

不同温度与饵料浓度下菲律宾蛤仔的能量收支

董波^{1,2}, 李军¹, 王海燕¹, 薛钦昭¹

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:在静水系统中测定了实验条件下菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)的摄食率、吸收率、耗氧率和排泄率等生理指标;研究了软体部干重、温度和饵料浓度对菲律宾蛤仔最小碳需求量(W_{MCR})和能量收支的影响;建立了不同温度及饵料浓度下菲律宾蛤仔的能量收支方程。结果表明:最小碳需求量随个体软体部干重的增加而增加,温度越高其增加速率越快;软体部干重对生长效率没有显著的影响。温度通过影响耗氧率而显著影响单位软体部干重的最小碳需求量。在9~22℃范围内,菲律宾蛤仔的生长余力(SFG)随温度和饵料浓度的升高而增加,在较低温度和饵料浓度下蛤仔的SFG均出现负值。在能量收支方程中摄食能随温度变化显著,而呼吸耗能随温度的变化不明显。

关键词:菲律宾蛤仔;温度;饵料浓度;能量收支

中图分类号:S968.3

文献标识码:A

文章编号:1005-8737-(2003)05-0398-06

海洋滤食性贝类是海洋生态系统生物资源结构的重要组成部分,主要以浮游植物、细菌、有机碎屑等为食,测定它们的能量收支对研究其在生态系统物质和能量流动中的作用以及合理安排养殖密度、准确评估海区养殖容量等都具有十分重要的意义。Warren和Davis^[1]将“Scope for growth, SFG”引伸为动物摄食的食物能量与其利用消耗及损失的能量之差后,生长余力(SFG)作为一个生理能量指标来反映贝类的生长就得到了广泛的应用^[2-3]。它不但能作为贝类体内能量供需机制来反映出环境因子和贝类生理活动对其生长的瞬间影响,而且周年的实验也证明了生长余力和实际测量的生长情况是十分吻合的^[4-5]。实践证明,SFG也是反映海洋双壳贝类对环境适应情况的一个可靠指标,特别是在胁迫和污染环境条件下,SFG可以作为种内和种间对比的一个有效参数^[6]。国内学者也对皱纹盘鲍(*Haliotis discushannai*)^[7]、海湾扇贝(*Argopecten irradians*)、栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)^[8]等经济贝类的能量收支进行了研究。本研究将SFG作为菲律宾蛤仔(*Rudi-*

tapes philippinarum)在不同环境条件下能量收支的一个指标,以反映不同个体大小、温度和饵料浓度对其能量分配的影响。菲律宾蛤仔是我国乃至全世界沿海地区重要的经济贝类,由于其味道鲜美、营养丰富及具有产量高、适应能力强等特点,近年来已经成为我国滩涂贝类养殖的重要种类。本实验以菲律宾蛤仔为实验材料对其不同条件下的能量收支进行研究,旨在了解不同环境条件其摄食生理指标的变化和能量收支变动规律,以期为指导菲律宾蛤仔养殖生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 蛤仔

1998年2月,自山东省青岛市胶州湾潮间带采取壳长范围为2.6~5.3 cm的鲜活健康菲律宾蛤仔(以下简称蛤仔)于室内驯养1周,驯养期间,饵料种类和浓度均按实验设计时定量投喂。

1.2 方法

挑选暂养1周后健康个体进行摄食率、吸收率、耗氧率和排泄率的测定。每缸放5个蛤仔,每组设3个平行。摄食率及吸收率的测定见文献[9]。蛤仔的耗氧率用传统的碘量法(Winkler法)测定,具体方法见文献[10];耗氧率和能量的转换公式为1 mL

收稿日期:2003-04-30; 修订日期:2003-06-12.

资助项目:国家“九五”攻关项目(96-922-02-03).

