

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2012.00275

温度和盐度对中华圆田螺和铜锈环棱螺标准代谢的影响

孙陆宇, 温晓蔓, 禹娜, 陈立侨

华东师范大学 生命科学学院, 上海 200062

摘要: 利用室内模拟实验研究了环境因子(温度和盐度)对中华圆田螺(*Cipangopaludina cathayensis*)和铜锈环棱螺(*Bellamyia aeruginosa*)标准代谢的影响。结果表明, 在 10~35℃ 范围内, 两种螺的耗氧率、CO₂ 排放率和排氮率均随温度的升高而升高, 至 30℃ 达到最大值。从 Q_{10} 值来看, 铜锈环棱螺的代谢水平对水温的响应较中华圆田螺更为敏感。呼吸熵和氧氮比结果表明, 25℃ 时两种螺体内的蛋白质消耗最少, 由此初步判断二者的最适温度在 25℃ 左右。盐度升高至 1.8 时两种螺的耗氧率等代谢指标显著提高, 同时二者对温度变化的敏感性降低。但从动物呼吸熵和氧氮比的测定结果来看, 该盐度下机体仍维持在相对正常的代谢水平。温度和盐度对中华圆田螺代谢活动的影响有显著的交互作用, 但对铜锈环棱螺的影响不显著。此外, 两种螺的代谢率都存在明显的昼夜变化规律, 夜晚的代谢率要显著高于白天。

关键词: 中华圆田螺; 铜锈环棱螺; 温度; 盐度; 昼夜变化; 标准代谢

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2012)02-0275-08

标准代谢是指动物在饥饿、静止不动时的最小代谢率, 是生物能量学的重要研究内容之一^[1]。水产动物的标准代谢研究, 主要是通过分析其耗氧率、CO₂ 排放率和排氮率等, 来确定在不同环境条件下机体的生理反应^[2]。影响生物体代谢率的诸多内、外因素中, 温度是一个重要的环境因子。此外, 由于河口水域经常发生咸潮入侵现象, 生活在该水域的动物也易受到盐度波动的影响^[3]。

中华圆田螺(*Cipangopaludina cathayensis*)俗称田螺, 铜锈环棱螺(*Bellamyia aeruginosa*)俗称螺蛳, 二者皆为中国常见的淡水底栖动物, 广泛分布于淡水及咸淡水交汇的河口等水域, 适应性强, 对干燥及寒冷有较强的抵御能力。已有研究表明, 铜锈环棱螺等腹足类可通过摄食活动来抑制蓝藻的数量, 从而降低水体的营养盐水平^[4-5], 有效改善水体的环境质量。有学者在长江口等水域尝试

投放中华圆田螺、铜锈环棱螺, 及其他水生生物以修复水域环境^[6], 这对于生态系统的稳定和维持都有积极的意义。迄今有关环境因子对软体动物能量代谢的影响已有一些报道^[7-8], 但对于螺类, 尤其是中华圆田螺、铜锈环棱螺等常见种的报道较少。两种螺类分别为田螺属和环棱螺属, 二者在标准代谢水平和适应环境变化能力方面的差异值得探讨, 以便为在控制水体富营养化和生态修复时选择合适的螺类提供依据。本文研究了温度和盐度对两种螺类标准代谢的影响, 了解其新陈代谢规律和变化特点, 以期丰富螺类的代谢生理知识, 并可为河口等水域生态修复的实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用的中华圆田螺(*Cipangopaludina catha-*

收稿日期: 2011-08-10; 修订日期: 2011-10-23.

基金项目: 上海市科委重大项目(09DZ120010A; 08DZ1203101; 08DZ1203102); 浙江省重大科技专项(优先主题)农业项目(2008C12009); 浙江温州市温瑞塘河水系渔业生态修复项目部分资助。

作者简介: 孙陆宇(1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 水生态学. E-mail: looyosun@163.com

通信作者: 陈立侨, 教授. E-mail: lqchen@bio.ecnu.edu.cn

yensis) 和铜锈环棱螺 (*Bellamya aeruginosa*) 于 2010 年 4 月购自上海市曹安路水产市场, 取回后用软刷除去螺体表面的污物, 于华东师范大学生物站的水族箱(60 cm×50 cm×70 cm)内常温条件下暂养 2 d, 期间持续充气, 盐度为 0.3。挑取大小相似, 健康无损伤的个体进行试验, 试验动物的具体生物学参数见表 1。

表 1 实验用螺的生物学参数

Tab.1 Biological measurement of experimental animals

生物学参数 biological measurement	n=200; $\bar{x} \pm SD$	
	中华圆田螺 <i>C. cathayensis</i>	铜锈环棱螺 <i>B. aeruginosa</i>
壳高/mm shell height	43.07 ± 2.22	2.33 ± 0.16
壳宽/mm shell width	31.73 ± 1.22	1.54 ± 0.12
软体干重/g soft tissue dry weight	0.8790 ± 0.1720	0.2556 ± 0.0380
壳干重/g shell dry weight	3.8337 ± 0.1820	1.4087 ± 0.1411

1.2 实验方法

1.2.1 实验设计 共设置 10、15、20、25、30℃ 和 35℃ 6 个温度梯度, 各温度处理组又设 0.3(淡水)和 1.8 盐度组^[3], 每个处理均有 3 个重复, 并设 1 个空白对照以校正“水呼吸”所造成的误差。各处理组日升温的幅度不超过 2℃, 至设计温度后, 再驯养 3 天后才开始实验。本实验采用静水式呼吸室, 以 2.5 L 的广口瓶作为代谢瓶, 每瓶放入 3 只中华圆田螺或 5 只铜锈环棱螺, 随后用液体石蜡密封。测定分别于每天的 6:00、12:00、18:00 和 24:00 进行, 每次持续 2 h, 分别测定实验前、后水中的溶解氧(DO)、CO₂ 以及氨氮(NH₃-N)含量, 然后取 4 个时间点的平均值进行分析。

1.2.2 测定指标及方法 溶氧的测定采用 HACH 公司的 HQ30D 型溶氧仪(实验前使用 Winkler 碘量法^[9]校正), CO₂ 的测定采用 NaOH 滴定法, NH₃-N 则采用奈氏比色法^[9]。实验结束后测定螺的生物学参数, 用游标卡尺测量壳高和壳宽, 将软体部和螺壳置于 80℃ 干燥箱内烘干, 用 FA1604A 型电子天平称重。

1.2.3 计算方法

(1)根据实验前后呼吸瓶内的 DO、CO₂ 和 NH₃-N 含量, 按照下列公式计算其耗氧率、CO₂ 排放率、和排氮率^[10-11]:

$$OR = [(DO_0 - DO_t) V] / (wt)$$

$$CR = [(C_0 - C_t) V] / (wt)$$

$$NR = [(N_0 - N_t) V] / (wt)$$

式中, OR 为单位体质量耗氧率[mg/(g·h)], CR 为单位体质量 CO₂ 排放率[mg/(g·h)], NR 为单位体质量排氮率[mg/(g·h)]; DO₀ 和 DO_t 分别为实验开始和结束时水中溶解氧含量(mg/L), C₀ 和 C_t 分别为实验开始和结束时水中二氧化碳浓度(mg/L), N₀ 和 N_t 分别为开始和结束时水中氨氮的浓度(mg/L); V 为呼吸瓶中水的体积(L), w 为实验螺的干重(g), t 为试验时间(h)。

(2)呼吸熵^[12]、氧氮比的计算

$$Q = CR/OR \quad O : N = (OR/16)/(NR/17)$$

式中, Q 为呼吸熵, O : N 为呼吸氧原子数与排出氨态氮原子数的比值, OR、CR、NR 分别为单位体质量的耗氧率、CO₂ 排放率和排氮率。

(3)代谢率的计算

根据 Brafeld 法估算能量代谢率

$$R_{EB} = 11.8OR + 2.61CR - 9.55NR$$

式中, R_{EB} 为代谢率[J/(g·h)], OR、CR、NR 分别为单位体质量的耗氧率、CO₂ 排放率和排氮率。

(4)Q₁₀ 的计算 生物体的代谢强度对温度变化的反应程度一般利用温度系数 Q₁₀ 表示

$$Q_{10} = (M_2/M_1)^{10/(t_2-t_1)}$$

式中, Q₁₀ 为代谢对温度变化的反应程度, M₁ 和 M₂ 分别为试验开始(t₁)和实验结束(t₂)时两种螺的代谢率。

1.3 数据分析方法

实验结果用 Excel2003 和 SPSS17.0 进行处理, 数据采用双因素方差分析, 置信限设定为 95%。

2 结果与分析

2.1 温度对两种螺标准代谢的影响

2.1.1 温度对螺呼吸代谢的影响 温度对中华圆田螺和铜锈环棱螺耗氧率的影响见图 1。可以看出, 当盐度相同时, 温度变化对两种螺耗氧率的影响

较大。盐度 0.3 时, 中华圆田螺在 10~35℃ 范围内, 耗氧率的变化为 0.451~1.328 mg/(g·h), 平均值为 0.948 mg/(g·h); 而铜锈环棱螺的耗氧率在 0.253~0.815 mg/(g·h) 之间, 平均值为 0.561 mg/(g·h)。水温为 10℃ 时, 二者的耗氧率都较低。随着温度的升高, 耗氧率逐渐升高, 并在 30℃ 时达到最大值。当水温继续升高时, 两种螺的耗氧率均呈下降趋势, 35℃ 时的耗氧率分别比 30℃ 时下降了 0.155 mg/(g·h) 和 0.093 mg/(g·h)。以温度为分组变量, 经单因素分析后得知, 温度对淡水组该两种螺的耗氧率的影响均为极显著 ($P < 0.01$)。盐度 1.8 下两种螺耗氧率的变化与淡水处理组相似。

温度对两种螺 CO_2 排放率影响的变化趋势与耗氧率类似(图 2)。淡水中中华圆田螺的 CO_2 排放率在 10℃ 时最低, 为 0.495 mg/(g·h), 30℃ 达到峰值 1.305 mg/(g·h), 水温升至 35℃ 时排放率下降到 1.155 mg/(g·h), 平均值为 0.940 mg/(g·h); 而铜锈环棱螺在 10~30℃ 时 CO_2 排放率从 0.270 mg/(g·h) 升至 0.786 mg/(g·h), 在 35℃ 时又下降至 0.709 mg/(g·h), 平均值为 0.544 mg/(g·h)。单因素分析的结果表明, 温度对中华圆田螺和铜锈环棱螺的 CO_2 排放率影响极显著 ($P < 0.01$)。两种螺在 1.8 的

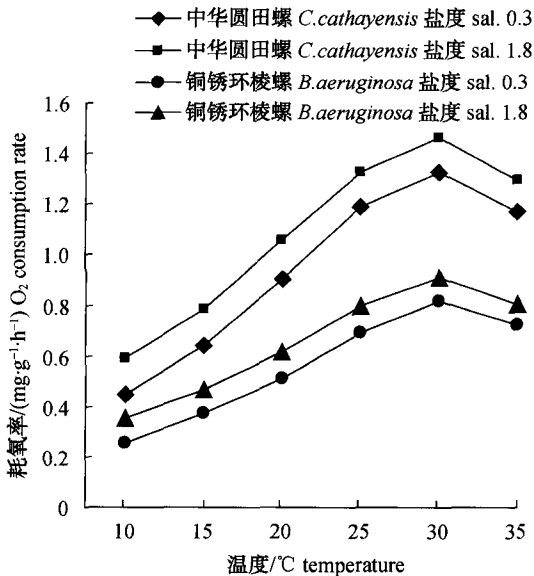


图 1 温度对中华圆田螺和铜锈环棱螺耗氧率的影响
Fig.1 Influence of water temperature on O_2 consumption rates of *Cipangopaludina cathayensis* and *Bellamya aeruginosa*

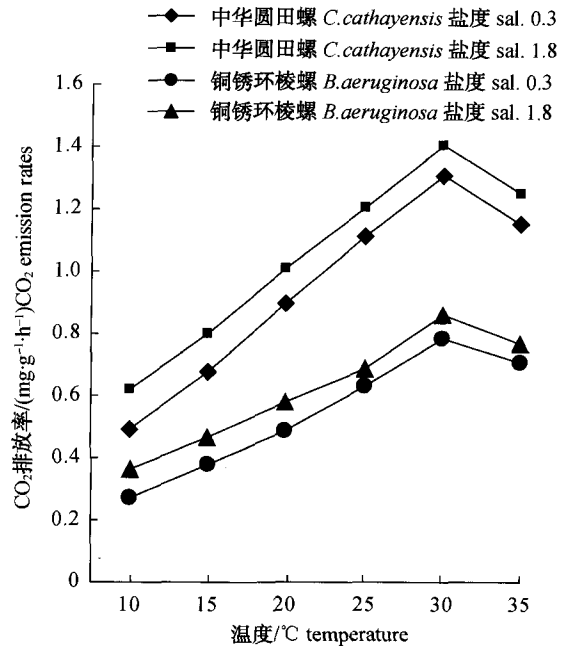


图 2 温度对中华圆田螺和铜锈环棱螺 CO_2 排放率的影响
Fig.2 Influence of water temperature on CO_2 emission rates of *C. cathayensis* and *B. aeruginosa*

盐度条件下 CO_2 排放率的变化情况与淡水处理组类似。

2.1.2 温度对两种螺排氨率的影响 温度对中华圆田螺和铜锈环棱螺排氨率的影响如图 3 所示。从图中可以看出, 在 10~30℃ 水温范围内的同一盐度下, 中华圆田螺和铜锈环棱螺的排氨率均随着温度的升高而提高, 至 30℃ 时达到最大值; 升至 30~35℃ 时, 二者的排氨率随水温的升高而下降。以淡水组为例, 10℃ 时中华圆田螺和铜锈环棱螺的排氨率最低, 分别为 0.089 mg/(g·h) 和 0.061 mg/(g·h); 温度升至 30℃ 时最大, 分别为 0.224 mg/(g·h) 和 0.180 mg/(g·h); 而 35℃ 时的排氨率又降到了 0.205 mg/(g·h) 和 0.160 mg/(g·h)。单因素方差分析的结果, 温度对二种动物排氨率的影响均达到极显著水平 ($P < 0.01$)。

2.1.3 温度对两种螺呼吸熵、氧氮比和代谢率的影响 淡水组中华圆田螺和铜锈环棱螺呼吸熵、氧氮比和代谢率如图 4 所示。从图中可知, 随着温度的升高, 二者的呼吸熵均逐渐减小, 并在 25℃ 时最低, 分别为 0.680 和 0.665, 升至 30~35℃ 时又有所回升。经单因素方差分析得知, 温度对二

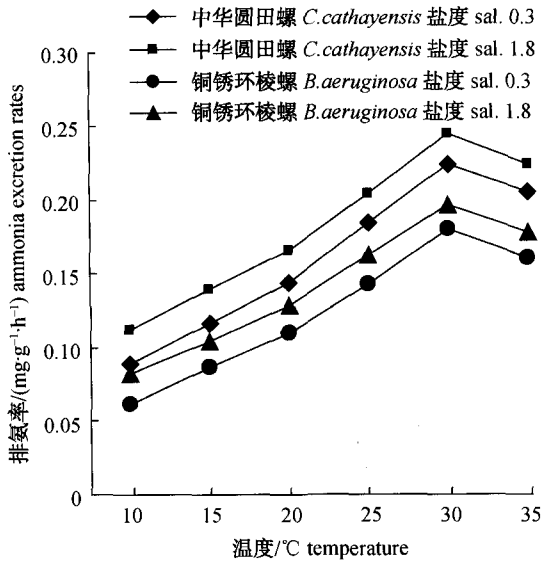


图 3 温度对中华圆田螺和铜锈环棱螺排氨率的影响
Fig.3 Influence of water temperature on ammonia excretion rates of *Cipangopaludina cathayensis* and *Bellamyia aeruginosa*

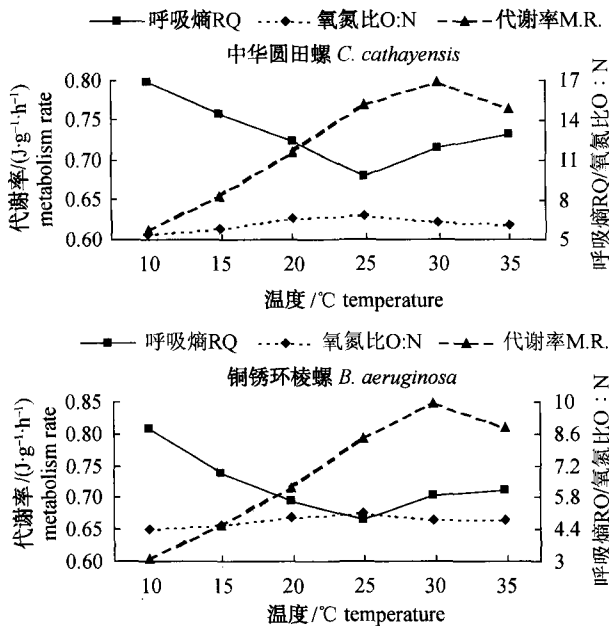


图 4 盐度为 0.3 时温度对两螺呼吸熵、氧氮比和代谢率的影响
Fig.4 Influence of water temperature on respiratory quotient, O:N and metabolism rate of two gastropods under 0.3 salinity

者呼吸熵的影响为极显著($P < 0.01$)。随着温度的升高, 两螺的氧氮比均随之增加, 并在 25°C 时均达到最大值, 分别为 6.833 和 5.135; 温度高于 25°C 时, 其氧氮比均随温度的升高而减少。而二者的

代谢率与温度也存在类似的关系, 但是二者的代谢率都在 30°C 时达到峰值, 为 16.935 和 9.926。分析后得出, 温度对二者的氧氮比和代谢率的影响均为极显著($P < 0.01$)。

2.1.4 温度对两种螺代谢率的影响强度(Q_{10}) 两种螺的代谢率的温度影响强度(Q_{10})的计算结果如表 2 所示, 水温为 10~35°C, 淡水组中华圆田螺和铜锈环棱螺的 Q_{10} 平均值分别为 1.55 和 1.61; 1.8 盐度组两种螺的 Q_{10} 平均值分别为 1.43 和 1.45。

表 2 温度对两种螺代谢率的影响强度(Q_{10})
Tab.2 Influence intensity (Q_{10}) of water temperature on metabolism rate of two gastropods

温度/°C temperature	中华圆田螺 <i>C. cathayensis</i>		铜锈环棱螺 <i>B. aeruginosa</i>	
	0.3	1.8	0.3	1.8
10~15	2.04	1.77	2.17	1.74
15~20	1.99	1.83	1.88	1.78
20~25	1.70	1.54	1.82	1.61
25~30	1.25	1.22	1.39	1.34
30~35	0.77	0.78	0.79	0.77
平均 average	1.55	1.43	1.61	1.45

2.2 盐度对两种螺标准代谢的影响

从图 1-图 3 可以看出, 同一温度下, 随着盐度的增加, 中华圆田螺和铜锈环棱螺的耗氧率、CO₂ 排放率和排氨率均有一定程度的升高, 盐度对两种螺呼吸和排泄的影响极显著($P < 0.01$)(表 3)。

将同一盐度条件下 10~35°C 的各代谢指标求平均后, 录入表 3。从该表中可以看出, 中华圆田螺除呼吸熵外, 其余各代谢指标均盐度的升高而升高, 盐度变化显著影响了机体的耗氧率、CO₂ 排放率、排氨率、代谢率和氧氮比($P < 0.01$), 但对呼吸熵的影响不明显。1.8 盐度组中, 温度对该螺的 Q_{10} 值也较 0.3 组的有所下降(表 2)。

铜锈环棱螺的情况跟前者有所类似, 盐度升高导致呼吸熵值下降, 其余各代谢指标均升高。盐度对铜锈环棱螺的耗氧率、CO₂ 排放率、排氨率和代谢率影响极显著, 但对呼吸熵和氧氮比的影响均不显著。如表 2 所示, 随水体盐度的升高, 铜锈环棱螺的 Q_{10} 值也有所下降。

表 3 盐度对两种螺各代谢指标的影响
Tab.3 Influence of salinity alternation on metabolic indexes of two gastropods

盐度 salinity	中华圆田螺 <i>C. cathayensis</i>					
	耗氧率/(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) O ₂ consumption rates	CO ₂ 排放率/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) CO ₂ emission rates	排氨率/(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) ammonia excretion rates	呼吸熵 respiratory quotient	O:N	代谢率/(J·g ⁻¹ ·h ⁻¹) metabolism rate
0.3	0.948±0.009	0.940±0.010	0.161±0.002	0.721±0.015	6.256±0.018	12.102±0.061
1.8	1.087±0.007	1.048±0.012	0.182±0.002	0.701±0.001	6.346±0.017	13.824±0.113
盐度 salinity	铜锈环棱螺 <i>B. aeruginosa</i>					
	耗氧率/(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) O ₂ consumption rates	CO ₂ 排放率/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) CO ₂ emission rates	排氨率/(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) ammonia excretion rates	呼吸熵 respiratory quotient	O:N	代谢率/(J·g ⁻¹ ·h ⁻¹) metabolism rate
0.3	0.572±0.010	0.544±0.010	0.124±0.003	0.692±0.013	4.914±0.134	6.984±0.123
1.8	0.658±0.011	0.621±0.010	0.139±0.004	0.687±0.022	5.028±0.064	8.054±0.060

2.3 温度和盐度对两种螺标准代谢的交互作用

10~35℃范围内,对两种螺的耗氧率等代谢指标与温度、盐度的关系进行了双因子方差分析,结果表明,温度和盐度对中华圆田螺代谢率各项指标的影响中,除了呼吸熵外,对其他 5 项指标都有显著的交互影响($P<0.05$);但仅对铜锈环棱螺的耗氧率和排氨率有显著的影响($P<0.05$)(表 4)。

2.4 昼夜变化对两种螺代谢率的影响

图 5 显示,当水温 25℃,淡水组两种螺代谢率均表现出一定的昼夜变化规律:以 24:00 的代谢率最高,其次为 18:00;12:00 的代谢率最低,动物白天的代谢强度明显低于夜间。对昼夜代谢率进行单因素的方差分析表明,昼夜间两种螺的代谢率变化极显著($P<0.01$)。

3 讨论

3.1 温度对两种螺标准代谢和利用能源物质的影响和其他水生无脊椎动物相似,腹足类属变温

动物,温度的波动是引起腹足类生理变化的重要因子之一。随着温度的升高,体内的各种生理、生化反应速度会相应加快。已有研究表明,在适宜的温度范围内,腹足类的耗氧率、排氨率等指标随温度的升高而提高,但超出这个范围会出现异常的变化^[13-14]。

在 10~35℃的水温范围内,中华圆田螺和铜锈环棱螺的耗氧率、CO₂ 排放率、排氨率和代谢率均随着温度的升高而增加,并在 30℃时到达峰值;温度继续直升至 35℃时,上述 4 个指标均有所降低,且温度对上述指标的影响为极显著。这与有关学者对扁玉螺(*Neverita didyma*)^[15]、方斑东风螺(*Babylonia areolata*)^[16]、脉红螺(*Rapana venosa*)^[17]的研究结果类似,但与 Cheung 和 Lam^[18]对颗粒织纹螺(*Nassarius festivus*)的研究结果有所不同,该试验表明,在 20~35℃范围内,颗粒织纹螺的耗氧率等随着温度的提高而升高,提示不同种类的适宜温度和适应能力有所不同。从本实验的结果来看,35℃显然已经超过了中华

表 4 温度和盐度对两种螺代谢率的影响分析
Tab.4 ANOVA analysis of temperature and salinity on metabolism of two gastropods

方差来源 variance source	代谢指标 metabolic index	中华圆田螺 <i>C. cathayensis</i>		铜锈环棱螺 <i>B. aeruginosa</i>	
		F	P	F	P
温度×盐度 temperature ×salinity	耗氧率 O ₂ consumption rates	2.877	0.036	2.970	0.032
	CO ₂ 排放率 CO ₂ emission rates	3.312	0.020	1.194	0.342
	排氨率 ammonia excretion rates	18.844	0.000	2.865	0.036
	呼吸熵 respiratory quotient	0.669	0.651	1.293	0.300
	氧氮比 O:N ratio	13.822	0.000	0.397	0.846
	代谢率 metabolism rate	4.096	0.008	1.035	0.420

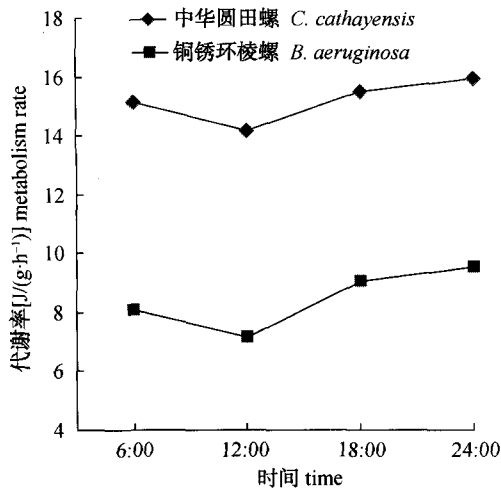


图 5 昼夜变化对两种螺代谢率的影响

Fig.5 Influence of diurnal fluctuation on metabolism rates of two gastropods

圆田螺和铜锈环棱螺的适宜温度。

通常用 Q_{10} 来反应生物体对温度变化的敏感程度, Q_{10} 值越高, 说明动物对温度变化的反应越敏感。一般来说, 腹足类 Q_{10} 为 1.2~4.3, 且大多低于或接近于 2.0^[19]。本研究发现, 淡水条件下, 中华圆田螺和铜锈环棱螺 Q_{10} 的平均值分别为 1.52 和 1.61, 且二者的 Q_{10} 随着温度的升高而减小, 说明在较高温下, 这两种螺的代谢率受温度的影响程度有所减弱。这有利于动物体调节代谢水平, 以积蓄必要的能量来适应环境温度的变化, 与广温性生物的适应策略是一致的。上述结果与扁玉螺的情况相似, 但与栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)^[20]不尽相同。与铜锈环棱螺相比, 中华圆田螺对温度变化的敏感度较低, 提示其对温度变化的适应能力较强。

和其他动物一样, 螺类为维持生命活动需要的能量, 主要来自于体内营养物质的氧化。体内各种营养成分在氧化时的呼吸熵不同, 变幅在 0.7~1, 蛋白质为 0.8, 脂肪 0.7, 糖类 1.0^[12], 因此可以根据呼吸熵值的大小来判断二者所利用的主要能源物质。本研究发现, 在 10~25℃ 的温度范围内, 中华圆田螺的呼吸熵从 10℃ 时的 0.799, 降低至 25℃ 时的最低值 0.680, 说明随着温度的升高, 该螺从消耗糖类和蛋白质为主, 逐渐转化为以利用脂肪为主。水温超过 25℃ 后, 呼吸熵又回升至

0.7 以上, 提示 30~35℃ 时, 动物体内蛋白质和糖类的消耗比例又有所提高。水温对铜锈环棱螺呼吸熵的影响情况与中华圆田螺类似。

氧氮比(O:N)表示生物体内蛋白质与脂肪和碳水化合物分解代谢的比率。O:N 值受环境因子的影响较大。Widdows^[21]认为, 尽管 O:N 值的变化还未表现出对生物体的生长有直接影响, 但很多迹象表明 O:N 值是与环境对有机体的压力紧密相关的, 并且可以作为生物体适应环境压力的一项指标。已有研究表明, O:N 比值大, 表明动物消耗的能量多由脂肪和糖类提供^[22-24]。

生物在正常生长期间, 随着体内蛋白质的不断积累, 此时对蛋白质的代谢会相对较低, 维持基本生命活动所需的大部分能量由脂肪和糖类提供, 而根据上述呼吸熵和氧氮比的分析可得知, 中华圆田螺和铜锈环棱螺体内的蛋白质均在 25℃ 时消耗最小, 糖类或脂肪消耗最大, 据此可以初步推断, 两种螺的适宜生长温度在 25℃ 左右。刘其根等^[25]、董志国^[26]等对 3 种淡水螺和三角帆蚌等的研究结果验证了这一点。

3.2 盐度对两种螺标准代谢和能源物质的影响

盐度也是影响中华圆田螺、铜锈环棱螺等水生动物生存的主要环境因素之一, 其变化会导致生物体内外渗透压的变化, 进而影响其生理代谢活动^[27]。目前盐度对无脊椎动物生长发育影响的研究主要集中在虾、蟹、文蛤等养殖动物上^[28], 而关于对淡水螺类代谢影响的研究较少。从本试验结果来看, 咸淡水中两种螺的耗氧率、CO₂ 排放率、排氨率和代谢率较淡水来说均有显著提高。可能原因是, 中华圆田螺和铜锈环棱螺均属淡水种类, 盐度升高改变了机体自身的渗透压平衡, 动物需要消耗额外的能量来调节渗透压, 从而导致代谢率提高。在一定的盐度范围内, 对角蝶螺(*Turbo cornutus*)^[14]、方斑东风螺(*Babylonia areolata*)^[29]、贻贝(*Mytilus edulis*)^[30]等的研究显示, 受试生物的耗氧率等代谢指标随着盐度的升高而增加, 达到峰值之后, 相应的代谢指标则随之下降, 说明螺类对盐度变化有一定的适应范围。

从盐度变化对氧氮比和呼吸熵的影响可以看

出, 1.8 范围内的盐度变化(遭遇咸潮入侵时)对铜锈环棱螺影响不显著, 该盐度下铜锈环棱螺能维持在相对正常的代谢水平。盐度的提高仅影响了中华圆田螺的氧氮比大小, 而呼吸熵值均没有大变化。相对而言, 铜锈环棱螺对该盐度的适应性更强一些。

另外, 温度和盐度对中华圆田螺的代谢有显著的综合效应, 但对铜锈环棱螺的影响不大。这主要是由于动物的代谢水平对温-盐组合的反应存在种间差异^[31]。盐度的增加使得两种螺的 Q_{10} 降低, 说明在该盐度下, 这两种生物对温度变化的敏感性降低, 这有利于机体在调节体内外渗透压平衡的同时, 减少能量散失, 从而更好地适应外界环境的变化。

3.3 昼夜变化对两螺标准代谢的影响

中华圆田螺和铜锈环棱螺的代谢率均表现出夜晚高, 白天低的情况, 即 24:00 时代谢率最高, 18:00 时次之, 12:00 时最低的规律。动物的新陈代谢水平随着昼夜交替而发生的规律性变化为生物节律性行为之一^[32]。Rosas 等^[33]、Natará^[34]认为, 这种变化是由盐度、温度、摄食和光周期等的变化所控制, 而 Childress^[35]则认为, 动物代谢的昼夜变化主要与水体中溶解氧浓度的日变化以及动物为消除溶解氧竞争而采取的生存策略有关。中华圆田螺和铜锈环棱螺同属底栖动物, 主要生活在江河、湖泊、池塘的泥沙中, 白天栖息, 晚上进行摄食活动, 机体的代谢率随之升高, 这与其他底栖动物如管角螺(*Hemifusus tuba*)^[35]等的研究是一致的。

致谢: 感谢本学科组姜晓东副教授对文章和英文摘要修改提供的意见和建议。

参考文献:

- [1] Jobling M. Fish Ecophysiology. Bioenergetics: Feed Intake and Energy Partitioning[M]. London: Chapman and Hall, 1993: 1-4.
- [2] 廖志洪, 林小涛, 王春, 等. 黄颡鱼仔、稚、幼鱼耗氧率及氨氮排泄率的初步研究[J]. Ecologic Science, 2004, 23(3): 223-226.
- [3] 茅志昌, 沈焕庭, 肖成猷. 长江口北支盐水倒灌南支对青

- 草沙水源地的影响[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(1): 58-66.
- [4] 潘洁慧, 陆开宏. 铜锈环棱螺对微囊藻的摄食及其毒素积累研究[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2008, 21(4): 479-484.
- [5] 朱苗骏, 柏如法, 张彤晴, 等. 不同密度铜锈环棱螺对水体环境影响效果的研究[J]. 淡水渔业, 2004, 34(6): 31-33.
- [6] 上海市海洋局. 2004 年上海海洋环境质量公报[R]. 上海, 2004.
- [7] 王俊, 姜祖辉, 唐启升. 栉孔扇贝耗氧率和排泄率的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1157-1160.
- [8] Bayne B L, Newell R C. Physiological energetics of marine mollusks[M]. New York: Academic Press, 1983: 407-515.
- [9] 陈佳荣. 水化学实验指导书[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 120-139.
- [10] Chen L, Heath A G, Gicard J N. Comparison of oxygen consumption in freshwater mussels(Unionidae) from different habitats during declining dissolved oxygen concentration[J]. Hydrobiologia, 2001, 450: 201-214.
- [11] Zotin A A, Vladimirova I G. Respiration Rate and Species-Specific Life span in Freshwater Bivalves of Margaritiferidae and Unionidae Families Biology Bulletin, 2001, 28(3): 273-279.
- [12] 周衍椒, 张镜如. 生理学(第三版)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1983: 254-258.
- [13] 张许峰, 吴小平, 欧阳珊, 等. 四种淡水贝的摄食率和耗氧率的实验研究[J]. 海洋湖沼通报, 2008(3): 144-154.
- [14] 樊甄蛟, 吴常文. 皇甫淑燕. 温度、盐度、pH 对角螺螺排氨率的影响[J]. 渔业现代化, 2007, 34(3): 10-12
- [15] 王资生, 彭斌. 温度和规格对扁玉螺耗氧率和排氨率的影响[J]. 盐城工学院学报, 2003, 16(4): 50-54.
- [16] 刘建勇, 邓兴朝, 绍杰. 体重和温度对方斑东风螺耗氧率和排氨率的影响[J]. 中国水产科学, 2005, 25(3): 239-244.
- [17] 叶安发, 周一兵, 代智能, 等. 温度和体重对脉红螺呼吸和排泄的影响[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(5): 364-369.
- [18] Cheung S G, Lam S W. Effect of salinity, temperature and acclimation on oxygen consumption of *Nassarius festivus* Powys 1835(Gastropoda:Nassariidae)[J]. Compar Biochem Physiol, 1995, 111A: 625-631.
- [19] 常亚青, 王子臣. 贝类生物能量学研究进展[J]. 海洋科学, 1996, 20(6): 25-29.
- [20] 王俊, 姜祖辉, 唐启升. 栉孔扇贝耗氧率和排氨率的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1157-1160.
- [21] Widdows J. Physiological in dices of stress in *Mytilus edulis*[J]. J Mar Biol Assoc U K, 1978, 58: 125-142.
- [22] 杨红生, 张涛, 王萍, 等. 温度对墨西哥湾扇贝耗氧率及排氨率的影响[J]. 海洋学报, 1998, 20(4): 91-96.
- [23] 姜祖辉, 王俊, 唐启升. 菲律宾蛤仔生理生态学[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(1): 40-44.
- [24] 王俊, 姜祖辉, 唐启升. 栉孔扇贝耗氧率和排氨率的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1157-1160.

- [25] 刘其根, 石双玉, 沈和定, 等. 体重和温度对三种常见淡水螺耗氧率的影响[J]. 水产科技情报, 2005, 32(6): 265-268.
- [26] 董志国, 李家乐, 王美珍, 等. 规格和温度对三角帆蚌耗氧率的影响[J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(1): 47-51.
- [27] 刘勇, 施坤涛, 张少华, 等. 双壳贝类呼吸代谢的研究进展[J]. 南方水产, 2007, 3(4): 65-69.
- [28] 袁春营, 崔青曼. 盐度影响水产养殖动物生长发育的研究进展[J]. 水产科学, 2004, 23(5): 41-42.
- [29] 刘建勇, 绍杰, 卓健辉. 盐度对方斑东风螺耗氧率和排氨率的影响[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(4): 35-40.
- [30] Devenport J, Fletcher J S. The effects of simulated estuarine mantle cavity conditions upon the activity of the frontal gill of *Mytilus edulis*[J]. J Mar Bio Assoc UK, 1978, 58: 671-681.
- [31] 林小涛, 张秋明, 许忠能, 等. 虾蟹类呼吸代谢研究进展[J]. 水产学报, 2000, 24(6): 575-580.
- [32] 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, 2002, 21(1): 72-77.
- [33] Rosas C, Vanegas C, Alcaraz G, et al. Effect of eyestalk ablation on oxygen consumption of *Callinectes similis* exposed to salinity changes[J]. Compar Biochem Physiol, 1991, 100: 75-80.
- [34] Natarajan P. Persistent locomotor rhythmicity in the prawns *Penaeus indicus* and *P. mondon*[J]. Mar Biol, 1989, 101: 339-346.
- [35] Childress J J. The effect of pressure, temperature and oxygen on the consumption rate of the midwater copepod *Grausissia princeps*[J]. Mar Biol, 1997, 39: 19-24.
- [36] 罗杰, 刘楚吾, 李锋, 等. 管角螺窒息点及昼夜代谢规律[J]. 应用生态学报, 2008, 19(9): 2092-2096.

Influence of water temperature and salinity on standard metabolism of *Cipangopaludina cathayensis* and *Bellamya aeruginosa*

SUN Luyu, WEN Xiaoman, YU Na, CHEN Liqiao

School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China

Abstract: Little is known about the biogenetics of gastropods. To address this, we measured the standard metabolic rate (SMR) of *C. cathayensis* and *B. aeruginosa* at different water temperatures, salinities, and time regimes. We measured SMR every 6 h using the bottle-incubation method. Individuals were incubated at six temperatures (from 10 to 35 °C) and two salinity levels (0.3 and 1.8), to simulate saltwater intrusion. The O₂ consumption rate, ammonia excretion rate, and CO₂ emission rate of the two gastropods were significantly affected by water temperature ($P < 0.01$). The body temperature of *C. cathayensis* and *B. aeruginosa* varied significantly with changes in temperature and salinity, causing changes in enzyme activity. We calculated the Q_{10} , O:N, and the respiratory using the O₂ consumption rate, ammonia excretion rate, and CO₂ emission rate. These indices can be used to indicate energy sources *in vivo* and provide insight into how individuals cope with environmental changes. The ratio of O:N and the respiratory quotient, indicators of protein consumption, were lowest at 25 °C suggesting this is the optimal temperature for *C. cathayensis* and *B. aeruginosa*. The Q_{10} values suggest that *C. cathayensis* is more adaptable than *B. aeruginosa* to changes in temperature. Increases in salinity were associated with an increase in metabolism (e.g., O₂ consumption and CO₂ emission) due to the extra energy required for regulation of ionic equilibrium. The reduced sensitivity towards changes in temperature suggests that these gastropods are minimizing energy consumption during changes in temperature, thus preserving energy for ionic homeostasis. The metabolic activity of *C. cathayensis*, but not *Bellamya aeruginosa*, was significantly affected by the interaction between temperature and salinity. The metabolic rate of both gastropods fluctuated diurnally, being higher during the night. This likely reflects the diurnal pattern of activity in both species, which tend to feed and compete for dissolved O₂ during the night.

Key words: *Cipangopaludina cathayensis*; *Bellamya aeruginosa*; water temperature; salinity; diurnal fluctuation; standard metabolism

Corresponding author: CHEN Liqiao. E-mail: lqchen@bio.ecnu.edu.cn