

文章编号: 1000- 0615(2002)05- 0423- 05

低温对菲律宾蛤仔能量收支的影响

张继红, 方建光, 金显仕, 梁翻鹏

(中国水产科学研究院黄海水产研究所养殖生态室, 山东 青岛 266071)

摘要: 在实验室内采用静水法, 测定了在 3、5 和 8℃ 下, 菲律宾蛤仔的耗氧率和排氨率与体重的关系及其能量收支情况。实验数据显示, 在实验的温度范围内, 菲律宾蛤仔的耗氧率和排氨率都与体重负相关; 温度对耗氧率的影响与体重有关。摄食率、生长率(净生长率、毛生长率)与温度正相关。温度对能量分配影响较大, 代谢分配率、排粪分配率随温度的升高而降低, 且变化极其显著($P < 0.01$); 生长分配率随温度的升高而增大。在能量收支方程中, 排粪能所占比例较大, 在 41.131% ~ 60.69% 之间, 代谢能在 23.37% ~ 32.73% 之间, 生长能在 6.13% ~ 34.63% 之间, 排泄能所占的比例最小, 低于 3%。

关键词: 菲律宾蛤仔; 耗氧率; 排氨率; 能量收支

中图分类号: S917 文献标识码: A

Effect of energy budget of short-necked clam *Ruditapes philippinarum* under low temperature

ZHANG Ji-hong, FANG Jian-guang, JIN Xian-shi, LIANG Fan-peng

(Marine Culture and Ecology Department, Yellow Sea Fisheries Research Institute,
Chinese Academy of Fisheries Science, Qingdao 266071, China)

Abstract: An indoor static system was employed in this experiment to measure the energy budget of *Ruditapes philippinarum* at temperature of 3°C, 5°C, 8°C and the effect of tissue weight on the oxygen consumption rate (OCR) and ammonia excretion rate (AER). The result showed that the OCR and AER had the negative correlation with the tissue weight. The temperature had positive influence on the ingestion rate and growth rate (K_1 and K_2) of clam. Temperature had great effect on the ratio of energy. The temperature had positive influence on the energy ratio of growth, had negative influence on that of respiration and ejection. At the equations of the energy budget of clam, the ratio of growth, respiration, ejection and excretion comprised 6.13% - 34.63%, 23.37% - 32.73%, 41.131% - 60.69%, < 3% respectively of the total energy.

Key words: *Ruditapes philippinarum*; oxygen consumption rate; ammonia excretion rate; energy budget

菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 广泛分布于我国沿海, 由于适应力强、生长迅速、生长周期短, 其养殖生产具有投资少、收益大等特点, 是一种很有发展前途的滩涂养殖品种。目前, 我国的蛤仔养殖已经由简单的封滩护养发展为蓄水养殖以及与对虾混养等。了解菲律宾蛤仔的能量代谢的基本规

收稿日期: 2001-12-17

资助项目: 国家 973 项目资助(G1999043712)

作者简介: 张继红(1969-), 女, 吉林公主岭人, 助研, 硕士, 主要从事贝类生理生态和养殖容量评估研究。Tel: 0532- 5822957, E-mail: zjh@ysfri.ac.cn

律以及环境因子对其能量代谢的影响,是指导生产的理论基础,也是准确评估养殖容量的需要。耗氧率、排氨率、摄食率、排粪率是动物进行能量代谢的基本生理活动,能够反映动物的生理状态以及环境条件的影响。温度是影响贝类代谢的重要环境因子。关于菲律宾蛤仔在 8~28℃ 条件下的耗氧率、排氨率及其与体重、摄食情况的关系已有报道^[1,2]和温度、饵料对菲律宾蛤仔同化率的影响^[3]的研究已有报道。本文研究了菲律宾蛤仔在 3℃、5℃和 8℃ 条件下的耗氧率和排氨率与体重的关系、能量代谢和能量分配模式。

