

## 桑沟湾夏季栉孔扇贝养殖笼内水质变化

张继红 王 巍 蒋增杰 薛素艳 方建光

(山东省渔业资源与生态环境重点实验室 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 中国水产科学研究院  
黄海水产研究所, 青岛 266071)

**摘 要** 以 2006 年桑沟湾筏式养殖的栉孔扇贝为研究对象, 测定了网笼内的水质状况及栉孔扇贝的死亡率, 探讨了污损生物的可能影响。结果表明, (1) 经过 7 个月的养殖, 初始密度低于 30 个/层的实验组, 栉孔扇贝的死亡率低于 6%; 高密度实验组(40 个/层)的死亡率高达 27%; (2) 网笼内、外的磷酸盐、硅酸盐浓度没有显著性差异, 但是, 7、8 月份的氨氮浓度差异较为明显; (3) 同营养盐浓度的变化相比, 网笼内、外叶绿素 *a* 浓度的变化较大, 在 9 月份, 高密度组的网笼内叶绿素 *a* 浓度低于  $0.67 \text{ mg/m}^3$ , 食物可能为高密度组扇贝生长、存活的限制因子; (4) 8 月份, 高密度组网笼内的细菌总数显著高于笼外及其他密度组。分析认为, 高温期网笼内的水质状况及食物限制可能与养殖栉孔扇贝的死亡有关。

**关键词** 海水养殖 污损生物 栉孔扇贝 桑沟湾

**中图分类号** S931.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2010)04-0009-07

## Variation of water quality inside scallop lantern nets in Sanggou Bay

ZHANG Ji-hong · WANG Wei JIANG Zeng-jie XUE Su-yan FANG Jian-guang

(Key Laboratory for Fishery Resources and Ecoenvironment of Shandong Province, Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

**ABSTRACT** Water quality inside the lantern nets and the mortality of scallop *Chlamys farrieri* in Sanggou Bay in 2006 were evaluated. The results showed that after 7 months of culture, the mortality rate was below 6% for scallops with the initial density of less than 30 individuals per disk, while up to 27% for scallops with high initial density of 40 individuals per disk. There was no significant difference between the concentrations of dissolved phosphorous and silicate inside and outside the lantern nets. However, the concentration of ammonia was significantly different in July and August. The concentration of chlorophyll *a* inside and outside the lantern nets was significantly different. In September, for the experimental scallop groups with high density, the concentration of chlorophyll *a* was lower than  $0.67 \text{ mg/m}^3$ , and food may be the limiting factor for the growth and survival of scallops. In August, the concentration of bacteria inside the lantern nets with the high density group was significantly higher than that of the outside and the low density group. Therefore, in summer, water quality and food supply may be closely related to

国家自然科学基金项目(40676093)、国家 863 课题(2006AA100307)、国家支撑计划课题(2006BAD09A09)和国家 973 课题(2006CB400608)共同资助

收稿日期:2009-09-16; 接受日期:2010-03-18

作者简介:张继红(1969-),女,博士,研究员,主要从事养殖生理生态学及容量评估研究。E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85822957

the mortality of scallops.

**KEY WORDS** Mariculture Biofouling Scallop *Chlamys farreri* Sanggou Bay

筏式养殖过程中的污损生物已经成为世界性的、普遍存在和面临的问题,引起了人们广泛的关注和极大的重视。污损生物大量附着于网笼网衣、网笼隔板及贝壳上,阻塞网目,影响网笼内、外的水质交换,与养殖生物争食夺饵,加速网笼的老化,加大养殖器材的重量,妨碍养殖生物的生长,降低水产品的品质等等,从而影响养殖业的生产效率和产量、产值(Claereboudt *et al.* 1994; Taylor *et al.* 1997; Lodeiros *et al.* 1999; Ross 2002; Leblanc *et al.* 2003)。自1997年,我国北方养殖栉孔扇贝大规模死亡,经济损失惨重。至今,导致大规模死亡的原因尚存争议,养殖环境的恶化诱导有害病原菌的滋生可能是主要原因之一。在桑沟湾研究的初步结果显示,栉孔扇贝高死亡率的发生期与污损生物的附着旺季(7~9月份)极其吻合。那么在偶然性的背后,是否存在必然性?贝类养殖网笼内的“微生态”环境是否受到污损生物的影响而发生了显著的改变?污损生物与养殖生物生长、存活是否有显著的相关性?一些污损生物对养殖业的影响多基于定性或推测,并没有定量地研究网笼内环境的变化。由于网笼内水环境的测量难度较大,迄今关于污损生物对贝类网笼内环境的影响报道很少(蒋增杰等 2006)。Ross等(2002)通过潜水员来取得网笼内的水样,分别进行了各参数的测定。

