

文章编号:1000 - 0615(2006)02 - 0277 - 04

研究简报 ·

## 栉孔扇贝对春季桑沟湾颗粒有机物的摄食压力

张继红, 方建光

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

关键词:栉孔扇贝;颗粒有机碳;初级生产力;桑沟湾

中图分类号:S968.3 文献标识码:A

### The grazing impact of scallop *Chlamys farreri* on the particle organic materials of Sanggou Bay in spring

ZHANG Ji-hong, FANG Jian-guang

(Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Qingdao 266071, China)

**Abstract** Sanggou Bay is one of the most important cultural areas in China. The scallop *Chlamys farreri* is a dominant cultural species in this Bay. To examine the effect of the cultural scallops on the suspension particle organic carbon (POC) of the Bay, field surveys on the living environmental conditions of the scallop in the bay were conducted in spring in 1999 and 2000. The main parameter clearance rate that can respond to the physiological condition of scallop was measured in laboratory. The clearance rate was determined using the method of food depression in static system. Meanwhile, the relationship of clearance rate and temperature that changed from 1 to 30 °C was measured in the experiment. Results showed that the relation of clearance rate and temperature was same as Gaussian curve, and the relationship can be expressed as the following:  $CR = \{234.7 \div [7.17 \times (6.283)^{0.5}]\} \times \text{EXP}\{-0.5 \times [(T \times 22.14) \div 7.174]^2\}$ . The average concentrations of POC in May and April were  $432 \mu\text{g} \cdot \text{Cl}^{-1}$  and  $139.92 \mu\text{g} \cdot \text{Cl}^{-1}$ , respectively. The range of primary production in May and April of the bay were  $79.3 - 220.8 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  and  $57.2 - 196.6 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ , respectively. In respect of the temperature of sea water, there was no significant difference among the stations in April, but difference was observed among the stations in May ( $P < 0.05$ ). The grazing impacts of the cultural scallops on POC stocking in May and April were between 10.2% - 73.4% and 6.2% - 25.2%, respectively; the mean grazing impacts were 40.8% and 18.8%, respectively. 10.9% - 49.9% and 39.8% - 186.2% stocking of the carbon coming from primary production were circulated into the main food web through scallop filtration in April and May respectively. There are significant differences between the stations and temperature is the mainly reason causing the difference.

**Key words**: *Chlamys farreri*; particle organic carbon; primary production; Sanggou Bay

由于养殖密度和产量较高,滤食性扇贝的养殖活动对海洋碳循环的影响引起人们的关注。不仅收获贝类能够从海域中移出大量的颗粒有机碳 (particle organic carbon, POC),而且,在贝类养殖过程中(滤食、呼吸、排粪等生理活动)也对养殖海区的 POC 产生较大的影响。目前,国内、外学者就贻贝养殖的碳氮通量、虾夷扇贝的碳收支情

况、生物沉降及其对底栖生物群落的影响、养殖贝类对浮游植物和悬浮颗粒物的摄食等方面进行了广泛的研究<sup>[1-6]</sup>。但是,养殖栉孔扇贝对我国主要养殖海区桑沟湾 POC 的摄食压力未见报道。

本文采用室内静水法对栉孔扇贝的清除率与水温的关系进行了测定,结合 1999 年 5 月和 2000 年 4 月对桑沟

收稿日期:2005-07-23

资助项目:国家自然科学基金项目(30271021)

作者简介:张继红(1969-),女,吉林人,副研究员,硕士,主要从事贝类生理生态和养殖容量评估研究。Tel:0532-85822957, E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

通讯作者:方建光, E-mail:fangjg@ysfri.ac.cn

湾自然海区主要环境参数和栉孔扇贝的生物量现场调查资料,分析了养殖栉孔扇贝对桑沟湾 POC 的利用率和对初级生产的摄食压力,为养殖容量的评估和科学养殖管理提供指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 桑沟湾海区栉孔扇贝的养殖情况及其生活环境参数的调查

调查、测定方法详见文献[7]方法。

### 1.2 栉孔扇贝清滤率的测定

平均壳长为(54.2 ±4.0) mm 的栉孔扇贝取自桑沟湾养殖网笼。放置于 20 L 的水族箱中暂养,每天换水 10 L,投喂三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)。

