

文章编号:1005-8737(2001)04-0027-05

栉孔扇贝的滤食率与同化率

王 俊,姜祖辉,唐启升

(中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘 要:自青岛近海扇贝养殖区取栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)暂养2周,壳长达25.01~73.92 mm。实验前停食24 h,实验温度梯度为8、13、18、23、28℃,其间投喂不同密度的小球藻(*Chlorella* spp.),静态实验。结果显示,栉孔扇贝的滤食率与温度和体重成正比,且与体重呈幂函数关系。在实验的温度范围内栉孔扇贝滤食率为1.07~11.66 mg/(ind·h),23℃时达到最高值,28℃时开始下降。随饵料密度的增加,栉孔扇贝的滤食率增加,同化率下降,且同化率与饵料质量成正相关关系。同化率与温度和体重的关系不明显。

关键词:栉孔扇贝;滤食率;同化率

中图分类号:S968.312

文献标识码:A

在海洋生态系统中,滤食性贝类通过滤水作用摄取海洋中的浮游植物和有机碎屑,同时通过排粪和排泄作用把废物排入海中,不仅影响生态系统中的生物结构和营养分布,而且对生物沉积具有重要的作用。因此,贝类的滤食率和同化率是评价贝类对海洋生态系统影响的重要指标之一,也是评估贝类养殖容纳量的重要依据。

栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)是我国主要的海水养殖贝类之一,本研究旨为“渤海生态系统动力学和生物资源可持续利用”项目提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

栉孔扇贝取自青岛近海扇贝养殖区,挑选无损伤个体,用毛刷洗刷去除表面的附着物,重新装笼后吊挂于黄海水产研究所青岛实验基地,5 m³水体的水泥池中流水暂养。实验期间海水盐度为29.6~30.3, pH为7.86~8.31,溶解氧大于5 mg/L。

收稿日期:2001-01-15

基金项目:国家自然科学基金重大项目(497901001);国家重点基础研究发展规划项目(G1999043700)

作者简介:王 俊(1964-),男,副研究员,硕士,从事海洋生态学研究。

1.2 实验方法

栉孔扇贝暂养2周后按个体大小分为A、B、C、D、E和F组(表1),每组设5个重复,实验于停喂24 h后在25 cm×30 cm×50 cm玻璃水槽中进行。每次测定持续2 h,静态试验。温度设8、13、18、23和28℃5个梯度,从8℃开始每日升高1~2℃,达到预定的实验温度后稳定3 d,其间投喂小球藻(*Chlorella* spp.)。饵料是用人工培养的小球藻,密度设 0.1×10^4 、 0.5×10^4 、 1.0×10^4 、 5.0×10^4 、 10.0×10^4 和 20.0×10^4 ml⁻¹6个梯度。不同质量的饵料是通过在海水中加入不同比例的小球藻和海底淤泥混合获得,其搭配比例和成分见表2。海底淤泥取自青岛近海,取回后于烘箱中烘干并研细,加海水稀释后用孔径10 μm的筛绢过滤,然后稀释到与单胞藻相近的颗粒物含量备用。收集实验期间及实验后24 h内栉孔扇贝排出的粪便,测定总颗粒物(TPM)和颗粒态有机物(POM)。每个指标均取3个平行水样进行测定。

1.3 测定方法

TPM和POM的测定方法是:用预先灼烧(450℃,4 h)、称重(W_0)的GF/F滤膜抽滤一定体积的水样,用0.5 mol/L的甲酸胺冲洗后在65℃条件下烘干48 h,称重(W_{65}),再于450℃下灼烧4 h,

称重(W_{450}), 则: $W_{POM} = W_{65} - W_{450}$, $W_{TPM} = W_{65} - W_{60}$ 。实验结束后用游标卡尺测定栉孔扇贝的壳长, 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。