桑沟湾是我国北方主要贝藻养殖基地,是一个典型的半封闭型海湾。由于大面积的死亡,栉孔扇贝的产量已由1997年的45 000 t降为2 000 t。桑沟湾目前的养殖现状和出现的问题,反映了目前我国北方贝类养殖业的普遍性问题。开展污损生物对栉孔扇贝养殖网笼内环境影响的现场测定研究,对于我们探讨栉孔扇贝大规模死亡原因,保证贝类养殖可持续发展具有十分重要的现实意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 时间与地点

实验在山东荣成桑沟湾崖头养殖场所属海区进行(37°06'934"N,122°29'793"E),该实验点位于桑沟湾的底部。2006年5月布置实验,分别于7月15日、8月25日、9月15日、9月25日及11月15日进行现场取样,对栉孔扇贝养殖笼内、外的水环境参数进行测定分析。

### 1.2 实验方法

为了分析不同养殖密度对笼内水环境的影响,设置4个不同密度的实验组,分别为20、25、30、40个/层,每组设5个平行样。5月份布置实验时,网笼上没有污损生物。7月份,随着污损生物生物量的增加和附着面积的增大,网笼内、外的水交换情况减弱,这时开始网笼内、外环境因子的测定。网笼内水样采用虹吸法获得,该方法已申请国家发明专利,在本文中只作简单的介绍:将取样管通过扇贝笼底盘上的孔插入笼内,将取样管置于扇贝笼的中央,另一端固定在养殖筏架的浮筏上,适应5 d后开始取样,将取样管与取样瓶口胶塞上的管相连,由手动真空泵抽真空取样。为避免管内存水的影响,先抽取的水用于取样瓶的冲洗,然后再采集水样。每个笼内分别取水样800 ml,同时取网笼外的水样两个。测定细菌总数的水样,装入已消毒灭菌的小塑料瓶中(30 ml),立即加入固定液(戊二醛,3 ml)固定。其他水样尽快带回实验室进行测定、分析。

样品的分析按照《海洋调查规范》中的要求执行。水样经0.45 μm醋酸纤维滤膜过滤后,分别采用次溴酸钠氧化法、锌-镉还原法及重氮-偶氮法测定NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub>-N及NO<sub>2</sub>-N;分别采用磷钼蓝法及硅钼蓝法测定可溶性活性磷酸盐和活性硅酸盐。叶绿素a的测定方法参照Parsons等(1984)所描述的荧光法,水样经0.45 μm滤膜过滤,90%丙酮萃取后,用荧光计测定。

利用YSI6600测定养殖海区(笼外)的水温、盐度、pH值等参数。7月大潮汛期,利用自容式SD6000海流计25 h连续监测实验海区的流速,测定的时间间隔为10 min。

实验结束后,测定每个养殖笼内栉孔扇贝的存活率和生长情况。

### 1.3 数据分析

实验数据采用 SPSS 10.0 统计软件进行单因子方差分析(One-way ANOVA),  $P < 0.05$  为差异显著水平,  $P < 0.01$  为差异极其显著水平。

