

低温对栉孔扇贝能量收支的影响

张继红, 方建光, 梁翻鹏

(中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘 要: 研究低温下栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)摄食、呼吸代谢、排泄及能量分配情况, 为栉孔扇贝的反季节养殖提供生物学依据。在实验室条件下采用静水法, 测定3、5和8℃时栉孔扇贝的能量收支。结果显示, 在3~8℃时, 栉孔扇贝的耗氧率、排氮率、摄食率及生长率(净生长率、毛生长率)随温度的升高而增大; 3℃时, 栉孔扇贝虽然能摄食, 但是生长率却很低; 温度对能量分配影响较大, 生长、排泄分配率随温度的升高而增大, 呼吸、排粪的分配率与温度呈负相关。在能量收支方程中, 生长能所占比例变化较大, 为17.61%~53.27%, 代谢能为21.48%~35.91%, 排粪能为22.52%~45.99%, 排泄能所占的比例最小, 低于3%。

关键词: 栉孔扇贝; 低温; 耗氧率; 排氮率; 摄食率; 生长率; 能量收支

中图分类号: S968.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737(2002)01-0048-04

近年来, 针对栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)大面积死亡, 许多专家提出贝藻混养和栉孔扇贝反季节养殖等技术措施^[1]。山东沿海12~3月, 海水温度低于5℃, 3月以后, 海水温度逐渐上升, 所以, 栉孔扇贝的生长要经历一段低温时期。目前, 关于栉孔扇贝能量学的研究有一些报道^[2,3], 但是关于低温条件下栉孔扇贝的能量学研究未见报道。本文对3、5和8℃条件下栉孔扇贝能量学结果进行分析探讨。旨在研究低温条件下栉孔扇贝的摄食行为、呼吸代谢、排泄率以及能量分配情况, 探讨贝藻混养的机理, 并了解栉孔扇贝反季节养殖的生长情况。

1 材料和方法

1.1 材料

实验用栉孔扇贝于2000年2月24日取自荣成崖头镇养殖场, 组织干重和壳高分别为(1.182±0.069 5)g和(5.48±0.11)cm。将壳表附着生物清洗干净, 在室内暂养7 d。实验结束后, 称量栉孔扇贝的组织干重(60℃, 48 h)。

1.2 实验方法

收稿日期: 2001-06-10。

基金项目: 国家973项目资助(G19990043712); 欧盟项目资助(ERB3514PL972439)。

作者简介: 张继红(1969-), 硕士, 助研, 从事贝类生理生态学研究。

1.2.1 温度 温度的控制采用恒温培养箱(SANYO INCUBATOR MODEL MIR-150; BIO-PHOTOCHAMBER LX-3000), 升温幅度为每天1℃, 在每个温度下适应3 d后进行实验。本实验设定3、5和8℃3个温度梯度。

1.2.2 滤水率、摄食率的测定 摄食率为滤水率和饵料密度的乘积, 通常先测定滤水率, 然后推算其摄食率。本文采用颗粒递减法^[4], 用颗粒计数器(Counter Mutisize II)测定实验水体中悬浮颗粒密度。饵料为三角褐指藻 *Phaeodactylum tricornutum*。实验用3 000 ml的烧杯, 每个烧杯中放扇贝1个。设平行样15个, 空白对照1个。每隔30 min取样, 用颗粒计数器测定饵料颗粒密度随时间的变化。

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

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;

C_0 、 C_1 —实验开始和结束时的饵料密度;

C_1 、 C_2 —实验开始和结束时空白对照瓶中饵料密度。

1.2.3 耗氧率的测定 所用容器为5 L广口瓶, 每个瓶放入3个扇贝, 设平行样5个, 空白对照1个。溶解氧采用溶氧仪 YSI-85 测定。测定之前以磁

力搅拌器充分搅拌。试验持续 2 h。

1.2.4 排氨率的测定 排氨率的测定方法参照《海水养殖手册》和《海洋监测规范》。耗氧率和排氨率的测定同步进行。用次溴酸钠氧化法测定开始和结束时氨氮浓度。所用仪器为 7530G 分光光度计。根据实验前后溶解氧和氨氮浓度的变化计算耗氧率和排氨率。

1.2.5 粪便的收集 实验结束后,将扇贝置于过滤海水中暂养 24 h,将粪便抽滤到 GF/C 滤膜上,用电子天平(Sartorius 精确度 0.000 01g)称干重(60 ℃,24 h)和去灰分重量(450 ℃灼烧 5 h),计算粪便的总量和粪便中有机物质的含量。

