

文章编号: 1000-0615(2005)03-0344-06

太平洋牡蛎生物沉积作用的研究

王 俊¹, 姜祖辉², 陈瑞盛¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 山东 青岛 266071;
2. 青岛大学化工学院, 山东 青岛 266071)

摘要: 2001年3-9月, 在自然养殖状态下对太平洋牡蛎的生物沉积及其对物质运输的影响进行了研究。结果显示, 太平洋牡蛎能加速海洋中颗粒物质的沉积, 太平洋牡蛎的生物沉积率分别为小个体(壳长80~95 mm) $26.3 \sim 69.9 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 中等个体(壳长95~110 mm) $37.5 \sim 83.7 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 和大个体(壳长110~125 mm) $44.1 \sim 103.7 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。太平洋牡蛎的生物沉积与其壳长呈正相关线性关系, 与其干组织重呈正相关的指数关系, 而单位重量的生物沉积则与壳长和干组织重分别为负相关的线性和幂指数关系。海水温度 and 环境中饵料数量是影响太平洋牡蛎的生物沉积的重要因子。

关键词: 太平洋牡蛎; 生物沉积; 影响因素

中图分类号: S968.3 文献标识码: A

Study on biodeposition by oyster *Crassostrea gigas*

WANG Jun¹, JIANG Zǔ hui², CHEN Rui sheng¹

(1. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources Certificated by the Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, CAFS, Qingdao 266071, China;
2. College of Chemical Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract: Studies on marine bivalves have demonstrated that suspension-feeding bivalves can influence the function of ecosystems to a great extent. In dense populations, bivalves can dominate total ecosystem metabolism, nutrient cycling, and grazing of primary producers. Oyster (*Crassostrea gigas*) is a promising species, which has been widely cultured in the neritic waters in the Bohai Sea and the Yellow Sea. Oyster farming has been bringing not only great economic benefit, but also great burden for the neritic ecosystem due to filtering food and releasing metabolic production. To estimate the effects on neritic ecosystem of oyster cultivation, the experiments were monthly conducted near Xiao Qingdao Island from March to September 2001. The biodeposition by *Crassostrea gigas* and the effects of biodeposition on material flux were measured under natural cultivation conditions. *Crassostrea gigas* used, with the body sizes of 79.8–125.0 mm shell height and 0.96–3.35 g dry tissue weight, were collected from the oyster farm south of Qingdao. Oyster was divided into three groups, according to their body size, they were small size (80–95 mm), middle size (95–110 mm) and big size (110–125 mm). Each group was arranged for five parallel experiments. The results show that the biodeposition rates was $26.3 \sim 69.9 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, $37.5 \sim 83.7 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ and $44.1 \sim 103.7 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ for small size, middle size and big size of *Crassostrea gigas*, respectively. The amount of biodeposit was correlated positively with the shell length and weight, but the per gram body weight biodeposit negatively. With the water temperature rising from March to September, the chlorophyll a concentration in sea water increased from $1.6 \pm 0.3 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ to $7.3 \pm 0.5 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ and reached the peak values at 18.3°C in June, then went down until September, either the TPM, POM, POC and PON. As a consequence, the biodeposition by each group oyster increased from $26.3 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ to $69.9 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, $37.5 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ to $83.7 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ and $44.1 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ to $103.7 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, then decreased to $49.0 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, $76.9 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ and $88.8 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ in August or September, respectively. Those demonstrated that water temperature and food concentration were important factors to affect biodeposition of *Crassostrea gigas*.

Key words: *Crassostrea gigas*; biodeposition; effect factors

收稿日期: 2004-04-12

资助项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043700)

