2 。每养殖亩养殖扇贝 400 笼,浅水区的养殖笼 8 层/笼,每层养殖 30 个。深水区的养殖笼为 15 层/笼,每层养殖 30 个。养殖从 5 月初开始放苗,次年的 3 月底开始收获。

1.2 栉孔扇贝壳及软体部碳含量及生长、存活情况

从 2007 年 7 月至翌年的 3 月,逐月测定深水区、浅水区栉孔扇贝的贝壳及软体部中的碳含量。每次两个区各取 15 个栉孔扇贝,带回实验室去掉表面污物后进行湿重、壳高、壳长的测定。样品于 60℃ 烘干至恒重,称重。动物软体、贝壳和藻类粉碎至 100 目,用 Elementar Vario CHN 元素分析仪测定 C、H、N 元素的含量,在养殖前测定栉孔扇贝苗的规格以及壳、软体部的碳含量。测定方法同上。3 月底收获时,测定总的存活率、扇贝的湿重、组织干重等指标,计算每养殖亩的养殖产量。

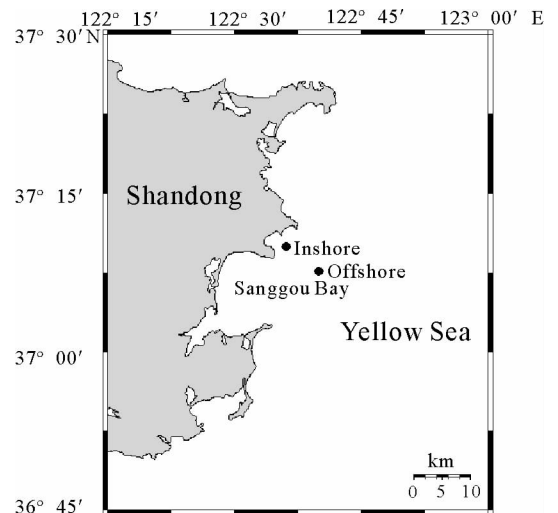


图 1 桑沟湾栉孔扇贝养殖深水区、浅水区的取样站位
Fig. 1 Sampling station of inshore and offshore area in Sanggou Bay

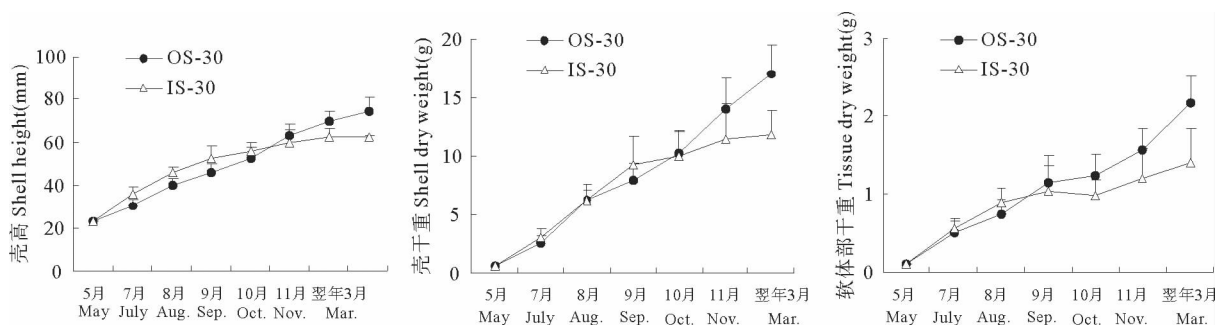
1.3 栉孔扇贝固碳速率的标准化处理

以陆生植物广泛使用的固碳单位： $\text{tC}/\text{hm}^2 \cdot \text{year}$ 为基准，将养殖贝类的固碳速率换算为标准固碳单位 $\text{tC}/\text{hm}^2 \cdot \text{year}$ 。

2 实验结果

2.1 深水区、浅水区栉孔扇贝的生长、存活情况

栉孔扇贝的壳高、重量变化情况见图2。深水区栉孔扇贝的生长状况好于浅水区。在3月收获时，栉孔扇贝在深水区的壳高、软体部干重及壳干重都显著高于浅水区(Independent Samples Test, $df=33$, $P=0.000 < 0.01$)。



