

温度变化对虾夷扇贝耗氧率和排氨率的影响

徐东^{1,2}, 张继红², 王文琪¹, 杜美荣², 任黎华^{1,2}, 王忠¹

(1. 青岛农业大学 动物科技学院, 山东 青岛 266109; 2. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 为探索虾夷扇贝 (*Datinopecten yessoensis*) 夏季大量死亡的生理原因, 模拟虾夷扇贝筏式养殖区夏季水温变化情况, 采用室内控温实验, 研究了温度剧烈和缓慢变化对虾夷扇贝耗氧率和排氨率的影响及其影响的差异性。实验设置 10℃、15℃、20℃、25℃ 4 个温度梯度, 设计温度骤变 (每小时升温 5℃) 和温度缓变 (每天升温 1℃) 2 种温度处理方式, 测定升温前后耗氧率和排氨率。结果显示, 温度变化对虾夷扇贝耗氧率和排氨率影响显著 ($P < 0.05$)。温度缓变组耗氧率变化范围为 1.910 ~ 2.722 mg/(g·h), 排氨率变化范围为 1.499 ~ 5.003 μm/(g·h), 耗氧率 (OR) 和排氨率 (NR) 与温度 (T) 之间的相关方程为 $OR = 2.303 + 0.425T - 0.133T^2$ ($R^2 = 0.941$) 和 $NR = -1.536 + 4.384T - 0.893T^2$ ($R^2 = 0.435$)。温度骤变组耗氧率和排氨率大于温度缓变组, 且温度骤变组耗氧率在 15℃、20℃ 和 25℃, 排氨率在 20℃ 和 25℃ 与温度缓变组差异显著 ($P < 0.05$)。[中国水产科学, 2010, 17(5): 1101-1106]

关键词: 虾夷扇贝; 温度骤变; 温度缓变; 耗氧率; 排氨率

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2010)05-1101-06

虾夷扇贝 (*Patinopecten yessoensis*) 为冷水性贝类, 自 20 世纪 80 年代开始引入中国后, 已经在中国北部的辽宁、山东等海域形成了较大的养殖规模, 年产量约 6 万 t, 成为北方主要养殖品种之一, 养殖方式以筏式养殖和底播养殖为主。位于黄海北部的长海县, 虾夷扇贝底播放流面积达 40 000 hm², 浮筏养殖 7 万台^[1]。但是, 近年来, 养殖的虾夷扇贝出现大批死亡现象, 特别是每年 7-8 月份的 1 龄贝、15 月龄至 20 月龄的扇贝, 夏季死亡率明显增加^[2]。2009 年长海县出现虾夷扇贝大面积死亡情况, 3-4 月份, 筏式养殖的 1 龄贝和 2 龄贝死亡率约 50%; 7 月份后, 死亡率高达 80%, 给养殖者带来了巨大的经济损失。

目前, 虾夷扇贝夏季出现大规模的死亡原因尚无定论, 据报道, 可能与海洋水温异常波动^[2-4]相关。关于温度变化对虾夷扇贝生理影响的研究报道很少。

本研究依据现场测定的獐子岛虾夷扇贝筏式养殖海域夏季水温的垂直变化和昼夜变化情况, 采用室内受控实验, 对比研究了温度缓慢变化及剧烈变化对虾夷扇贝呼吸、排泄等生理活动的影响, 以了解温度变化与虾夷扇贝生理生态学的关系, 为探讨导致虾夷扇贝夏季大规模死亡的原因提供参考。

1 材料与方法

1.1 水温的现场测定

据相关资料报道, 虾夷扇贝大量死亡的时间为每年 6-8 月份^[3-4], 此时正是海洋温跃层的强盛阶段, 本研究于 2009 年 8 月 1 日, 在大连獐子岛虾夷扇贝筏式养殖海区, 利用 YSI6600 型水质监测仪对筏式养殖区 0 ~ 31 m 水温变化进行剖面测量与 24 h 连续观测 (时间间隔 5 min), 观察水温变化情况和温跃层状

收稿日期: 2009-11-07; 修订日期: 2010-01-22.