作者简介:董波(1973-),男,在职博士生,主要从事海洋生物技术研究. Tel: 0532-2898568. E-mail: dongbo@ms.qdio.ac.cn

O_2 相当于 $20.33 J^{[11]}$;排氮率用次溴酸钠氧化法测定,排氮率和能量的转换公式为 $1 mg NH_4 - N$ 相当于 $24.87 J^{[12]}$ 。实验所用饵料为小球藻 (*Chlorella* spp.), 小球藻热量的测定使用 XRY-1 型氧弹式热量计测得。将干燥的研磨成粉末状,已在电子天平(精确到 $0.0001 g$)上称重的样品,用已知重量的滤纸包裹并在压样机上固定成型,放于氧炸弹内(内放 $10 mL$ 蒸馏水以吸收燃烧过程中释放的 N_2O_5 和 S_2O_3),充纯氧气,气压为 $25 \sim 30 kg/cm^2$ 。外桶加蒸馏水使其和气温一致,内桶加 $3000 mL$ 蒸馏水并使内桶水温比外桶水温低 $0.5 \sim 1 ^\circ C$,样品通过镍铬丝打火点燃,完全燃烧,放出的热量使周围的水升温。用贝克曼 Backman 温度计监测温度变化的相对值,分别记录燃烧前期、中期、后期的温度。并通过公式计算样品的热量值 $Q (Cal/g)$ 。生理指标测定结束后,进行蛤仔软体部干重(整个软体部组织)的测量。将软体部及壳在 $60 ^\circ C$ 下烘 $48 h$ 后称重。

在不同温度和软体部干重对蛤仔的最小碳需求量影响实验中采用三角锥瓶测定 $2 h$ 内蛤仔的耗氧率。饵料质量浓度 $\varphi(POM) = (3.14 \pm 0.91) mg/L$,实验温度为 $9 ^\circ C$ 、 $16 ^\circ C$ 、 $22 ^\circ C$ 、 $26 ^\circ C$ 4 个梯度。

在饵料浓度对蛤仔能量收支影响的实验中共设 4 个浓度梯度, $\varphi(POM)$ 分别为 $(1.54 \pm 0.12) mg/L$ 、 $(4.35 \pm 0.12) mg/L$ 、 $(6.94 \pm 0.86) mg/L$ 、 $(10.40 \pm 1.28) mg/L$ 。实验温度为 $16 ^\circ C$,实验蛤仔软体部干重为 $(0.29 \pm 0.02) g$ 。

1.3 计算方法

1.3.1 最小碳需求量 (W_{MCR}) 生物体吸收的碳量仅能够维持其代谢的需求量,此时的碳需求量称为最小碳需求量(Minimal Carbon Requirement, W_{MCR})。根据 Warren 和 Davis 提出的碳收支方程 $C_e = F_e + U_e + R_e + G_e$ (C_e 摄食碳, F_e 粪便碳, U_e 排泄碳, R_e 代谢碳, G_e 生长碳)^[1],设 $A_e = C_e - F_e$ (A_e 吸收碳); $G_e = A_e - U_e - R_e$ 。由于排泄损失的碳量比例很小,故一般用 $G_e \approx A_e - R_e$ 来计算生长碳量,即吸收的碳量减去代谢碳量的值。当 $G_e = 0$ 时,即 $A_e = R_e$ 时,吸收的量仅能够维持代谢的量,这时的碳需求量就是最小碳需求量^[8]。最小碳需求量计算公式:

$$W_{MCR} = 0.375 \times R \times Q_R$$

其中 R 为耗氧率;因为 1 分子 O_2 对应 1 分子 C ,通过计算可以得出: $1 mg(O_2) = 0.375 mg(C)$; Q_R 为呼吸熵,其大小根据生物体利用不同的能源物质(如碳、氮)而不同,一般为 $0.7 \sim 1.0$,本实验根据文

献[8]取 0.85 。

1.3.2 生长余力 SFG 贝类 SFG 为摄入的能量与其利用消耗及损失的能量之差,即 $SFG = C - R - U - F$,式中: C 为摄食能,用摄食率和饵料能值的乘积计算; F 为粪便能,用摄食能减去摄食能和吸收率的乘积计算; U 为排泄能,用排氮率和能值转换的数值的乘积计算; R 为代谢能,用耗氧率和能值转换的数值的乘积计算。

