

栉孔扇贝生物沉积作用的研究

王 俊¹, 姜祖辉², 陈瑞盛¹

(1. 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, 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栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)的生物沉积及其对物质运输的影响进行研究。结果表明,栉孔扇贝能加速海洋中颗粒物质的沉积,生物沉积率分别为:小个体(壳长30~40 mm)72.31~109.85 mg·ind⁻¹·day⁻¹、中等个体(壳长50~60 mm)103.49~207.77 mg·ind⁻¹·day⁻¹和大个体(壳长60~70 mm)120.05~237.65 mg·ind⁻¹·day⁻¹。栉孔扇贝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栉孔扇贝的生物沉积的重要因子。

关键词:栉孔扇贝;生物沉积;影响因素

中图分类号:Q959.215 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2004)03-0225-06

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,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,扇贝养殖迅速成为我国海水养殖的支柱产业。栉孔扇贝是我国重要的海水养殖贝类,近海栉孔扇贝养殖业的迅速发展带来了巨大的经济效益,同时也给近海生态系统带来了许多不利的影响。据《渔业统计年鉴》统计,2001年我国扇贝的养殖面积为 5.5×10^4 hm²,产量达 96×10^4 t,主要为栉孔扇贝和海湾扇贝。扇贝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^[4,9-11],而且也影响海洋生物的结构和分布^[12-14]。关于贝类生物沉积的研究国外进行的较早且广泛^[15-20],国内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存在一定的局限性,因此,采取现场研究自然养殖状态下栉孔扇贝对近海悬浮物生物沉积作用是十分必要的。

栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)是我国近年来养殖

面积及产量较大的一个种类,并且形成了一定的规模。本实验选择栉孔扇贝为研究对象,试图进一步探讨扇贝人工养殖对近海生态系统的影响,从而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

试验海域位于山东省青岛市小青岛外,距岸约150 m处。试验在一固定的水泥船上进行,船体中间部分有8个1.5 m×1.5 m方形孔用于悬挂沉积物收集器,各个方孔与海相通,水表层到海底距离6~8 m。

1.2 样品

栉孔扇贝取自青岛近海麦岛养殖场,壳长为30~76 mm,干组织重0.3~3.0 g。试验按贝类的个体大小分成3组,即大个体(B组)壳长为60~70 mm,中等个体(M组)壳长为50~60 mm,小个体(S组)壳长为30~40 mm。

1.3 沉积物收集器

根据试验要求用直径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2部分组成,上部长300 mm,管子的一端加套以便

收稿日期:2003-06-16; 修订日期:2003-12-06.

基金项目:国家“863”重点基础研究发展规划项目(G1999043700)。

作者简介:王 俊,(1964.9-),男,硕士,副研究员,主要从事海洋生态学研究。

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,试验时放置扇贝。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。

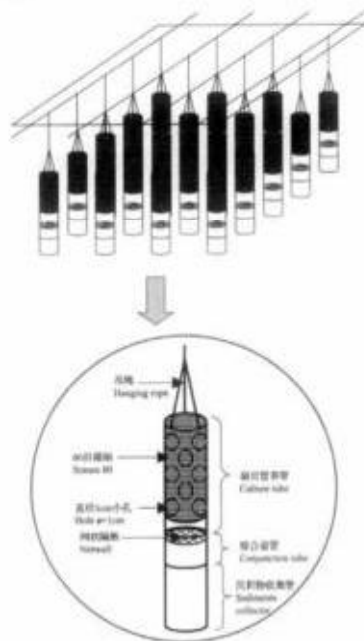


图1 沉积物收集器示意图

Fig.1 Diagram of biodeposition collector

1.4 实验方法

试验每月月中旬进行 1 次,每次连续进行 3 d,每个壳长组挑选 5 个个体分别装入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,各设 5 个重复。试验期间,每日在沉积物收集器放置处(水深 3 m)测定水温 and 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 9:00 将装有贝类的沉积物收集器放入海中,次日 9:00 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

Chl 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 Chl a 的浓度。总颗粒物(TPM)和颗粒态有机物(POM)含量的测定方法如下: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: $W_{POM} = W_{65} - W_{450}$, $W_{TPM} = W_{65} - W_0$ 。实验结束后用游标卡尺测定栉孔扇贝的壳长(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

