

文章编号: 1004-7271(2007)02-0151-06

温度、体重和饵料密度对河蚬滤食率 与同化率的影响

徐钢春¹, 顾若波¹, 闻海波¹, 华丹¹, 聂川², 孙连锋²

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心农业部水生动物遗传育种和
养殖生物学重点开放实验室, 江苏 无锡 214081;
2. 南京农业大学渔业学院, 江苏 无锡 214081)

摘要:在室内实验条件下,研究了温度、体重和饵料密度对河蚬滤食率和同化率的影响,此外还进行了饵料质量(POM/TPM)对河蚬同化率影响的实验。实验结果表明,在实验温度(10~30℃)条件下,河蚬的滤食率(IR)与河蚬软体部干重(W)呈明显正相关幂指数关系: $IR = aW^b$, 其中b值的范围是0.4227~0.5888,平均值为0.4842,温度的上升使得河蚬的滤食率明显增大,除温度对小规格[体重为(0.0764±0.0038)g]的同化率有显著影响外,温度和体重对同化率的影响均不显著;随着藻类密度的增加,河蚬的滤食率增加而同化率减小,两者分别符合下列关系式: $IR = 65.1204 C^{0.3260}$ ($R^2 = 0.900, P < 0.05$) 和 $AE = 55.2865 C^{-0.1513}$ ($R^2 = 0.925, P < 0.05$);河蚬的同化率随着饵料中有机物含量(POM/TPM)的增加而增加,两者间的回归方程为: $AE = 85.1120 + 23.3375 \ln X$ ($R^2 = 0.958, P < 0.05$)。

关键词:河蚬;温度;体重;饵料密度;饵料质量;滤食率;同化率

中图分类号: S 968.31 文献标识码: A

Effect of temperature, body weight, food density on filter feeding rate and assimilation efficiency of *Corbicula fluminea*

XU Gang-chun¹, GU Ruo-bo¹, WEN Hai-bo¹, HUA Dan¹, NIE Chuan², SUN Lian-feng²

(1. Key Open Laboratory for Genetic Breeding of Aquatic Animals and Aquaculture Biology, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;
2. College of Fisheries, Nanjing Agriculture University, Wuxi 214081, China)

Abstract: The effects of temperature, body weight and food density on filter feeding rate (IR) and assimilation efficiency (AE) of *Corbicula fluminea* were studied under artificial conditions in laboratory. The effect of food quality (POM/TPM) on assimilation efficiency was measured additionally. The results showed that under controlled ambient temperature (10–30 °C), the relationship between filter feeding rate (IR) and dry weight of soft tissue (W) can be represented by the allometric equation $IR = aW^b$, in which b ranged from 0.4227 to 0.5888 with a mean value of 0.4842. Meanwhile IR increased markedly with the temperature. Significant correlation was only observed between temperature and AE in small size *Corbicula fluminea*

收稿日期: 2006-04-04

基金项目: 国家科技部基础性工作专项—淡水软体动物重要品种种质资源收集整理保存资助(2002DEB10052)

作者简介: 徐钢春(1979–), 男, 福建永定人, 研究实习生, 主要从事淡水贝类方面的研究。E-mail: xugc@ffrc.cn

通讯作者: 华丹, E-mail: huad@ffrc.cn

$[(0.0764 \pm 0.0038)g]$, while no obvious effect on AE was found in temperature and body weight respectively. With the increment of algae concentration, AE decreased while IR increased, which could be described as the equation $IR = 65.1204 C^{0.3260}$ ($R^2 = 0.900$, $P < 0.05$) and $AE = 55.2865 C^{-0.1513}$ ($R^2 = 0.925$, $P < 0.05$) respectively. In addition, AE increased markedly with increment of organic matter content of food (POM/TPM), which could be described as the logarithmic equation $AE = 85.1120 + 23.3375 \ln X$ ($R^2 = 0.958$, $P < 0.05$).

