

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15362

## 温度对虾夷扇贝普通养殖群体和选育新品种海大金贝呼吸代谢的影响

姜绪<sup>1</sup>, 杜美荣<sup>1,2</sup>, 蒋增杰<sup>1,2</sup>, 方建光<sup>1,2</sup>, 赵学伟<sup>3</sup>, 张媛<sup>3</sup>

1. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;
2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266200;
3. 獐子岛集团股份有限公司, 辽宁 大连 116001

摘要: 2012年5月和9月, 2013年3月和6月, 在自然水温条件下, 采用呼吸瓶法比较了不同温度(5.6℃、10.5℃、14.4℃、21.2℃)下普通养殖虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)和虾夷扇贝选育新品种海大金贝(Haida golden scallop)耗氧率和排氮率的影响。结果表明, 在实验设置水温范围内(5.6~21.2℃), 普通虾夷扇贝和海大金贝的耗氧率表现出相似的变化趋势。在温度达到14.4℃之前, 实验贝耗氧率随温度的升高而增大, 而在14.4℃后, 则随温度的升高而减小。两种贝最大耗氧率分别为1.67 mg/(g·h)和1.27 mg/(g·h), 其中在5.6℃和14.4℃海大金贝耗氧率显著小于普通虾夷扇贝( $P < 0.05$ ); 10.5℃和21.2℃时, 两组贝类的耗氧率差异不显著( $P > 0.05$ )。普通虾夷扇贝和海大金贝排氮率随温度变化呈现出不同的趋势。前者从5.6℃开始, 随温度的升高, 排氮率缓慢升高, 水温为14.4℃时达到最大值, 为0.063 mg/(g·h), 然后逐渐降低, 14.4℃水温的排氮率显著大于10.5℃和21.2℃( $P < 0.05$ ); 而从5.6℃到10.5℃, 后者的排氮率逐渐降低, 10.5℃时达到最低值, 为0.029 mg/(g·h), 然后随温度升高缓慢升高, 到21.2℃达到最高值。海大金贝组在温度条件为5.6℃和21.2℃时排氮率高于普通虾夷扇贝组( $P < 0.05$ ); 而水温为14.4℃时, 普通虾夷扇贝组排氮率显著高于海大金贝组( $P < 0.05$ ); 10.5℃时两者排氮率差异不显著( $P > 0.05$ )。两实验组耗氧率 $Q_{10}$ 系数均随温度的升高而降低。O/N结果表明, 普通虾夷扇贝在本次研究的设定温度区间内以消耗脂肪和碳水化合物为主; 海大金贝以消耗蛋白质为主, 当温度逐渐升高, 转化为以消耗脂肪和碳水化合物为主, 当水温达到较高的水平, 又转换为以消耗蛋白质为主。

关键词: 虾夷扇贝; 海大金贝; 温度; 耗氧率; 排氮率

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)04-0864-07

虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)为大型冷水贝类, 原产于日本、俄罗斯千岛群岛的南部水域, 日本北海道及本洲北部, 于20世纪80年代由日本引进至中国辽宁, 近年来养殖规模不断扩大, 由于个体较大, 营养价值较高, 养殖产量和效益较高, 其在中国贝类养殖中占据重要地位<sup>[1]</sup>。虾夷扇贝闭壳肌为白色, 但是在自然群体中有极少部

分个体的闭壳肌呈现橘红色(<0.2%), 是一种能稳定遗传的质量性状<sup>[2]</sup>。中国海洋大学等通过6年的不断选育, 成功培育出能稳定遗传这一性状的虾夷扇贝新品种——海大金贝(Haida golden scallop)<sup>[2]</sup>。该品种闭壳肌富含类胡萝卜素, 肉柱大且出柱率高<sup>[2]</sup>。獐子岛渔业集团股份有限公司对海大金贝进行了推广养殖, 海大金贝生长速度明显高于

收稿日期: 2015-09-25; 修订日期: 2015-11-29.

基金项目: 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科学创新计划项目(2015ASKJ02); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(20603022011003); 国家贝类产业技术体系项目(CARS-48); 国家科技支撑计划课题(2011BAD13B05).

