

沟纹巴非蛤滤水率的研究

王冬梅, 李春强, 周 键, 胡朝松, 黄 姿, 刘志昕, 彭 明

(中国热带农业科学院 热带生物技术研究所, 海南 海口 571101)

摘要: 在实验室条件下, 用流水装置测定了体质量、昼夜节律、藻密度和流速对沟纹巴非蛤 (*Paphia exarata Philippi*) 滤水率的影响。结果表明: (1) 单位体质量滤水率随个体体质量的增加而减小, 二者之间呈负幂函数关系: $R_f' = 0.657w^{-0.6501}$ 。(2) 在 1 个昼夜里, 测定了 00:00、04:00、08:00、12:00、16:00、20:00 共 6 个时间点的滤水率, 滤水率在 00:00 时最小、08:00 时最大, 二者差异显著 ($P < 0.05$), 与其它时刻的滤水率无显著差异。(3) 在一定藻密度范围内, 滤水率随着藻密度的增加而增大, 当藻密度超过 $(4.5 \pm 0.11) \times 10^4$ 个/mL 之后, 滤水率反而降低。(4) 在 3.6~9.0 L/h 的流速范围内, 滤水率随流速的增大而增大, 当流速达到 7.2 L/h 后滤水率增加不显著 ($P > 0.05$)。

关键词: 沟纹巴非蛤 (*Paphia exarata Philippi*); 滤水率; 体质量; 昼夜节律; 流速; 饵料密度

中图分类号: S968.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096 (2008) 09-0042-04

海南省三亚市红沙港是典型的热带海湾, 沿岸高密度养殖对虾, 湾内网箱养鱼, 养殖结构不合理。投喂鱼虾的饵料大部分以养殖废物的形式排入环境中, 养殖自身污染严重, 海水富营养化日趋严重, 为赤潮发生提供了重要的物质基础。利用食物链上不同营养级之间的相互作用, 来净化水质, 控制赤潮, 符合环保、经济的要求, 是目前国内外研究的热点。贝类是水域生态系统中的重要组成, 大量滤食浮游植物, 对浮游植物的下行控制作用和净化水体的效果明显^[1-3]。滤水率是反映贝类获取食物速度的第一个指标, 是研究双壳贝类生理、能量代谢、估算养殖容量、建立一定养殖区域内的养殖模式、探索贝类对水质调控的重要参数。沟纹巴非蛤 (*Paphia exarata Philippi*) 在中国主要产于海南岛的三亚、乐东、东方、陵水, 见于东海和南海, 栖息于数 10 m 深的浅海底^[4], 肉味鲜美, 经济价值较高。未见沟纹巴非蛤滤水率的报道。2007 年 6 月至 2008 年 2 月进行了流速、昼夜节律、藻密度、体质量对沟纹巴非蛤滤水率的影响实验, 目的在于了解其在不同条件下对浮游植物的控制效果, 为估算适宜的养殖容量、合理规划三亚红沙港湾内养殖结构、建立良好的生态模式、改善水质、预防赤潮发生提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 室内滤水试验装置

本试验采用王吉桥等^[5]的试验装置, 只是在分流水箱上增加了 1 个滤食前水样取水口。试验期间贮水槽和分流水箱不间断充气, 使单胞藻分布均匀。分流水箱的溢水口使水位保持恒定, 出水口用调节阀控制流速。实验贝类置于 20 cm×10 cm×10 cm 的试验水槽内。

1.2 实验材料

实验用海水来自海口海区, 经沉淀、消毒、曝气后使用。沟纹巴非蛤采于三亚红沙港, 选取活力好的个体把表面洗刷干净, 在室内水族箱内暂养, 每天投喂足量的中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*), 连续充气。称体质量和测量壳长、壳宽, 按大小分成实验组。

中肋骨条藻种购自海南大学海洋学院, 本实验室用 f/2 配方扩大培养, 实验时用海水稀释至设定的密度范围。

收稿日期: 2008-05-16; 修回日期: 2008-06-26

基金项目: 科技部社会公益基金资助项目 (2004DIB3J074)

作者简介: 王冬梅 (1969-), 女, 河北省清苑县人, 高级讲师, 硕士, 主要从事水生生物学研究, 电话: 13907566899, E-mail: wdmei1969@126.com; 彭明, 通讯作者, E-mail: mpeng2000@yahoo.com