## 2 结果与讨论

### 2.1 实验海区水文、物理参数的基本情况

在实验期间,海水的盐度平均为  $30.51 \pm 1.22$ ,8 月份受降雨及陆地径流的影响,海水的盐度略低,为  $28.83$ 。pH 值比较稳定,平均为  $7.6 \pm 0.3$ 。实验期间海水的温度变化较大,在  $11.6 \sim 23.7$  °C 范围之间(图 1),水温的最高值出现在 9 月中旬,到 9 月下旬,水温开始下降。

桑沟湾为不规则的半日潮。实验海区的海水流速较小,最大流速为  $18 \text{ cm/s}$ ,最小流速为  $1 \text{ cm/s}$ ,25 h 的平均流速为  $6.76 \pm 4.32 \text{ cm/s}$ (图 2)。

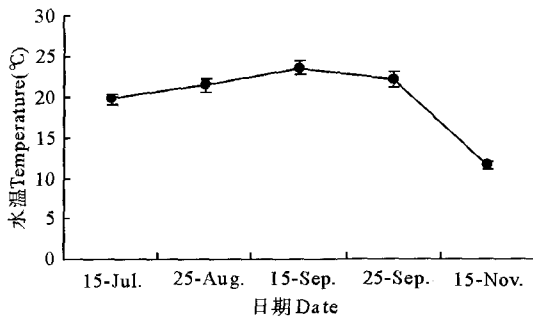


图 1 实验期间的水温变化情况  
Fig. 1 Variation of water temperature during experiment in Sanggou Bay

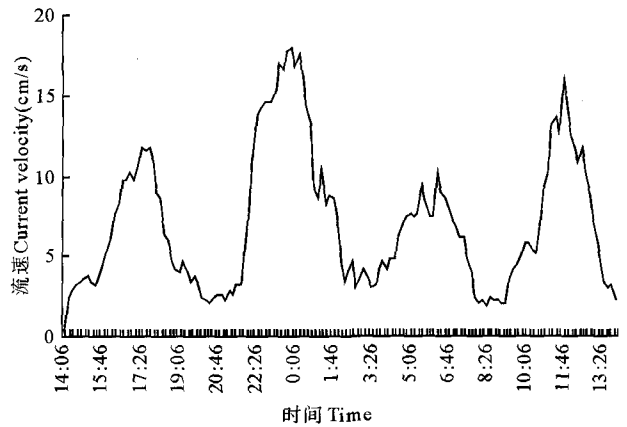


图 2 桑沟湾扇贝养殖实验区的海水流速  
Fig. 2 Current velocity in the experimental area of Sanggou Bay

### 2.2 养殖栉孔扇贝的存活、生长情况

死亡率为实验结束时总的死亡数量与初始养殖数量的比值。高密度组(40 个/层)的死亡率最高,平均为  $27.7 \pm 16.2\%$ ,各平行实验笼之间的差异也较大(标准偏差较大),栉孔扇贝的死亡率最高,达  $43\%$ ;死亡扇贝的壳高在  $50 \sim 57 \text{ mm}$  范围内,众数值为  $53 \text{ mm}$ 。其他各组的死亡率介于  $2.3\% \sim 5.6\%$  之间,无随养殖密度增大而升高的趋势(图 3)。