作者简介: 王 俊(1964—), 男, 山东平度人, 副研究员, 主要从事海洋生态学研究, E-mail: wangjun@yfri.ac.cn

在海洋生态系统中, 贝类通过滤食将水中悬浮的有机物以粪便和假粪的形式沉积到海底, 加强了能量从水层到底层的流动^[1-3], 甚至高密度的贝类种群可以左右整个生态系统的代谢过程和物质循环^[4-8]。相对而言, 我国在海洋沉积作用方面的研究起步较晚, 而且主要集中在海洋地质方面。20世纪80年代以来, 随着海水养殖业的发展, 贝类养殖迅速成为我国海水养殖的支柱产业, 据统计, 2002年我国牡蛎的养殖产量近 3×10^6 t, 在牡蛎养殖带来巨大效益的同时, 对近海生态系统的生物结构和物质的输运产生了巨大的影响。关于贝类生物沉积的研究国外进行的较早且广泛, 而我国相关的研究较少, 且主要集中在室内试验和养殖区半现场实验, 由于各种非现场的研究方法都不可避免的存在这样或那样的局限性, 因此, 采取现场研究自然养殖状态下太平洋牡蛎对近海悬浮物生物沉积作用是十分必要的。

本实验选择在我国近海养殖面积和产量较大的太平洋牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 为研究对象, 探讨牡蛎人工养殖对近海生态系统的影响, 为近海贝类养殖业以及近海生态系统的健康和可持续发展提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点

试验海域位于青岛小青岛外, 距岸约 150 m, 试验在一固定的水泥船上进行, 船体中间部分有 8 个 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 的方形孔用于吊挂沉积物收集器, 各个方孔与海相通, 水表层到海底距离为 6~8 m。

1.2 试验材料

太平洋牡蛎取自青岛近海麦岛养殖场, 壳长范围 79.8~125.0 mm, 干组织重 0.96~3.35 g。试验按贝类的个体大小分成 3 组, 即大个体 (B 组) 壳长范围 110~125 mm, 中等个体 (M 组) 壳长范围 95~110 mm, 小个体 (S 组) 壳长范围 80~95 mm。

1.3 沉积物收集器

根据试验要求用外径 90 mm, 内径 80 mm 的有机玻璃管自行设计加工而成 (图 1)。收集器有上下两部分组成, 上部长 300 mm, 管子的一端加套以便于与下部连接, 管子的另一端距管口 20~

120 mm 的范围内钻孔 (孔径 10 mm), 每圈钻 5 个孔, 共钻 5 圈, 按梅花状排列。在打孔区下缘 20 mm 处钻孔径 2 mm 孔 1 圈, 用细网线编织成网状, 试验时放置牡蛎。下部长 20 mm, 一端封闭, 另一端与上部有套端相接, 用卡子固定。沉积物收集器的上部有孔区和管口用 80 目筛绢遮盖, 以防大型颗粒物和大型浮游生物进入。

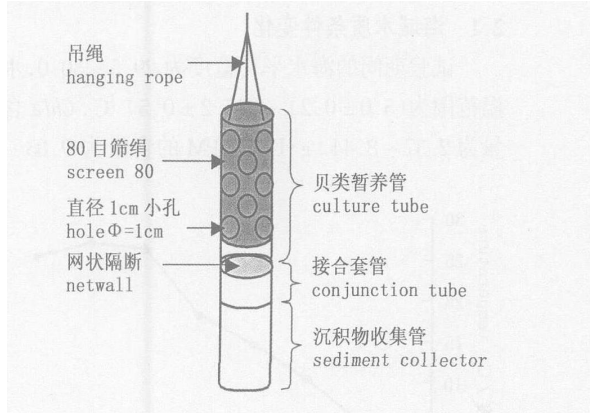


图 1 沉积物收集器示意图

Fig. 1 Diagram of bio-deposition collector

1.4 实验方法

试验每月中旬进行 1 次, 每次连续进行 3 d, 每个壳长组挑选 5 个分别装入 5 个沉积物收集器中作为平行试验, 试验设对照组 1 个, 即沉积物收集器中未放入贝类。试验期间, 每日在沉积物收集器放置处 (水深 3 m) 测定水温和取水样, 水样用于测定海水中的颗粒态有机物 (POM)、颗粒态有机碳 (POC)、颗粒态有机氮 (PON) 和叶绿素 a (*Chl a*), 每次抽滤水样体积为 1 000 mL。试验每日上午 9 时将装有贝类的沉积物收集器放入海中, 次日 9 时取出, 然后去掉收集器内的上清液, 将沉积物装入样品瓶冷藏带回实验室测定 POM、POC、PON 和 *Chl a* 含量。