用恒温培养箱控制温度,升温幅度为每天升 1 ℃,在每个温度下适应 3 d 后进行实验。本实验设定的温度为:1、3、5、10、15、23、25、27、28、29 和 30 ℃。3 L 的烧杯中放置栉孔扇贝 1 个,共设平行样 15 个,空白对照 1 个(3 L 的烧杯中不放扇贝)。温度为 1~15 ℃ 的实验组所用的饵料为三角褐指藻,对于高温(23、25、27、28、29 和 30 ℃)的实验组,由于低温种三角褐指藻沉底现象严重,改用大小相近金藻(*Isochrysis galbana*) (这两种微藻的大小在 4~7 μm 之间,三角褐指藻和金藻的众数值分别为 5.2 和 5.5 μm)。初始浓度不超过  $2.5 \times 10^7$  ind · L<sup>-1</sup>,以防产生假粪影响贝类清滤率<sup>[8]</sup>。饵料的浓度(ind · L<sup>-1</sup>)用颗粒计数器测定(Coulter Multisizer)。在 15 ℃ 相同的条件下,比较了两种不同饵料微藻对栉孔扇贝清滤率的影响。实验结束后经烘箱 60 ℃ 烘干(48 h),测栉孔扇贝的组织干重。

### 1.3 有关计算公式及数据处理

清滤率(CR: L · h<sup>-1</sup>):  $CR = V \times (\ln C_0 - \ln C_t) / t$

摄食率(FR: μg · h<sup>-1</sup>)为滤水率与饵料中 POC 浓度的乘积,(本文中清滤率等于滤水率)。

其中,C<sub>0</sub>和 C<sub>t</sub>是实验开始和结束时饵料的浓度;V 是实验的水体;t 为实验持续的时间。

通过公式  $Y_s = (W_s / W_e)^b \times Y_e$  将对扇贝实测的生理指标(清滤率)换算成组织干重为 1 g 的标准生理指标。其中:Y<sub>s</sub> 为标准生理指标(清滤率);Y<sub>e</sub> 为实测的生理指标(清滤率),未经体重校对;W<sub>s</sub> 为标准组织干重(1 g);W<sub>e</sub> 为实验所用的栉孔扇贝的组织干质量;对于清滤率,b 值为 0.62<sup>[8]</sup>。

应用 ANOVA 分析、F 检验法及 Tukey's HSD 检验进行数据的分析比较。

## 2 结果

### 2.1 桑沟湾海区栉孔扇贝的养殖情况及其生活环境参数

桑沟湾(37.1°N, 122.5°E)总面积约为 140 km<sup>2</sup>,平均

水深 8 m。栉孔扇贝(*Chlamys farreni*)是桑沟湾的主要养殖对象之一。栉孔扇贝主要以网笼挂养,每亩 400 笼,一般每笼 10 层,每层放栉孔扇贝 15~30 个不等。绳间距 5 m,笼间距 1 m,每亩相当于 2000 m<sup>2</sup>。4 月和 5 月份栉孔扇贝的壳长分别平均为(36.8 ±5.5) mm 和(40.6 ±2.3) mm,组织干重分别平均为(0.30 ±0.18) g 和(0.45 ±0.19) g。

桑沟湾自然海区调查站位的设置情况如图 1。各站位的主要环境参数见表 1。4 月和 5 月桑沟湾水温平均分别为(11.84 ±1.31) ℃ 和(13.94 ±3.02) ℃。4 月份各站位之间的水温相差不大,5 月份各站位之间的水温差异性显著( $P < 0.05$ )。4 号和 1 号站位的水温较高,分别为 17.6 ℃ 和 17.8 ℃,这两个站位的盐度也比其它站位的偏低,可能是受内陆径流的影响;站位 5 的水温最低,为 9.6 ℃,可能是由于站位 5 处于湾口受外湾水流的影响较大的原因。4 月和 5 月各站位的盐度和 pH 值之间无显著性差异。

总体来说,5 月叶绿素 a、POC 和初级生产力均高于 4 月。5 月和 4 月叶绿素 a(μg · L<sup>-1</sup>)的浓度分别为 0.745~1.723 和 0.36~1.01;初级生产力(mg · m<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup>)分别为 79.3~220.8 和 57.2~196.6。5 月 POC(μg · L<sup>-1</sup>)的含量为 345~529,平均为 432 μg · L<sup>-1</sup>。4 月份,各站的平均值为 139.92 μg · L<sup>-1</sup>,明显低于 5 月份的值。