Key words: *Corbicula fluminea* (Müller); temperature; body weight; food density; food quantity; filter feeding rate; assimilation efficiency

河蚶 [*Corbicula fluminea* (Müller)] 是出口日本和韩国的重要经济淡水贝类, 随着近年来出口量的增大和渔民的肆意的捕捞, 自然资源急剧下降, 出口规格也日趋变小, 进行河蚶的人工增殖, 恢复自然资源已迫在眉睫。滤食性贝类通过滤食作用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^[1,2], 深入开展河蚶的生理生态学研究, 掌握其摄食生长及其与生态环境间的相互关系, 对生态环境的保护和养殖业的可持续发展具有重要意义。目前国内外主要是对海水贝类的滤食率和同化率的报道未见有对淡水贝类的研究^[2-6], 本实验研究探讨了河蚶的同化率与水体中有机物含量 (POM/TPM) 的关系, 研究了温度、体重和藻类浓度对其滤食率和同化率的影响, 为河蚶生理生态学研究提供了理论依据, 为合理评估水域的生态容纳量提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验河蚶采集于太湖无锡贡湖段。选取腹缘柔软且反应敏捷的河蚶, 用刷子小心地洗去其表面的污物, 在水族箱中暂养 2 周, 期间充气, 每日投喂人工培育的四尾栅藻 (*Scenedesmus quadricauda*) 及换水 1 次, 水温为 20 °C 左右, pH 为 8.1, 实验前 1 d 移入经脱脂棉过滤并充分曝气的自来水中, 停止投饵, 暂养备用。

1.2 实验设计及方法

1.2.1 温度、饵料密度和饵料质量梯度的设定

实验在 30 cm × 20 cm × 20 cm 玻璃水槽中进行, 停喂 24 h 后, 按河蚶个体大小分为 A、B、C 三组 (表 1), 每组设 5 个平行组和 1 个空白对照组 (不放河蚶观察饵料的变化情况)。温度设 10、15、20、25 和 30 °C 5 个梯度, 从 8 °C 开始每日升高 1~2 °C, 达到预定的实验温度后稳定 2 d, 其间分别投喂人工培养的四尾栅藻 (*Scenedesmus quadricauda*)。

饵料密度设 0.1×10^4 、 0.5×10^4 、 1×10^4 、 5×10^4 、 10×10^4 (cells/mL) 5 个密度梯度 (用显微镜细胞计数法统计单胞藻密度), 实验水温为 20 °C, 实验河蚶为 E 组规格河蚶 (表 1)。

表 1 河蚶生物学数据

| Tab. 1 The biology characteristics of <i>Corbicula fluminea</i> | | | | mean ± S. E. |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 实验组 | 壳长 (cm) | 干肉重 (g) | 壳重 (g) | 饱满度 |
| A | 1.737 6 ± 0.028 5 | 0.076 4 ± 0.003 8 | 1.705 1 ± 0.069 8 | 0.030 5 ± 0.001 5 |
| B | 2.238 2 ± 0.048 1 | 0.114 2 ± 0.009 6 | 3.468 9 ± 0.126 1 | 0.033 1 ± 0.003 0 |
| C | 3.113 0 ± 0.045 7 | 0.254 0 ± 0.025 4 | 7.101 5 ± 0.451 7 | 0.036 5 ± 0.004 0 |
| E | 2.345 1 ± 0.052 6 | 0.125 4 ± 0.010 5 | 3.652 3 ± 0.142 6 | 0.034 2 ± 0.003 0 |
| F | 2.332 4 ± 0.045 2 | 0.248 5 ± 0.009 7 | 3.614 2 ± 0.135 2 | 0.034 6 ± 0.002 5 |

不同质量的饵料是通过在水中加入不同体积比的四尾栅藻和湖底淤泥混合而成, 其搭配比例和成分见表 2。实验水温为 20 °C, 实验河蚶为 F 组规格河蚶。淤泥取自采样点, 在实验室经烘干研磨后, 用

孔径为 20 μm 的筛网过滤,然后稀释到与单胞藻相近的颗粒物含量备用。实验持续 2 h,并采用静水充气,保证溶氧充足和饵料在水中悬浮均匀。收集实验期间及实验后 24 h 内河蚬排出的粪便(实验结束后立即把水槽中的实验河蚬放置 1 L 的盛有清水的烧杯中以便收集),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。