1.5 测定方法

叶绿素 a 采用荧光法测定。将载有样品的滤膜用 90% 的丙酮溶液在低温下萃取 20 h, 放置至室温后用 TURNER-10 荧光计测定叶绿素 a 的浓度。

总颗粒物 (TPM) 和颗粒态有机物 (POM) 的测定方法: 用预先灼烧 (450°C , 4 h)、称重 (W_0) 的 GF/F 滤膜抽滤一定体积的水样, 在 65°C 条件下烘干 48 h, 称重 (W_{65}), 再在 450°C 下灼烧 4 h, 然后再称重 (W_{450}), 则: $W_{\text{POM}} = W_{65} - W_{450}$, $W_{\text{TPM}} =$

$W_{65} - W_0$ 。实验结束后用游标卡尺测定太平洋牡蛎的壳长(mm), 然后剖取其内脏团于 65 °C 下烘干至恒重, 用 MP102- 1 型精密电子天平称重(g)。POC 和 PON 的含量用 PE 240C 型元素分析仪测定。

2 结果

2.1 海域水质条件变化

试验期间的海水平均盐度为 29.5~ 30.0, 水温范围为(5.0 ± 0.2) ~ (27.2 ± 0.5) °C, *Chl a* 含量为 2.37~ 8.44 μg · L⁻¹, TPM 的含量为 9.83~

18.71 mg · L⁻¹, POM 的含量为 3.12~ 5.47 mg · L⁻¹, POC 的含量为 0.12~ 0.22 mg · L⁻¹ 和 PON 的含量为 0.024~ 0.041 mg · L⁻¹。3 月中旬试验水域的水温为 4.8~ 5.2 °C, 以后逐渐升高, 到 8 月中旬达到最高水温 27 °C, 9 月中旬开始下降。与此同时, 海水中叶绿素 a 的含量随水温的升高逐渐增大, 到 5 月份达到最高, 而后开始下降, 在 9 月初又开始增大。其它颗粒态物质(TPM、POM、POC 和 PON) 的含量变化趋势与 *Chl a* 相似, 但波动的幅度较大(图 2)。