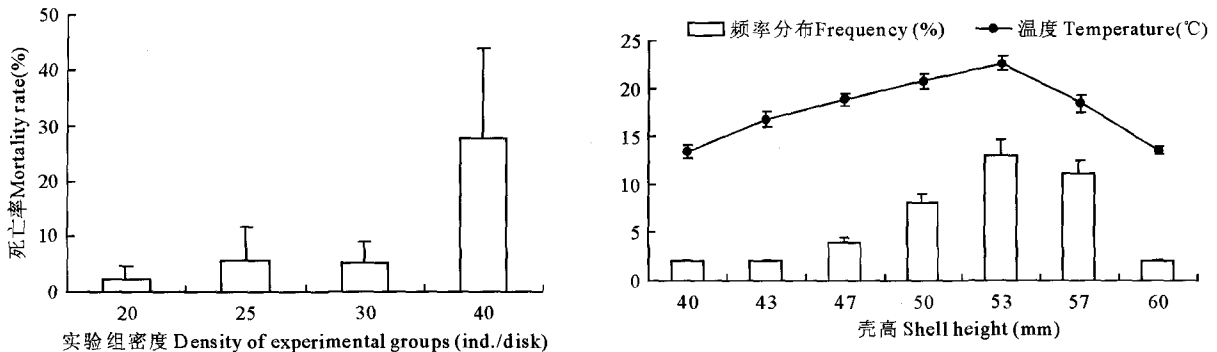


图 3 不同实验组栉孔扇贝的累计死亡率  
Fig. 3 Mortality rates of four experimental groups of scallops

### 2.3 网笼内外叶绿素 *a* 浓度的对比

图4显示网笼内、外叶绿素 *a* 浓度的变化情况。7月份,实验海区发生了中肋骨条藻的赤潮,水色呈浅褐色。笼外的叶绿素 *a* 浓度高达  $11.6 \text{ mg/m}^3$ ,但是,各实验组笼内的叶绿素 *a* 浓度显著低于笼外(Multiple Comparisons-LSD,  $P < 0.01$ )。8月,笼内的叶绿素 *a* 浓度低于笼外,1~4实验组的叶绿素 *a* 浓度分别降低了43%,27%,65%和61%;实验组30及40个/层的网笼内叶绿素 *a* 浓度显著低于笼外( $P < 0.05$ )。虽然9月各实验组及网笼外的叶绿素 *a* 浓度没有统计学上的显著差异,但是,9月15日40个/层组网笼内的叶绿素 *a* 浓度降低54%;9月25日该组的叶绿素 *a* 浓度降低50%,叶绿素浓度仅为  $0.64 \sim 0.67 \text{ mg/m}^3$ ;11月份随着水温的降低,网笼上的污损生物的生物量减少,网笼内、外的水交换比较好,所以,网笼内、外的叶绿素 *a* 浓度没有显著性差异。

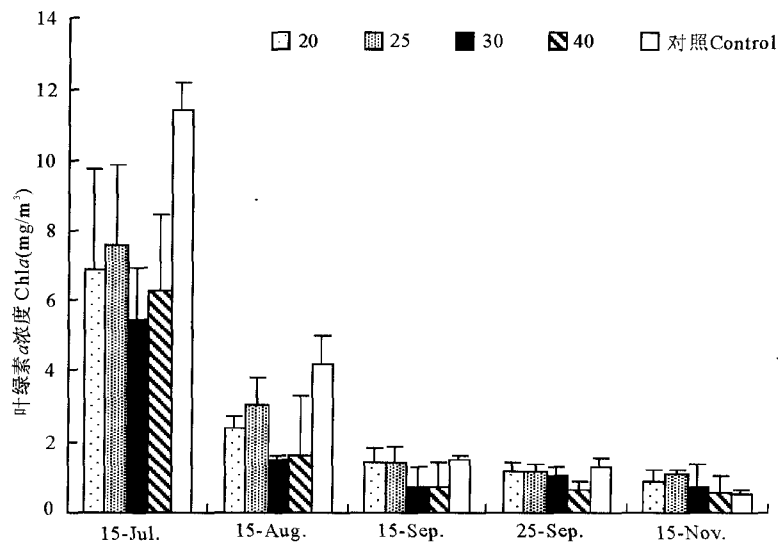


图4 网笼内、外叶绿素 *a* 浓度的变化

Fig. 4 Variation of chlorophyll *a* concentration inside and outside the lantern nets

### 2.4 网笼内外营养盐浓度的对比

实验期间,笼内、外及各实验组之间的磷酸盐、硅酸盐浓度没有显著性差异(One-way ANOVA,  $P > 0.05$ ) (图5)。7月份笼外的溶解性无机氮(DIN,  $\text{DIN} = \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$ )的浓度接近  $23 \mu\text{mol/L}$ ,显著高于各实验组的笼内 DIN 浓度;其他月份,笼内、外溶解性无机氮浓度没有显著性差异。8月份,尽管网笼内、外的 DIN 没有显著性差异,但是,随着养殖密度的增加,笼内 DIN 呈递增的趋势,并且,25、30及40个/层组的 DIN 浓度高于笼外。