表 1 栉孔扇贝的生物学测定

Table 1 Biological measurement of *Chlamys farreri*

特征 Features	分组 Group					
	A	B	C	D	E	F
壳长/mm Shell length	27.47 ± 2.462	35.08 ± 2.540	45.97 ± 2.673	54.43 ± 2.290	63.95 ± 3.507	72.02 ± 1.172
干重/g Dry weight	0.28 ± 0.063	0.57 ± 0.120	1.24 ± 0.202	2.01 ± 0.243	3.22 ± 0.511	4.51 ± 0.213

表 2 饵料组成

Table 2 Food composition

编号 No.	单胞藻/% Algae	淤泥/% Silt	TPM/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	POM/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	POM/TPM
a	100	0	30.1	9.4	0.312
b	75	25	28.8	7.0	0.243
c	50	50	29.7	6.2	0.208
d	25	75	32.5	6.0	0.184
e	0	100	36.5	6.0	0.164

1.4 计算方法

根据实验前后水体中颗粒有机物的含量计算滤水率: $R_f = [(\ln W_0 - \ln W_t) \times V] / (N \times t)$, 式中: R_f —滤水率($\text{ml} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); W_0 、 W_t —实验前后水体中 POM 含量($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); V —实验水体积(ml); N —贝类个体数; t —实验持续时间(h)。滤食率(R_i)则根据滤水率和水体中 POM 的浓度计算: $R_i = R_f \times C$, 式中: R_i —滤食率($\text{mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); C —食物质量浓度(mg/L)。同化率则按 Conover^[1]介绍的公式计算: $E_a = (F' - E') / [(1 - E') \times F']$ 。式中: E_a —贝类同化率(%); F' —本食物中有机物比

率(POM/TPM); E' —粪便中有机物的比率(POM/TPM)。

2 结果与分析

2.1 体重对栉孔扇贝滤食率的影响

体重对滤食率和同化率影响的实验是在饵料(海水小球藻)密度为 $0.5 \times 10^4 \text{ ml}^{-1}$ 条件下进行的。实验测定结果见图 1。从图 1 可见, 栉孔扇贝的个体滤食率随体重的增大而增大, 呈正相关幂指数关系: $Y = aX^b$, 回归分析结果见表 3。

表 3 栉孔扇贝的滤食率与体重的回归分析结果

Table 3 Regression between filter feeding rate and body weight of *C. farreri*

温度/ $^{\circ}\text{C}$ Temperature	滤食率/ $(\text{mg} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$ Filter feeding rate		
	a	b	R^2
8	3.336	0.442	0.988
13	5.505	0.387	0.955
18	7.804	0.405	0.972
23	9.647	0.415	0.963
28	7.702	0.378	0.960

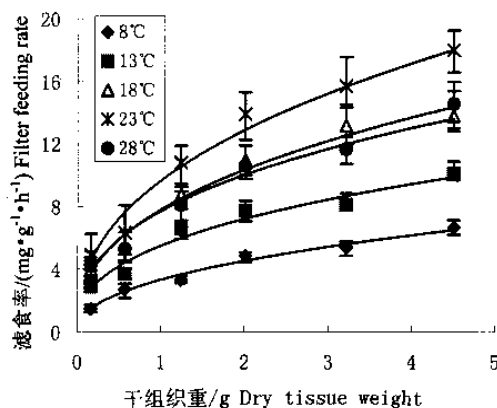


图 1 栉孔扇贝滤食率与体重的关系
Fig. 1 Relationship between body weight and filter feeding rate of *C. farreri*

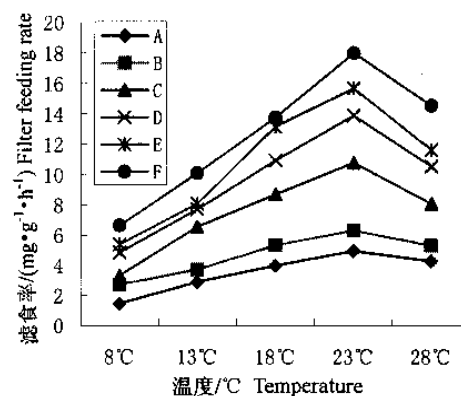


图 2 栉孔扇贝滤食率的关系与温度
Fig. 2 Relationship between temperature and filter feeding rate of *C. farreri*