吸收效率 E_A 的计算公式: $E_A(\%) = (F - E) / [(1 - E)F]$, 式中 F 和 E 分别为食物和粪便中有机物的含量(C_{POM}/C_{TPM})。

1.3 计算方法

能量收支分配模式采用 Carfoot^[5] 提出基本模型: $C = F + U + R + P$, 式中, C —摄取食物的总能量; F —排粪能; U —排泄能; R —代谢能; P —生长能。毛生长率(K_1)和净生长率(K_2)根据 Jorge^[6] 公式计算: $K_1 = (A - R - U)/C$ 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 $A = C \cdot E_A$ 计算。代谢能(R)根据耗氧率和 $1 \mu\text{mol O}_2 = 0.45 \text{ J}^{[7]}$ 等式换算; 排泄能(U)根据排氨率和 $1 \mu\text{mol NH}_4 = 0.34 \text{ J}^{[8]}$ 等式换算。摄取食物的总能量(C)根据摄食率、食物中有机物含量(C_{POM})

及 $1 \text{ mg POM} = 20.78 \text{ J}^{[9]}$ 等式换算。排粪能(F)根据粪便中有机物含量计算, 生长能(P)通过公式 $P = C - F - U - R$ 计算。

2 结果

2.1 栉孔扇贝的耗氧率、排氨率及氧氮比与温度的关系

在水温 3~8 ℃ 时, 单位体重的耗氧率和排氨率都随着温度的升高而增大(表 1), 排氨率的增大程度较大; C_O/C_N 随温度升高而减小。

2.2 栉孔扇贝的摄食率、吸收效率和生长率与温度的关系

3 ℃ 时栉孔扇贝的摄食率较低, 从生长率来看, 栉孔扇贝在 3 ℃ 时, 能够缓慢生长。摄食率和生长率随着温度的升高而增大(表 2)。在 3~8 ℃ 时, 栉孔扇贝的吸收效率随温度升高呈减速增长趋势, 由 3 ℃ 升到 5 ℃, 吸收效率增大 19.3%, 由 5 ℃ 升到 8 ℃, 吸收效率仅增加了 1.87%。单因子方差分析显示, 3、5、8 ℃ 组间的吸收效率有显著的差异($P = 0.028 < 0.05$)。

2.3 栉孔扇贝的能量收支与温度的关系

根据栉孔扇贝的摄食率、耗氧率、排氨率和排粪量换算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 3)。假设摄入食物的总能量为 100%, 计算其他各项的分配率, 建立能量收支方程(表 4)。

表 1 栉孔扇贝的耗氧率、排氨率及氧氮比与温度的关系

Table 1 Relationships of temperature with oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and C_O/C_N of *C. farreri*

温度/℃ Temperature	耗氧率/($\mu\text{mol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ DW) Oxygen consumption rate	排氨率/($\mu\text{mol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ DW) Ammonia excretion rate	氧氮比 C_O/C_N
3	19.43 ± 1.37	0.35 ± 0.023	111.04 ± 17.670
5	27.89 ± 1.33	1.1 ± 0.116	50.70 ± 4.846
8	31.45 ± 4.13	5.29 ± 0.449	11.90 ± 2.753

表 2 栉孔扇贝的摄食率、吸收效率和生长率与温度的关系

Table 2 Relationships of temperature with ingestion rate, absorption efficiency and growth rate of *C. farreri*

温度/℃ Temperature	摄食率① Ingestion rate	摄食率② Ingestion rate	吸收效率/% Absorption efficiency	毛生长率/% Gross growth rate	净生长率/% Net growth rate
3	13.90 ± 0.08	1.17 ± 0.08	39.19 ± 2.81	2.79 ± 0.46	7.11 ± 0.23
5	26.31 ± 0.15	2.22 ± 0.15	46.75 ± 2.97	18.70 ± 0.87	40.01 ± 2.08
8	37.62 ± 0.27	3.17 ± 0.27	47.63 ± 3.06	23.42 ± 1.98	49.17 ± 3.56

注 Note: ①的单位为: $10^6/(\text{h} \cdot \text{g})^{-1}$ DW; ②的单位为: $\text{mg POM}/(\text{h} \cdot \text{g})^{-1}$ DW

