

海湾扇贝和太平洋牡蛎的食物选择性 及滤除率的实验研究^{*}

王芳 董双林 张硕 王如才

(青岛海洋大学水产学院 青岛 266003)

提要 于1996年8—12月,分别从青岛海洋大学太平角实验基地和胶南市水产养殖研究所采集海湾扇贝和太平洋牡蛎,采用室内实验的方法,比较研究了不同规格的两种贝类对4种不同大小藻类的选择性及水温对其滤除率的影响。结果表明,海湾扇贝和太平洋牡蛎的小贝的摄食率随藻类规格的增大而增加;而大贝则表现出明显的差异,海湾扇贝对中等规格($\Phi = 5.55\text{--}5.79\mu\text{m}$)的藻类、太平洋牡蛎对小规格($\Phi = 4.35\mu\text{m}$)的藻类具有较高的选择性,表明相同条件下两种贝类对海洋浮游植物群落结构产生不同的影响。在水温对滤除率的影响实验中,当水温从20℃升至26℃时,小贝和成贝的滤除率均随水温的升高而增加;当水温从26℃升至29℃时,海湾扇贝的滤除率略有增加,而太平洋牡蛎的滤除率则下降。

关键词 海湾扇贝 太平洋牡蛎 藻类 食物选择性 水温 滤除率

学科分类号 S968.3

海湾扇贝和太平洋牡蛎均为中国北方海区大规模养殖的滤食性经济贝类,在虾池混养中已形成规模。关于某些贝类的摄食机制和食物选择性,国外已有一些报道(Wisely *et al*, 1978; Riisgard *et al*, 1978; Riisgard, 1988; Palmer *et al*, 1980; Fritz *et al*, 1984; Shumway *et al*, 1985; Baldwin *et al*, 1991; Ward *et al*, 1993),而有关海湾扇贝和太平洋牡蛎的研究报道较少。本文研究了不同规格的海湾扇贝和太平洋牡蛎对不同大小藻类的选择性及水温对这两种贝类滤除率的影响,以期了解它们对藻类大小的选择性,准确评估其在虾池混养中的作用,为研究其摄食机制以及对海洋浮游植物群落结构的影响提供资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

海湾扇贝(*Argopecten irradians*)取自青岛海洋大学太平角实验基地,太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)取自胶南市水产研究所,采样时间为1996年8—12月。依据贝类的不同生长时期,采回后除去其表面附着物,放入玻璃钢水槽内暂养,每天定时投喂适量的单胞藻,定时换水。实验前一天取出后用过滤海水暂养,备用。

^{*} 国家杰出青年科学基金资助项目,39725023号;国家自然科学基金资助项目,39570567号、39430150号。王芳,女,出生于1966年10月,高级工程师,E-mail: lids@mail.ouqd.edu.cn

收稿日期:1998-01-08,收修改稿日期:1998-08-05

在水温对滤除率的影响实验中,每天升温 1℃,至达到实验所需的温度。升温期间一切管理同上。

实验用海水为脱脂棉过滤海水,盐度为 28—30。

1.2 实验方法

食物选择性实验在 50cm × 35cm × 25cm 水族箱内进行,设 4 个重复,外设 1 空白对照组(不加贝,观察藻类的变动情况)。水族箱内充气,既保证有充足的溶氧,又使藻类在水中悬浮均匀。选用 4 种不同大小的藻为饵料,见表 1。

表1 实验所用的藻类
Tab.1 The experimental algae

藻 种	大小(μm)	相当的球体直径(μm)
小球藻 <i>Chlorella</i> sp.	4.35	4.35
牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> , Lemmerman	长7.51, 宽5.08	5.55
新月菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i> (Ehrenb)	长12.3, 宽3.73	5.79
塔胞藻 <i>Pyramidomonas</i> sp.	长13.4, 宽10.8	11.6

将以上 4 种藻按等密度混合后投喂贝类,实验时间根据贝类的规格、实验藻类密度、实验贝的个数不同,持续 1—2h。

实验由 6 个独立实验完成,每种贝各实验 3 种规格,水温接近采样时的野外实际温度。每个实验的设计如下:

第 1、2 实验 实验小规格的海湾扇贝、太平洋牡蛎对不同大小藻类的选择性(两种贝分别实验)。实验水温为 23℃,实验藻类密度为 1×10^6 个 / L,实验贝的规格为:海湾扇贝壳高 × 壳长 = (14 - 16) × (14 - 15)mm, $W_{\text{软}} = (0.133 \pm 0.014)$ g;太平洋牡蛎壳长为 16—25mm, $W_{\text{软}} = (0.071 \pm 0.010)$ g,实验贝的数量为每箱内 4 只。

第 3、4 实验 实验中规格的海湾扇贝、太平洋牡蛎对不同大小藻类的选择性(两种贝分别实验)。实验水温为 19.5℃,实验藻类密度为 5×10^6 个 / L,实验贝的规格为:海湾扇贝壳高 × 壳长 = 50 - 51 × 50 - 53mm, $W_{\text{软}} = (5.711 \pm 0.737)$ g;太平洋牡蛎壳长为 65—70mm, $W_{\text{软}} = (3.580 \pm 1.081)$ g,实验贝的数量为每箱内 1 只。

第 5、6 实验 对大规模的海湾扇贝、太平洋牡蛎对不同大小藻类的选择性进行实验(两种贝分别实验)。实验水温为 15℃,实验藻类密度为 5×10^6 个 / L,实验贝的规格为:海湾扇贝壳高 × 壳长 = (59 - 62) × (61 - 63)mm, $W_{\text{软}} = (10.601 \pm 1.360)$ g;太平洋牡蛎壳长 = (77 - 90)mm, $W_{\text{软}} = (6.397 \pm 0.087)$ g,实验贝的数量为每箱内 1 只。

实验结束后,取样、固定、浓缩、定量,观察各种藻密度的变化,计算摄食率。同时,将贝取出,测量贝的壳高、壳宽或壳长,用解剖刀把贝壳打开,取软体部,用吸水纸吸去软体部表面的水份,用 MP-120 型电子天平称量,精确至 0.001g。

$$\text{摄食率} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

式中, C_0 为藻类的起始密度, C_t 为藻类的结束密度。

水温对两种贝类滤除率影响的实验方法同上。实验贝的规格为上述第 1、2、3、4 实验中贝的规格。实验温度为 4 个梯度 20℃、23℃、26℃、29℃。实验的藻类密度:小贝为

2.5×10^6 只 / L, 中贝为 5×10^6 只 / L。每箱内放贝的个数为小贝 4 只, 大贝 1 只。实验结束后取样、固定、浓缩、定量, 根据始末藻类密度的变化计算滤除率, 滤除率 (FR) 用下式计算:

$$\text{滤除率} = \frac{\ln C_t - \ln C_0}{t} \times \frac{V}{N}$$

式中, C_0 为起始藻类密度, C_t 为结束时藻类密度, t 为实验持续时间, V 为实验水的体积, N 为实验贝的个数。

2 结果

2.1 海湾扇贝和太平洋牡蛎对食物颗粒的选择性

海湾扇贝和太平洋牡蛎对 4 种不同大小藻类的摄食率见表 2。

表2 海湾扇贝和太平洋牡蛎对4种不同规格藻类的摄食率(%)

Tab.2 The feeding rate (%) of *A. irradians* and *C. gigas* for four sizes of algae

贝类规格 (μm)	藻类规格 (ESD) (μm)				
	4.35	5.55	5.79	11.6	
海湾扇贝	小贝	4.21±0.50	7.24±1.23	11.9±0.08	11.0±0.34
	中贝	14.9±1.50	31.6±0.81	35.1±3.40	25.5±1.36
	大贝	23.3±1.66	32.5±1.29	28.8±1.66	17.7±1.50
太平洋牡蛎	小贝	0.81±0.03	1.98±0.56	3.04±0.03	3.15±0.09
	中贝	10.1±1.87	31.3±0.80	12.5±1.94	11.1±1.62
	大贝	97.3±2.50	79.3±3.62	67.7±9.57	35.6±3.40