2.2 温度对栉孔扇贝滤食率的影响

在实验温度范围,随温度的升高,栉孔扇贝的滤食率增大,到 23℃ 达到最高,28℃ 时开始降低(图 2)。

2.3 温度和体重对栉孔扇贝滤食率和同化率的综合影响

栉孔扇贝的滤食率和同化率与温度和体重的双因子方差分析(ANOVA)结果显示,温度和体重对栉孔扇贝滤食率的影响均显著,且体重的作用略大于温度的影响。但是,温度和体重对栉孔扇贝同化率的影响均不明显(表 4)。

表 4 温度和体重对栉孔扇贝滤食率和同化率影响的双因子方差分析

Table 4 ANOVA of filter feeding rate and assimilation efficiency of *C. farreri* with body weight and water temperature

项目 Item	方差来源 Source	SS	df	MS	F	P	F - crit
滤食率(R_f) Filter feeding rate	温度 Temperature	194.11	4	48.53	26.22	<0.001	2.866
	体重 Weight	273.81	5	54.76	29.59	<0.001	2.711
	误差 Error	37.01	20	1.85			
	总计 Total	504.93	29				
同化率(E_a) Assimilation efficiency	温度 Temperature	55.74	4	13.94	2.64	0.064	2.866
	体重 Weight	56.46	5	11.29	2.14	0.102	2.711
	误差 Error	105.54	20	5.28			
	总计 Total	217.74	29				

2.4 饵料密度对栉孔扇贝滤食率和同化率的影响

随藻类密度的增加,栉孔扇贝的滤食率增加而同化率减小(图 3, 4), 分别符合下列关系式: $R_f =$

$4.78C^{0.366}$ ($R^2 = 0.97, P < 0.05$) 和 $E_a = 47.65C^{-0.309}$ ($R^2 = 0.91, P < 0.05$)。

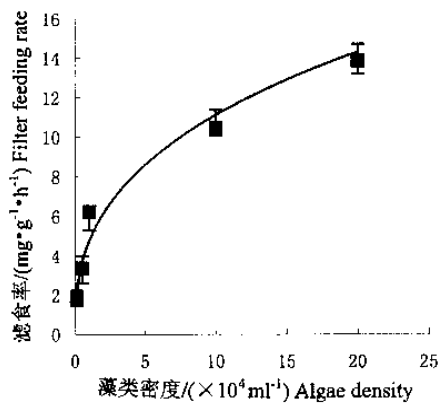


图 3 栉孔扇贝滤食率与藻类密度的关系

Fig.3 Relationship between algae density and filter feeding rate of *C. farreri*

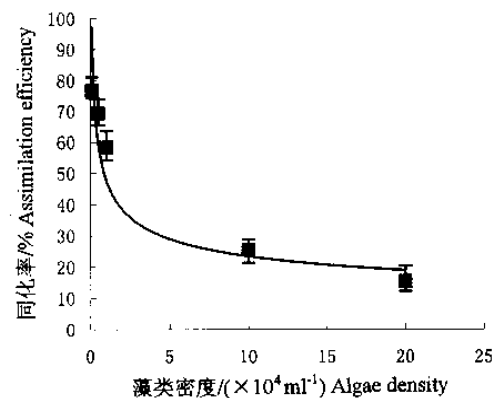


图 4 栉孔扇贝同化率与藻类密度的关系

Fig.4 Relationship between algae density and E_a of *C. farreri*

2.5 饵料质量对栉孔扇贝同化率的影响

根据实验结果分析,栉孔扇贝的同化率随着饵料中有机物含量(POM/TPM)的增加而增加(图 5), 两者间的回归方程为: $E_a = 51.68 \ln X - 112.38$ ($R^2 = 0.97, P < 0.05$), 式中: X —饵料中有机物质量分数(%)。

3 讨论

温度、饵料密度和体重是影响贝类滤食率的重要因素。许多研究表明,滤食性贝类的滤食率受温度的影响十分显著^[2,3]。在适宜的温度范围内,随温度的升高而增大,达到一定温度时滤食率也达到最大值,其后温度继续升高滤食率反而下降^[2]。本