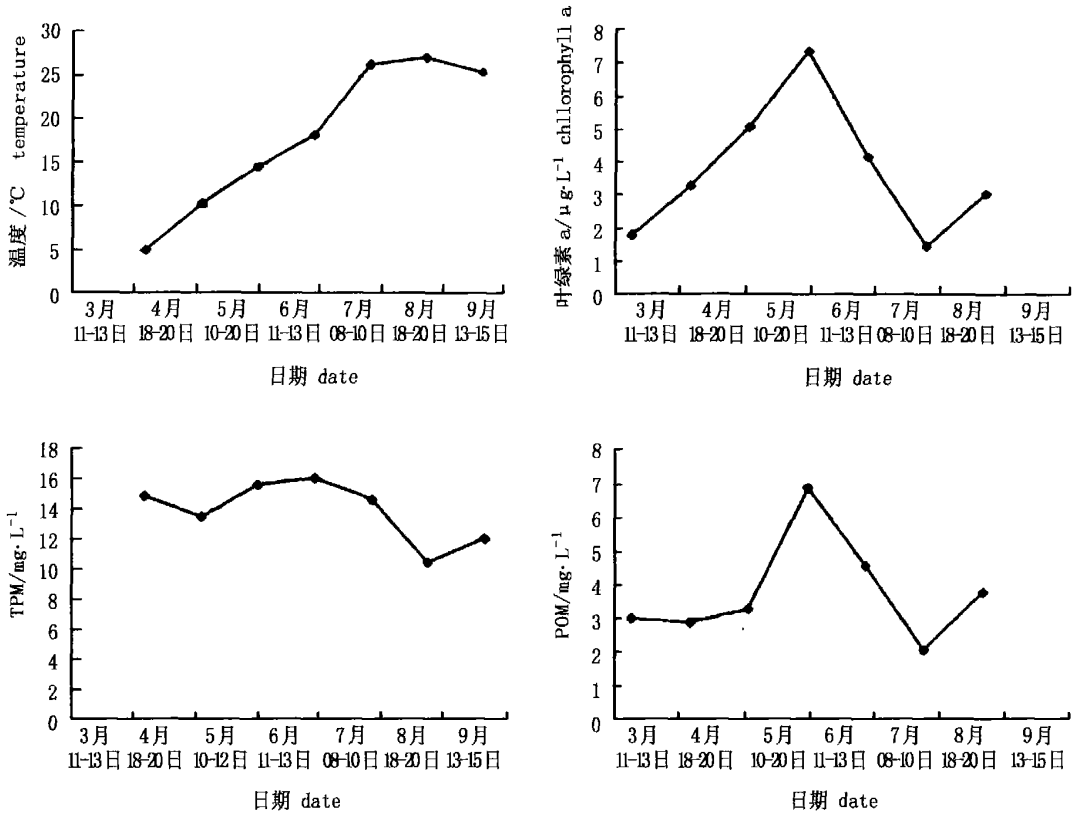


图 2 试验海域水质条件变化

Fig. 2 Variation of water index at experiment waters

2.2 牡蛎生物沉积率与环境因子的关系

自 2001 年 3 至 9 月, 每月进行太平洋牡蛎生物沉积试验 1 次, 每次连续测定 3 d, 对测定的水温、TPM、POM、*Chl a* 和生物沉积量结果进行平均后列入表 1。group S、group M 和 group B 分别为小个体组小个体(壳长 80~ 95 mm), 中等个体(壳长 95~ 110 mm 和大个体(壳长 110~ 125 mm)。

从表 1 可以看出, 随着水温的升高, 太平洋牡蛎的生物沉积逐渐增大, 到 6 月份达到高峰, 而后出现下降, 9 月份又开始升高。表现出低温时与温度正相关、高温时负相关, 而与颗粒态悬浮物质含量和叶绿素 a 含量呈正相关的关系。

2.3 牡蛎生物沉积率与个体大小的关系

太平洋牡蛎的生物沉积量随个体的增大而增加(表 1), 单位体重的生物沉积量则降低。以

TPM 和 POM 作为沉积物测定指标,连续 3 d 测定的太平洋牡蛎单位体重的生物沉积与干组织

重为负相关关系(图 3),以 POM 为指标测定的沉积速率较以 TPM 为指标测定的沉积速率稳定。

表 1 太平洋牡蛎的生物沉积

Tab. 1 Biodeposition of *Crassostrea gigas*

试验日期 date	水温(°C) temperature	TPM (mg·L ⁻¹)	POM (mg·L ⁻¹)	Chl a (µg·L ⁻¹)	生物沉积(mg·ind ⁻¹ ·d ⁻¹) biodeposition		
					group S	group M	group B
03-13- 03-15	5.3±0.4	14.1±1.7	3.0±0.3	1.6±0.3	26.3±4.2	37.5±6.3	44.1±12.1
04-21- 04-23	10.7±0.7	13.8±2.1	2.9±0.5	3.6±0.3	38.4±7.9	52.4±5.9	59.3±8.4
05-13- 05-15	15.0±1.1	16.6±3.6	3.3±1.2	5.2±0.8	43.1±3.7	59.6±9.6	87.1±16.3
06-14- 06-16	18.3±2.5	17.1±1.2	6.9±0.9	7.3±0.5	69.9±10.1	81.8±13.1	103.7±11.8
07-11- 07-13	26.7±0.8	13.7±1.4	4.6±1.9	4.5±1.4	51.9±12.9	83.7±17.3	95.0±9.2
08-21- 08-23	27.4±1.3	10.3±2.5	2.1±0.6	2.0±0.2	49.0±8.3	77.2±8.8	88.8±15.6
09-16- 09-18	25.3±1.6	11.9±1.1	3.8±0.8	3.5±0.4	52.4±5.5	76.9±11.4	93.4±7.5