1.3 实验方法

流速对滤水率影响实验设3.6, 5.4, 7.2, 9.0 L/h 4个梯度。海水盐度 26, pH8.5, 藻密度 $(5.40 \pm 0.61) \times 10^4$ 个/mL。

体质量对沟纹巴非蛤滤水率的影响设 3 个梯度: (23.79 ± 3.35) g, (40.04 ± 1.09) g, (59.82 ± 2.77) g, 干肉体质量分别为: (0.67 ± 0.09) g, (1.30 ± 0.04) g, (1.97 ± 0.09) g。藻密度 $(6.93 \pm 0.45) \times 10^4$ 个/mL, 海水盐度 28, pH8.8。

昼夜节律试验在连续 24 h 中, 每 4 h 取 1 次样: 4: 00, 8: 00, 12: 00, 16: 00, 20: 00, 24: 00。海水盐度 25, pH8.5, 藻密度 $(3.07 \pm 0.41) \times 10^3$ 个/mL。

藻密度分为 5 个浓度梯度($\times 10^4$ 个/mL): 0.19 ± 0.02 , 1.05 ± 0.05 , 4.50 ± 0.11 , 6.71 ± 0.35 , 9.05 ± 0.14 。海水盐度 25, pH8.4。

实验时每组设 4 个平行, 每个平行 7 只沟纹巴非蛤, 除流速试验外, 其它实验流速为 7.2 L/h。除昼夜试验外, 其他实验 11: 30 和 14: 30 各取样 1 次, 每次重复取样 3 次。单胞藻数量采用显微镜细胞计数法, 每个样品计数 3 次取平均值。实验结束后, 取出软体部分, 60℃烘干至恒质量, 称量干肉

质量。动物滤水率和单位体质量滤水率计算公式如下:

$$R_f = (D_1 - D_2) \times v / D_1$$

$$R_f' = FR/W$$

式中 R_f 为滤水率 (L/h), R_f' 为单位体质量滤水率 (L/(h·g)), D_1 和 D_2 分别为滤食前、后的藻密度 (个/L), v 为流速 (L/h), W 为动物干肉质量(g)。

1.4 数据分析

实验数据以平均值±标准差表示, 试验结果用 SPSS11.0 软件 ANOVA 进行单因素方差分析和多重比较进行差异显著性分析, 应用 Excel2003 求得回归方程和作图。

2 结果

2.1 不同流速下沟纹巴非蛤的滤水率

流速梯度实验所用沟纹巴非蛤的生物学特征见表 1, 不同流速下沟纹巴非蛤的滤水率见图 1。在 3.6~9.0 L/h 的流速范围内, 沟纹巴非蛤的滤水率随着流速的增大而增大, 流速 7.2 L/h 和 9.0 L/h 的滤水率无显著差异 ($P > 0.05$), 但二者显著高于流速 3.6 L/h 和 5.4 L/h 的实验组 ($P < 0.05$)。

表 1 实验用沟纹巴非蛤的生物学特征

Tab.1 Biological measurements of *Paphia exarata* (Philippi) in experiment

实验组	体质量 (g)	壳长 (cm)	壳宽 (cm)	壳质量 (g)	干肉质量 (g)	饱满度
流速组	29.69±0.76	5.50±0.18	3.60±0.10	16.07±1.67	2.28±0.21	0.14±0.02
昼夜节律组	48.24±3.53	6.53±0.32	4.21±0.18	26.06±3.79	1.85±0.15	0.07±0.003
藻密度组	42.77±1.05	6.26±0.17	4.10±0.18	23.88±1.59	2.04±0.25	0.09±0.001

注: 饱满度=干肉质量/干壳质量

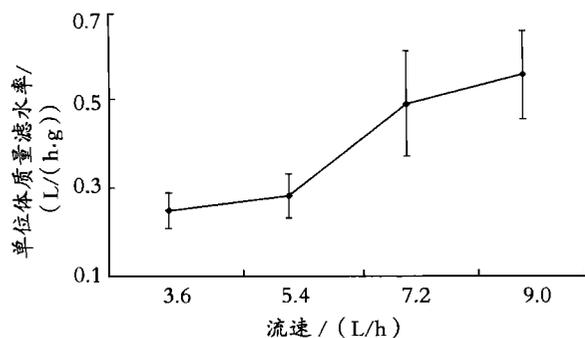


图 1 流速对沟纹巴非蛤滤水率的影响

Fig.1 Filtration rate of *Paphia exarata* Philippi at different flowing velocities