1.3.3 总生长率 K_1 用于生长的能量占摄食能量的百分率, $K_1 = SFG/C^{[13]}$ 。

1.3.4 净生长率 K_2 用于生长的能量占同化能量的百分率, $K_2 = SFG/(SFG + R)^{[13]}$ 。

2 结果

2.1 不同温度和软体部干重蛤仔的最小碳需求量

经计算 4 个温度梯度下单位软体部干重蛤仔的最小碳需求量依次分别为: $(0.15 \pm 0.09) mg$ 、 $(0.13 \pm 0.05) mg$ 、 $(0.12 \pm 0.01) mg$ 、 $(0.30 \pm 0.06) mg$ 。结果表明,在实验温度范围内, $22 ^\circ C$ 时蛤仔的最小碳需求量最小, $26 ^\circ C$ 时其最小碳需求量最大。 $9 ^\circ C$ 、 $16 ^\circ C$ 、 $22 ^\circ C$ 时,蛤仔单位软体部干重最小碳需求量基本在同一水平,而 $22 ^\circ C$ 和 $26 ^\circ C$ 之间蛤仔单位软体部干重的最小碳需求量差异显著 (ANOVA, $P = 0.04 < 0.05$); $9 ^\circ C$ 、 $16 ^\circ C$ 和 $22 ^\circ C$ 之间差异不显著 (ANOVA, $P = 0.24, 0.08 > 0.05$)。最小碳需求量变化情况见图 1。图 2 是 4 个实验温度下蛤仔最小碳需求量和软体部干重的关系。从图中可以看出最小碳需求量随蛤仔软体部干重的增加而增加,温度越高其随软体部干重增加的速率越快。最小碳需求量和软体部干重呈幂函数关系 $Y = aX^b$,经计算 b 值在 4 个温度下的值为 0.43 ± 0.12 。

2.2 不同温度和软体部干重下蛤仔的能量收支

实验饵料小球藻的能值经测定为 $23.01 J/mg(POM)$ 。不同温度和软体部干重下蛤仔能量收支见表 1。

由表 1 所示,在 $16 ^\circ C$ 、 $22 ^\circ C$ 和 $26 ^\circ C$ 时,蛤仔生长余力和软体部干重呈幂函数 $Y = aX^b$ 关系, b 值在 4 个温度下为 0.78 ± 0.09 ;在 $9 ^\circ C$,不同软体部干重蛤仔的生长余力间无明显差别。从表 1 中可以看出,吸收能和呼吸能均随软体部干重和温度的增加而增加。不同软体部干重和温度下蛤仔排泄能之间无显著差别。经计算 $9 ^\circ C$ 、 $16 ^\circ C$ 和 $22 ^\circ C$ 时蛤仔呼吸能间无显著差别 (ANOVA, $P = 0.94, 0.23, 0.35 >$

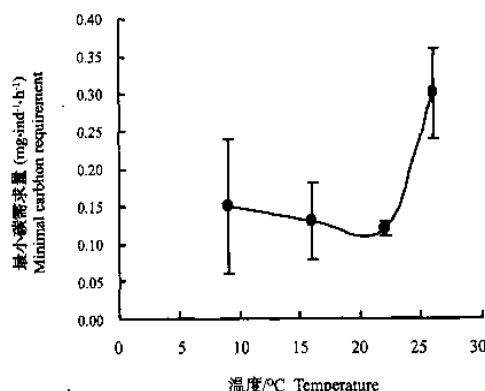


图1 不同温度下单位体重蛤仔的最小碳需求量

Fig.1 Changes of minimal carbon requirement at different temperature in *R. philippinarum*

0.05); 22 °C 和 26 °C 间呼吸能差异显著 (ANOVA, $P = 0.02 < 0.05$)。在不同实验温度下蛤仔生长余力 (SFG) 随软体部干重的增加而增加。在 22 °C 蛤仔生长余力达到最大值; 当温度增加到 26 °C 时, 生长余力的值反而下降, 这是由于 26 °C 时吸收能减少, 而呼吸能明显比 22 °C 时增加; 在 9 °C 时呼吸能超过了吸收能, 这样就导致了在 9 °C 时, 生长余力出现负值。

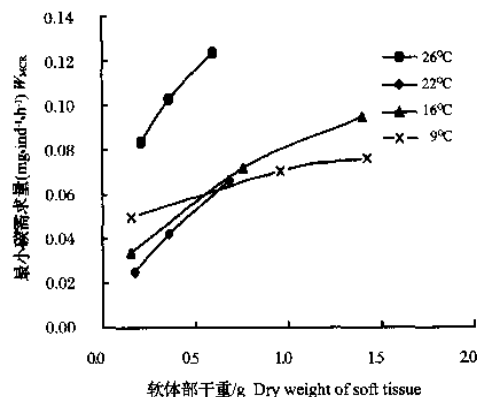


图2 不同体重下蛤仔的最小碳需求量

Fig.2 Changes of minimal carbon requirement with different dry tissue weight in *R. philippinarum*