注:OS-30, IS-30 分别代表深水区、浅水区

图2 深水区、浅水区栉孔扇贝的生长情况

Fig. 2 Seasonal variation of shell height, dry weight of scallop *C. farreri* in inshore and offshore area in Sanggou Bay

3月收获时，栉孔扇贝的基础生物学指标见表1。栉孔扇贝在深水区的存活率高于浅水区。

表1 桑沟湾养殖栉孔扇贝收获时(3月份)的基本生物学特性

Table 1 Basic biological characteristics of harvested scallop *C. farreri* in Sanggou Bay

项目	Items	深水区 Offshore area	浅水区 Inshore area
壳高	Shell height (mm)	69.76±4.65	62.43±4.23
湿重	Total wet weight (g/ind.)	36.54±4.80	25.60±5.92
壳干重	Shell dry weight (g/ind.)	17.04±2.53	11.45±2.14
软体部干重	Tissue dry weight (g/ind.)	2.17±0.34	1.42±0.49
成活率	Survival rate (%)	90±1	83±2

2.2 栉孔扇贝壳及软体部中的碳含量

栉孔扇贝放苗的规格:壳高为 $23.19 \pm 0.053\text{mm}$,湿重为 $1.10 \pm 0.13\text{g}$,壳干重为 $0.56 \pm 0.04\text{g}$,软体部干重 $0.08 \pm 0.003\text{g}$,壳碳和软体部碳含量分别为 $11.82\% \pm 0.03\%$ 、 $38.11\% \pm 0.06\%$ 。以此来计算,栉孔扇贝单位个体的碳含量为 $0.097\text{g}/\text{ind.}$ 。其中,壳碳 $0.067\text{g}/\text{ind.}$,软体部碳 $0.030\text{g}/\text{ind.}$ 。

从7月至翌年的3月,逐月测定贝壳及软体部中碳含量(图3)。结果显示,深水区与浅水区贝壳、软体部中碳的含量没有显著性差异。浅水区壳碳含量位于 $11.99\% \sim 12.16\%$ 范围,平均为 $12.05\% \pm 0.064\%$;软体部碳含量介于 $37.31\% \sim 39.29\%$ 范围,平均为 $38.01\% \pm 0.85\%$ 。深水区壳及软体部碳含量分别为 $12.03\% \pm 0.068\%$ 、 $38.09\% \pm 0.89\%$ 。在同一区域,不同月份,软体部碳含量不同。统计分析结果显示,8月软体部碳含量最高,显著高于10月(含量最低)(Independent Samples Test, $P < 0.01$)。

2.3 深水区、浅水区栉孔扇贝固碳速率

5 月初放苗,翌年 3 月收获,养殖的时间为 10 个月,即 $10/12=0.83$ year。

根据层数/笼、苗的数量/层、笼数/亩,计算出浅水区、深水区栉孔扇贝养殖密度分别为 600 000、1 125 000 个/hm²。根据表 1 及壳碳、软体部碳含量,计算出桑沟湾栉孔扇贝的固碳速率(表 2)。结果显示,不同养殖区固碳速率不同,深水区的固碳速率为 3.36 tC/hm²·year,为浅水区的 3 倍。

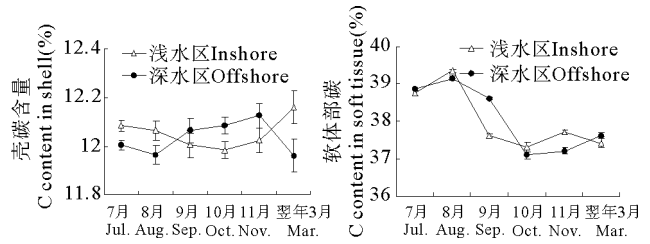


图 3 栉孔扇贝的贝壳、软体部中碳含量的季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of carbon content in shell and soft tissue of scallop

表 2 桑沟湾不同区域养殖栉孔扇贝的固碳速率

Table 2 Carbon sequestration rate of scallop *C. farreri* in different area in Sanggou Bay