作者简介: 姜绪(1988-), 男, 硕士研究生, 从事海水养殖生态研究. E-mail: jiangjili01@163.com

并列第一作者: 杜美荣(1982-), 女, 助理研究员, 主要从事海水养殖生态学研究. E-mail: dumy@ysfri.ac.cn

通信作者: 蒋增杰, 副研究员. E-mail: jiangzj@ysfri.ac.cn

普通虾夷扇贝, 并表现出良好的抗逆性<sup>[2-3]</sup>。

扇贝通过消耗水中的溶解氧进行呼吸, 同时向水体中释放氨态氮, 耗氧率和排氨率是其新陈代谢的重要指标, 国内外学者对贝类的摄食生理以及呼吸代谢等方面已进行了诸多研究<sup>[4-10]</sup>。贲月<sup>[7]</sup>、徐东等<sup>[8]</sup>对虾夷扇贝的研究表明, 其耗氧率和排氨率均随着温度的升高而升高, 贲月<sup>[7]</sup>研究的峰值是在水温 26℃, 徐东等<sup>[8]</sup>研究的峰值是在水温 15℃, 之后逐渐下降。本文通过对海大金贝和普通虾夷扇贝的耗氧率和排氨率的比较研究, 探讨海大金贝与普通虾夷扇贝生理上的差异, 以期二者能量分配策略的分析奠定基础, 为虾夷扇贝的选育种提供一定的理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验地点与实验方法

獐子岛海域位于黄海北部外长山列岛的最南端(E124°47', N39°3'), 为中国最大的虾夷扇贝底播养殖基地。实验在位于獐子岛东北部的良种场内开展。实验用普通养殖虾夷扇贝和海大金贝由獐子岛渔业集团提供, 为獐子岛底播养殖海区拖网采集获得。扇贝出水后使用泡沫箱冰鲜并迅速转移至车间, 清除贝类表面附着物后在 1000 L 水槽内使用外海海水暂养 7 d, 期间持续充气, 每天换水一次, 并投喂充足的新月菱形藻(*Nitzschia closterium minutissima*)作为饵料, 暂养结束后挑选健康个体进行实验。实验采取随海区水温自然提升或下降、现场实验的方法开展, 即当海区水温达到设定温度时取扇贝开展实验。本次实验根据设定水温分 4 次进行: 2012 年 5 月(10.5℃)、2012 年 9 月(21.2℃)、2013 年 3 月(5.6℃)和 2013 年 6 月(14.4℃)。

实验采用自主设计的海水贝类生理学研究的实验装置<sup>[11]</sup>, 该装置具体构造见图 1, 容积为 100 L。将以上暂养后的扇贝放置于装置内, 每一装置尼龙丝网上分别放置普通虾夷扇贝或海大金贝 10 个。扇贝置于装置中适应半小时后, 记录初始溶解氧值, 保留水样测量初始氨氮值, 密封后记录时间, 开始实验。实验结束后, 测定塑料桶内的海水温度(℃)、溶解氧浓度(mg/L), 取桶内上、中、下

3 处位置的水样作为混合样, 测定其氨氮含量。每个处理设置 4 个重复组, 并设置 3 个不放扇贝的作为空白对照组, 实验持续 4 h。水温变化幅度±0.5℃。溶解氧采用便携式水质参数分析仪(YSI proplus, 美国)测定, 测量精度±0.2 mg/L; 氨氮采用次溴酸钠氧化法测定, 亚硝酸氮采用重氮偶氮法测定<sup>[9]</sup>。

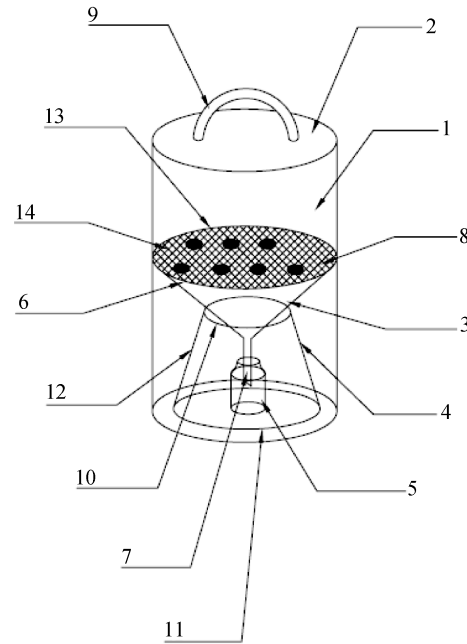


图 1 实验装置

1-有机玻璃钢桶; 2-密封盖; 3-漏斗; 4-支撑台架; 5-收集瓶; 6-上端斗口; 7-下管; 8-托网; 9-提手; 10-上圆环; 11-下圆环; 12-支撑连杆; 13-铁环; 14-尼龙丝网。

