

烟台四十里湾海区栉孔扇贝同化率 周年变化及其与环境的关系*

张 涛 杨红生 王 萍 何义朝 张福绥

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 于 1997 年 6 月—1998 年 5 月用现场方法测定了烟台四十里湾海区总颗粒物 (TPM)、颗粒有机物 (POM) 现存量和栉孔扇贝同化率 (AE) 周年变化, 并分析了栉孔扇贝同化率与海区温度、盐度、TPM 和 POM 的关系。结果表明, (1) 整个海区 TPM 现存量秋季最高, 其次为春季和冬季, 夏季最低; 海区 POM 含量变化不大, 在 1.34—1.65mg/L 之间; 栉孔扇贝同化率在春、夏、秋三季较高, 冬季较低, 其中在秋末冬初 (11 月) 最低; (2) 栉孔扇贝同化率与温度有明显相关性, 与盐度相关性不大; (3) 栉孔扇贝同化率与海区 TPM 和 POM 现存量呈负相关关系, 回归方程分别为 $AE = 79.694[TPM]^{-0.6332}$ ($R^2 = 0.7955$) 和 $AE = 52.843[POM]^{-1.1097}$ ($R^2 = 0.6925$)。

关键词 同化率 栉孔扇贝 水温 TPM 现存量 POM 现存量

学科分类号 S968.3

贝类同化率 (Absorption Efficiency, AE) 是贝类能量学研究中重要的基本参数之一 (Riisgard, 1991), 同化作用是贝类能量转换的一个关键环节, 决定着贝类对食物中能量的利用, 从而对贝类的生长、发育有重要影响。滤食性贝类通过滤水作用摄食海水中浮游植物和有机碎屑, 又通过排粪作用 (假粪和粪便) 和排泄作用把废物排入海中, 从而影响海区中营养盐组成和分布, 严重时造成局部海区富营养化, 引发赤潮。贝类排粪量的多少与同化率高低有关。因此, 贝类的同化率可作为判断扇贝对海区影响的一项指标。

双壳贝类同化率受诸多因素影响, 包括饵料质量 (Bayne *et al*, 1987; Navarro *et al*, 1991)、饵料浓度和贝类摄食率 (努村均, 1995; Navarro *et al*, 1996)、食物通过内脏时间 (gut passage time, GPT) (Bayne *et al*, 1978)、温度 (Beiras *et al*, 1995)、盐度 (Navarro, 1988)、个体大小 (Navarro *et al*, 1982; Navarro, 1988) 和养殖密度 (匡世焕等, 1996) 等。本实验采用现场方法对烟台四十里湾海区栉孔扇贝同化率周年变化进行了测定, 并分析了栉孔扇贝同化率与海区温度、盐度、TPM 和 POM 现存量的关系, 以求为浅海养殖系统养殖容量研究提供数据参考。

* 国家“九五”攻关资助项目, 96-922-02-04号; 中国科学院重大资助项目, KZ951-A1-102-02号; 国家“973”课题资助项目, G1999012012号。张 涛, 男, 出生于 1971 年 4 月, 博士, E-mail: fszhang@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 1998-09-19, 收修改稿日期: 1999-04-20

1 材料与方法

1.1 站位设置

本实验的采样时间为 1997 年 6 月—1998 年 5 月, 采样地点为烟台市四十里湾及其毗邻海区, 包括芝罘湾、金沟湾和四十里湾海区, 位于东经 $121^{\circ}20' - 40'$, 北纬 $37^{\circ}25' - 40'$ 之间, 湾口宽 26km, 纵深 13km, 三面邻陆, 一面向海, 是一个耳状半封闭性海湾。湾内海底为泥砂质, 地形平坦, 面积约为 13 000ha, 平均水深为 8—9m, 最大水深为 14—15m, 是我国开展浅海筏式养殖较早的海湾之一, 目前主要筏式养殖对象有紫贻贝 (*Mytilus edulis*)、栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*)、海湾扇贝 (*Argopecten irradians*) 和海带 (*Laminaria japonica*)。

本实验以四十里湾海区的 4 个栉孔扇贝密集养殖海区为实验点: A: 金沟湾海区; B: 月亮湾海区; C: 崆峒岛海区; D: 清泉寨海区, 如图 1 所示。在上述 4 个养殖海区各设 3 个站位作为平行组。