基金项目: 国家 973 课题资助项目 (2006CB400608); 国家科技支撑计划项目 (2006BAD09A10); 国家自然科学基金项目 (41076111); 贝类行业专项 (nyhyzx07-047-贝类); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目 (2006BS08012)。

作者简介: 徐东 (1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为养殖生态学. E-mail: xudong2008.happy@163.com

通讯作者: 张继红, 研究员, 主要从事养殖生态与容量评估研究. E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

态。采用浅海温跃层国家强度标准(GB12763.7-91) 0.20℃/m,即当海水某一深度满足 $\Delta t/\Delta z \geq 0.20\text{℃/m}$ 时,认为有温跃层生成;反之,当整个垂直方向上都有 $\Delta t/\Delta z < 0.20\text{℃/m}$ 时,认为海水是无温跃层状态。图1和图2表明,筏式养殖区存在明显的温跃层,跃层上界为7 m,跃层厚度为16 m(图1), $\Delta t/\Delta z$ 为

0.20~1.63℃/m;筏式养殖区(水深10 m处)24 h内水温呈无规则波动变化,变化范围为16.2~20.37℃,每小时最大温差为3℃(图2)。本研究采用室内受控实验模拟筏式养殖海区水温变化,设计1 h内骤然升温5℃,测定升温前后虾夷扇贝耗氧率和排氨率,并设计缓慢升温实验,每天升温1℃,进行对比分析。

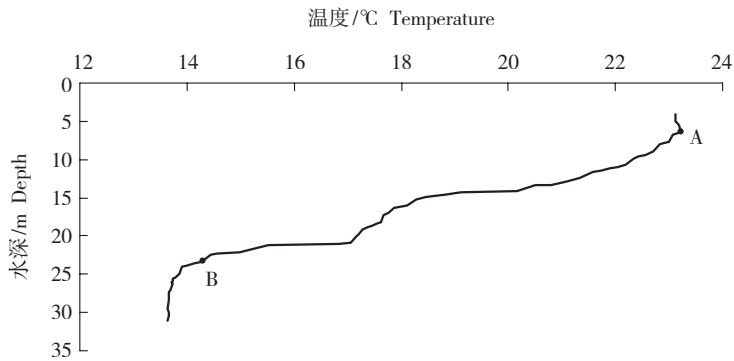


图1 獐子岛筏式养殖区水温垂直变化
图中A点表示温跃层上限(水深7 m),B点表示温跃层下限(水深23 m)。
Fig. 1 Vertiacal changes of water temperature in raft culture area of Zhangzi Island
A and B mean the upper (at the depth of 7 m) and lower (at the depth of 23 m) thermocline bounds.

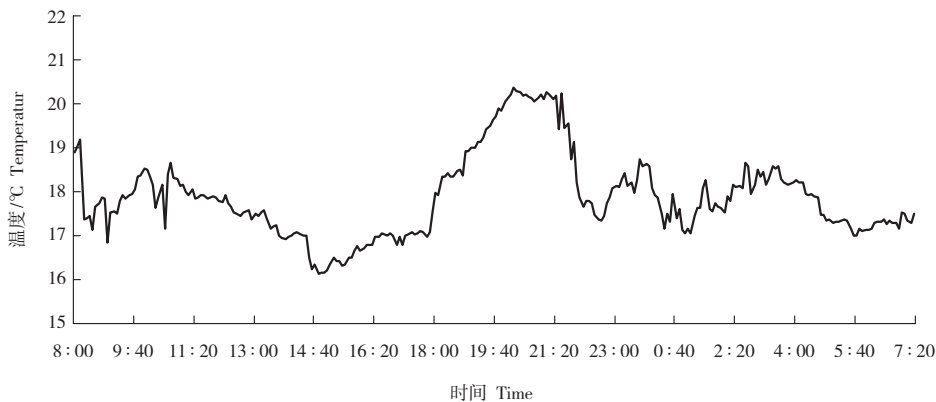


图2 獐子岛筏式养殖区(水深10 m处)水温24h变化
Fig. 2 Variation of water temperature within 24 h in raft culture area at the depth of 10 m