1 材料与方法

1.1 材料来源

实验用菲律宾蛤仔购自青岛市场,清洗干净后放在 0.2m³ 培养箱中暂养 4d,暂养期间充气并投喂单胞藻,每日换水 1 次。用于耗氧率和排氨率与体重关系的实验的菲律宾蛤仔的生物学数据(每组为 3 个蛤仔的平均值)见表 1。用于能量代谢实验的菲律宾蛤仔的生物学数据见表 2。

1.2 实验方法

1.2.1 温度

温度的控制采用恒温培养箱(Sanyo Incubator Model MIR-150; Biophotochamber LX-3000),升温幅度为每天升 1℃,在每个温度下适应 3d 后进行实验。本文设定 3 个温度梯度:3℃、5℃和 8℃。

表 1 实验用菲律宾蛤仔的生物学数据

Tab. 1 Biologic data of the experimental clam

组织干重(g) dry tissue weight	0.16±0.01	0.16±0.01	0.19±0.02	0.19±0.04	0.20±0.03	0.21±0.02	0.23±0.06
壳长(cm) shell length	2.27±0.07	2.32±0.08	2.49±0.09	2.35±0.14	2.49±0.13	2.48±0.03	2.45±0.14
组织干重(g) dry tissue weight	0.37±0.04	0.39±0.08	0.41±0.08	0.42±0.13	0.47±0.05	0.48±0.08	0.57±0.06
壳长(cm) shell length	2.99±0.1	2.85±0.15	2.98±0.12	2.90±0.11	2.98±0.11	2.96±0.09	3.14±0.14

表 2 实验用菲律宾蛤仔的生物学数据

Tab. 2 Biologic data of the experimental clam

数量 quantity	壳长(cm) shell length	总湿重(g) total wet weight	壳干重(g) shell dry weight	组织干重(g) dry tissue weight	肥满度(%) F
42	2.96±0.039	1.89±0.073	2.29±0.075	0.45±0.018	19.47±2.64

1.2.2 滤水率、摄食率的测定

摄食率为滤水率和饵料浓度的乘积,通常测定滤水率,然后推算摄食率。饵料为三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)。2000mL 烧杯,每个烧杯中放 3 个菲律宾蛤仔。设平行样 14 个,空白对照 1 个。采用颗粒递减法,每隔 30min 取样,用颗粒计数器(Coulter Mutisize II)测定水中悬浮颗粒浓度随时间的变化。

滤水率(CR)的计算公式: $CR = (V/wt)[\ln(C_0/C_t) - \ln(C_1/C_2)]$

式中, V—实验水体; w—实验材料的组织干重; t—实验持续的时间; C₀, C_t—分别代表实验开始和结束时的饵料浓度; C₁, C₂—分别代表实验开始和结束时空白对照瓶中饵料浓度。

1.2.3 粪便的收集

实验结束后,将菲律宾蛤仔置于过滤海水中暂养 24h,排空。将粪便抽滤到 GF/C 滤膜上,用电子

天平称干重(Sartorius 精确度 0.0001g) (60℃, 24h) 和去灰分重量(450℃灼烧 5h), 计算粪便的总量和粪便中有机物质的含量。

吸收效率的计算公式: $AE = (F - E) / [(1 - E) F]$

式中: F 和 E 分别为食物和粪便中有机物的含量(POM/TPM)。POM 和 TPM 分别为颗粒有机物和总颗粒物的重量。

1.2.4 耗氧率、排氮率的测定

3 000mL 广口瓶, 每瓶放 3 个蛤仔, 设平行样 14 个, 空白对照 1 个。排氮率用次溴酸钠氧化法测定, 所用仪器为 7530 型分光光度计。溶解氧的测定采用 YSI85 溶氧仪, 测定之前以磁力搅拌器充分搅拌。试验持续 2h。根据试验前后溶解氧和氨氮浓度的变化计算耗氧率和排氮率。