1.2 采样与测定

1.2.1 海水中 TPM 和 POM 现存量的测定

将 WhatmanGF/C 玻璃纤维滤膜用蒸馏水冲洗干净, 65°C 烘干 48h, 450°C 灼烧 6h, 称重 W_0 ; 取水样 1 000ml 过滤于 WhatmanGF/C 滤膜上, 并用 10ml 0.5mol/L 甲酸氨溶液冲洗, 去除海水中盐分, 65°C 烘干 48h, 称重 W_{F1} ; 450°C 灼烧 6h, 称重 W_{F2} , 则海水中 TPM 现存量 (mg/L) $W_{F3} = W_{F1} - W_0$, 灰重 (mg/L) $W_{F4} = W_{F2} - W_0$, POM 现存量 (mg/L) $W_{F5} = W_{F1} - W_{F2}$ 。

1.2.2 栉孔扇贝粪便的收集 从实验海区各站位各取 10 个栉孔扇贝, 迅速冲洗干净, 放入 2 000ml 海水中, 4—6h 后收集粪便, 并用 0.5mol/L 甲酸氨溶液反复冲洗粪便, 洗去样品中的盐分、杂质以及包裹粪便的粘液。粪便的烘干、灼烧步骤同 1.2.1, 粪便干重 $W_{E3} = W_{E1} - W_0$, 灰重 $W_{E4} = W_{E2} - W_0$, 有机物重量 $W_{E5} = W_{E1} - W_{E2}$ 。式中, W_0 为 WhatmanGF/C 玻璃纤维滤膜重量; W_{E1} 为滤膜和粪便干重; W_{E2} 为滤膜和粪便灰重; 重量单位均为 mg。

1.2.3 栉孔扇贝同化率的计算 采用 Conover(1966) 和 Cranford 等 (1990) 的灰重比例法, 各符号意义同 1.2.1 和 1.2.2。

$$AE = \{1 - [W_{F4} \cdot W_{F5} / W_{E4} \cdot W_{E5}]\} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 烟台四十里湾海区 TPM 现存量 and 栉孔扇贝同化率周年变化

金沟湾、月亮湾、崆峒岛和清泉寨 4 海区 TPM 现存量 and 栉孔扇贝同化率周年变化如图 2 所示。烟台四十里湾海区表层最低水温和最高水温分别出现在 2 月份和 8 月份。盐度变化较小, 为 29.21—30.65。烟台四十里湾海区 TPM 现存量 and 栉孔扇贝同化率均有一定的周年变化。由图 2a 可知, 海区 TPM 现存量在 5 月和 11 月分别达到第一次高峰期 (小高峰期) 和第二次高峰期 (大高峰期), 分别为 4.96 和 5.45mg/L, 而在 3 月和 8 月达到第一次低

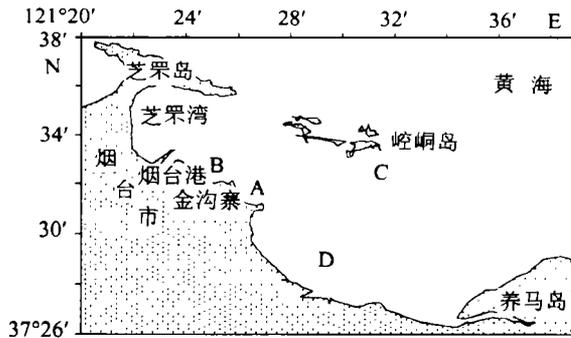


图 1 烟台四十里湾海区实验站位图

Fig.1 The diagram of experimental stations in Sishiliwan Bay, Yantai

峰期(小低峰期)和第二次低峰期(大低峰期),分别为 3.89 和 2.28mg/L,位于最低和最高水温期。由图 2b 可知,A、B、C 海区栉孔扇贝同化率在 11 月份最低,以后逐渐升高,5 月份达到最高,均在 40% 以上,一直持续到 9 月份;而 D 海区栉孔扇贝同化率从 6 月份开始一直升高,在 9 月份达到最高,为 74.09%,以后逐渐降低。