1.2.2 测定及计算方法

总颗粒物(TPM)和颗粒态有机物(POM)的测定方法如下:先将 WhatmanGF/C 玻璃纤维滤纸(孔径为 1.2 μm)经过 450 $^{\circ}\text{C}$ 灼烧 6 h,称重(W_0)并标记。用上述 GF/C 玻璃纤维滤纸抽滤一定体积的水样,在 65 $^{\circ}\text{C}$ 条件下烘干 48 h,称重(W_{65})。再在 450 $^{\circ}\text{C}$ 下灼烧 4 h,然后再称重(W_{450}),则: $\text{POM} = W_{65} - W_{450}$, $\text{TPM} = W_{65} - W_0$ 。

滤水率(FR)根据 Coughlan^[7]提出的公式计算: $\text{FR} = \{[\text{Ln}W_0 - \text{Ln}(W_0 \times S) - \text{Ln}W_1] \times V\} / (N \times t)$,式中, W_0 、 W_1 为实验前后水体中 POM 含量(mg/L), V 为实验水体积(mL), S 为对照组 POM 变化系数, $S = (W_{e,o} - W_{e,i}) / W_{e,o}$, N 为实验河蚬样本数, t 为实验持续的时间。

$\text{IR}(\text{滤食率}) = \text{FR} \times C$,式中 C 为食物 POM 浓度(mg/L)。

同化率(AE)根据 Conover^[8]介绍的公式计算: $\text{AE}(\%) = (F - E) / (1 - E) / F$,其中 F 为食物中有机物含量(POM/TPM), E 为粪便中有机物含量(POM/TPM)。

1.2.3 生物学测定

实验结束后用游标卡尺测定河蚬的壳长(mm),然后剖取其软体部和贝壳于 65 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重,用 Sartorius-BS 224S 型精密天平称重(g)。

2 结果与分析

2.1 温度对河蚬滤食率和同化率的影响

如图 1 所示,在实验温度范围,各种规格河蚬的滤食率随温度的升高而逐渐增大,并在 25 $^{\circ}\text{C}$ 时达到最大值,水温继续升高到 30 $^{\circ}\text{C}$ 时,各组滤食率均有明显下降。温度对河蚬滤食率影响的关系可拟合为:

$$\text{A 组: IR} = 207.0630 - 39.1610T + 2.6182T^2 - 0.0486T^3$$

$$(F = 46.67, df = 3, 16, R = 0.897)$$

$$\text{B 组: IR} = 88.8269 - 14.3920T + 1.2708T^2 - 0.0258T^3$$

$$(F = 38.32, df = 3, 16, R = 0.878)$$

$$\text{C 组: IR} = 110.3240 - 17.5050T + 1.5609T^2 - 0.0316T^3$$

$$(F = 110.92, df = 3, 16, R = 0.954)$$

以上的方程,经 F 检验均达显著水平($P < 0.05$)。从拟合的曲线所作的推算来看,A、B、C 组三种规格的河蚬滤水率的极值则分别出现在 26.9、24.6 和 24.7 $^{\circ}\text{C}$ 。

温度对河蚬同化率的影响如图 2 所示,各个实验温度梯度组的同化率波动不大,经方差分析(One-Way ANOVA)显示, $P_{(\text{小规格})} = 0.046 < 0.05$ 、 $P_{(\text{中规格})} = 0.211 > 0.05$ 、 $P_{(\text{大规格})} = 0.349 > 0.05$,其中各

表 2 饵料组成

Tab. 2 Food composition

| 编号 | 单胞藻(%) | 淤泥(%) | POM/TPM |
|----|--------|-------|---------|
| 1 | 100 | 0 | 0.480 0 |
| 2 | 75 | 25 | 0.285 7 |
| 3 | 50 | 50 | 0.160 2 |
| 4 | 25 | 75 | 0.111 9 |
| 5 | 0 | 100 | 0.082 5 |