按照国家《海洋水质标准》(GB3097-1997),对笼内、笼外的水质状况进行评价,结果见表1。磷酸盐质量浓度,总体来讲,符合国家《海洋水质标准》规定的二类标准(8月除外,笼内、外磷酸盐质量浓度均为三类标准值)。溶解性无机氮浓度笼内、外的差异较大,7月笼内 DIN 符合一类水质标准,笼外为三类,高浓度的 DIN 为该海域的中肋骨条藻赤潮暴发提供了营养支持;8月和9月中旬,笼内水质的氮含量符合二类海水水质标准,而笼外水质为一类。

### 2.5 网笼内、外细菌总数的对比

图6显示7月和8月网笼内、外水体中细菌总数的检测结果。7月,网笼内、外的细菌总数没有显著性差异,网笼内细菌总数的平均值为  $(5.82 \pm 1.43) \times 10^5$  个/ml,网笼外的细菌总数为  $(4.76 \pm 0.19) \times 10^5$  个/ml。8月,网笼内细菌总数显著增加,尤其是栉孔扇贝高密度组(40个/层),细菌总数达  $(520 \pm 28.29) \times 10^5$  个/ml,是笼外水体中细菌总数的15倍,而且显著高于其他密度组。

表 1 栉孔扇贝养殖网笼内、外的营养盐水平  
Table 1 Nutrient levels of water inside and outside the scallop lantern nets

营养盐 Nutrient	组别 Group	日期(月-日) (Month-Date)							
		07-15	08-15	09-15	09-25	11-15			
N	笼内 Inside	一类 First grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade
	笼外 Outside	三类 Third grade	一类 First grade	一类 First grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade
P	笼内 Inside	无数据 No data	三类 Third grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade
	笼外 Outside	无数据 No data	三类 Third grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade	二类 Second grade