由表 2 可知, 海湾扇贝无论规格大小都表现出对 $\Phi = 5.5\mu\text{m}$ 或 $5.8\mu\text{m}$ 藻类的高摄食率, 而对于 $\Phi = 4.4\mu\text{m}$ 的藻类也都可有效地摄取。不同规格的太平洋牡蛎对藻类规格具有明显不同的选择性。小规格太平洋牡蛎尽管对各种藻类的摄食率均较低, 但对较大规格藻类的摄食率还是较高; 中规格牡蛎对中规格藻类摄食率较高; 而大规格牡蛎则对小规格藻类摄食率较高。

2.2 水温对海湾扇贝和太平洋牡蛎滤除率的影响

水温与海湾扇贝、太平洋牡蛎滤除率的关系见表 3。

表3 水温对海湾扇贝和太平洋牡蛎小贝和中贝滤除率[ml/(g·min)]的影响

Tab.3 The effects of temperature on the filter-feeding rates [ml/(g·min)] of small and middle sizes of *A. irradians* and *C. gigas*

贝类规格	水温 (°C)				
	20	23	26	29	
小贝	海湾扇贝	71.8±23.4	99.8±12.1	128.9±27.3	86.6±24.7
	太平洋牡蛎	50.3±6.14	119.6±25.8	159.5±21.3	106.9±11.8
中贝	海湾扇贝	3.81±0.42	8.94±1.39	12.9±4.54	14.8±5.80
	太平洋牡蛎	11.6±0.20	12.7±0.50	21.8±0.88	18.0±0.81

由表 3 可知, 在 20—26°C 温度范围内, 随水温增加, 两种贝都表现出滤除率增大, 当水温从 26°C 继续升至 29°C 时, 海湾扇贝的滤除率略有增加, 而太平洋牡蛎的滤除率则下降。在实验的温度范围内, 两种贝的滤除率与水温的关系可用下式表示:

海湾扇贝:

$$\text{小贝 } \ln FR = 0.0483T + 3.319 \quad r = 0.6 \quad n = 16 \quad P < 0.01$$

$$\text{中贝 } \ln FR = 0.143T - 1.347 \quad r = 0.85 \quad n = 12 \quad P < 0.01$$

太平洋牡蛎:

$$\text{小贝 } \ln FR = 0.081T + 2.626 \quad r = 0.64 \quad n = 16 \quad P < 0.01$$

$$\text{中贝 } \ln FR = 0.062T + 1.227 \quad r = 0.75 \quad n = 12 \quad P < 0.01$$

经检验,相关均达极显著水平。

3 讨论

3.1 海湾扇贝和太平洋牡蛎对食物粒径选择性的比较

由本实验结果可知,海湾扇贝和太平洋牡蛎都可有效地滤食直径为 $4.4\mu\text{m}$ 大小的小球藻,这与其他学者对另外一些贝类的研究结果相似 (Wisely *et al*, 1978; Riisgard *et al*, 1978; Riisgard, 1988; Palmer *et al*, 1980; Fritz *et al*, 1984)。两种贝类的小规格个体对食粒的选择性基本相同,即摄食率随着食粒规格的增大而增大。但它们的中、大规格个体不仅与小规格个体的食粒选择性有差异,而且这两种贝类之间也存在较大的差异。海湾扇贝的中、大规格个体变得对中等规格 ($5.5\text{—}5.8\mu\text{m}$) 的藻类摄食率较高。中等规格的太平洋牡蛎对中等规格 ($5.6\mu\text{m}$) 的藻类摄食率高,而大规格的太平洋牡蛎对小规格的藻类 ($4.4\mu\text{m}$) 的摄食率最高。因此可以预见,在池塘中混养或近海养殖的不同规格的该两种贝类必然对养殖水域的浮游藻类群落结构产生不同的影响。