实验栉孔扇贝的滤食率也有相同的规律。Jørgensen C B^[3]指出, 温度升高贝类的滤食率增大, 一方面是因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, 从而增加了滤食率。另一方面, 水温升高海水的粘度降低, 使滤水率增大, 提高了滤食率。当温度超过其适温范围时, 其滤食器官的活力降低, 导致滤食率下降。贝类的滤食率与体重呈幂函数关系: $R_i = aW^b$, 指数 b 值一般在 0.4~0.6 的范围内^[4]。本实验的 b 值为 0.378~0.442, 平均 0.405, 属于正常范围。Bayne^[5]认为, 在饵料密度下限之内, 贝类的滤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, 滤食率达到最大值, 其后开始缓慢下降。Barillé^[6]认为这主要是由于在阈值以上时, 贝类靠调节滤水率和产生假粪来调节滤食率。

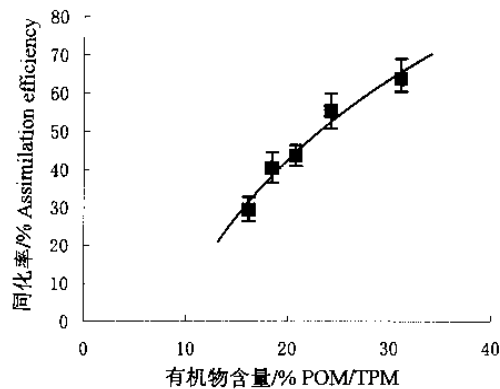


图 5 栉孔扇贝同化率与饵料质量的关系

Fig.5 Relationship between food quantity and E_a of *C. farreri*

在许多双壳贝类的研究中发现, 同化率受本身大小和温度的影响不明显^[7~11], 而更程度地依赖于周围环境中的食物^[12~14]。Hawkins^[13]研究发现贝类的同化率不仅与食物中有机物(POM)的含量有关, 而且与食物在消化道中通过的时间有关。Bayne^[12]在研究贻贝时提出了同化率与食物中有机物含量的关系式: $E_a = a_1[1 - e^{-a_2(X - a_3)}]$, 式中 X —食物中有机物的含量; a_1 —最大同化率; a_2 —同化滤随饵料质量增加的速度; a_3 —同化率为零时的饵料质量。Peter^[15]在扇贝研究中得出相同的模式。本实验的结果显示栉孔扇贝的同化率与饵料中有机物含量有如下关系: $E_a = 51.68 \ln X - 112.38$ ($R^2 = 0.97$, $P < 0.05$), 与上述模式有一定的差异, 主要是

由于实验中设置的有机物含量的梯度差异较窄造成的, 本实验的有机物含量的范围设置只有 16.4%~31.2%。

贝类的同化率与环境中食物的密度有关。Jespersen^[14]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下降。Navarro^[16]认为, 紫贻贝的同化率与滤食量(I)的关系为: $E_a = e^{-bI}$ 。可以看出, 随贝类滤食量增加, 其同化率呈指数减少。本实验栉孔扇贝的同化率和饵料密度呈负相关关系, 其回归方程为: $E_a = 47.65C^{-0.309}$ ($R^2 = 0.91$, $P < 0.05$)。Sprung^[17]认为这种现象是因为同化率与不同食物密度条件下贝类的消化能力有关。Jespersen^[14]指出, 在食物低密度的条件下, 食物在贝类体内可以得到充分的消化, 随着浓度的增加, 同化率下降。

参考文献:

- [1] Conover R J. Assimilation of organic matter by zooplankton[J]. Limnol Oceanogr, 1966, 11:338-354.
- [2] Griffiths C L, Griffiths R J. Animal energetics[M]. New York: Academic Press, 1987. 2-88.
- [3] Jørgensen C B. Bivalve filter feeding revisited[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1996, 142:287-302.
- [4] Powell E N, Stanton R J. Estimating biomass and energy flow of molluscs in palaeocommunities[J]. Palaeontology, 1985, 28:1-34.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 匡世煥, 孙惠玲, 李 锋, 等. 栉孔扇贝生殖前后的滤食和生长[J]. 海洋水产研究, 1996a, 17(2):80-86.
- [8] 匡世煥, 孙惠玲, 李 锋, 等. 野生和养殖牡蛎种群比较摄食生理研究[J]. 海洋水产研究, 1996b, 17(2):87-94.
- [9] Navarro E, Iglesias J I P, Ortega M M. Nature sediment as a food source for the cockle *Cerastoderma edule*: effects of variable particle concentration on feeding, digestion and the scope for growth[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1992, 156:69-87.
- [10] Winter J E. über den einfluß der nahrungskon-zentration und anderer faktoren auf filtrierleistung und nahrungsausnutzung der muscheln *Arctica islandica* and *Modiolus modiolus* [J]. Mar Biol, 1969, 4:87-135.
- [11] Buxton C D. Response surface analysis of the combine effects of

- exposure and acclimation temperature on filtration, oxygen consumption and scope for growth in the oyster[J]. *Ostrea edulis*, Mar Ecol Prog Ser, 1981, 6: 73 - 82.
- [12] Bayne B L, Hawkins A J S, Navarro E, et al. Feeding and digestion by the mussel *Mytilus edulis* L. (Bivalvia; Mollusca) in mixtures of silt and algal cells at low concentration[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1987, 111: 1 - 22.
- [13] Hawkins A J S, Bayne B L. Seasonal variation in the balance between physiology mechanisms of feeding and digestion in *Mytilus edulis*[J]. *Mar Biol*, 1984, 82: 233 - 240.
- [14] Jespersen H, Olsen K. Bioenergetics in veliger larvae of *Mytilus edulis* L.[J]. *Ophelia*, 1982, 21(1): 101 - 113.
- [15] Peter J. Relationship between food quantity and quality and absorption efficiency in sea scallop *Placopecten magellanicus*[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1995, 189: 123 - 142.
- [16] Navarro E, Iglesias J I P, Perez Camacho A, et al. The effect of diets of phytoplankton and suspended bottom material on feeding and absorption of raft mussels (*Mytilus galloprovincialis* L.) [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1996, 198: 175 - 189.
- [17] Sprung M. Physiological energetics of mussel larvae (*Mytilus edulis*) IV[J]. *Efficiency Mar Ecol Prog Ser*, 1984d, 18: 179 - 186.

Filter feeding rate and assimilation efficiency of scallop, *Chlamys farreri*

WANG Jun, JIANG Zu-hui, TANG Qi-sheng

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

Abstract: Using laboratory ecological methods, the filter feeding rate and assimilation efficiency of *Chlamys farreri* were studied at static experiment from April to June 1999. The scallops were divided into 6 groups with shell length at about 27.47, 35.08, 45.97, 54.43, 63.95 and 72.02 mm, respectively, and *Chlorella* spp. was used as diet at the density gradients of 0.1×10^4 , 0.5×10^4 , 1.0×10^4 , 5.0×10^4 , 10.0×10^4 and $20.0 \times 10^4 \text{ ml}^{-1}$. The gradient water temperatures were designed at 8, 13, 18, 23 and 28°C, each temperature kept for 3 d. The results show that the filter feeding rate of *C. farreri* are positively correlated with water temperature and body weight under appropriate temperature conditions. The filter feeding rate ranges from 1.07 to 11.66 mg/(ind·h⁻¹), and the filter feeding rate reaches its peak at 23°C. The assimilation efficiency decreases while filter feeding rate increases with algal concentration increasing. No obvious relations are found between water temperature, body weight and assimilation efficiency of *C. farreri*.

Key words: *Chlamys farreri*; filter feeding rate; assimilation efficiency

快 报

热烈祝贺中国水产科学研究院淡水渔业研究中心研究员、《中国水产科学》编委会委员夏德全教授于 2001 年 12 月当选为中国工程院院士。