1.2 室内模拟实验

1.2.1 材料来源 实验用虾夷扇贝由大连獐子岛集团提供。清除表面的污物及附着生物后,暂养于青岛农业大学水循环实验室控温循环水族箱内(大连汇新海洋科技发展有限公司制造)。暂养期间温度设置(10±1)℃,实验用海水盐度为29.3,期间每天定量投喂新月菱形藻(*Nitzschia closterium*),每2天全

量换水1次。驯养1周后,挑选健康个体用于实验。
1.2.2 实验梯度的设定 根据虾夷扇贝生长温度范围(5~23℃)和筏式养殖区海水温度变化情况,实验温度设置10℃、15℃、20℃、25℃ 4个梯度,每个温度设置剧变和缓慢变化2种处理。骤变组升温幅度为5℃/h,缓变组升温幅度为1℃/d。骤变组达到设定温度后即刻测定耗氧率和排氨率,缓变组达到各设定温

度后,先适应3天,使个体处于相对稳定状态,然后测定耗氧率及排氨率。采用控温水族箱水浴控制温度。

实验设5个平行,3个空白对照。所用容器为4.1 L塑料桶,每个塑料桶中放1个扇贝。用保鲜膜密封,虹吸法采水测定耗氧率和排氨率,实验时间持续2 h。

1.2.3 测定方法 溶解氧(DO)的测定采用(Winkler)碘量法,根据实验前后溶解氧的浓度变化计算单位干重耗氧率:

$$OR = [(DO_0 - DO_t) \times V] / (W \times t)$$

式中, DO_0 和 DO_t 分别为实验开始和结束时实验水中DO含量(mg/L), V 为实验用水桶的体积(L), W 为实验贝软组织干重(g), t 为实验持续时间(h)。氨氮(NH_4-N)采用次溴酸钠氧化法测定,根据实验前后氨氮浓度变化计算单位干重排氨率:

$$NR = [(N_t - N_0) \times V] / (W \times t)$$

式中, N_0 和 N_t 分别为实验开始和结束时实验水中氨氮浓度($\mu\text{mol/L}$), V 为实验用水桶的体积(L), W 为实验贝软组织干重(g), t 为实验持续时间(h)。

温度对虾夷扇贝代谢率影响强度用 Q_{10} 表示,计算公式为^[5]:

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

式中, M_1 和 M_2 分别为实验开始(t_1)和实验结束(t_2)时扇贝的代谢率。 $O:N$ 比用呼吸氧原子数与排出氨态氮原子数之比表示^[6]。实验结束后,测定虾夷扇贝的壳长(cm)和壳高(cm),称湿重、总干重及软体部干重(60℃烘干至恒重)。

1.3 数据分析

采用SPSS10.0 统计软件进行单因子方差分析(One-way ANOVA)、组间多重比较分析(LSD ANOVA)和相关回归分析, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 生物学测定

实验所用的虾夷扇贝壳长(5.630 ± 0.307)cm,壳高(5.663 ± 0.303)cm,总干重(12.027 ± 1.664)g,总湿重(21.994 ± 0.078)g,软体部干重为(0.935 ± 0.222)g。