试验期间海水的平均盐度为 29.5 ~ 30.0,水温为 $(5.0 \pm 0.2) \sim (27.2 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$, Chl a 含量为 2.37 ~ 8.44 $\mu\text{g/L}$, TPM 的含量为 9.83 ~ 18.71 mg/L, POM 的含量为 3.12 ~ 5.47 mg/L, POC 的含量为 0.12 ~ 0.22 mg/L 和 PON 的含量为 0.024 ~ 0.041 mg/L。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 Chl a 的含量随水温的升高逐渐增大,5 月份达到最高,然后开始下降,在 9 月初又开始增大。其他颗粒态物质(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)。

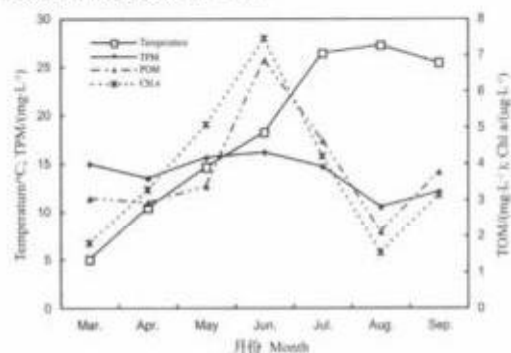


图2 试验海域水质条件变化

Fig.2 Variation of water index at experiment waters

2.2 扇贝生物沉积率与个体大小的关系

试验结果显示,栉孔扇贝的生物沉积量随个体的增大而增加,单位体重的生物沉积量则降低。图

2和图3表示栉孔扇贝生物沉积与壳长和体重的关系,可以看出栉孔扇贝生物沉积与其壳长呈正相关线性关系($P < 0.05$, $R^2 = 0.98$, $n = 15$),与其干组织重量呈正相关的指数关系($P < 0.05$, $R^2 = 0.98$, $n = 15$),而单位体重的生物沉积则与壳长和干组织重量分别为负相关的线性和幂指数关系($P < 0.05$, $R^2 = 0.97$, $n = 15$ 和 $P < 0.05$, $R^2 = 0.97$, $n = 15$)。

2.3 扇贝生物沉积率与环境因子的关系

自3月份至9月份,每月进行栉孔扇贝生物沉积试验1次,每次连续测定3d,对测定的水温、

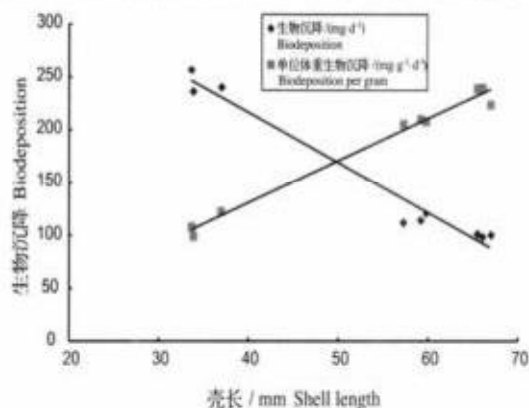


图3 栉孔扇贝的生物沉积与壳长的关系

Fig. 3 Relationship between biodeposition and shell length of *C. farreri*

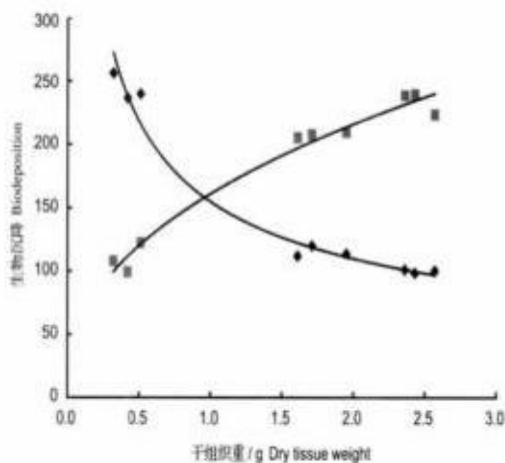


图4 栉孔扇贝的生物沉积与体重的关系

Fig. 4 Relationship between biodeposition and weight of *C. farreri*

TPM、POM、Chl a 和生物沉积量结果进行平均后列入表1。

从表1可以看出,随着水温的升高,栉孔扇贝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,高温时负相关的关系,而与颗粒态物质和叶绿素a的含量呈正相关的关系。