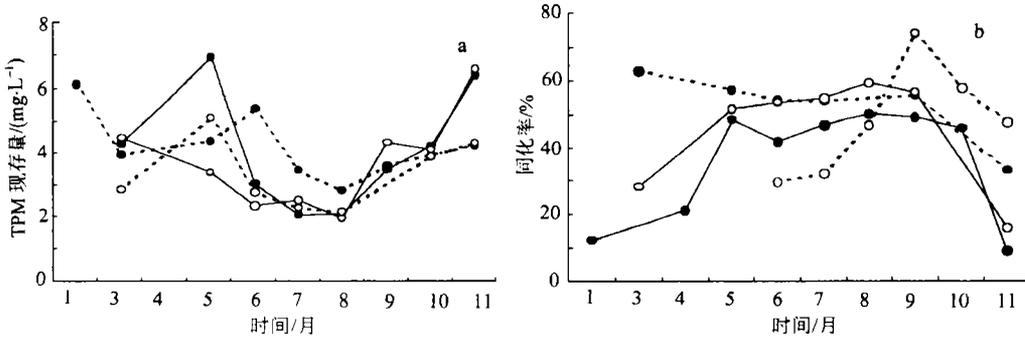


图2 烟台四十里湾海区的TPM现存量(a)和栉孔扇贝同化率(b)的周年变化

Fig.2 The annual variations of TPM biomass (a) and absorption efficiency of *C. farreri* (b)

in Sishiliwan Bay, Yantai

—●— A海区; —●— B海区; —○— C海区; —○— D海区

2.2 不同养殖海区栉孔扇贝同化率的差异

从全年的实验结果来看,A、B、C、D 四个实验海区的栉孔扇贝同化率是有差别的。B 海区栉孔扇贝同化率最高,平均为 51.51%,其次为 C 海区,D 海区再次,最低为 A 海区,平均为 36.91%,如表 1 所示。B 海区不仅栉孔扇贝同化率最高,而且 TPM 和 POM 现存量也

表1 烟台四十里湾不同海区TPM、POM现存量 and 栉孔扇贝同化率(1997.06—1998.05)

Tab.1 TPM biomass, POM biomass and absorption efficiency of *C. farreri* in different sea areas of Sishiliwan Bay, Yantai (1997.06—1998.05)

站位	TPM现存量(mg/L)		POM现存量(mg/L)		栉孔扇贝同化率(%)	
	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
A	2.07—6.95	3.97	1.00—2.26	1.42	9.00—57.93	36.91
B	2.84—6.26	4.39	1.16—4.69	1.99	32.92—63.00	51.51
C	1.66—6.64	3.59	0.83—2.03	1.24	16.00—59.44	46.64
D	2.18—5.12	3.29	0.90—1.70	1.24	24.95—74.09	45.39

最高,这可能是由于 B 海区位于整个海区的上游,水流交换快,饵料充足,栉孔扇贝生长良好造成的。

从季节来看,整个海区栉孔扇贝同化率在春、夏、秋三季较高,均在 40% 以上,冬季较低,如表 2 和图 3a 所示。

2.3 栉孔扇贝同化率与温度和盐度的关系

烟台四十里湾海区栉孔扇贝同化率与温度之间有明显的相关性,如图 3a 所示。从图 3a 可以看出,A 海区和 C 海区栉孔扇贝同化率随着温度的升高而升高,经过夏季(6—8 月)以后随着温度的降低而降低;肥满度较高的 B 海区栉孔扇贝同化率在 9 月份以前变

表2 烟台四十里湾海区不同季节TPM、POM现存量(mg/L)和栉孔扇贝同化率(%) (1997.06—1998.05)

Tab.2 TPM biomass, POM biomass and absorption efficiency of *C. farreri* in different seasons in Sishiliwan Bay, Yantai (1997.06—1998.05)

站位	春季(3—5月)			夏季(6—8月)			秋季(9—11月)			冬季(12—2月)		
	TPM	POM	AE	TPM	POM	AE	TPM	POM	AE	TPM	POM	AE
A	5.63	1.69	36.47	2.57	1.39	45.23	4.73	1.28	34.56	4.30	1.58	12.03
B	4.16	1.51	60.21	4.27	2.72	50.80	3.98	1.35	44.26	5.03	1.34	—
C	3.93	0.97	39.87	2.32	1.19	55.29	5.05	1.48	36.13	4.47	2.42	—
D	3.99	1.18	ND	2.52	1.31	34.51	5.01	1.83	59.90	2.85	0.90	—
平均	4.43	1.34	45.52	2.92	1.65	46.46	4.69	1.49	43.71	4.16	1.56	—