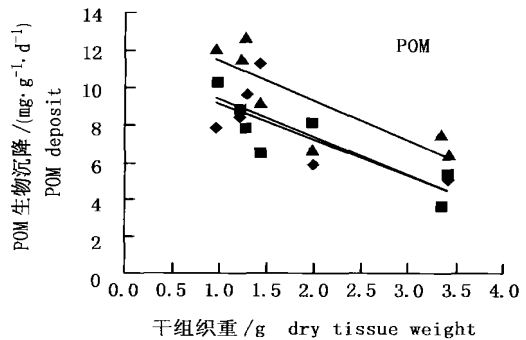
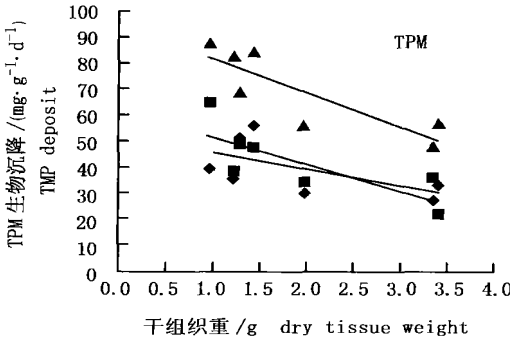


图 3 太平洋牡蛎的生物沉积与体重的关系

Fig. 3 Relationship between biodeposition and weight of *Crassostrea gigas*

2.4 牡蛎生物沉积对物质流动的影响

试验分析结果表明,太平洋牡蛎能加速海洋中物质的沉积,三种不同规格的太平洋牡蛎的生物沉积率分别为小个体 26.3~ 69.9 mg·ind⁻¹·d⁻¹,中等个体 37.5~ 83.7 mg·ind⁻¹·d⁻¹和大个体 44.1~ 103.7 mg·ind⁻¹·d⁻¹。试验水域的叶绿素 a 的含量从 3 月至 6 月海水中浮游植物有明显增长的过程,而后出现消退。海水中 POM 占 TPM 的比例也由 20.2% 增加到 43.5%,之后开始下降(图 4-a)。在这个过程中,贝类产生的沉积物中 POM 含量和 Chl. a 等的含量出现相似的规律。但与海水总颗粒物中 POM 的含量相比,太平洋牡蛎沉积物中 POM 的含量有较大幅度的降低,8 月仅为海水中的一半,5 月、6 月和 7 月的含量较高,均占海水中的 70% 以上; POC 和 PON 的含量降低的更为明显,分别占海水 POC 和 PON 的 12.5%~ 32.8% 和 30.3%~ 45.0% (图 4-

b, c); 与海水中 Chl a 相比 4 月份的 Chl a 的含量降低尤为显著,仅占海水中的 5.2%, 3 月份和 6 月份含量较高,占海水中的 60% 以上(图 4-d)。

3 讨论

实验证实,太平洋牡蛎能加速海洋中物质的沉积,不同规格的太平洋牡蛎的生物沉积率分别为小个体 26.3~ 69.9 mg·ind⁻¹·d⁻¹,中等个体 37.5~ 83.7 mg·ind⁻¹·d⁻¹和大个体 44.1~ 103.7 mg·ind⁻¹·d⁻¹。太平洋牡蛎的生物沉积随个体的增大而增加,但单位体重的生物沉积则与个体的大小呈负相关的关系,说明太平洋牡蛎的个体大小是影响生物沉积的一个重要因素。许多研究证实,其他的贝类也有相同的规律,如牡蛎^[9]和贻贝^[10]。

从 3 月至 9 月,不同壳长太平洋牡蛎的生物沉积随水温的升高而增加,到 6 月均达到最高

值,之后随水温的升高出现下降,到9月份水温下降后,太平洋牡蛎的生物沉积又有所升高,与此同时,海水中的颗粒态悬浮物(包括颗粒态无机物、颗粒态有机物和以叶绿素 a 表示的浮游植

物)也出现了相同的变动规律。说明温度和环境中的饵料数量都是影响太平洋牡蛎的生物沉积的重要因子,在自然环境中温度还通过影响浮游植物的生长间接影响太平洋牡蛎的生物沉积。