3.2 海湾扇贝和太平洋牡蛎的摄食机制

滤食性贝类主要以鳃丝和其上着生的纤毛来滤取食物。形态学观察研究 (王芳等, 1998) 表明,大规格的海湾扇贝和太平洋牡蛎鳃的外侧都布满顶纤毛和侧纤毛,且这些纤毛间的距离都不足 $1\mu\text{m}$,这就决定了它们可以滤取小至 $1\mu\text{m}$ 的藻类。本实验所用的 $4.4\mu\text{m}$ 的小球藻必然也可被它们有效地滤食。

小规格的海湾扇贝和太平洋牡蛎很可能由于滤食器官未发育完善、较稀疏,导致对较小规格藻类滤取效率 [即将所过滤水中的食粒滤除的百分数 (董双林等, 1995)] 低,因而表现出摄食率随藻类规格的增大而增加。该两种贝类大规格个体对食粒的选择性不同于小规格个体。

如果两种贝类仅靠鳃丝和纤毛被动、机械地滤取食物,势必会出现随藻类规格的增大,从鳃上漏掉的机会就会减少,贝类对它们的滤食率也会提高。而事实上两种贝类的大贝对藻类规格的滤食谱都未出现上述情况 (表 2),表明这两种贝一定存在着机械被动滤食以外的取食机制。

根据 Ward 等 (1993) 的研究,滤食性贝类的取食有两种途径:一是食物随水流通过主鳃丝直接进入鳃的背缘,沿背部纤毛的摆动进入唇瓣,亦称水动力作用 (Hydrodynamic action);二是食物流经鳃的表面,在整个鳃系统的作用下 (纤毛摆动、粘液细胞的作用等) 进入鳃的腹缘,沿腹部食物运送沟进入唇瓣,亦称粘液纤毛作用 (Mucociliary action)。贝类以何种途径为主滤食与饵料浓度和贝本身的特点等有关。本研究显示,在本实验的浓度范围内,海湾扇贝对比重大但规格中等的硅藻摄食率较高,表明其很可能在摄食过程中以水动力作用的摄食机制占主导地位。而太平洋牡蛎的摄食机制以粘液纤毛作用为

主,可有效运输较小规格的藻类,因而表现出对较小规格藻类的较高选择性。

3.3 水温对海湾扇贝和太平洋牡蛎滤除率的影响

从实验结果看,海湾扇贝和太平洋牡蛎都表现出在适宜的温度范围内,滤除率随温度的升高而增加,温度如超过一定的范围,滤除率随水温再升高而下降。这可能是因为适宜的范围内,温度升高使贝类的代谢加强、滤食加快、滤除率增加;当水温超过一定范围时,贝类则处于不正常的生理状态,特别是小规格贝类表现更明显,导致滤除率下降。有些贝类也表现出类似的特性(Wilde, 1975; Riisgard *et al*, 1990; Aldridge *et al*, 1995; Jin *et al*, 1996; 高绪生等, 1990)。从表 3 中还可看出,在同一水温下,无论小贝或大贝都表现出太平洋牡蛎的单位体重滤除率大于海湾扇贝;而在同一种贝类中,小贝的单位体重滤除率大于大贝。

由表 3 可知,温度对两种贝滤除率的影响程度不同。对于小贝来说,太平洋牡蛎高于海湾扇贝($Slope_C = 0.081$; $Slope_A = 0.048$),前者约为后者的 1.7 倍。对于大贝来说,则是海湾扇贝高于太平洋牡蛎($Slope_C = 0.062$; $Slope_A = 0.143$),后者约为前者的 2.3 倍。可见,太平洋牡蛎的小贝在低温时对升温的敏感性高于海湾扇贝,而大贝对升温的敏感性低于海湾扇贝。至于同一种贝类的小贝和大贝之间的差异可能是由种本身的生理特点决定的。