2.2 温度变化对虾夷扇贝耗氧率的影响

温度骤变与温度缓变对耗氧率影响的总体变化趋势相似,在实验温度范围内,虾夷扇贝单位软体干重耗氧率都是随着温度的缓慢升高而逐渐增加,15℃达到最大值,之后随温度的升高而减小(图3),拟合得到温度(T)与耗氧率(OR)之间的关系式分别为: $OR = 2.303 + 0.425T - 0.133T^2$ ($R^2 = 0.941$) (温度缓变组); $OR = 0.788 + 2.320T - 0.468T^2$ ($R^2 = 0.877$) (温度骤变组)。单因子方差分析(One-way ANOVA)表明,温度对虾夷扇贝的耗氧率影响显著($P < 0.05$),其中,缓变组25℃的耗氧率显著低于10℃和15℃的耗氧率,骤变组10℃和25℃的耗氧率显著低于15℃组的耗氧率($P < 0.05$),但是15~20℃,20~25℃之间没有显著性差异($P > 0.05$)。骤变组耗氧率在15℃、20℃、25℃都显著高于缓变组($P < 0.05$)。

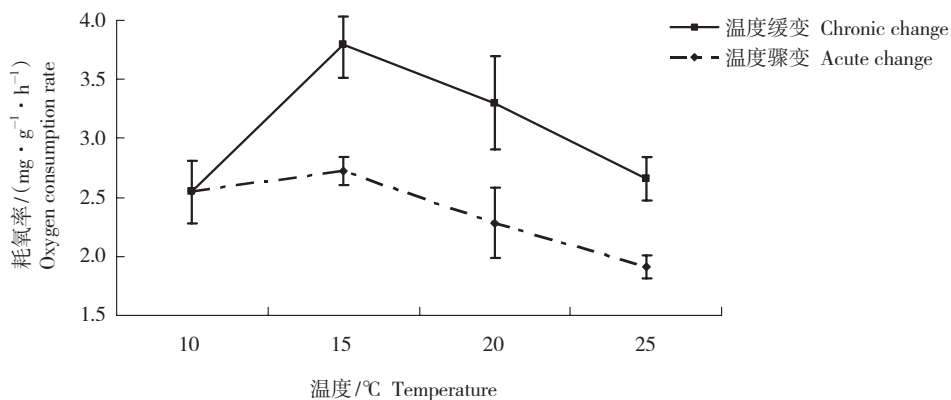


图3 温度波动对虾夷扇贝耗氧率的影响

Fig. 3 Effect of temperature on oxygen consumption rate of *Patinopecten yessoensis*

2.3 温度变化对虾夷扇贝排氨率的影响

温度对虾夷扇贝排氨率的影响如图4所示。温度骤变和温度缓变对排氨率影响的变化趋势相似,都是在15℃达到峰值,之后随温度的升高而降低。拟合得到排氨率[$NR, \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$]与温度(T)之间关系式,缓变组为: $NR=-1.536+4.384T-0.893T^2(R^2=0.435)$;温度剧变组为: $NR=-5.439+8.881T-1.522T^2(R^2=0.839)$ 。温度对虾夷扇贝排氨率的影响显著(One-way ANOVA,

$P<0.05$),组间多重比较分析(LSD)表明,缓变组仅在10℃和15℃组间差异显著($P<0.05$),其他各组间没有显著性变化($P>0.05$);骤变组15℃、20℃、25℃的排氨率都显著高于10℃组($P<0.05$),但是,15℃与20℃之间,20℃与25℃之间的排氨率没有显著性差异($P>0.05$)。相同温度下,骤变组在20℃和25℃时显著高于缓变组($P<0.05$)。