化并不是很大,9月以后同化率才随着温度的降低而降低;肥满度最低的D海区栉孔扇贝同化率在9月份最高,以后随温度的降低而降低。不同海区栉孔扇贝同化率与温度相关性的不同可能与不同海区栉孔扇贝的生长状况有关。另外还发现,B海区栉孔扇贝生长较好,肥满度(软体部干重/干壳重 \times 100)最高(平均值为16.33),死亡率最低,A和C海区次之,最差者为D海区(王萍等,1999)。

烟台四十里湾海区栉孔扇贝同化率与盐度之间并没有明显的相关性,如图3b所示。一般来说,盐度对双壳贝类同化率没有明显的影响作用。Navarro(1988)也发现 *Choromytilus chorus* 的同化率与盐度无关,本文的实验结果也证明了这一点。

2.4 栉孔扇贝同化率与海区TPM和POM现存量的关系

栉孔扇贝同化率与烟台四十里湾海区TPM现存量的关系如图4a所示。

从图4a可以看出,栉孔扇贝同化率(AE)与海区TPM现存量之间存在明显的负相关关系,回归方程为: $AE = 79.694[TPM]^{-0.6332}$ ($R^2 = 0.7955$)。栉孔扇贝同化率与POM现存量也有明显的负相关关系,同化率随着POM现存量的升高而降低,回归方程为: $AE = 52.843[POM]^{-1.1097}$ ($R^2 = 0.6925$),如图4b所示。Cranford(1995)发现扇贝 *Placopecten magellanicus* 的同化率也随着海区POM现存量的升高而降低,与本研究的结果相似。

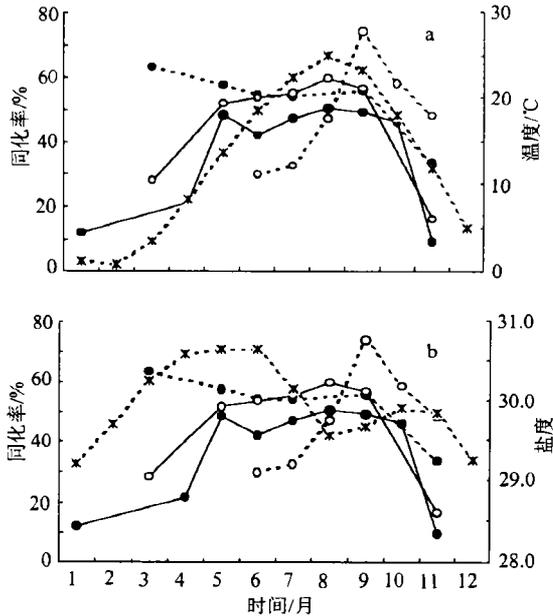


图3 烟台四十里湾海区栉孔扇贝同化率与温度(a)和盐度(b)的关系

Fig.3 The relationship between absorption efficiency of *C. farreri* and seawater temperature (a) and salinity (b) in Sishiliwan Bay, Yantai

—●— A海区; ...●... B海区; ---○--- C海区;
...○... D海区; ...×... 温度(a), 盐度(b)

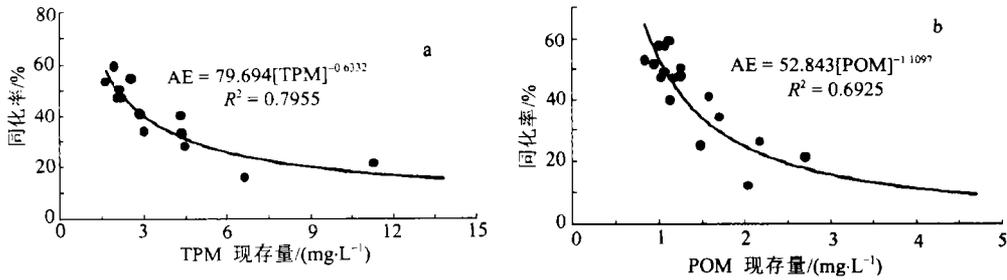


图4 烟台四十里湾海区栉孔扇贝同化率与海区TPM(a)和POM(b)现存量的关系

Fig.4 The relationship between absorption efficiency of *C. farreri* and TPM (a) and POM (b) biomass in Sishiliwan Bay, Yantai