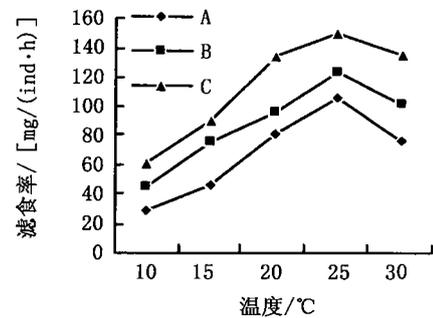


图 1 温度对河蚬滤食率的影响

Fig. 1 Effects of temperature on filter feeding rates of *Corbicula fluminea*

组20℃时略比15℃大。

2.2 体重对河蚬滤食率的影响

实验结果显示(图1),河蚬的个体滤食率随体重的增大而增大,呈正相关幂指数关系: $IR = aW^b$, 回归分析结果见表3。其中b值的范围是0.4227~0.5888,平均值为0.4842。3种规格河蚬的同化率(图2)分别为(72.2233±0.4229)%、(71.2836±0.6118)%和(71.7888±0.5433)%,并且小规格河蚬的同化率较大规格波动范围更大。

2.3 温度和体重对河蚬滤食率和同化率的综合影响

河蚬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(表4),温度和体重对河蚬的影响均极显著($P < 0.01$),且温度的作用略大于体重的影响;温度对河蚬同化率也有显著的影响($P < 0.05$),而体重对其同化率的影响不显著($P > 0.05$)。

表3 河蚬的滤食率与体重的回归分析结果

Tab.3 Regression between filter feeding rate and body weight of *Corbicula fluminea*

| 温度(℃) | 滤食率[mg/(ind·h)] | | |
|-------|-----------------|--------|----------------|
| | a | b | R ² |
| 10 | 141.307 | 0.5888 | 0.869 |
| 15 | 194.073 | 0.5181 | 0.764 |
| 20 | 240.795 | 0.4234 | 0.851 |
| 25 | 287.083 | 0.4227 | 0.922 |
| 30 | 263.97 | 0.4679 | 0.780 |

表4 温度和体重对河蚬滤食率和同化率影响的双因子方差分析

Tab.4 ANOVA of filter feeding rate and assimilation efficiency of *Corbicula fluminea* with body weight and water temperature

| 项目 | 方差来源 | SS | df | MS | F | Sig. |
|-----|-------|------------|----|------------|---------|-------|
| 滤食率 | 温度 | 51 155.260 | 4 | 12 788.815 | 132.111 | 0.000 |
| | 体重 | 22 181.813 | 2 | 11 090.906 | 114.571 | 0.000 |
| | 误差 | 4 356.162 | 45 | 96.804 | | |
| | 总计 | 79 182.637 | | | | |
| 同化率 | 温度 | 69.960 | 4 | 17.490 | 3.699 | 0.011 |
| | 体重 | 9.797 | 2 | 4.898 | 1.036 | 0.363 |
| | 温度×体重 | 44.878 | 8 | 5.610 | 1.186 | 0.328 |
| | 误差 | 212.763 | 45 | 4.728 | | |
| | 总计 | 337.398 | | | | |

2.4 饵料密度对河蚬滤食率和同化率的影响

随着藻类密度的增加,河蚬的滤食率增加而同化率减小(图3和图4),分别符合下列关系式: $IR = 65.1204 C^{0.3260}$ ($R^2 = 0.900, P < 0.05$) 和 $AE = 55.2865 C^{-0.1513}$ ($R^2 = 0.925, P < 0.05$)。

2.5 饵料质量对河蚬同化率的影响

实验结果显示,河蚬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

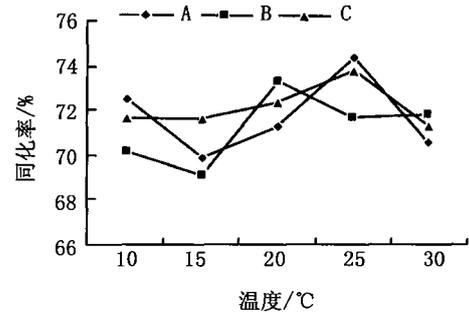


图2 温度对河蚬同化率的影响

Fig.2 Effects of temperature on assimilation efficiency of *Corbicula fluminea*

回归方程为: $AE = 85.1120 + 23.3375 \ln X$ ($R^2 = 0.958, P < 0.05$), 式中: X 为饵料中有机物质量分数。