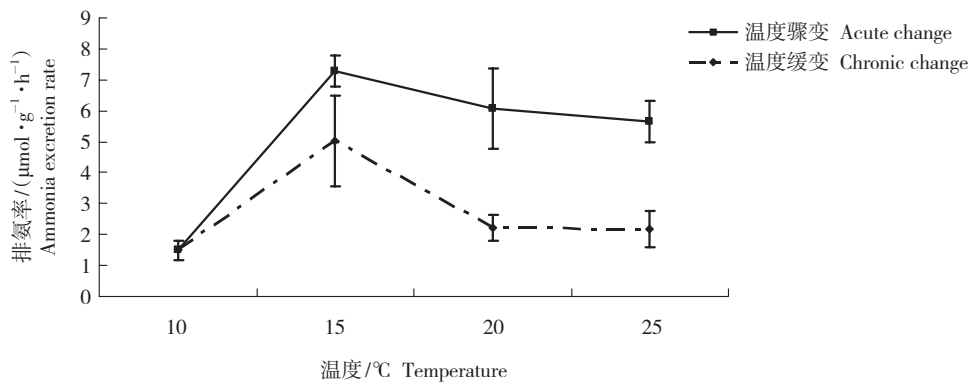


图4 温度波动对虾夷扇贝排氨率的影响
Fig. 4 Effect of temperature on ammonia excretion rate of *Patinopecten yessoensis*

不同温度处理下虾夷扇贝氧氮比(O/N)见表1。温度缓变组氧氮比范围为(31.481±7.769)~(114.461±4.536),温度骤变组虾夷扇贝为(33.352±1.517)~(114.461±4.536),氧氮比均超过10,表明虾夷扇贝的脂肪和碳水化合物代谢水平较高^[7]。

不同温度下虾夷扇贝耗氧率和排氨率 Q_{10} 系数如表2所示,温度缓变组耗氧率和排氨率 Q_{10} 系数范围为0.701~1.129和0.968~11.273,温度骤变组为0.648~2.190和0.691~23.645。2种变温方式下, Q_{10} 值都是从10℃升到15℃时最大。

表1 不同温度处理下虾夷扇贝氧氮比(O/N)
Tab. 1 Ratio of O and N(atomicity O/N) of *Patinopecten yessoensis* at different temperature

处理组 Treatment group	温度/℃ Temperature			
	10	15	20	25
温度骤变 Acute variation	114.461±4.536	33.352±1.517	30.898±3.615	32.791±1.818
温度缓变 Chronic variation	114.461±4.536	31.481±7.769	72.405±6.780	68.367±16.309

表2 不同温度处理组虾夷扇贝耗氧率和排氨率 Q_{10} 系数
Tab. 2 Q_{10} values for oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Patinopecten yessoensis*

温度/℃ Temperature	温度缓变 Chronic variation		温度骤变 Acute variation	
	耗氧率 Oxygen consumption rate	排氨率 Ammonia excretion rate	耗氧率 Oxygen consumption rate	排氨率 Ammonia excretion rate
10 ~ 15	1.129	11.273	2.190	23.645
15 ~ 20	0.702	0.194	0.758	0.691
20 ~ 25	0.701	0.968	0.648	0.867

3 讨论

3.1 温度对虾夷扇贝耗氧率和排氨率的影响

温度对虾夷扇贝的耗氧率和排氨率影响显著,在本实验的温度范围内耗氧率和排氨率随温度的升高而增加,在15℃时达最大值,然后随温度的升高而降低。这种变化趋势与双壳滤食性贝类的墨西哥湾扇贝(*Argopecten irradians concentricus*)^[7]、栉孔扇贝[*Chlamys (Azumapecten) farreri*]^[8]、硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*)^[9]随温度变化情况相似。虾夷扇贝为冷水种,15℃为其最适生长温度^[10]。通常当海水温度超过其最适温度时,会引起贝类生理代谢紊乱。据报道,水温超过23℃,虾夷扇贝基本处于不摄食状态,导致机体消瘦甚至死亡^[11]。本实验发现,温度达到25℃时,虾夷扇贝未出现死亡现象,但虾夷扇贝的摄食率非常低(数据待发表)。