表1 栉孔扇贝的生物沉积
Table 1 Biodeposition of *C. farreri*

试验日期 Date	水温/℃ Temperature	TPM/ (mg · L ⁻¹)	POM/ (mg · L ⁻¹)	Chla/ (μg · L ⁻¹)	生物沉积/(mg · ind ⁻¹ · day ⁻¹) Biodeposition		
					Group S	Group M	Group B
11-13 Mar.	5.0	14.9	3.0	1.8	72.3	103.5	120.1
18-20 Apr.	10.4	13.5	2.9	3.3	80.4	120.4	134.1
10-12 May	14.6	15.6	3.3	5.1	93.3	177.6	201.1
11-13 June	18.2	16.1	6.9	7.4	109.9	207.8	237.7
8-10 July	26.4	14.7	4.6	4.2	101.9	184.7	196.0
18-20 Aug.	27.2	10.5	2.1	1.5	79.0	174.2	178.8
13-15 Sep.	25.4	12.1	3.8	3.1	82.4	184.9	200.4

注:1) 实验周期2001年3~9月;2) Group S、Group M和Group B分别为小个体组(壳长30~40 mm)、中等个体(壳长50~60 mm)和大个体(壳长60~70 mm)。

Note: 1) The experiment period was March-September 2001. 2) The shell length of scallops in groups S, M and B were 30-40 mm, 50-60 mm and 60-70 mm, respectively.

2.4 扇贝生物沉积对物质流动的影响

试验分析结果表明,栉孔扇贝能加速海洋中物质的沉积,不同规格的栉孔扇贝的生物沉积率分别为小个体72.31~109.85 mg · ind⁻¹ · day⁻¹,中等

个体103.49~207.77 mg · ind⁻¹ · day⁻¹和大个体120.05~237.65 mg · ind⁻¹ · day⁻¹。试验水域的Chl a的含量从3月份至6月份海水中浮游植物有明显的增长过程,而后出现消退。与此同时,海水中

POM 量占 TPM 的比例由 20.4% 增加到 42.5%, 之后开始下降(图 5-A)。在这个过程中, 贝类产生的沉积物中有机物的含量和 Chl a 等的含量出现相似的规律。但 POM 的含量与海水中总颗粒物中有机物含量相比有较大幅度的降低, 8 月份仅为海水中的一半, 5 月、6 月和 7 月份的含量较高, 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 12.7% ~ 33.5% 和 31.3% ~ 44.6% (图 5-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 4.5%, 2 月份和 6 月份含量较高, 占海水中的 60% 以上(图 5-D)。

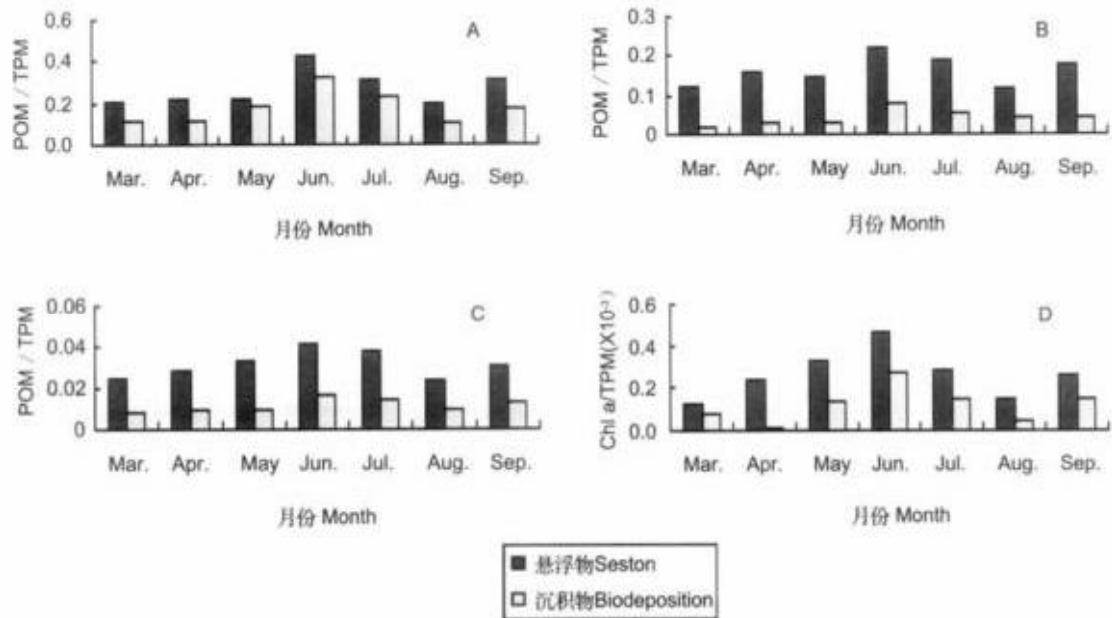


图 5 海水悬浮物和栉孔扇贝沉积物中主要指标的变化

Fig. 5 Variation of main index in seston and biodeposition of *C. ferrei*

3 讨论

栉孔扇贝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, 说明扇贝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^[15]和贻贝 (*Mytilus edulis*)^[16]。