另外, 从表 1 中可以看出, 16 °C、22 °C 和 26 °C 时总生长效率和个体大小无明显相关性, 而温度对总生长效率 (K_1) 和净生长效率 (K_2) 有明显影响。22 °C 时的生长效率显著大于 26 °C 和 16 °C 时的生长效率 (ANOVA, $P < 0.01$)。

从表 1 中计算 9 °C、16 °C、22 °C 和 26 °C 时能量收支方程中各组分的平均值, 建立不同温度下蛤仔的能量收支方程, 表 2 为各能量收支组分占摄食能的比例。

表1 不同软体部干重、温度下菲律宾蛤仔的能量收支

Table 1 Energy budget of *Ruditapes philippinarum* at different dry tissue weight and temperature

T/°C	W/g	C/(J·h ⁻¹) X ± SD	A/(J·h ⁻¹) X ± SD	F/(J·h ⁻¹)	R/(J·h ⁻¹) X ± SD	U/(J·h ⁻¹) X ± SD	SFG/(J·h ⁻¹) X ± SD	K ₁ /%	K ₂ /%
26	0.21 ± 0.00	11.73 ± 0.46	8.61 ± 1.02	3.12	3.74 ± 0.20	0.32 ± 0.03	4.55 ± 0.98	38.80	52.84
	0.36 ± 0.03	17.02 ± 1.15	12.50 ± 1.56	4.52	4.58 ± 0.20	0.57 ± 0.06	7.34 ± 1.20	43.15	58.77
	0.59 ± 0.03	25.99 ± 0.69	19.08 ± 1.83	6.91	5.51 ± 0.41	0.97 ± 0.07	12.60 ± 1.35	48.47	66.01
22	0.17 ± 0.00	12.42 ± 0.23	9.78 ± 0.96	2.64	1.11 ± 0.20	0.21 ± 0.03	8.46 ± 1.06	68.12	86.54
	0.36 ± 0.04	20.47 ± 0.92	16.11 ± 1.34	4.36	1.89 ± 0.00	0.33 ± 0.04	13.90 ± 1.29	67.88	86.23
	0.68 ± 0.01	28.29 ± 1.38	22.27 ± 2.23	6.02	2.97 ± 0.20	0.49 ± 0.04	18.82 ± 2.01	66.51	84.49
16	0.15 ± 0.09	8.97 ± 0.23	4.96 ± 0.65	4.01	1.52 ± 0.00	0.26 ± 0.03	3.19 ± 0.36	35.52	64.19
	0.76 ± 0.16	15.87 ± 2.76	8.78 ± 1.03	7.09	3.19 ± 0.61	0.48 ± 0.03	5.10 ± 0.53	32.17	58.13
	1.40 ± 0.24	22.08 ± 0.92	12.22 ± 1.24	9.86	4.22 ± 0.81	0.61 ± 0.06	7.38 ± 0.65	33.43	60.41
9	0.15 ± 0.04	2.07 ± 0.00	0.91 ± 0.09	1.16	2.21 ± 0.20	0.07 ± 0.01	-1.37 ± 0.08	-66.38	-151.00
	0.96 ± 0.22	4.37 ± 0.23	1.92 ± 0.26	2.45	3.14 ± 0.20	0.14 ± 0.02	-1.35 ± 0.11	-30.95	-70.41
	1.43 ± 0.35	4.83 ± 0.23	2.12 ± 0.38	2.71	3.38 ± 0.41	0.16 ± 0.02	-1.41 ± 0.15	-29.29	-66.64

注: T - 温度; W - 软体部干重; C - 摄食能; A - 吸收能; F - 粪便能; R - 呼吸能; U - 排泄能; SFG - 生长余力; K₁ - 总生长效率; K₂ - 净生长效率; SD - 标准差

Note: T - Temperature; W - Dry tissue weight; C - Consumption energy; A - Absorption energy; F - Fecal energy; R - Respiration energy; U - Excretion energy; SFG - Scope for growth; K₁ - Gross growth efficiency; K₂ - Net growth efficiency; SD - Standard deviation

表2 不同温度下蛤仔各能量收支占摄食能的比例
Table 2 Proportion of different component of energy budget accounting for ingestion energy of *R. philippinarum* under different temperature