1.3 计算方法

能量收支分配模式采用 Carfoot^[4] 提出的能量基本模型:

$$C = F + U + R + P$$

式中, C 为摄取食物的总能量; F 为排粪能; U 为排泄能; R 为代谢能; P 为生长能。

生长能(P)通过公式 $P = C - F - U - R$ 计算。

毛生长率(K_1)和净生长率(K_2)根据以下公式计算:

$$K_1 = (A - R - U) / C \text{ 和 } K_2 = (A - R - U) / A$$

式中, A 为贝类从食物中吸收的能量, 根据公式 $A = C \times AE$ 计算^[5]。

代谢能根据耗氧率和 $1\mu\text{molO}_2 = 0.45\text{J}$ 计算^[6]。排泄能根据排氮率和 $1\mu\text{molNH}_4 = 0.34\text{J}$ 计算^[7]。摄取食物的总能量(C)根据摄食率和单胞藻细胞重量及有机物比例换算为 $\text{g POM} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$; $1\text{mgPOM} = 20.78\text{J}$ ^[8]。排粪能(F)根据粪便中有机物含量计算。

2 结果

2.1 菲律宾蛤仔的耗氧率与温度和体重的关系

耗氧率随体重(组织干重)的增加而降低, 呈明显的幂函数关系(图 1)。3、5、8℃时的趋势线方程分别为:

$$Y = 2.8079X^{-1.225} (r = 0.9356);$$

$$Y = 6.3435X^{-0.7043} (r = 0.8777);$$

$$Y = 12.908X^{-0.2796} (r = 0.7882)。$$

温度对耗氧率的影响与体重有一定的关系。对于组织干重大于 0.22g 的菲律宾蛤仔, 温度与耗氧率正相关。组织干重小于 0.22g 的菲律宾蛤仔, 温度对其耗氧率影响相关性不明显, 可能是由于变异性比较大, 没有达到统计学意义的结果。

2.2 菲律宾蛤仔的排氮率与温度和体重的关系

排氮率随体重的增加而降低, 也呈幂函数关系(图 2)。3、5、8℃时的趋势线方程分别为:

$$Y = 0.0482X^{-1.4443} (r = 0.9353);$$

$$Y = 0.1053X^{-1.3393} (r = 0.8506);$$

$$Y = 0.6531X^{-0.371} (r = 0.9278)。$$

2.3 菲律宾蛤仔的摄食率、吸收效率和生长率与温度的关系

在 3~8℃范围内, 菲律宾蛤仔的摄食率、吸收效率、生长率随温度升高而增大(表 3)。单因子方差分析显示, 3、5、8℃组间, 吸收效率、摄食率和净生长率都有显著的差异($P < 0.05$)。

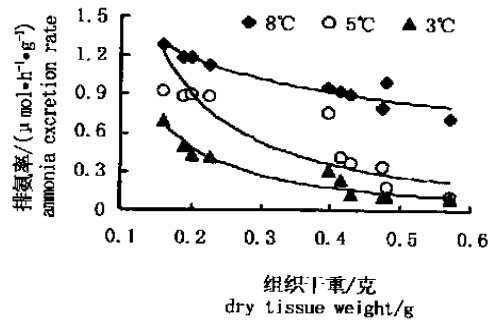
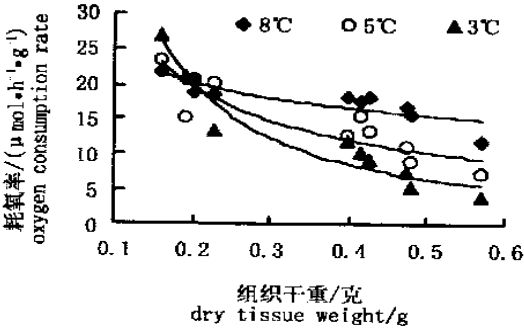


图1 菲律宾蛤仔的耗氧率与温度、体重的关系

图2 菲律宾蛤仔的排氨率与温度、体重的关系

Fig.1 Relationship of temperature, body weight and oxygen consumption rate of *R. philippinarum*