3 讨论与结语

3.1 同化率的测定方法

同化率的测定方法主要有4种:直接法、灰重比例法、有机硅比例法和放射性同位素法(张涛,1998)。这些方法各有优缺点,比较而言,灰重比例法操作简单、准确性较高,不必象直接法那样全部回收粪便,而只要对粪便及时取样即可,它最早是由Conover(1966)在测定浮游动物同化率时提出来的,后来被广泛应用于贝类同化率研究中。此法的前提是贝类只对饵料中有机物有同化作用,而对无机物无明显的同化作用。实际上,贝类对饵料中的无机物也有一定的同化作用,因此,用灰重比例法测定贝类同化率也存在一定的误差。用其它3种方法难以在海区中直接测定贝类同化率,所以在本实验中采用灰重比例法测定栉孔扇贝同化率。

由于不能直接测定自然海区中TPM和POM浓度的变化,在计算栉孔扇贝同化率时假定海区中的TPM和POM即为栉孔扇贝摄食的TPM和POM,但由于扇贝对海区中的TPM存在一定的选择性(Iglesias *et al.*, 1998),从理论上讲,所得出的同化率值比实际值低。另外,扇贝也能够摄食一部分细菌,因此海区中的细菌也可能对扇贝同化率有一定的影响,由于实验条件的限制,该问题有待进一步研究。

3.2 海区温度、盐度和TPM、POM现存量对栉孔扇贝同化率的影响

温度对贝类的同化率有明显的影响。*Modiolus modiolus*和*Arctica islandica*在20℃时同化率明显高于4℃和12℃(Winter, 1978)。食用牡蛎(*Ostrea edulis*)幼苗在14℃时的同化率比20℃的低(Beiras *et al.*, 1995)。在20—32℃范围内,*Ruditapes decussatus*同化率随温度的升高而升高(Sobral *et al.*, 1997)。从本文的实验结果看,栉孔扇贝同化率与海区中的温度也有明显的相关性。在一年中,A海区和C海区栉孔扇贝同化率与温度呈正相关(图3a)。

从现有的研究结果看,盐度对贝类同化率无明显的影响(Winter, 1978; Navarro, 1988),本文的实验结果也证明了这一点。

TPM和POM现存量对贝类同化率也有明显的影响。一般来说,贝类同化率与海区中TPM和POM现存量呈负相关关系(Cranford, 1995),本文的结果也证实了上述观点。

3.3 养殖海区位置不同对海区 TPM 和 POM 现存量 and 栉孔扇贝同化率的影响

在实验中我们发现不同养殖海区栉孔扇贝的肥满度存在明显的差异(王萍等, 1999), 位于四十里湾海区上游(以水流方向为准)的 B 海区的栉孔扇贝肥满度最高, 其次为 A 海区, C 海区和 D 海区最差, 与海区中 TPM 和 POM 现存量高低顺序相一致, 由此可以看出, 栉孔扇贝肥满度与海区中 TPM 和 POM 现存量之间存在着明显的相关性(王萍等, 1999)。另外, B 海区栉孔扇贝同化率也最高。造成这些差异的根本原因可能是水流。水流对双壳贝类的生长有明显影响(Wildish *et al*, 1987; Eckman *et al*, 1989; Claereboudt *et al*, 1994)。水流能够为扇贝带来丰富的饵料生物, 同时带走扇贝所排出的废物; 水流能够促进海区的水交换, 为扇贝提供丰富的溶解氧。由此可见, 扇贝养殖区的选择对扇贝养殖业有重要的影响。