参 考 文 献

- 王 芳,董双林,范瑞青等,1998. 四种滤食性贝类滤食器官鳃的扫描电镜观察. 青岛海洋大学学报, 28(2):240—244
- 高绪生,刘永峰,刘永耀等,1990. 温度对皱纹盘鲍稚鲍摄食与生长的影响. 海洋与湖沼, 21(1):20—26
- 董双林,李德尚, 1995. 鲢、鳙鱼摄食能力的比较研究. 海洋与湖沼, 26(1):53—57
- Aldridge D W, Payne B S, Miller A C, 1995. Oxygen consumption, nitrogenous excretion, and filtration rates of *Dreissena polymorpha* at acclimation temperatures between 20 and 32°C. *Can J Fish Aquat Sci*, 52:1761
- Baldwin B S, Newell R E, 1991. Ommivorous feeding by planktrophic larvae of the eastern oyster *Crassostrea virginica*. *Mar Ecol Prog Ser*, 78(3):285—301
- Fritz L W, Lutz R A, Foote M A *et al*, 1984. Selective feeding and grazing rates of oyster (*Crassostrea virginica*) larvae on natural phytoplankton assemblages. *Estuaries*, 7(4b):513—518
- Jin Lei, Barry S Payne, Shiao Y Wang, 1996. Filtration dynamics of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. *Can J Fish Aquat Sci*, 53:29—37
- Palmer R E, Williams L G, 1980. Effect of particle concentration on filtration efficiency of the bay scallop *Argopecten irradians* and the oyster *Crassostrea virginica*. *Ophelia*, 19(2):163—174
- Riisgard H U, Mohlenberg F, 1978. Efficiency of particle retention in 13 species of suspension feeding bivalves. *Ophelia*, 17(2):239—246
- Riisgard H U, 1988. Efficiency of particle retention and filtration rate in 6 species of Northeast American bivalves. *Mar Ecol Prog Ser*, 45:217—223
- Riisgard H U, Ivarsson N M, 1990. The crown-filament pump of the suspension-feeding polychaete *Sabella penicillus* filtration, effects of temperature, and energy cost. *Mar Ecol Prog Ser*, 62:249—257
- Shumway S E, Cucul T L, Newell R C *et al*, 1985. Particle selection, ingestion, and absorption in filter-feeding bivalves. *J Exp Mar Biol Ecol*, 91:77—92
- Ward J E, MacDonald B A, Thompson R J, 1993. Mechanisms of suspension feeding in bivalves: Resolution of current controversies by means of endoscopy. *Limnol Oceanogr*, 38(2):265—272

Wilde D, 1975. Influence of temperature on behavior, energy metabolism and growth of *Macoma balthica* (L.). Mar Biol, 9:239—256

Wisely B, Reid B L, 1978. Experimental feeding of sydney oysters (*Crassostrea commercialis* = *Saccostrea cucullata*). I. Optimum particle sizes and concentrations. Aquaculture, 15: 319—331

EXPERIMENTAL STUDIES ON FEEDING SELECTIVITY AND THE FILTER-FEEDING RATE OF *ARGOPECTEN IRRADIANS* AND *CRASSOSTREA GIGAS*

WANG Fang, DONG Shuang-lin, ZHANG Shuo, WANG Ru-cai

(Fishery College, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003)

Abstract For research of bivalve's effect on marine plankton community structure, we conducted Aug.—Dec. 1996 experiment to study the two bivalves' feeding selectivity and their filter-feeding rates. For observing the feeding selectivity, *Chlorella* sp., *Chaetoceros muelleri*, *Lermmerman*, *Nitzschia closterium* (Ehrenb) and *Pyramidomonas* sp. were used; for filter-feeding experiment, the alga used was *Nitzschia closterium* (Ehrenb), and the experimental temperatures were 20, 23, 26, 29°C. Results show that the feeding selectivity of small-sized bay scallop and the oyster increase with algae size: when the algae increased from 4.35 μ m to 11.6 μ m, the feeding rate of bay scallop increased from 4.21% to 11.0% and that of the Pacific oyster from 0.81% to 3.15%. But large-sized bay scallop had the highest feeding rate when the algae was middle sized ($\Phi = 4.35\mu\text{m}$). So the two bivalves have different effects on marine phytoplankton community structure.

Key words *Argopecten irradians* *Crassostrea gigas* Algae Feeding selectivity Water temperature Filter-feeding rate

Subject classification number S968.3