T/℃	F/C	R/C	U/C	SFG/C
9	56.04 ± 1.21	82.84 ± 12.00	3.33 ± 0.10	-42.21 ± 12.09
16	44.66 ± 2.44	18.72 ± 0.95	2.91 ± 0.08	33.71 ± 0.98
22	21.28 ± 0.86	9.55 ± 0.48	1.67 ± 0.03	67.50 ± 0.50
26	26.57 ± 4.41	26.66 ± 3.07	3.29 ± 0.28	43.48 ± 2.80

注: T - 温度; W - 软体部干重; C - 摄食能; A - 吸收能; F - 粪便能; R - 呼吸能; U - 排泄能; SFG - 生长余力; K_1 - 总生长效率; K_2 - 净生长效率; SD - 标准差

Note: T - Temperature; W - Dry tissue weight; C - Consumption energy; A - Absorption energy; F - Fecal energy; R - Respiration energy; U - Excretion energy; SFG - Scope for growth; K_1 - Gross growth efficiency; K_2 - Net growth efficiency; SD - Standard deviation

从表2中可知排泄能(U)占摄食能(C)比例很

小, 大约在3%, 粪便能(F)占摄食能(C)比例较高, 在30%~50%。SFG占摄食能(C)的比例也较高, 不同温度下在30%~60%不等, 9℃下蛤仔SFG为负值, 消耗能大于摄食能。

2.3 饵料浓度对蛤仔能量收支的影响

对不同饵料浓度下, 蛤仔能量收支方程的各项进行了计算, 建立了不同饵料浓度下蛤仔能量收支方程, 计算结果见表3。

从表3中可以看出, 蛤仔单位软体部干重的生长余力(SFG)随饵料浓度的增加而显著增加。在饵料质量浓度较低时[(1.54 ± 0.12) mg/L], 单位软体部干重的生长余力出现负值。不同饵料浓度下在能量收支方程各项中变化幅度最大的是摄食能, 呼吸能和排泄能相对较稳定。这表明饵料浓度对生长余力的影响主要是通过影响摄食率来实现的。表4为不同饵料浓度下各能量收支项占摄食能的比例。

表3 不同饵料浓度下蛤仔的能量收支
Table 3 Energy budget of *R. philippinarum* at different food concentrations J/(g·h), $\bar{X} \pm SD$

项目 Item	饵料质量浓度/[mg(pom)·L ⁻¹] Food concentration			
	1.54 ± 0.12	4.35 ± 0.12	6.94 ± 0.86	10.40 ± 1.28
C	7.34 ± 1.11	67.44 ± 2.56	104.60 ± 3.69	134.69 ± 11.03
A	4.36 ± 0.56	37.32 ± 3.21	56.10 ± 2.23	70.97 ± 2.67
R	7.41 ± 0.97	7.71 ± 1.06	9.81 ± 1.25	10.52 ± 1.24
U	1.27 ± 0.08	1.23 ± 0.35	2.99 ± 0.68	2.60 ± 0.36
SFG	-4.32 ± 0.94	28.38 ± 1.56	43.29 ± 2.24	57.85 ± 2.59

注: C - 摄食能; A - 吸收能; R - 呼吸能; U - 排泄能; SFG - 生长余力; SD - 标准差

Note: C - Consumption energy; A - Absorption energy; R - Respiration energy; U - Excretion energy; SFG - Scope for growth; SD - Standard deviation

表4 不同饵料浓度下蛤仔的能量收支组份占摄食能的比例
Table 4 Proportion of different component of energy budget accounting for ingestion energy of *R. philippinarum* under different food concentrations $\bar{X} \pm SD$

饵料质量浓度/(mg·L ⁻¹) Food concentration	F/C	R/C	U/C	SFG/C
1.54 ± 0.12	41.60 ± 3.46	105.23 ± 2.21	17.31 ± 0.63	-64.14 ± 1.65
4.35 ± 0.12	44.67 ± 1.29	11.43 ± 0.97	1.81 ± 0.16	42.09 ± 0.68
6.94 ± 0.86	47.31 ± 0.61	9.04 ± 1.26	2.76 ± 0.43	40.89 ± 1.23
10.40 ± 1.28	46.37 ± 5.37	8.45 ± 0.64	1.82 ± 0.59	43.36 ± 0.69

注: C - 摄食能; A - 吸收能; R - 呼吸能; U - 排泄能; SFG - 生长余力; SD - 标准差

Note: C - Consumption energy; A - Absorption energy; R - Respiration energy; U - Excretion energy; SFG - Scope for growth; SD - Standard deviation

3 讨论

3.1 能量收支和温度的关系

温度通过影响耗氧率而显著影响着蛤仔单位软体部干重的碳需求量。22℃左右是蛤仔最适温度, 其碳需求量最小, 积累的大部分碳用来生长和繁殖;

26℃时, 蛤仔由于温度不适, 要消耗较大部分的碳量来维持自身的代谢, 结果导致最小碳需求量增加。

从实验结果可以看出, 蛤仔最大的 SFG 出现在 22℃, 而并非是随着温度的升高而持续增加, 生长效率也普遍呈现这种规律。这种规律表明, 在温度变化条件下蛤仔本身具有一定的生理适应性。应注意到, 22℃的 SFG 比 16℃和 9℃时 SFG 的值高, 其主要原因是摄食能随温度升高而明显增加, 同时在 9~22℃时呼吸耗能变化不大, 这样就导致了在温度上升过程中 SFG 的增加, 并在 22℃达到最高值。当温度达到其适宜温度范围之外时, 蛤仔会作出生理调整降低其滤食率, 而这时呼吸率却随温度的升高而急剧增加, 这样就导致生长能量的减少, 这就是实验中当温度达到 26℃时, 蛤仔生长余力降低的原因。如果继续提高温度, 蛤仔 SFG 就会持续减少并出现负增长。这种变化在其他贝类研究也有发现^[3,14]。

在温度较低(9℃)时, 蛤仔的 SFG 出现负值, 和其他温度组相比, 其主要原因是摄食能的急剧减少, 吸收能显著低于其他 3 组。这一现象在其他种类的实验也同样存在^[15-17], 表明在此温度下生物体吸收的能量不足以维持自身物质代谢耗能的需要。如果生物体长时间处于这种状态下, 就会导致 SFG 的持续减少, 并可能由于自身储能消耗殆尽而死亡。

3.2 能量收支和饵料浓度的关系

在实验饵料浓度范围内 SFG 随饵料浓度的增加而增加; 在摄食能、呼吸能、排泄能这几项能量收支组分中, 呼吸能和排泄能随饵料浓度的变化不显著, 摄食能的改变占据主导地位。作者^[9]曾讨论过饵料浓度对摄食率的影响, 即饵料浓度增加到一定值后摄食率会随饵料浓度的增加而减小。同样, SFG 也会随摄食率的改变而变化。Griffiths 和 King^[18]、Thompson 和 Bayne^[19]在研究 *Aulacomya ater* 和紫贻贝 (*Mytilus edulis*) 时发现, 在饵料浓度达到一定水平后, SFG 会随饵料浓度的增加而减小。在自然条件下, 当海区有机颗粒物(如底栖硅藻)的比例较高时, POM 随总颗粒物浓度的增加而增加, 相应地贝类的 SFG 也会随总颗粒物浓度的增加而增加; 当海区无机物比例较高时, POM 的浓度就会在总颗粒物增加的过程中被稀释而降低, 这样 SFG 就随着总颗粒物的增加而减小。这就是虽然有些海区的总颗粒物浓度很高, 但养殖种类生长并不理想的原因之一。

实验中, 温度和饵料浓度对蛤仔能量收支均有显著影响。究竟哪个因子占主导地位尚无定论, 这需要根据实际情况, 结合特定环境条件来进行综合分析。Elvin 和 Gonor^[20]研究发现, 加州贻贝生长的季节变化中, 96% 的影响因素可以用饵料浓度的水平来解释, 而温度变化的影响只占其中的 3%。但这并不意味着温度因素无足轻重, 因为温度并非独立因子, 它的变化可引起一系列环境因子的变化, 例如对饵料数量和质量的影响。作者认为, 在温度适宜情况下, 饵料浓度可能是主导影响因子; 在饵料充足情况下, 温度变化对贝类的生长有较大影响。总之, 饵料浓度和温度这 2 个因素对贝类能量的流动和分配有着十分重要的影响。

参考文献:

- [1] Warren C E, Davis G E. Laboratory studies on the feeding bioenergetics and growth of fish [A]. The Biological Basis of Freshwater Fish Production [C]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1967. 175-214.
- [2] Bayne B L, Thompson R J, Widdows J. Physiology. I [A]. Marine Mussels: Their Ecology and Physiology [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. 121-206.
- [3] Newell R C, Branch C M. The effect of temperature on the maintenance of metabolic energy balance in marine invertebrates [J]. Adv Mar Biol, 1980, 17: 329-396.
- [4] Bayne B L, Worrall C M. Growth and production of mussels, *Mytilus edulis*, from two populations [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1980, 3: 317-328.
- [5] Dame R F. The ecological energies of growth, respiration and assimilation in the intertidal American oyster *Crassostrea virginica* [J]. Mar Biol, 1972, 17: 243-250.
- [6] Widdows J, Donkin P, Evans S V, et al. Scope for growth and contaminant levels in North Sea mussels [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1995, 127: 131-148.
- [7] 常亚青, 王子臣. 皱纹盘鲍的个体能量收支 [J]. 应用生态学报, 1998, 9(5): 511-516.
- [8] 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.
- [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]. 海洋与湖泊, 2000, 31(6): 636-642.
- [10] 王海艳, 薛钦昭, 李军. 饵料浓度对菲律宾蛤仔呼吸和排泄的影响 [J]. 海洋科学, 2001, 25(4): 37-40.
- [11] Klurup D W, Bayne B L, Hawkins A J S. Nutrition in the giant clam *Tridacna gigas* (L.) I. Contribution of filter feeding and photosynthates to respiration and growth [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1992, 155: 105-122.
- [12] Widdows J, Johnson D. Physiological energetics of *Mytilus edulis*: Scope for growth [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1988, 46: 113-

- 121.
- [13] Sprung M. Physiological energetics of mussel larvae (*Mytilus edulis*). IV. Efficiencies [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1984, 18: 179 - 186.
- [14] Newell R C. Biology of intertidal animals [A]. Marine Ecological Surveys [C], Kent: Faversham, 1979.
- [15] Bayne B L, Widdows J. The physiological ecology of two populations of *Mytilus edulis* [J]. L Oecologia, 1978, 37: 137 - 162.
- [16] Shafee M S. Ecophysiological studies on a temperature bivalve *Chenys saira* (L.) from Lanevoc (Bay of Brest) [M]. These de Dr. Es-Sci. Nat., Université de Bretagne Occidentale, France. 1980.
- [17] Vahl O. Seasonal variations in seston and in the growth rate of the Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O. F. Muller) from Balsfjord 70°N [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1980, 48: 195 - 204.
- [18] Griffiths C L, King J A. Some relations between size, food availability and energy balance in the ribbed mussel *Aulacomya ater* [J]. Mar Biol, 1979, 51: 141 - 149.
- [19] Thompson R J, Bayne B L. Some relationships between growth, metabolism and food in the mussel, *Mytilus edulis* [J]. Mar Biol, 1974, 27: 317 - 326.
- [20] Elvin O W, Gonor J J. The thermal regime of an intertidal *Mytilus californianus* Conrad population on the central Oregon coast [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1979, 39: 265 - 279.

Energy budget at different temperature and food concentration in Manila clam *Ruditapes philippinarum*

DONG Bo^{1,2}, LI Jun¹, WANG Hai-yan¹, XUE Qin-zhao¹

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Graduate school, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The Manila clam *Ruditapes philippinarum*, shell length 2.6 - 5.3 cm, were used and the water temperature gradients were designed at 9 °C, 16 °C, 22 °C and 26 °C. *Chlorella* spp. was used as the food and the concentrations were at (1.54 ± 0.12), (4.35 ± 0.12), (6.94 ± 0.86) and (10.40 ± 1.28) mg(POM)/L. The food concentration of (3.14 ± 0.91) mg/L was set for the 'energy budget—soft dry weight' experiment. The ingestion rate IR, clearance rate CR and absorption efficiency AE were measured and the effects of dry tissue weight and temperature on minimal carbon requirements (W_{MCR}) and energy budget were studied. An energy budget equation under different temperature and food concentrations was built. The results show that the W_{MCR} increases with the dry tissue weight (W_D) in Manila clam that the higher the temperature, the higher the increasing velocity, but the W_D has no significant effects on growth efficiencies K_1 and K_2 . The W_{MCR} for unit W_D can be changed by temperature through changing oxygen consumption. Within experimental temperature and food concentrations, the scope for growth (SFG) increases with the increase of food concentrations and water temperatures, but at lower temperature (9 °C) or food concentration [(1.54 ± 0.12) mg/L, 16 °C], the SFG had negative values. In the energy budget equation, the ingestion energy altered more significantly than the energy of consumption with the change of temperature.

Key words: *Ruditapes philippinarum*; temperature; food concentrations; energy budget