参 考 文 献

- 王 萍, 杨红生, 王 健等, 1999. 烟台四十里湾密集养殖海区栉孔扇贝肥满度的特征及其与环境的关系. 贝类学论文集(VIII). 北京: 学苑出版社, 135—142
- 匡世焕, 方建光, 孙慧玲等, 1996. 桑沟湾栉孔扇贝不同季节滤水率和同化率的比较. 海洋与湖沼, 27(2): 194—199
- 张 涛, 1998. 双壳贝类同化率研究进展. 海洋科学, 4: 46—50
- 努村均, 1995. The effect of algal species and concentration on the rates of filtering, digestion, and assimilation of the adult Japanese bay scallop *Pecten albicans*. Nippon Suisan Gakkaishi, 61(5): 673—678
- Bayne B L, Widdows J, 1978. The physiological ecology of two populations of *Mytilus edulis* L. Oecologia (Berlin), 37: 137—162
- Bayne B L, Hawkins A J S, Navarro E, 1987. Feeding and digestion by the mussel *Mytilus edulis* L. (bivalvia: mollusca) in mixtures of silt and algal cell at low concentrations. J Exp Mar Biol Ecol, 111: 1—22
- Beiras R, Camacho A P, Albentosa M, 1995. Short-term and longterm alterations in the energy budget of young oyster *Ostrea edulis* L. in response to temperature change. J Exp Mar Biol Ecol, 186: 221—236
- Claereboudt M R, Himmelman J H, Cote J, 1994. Field evaluation of the effect of current velocity and direction on the growth of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, in suspended culture. J Exp Mar Biol Ecol, 183: 27—39
- Conover R J, 1966. Assimilation of organic matter by zooplankton. Limnol Oceanogr, 11: 338—345
- Cranford P J, Grant J, 1990. Particle clearance and absorption of phytoplankton and detritus by the sea scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin). J Exp Mar Biol Ecol, 137: 105—121
- Cranford P J, 1995. Relationships between food quantity and quality and absorption efficiency in sea scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin). J Exp Mar Biol Ecol, 189: 123—142
- Eckman E J, Peterson C H, Cahalan J A, 1989. Effect of flow speed, turbulence, and orientation on growth of bay scallops *Argopecten irradians concentricus* (Jay). J Exp Mar Biol Ecol, 132: 123—140
- Iglesias J I P, Urrutia M B, Navarro E *et al*, 1998. Measuring feeding and absorption in suspension-feeding bivalves: an appraisal of the biodeposition method. J Exp Mar Biol Ecol, 219: 71—86
- Navarro E, Iglesias J I P, Camacho A P *et al*, 1996. The effect of diets of phytoplankton and suspended bottom material on feeding and absorption of raft mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk). J Exp Mar Biol Ecol, 198: 175—189
- Navarro E, Iglesias J I P, Camacho A P *et al*, 1991. The physiological energetic of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from different cultivation rafts in the ria de arosa (galicia, n. w. spain). Aquaculture, 94: 197—212

- Navarro J M, Winter J E, 1982. Ingestion rate, assimilation efficiency and energy balance in *Mytilus chilensis* in relation to body size and different algal concentration. *Mar Biol*, 67: 255—266
- Navarro J M, 1988. The effects of salinity on the physiological ecology of *Choromytilus chorus* (Molina, 1782)(Bivalvia: Mytilidae). *J Exp Mar Biol Ecol*, 122: 19—33
- Riisgard H U, 1991. Filtration rate and growth in the blue mussel, *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758: dependence on algal concentration. *J Shellfish Res*, 10(1): 29—35
- Sobral P, Widdows J, 1997. Effects of elevated temperatures on the scope for growth and resistance to air exposure of the clam *Ruditapes decussatus* (L.), from southern Portugal. *Sci Mar*, 61(1): 163—171
- Wildish D J, Kristmanson D D, Hoar R L *et al*, 1987. Giant scallop feeding and growth responses to flow. *J Exp Mar Biol Ecol*, 113: 207—220
- Winter J E, 1978. A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*, 13: 1—33

ANNUAL VARIATION IN ABSORPTION EFFICIENCY OF *CHLAMYS FARRERI* IN SISHILIWAN BAY, YANTAI, AND ITS RELATIONS TO ENVIRONMENT

ZHANG Tao, YANG Hong-sheng, WANG Ping, HE Yi-chao, ZHANG Fu-sui

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

Abstract Absorption efficiency (*AE*) is an important parameter in bioenergetic studies of suspension-feeding bivalves. During June 1997—May 1998, we determined the annual variations of total particulate matter (TPM) biomass, particulate organic matter (POM) biomass and *AE* of the scallop *Chlamys farreri* in Sishiliwan Bay, Yantai, with *in situ* method, and studied the relationships between *AE* and seawater temperature, salinity, TPM, POM. The results suggest that: (1) POM biomass in fall is the highest of all seasons, the next is in spring and the lowest is in summer; the POM biomass is not significantly different among seasons (1.34—1.65mg / L); *AE* of *C. farreri* is high in spring, summer and fall, is low in winter, especially in November. (2) *AE* is significantly correlated with water temperature, but poorly correlated with salinity. (3) *AE* is negatively correlated with TPM and POM biomass, the regression formula are $AE = 79.694 [TPM]^{-0.6332}$ ($R^2 = 0.795$) and $AE = 52.843[POM]^{-1.1097}$ ($R^2 = 0.692$), respectively.

Key words Absorption efficiency *Chlamys farreri* Seawater temperature TPM biomass POM biomass

Subject classification number S968.3