2.2 体质量对沟纹巴非蛤滤水率的影响

3 种不同体质量的沟纹巴非蛤的滤水率见图 2, 随着体质量的增加, 单位体质量滤水率降低, 通过幂回归得到方程: $R_f' = 0.657w^{-0.6501}$ (w 为肉干质量), 推导出滤水率与体组织干质量呈幂函数关系: $R_f = 0.657w^{0.3499}$ 。

2.3 昼夜节律对沟纹巴非蛤滤水率的影响

昼夜节律实验所用的沟纹巴非蛤的生物学特征见表 1, 昼夜 6 个时间点的滤水率见图 3。沟纹巴非蛤的滤水率在 00: 00 (24: 00) 时最低, 为 0.405 L/(h·g), 以后逐渐上升, 在 08: 00 时达到最大值 0.516 L/(h·g), 之后缓慢下降, 到 24: 00 时到达最低点。通过 ANOVA 的 LSD 单因素方差分析和多

重比较, 08:00 与 00:00 的滤水率差异显著 ($P<0.05$), 二者与其它时刻的滤水率无显著差异 ($P>0.05$)。

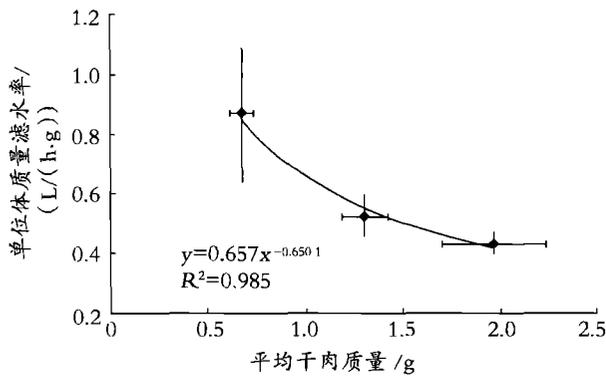


图2 体质量对沟纹巴非蛤滤水率的影响
Fig.2 Filtration rate of *Paphia exarata* Philippi at different individual weights

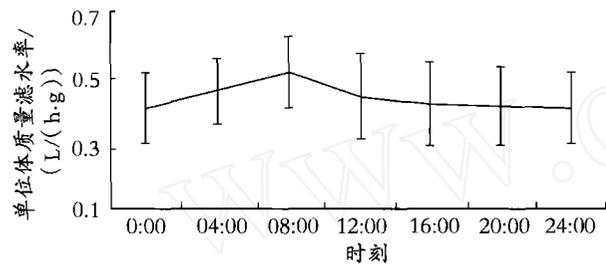


图3 昼夜节律对沟纹巴非蛤滤水率的影响
Fig.3 Filtration rate of *Paphia exarata* Philippi at different moments in day and night

2.4 沟纹巴非蛤在不同藻密度时的滤水率

所用沟纹巴非蛤的生物学数据见表1, 不同藻密度下的滤水率见图4。在试验范围内, 随着藻密度的增加, 沟纹巴非蛤的滤水率增大, 藻密度在 4.50×10^4 个/mL 时滤水率达到最大值, 藻密度继续增加滤水率反而下降。经过差异显著性分析, 藻密度 4.50×10^4 个/mL 的实验组与 1.05×10^4 个/mL 无显著差异 ($P>0.05$), 与其它各实验组差异显著 ($P<0.05$)。

3 讨论

滤水率/清滤率是反映贝类获取食物的能力(速度)的第一个指标, 在贝类摄食行为和能量学研究中具有重要地位。多数学者支持贝类摄食行为的主

动调节论, 即贝类受其体内营养和能量需求等内在因素及环境变化外在因素的影响及时对摄食行为进行主动的生理性调节, 以最大限度的维持对营养和能量的获取^[6]。因此滤水(摄食)率是一个动态指标, 其大小随滤食性贝类的体质量大小、摄食节律等内在因素和饵料密度、流速、温度、盐度、pH 值等外在环境因素的变化而变化, 这是贝类为适应内外环境变化而调节自身生理活动的结果。