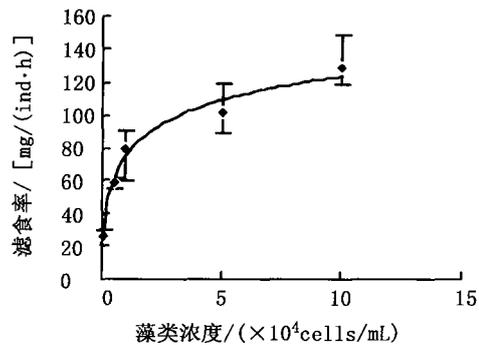


图3 河蚬滤食率与藻类密度的关系

Fig. 3 Relationship between algae density and filter feeding rate of *Corbicula fluminea*

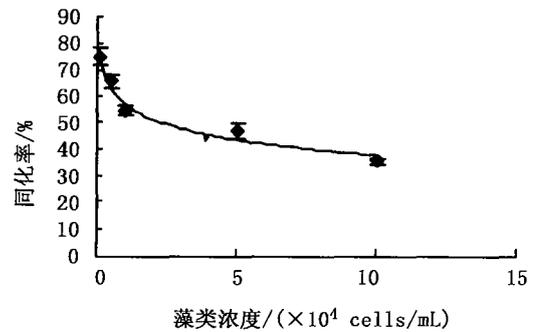


图4 河蚬同化率与藻类密度的关系

Fig. 4 Relationship between algae density and assimilation efficiency of *Corbicula fluminea*

3 讨论

3.1 同化率测定中存在的假粪辨别及粪便收集问题

本实验中同化率的测定采用的是灰重比例法。虽然灰重比例法操作简单、准确性较高, 只要对粪便及时取样即可^[6], 但是在对假粪的辨别和粪便的收集中仍有许多问题亟待解决。河蚬的粪便比较细小, 在水中较难分辨, 容易与沉淀的饵料混在一起, 本实验主要利用粪便形状较大较长通过筛具弃饵料沉淀, 而假粪则主要通过显微镜下观察粪便中颜色是否与饵料颜色一致、是否有膜质物包裹和是否有完整的单胞藻细胞存在来辨别。当然, 即使破碎的单胞藻也可能因为破碎程度的不同而不能准确判断是否被消化过。由于这主观因素的影响, 使报导的同化率有所差异, 无法进行数值间的比较。

3.2 温度、体重和饵料密度对河蚬滤食率的影响

温度和体重是影响贝类滤食率的重要因素。研究表明, 在适宜的温度范围内, 滤食率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, 之后, 温度继续升高滤食率反而下降^[9]。本实验河蚬的滤食率的变化也有相似规律。滤食性贝类的滤食主要靠鳃丝上3种纤毛的运动组合来完成的, 其中侧纤毛的摆动是产生水流的主要动力, Bernard^[10]研究表明其摆动的频率和温度呈正比例关系, 这是导致滤食率变化的主要原因。当温度超过其适温范围时, 其侧纤毛的摆动频率降低, 导致了滤食率的下降。贝类的滤食率与体重呈幂函数关系: $IR = aW^b$, 指数 b 值一般在 0.4 ~ 0.6 的范围内^[11]。本实验的 b 值的范围是 0.4227 ~ 0.5888, 平均值为 0.48418, 属于正常范围。

饵料密度是影响贝类滤食率的关键因子之一。本实验结果表明, 在饵料密度为 $(0.1 \sim 10) \times 10^4$ cells/mL 范围之内时, 河蚬的滤食率与饵料的密度成正比, 二者间呈幂函数关系, $IR = 65.1204C^{0.3260}$, b 值与王俊等^[12]报道的栉孔扇贝的 b 值 0.366 接近。

3.3 温度、体重、饵料密度和饵料质量对河蚬同化率的影响

许多研究表明, 双壳贝类的同化率受本身大小和温度的影响不甚明显^[5, 13-15]。本实验河蚬的同化率的范围在 69.1318% ~ 74.4921%, 波动不大。方差分析也表明, 体重(规格)对河蚬的同化率影响不

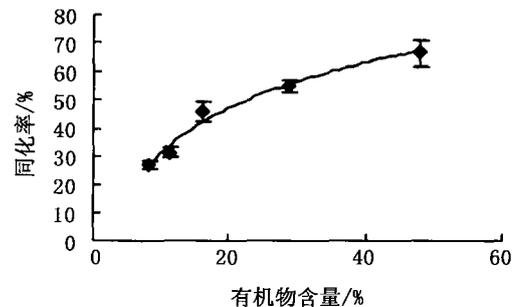


图5 河蚬同化率与饵料质量的关系

Fig. 5 Relationship between food quantity and assimilation efficiency of *Corbicula fluminea*