从 3 月至 9 月份, 不同壳长栉孔扇贝的生物沉积随水温的升高而增加, 到 6 月份均达到最高值, 之后随水温的升高出现下降, 到 9 月份水温下降后, 扇贝的生物沉积又有所升高, 与此同时, 环境中的颗粒物 (包括颗粒态无机物、颗粒态有机物和以 Chl 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栉孔扇贝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栉孔扇贝的生物沉积。温度和饵

料对栉孔扇贝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^[17]证实, 在适温范围内, 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^[18]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^[19]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^[20]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^[21]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 and 饵料密度协同对栉孔扇贝的生物沉积作用产生影响,随着水温的升高,栉孔扇贝的滤食率增大,加之环境中的浮游植物数量随水温升高而增多,栉孔扇贝的同化率下降,从而产生更多的粪便和假粪增加生物沉积量。当水温超过其适温上限 26°C [22] 时,栉孔扇贝的滤食率下降,同时环境中的饵料数量也开始下降,从而导致生物沉积量的减少。

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]. Bivalve Filter Feeders in Estuarine and Coastal Ecosystem Processes[M]. Heidelberg: Springer-Verla, 1993.
- [4] Jordon T E, Valiela L. A nitrogen budget of the ribbed mussel, *Geukensia 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] During 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.
- [10] 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.
- [11] Ahn In-Yang. 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.
- [12] Asmus H, Asmus R M, Reis K. Exchange processes in an intertidal mussel bed: a Syt-flume study in the Wadden Sea[J]. Ber Biol Anst Helgol, 1990, 6:1-79.
- [13] 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.
- [14] Shirley M, Baker J S, Levinton 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.
- [15] Haven D S, Morales-Alamo R. Aspects of biodeposition by oysters and other invertebrate filter feeders[J]. Limnol Oceanogr, 1966, 11:487-498.
- [16] Tsuchiya M. Biodeposit production by the mussel *Mytilus edulis* L. on rocky shores[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1980, 47:203-222.
- [17] 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.
- [18] Jørgensen C B. Bivalve filter feeding revisited[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1990, 142:287-302.
- [19] 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.
- [20] Barillé L, Prou J, Héral M, et al. Effects of high natural seston concentration on the feeding selection, and absorption of oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1997, 212:149-172.
- [21] Jespersen H, Olsen K. Bioenergetics in veliger larvae of *Mytilus edulis* L. [J]. Ophelia, 1982, 21(1):103-113.
- [22] 王如才,王昭萍,张建中. 海水贝类养殖学[M]. 青岛:青岛海洋大学出版社, 1993. 155-204.

Biodeposition by scallop *Chlamys farreri*

WANG Jun¹, JIANG Zu-hui², CHEN Rui-sheng¹

(1. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, 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. Farrer's scallop (*Chlamys farreri* Jones et Preston) is a promising species, which has been widely cultured in the neritic waters in China, particularly in the Bohai Sea and the Yellow Sea. Scallop 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 scallop cultivation, the experiments were monthly conducted near Xiao Qingdao Island from March to September 2001. The biodeposition by Farrer's scallop and the effects of biodeposition on material flux were measured under natural cultivation conditions. The Farrer's scallops, with body sizes of 30–76 mm shell height and 0.3–3.0 g dry tissue weight, were collected from the Maidao scallop farm south of Qingdao. The scallop samples were divided into three groups, according to their body size, they were small size (30–40 mm), middle size (50–60 mm) and big size (60–70 mm). Each group was arranged five parallel experiments. The results show that the biodeposition rates were $72.31 - 109.85 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$, $103.49 - 207.77 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ and $120.05 - 237.65 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ for small size, middle size and big size of Farrer's scallops, 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 $1.8 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ to $7.4 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ and reached the peak values at 18.2°C in June, then went down until September. The same tendency appeared in the contents of TPM, POM, POC and PON, but the fluctuation was relatively great. As a consequence, the biodeposition by each group scallops increased from $72.3 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ to $109.9 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$, $103.5 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ to $207.8 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ and $120.1 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ to $237.7 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$, then decreased to $79.0 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$, $174.2 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ and $178.8 \text{ mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ in August, respectively. Those demonstrated that water temperature and food concentration were important factors to affect biodeposition of Farrer's scallops.

Key words: *Chlamys farreri*; biodeposition; effect factors