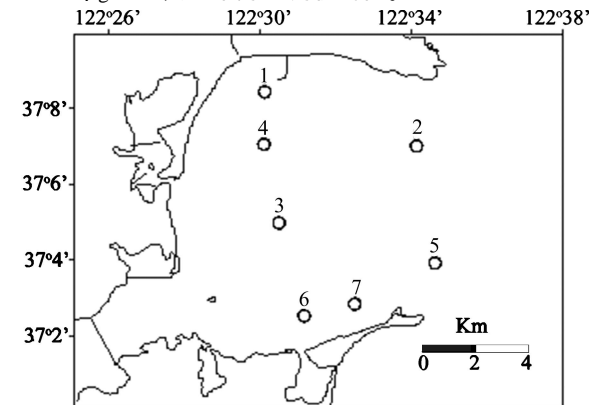


图 1 调查站位图

Fig. 1 Map of the investigative stations

### 2.2 栉孔扇贝的清滤率与温度的关系

在 15 ℃ 条件下,栉孔扇贝对三角褐指藻和等鞭金藻的清滤率分别为(8.0 ±2.25) L · h<sup>-1</sup> · g<sup>-1</sup> dry wt 和(10.5 ±2.36) L · h<sup>-1</sup> · g<sup>-1</sup> dry wt,经统计学分析无显著性差异( $F = 3.31$ ,  $df = 29$ ,  $P > 0.05$ ),因此,认为本文中饵料种类不是影响清滤率变化的主要原因。在实验期间,没有栉孔扇贝死亡。但是,当温度超过 23 ℃ 时,个体之间清滤率的差异极大。栉孔扇贝的清滤率与温度的关系类似高斯曲线(gaussian curve)(图 2)。其关系式如下:

$CR = \{234.7 \div [7.17 \times (6.283)^{0.5}]\} \times \text{EXP}\{-0.5 \times [(T \times 22.14) \div 7.174]^2\}$  ( $r^2 = 0.85$ ,  $df = 9$ ,  $P < 0.000001$ )。

表 1 各站位的主要环境参数

Tab. 1 Environmental conditions of the investigative stations

时间 time	站位 station	1	2	3	4	5	6	7
99 年 5 月	温度( ) temperature	17.8	11.4	13.0	17.6	9.6	14.4	13.8
	盐度 salinity	31.72	32.15	32.02	31.98	32.03	31.98	32.00
	pH	8.08	8.05	8.10	8.17	8.14	8.12	8.11
	叶绿素( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) Chla	1.090	1.723	1.315	1.255	0.965	0.745	0.855
	颗粒有机碳( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) POC	529.5	496.0	354.0	457.0	495.5	345.0	347.0
	初级生产力( $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) PP	231.7	101.5	185.6	177.1	79.3	168.9	220.8
00 年 4 月	温度( ) temperature	12.60	9.2	12.8	11.4	11.5	12.6	12.8
	盐度 salinity	32.61	32.39	32.45	32.43	32.43	32.51	32.52
	pH	8.28	8.24	8.28	8.30	8.28	8.28	8.27
	叶绿素( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) Chla	1.01	0.53	0.61	0.36	0.65	0.91	0.88
	颗粒有机碳( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) POC	149.0	128.5	88.0	101.5	No data	101.5	271.0
	初级生产力( $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) PP	109.1	57.2	108.0	38.9	140.4	196.6	221.8