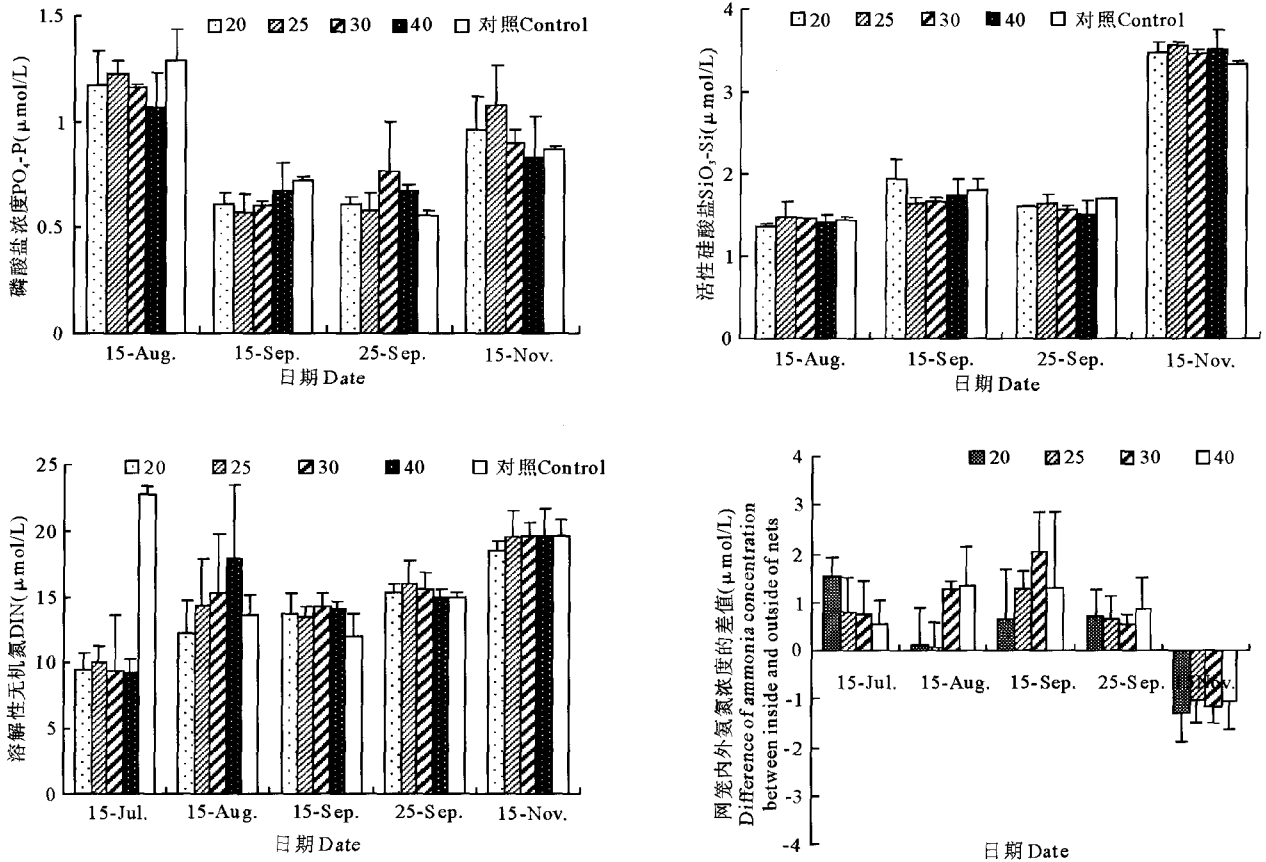


图 5 栉孔扇贝网笼内、外营养盐浓度的变化

Fig. 5 Comparison of nutrients inside and outside the scallop lantern nets

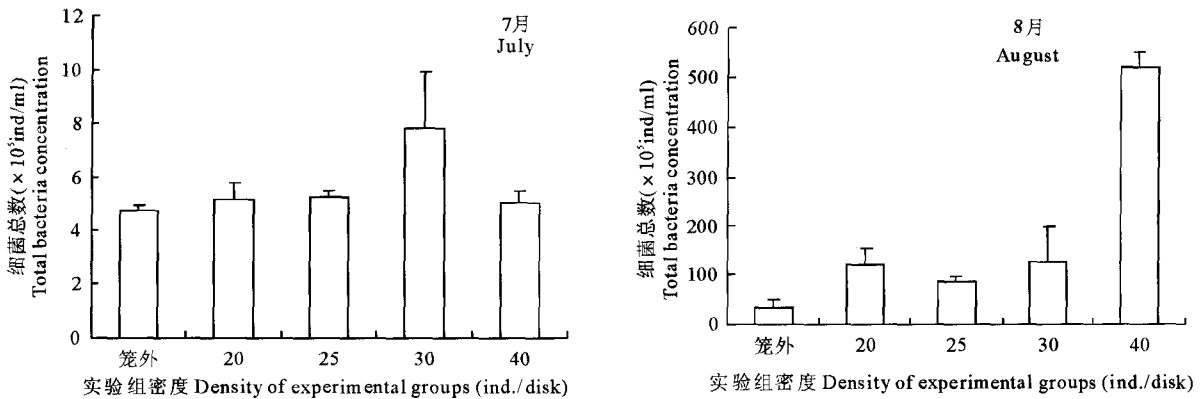


图 6 栉孔扇贝养殖网笼内、外水体中的细菌总数

Fig. 6 Total bacteria concentration inside and outside the scallop lantern nets

### 3 讨论与分析

本实验的结果显示,8~9月份,扇贝的养殖密度高于30个/层时,网笼内的叶绿素 $a$ 浓度显著降低,降低幅度平均达50%以上。9月下旬,40个/层组的网笼内的叶绿素 $a$ 浓度仅为0.64~0.67 mg/m<sup>3</sup>,已经低于贝类生长所需的最低食物需求(Hawkins *et al.* 1999; Strohmeier *et al.* 2005; Aure *et al.* 2007),食物成为高密度组扇贝生长的限制因子。