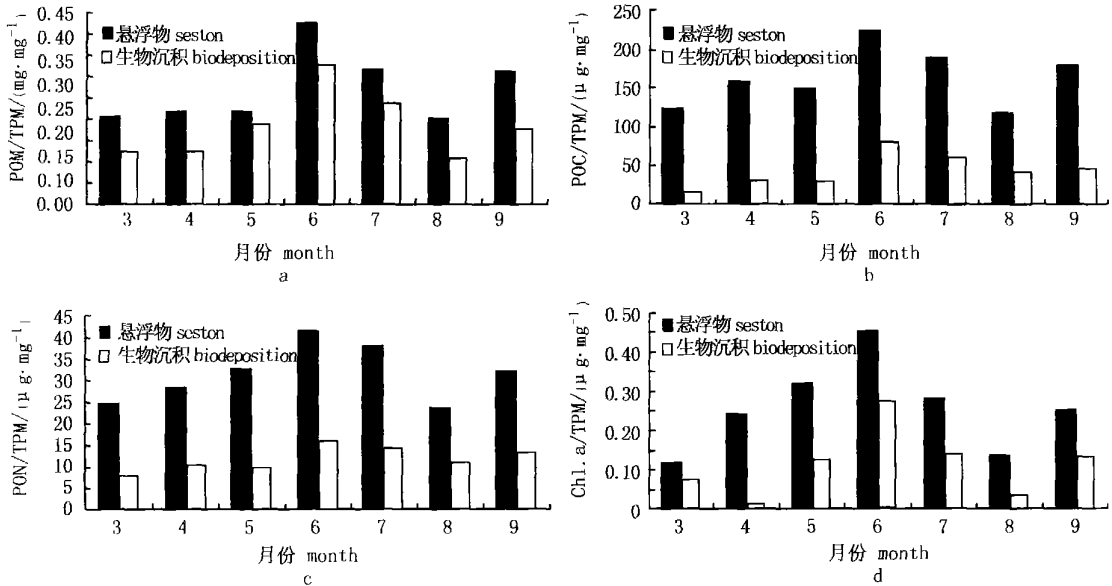


图4 海水悬浮物和太平洋牡蛎沉积物中主要指标的变化

Fig. 4 Variation of main index in seston and biodeposition by *Crassostrea gigas*

温度和饵料对太平洋牡蛎生物沉积的影响,可以从其对摄食率和同化率的影响得到解释,王俊等^[11]证实,在适温范围内,太平洋牡蛎的摄食率随温度的升高而增大,达到一定温度时摄食率也达到最大值,其后温度继续升高,摄食率反而下降。Jørgensen^[12]认为,贝类的鳃丝纤毛的摆动与温度呈正相关,温度升高提高了纤毛的摆动频率,从而增加了摄食率。另一方面,水温升高海水的粘度降低,使滤水率增大,提高了摄食率。当温度超过其适温范围时,其摄食器官的活力降低,导致摄食率下降。Bayne^[13]认为,在饵料密度下限之内,贝类的摄食率与饵料的密度成正比,两者间呈幂函数关系。当饵料密度达到一定值时,摄食率达到最大值,其后开始缓慢下降。Barillé^[14]认为这主要是由于在阈值以上时,贝类主要靠调节滤水率和产生假粪来调节摄食率。Jespersen^[15]认为,滤食性贝类在饵料密度低于产生假粪阈值时,食物在贝类体内可以得到充分的消化,但随密度的增加同化率随之下降。综上所述,在自然环境中水温和饵料密度协同对太平洋

牡蛎的生物沉积作用产生影响,随着水温的升高,太平洋牡蛎的滤食率增大,加之环境中的浮游植物数量随水温升高而增多,太平洋牡蛎的同化率下降,从而产生更多的粪便和假粪增加生物沉积量。

太平洋牡蛎是我国重要的海水养殖贝类,据《渔业统计年鉴》统计,2002年我国牡蛎的养殖产量近 3×10^6 t,通过生物沉积作用将数以万吨的物质从海水中沉积到海底。许多学者研究证实,贝类的生物沉积不仅加强了物质从海水到海底的运输^[4, 16-18],而且也影响海洋生物的结构和分布^[19-22]。因此,今后应加强贝类海水养殖对近海生态系统影响的研究以及养殖容纳量的研究,建立健康和可持续发展的海水养殖模式。