Fig. 1 Experimental device

1- plexiglass drum; 2- closures; 3- funnel; 4- support frame; 5- collection bottle; 6- upper bucket mouth; 7- bottom tube; 8- supporting mesh; 9- handle; 10- upper ring; 11- bottom ring; 12- support linkages; 13- ring; 14- nylon mesh.

实验结束后, 使用游标卡尺测量实验贝类的壳长、壳高、壳宽, 精确至 0.01 mm, 使用精确至 0.01 g 的天平称量总湿重、软体部湿重, 然后置于 65℃烘箱烘至恒重后称量总干重、软体部干重。

### 1.2 数据分析

两种贝类的耗氧率(OR)和排氨率(NR)计算如下:

$$OR=(DO_0-DO_t) \cdot V/(w \cdot t)$$

$$NR=(N_0-N_t) \cdot V/(w \cdot t)$$

式中, OR 为单位体重耗氧率[mg/(g·h)], DO<sub>0</sub> 和

DO<sub>t</sub> 分别为实验结束时空白对照组和实验组实验水体中溶解氧含量(mg/L); NR 为单位体重排氮率 [mg/(g·h)], N<sub>0</sub> 和 N<sub>t</sub> 分别为实验结束时实验组和空白对照组实验水体中氨氮含量(mg/L), V 为实验水体体积(L), w 为实验用贝类的软体部干重(g), t 为实验持续时间(h)。

虾夷扇贝代谢率受温度的影响强度由 Q<sub>10</sub> 表示, 计算公式为:

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

式中, M<sub>1</sub> 和 M<sub>2</sub> 分别表示温度为 t<sub>1</sub> 和 t<sub>2</sub> 时扇贝的耗氧率或者排氮率。O : N 为呼吸氧原子数与排出

氨态氮原子数之比。

数据的统计分析采用 SPSS19.0 进行, 采用 T-检验比较分析海大金贝和普通虾夷扇贝间生物学数据间的差异, 采用 Duncan 法比较两者耗氧率和排氮率的差异, P<0.05 为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 实验用普通虾夷扇贝和海大金贝比较

实验用海大金贝和普通虾夷扇贝的规格见表 1。T-检验表明, 两种贝类的壳长、壳高、壳宽和软体部干重均差异不显著(P>0.05)。

表 1 实验扇贝生物学性状  
Tab. 1 Biology data of scallop used in the experiment

品种 variety	壳长/mm shell length	壳高/mm shell height	壳宽/mm shell width	软体部干重/g tissue weight
普通虾夷扇贝 <i>Patinopecten yessoensis</i>	61.89±6.36 <sup>a</sup>	63.17±6.24 <sup>a</sup>	15.49±1.87 <sup>a</sup>	1.82±0.64 <sup>a</sup>
海大金贝 Haida golden scallop, <i>Patinopecten yessoensis</i>	61.97±4.83 <sup>a</sup>	62.68±5.65 <sup>a</sup>	16.15±1.67 <sup>a</sup>	1.94±0.54 <sup>a</sup>

注: 每列内具有相同字母的为差异不显著(P>0.05)。

Note: The same letter in the column means insignificant difference (P>0.05).