浮游植物是滤食性贝类的主要食物。网笼内的浮游植物一方面由水交换从网笼外带入,一方面来自网笼内浮游植物再生。实验所用的扇贝养殖网笼的直径是36 cm,层间距是20 cm,每层的水体约为20.3 L。在桑沟湾,栉孔扇贝(壳高 $5.4 \pm 0.7$  cm)8月份的滤水率为 $1.40 \pm 0.39$  L/h·ind.(待发表数据),以此来计算,1~4实验组的栉孔扇贝群体分别需要0.73、0.58、0.48和0.36 h就能将该层的海水滤过一遍,其清滤的时间远远快于浮游植物繁殖生长所需的时间。因此推测,水交换所带来的浮游植物是网笼内养殖扇贝的主要食物来源。监测结果显示,8~9月是污损生物的附着高峰期(齐占会等 2010),8月污损生物的生物量达最高值1.21 kg/m<sup>2</sup>,9月的生物量为1.17 kg/m<sup>2</sup>。以往的调查结果也发现,从6~8月,桑沟湾网笼上污损生物的生物量(湿重)从230 g/m<sup>2</sup>迅速增至1 627.24 g/m<sup>2</sup>,8月份达到最高值,9月份开始逐渐降低(蒋增杰等 2006)。滤食性的玻璃海鞘是桑沟湾附着生物群落的优势物种,夏季玻璃海鞘的数量巨大,1个扇贝笼上的海鞘可高达400个(齐占会等 2010)。因此,在夏季高温期,污损生物一方面阻碍了网笼内外的水交换,使得网笼内的浮游植物等食物不能及时补充,另一方面,滤食性的污损生物也与养殖的贝类争夺饵料,再加上高密度养殖扇贝自身的摄食作用,使得网笼内的叶绿素 $a$ 浓度显著降低,食物限制会影响扇贝的生长,而且会影响贝类的体质和抗逆性能力。食物限制可能是高密度组栉孔扇贝死亡率较高的原因之一。

其次,网笼内、外的水质条件也存在差异(表1)。氨氮是贝类的主要排泄产物之一,通常占贝类排泄氮的70%以上(Cockcroft 1990)。并且,贝类的氨氮排泄率随着水温的升高而增大(宋娴丽等 2007; Khalil 2008)。本文比较了养殖网笼内、外氨氮浓度的差值(图5),7~9月份的4次调查结果均显示,网笼内的氨氮浓度高于网笼外。尤其是8、9月份,随着贝类养殖密度的增加,网笼内、外氨氮浓度的差值增大,这一结果与扇贝氨氮排泄量增大及污损生物增多阻碍水交换有关。7月份,扇贝养殖区的溶解性无机氮的浓度出现了异常的高值(227  $\mu$ mol/L),由此引发了中肋骨条藻赤潮的发生。网笼内的无机氮浓度显著低于网笼外,可能是由于污损生物阻碍水流交换的原因。由于养殖生物及养殖设施对水流的阻碍作用,养殖筏架内外的水流相差较大,经过20排筏架后,养殖区内的海水平均流速降低了29.6%,而且网笼内的流速比网笼外降低64%(蒋增杰等 2006)。缓慢的流速,不仅影响浮游植物等食物的输入,而且影响了贝类排泄废物的输出。

再者,细菌总数通常受水温、水体中营养盐浓度、溶解氧等指标的影响。细菌总数,尤其是弧菌数的增加,预示着水产养殖病害的发生几率增大(陈浩文 2001)。因此,在夏季高温期,高密度组的食物供给相对缺乏,笼内的环境质量(氨氮浓度、细菌总数等)相对较差,导致扇贝的死亡率显著高于低密度组。