参考文献

- [1] Dame R F, Patten B C. Analysis of energy flows in an intertidal oyster reef [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1981, 5: 115-124.
- [2] Newell R C, Field J G. The contribution of bacteria and detritus to carbon and nitrogen flow in a benthic community [J]. Mar Biol Lett, 1983, 4: 23-36.
- [3] Smaal A C, Prins T C. The uptake of organic matter and the

- release of inorganic nutrients by bivalve suspension feeder beds [A]. In Dame R F (ed.). *bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes* [C]. Springer-Verlag, Heidelberg, 1993. 272- 298.
- [4] Jorlon T E, Valiela I. A nitrogen budget of the ribbed mussel, *Gaikensia demissa*, and its significance in nitrogen flow in a New England salt marsh [J]. *Limnol Oceanogr*, 1982, 27: 75- 90.
- [5] Boucher-Rodoni R, Boucher G. *In situ* study of the effect of oyster biomass on benthic metabolic exchange rates [J]. *Hydrobiologia*, 1990, 206: 115- 123.
- [6] Dame R F, Spurrier J D, Williams T M, *et al.* Annual material processing by a salt marsh-estuarine basin in South Carolina, USA [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1991, 72: 153- 166.
- [7] Dame R F, Spurrier J D, Zingmark R G. *In situ* metabolism of an oyster reef [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1992, 164: 147- 159.
- [8] Asmus H, Asmus R M, Zubillanga G F. Do mussel beds intensify the phosphorus exchange between sediment and tidal waters? [J] *Ophelia*, 1995, 41: 37- 55.
- [9] Haven D S, Morales-Alamo R. Aspects of biodeposition by oysters and other invertebrate filter feeders [J]. *Limnol Oceanogr*, 1966, 11: 487- 498.
- [10] Tsuchiya M. Biodeposit production by the mussel *Mytilus edulis* L. on rocky shores [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1980, 47: 203- 222.
- [11] 王 俊, 姜祖辉, 唐启升. 栉孔扇贝摄食率和同化率的研究 [J]. *中国水产科学*, 2001, 8(4): 27- 31.
- [12] Jørgensen C B. Bivalve filter feeding revisited [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1990, 142: 287- 302.
- [13] Bayne B L. The physiology of suspension feeding by bivalve molluscs: an introduction to the Plymouth " TROPHEE " workshop [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1998, 219: 1- 19.
- [14] Baillé L, Prou J, Héral M, *et al.* Effects of high natural seston concentration on the feeding selection, and absorption of oyster *Cassostrea gigas* (Thunberg) [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1997, 212: 149- 172.
- [15] Jespersen H, Olsen K. Bioenergetics in veliger larvae of *Mytilus edulis* L [J]. *Ophelia*, 1982, 21(1): 103- 113.
- [17] Doring P H, Oviatt C A, Kelly J R. The effects of filter-feeding clam *Mercenaria mercenaria* on carbon cycling in experimental marine mesocosms [J]. *J Mar Res*, 1986, 44: 839- 861.
- [18] Kautsky N, Evans S. Role of biodeposition by *Mytilus edulis* in the circulation of matter and nutrients in Baltic coastal ecosystem [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1987, 38: 201- 212.
- [19] In-Yang Ahn. Enhanced particle flux through the biodeposition by the Antarctic suspension-feeding bivalve *Laternula elliptica* in Marian Cove, King George Island [J]. *Exp Mar Biol Ecol*, 1993, 171: 75- 90.
- [20] Asmus H, Asmus R M, Reis K. Exchange processes in an intertidal mussel bed: a silt-flume study in the Wadden Sea [J]. *Ber Biol Anst Helgol*, 1990, 6: 1- 79.
- [21] Gerristen J, Holland A F, Irvine D E. Suspension-feeding bivalves and the fate of primary production: an estuarine model applied to Chesapeake Bay [J]. *Estuaries*, 1994, 17: 403- 416.
- [22] Shirley M B, Levinton J S, Kurdziel J P, *et al.* Selective feeding and biodeposition by zebra mussels and their relation to changes in phytoplankton composition and seston load [J]. *J Shellfish Res*, 1998, 17(4): 1207- 1213.