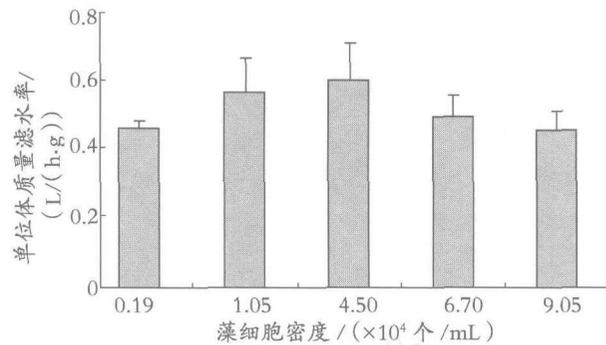


图4 藻密度对沟纹巴非蛤滤水率的影响
Fig.4 Filtration rate of *Paphia exarata* Philippi at different concentrations of diet

贝类体质量是影响其滤水率的重要内在因素, 随着体质量的增加营养需求总量增加, 通过增大滤水率来满足营养需求的增多。多种贝类的研究结果表明滤水率随体质量的增大而增大, 呈幂函数关系: $R_f = aw^b$ (w 为软体部干质量, b 为体质量系数)。但是随着体质量的增加, 贝类单位体质量营养需求减少, 单位体质量滤水率与组织干质量呈负幂函数关系, $R_f' = aw^{-b-1}$ 。说明贝类可以通过调节滤水率来满足不同生长阶段的营养需求。很多研究表明上述函数关系式中 b 值一般小于1, 多为 $0.3 \sim 0.8$ ^[5, 7-10]。Mohlenberg^[7] 研究了13种贝类的滤水率, b 值在 $0.62 \sim 0.75$, 认为 b 值随种而异。本实验结果完全符合上述规律, $R_f' = 0.657w^{-0.6501}$, $b-1 = -0.6501$, 则 b 值为 0.3499 。

沟纹巴非蛤滤水率在1昼夜中出现1次高峰和低谷, 呈现节律性变化。王吉桥等^[5]测定了4种贝类滤水率的昼夜变化, 除紫石房蛤(*Saxidomus purpuratus*)外, 紫贻贝(*Mytilus edulis*)、太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)、菲律宾蛤仔(*Ruditapes*

philippinarum)的滤水率波动很大,每12h出现1次滤食高峰和低谷。吴桂汉等^[11]的结果也表明昼夜节律对菲律宾蛤仔的摄食率影响非常明显,不同时间点的摄食率差异极显著。昼夜节律对滤水/摄食率的影响机制还不清楚,吴桂汉等^[11]认为生物生存所依赖的自然环境会发生周期性变化,生物在进化中适应这种变化而形成了节律性生理变化和行为,摄食率的昼夜节律性是这些生物节律性行为之一。

饵料浓度对摄食生理的影响一直是研究的热点。大多数贝类都有一个最适饵料浓度范围,高于或低于这个范围滤水率都会减小^[9, 12, 13]。超过适宜的饵料浓度时,随浓度的增加,滤水率急剧下降,但摄食率稍微降低,变化比较平缓,说明菲律宾蛤仔可以通过调节滤水率来稳定摄食率^[9]。本实验结果表明沟纹巴非蛤在中肋骨条藻密度超过 4.50×10^4 个/mL后滤水率降低。Iglesias等^[14]认为这是滤食性贝类调节摄食率的方式之一,通过降低滤水率减少滤食的饵料量。

有关流速对滤水率影响的报道很少。栉孔扇贝在流速低于300 mL/min时摄食率明显降低,随水流的加快摄食率提高,流速为470 mL/min达到最大值^[15]。但流速过高则会干扰贝类的摄食活动,导致不能正常摄食,太平洋牡蛎在流速超过一定限度(15~20 cm/s)时生长受到抑制^[16]。本实验结果说明流速对滤水率有一定的影响,在3.6~9.0 L/h流速范围内,沟纹巴非蛤的滤水率随着流速的增加滤水率增大,但当流速超过7.2 L/h时滤水率增加不显著。

参考文献:

- [1] 毕远溥,董婧,蒋双,等.小窑湾双壳贝类筏式养殖对海域环境的影响[J].应用环境生物学保护,2002,8(3): 270-275.
- [2] Cloern J E.Does the benthos control phytoplankton biomass in south San Francisco Bay?[J] **Marine Ecol Prog Series**, 1982,9:191-202.
- [3] 赵沐子,费志良,郝忱,等.不同贝类对水质净化效果的比较[J].水产科学,2006,25(3): 133-135.
- [4] 许志坚,陈忠文,冯永勤,等.海南岛贝类原色图鉴[M].