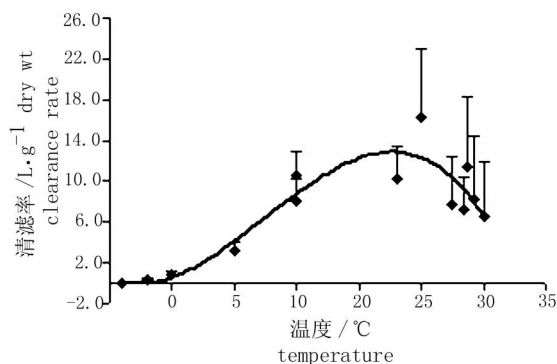


图 2 温度对栉孔扇贝清滤率的影响

Fig. 2 Effect of temperature on the clearance rate of *C. farreni*

### 2.3 养殖栉孔扇贝对 POC 现存量及初级生产力的摄食压力

栉孔扇贝在各站位的清滤率、对碳的摄食率及对 POC 现存量的利用率和初级生产力的摄食压力见表 2。在一定的范围内,随着温度的升高,贝类的摄食等代谢活动加快。4 月和 5 月桑沟湾的平均水温分别为  $(11.8 \pm 1.31)$  和  $(13.9 \pm 3.02)$ , 从整体上来看,温度对栉孔扇贝摄食生理活动的影响不大。4 月各站位栉孔扇贝的清滤率为  $2.57 \sim 5.60 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dry wt}$ , 平均为  $4.74 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dry wt}$ , 5 月的清滤率平均为  $6.91 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dry wt}$ , 但个别站位如 1、4 站位的水温较高,据室内实验结果——温度与清滤率的关系计算,在该温度下栉孔扇贝的清滤率比其它站位大近 1 倍。清滤率和饵料浓度是决定摄食率大小的

两个主要因素。在 5 月由于站位 1、4 的清滤率较高,因此计算得出该两个站位的摄食率较大。4 月在清滤率相近的站位 3 和 7,由于饵料浓度的差异,而导致两个站位的摄食率相差近 3 倍。5 月栉孔扇贝对 POC 现存量的利用率为  $10.2\% \sim 73.4\%$ , 平均为  $40.8\%$ ; 4 月对 POC 现存量的利用率为  $6.2\% \sim 25.2\%$ , 平均  $18.8\%$ 。

## 3 讨论

### 3.1 栉孔扇贝的摄食生理

清滤率 (clearance rate) 指单位时间水中食物颗粒完全被滤食的这些过滤水的体积。滤水率 (filtration rate) 指单位时间滤食性贝类所过滤水的总体积。只有当水中的悬浮颗粒物质的大小等物、化因子合适,滤食性贝类对水中悬浮颗粒的保留率为  $100\%$  的前提下,滤水率才可能等于清滤率。一般认为滤食性贝类能够  $100\%$  的滤食大于  $4 \mu\text{m}$  的颗粒<sup>[9]</sup>。实验用饵料微藻的大小为  $4 \sim 7 \mu\text{m}$ , 能被栉孔扇贝完全滤食。故认为所测定的清滤率与滤水率相近。滤水率是常数,受环境因素:温度、盐度、流速等的影响较大。测定滤水率的方法国内现有:静水法(清滤率法)、模拟现场流水法和生物沉积法。虽后两种方法采用模拟现场或现场测定,使测定结果更能反映贝类在自然海区的状况,但因自然海区环境状况的复杂性和多变性,任何一种方法都只是对其真实值的估算,都有各自的优缺点。如生物沉积法是基于贝类对颗粒物质的保留率为  $100\%$  的假设条件,实际上自然海区中小于  $4 \mu\text{m}$  的颗粒占相当大的比例,栉孔扇贝对其保留率不足  $50\%$ 。而模拟现场流水法只能取近岸的海水,不能反映全湾的情况。由于静水法具有能严格地控制实验条件、操作简单、可靠性较大等优点,是

目前国际上极为常用的方法,研究者采用该法测定的结果 用于养殖容量评估、贝类生长预测等方面<sup>[8]</sup>。

表2 栉孔扇贝群体对 POC 现存量及初级生产力的摄食压力

Tab.2 Grazing impact of scallop assemblages on the POC stock and primary production

时间 time	站点 station	清滤率 ( $L \cdot h^{-1} \cdot g^{-1} \cdot dry \cdot wt$ ) CR	个体摄食率 ( $\mu g \cdot d^{-1}$ ) individual FR	群体摄食率 ( $mg \cdot d^{-1} \cdot m^{-2}$ ) population FR	对 POC 现存量的摄食压力 (%) impact on POC stock	对 PP 的摄食压力 (%) impact on PP
99 年 5 月	1	10.88	62191	3109	73.4	167.7
	2	4.26	22810	1140	15.3	74.9
	3	5.80	22175	1108	20.8	39.8
	4	10.69	52757	2637	72.1	186.2
	5	2.83	15166	758	10.2	63.7
	6	7.30	27188	1359	49.2	100.6
	7	6.64	24899	1244	44.8	70.5
00 年 4 月	1	5.39	5786	289	24.3	33.2
	2	2.57	2375	118	6.2	13.8
	3	5.60	3545	177	13.4	10.9
	4	4.26	3111	155	19.2	49.9
	5	4.35	no data	no data	no data	no data
	6	5.39	3941	197	24.3	12.5
	7	5.60	10918	545	25.2	30.8