项目 Items	深水区 Offshore		浅水区 Inshore	
	壳 Shell	软体部 Soft tissue	壳 Shell	软体部 Soft tissue
养殖密度 Mariculture density(ind/hm ²)	1 125 000		600 000	
产量(干重) Production in dry weight(kg/hm ²)	21 600		7 720	
1 个养殖周期的固碳量 C Sequestration in a mariculture cycle (kg/hm ²)	2 000	800	650	250
标准固碳量 Standard C sequestration (tC/hm ² ·year)	2.4	0.96	0.80	0.30
总计 Total C (tC/hm ² ·year)	3.36	1.10		

3 讨论与分析

陆生植物的固碳速率因区域、种类及其他外界环境的不同而存在差异。本研究发现,同陆生植物相似,对于同一种养殖贝类,在不同的区域,生物固碳的速率存在显著性差异。不同区域,贝类壳碳及软体部中碳的含量没有显著性差异,导致区域性差异的主要原因是单位面积的产量,影响单位面积产量的因素包括:1)养殖生物的个体生长速度:不同区域,栉孔扇贝个体的生长速度不同,收获时,个体重量之间存在显著性差异;2)养殖密度:不同区域,养殖贝类的密度不同。浅水区受水域环境如流速、水深的限制,网笼的层数为 8 层,而深水区的网笼为 15 层,在每层养殖栉孔扇贝的个数相同的条件下,深水区的养殖密度为浅水区的近一半;3)存活率:养殖在深水区的栉孔扇贝,存活率高于浅水区。研究发现,对于同一区域的栉孔扇贝,不同生长期,其软体部碳含量存在差异。选择不同的收获季节,可能获得不同的固碳速率。今后,可从食物产出与固碳量双赢的角度,确定最佳收获期。

准确评估我国养殖贝类固碳的速率面临以下问题。首先,我国是贝类养殖大国,养殖贝类种类繁多,有 30 种以上,不同种类,软体部中碳含量存在差异(周毅等 2002)。相同的种类,本研究测定桑沟湾栉孔扇贝软体部中碳的含量略低于四十里湾的结果(周毅等 2002)。其次,我国贝类的养殖方式众多,包括筏式养殖、底播养殖、滩涂池塘养殖等。不同养殖方式,单位面积的产量存在很大的差异,例如,对于虾夷扇贝,吊耳养殖的生长率高于筏式笼养 10%,相同水面的产量是笼养的 1.86~3.86 倍(张明等 2011)。再者,即使是对于同一种贝类、应用同一种养殖方式,养殖在不同的区域,其产量亦存在较大的差异。因为,养殖笼的长度往往会因海域水深的不同而不同,每笼的层数从 8~20 层的都有。不同的养殖场,每层放养的密度不同,变化范围在 20~50 个/层之间。最后,产量与养殖贝类的成活率正相关。成活率越高,固碳量越大。影响成活率的因素很多,如养殖密度、海域的环境条件(水温、盐度、食物的可获得性等)、苗种的质量、病原菌的情况等等(Koska et al. 1996),成活率存在很大的不确定性和区域可变性。

面对全球气候变化的压力,《京都议定书》制定了“清洁发展机制(CDM)”,碳汇市场与贸易、碳基金等新兴领域备受国际社会关注,监测与评价碳汇成为发展生物碳汇必须解决的问题。生物固碳(Biosequestration),也叫碳封存或碳扣押,通常定义为植物(例如树木)从大气中扣押或吸收碳的活动。陆生植物通过光合作用将吸收的二氧化碳转化为氧气和自身物质。陆地系统,特别是森林已有相对较为成熟的、有效的计量方法与体系,使森林资源所吸收固碳的 CO_2 量,成为一种可交易的产品(Prabhu 2000)。同造林和再造林固碳的广泛研究相比,有关贝类固碳的研究是非常薄弱的,目前世界上尚没有成熟的、公认的评估方法可以借鉴。通过对养殖贝类生物固碳的标准化处理,增加了与陆地上植物固碳的可比性。桑沟湾养殖栉孔扇贝的固碳速率可以与陆地上的树木相媲美。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)公布的数据显示,对于一直为有林地(5A1)单位面积森林生物量中的碳储量年变化量因不同森林类型而异,各国的平均值从 $-0.25 \sim 2.60 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{year}$ 不等,其中美国 0.47, 欧盟(15)平均 0.57, 日本 0.84, 新西兰 0.30, 澳大利亚和俄罗斯 0.13。对于其他地类转化为有林地(5A2),单位面积森林生物量中的碳储量年变化量位于 $0.2 \sim 3.63 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{year}$ 范围。对我国 50 年来的生态治理项目中建设的人工林固碳率进行研究发现,每 hm^2 50 年累积 4.795 tC, 平均每年每 hm^2 固碳 1.9 tC(魏殿生 2003)。