北京:科学普及出版社,1993.110.

- [5] 王吉桥,于晓明,郝玉冰,等.4种滤食性贝类滤水率的测定[J].水产科学,2006,5: 217-221.
- [6] Bayne B L. The physiology of suspension feeding by bivalve mollusks: An introduction to the Plymouth "TROPHEE" workshop[J]. **J Exp Mar Biol Ecol**,1998, 219: 1-19.
- [7] Mohlenberg F, Riisgard H U. Filtration rate, using a new indirect technique, in thirteen species of suspension-feeding bivalves[J]. **Mar Biol**,1979, 54:143-147.
- [8] 匡世焕,方建光,孙慧,等.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.
- [9] 董波,薛钦昭,李军.环境因子对菲律宾蛤仔摄食生理生态的影响[J].海洋与湖沼,2000,1(6): 636-642.
- [10] 林元烧,曹文清,罗文新,等.几种主要养殖贝类滤水率的研究[J].海洋学报,2003,25(1): 86-91.
- [11] 吴桂汉,陈品健,江瑞胜,等.盐度和昼夜节律对菲律宾蛤仔摄食率的影响[J].台湾海峡,21(1): 72-77.
- [12] Newell C R, Wildish D J, McDonald B A. The effects of velocity and seston concentration on the exhalant siphon area, valve gape and filtration rate of the mussel (*Mytilus edulis*) [J]. **J Exp Mar Biol Ecol**, 2001,262:91-111.
- [13] Bacon G S, MacDonald B A, Ward J E. Physiological responses of infaunal *Mya arenaria* and epifaunal *Placopecten magellanicus* bivalves to variations in the concentration and quality of suspended particles I. Feeding activity and selection[J]. **J Exp Mar Biol Ecol**,1998,219:105-125.
- [14] Iglesias J I P, Urrutia M B, Navarro E, et al. Measuring feeding and absorption in suspension-feeding bivalves: an appraisal of the biodeposition method[J]. **J Exp Mar Biol Ecol**,1998,219:71-86.
- [15] 匡世焕,方建光,李锋.栉孔扇贝生殖活动前后的滤食和生长[J].海洋水产研究,1996,17(2): 109-114.
- [16] Bamber R N.The effects of acidic seawater on young carpelt-shell clams *Verterupis decussala*(L.) [J]. **J Exp Mar Biol Ecol**,1987,108:241-260.

(下转第56页)

Study on the filtration rate of *Paphia exarata* Philippi

WANG Dong-mei, LI Chun-qiang, ZHOU Jian, HU Chao-song, HUANG Zi,
LIU Zhi-xin, PENG Ming

(Institute of Tropical Biology Sciences, Chinese Academy of Tropical Agricultural Science, Haikou 571101, China)

Received: May, 16, 2008

Key words: *Paphia exarata* Philippi; filtration rate; individual weight; day and night rhythm; flowing velocity; diet concentration

Abstract: The filtration rate of *Paphia exarata* was determined by flowing tanks. The results are shown below: (1) The relationship between filtration rates and individual weight shows an exponential function ($R_f = 0.657w^{0.3499}$, $R_f' = 0.657w^{-0.6501}$). (2) The maximal and minimal filtration rate occurred at 24h interval period. The maximum was at 08:00, which was significantly higher than the minimum at 00:00 ($P < 0.05$). (3) The filtration rate increased with higher concentrations of diet but decreased if the concentration exceeded a definitive value ($(4.5 \pm 0.11) \times 10^4$ cell/mL). (4) The filtration rate increased with the increase of the flowing velocity in the range of 3.6~9.0 L/h but it increased no significantly if the flowing velocity exceeded 7.2 L/h.

(本文编辑:谭雪静)