从调查结果看,桑沟湾各站位的盐度、pH 值的变化不大,而水温变化较大,尤其是 5 月份,各站位温度之间差异性极其显著 ( $P < 0.01$ )。故进行温度对清滤率的影响的测定,获得了温度和清滤率之间的关系式,以此来计算栉孔扇贝在各站点的清滤率。虽然各站位之间饵料浓度 (Chla 和 TPM) 和质量 (POM) 的含量变化较大,但通过测定清滤率与饵料中叶绿素浓度间的关系,计算各站位栉孔扇贝的清滤率差异性不显著<sup>[7]</sup>,故在计算栉孔扇贝对 POC 现存量以及初级生产的摄食压力时,只考虑了温度的影响。

### 3.2 栉孔扇贝养殖对桑沟湾碳循环的影响

桑沟湾 4 月和 5 月浮游动物的密度分别为  $228 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $122 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ , 低于黄海海区春季浮游动物的密度,而浮游动物对黄海海区浮游植物现存量利用率约 9%<sup>[10]</sup>,故在桑沟湾浅海贝类养殖区,栉孔扇贝对浮游植物起着主要的调控作用,在很大程度上决定了初级产品的流向和归宿。

4 月和 5 月养殖的栉孔扇贝对桑沟湾的初级生产的摄食压力分别为 10.9% ~ 49.9% 和 39.8% ~ 186.2%, 平均分别为 62.9% 和 100.5%, 各站位间存在显著性差异 ( $P < 0.01$ ) (表 2)。即 4 月和 5 月桑沟湾初级生产产生的碳 62.9% 和 100.5% 通过栉孔扇贝的摄食进入主食物链。据栉孔扇贝的碳收支平衡情况可知,其摄入的初级生产部分的 1/4 以粪便的形式排出体外,形成生物性沉积。可见,栉孔扇贝的养殖活动对桑沟湾碳循环产生了巨大影响。

5 月站位 1、4、6 的栉孔扇贝对 POC 现存量和初级生产的摄食压力很高,即站位 1、4、6 栉孔扇贝的养殖密度相当大了,食物可能成为其生长的限制因素。由于桑沟湾不同海区的环境条件不同,因此,在进行栉孔扇贝养殖时,不能采用同一养殖模式,应视具体情况而定。

### 参考文献:

- [1] 杨红生,周毅. 滤食性贝类对养殖海区环境影响的研究进展[J]. 海洋科学,1998,(2):42-44.
- [2] 周毅,毛玉泽,杨红生等. 四十里湾湾栉孔扇贝清滤率、摄食率和吸收效率的现场研究[J]. 生态学报,2002,22(9):1455-1462.
- [3] Chamberlain J, Fernandes T F, Read P, et al. Impacts of biodeposits from suspended mussel (*Mytilus edulis* L.) culture on the surrounding surficial sediments [J]. Journal of Marine Science, 2001, 58:411-416.
- [4] Goulletquer P, Robert R, Trut G. Manila clam *Tapes philippinarum* culture: sediment-clam interactions [J]. Aquat Living Resour, 1999,12(1):45-56.
- [5] Nakamura Y, Kerciku F. Effects of filter-feeding bivalves on the distribution of water quality and nutrient cycling in a eutrophic coastal lagoon [J]. J Mar Syst, 2000,26:209-221.
- [6] Prins T C, Escaravage V, Smaal A C, et al. Functional and structural changes in the pelagic system induced by bivalve grazing in marine mesocosms [J]. Wat Sci Tech, 1995, 32(4):183-185.
- [7] 张继红,方建光,梁兴明,等. 栉孔扇贝 (*Chlamys fareri*) 的氮收支平衡及其对桑沟湾氮循环的影响 [J]. 海洋与湖沼, 2003,(973 专辑):128-135.
- [8] Hawkins A J S, Fang J G, Pascoe P L, et al. Modelling short-term responsive adjustments in particle clearance rate among bivalve suspension feeders: separate unimodal effects of seston volume and composition in the scallop *Chlamys fareri* [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2001,262:61-73.
- [9] Riisgard H U. Efficiency of particle retention and filtration rate in 6 species of northeast American bivalves [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1988, 45:217-223.
- [10] 李超伦,王荣,张芳,等. 黄、东海浮游桡足类摄食研究 II. 摄食率及摄食压力 [J]. 海洋与湖沼, 2002, (浮游动物研究专辑):111-119.