3.2 温度剧烈变化和缓慢变化对虾夷扇贝生理指标影响的差异

水温的骤然变化对虾夷扇贝的代谢影响强度更大,不论是耗氧率还是排氨率都大于同比的缓变组,也就意味着,温度骤变环境下虾夷扇贝要消耗更多的能量。在15℃、20℃、25℃时耗氧率差异显著,20℃、25℃时排氨率差异显著。 Q_{10} 值反映了虾夷扇贝对温度变化的敏感程度,从温度对耗氧率和排氨率的影响强度 Q_{10} 可以看出,骤变组 $Q_{10} >$ 缓变组 Q_{10} 。这说明虾夷扇贝代谢生理对温度的剧烈变化更为敏感。夏季海洋水温逐渐升高,同时由于黄海冷水团的影响,温跃层活动强烈,水温频繁异常波动^[12-13]。通过室内模拟温跃层水温变化情况和上述分析可以看出,海洋温跃层的存在状态及其强弱程度会影响虾夷扇贝生理指标的变化强度,水温剧烈变化会导致贝类代谢异常。周玮等^[4]在研究水温异常波动与栉孔扇贝死亡的关系中指出,扇贝大量死亡的海域常常伴有水温异常波动,而无明显水温波动的海域扇贝死亡率偏低。本研究通过室内模拟实验进一步证明了温度剧烈变化对贝类生理指标的影响大于缓慢变化的影响。

温度是引起贝类生理活动变化的重要因素之一^[14-17]。 Q_{10} 值反映了双壳贝类代谢率随温度变化的强度,双壳贝类的 Q_{10} 值一般介于1.0~2.5,平均为2.0^[18-19]。从本实验结果来看,温度缓慢变化条件下虾夷扇贝耗氧率和排氨率 Q_{10} 值在适温范围内(10~15℃)分别为1.129和11.273;温度剧变条件下为2.190和23.465,高于一般结论值。这说明作为低温种的虾夷扇贝对温度的敏感性相对较强,适应温度变化的能力较弱,应对温度剧烈变化的能力更弱。

O/N比值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,是动物代谢的一个重要指标。Mayzaud^[7]认为,机体以蛋白质代谢为主导地位时,O/N比值较低(7~9.3),当以脂肪和碳水化合物代谢为主时,O/N比值通常大于24。本实验研究发现,在10~20℃温度范围内,虾夷扇贝的O/N比值在(30.898±3.615)~(114.461±4.536)之间,该值相对较高,这说明在本实验条件下虾夷扇贝代谢主要以脂肪和碳水化合物为主。其中低温组(10℃组)O/N比值相对其他温度较大,此实验结果与栉孔扇贝在低温条件下的实验结果相似^[20]。但是低温下O/N比值相对较高的原因,还有待于对其消化生理进一步研究。

海洋温跃层的水温变化复杂多变,升温降温频繁交替,但实验中只模拟了升温过程,计划后期将继续开展降温过程对虾夷扇贝生理指标影响的研究,以期对虾夷扇贝健康养殖技术的建立完善提供参考。

参考文献:

- [1] 李文姬,薛真福. 持续发展虾夷扇贝的健康增养殖[J]. 水产科学,2005,9(9): 49-51.
- [2] 张明明,赵文. 我国虾夷扇贝死亡原因的探讨及控制对策[J]. 中国水产,2008(2): 64-74.
- [3] 蓝淑芳. 长山岛海区夏季扇贝大批死亡的水文原因分析[J]. 海洋科学,1990(2): 60-61.
- [4] 周玮,薛真福,王有君,等. 海洋岛海域水温异常波动与养殖栉孔扇贝死亡的关系[J]. 海洋湖沼通报,1992(4): 56-62.
- [5] 常亚青,王子臣. 贝类能量学研究进展[J]. 海洋科学,1996(6): 25-30.
- [6] 毛玉泽,周毅,杨红生,等. 长牡蛎代谢率的季节变化及