应该看到,陆地上的森林植被,它们对碳循环的影响是短期的,因为树木植被的腐烂分解,碳很快又被释放到大气中了。而沉入海底的贝壳中的碳通过生物地化循环再回到大气中需要数百万年。即使是收获到陆地上的贝壳,其中的碳经再循环回到大气中也需要很长的时间。然而,贝类不同于植物,树木可直接从大气中吸收二氧化碳,而贝类是动物,存在呼吸作用。另外,贝类在利用海水中的 HCO_3^- (碳酸氢根)形成 CaCO_3 (碳酸盐) 躯壳(俗称贝壳)时,发生如下的反应: $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- = \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, 形成 1 摩尔碳酸钙的同时,会释放 1 摩尔的二氧化碳(Chauvaud *et al.* 2003)。因此,加强贝类的摄食、呼吸、生物沉积、钙化等整个生理生态学过程研究,了解养殖贝类的碳收支及浅海养殖生态系统碳循环中的作用是非常重要和必要的。另外,不同海域,浮游植物现存量及初级生产力不同,可支持的贝类养殖容量不同。了解我国沿海海洋的基本初级生产力状况,评估滤食性贝类养殖容量,是准确评估我国浅海贝类碳扣押潜力的基础。

参 考 文 献

- 张继红,方建光,唐启升. 2005. 中国浅海贝藻养殖对海洋碳循环的贡献. 地球科学进展, 20(3): 359-365
- 张 明,刘顶峰,李华琳,付成东,李石磊,于佐安,腾炜鸣,乔 英,李文姬. 2011. 黄海北部虾夷扇贝吊耳养殖技术研究. 水产科学, 30(12): 726-730
- 张明亮,邹 健,毛玉泽,张继红,方建光. 2011. 养殖栉孔扇贝对桑沟湾碳循环的贡献. 渔业现代化, 38(4): 13-16, 31
- 周 毅,杨红生,刘石林,何义朝,张福绥. 2002. 烟台四十里湾浅海养殖生物及附着生物的化学组成、有机净生产量及其生态效应. 水产学报, 26(1): 21-27
- 魏殿生. 2003. 造林绿化与气候变化: 碳汇研究. 北京: 中国林业出版社, 2-21
- Chauvaud L, Thompson JK, Cloern JE, Thouzeau G. 2003. Clams as CO_2 generators: The *Potamocorbula amurensis* example in San Francisco Bay. Limnology Oceanography 48(2): 2086-2092
- Donella H. 2004. Meadows. www. gristmagazine. com
- Hood E, Fellman J, Spencer GM and 5 others. 2009. Glaciers as a source of ancient and labile organic matter to the marine environment. Nature 462(7276): 1044-1047
- Khatiwala S, Primeau F, Hall T. 2009. Reconstruction of the history of anthropogenic CO_2 concentrations in the ocean. Nature 462: 346-349
- Koska Y, Aisaka K, Takarada M. 1996. "Mimizuri-hotategai no syunki heisi-genin" cause of mortality of ear-hanging scallop in spring. Annual Report of the Aquaculture Center, Aomori Prefecture 26: 140-148
- Nellemann C, MacDevette M, Manders T, *et al.* 2009. The environmental food crisis the environment's role in averting future food crises. A UN-EP Rapid Response Assessment. Arendal, Norway: United Nations Environment Programme, GRID-Arendal
- Prabhu D. 2000. Carbon trading and sequestration projects offer global warming solutions. Air & Waste Management Association 3: 15-24
- Rehdanz K, Tol RSJ, Wetzel P. 2006. Ocean carbon sinks and international climate policy. Energy Policy 34(18): 3516-3526
- Tang QS, Zhang JH, Fang JG. 2011. Shellfish and seaweed mariculture increase the capacity of the coastal ecosystem to absorb atmospheric CO_2 ? Mar Ecol Prog Ser 424: 97-104