栉孔扇贝的生长能、摄食能、代谢能、排泄能随温度的上升均呈增长的趋势。从能量收支分配模式

看,各组的分配率都随温度变化而显著变化;生长分配率和排泄分配率随温度升高而增大,代谢分配率和排粪分配率随温度的升高而降低。生长能为

17.61%~53.27%,代谢能为21.48%~35.91%,排粪能为22.52%~45.99%,排泄能所占的比例最小,低于3%。

表3 栉孔扇贝的能量分配与温度的关系

Table 3 Relationship of temperature and energy allocation of *Chlamys farreri*

温度/℃ Temperature	摄食物总能量 Total ingestion energy	生长能 P Growth energy	代谢能 R Respiration energy	排泄能 U Excretion energy	排粪能 F Faeces energy
3	24.35±3.52	4.29±1.32	8.74±0.43	0.12±0.039	11.20±1.39
5	46.08±5.55	22.13±2.76	12.55±0.89	0.37±0.055	11.02±1.87
8	65.88±7.03	35.09±4.88	4.15±1.06	1.80±0.15	13.08±2.08

表4 栉孔扇贝能量收支方程与温度的关系

Table 4 Relationship between temperature and equation of energy income and expenses in *Chlamys farreri*

温度/℃ Temperature	能量收支方程 Equation of energy revenue and expenditure
3	$100C = 17.61P + 35.91R + 0.49U + 45.99F$
5	$100C = 48.03P + 27.24R + 0.81U + 23.92F$
8	$100C = 53.27P + 21.48R + 2.73U + 22.52F$

3 讨论

(1)尽管在低温条件下,栉孔扇贝的排泄率不高,但是由于养殖的密度较大,栉孔扇贝的排氮量还是很可观的。经粗略计算,在3、5和8℃下,每天每笼扇贝可排泄氮氮分别为35、110、530 mg(以每笼10层,每层放养30个扇贝计算)。以海带干重中氮质量分数为1.3%~2.8%和干湿比为1:7来估算^[10],可分别支持9~18 g,27~59 g,132~285 g海带。由于所排的粪便中还有部分的氮氮,栉孔扇贝新陈代谢活动可支持的海带比估计的还要高。因此,在进行贝藻混养时,除了要考虑海水交换带来的营养盐,还应该考虑养殖生物代谢活动的影响。

栉孔扇贝的氧氮比为11.9~111.04,随温度的上升而减少,说明栉孔扇贝以蛋白质、脂肪和碳水化合物为代谢底物,且三者的供能比随温度变化而变化。氧氮比越大,表明动物消耗的能量较少部分由蛋白质提供。在3℃时,栉孔扇贝主要以脂肪为代谢底物,随着温度的升高,蛋白质的代谢加强。这一结果与菲律宾蛤仔的趋势相似^[11]。在8℃下,本实验所得的结果比王俊等^[2]采用流水法测得的结果低,笔者认为主要是由于实验条件不同所致。从已有的研究结果来看,摄食后动物的氧氮比减少^[11,12],可能是因为饵料中提供的蛋白质参与了代

谢。由此可见,饵料质量也就是饵料中蛋白质的含量将对氧氮比产生影响。本实验采用静水法投喂单胞藻,单胞藻中蛋白质的含量比自然海水中的悬浮颗粒的蛋白质高,这可能是导致实验结果不同的原因。摄食后动物的氧氮比减少是否由于对氮和碳水化合物化合物的吸收效率不同所导致,还有待于对其消化生理进一步研究。

(2)通常在一定的范围内,温度升高,摄食率、吸收效率、代谢率、排氮率都不同程度的增大^[2,13,14]。本实验结果与此一致。尽管摄入的能量和代谢、排泄所消耗的能量都随温度的升高而增大,但是增大的幅度不同,由此导致不同温度下的生长率不同。例如水温由3℃升至5℃,栉孔扇贝的摄食率增大近1倍,但是,净生长率却增大近5倍。作者认为主要是由于吸收效率上的差异造成的。虽然在较低温度3℃时,栉孔扇贝能够摄食,但是,由于吸收效率较低,所以净生长率非常低,因而使得低温时栉孔扇贝生长较慢。

从能量分配模式来看,排粪能所占的比率随着温度的升高而降低,这与栉孔扇贝在低温(3℃)条件下吸收效率较低、排出的粪便量较大、粪便中有机物的含量较高有关。作者认为在3℃时栉孔扇贝能够摄食,而其生长率较低主要是由于摄入的能量被同化的效率低。从另一方面考虑,如果饵料密度合适,在3℃的较低温度下,栉孔扇贝也是可以生长的,温度并不是限制其生长的绝对因素。同王俊等^[2]的研究结果相比,本实验所得的能量分配模式中,生长分配率较高,笔者认为这是由于计算方法和实验方法导致的。该生长能中应该包括生殖能、扇贝活动所消耗的能量等,不能单纯看做是用于生长的能量。另外,本实验中以单胞藻为饵料,密度高于冬

季自然海区的浮游植物,因此,饵料中有机物含量较高,栉孔扇贝摄入的能量较高。另外,吸收效率与饵料中有机物的含量正相关^[15],这使得净生长率也偏高。

参考文献:

- [1] 邵明凯,王海仁,张水刚,等.海阳县养殖栉孔扇贝大面积死亡原因分析[J].齐鲁渔业,1986,13(2):19.
- [2] 王 俊,姜祖辉,张 波,等.栉孔扇贝能量收支的研究[J].海洋水产研究,1999,20(2):71-75.
- [3] 毛兴华,郝亚威,杨小龙.海湾扇贝和栉孔扇贝的碳代谢及能量代谢[J].海洋学报,1997,19(4):132-137.
- [4] Frost B W. Effects of the size and concentration of food particles on the feeding behaviour of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus* [J]. *Limnol Oceanogr*, 1972, 17:805-815.
- [5] Carfoot T H. Animal energetics[M]. New York: Academic Press, 1987. 407-515.
- [6] Jorge M. The effects of salinity on the physiological ecology of *Choromytilus chorus* [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*. 1988, 122: 19-33.
- [7] Gnaiger. Calculation of energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption[A]. Polarographic oxygen sensors[C]. Berlin: Forster, Springer-verlag, Appendix C. 1983, 337-345.
- [8] 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 Bio Ecol*, 1987, 111:1-22.
- [9] Crisp. Energy flow measurements[A]. Methods for the study of marine benthos [C]. Oxford: Blackwell, 1971. 197-279.
- [10] 纪明侯,蒲淑珠,曹文达,等.海带中各种形态氨基酸含量的季节变异[J].海洋科学集刊,1976,11:11-21.
- [11] 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氨率的影响[J]. 海洋水产研究,1999,20(1):41-43.
- [12] 张 硕,董双林,王 芳.中国对虾生物能量学研究 I 温度、体重、盐度和摄食状态对耗氧率和排氨率的影响[J]. 青岛海洋大学学报,1998,28(2):223-227.
- [13] 孙 耀,张 波,郭学武,等.温度对真鲷能量收支的影响[J]. 海洋水产研究,1999,20(2):55-59.
- [14] 刘其根,沈和定,周洪琪,等.河鲢的耗氧率和排氨率[J]. 上海水产大学学报,1999,8(4):298-303.
- [15] Hawkins, Hawkins A J S, Bayne B L, et al. Some general relationships in comparing the feeding physiology of suspension feeding bivalve molluscs[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1998, 219:87-103.

Effects of low water temperature on energy budget of scallop *Chlamys farreri*

ZHANG Ji-hong, FANG Jian-guang, LIANG Fan-peng

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

Abstract: An indoor static system was employed to study the ingestion rate and energy budget of scallop *Chlamys farreri* at the water temperatures of 3 °C, 5 °C and 8 °C, with the scallop shell height (5.48 ± 0.11) cm and individual dry tissue weight (1.182 ± 0.0695) g. The results show that the oxygen consumption rate, the ammonia excretion rate and the ingestion rate all increase with temperature increasing in the range of 3~8 °C. The water temperature has positive influence on the growth rate (K_1 and K_2) of the scallop. Though the scallop can feed at 3 °C, the growth rate is low. Also, the water temperature has great effects on the ratios of energy distribution that with the temperature increasing, the growth and excretion rates increase but the respiration and ejection decrease. In the equations erected on the energy budget of the scallop, the ratios of growth, respiration, ejection and excretion make up 17.6% - 53.27%, 21.48% - 35.91%, 22.52% - 45.99% and < 3% of the total energy, respectively. The purpose of this study is to research the possibility of *C. farreri* culture in opposed seasons.

Key words: *Chlamys farreri*; low water temperature; oxygen consumption rate; ammonia excretion rate; ingestion rate; growth rate; energy budget