当然,笼内水样的获取是一件非常困难的事情。本文设计的虹吸采样方法,也并非尽善尽美。在虹吸的过程中,由于水的流动性较强,不能完全避免网笼外的水瞬时流入的影响,可能会使实验结果出现一些偏差。

### 4 结论

(1)网笼内、外磷酸盐、硅酸盐浓度没有显著性差异,但是,细菌总数及氨氮浓度的差异较大。

(2)与营养盐浓度的变化相比,网笼内、外叶绿素 $a$ 浓度的变化更为显著和强烈;由于污损生物对水流的阻碍及食物竞争作用,使得食物可能成为高密度组扇贝生长、存活的限制因子。

(3)网笼内栉孔扇贝的养殖密度不仅与网笼内的水质、叶绿素 $a$ 浓度有一定的关系,而且当每层的养殖密度高达40个/层时,栉孔扇贝的死亡率也显著增加。

## 参 考 文 献

- 齐占会,方建光,张继红,毛玉泽,蒋增杰,刘红梅,李 斌. 2010. 桑沟湾贝藻养殖区附着生物群落季节演替研究. 渔业科学进展, 31(4): 72~77
- 陈浩文. 2001. 桑沟湾表层水细菌与生态环境因子的关系. 海洋环境科学, 20(3): 29~33
- 蒋增杰,方建光,门 强,王 巍. 2006. 桑沟湾贝类筏式养殖与环境相互作用研究. 南方水产, 2(1): 23~28
- 宋娴丽,孙 耀,武晋宜,尹 晖,徐林海. 2007. 栉孔扇贝的氮、磷排泄及其与温度、壳长之间的关系. 水产学报, 31(1): 38~44
- Aure, J., Strohmeier, T., and Strand, Ø. 2007. Modeling current speed and carrying capacity in long-line blue mussel (*Mytilus edulis*) farms. Aquaculture Research, 38: 304~312
- Clareboudt, M. R., Bureau, D., Côté, J., and Himmelman, J. H. 1994. Fouling development and its effect on the growth of juvenile grant scallops (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture. Aquaculture, 121: 327~342
- Cockcroft, A. C. 1990. Nitrogen excretion by the surf zone bivalves *Donax serra* and *D. Sordidus*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 60: 57~65
- Hawkins, A. J. S., James, M. R., Hickman, R. W., Hatton, S., and Weatherhead, M. 1999. Modeling of suspension-feeding and growth in the green-lipped mussel *Perna canaliculus* exposed to natural and experimental variations of seston availability in the Marlborough Sounds, New Zealand. Mar. Ecol. Prog. Ser. 191: 217~232
- Khalil, A. M. 2008. Influence of starvation, body size and temperature on ammonia excretion in the marine bivalve *Tapes decussates* (L.). Aquaculture Research, 25(8): 839~847
- Leblanc, A. R., Landry, T., and Miron, G. 2003. Fouling organisms of the blue mussel *Mytilus edulis*: their effect on nutrient uptake and release. J. Shellfish Res. 22(3): 621~631
- Lodeiros, C. J., Rengel, J. J., and Himmelaman, J. H. 1999. Growth of *Pteria colymbus* (Röding, 1978) in suspended culture in Golfo de Cariaco, Venezuela. J. Shellfish Res. 18: 155~158
- Ross, K. A. 2002. Fouling in suspended cultivation of the scallop, *Pecten maximus* (L.). Ph D thesis. University of Liverpool: Port Erin Marine Laboratory, 191
- Strohmeier, T., Aure, J., Duinker, A., Castberg, T., Svardal, A., and Strand, Ø. 2005. Flow reduction, seston depletion, meat content and distribution of diarrhetic shellfish toxins in a long-line blue mussel (*Mytilus edulis*) farm. J. Shellfish Res. 24: 15~23
- Taylor, J. J., Southgate, P. C., and Rose, R. A. 1997. Fouling organisms and their effect on the growth of silver-lip peal oyster, *Pinctada maxima* (Jameson) in suspended culture. Aquaculture, 153(1-2): 31~40