显著,而实验温度对中规格和大规格的影响也不显著,但对小规格的同化率影响却显著($P < 0.05$)。Beiras 等^[4]研究发现,*Ostrea edulis* 幼苗在 14 °C 时的同化率明显低于 20 °C,但 26 °C 时的同化率与 20 °C 的相近;张涛等^[6]在研究栉孔扇贝时也发现其同化率与温度呈正相关。这是否表明在某个温度、体重范围时,其温度对同化率有显著的影响,这有待于进一步研究证实。

Hawkins 等^[16]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通过的时间有关。河蚬的同化率与饵料中有机物含量有如下关系: $AE = 85.1120 + 23.3375 \ln X$ 。在有机物含量在 0.0825 ~ 0.4800 范围内时,呈正相关。本实验结果与王俊等^[12]对栉孔扇贝的同化率与饵料中有机物含量的回归方程相似。

贝类的同化率还与环境中食物的密度有关。河蚬的同化率与饵料密度呈负相关关系,其回归方程为: $AE = 55.2865 C^{-0.1513}$ 。Jespersen 和 Olsen^[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,在浓度低的条件下,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] Asmus R M, Asmus H. Mussel beds: limiting or promoting phytoplankton[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1991, 148: 215 - 232.
- [2] 王 俊, 姜祖辉, 陈瑞盛. 厚壳贻贝的同化率及其生物沉积作用[J]. 中国水产科学, 2005, 12(2): 150 - 155.
- [3] Bayne B L, Hawkins A J S, Navarro E. Feeding and digestion by the mussel *Mytilus edulis* L. (bivalvia: Mollusca) in mixtures of silt and algal cells at low concentrations[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1987, 111: 1 - 22.
- [4] Beiras R, Camacho A P, Albentosa M. Short-term and long-term alterations in the energy budget of young oyster *Ostrea edulis* L. in response to temperature change[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1995, 186: 221 - 236.
- [5] Navarro J M, Winter J E. Ingestion rate, assimilation efficiency and energy balance in *Mytilus chilensis* in relation to body size and different algal concentration[J]. Mar Biol, 1982, 67: 255 - 266.
- [6] 张 涛, 杨红生, 王 萍, 等. 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[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(3): 266 - 272.
- [7] Coughlan J. The estimation of filtration rate from the clearance of suspensions[J]. Mar Biol, 1969, 2: 356 - 358.
- [8] Conover R J. Assimilation of organic matter by zooplankton[J]. Limnol Oceanogr, 1966, 11: 338 - 354.
- [9] Griffiths C L, Griffiths R J. Animal energetics[M]. New York: Academic Press, 1987: 2 - 88.
- [10] Bernard F R. Nutrition of *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1795): an aspect of estuarine energetics[D]. Ph D Thesis, University of London, 1972, 448.
- [11] Powell E N, Stanton R J. Estimating biomass and energy flow of mollusk in palaeocommunities[J]. Palaeontology, 1985, 28: 1 - 34.
- [12] 王 俊, 姜祖辉, 唐启升. 栉孔扇贝的滤食率与同化率[J]. 中国水产科学, 2001, 8(4): 27 - 31.
- [13] 匡世焕, 方建光, 孙慧玲. 桑沟湾栉孔扇贝不同季节滤水率和同化率的比较[J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(2): 194 - 199.
- [14] Winter J E. A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranchiate bivalves with special reference to artificial aquaculture systems[J]. Aquaculture, 1978, 13: 1 - 33.
- [15] 王 俊, 姜祖辉, 张 波, 等. 太平洋牡蛎同化率的研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 441 - 444.
- [16] Hawkins A J S, Bayne B L. Seasonal variation in the balance between physiological mechanisms of feeding and digestion in *Mytilus edulis*[J]. Mar Biol, 1984, 82: 233 - 240.
- [17] Jespersen H, Olsen K. Bioenergetics in veliger larvae of *Mytilus edulis* L. [J]. Ophelia, 1982, 21(1): 103 - 113.