Fig.2 Relationship of temperature, body weight and ammonia excretion rate of *R. philippinarum*

表3 菲律宾蛤仔的摄食率、吸收效率和生长率与温度的关系

Tab.3 Relationship of temperature and ingestion rate, absorption efficiency and growth rate of *R. philippinarum*

温度 °C	摄食率 ¹	摄食率 ²	吸收效率 (%)	毛生长率 (%)	净生长率 (%)
temperature	ingestion rate	ingestion rate	absorption efficiency	gross growth ratio	net growth ratio
3	11.83 ± 0.05	0.99 ± 0.04	42.81 ± 2.86	9.63 ± 0.34	22.49 ± 1.61
5	14.67 ± 0.11	1.24 ± 0.12	48.08 ± 3.51	20.38 ± 1.07	42.38 ± 3.06
8	20.47 ± 0.15	1.73 ± 0.18	53.72 ± 3.37	29.49 ± 1.98	54.89 ± 4.51

注: 表中摄食率1 的单位为 $10^6 \text{ cells} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dry weight}$; 摄食率2 的单位为 $\text{mg POM} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dry weight}$

Notes: the unit of Ingestion rate1 is $10^6 \text{ cells} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dry weight}$; the unit of Ingestion rate2 is $\text{mg POM} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dry weight}$

2.4 菲律宾蛤仔的能量收支与温度的关系

根据菲律宾蛤仔的摄食率、耗氧率、排氨率和排粪量换算为每小时的能量摄入和各项消耗的能量,并据此计算出用于生长的能量(表4)。假设摄入食物的总能量为100%,计算其它各项的分配率,建立能量收支方程(表5)。

表4 菲律宾蛤仔的能量分配与温度的关系

Tab.4 Relationship of temperature and the energy allocation of *R. philippinarum*

温度 °C	摄取食物总能量	生长能	代谢能	排泄能	排粪能
temperature	total energy of ingestion	growth energy	respiration energy	excretion energy	faeces energy
3	20.72 ± 3.17	1.27 ± 0.12	6.78 ± 0.79	0.093 ± 0.022	12.58 ± 0.83
5	25.68 ± 3.35	6.89 ± 0.56	7.02 ± 0.38	0.099 ± 0.015	11.68 ± 2.32
8	35.86 ± 3.62	12.42 ± 0.91	8.38 ± 0.26	0.31 ± 0.039	14.75 ± 2.01

注: 表中能量的单位为 $\text{J} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ 干重}$

Notes: the unit of energy is $\text{J} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ dry weight}$

在3~8°C范围内,菲律宾蛤仔的生长能、摄食能、排泄能和代谢能随温度的升高均呈增长的趋势。3°C时蛤仔的排粪能较5°C时的高。从能量收支分配模式看,代谢分配率、排粪分配率随温度的升高而降低,且变化极其显著($P < 0.01$);生长分配率随温度的升高而增大。

表5 菲律宾蛤仔能量收支方程与温度的关系

Tab.5 Relationship of temperature and the energy income and expenses equation of *R. philippinarum*

温度(°C)	能量收支方程
temperature	equation of energy income and expenditure
3	$100C = 6.13P + 32.73R + 0.45U + 60.69F$
5	$100C = 26.82P + 27.32R + 0.39U + 45.47F$
8	$100C = 34.63P + 23.37R + 0.86U + 41.13F$

3 讨论

养殖生物与环境是相互影响的。海水中的颗粒有机氮被贝类摄食,然后主要以 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的形式排出。一方面海水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量过高可导致富营养化的发生,另一方面 $\text{NH}_4\text{-N}$ 为浮游植物的营养物质。虽然在低温条件下,菲律宾蛤仔通过排泄方式排出的N 相对较少,但是,由于菲律宾蛤仔的栖息

密度高,其氮氮的排泄量对海区氮的循环有重要的影响。如在 3-4 月间,一般营养盐比较缺乏,可能由此导致硅藻下沉,刺激夜光虫大量繁殖,引发赤潮。该季节海水温度由 5℃ 逐渐升高,菲律宾蛤仔的排氮率增大近 2~3 倍,其排泄的 N 对补充营养盐起到一定作用。在本试验的温度范围内,菲律宾蛤仔的排氮率随着温度的升高而增大,这一趋势与常温条件下的趋势是一致的。

在低温条件下,菲律宾蛤仔的排氮率与体重的关系与常温条件下的关系相似。在相同饵料浓度和相同温度下,其单位体重的排氮率与组织干重的关系符合经验公式: $N = aW^b$ 。b 值又称体重系数,反映新陈代谢率与体重的关系,本实验的范围为: -1.4443~ -0.371,变动较大,说明在温度较低条件下,菲律宾蛤仔的排氮率与体重的关系不稳定。

通常在适温范围内,随着温度升高贝类代谢率增大^[2,9]。本实验发现,组织干重 > 0.22g 菲律宾蛤仔的代谢率符合上述情况;组织干重 < 0.22g 的个体,其代谢率与温度的相关性不明显。作者认为出现上述情况,是因为在自然海区中,菲律宾蛤仔的生长适宜水温为 5~35℃,本实验的 3℃ 超出其适温范围,小规格的菲律宾蛤仔的代谢变异较大,可见小规格的菲律宾蛤仔对低温更敏感。

从摄食率和生长率来看,在 3℃ 条件下,菲律宾蛤仔还是能够摄食和生长的,导致其生长率和生长能分配率较低的关键原因,作者认为是由于在 3℃ 时,菲律宾蛤仔的吸收效率较低,致使排出的粪便量较大,粪便中有机物的含量较高,使得粪便中损失的能量较高,其排粪分配率高达 60% 以上。可见,在 3~8℃ 条件下,在能量收支的生理过程中,排粪能对温度的变化较敏感。栉孔扇贝也有此现象。该现象是否是贝类能量代谢的普遍现象,还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Jiang Z H, Wang J, Tang Q S. Studies on physiological ecology of short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*) I. Effects of temperature, body weight and feeding state on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate [J]. Marine Fisheries Research, 1999, 20(1): 40-43. [姜祖辉,王 俊,唐启升. 菲律宾蛤仔生理生态学研究 I. 温度、体重及摄食状态对耗氧率及排氮率的影响[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(1): 40-43.]
- [2] Wang F, Dong S L, Li D S. Studies on the respiration and excretion of short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*) and scallop (*Chlamys farreri*) [J]. Journal of Fisheries of China, 1997, 21(3): 252-257. [王 芳,董双林,李德尚. 菲律宾蛤仔和栉孔扇贝的呼吸与排泄的研究[J]. 水产学报, 1997, 21(3): 252-257.]
- [3] Wang J, Jiang Z H, Zhang B, et al. Studies on physiological ecology of short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*) II. Effects of temperature and food on assimilation efficiency [J]. Marine Fisheries Research, 1999, 20(2): 42-47. [王 俊,姜祖辉,张 波,等. 菲律宾蛤仔生理生态学研究 II. 温度、饵料对同化率的影响[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 42-47.]
- [4] Carfoot T H. Animal Energetics [M]. New York: Academic Press, 1987. 407-515.
- [5] Jorge M, Navarro E. The effects of salinity on the physiological ecology of *Choromytilus chorus* [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1988, 122: 19-33.
- [6] Graiger E. Calculation of energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption [A]. Polarographic oxygen sensors [C]. 1983, 337-345.
- [7] 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 concentration [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1987, 11: 1-22.
- [8] Navarro J M, Winter J E. Ingestion rate, assimilation efficiency and energy balance in *Mytilus chilensis* in relation with body size and different algal concentrations [J]. Mar Biol, 1982, 67: 255-266.
- [9] Hutchinson S, Hawkins L E. Quantification of the physiological responses of the European flat oyster *Ostrea edulis* L. to temperature and salinity [J]. J Moll Stud, 1992, 58: 215-226.