### 2.2 温度对实验贝类耗氧率的影响

温度对普通虾夷扇贝和海大金贝耗氧率的影响如图 2 所示。在实验设置水温范围内(5.6~21.2℃), 普通虾夷扇贝和海大金贝的耗氧率表现出相似的变化趋势。在温度达到 14.4℃之前, 实验贝耗氧率随温度的升高而增大, 而达到 14.4℃后, 则随温度的升高而减小。两种贝最大耗氧率分别为 1.67 mg/(g·h)和 1.27 mg/(g·h), 其中在

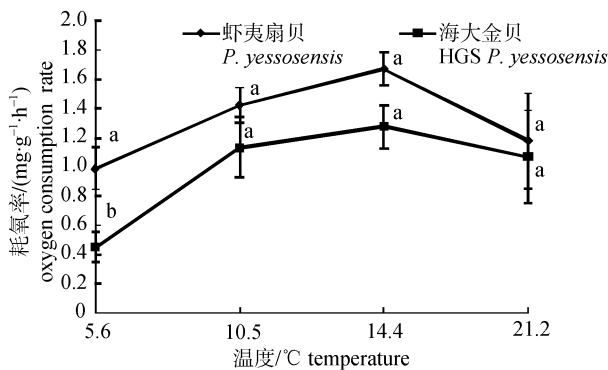


图 2 不同温度下两组耗氧率的比较  
数值上不同字母表示差异显著(P<0.05)。

Fig. 2 Oxygen consumption rate of two groups at different temperatures

Values with different letters mean significant difference (P<0.05).

5.6℃和 14.4℃海大金贝耗氧率显著小于普通虾夷扇贝(P<0.05); 10.5℃和 21.2℃时, 两组贝类的耗氧率差异不显著(P>0.05)。

### 2.3 温度对两实验贝类排氮率的影响

温度对普通虾夷扇贝和海大金贝排氮率的影响见图 3。普通虾夷扇贝和海大金贝排氮率随温度变化呈现出不同的趋势。普通虾夷扇贝从 5.6℃开始, 随温度的升高, 排氮率缓慢升高, 水温 14.4℃时达到最大值, 为 0.063 mg/(g·h); 然后逐渐降低, 14.4℃水温下的排氮率显著大于 10.5℃和 21.2℃(P<0.05)。而海大金贝排氮率从 5.6℃到 10.5℃逐渐降低, 10.5℃达到最低值, 为 0.029 mg/(g·h); 然后随温度升高缓慢升高, 到 21.2℃达到最高值, 在 5.6℃, 21.2℃时排氮率显著高于 14.4℃和 10.5℃(P<0.05), 10.5℃和 14.4℃下的排氮率差异不显著(P>0.05)。海大金贝组在温度条件为 5.6℃和 21.2℃时排氮率高于普通虾夷扇贝组(P<0.05); 而水温为 14.4℃时, 普通虾夷扇贝组排氮率显著高于海大金贝组(P<0.05); 10.5℃时两者排氮率差异不显著(P>0.05)。

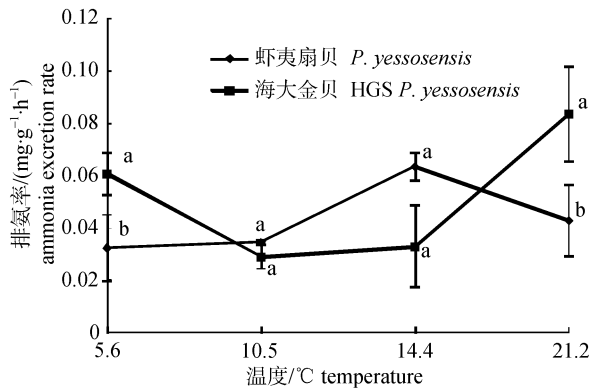


图 3 不同温度下两组扇贝排氨率的比较  
数值上不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

Fig. 3 The ammonia excretion rate of two groups at different temperatures  
Values with different letters mean significant difference ( $P < 0.05$ )

### 2.4 不同温度条件下普通虾夷扇贝和海大金贝的 $Q_{10}$ 值及氧氮比

不同温度下两种贝类的排氨率和耗氧率  $Q_{10}$  系数见表 2。从表 2 中可以看出, 普通虾夷扇贝组排氨率和耗氧率  $Q_{10}$  系数最大值分别为 3.375 和 2.069, 最小值分别为 0.455 和 0.499, 平均值为 1.542 和 1.267。而海大金贝组排氨率和耗氧率  $Q_{10}$  系数最大值分别为 6.468 和 6.292, 最小值分别为 0.228 和 0.702, 平均值为 2.305 和 2.511。两实验组耗氧率  $Q_{10}$  系数均随温度的升高而降低。

不同温度下两实验贝类氧氮比见表 3。普通虾夷扇贝组氧氮比变化范围为 23.03~36.05, 而海大金贝组氧氮比比值则在 6.52~34.22。

表 2 不同温度下两组排氨率和耗氧率的  $Q_{10}$  系数

Tab. 2  $Q_{10}$  values for oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of two groups

温度/°C temperature	普通虾夷扇贝 <i>Patinopecten yessoensis</i>		海大金贝 Haida golden scallop, <i>Patinopecten yessoensis</i>	
	排氨率 ammonia excretion rate	耗氧率 oxygen consumption rate	排氨率 ammonia excretion rate	耗氧率 oxygen consumption rate
5.6-10.5	1.134	2.069	0.228	6.292
10.5-14.4	3.375	1.378	1.286	1.272
14.4-21.2	0.455	0.499	6.468	0.702
5.6-21.2	1.203	1.125	1.238	1.778
平均 mean	1.542	1.267	2.305	2.511

表 3 不同温度下两组的氧氮比

Tab. 3 Ratio of O/N of two groups at different temperatures

品种 variety	温度/°C temperature			
	5.6	10.5	14.4	21.2
普通虾夷扇贝 <i>Patinopecten yessoensis</i>	26.69	36.05	23.03	24.13
海大金贝 Haida golden scallop, <i>Patinopecten yessoensis</i>	6.52	34.22	34.03	11.21

### 3 讨论

扇贝为变温动物, 生活在水中, 温度是影响其生长和生理状态的重要因素之一, 水温变动会对贝类的正常生理活动产生影响。有研究表明, 在适温范围内代谢率随温度的升高逐渐增大, 当温度大于最适温度, 代谢受到抑制<sup>[12-14]</sup>。在温度对双壳贝类产生影响的研究中, 结果略有差异。中国蛤蜊(*Macatra chinensis*)、栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)在设定温度范围内随温度升高耗氧率和排

氨率均表现为先上升而后下降<sup>[15-16]</sup>; 而墨西哥湾扇贝(*Atgopecten irradians concentricus*)和大西洋浪蛤(*Spisula solidissima*)耗氧率随温度升高先上升而后降低, 排氨率在设定温度范围内一直升高<sup>[17-18]</sup>; 缢蛏(*Sinonovacula constrzcta*)和橄榄蚶(*Estellarca olivacea*)的耗氧率和排氨率均随温度升高而增加<sup>[19-20]</sup>。

本研究中温度对普通虾夷扇贝和海大金贝的耗氧率和排氨率均产生显著影响, 这与徐东等<sup>[8]</sup>的结果是一致的: 虾夷扇贝的耗氧率和排氨率均

在 14.4℃ 时达到最大值, 分别为 1.78 mg/(g·h) 和 0.07 mg/(g·h), 徐东等<sup>[8]</sup>研究虾夷扇贝的耗氧率和排氨率实验最大值分别为 2.72 mg/(g·h) 和 0.07 mg/(g·h), 耗氧率高于本研究结果, 造成这一现象的原因可能与扇贝规格和实验方法的不同有关。本实验中所用扇贝平均大小为 61 mm, 徐东等<sup>[8]</sup>的扇贝为 56 mm, 且本实验中扇贝肥满度较大, 软体部干重是徐东等<sup>[8]</sup>所用扇贝的 2 倍。本研究为模拟现场实验法, 而徐东等<sup>[8]</sup>则采用静水法。

海大金贝的耗氧率受温度影响产生的变化趋势与普通虾夷扇贝及部分其他双壳贝类相似, 但海大金贝耗氧率水平低于普通虾夷扇贝, 从耗氧的角度说明海大金贝分配用于氧气消耗的能量较少, 即消耗较少的氧气, 耗费较少的能量也可以保持正常状态。这可能是海大金贝抗逆性优于普通虾夷扇贝的原因, 但仍需更多的在能量学和生理学方面的数据支持。

$Q_{10}$  值表现为贝类代谢率随温度变化的强度, 因不同生物生理活动均存在较大差异,  $Q_{10}$  值也各不相同。一般贝类的  $Q_{10}$  值处于 1.0~2.5 或稍高的变化范围内, 平均值为 2.0<sup>[21]</sup>。本研究得出, 在适温范围 10.5~14.4℃ 时, 除普通虾夷扇贝排氨率为 3.375 稍高外, 普通虾夷扇贝耗氧率、海大金贝耗氧率和排氨率均在这一范围内。海大金贝排氨率  $Q_{10}$  值在 14.4~21.2℃ 出现最大值为 6.438, 耗氧率  $Q_{10}$  最大值则出现在 5.6~10.5℃ 期间为 6.292, 说明在这两组温度变化中, 海大金贝对温度变化较敏感。

氧氮比(O/N)是动物呼吸代谢的重要参数, 表示生物体内脂肪和碳水化合物与蛋白质代谢速率间的比值, 随着氧氮比数值的增高, 生物体内的供能物质从蛋白质向脂肪和碳水化合物逐渐过度, 根据 O/N 值可以估计动物能量代谢中供能物质的比例。如果 O/N 值大于 24 甚至无穷大, 则机体主要以消耗脂肪或碳水化合物供能; 如氧氮比 O/N 约为 24, 则表征动物以消耗蛋白质和碳水化合物共同氧化为机体提供能量; 如果 O/N 约为 7, 则说明完全由蛋白质氧化供能<sup>[22-24]</sup>。在本研究中, 虾夷扇贝在 3 月 O/N 为 26.69, 而海大金贝 O/N

为 6.52, 表现为以消耗蛋白质为主, 出现这一异常现象可能是受扇贝繁殖影响的结果。3 月已进入虾夷扇贝繁殖期, 同时结合以往的研究——海大金贝发育较快, 其异常的 O/N 可能是因为海大金贝已较普通虾夷扇贝提前产卵, 海大金贝体内碳水化合物及脂肪消耗殆尽, 开始消耗蛋白质, 从而导致了 O/N 的下降。在相关研究中, 牡蛎在产卵后其 O/N 表现为剧烈下降<sup>[25]</sup>。5 月和 6 月水温均适宜虾夷扇贝生长, 虾夷扇贝除 14.4 组为 23.03 略低于 24 外, 其余各组均大于 24, 说明普通虾夷扇贝和海大金贝在设定温度区间内以消耗脂肪和碳水化合物为主。在张月月<sup>[3]</sup>对海大金贝的研究中发现, 经铁或弧菌胁迫后海大金贝中的 6 种铁蛋白均表现出更敏感快捷的反应。而在 9 月时, 水温仍处于较高水平, 海大金贝 O/N 下降, 是否受到了体内相关蛋白反应的影响, 需要在今后进行更深入的研究。

#### 参考文献:

- [1] Dong J H. Interpretation of China Fishery Statistics Yearbook 2013[J]. China Fisheries, 2013(7): 19-20.[董金和.《2013 中国渔业统计年鉴》解读[J]. 中国水产, 2013(7): 19-20.]
- [2] Li N. What accounting for orange color of Yesso Scallop Muscle (*Patinopecten yessoensis*) and its application in breeding[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009: 121-122.[李宁. 虾夷扇贝橘红色闭壳肌产生的原因及其在育种中的应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009: 121-122.]
- [3] Zhang Y Y. Investigation of the role and mechanism of ferritin in enhancing stress resistance in a new variety of Yesso scallop (*Patinopecten yessoensis*), "Haida golden scallop"[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013: 123-124.[张月月. 铁蛋白在虾夷扇贝新品种“海大金贝”高抗逆性中的作用及机理研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 123-124.]
- [4] Li W J, Xue Z F, Li H L, et al. The intermediate breeding of wild spats for Japanese scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. Fisheries Science, 2010, 29(1): 19-22.[李文姬, 薛真福, 李华琳, 等. 虾夷扇贝天然苗种中间育成技术研究[J]. 水产科学, 2010, 29(1): 19-22.]
- [5] Li W J. The research and exploration of the breeding technique of *Patinopecten yessoensis*[J]. Frishery Science, 1996,

- 15(1): 26–28.[李文姬. 虾夷扇贝育苗技术的研究与探讨[J]. 水产科学, 1996, 15(1): 26–28.]
- [6] Hao Z L, Ding J, Ben Y, et al. Effect of high temperature on survival, oxygen consumption and ammonia-N excretion in Yesso scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2013, 28(2): 138–142.[郝振林, 丁君, 贲月, 等. 高温对虾夷扇贝存活率、耗氧率和排氨率的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(2): 138–142.]
- [7] Ben Y. Study on the physiological ecology of the *Patinopecten yessoensis* response to high temperature change[D]. Dalian: Dalian Fisheries University, 2013: 82–83.[贲月. 虾夷扇贝应答高温变化的相关生理生态学研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2013: 82–83.]
- [8] Xu D, Zhang J H, Wang W Q, et al. Effect of temperature elevation on oxygen consumption rate and ammonia excretion of *Patinopecten yessoensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(5): 1101–1106.[徐东, 张继红, 王文琪, 等. 温度变化对虾夷扇贝耗氧率和排氨率的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(5): 1101–1106.]
- [9] Xu D, Zhang J H, Wang W Q, et al. Research on feeding physiology of scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2010, 31(4): 85–91.[徐东, 张继红, 王文琪, 等. 虾夷扇贝的摄食生理研究[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 85–91.]
- [10] Liu Z C, Zhang X L, Wang Z Q. Seeding proliferation techniques of *Patinopecten yessoensis* in bottom[J]. Marine Sciences, 1995, 19(1): 14–16.[柳忠传, 张贤励, 王尊清. 虾夷扇贝底播增殖技术[J]. 海洋科学, 1995, 19(1): 14–16.]
- [11] Jiang Z J, Du M R, Fang J G, et al. Experimental device and methods of sea water shellfish physiology research[P]. China, 201310287099.3. 2013-11-20.[蒋增杰, 杜美荣, 方建光, 等. 海水贝类生理学研究的实验装置及其使用方法[P]. 中国, 201310287099.3. 2013-11-20.]
- [12] Jobling M. Fish bioenergetics[J]. Oceanogr Literature Rev, 1995, 9(42): 785.
- [13] Hokanson K E, Kleiner C F, Thorslund T W. Effects of constant temperatures and diel temperature fluctuations on specific growth and mortality rates and yield of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri*[J]. J Fish Board Can, 1977, 34(5): 639–648.
- [14] Bao J, Dong S, Tian X, et al. Metabolic rates and biochemical compositions of *Apostichopus japonicus* (Selenka) tissue during periods of inactivity[J]. Chin J Oceanol Limnol, 2010, 28(2): 218–223.
- [15] Wang Y Q, Zhao W, Cheng F J, et al. Effect of body weight and temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in calm *Macra chinensis*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(6): 544–548.[王雅倩, 赵文, 程芳晋, 等. 体重和温度对中国蛤蚶耗氧率和排氨率的影响[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(6): 544–548.]
- [16] Wang J, Jiang Z H, Tang Q S. Oxygen consumption and ammonia-N excretion rates of *Chlamys farrera*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(9): 1157–1160.[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.]
- [17] Guo H Y, Wang Z P, Yu R H, et al. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption and ammonia excretion rate of *Sapisula solidissima*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2007, 37(S1): 185–188.[郭海燕, 王昭萍, 于瑞海, 等. 温度、盐度对大西洋浪蛤耗氧率和排氨率的影响[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2007, 37(S1): 185–188.]
- [18] Yang H S, Zhang T, Wang P, et al. Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia-N excretion of the south bay scallop *Argopecten irradians concentricus*[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1998, 20(4): 91–96.[杨红生, 张涛, 王萍, 等. 温度对墨西哥湾扇贝耗氧率及排泄率的影响[J]. 海洋学报: 中文版, 1998, 20(4): 91–96.]
- [19] Zhang Y, Fang J G, Mao Y Z, et al. Effect of salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of calm *Estellarca olivacea*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(4): 690–694.[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.]
- [20] Fan D P, Pan L Q, Ma S, et al. Effect of temperature and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Sinonovacula constricta*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2002, 32(1): 56–62.[范德朋, 潘鲁青, 马牲, 等. 温度对缢蛏(*Sinonovacula constricta*)耗氧率和排氨率的影响[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2002, 32(1): 56–62.]
- [21] Mayzaud P. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton. IV. The influence of starvation on the metabolism and the biochemical composition of some species[J]. Mar Biol, 1976, 37(1): 47–58.
- [22] Ikeda T. Nutritional ecology of marine zooplankton (ed)[M]. Sapporo: Hokkaido University. Faculty of Fisheries, 1974: 1–97.
- [23] Conover R J, Corner E. Respiration and nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their life cycles[J]. J Mar Biol Assoc UK, 1968, 48(1): 49–75.
- [24] Ezgeta-Balić D, Najdek M, Peharda M, et al. Seasonal fatty acid profile analysis to trace origin of food sources of four

- commercially important bivalves[J]. *Aquaculture*, 2012, 334–337: 89–100.
- [25] Mao Y Z, Zhou Y, Yang H S, et al. Seasonal variation in metabolic rate of pacific oyster *Crassostrea gigas* and its im-

plication to summer mortality[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(5): 445–451.[毛玉泽, 周毅, 杨红生, 等. 长牡蛎(*Crassostrea gigas*)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.]

## Effects of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion by the Haida golden scallop and Yesso scallop, *Patinopecten yessoensis*

JIANG Xu<sup>1</sup>, DU Meirong<sup>1,2</sup>, JIANG Zengjie<sup>1,2</sup>, FANG Jianguang<sup>1,2</sup>, ZHAO Xuewei<sup>3</sup>, ZHANG Yuan<sup>3</sup>

1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China
2. Laboratory for Marine Fisheries and Aquaculture, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266200, China;
3. Zhangzidao Group Co., Ltd., Dalian 116001, China

**Abstract:** Oxygen consumption rates (ORs), ammonia excretion rates (NRs), and  $Q_{10}$  and oxygen/nitrogen (O/N) ratios of the Haida Golden scallop and Yesso scallop, *Patinopecten yessoensis*, were measured seasonally from May 2012 to July 2013 under ambient conditions (5.6°C, 10.5°C, 14.4°C, and 21.2°C) using breathing bottles. The results showed that the variations in OR of *Patinopecten yessoensis* and Haida Golden scallop were identical at water temperatures of 5.6–21.2°C. OR increased with temperature when water temperature was <14.4°C and decreased with temperature when temperature was >14.4°C. Maximum ORs of *P. yessoensis* and Haida Golden scallop were 1.67 mg/(g·h) and 1.27 mg/(g·h), respectively. The ORs of Haida Golden scallop were significantly lower than those of *P. yessoensis* at 5.6 and 14.4°C ( $P<0.05$ ) but not different at 10.5°C and 21.2°C ( $P>0.05$ ). The variations in NR of *P. yessoensis* and Haida Golden scallop differed. The NR of *P. yessoensis* increased with temperature and peaked at 14.4°C (0.063 mg·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) and then decreased. NR at 14.4°C was higher than those at 10.5°C and 21.2°C ( $P<0.05$ ). The NR of Haida Golden scallop decreased from 5.6°C to 10.5°C and reached the minimum value at 10.5°C [0.029 mg/(g·h)] but then increased with temperature and peaked at 21.2°C. The NR of Haida Golden scallop was higher than those of *P. yessoensis* at 5.6°C and 21.2°C but lower than that of *P. yessoensis* at 14.4°C ( $P<0.05$ ). The difference was not significant at 10.5°C ( $P>0.05$ ). The  $Q_{10}$  of OR decreased with temperature. The O/N ratio showed that lipids and carbohydrates were the main *P. yessoensis* energy sources. Haida Golden scallop consumed protein at low temperature, switched to lipid and carbohydrates when the temperature increased, but switched back to protein when the temperature was highest.

**Key words:** *Patinopecten yessoensis*; Haida Golden scallop; temperature; oxygen consumption rate; ammonia excretion rate

**Corresponding author:** JIANG Zengjie. E-mail: jiangzj@ysfri.ac.cn