- 其与夏季死亡关系的探讨[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(5): 445–451.
- [7] Mayzaud P. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton: II. Studies of the metabolic characteristics of starved animals [J]. Mar Biol, 1973, 21: 19–28.
- [8] 王俊, 姜祖辉, 唐启升. 栉孔扇贝生理能量学研究[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(3): 46–53.
- [9] 柴雪良, 方军, 林志华, 等. 温度对美国硬壳蛤滤食率、耗氧率和排氨率的影响[J]. 海洋科学, 2005, 29(8): 33–36.
- [10] 王如才, 王召萍, 张建忠. 海水贝类养殖学[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1993: 155–204.
- [11] 张起信, 张启胜, 李维年, 等. 虾夷扇贝筏式养殖高产技术研究[J]. 海洋科学, 2000, 24(8): 14–16.
- [12] 张勐宁, 刘金芳, 毛可修, 等. 中国海温度跃层分布特征概况[J]. 海洋预报, 2006, 23(4): 51–58.
- [13] 李庆红, 赵宏杰, 张磊, 等. 长山群岛海区春季水温垂直结构分析[J]. 海洋技术, 2008, 27(1): 101–105.
- [14] Widdows J. Combined effect of body size, food concentration and season on the physiology of *Mytilus edulis* [J]. Mar Biol Assoc UK, 1978, 58: 109–124.
- [15] Bougrier S, Geairon P, Dealous-Paoli J M, et al. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg) [J]. Aquaculture, 1995, 134: 143–154.
- [16] Clark B C, Griffiths C L. Ecological energetics of mussels *Choromytilus meridionalis* under simulated intertidal rock pool condition [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1990, 137: 63–77.
- [17] 张媛, 方建光, 毛玉泽, 等. 温度和盐度对橄榄蚶耗氧率和排氨率的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(4): 690–694.
- [18] Griffiths C L, Griffiths J S. Animal energetics [M]. New York: Academy Press, 1987: 1–88.
- [19] Wilbur A E, Hilbish T J. Physiological energetics of the ribbed mussel *Geukensia demissa* Dillwyn in response to increased temperature [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1989, 131: 161–170.
- [20] 张继红, 方建光, 梁翻鹏. 低温对栉孔扇贝能量收支的影响[J]. 中国水产科学, 2002, 9(1): 48–51.

Effects of temperature elevation on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Patinopecten yessoensis*

XU Dong^{1,2}, ZHANG Jihong², WANG Wenqi¹, DU Meirong², Ren Lihua^{1,2}, WANG Zhong¹

(1. Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China; 2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266109, China)

Abstract: In order to investigate the reason of massive mortality of scallop, *Patinopecten yessoensis* in summer, the effects of water temperature variation on oxygen consumption and ammonium excretion rates of scallops were studied in laboratory by simulating changes of water temperature in raft culture area in summer. Scallops were exposed under four temperature of 10 °C, 15 °C, 20 °C and 25 °C. Each temperature was achieved by rapid (5 °C/h) and chronic (1 °C/day) changing respectively. Oxygen consumption rate and ammonia excretion rate were measured before and after change. The result showed that the rates of oxygen consumption and ammonium excretion of *P. yessoensis* were affected significantly by temperature variation ($P < 0.05$). In the test with chronic temperature variation, the oxygen consumption rates ranged from 1.910 mg/(g · h) to 2.722 mg/(g · h) and the excretion rates ranged from 1.499 to 5.003 μmol/(g · h). The relationship between temperature (T) and oxygen consumption rate (OR) or ammonia excretion rate (NR) were described as $OR [mg/(g \cdot h)] = 2.303 + 0.425T - 0.133T^2$ ($R^2 = 0.941$) and $NR [\mu mol/(g \cdot h)] = -1.536 + 4.384T - 0.893T^2$ ($R^2 = 0.435$), respectively. In the test with acute temperature variation, the oxygen consumption rates at 15 °C, 20 °C and 25 °C and ammonia excretion rates at 20 °C and 25 °C were significantly higher than those of chronic temperature test ($P < 0.05$). [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(5): 1101–1106]

Key words: *Patinopecten yessoensis*; acute temperature change; chronic temperature change; oxygen consumption rate; ammonium excretion rate

Corresponding author: ZHANG Jihong. E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn