

# 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\*

毛玉泽 周 毅 杨红生<sup>1)</sup> 袁秀堂 文海翔 王如才<sup>2)</sup>

(中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071)

<sup>2)</sup>(中国海洋大学 教育部海水养殖重点实验室 青岛 266003)

**提要** 2002 年 6 月—2003 年 9 月, 在中国北方重要养殖海区桑沟湾, 采用呼吸瓶法现场研究了两种不同规格长牡蛎(*Crassostrea gigas*) 的耗氧率、排氮率及氧氮比的季节变化, 从代谢水平探讨了长牡蛎夏季死亡的原因。结果表明, 长牡蛎的耗氧率、排氮率以及氧氮比均具有明显的季节变化( $P < 0.001$ )。三龄牡蛎的个体耗氧率 7 月份最高[ $2.86 \text{ mgO}_2 / (\text{ind} \cdot \text{h})$ ], 1 月份最低[ $0.07 \text{ mgO}_2 / (\text{ind} \cdot \text{h})$ ]; 个体排氮率 8 月份最高[ $6.45 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{N} / (\text{ind} \cdot \text{h})$ ], 1 月份最低[ $0.47 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{N} / (\text{ind} \cdot \text{h})$ ]; 一龄牡蛎个体耗氧率和排氮率的变化范围分别为  $0.01 \sim 1.38 \text{ mgO}_2 / (\text{ind} \cdot \text{h})$  和  $0.04 \sim 1.66 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{N} / (\text{ind} \cdot \text{h})$ 。三龄个体单位个体耗氧率、排氮率高于 一龄牡蛎, 而单位软体干重的耗氧率、排氮率则小于 一龄个体。一龄个体的氧氮比变化范围为  $16.7 \sim 58.0$ , 10 月份最高, 一月份最低; 三龄个体的氧氮比变化范围为  $8.7 \sim 64.0$ , 6—7 月份较高平均为  $52.7$ , 8 月份产卵后迅速下降到  $14.7$ , 氧氮比的剧降表明该阶段长牡蛎代谢消耗了大量的蛋白质, 使其体质脆弱, 可能是引起三龄牡蛎夏季大量死亡的原因之一。

**关键词** 长牡蛎(*Crassostrea gigas*), 代谢率, 夏季死亡, 桑沟湾

**中图分类号** S968.3

长牡蛎于 20 世纪 80 年代初从日本引入我国, 80 年代末在我国北部沿海大面积养殖, 是我国双壳贝类养殖中规模大、产量高的养殖品种之一。该种牡蛎在我国养殖初期具有较高的出肉率和较好的经济效益, 但从 1994 年以来, 养殖的该种牡蛎出现了夏季高温大量死亡现象, 1995—1996 年, 大连和山东沿海二龄以上个体死亡率达 40%—50%, 有的地区甚至高达 70%—80%, 存活的个体也表现出生长缓慢, 个体瘦弱, 出肉率低的现象(马绍赛等, 1997; 隋锡林等, 2002)。

双壳贝类的生理生态学特性通常随生长水域环境的季节性变化而变化, 呼吸和排泌是贝类新陈代谢的基本生理活动, 也是贝类能量学研究的

重要内容, 它既反映了贝类的生理状态, 也反映贝类对环境变化的响应。目前, 有关长牡蛎的生理生态特性方面的研究报道较多(Shumway, 1982; Bougrier *et al.*, 1998; Ren *et al.*, 2001; Garcia-Esquivel *et al.*, 2002), 但现场研究其代谢率的季节性变化鲜有报道。作者通过现场研究长牡蛎耗氧率、排氮率和氧氮比的周年变化, 从代谢的角度探讨了引起其夏季死亡的原因。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验海区

实验在我国北方典型的贝类养殖海区——桑沟湾贝藻混养区进行。桑沟湾位于山东半岛东部( $122^\circ 24' \sim 122^\circ 35' \text{E}$ ,  $37^\circ 01' \sim 37^\circ 09' \text{N}$ ), 属半封闭性内湾; 湾内总面积为  $13333 \text{ km}^2$ , 平均水

\* 国家自然科学基金项目, 30100139 号, 30170742 号; 中国科学院知识创新工程重大方向项目, KZCX3-SW-214 号; 国家重点基础研究规划项目(973), G1999012012 号; 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室开放课题。毛玉泽, 博士生, 讲师, E-mail: maoyuze@263.net

1) 通讯作者: 杨红生, 博士, 研究员, 博士生导师, E-mail: hshyang@ms.qdio.ac.cn

深 8m(最大深度约为 15m), 水体积约为  $1000 \times 10^6 \text{m}^3$ 。该湾地势平坦, 是中国北方的一个重要养殖基地。该湾分为海带养殖区、贝类养殖区和海带贝类混养区三部分。主要养殖种类为大型海藻海带 (*Laminaria japonica*) 和栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*)、长牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 等经济贝类。

1.2 实验贝类的采集

实验所用长牡蛎均来自桑沟湾养殖基地贝藻混养区, 每次实验前选择体质健康、规格(壳高)相近的牡蛎用于实验, 2002 年 6—9 月, 仅采集三龄个体, 2002 年 10 月—2003 年 9 月, 同时采集一龄和三龄个体。采集后去除附着物, 清洗干净, 在海区暂养 24h 后用于代谢实验, 其基础数据见表 1。

表 1 实验牡蛎基础生物学数据  
Tab. 1 Biological measurements of *C. gigas* used for experiments

| 采样时间<br>(年. 月) | 三龄牡蛎         |              |             |            | 一龄牡蛎        |             |             |            |
|----------------|--------------|--------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|
|                | 湿重<br>(g)    | 壳高<br>(mm)   | 软体干重<br>(g) | 肥满度<br>(%) | 湿重<br>(g)   | 壳高<br>(mm)  | 软体干重<br>(g) | 肥满度<br>(%) |
| 2002. 06       | 83. 6±15. 0  | 93. 5±11. 3  | 2. 00±0. 10 | 11. 03     |             |             |             |            |
| 2002. 07       | 92. 5±18. 5  | 96. 2±6. 4   | 1. 40±0. 18 | 11. 09     |             |             |             |            |
| 2002. 08       | 108. 5±25. 2 | 103. 3±11. 1 | 1. 29±0. 38 | 6. 49      |             |             |             |            |
| 2002. 09       | 128. 7±42. 4 | 109. 7±18. 8 | 1. 79±0. 08 | 6. 25      |             |             |             |            |
| 2002. 10       | 81. 3±17. 2  | 107. 9±20. 2 | 1. 20±0. 04 | 6. 21      | 10. 3±3. 8  | 46. 2±6. 8  | 0. 13±0. 01 | 5. 94      |
| 2002. 11       | 122. 2±31. 3 | 101. 9±16. 3 | 0. 90±0. 02 | 4. 70      | 8. 6±2. 4   | 44. 4±6. 1  | 0. 14±0. 02 | 8. 19      |
| 2003. 01       | 89. 5±17. 3  | 113. 6±13. 2 | 0. 83±0. 15 | 8. 01      | 6. 6±2. 7   | 38. 9±6. 8  | 0. 09±0. 01 | 8. 82      |
| 2003. 03       | 117. 2±29. 7 | 116. 5±14. 1 | 1. 43±0. 18 | 8. 01      | 9. 4±3. 3   | 44. 8±5. 3  | 0. 17±0. 02 | 11. 70     |
| 2003. 05       | 98. 0±20. 1  | 100. 8±8. 9  | 1. 42±0. 29 | 5. 38      | 10. 0±2. 0  | 49. 5±5. 3  | 0. 25±0. 04 | 11. 62     |
| 2003. 07       | 109. 7±32. 0 | 110. 9±13. 3 | 2. 35±0. 76 | 7. 99      | 26. 4±5. 3  | 66. 0±9. 2  | 0. 48±0. 03 | 8. 49      |
| 2003. 09       | 126. 5±42. 8 | 115. 0±17. 6 | 1. 04±0. 26 | 4. 23      | 45. 7±16. 9 | 93. 2±27. 2 | 0. 38±0. 15 | 4. 98      |

1.3 实验方法

2002 年 6 月—2003 年 9 月现场研究了牡蛎代谢率的季节变化, 2002 年 6 月—11 月每月采样一次, 2003 年 1 月—2003 年 9 月每两个月采样一次。随机选取一龄(软体干重 0. 12—0. 53g/ind)和三龄(软体干重 0. 84—2. 34g/ind)两种规格牡蛎(表 1) 分别放入 6. 4L 的呼吸瓶中, 用虹吸法加满实验海区自然海水, 每个呼吸瓶放置三龄个体 4—6 个、一龄个体 8—12 个, 对照组不放牡蛎, 每个处理三个重复。待实验贝类贝壳张开后(大约 30min) 盖上瓶塞密封, 将呼吸瓶放在聚乙烯网袋中悬挂于养殖筏架上(水深约为 1. 5m) 以保持瓶内水温与现场水温相同, 实验时间为 2—4h, 以实验结束时 DO 不低于实验初始值的 60% 为限。实验结束后, 立即从呼吸瓶中取出实验贝类, 将瓶内海水用搅拌棒轻轻搅拌均匀, 虹吸法取水样, 测定

DO 水样现场固定, 其他分析水样用保温箱(加冰)运往实验室(养殖场内)分析, 样品测定在 3—5h 内完成。

测定实验海水的温度、盐度, 实验初始和结束时 DO、NH<sub>4</sub>-N 和 pH 值, 计算耗氧率、排氨率和氧氮比。用 Orion 公司生产的 520A 型精密 pH 计(±0. 002) 测定 pH 值, 表层温度计测定海水温度, HD-3 型海水盐度计测定海水盐度, 萨氏盘测定透明度。DO 用碘量法测定, GF/F 膜过滤后测定呼吸瓶中氨氮, NH<sub>4</sub>-N 用次溴酸钠氧化法测定, 详见《海洋监测规范》(国家海洋局, 1991)。UV-2102PC 型紫外分光光度计测定吸光值。

耗氧率分别以单位软体干重[mg/gdw·h] 和单位个体[mg/(ind·h)] 表示, 其计算公式为:

$$R_0[\text{mg}/(\text{gDW}\cdot\text{h})] = (C_{t0} - C_{t1}) \times V/DW/(t_1 - t_0)$$

式中,  $R_0$  为耗氧率,  $C_t$  是时间  $t$  时呼吸瓶中  $\text{O}_2$  的

浓度( $\text{mg/L}$ ),  $V$  是呼吸瓶的体积(去除实验牡蛎的体积)( $\text{L}$ ),  $DW$  是实验贝类的软体干重( $\text{g}$ ),  $t$  是实验开始和实验结束时的时间。

排氨率通过实验结束时呼吸瓶内  $\text{NH}_4\text{-N}$  的浓度减去实验开始时  $\text{NH}_4\text{-N}$  的浓度计算, 表示为单位软体干重 [ $\mu\text{mol}/(\text{gDW}\cdot\text{h})$ ] 和单位个体 [ $\mu\text{mol}/(\text{ind}\cdot\text{h})$ ] 的排氨率 ( $R_N$ )。氧氮比( $\text{O:N}$ ) 用公式  $\text{O:N} = (\text{mgO}_2/\text{h}/16)/(\text{mgNH}_4/\text{h}/14)$  计算。实验结束后测量牡蛎的壳高、湿重; 蒸煮后剥离软体, 测定软体湿重; 软体和贝壳经  $65^\circ\text{C}$  烘干至衡重测量其软体干重和壳干重, 计算肥满度指数。

1.4 统计分析

应用 SPSS 软件(11.0 版本)进行数据处理和双因子方差分析, 用 S-N-T 检验长牡蛎各项代谢指标季节变化的差异显著性。

2 结果

2.1 桑沟湾实验海区环境的理化特征

实验海区周年月平均水温变化为  $2.8\text{--}23.7^\circ\text{C}$ , 最低和最高水温分别出现在 2 月份和 8 月份(表 2); 透明度的月平均变化范围  $41.9\text{--}128.9\text{cm}$ , 12 月份最低, 8 月份最高; pH 周年的最高和最低值分别为  $8.369$ (3 月份)和  $8.006$ (7 月份); 盐度周年的变化幅度不大, 在  $31.4\text{--}32.9$  之间, 最低值出现在降雨较多的 7—8 月份。

2.2 牡蛎耗氧率( $R_O$ ) 的季节变化

长牡蛎个体  $R_O$  呈现明显的季节性变化( $F=76.43, P<0.001$ ), 7 月份和 1 月份是其两个拐点。单位个体最大  $R_O$  不是出现在全年温度最高的 8 月份, 而是出现在次高温度的 7 月份,  $R_O$  为  $2.45\text{--}2.86\text{mgO}_2/(\text{ind}\cdot\text{h})$ , 平均  $2.66\text{mgO}_2/(\text{ind}\cdot\text{h})$ 。  $R_O$  最低出现在全年温度最低的 1 月份, 为

$0.07\text{mgO}_2/(\text{ind}\cdot\text{h})$ (表 3); 同样, 单位软体干重的耗氧率 7 月份最高平均为  $1.54\text{mgO}_2/(\text{gDW}\cdot\text{h})$ , 1 月份最低为  $0.08\text{mgO}_2/(\text{gDW}\cdot\text{h})$ 。不同规格长牡蛎的  $R_O$  不同, 三龄个体的单位个体耗氧率 [ $\text{mgO}_2/(\text{ind}\cdot\text{h})$ ] 大于一龄个体, 而单位软体干重耗氧率 [ $\text{mgO}_2/(\text{gDW}\cdot\text{h})$ ] 小于一龄个体。

2.3 牡蛎排氨率( $R_N$ ) 的季节变化

长牡蛎的  $R_N$  也呈现明显的季节性变化( $F=89.36, P<0.001$ )。月平均温度最高的 8 月份和月平均温度最低的 1 月份是其两个拐点。8 月份三龄牡蛎的单位个体和单位软体干重的  $R_N$  都最大, 分别为  $6.45\mu\text{mol NH}_4\text{-N}/(\text{ind}\cdot\text{h})$  和  $5.24\mu\text{mol NH}_4\text{-N}/(\text{gDW}\cdot\text{h})$ , 之后逐渐下降, 1 月降到最小值 [ $0.47\mu\text{mol NH}_4\text{-N}/(\text{ind}\cdot\text{h})$ ], 以后又逐渐升高。一龄个体  $R_N$  的趋势与三龄个体相似, 1 月最低为  $0.03\mu\text{mol NH}_4\text{-N}/(\text{ind}\cdot\text{h})$ , 以后逐渐升高, 7 月达到最大值  $1.66\mu\text{mol NH}_4\text{-N}/(\text{ind}\cdot\text{h})$ (8 月份未采样)。不同规格长牡蛎的  $R_N$  不同, 三龄个体的单位个体  $R_N$  [ $\mu\text{mol NH}_4\text{-N}/(\text{ind}\cdot\text{h})$ ] 大于一龄个体, 而单位软体干重  $R_N$  [ $\mu\text{mol NH}_4\text{-N}/(\text{gDW}\cdot\text{h})$ ] 小于一龄个体(表 3)。

2.4 氧氮比的季节变化

长牡蛎氧氮比( $\text{O:N}$ ) 同样呈现明显的季节变化( $F=147.79, P<0.001$ )。三龄个体的  $\text{O:N}$  在 6—7 月份较高, 平均为  $52.7$ , 8 月份迅速下降到  $14.7$ , 然后逐渐升高到 11 月份的  $21.9$ , 此后又下降, 次年 1 月降到实验期间的最低值  $8.7$ , 之后又逐渐升高 7 月的  $37.8$ , 完成一个周年变化。一龄牡蛎的  $\text{O:N}$  周年变化和三龄牡蛎有所不同, 一龄牡蛎当年 10 月份其  $\text{O:N}$  高达  $58.1$ , 低温季节(次年 1—3 月份)  $\text{O:N}$  比较低, 平均为  $17.6$ , 此后又升高, 7 月达到最大值  $52.4$ 。

| 表 2 桑沟湾实验海区水温、透明度、pH 和盐度的季节变化                                                                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tab. 2 Seasonal variations in water temperature, transparency, pH and salinity in Sanggou Bay |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 月份                                                                                            | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 1*    | 2*    | 3*    | 4*    |
| 水温( $^\circ\text{C}$ )                                                                        | 13.5  | 18.0  | 21.2  | 23.7  | 23.5  | 19.2  | 12.4  | 7.7   | 2.8   | 2.3   | 4.2   | 7.7   |
| 透明度( $\text{cm}$ )                                                                            | 59.8  | 95.7  | 86.7  | 128.9 | 86.7  | 76.1  | 76.5  | 41.9  | 62.2  | 64.3  | 58.1  | 47.6  |
| pH                                                                                            | 8.160 | 8.100 | 8.006 | 8.045 | 8.092 | 8.164 | 8.172 | 8.254 | 8.330 | 8.310 | 8.369 | 8.247 |
| 盐度                                                                                            | 32.87 | 31.91 | 31.64 | 31.43 | 32.12 | 32.13 | 32.25 | 32.57 | 32.62 | 32.69 | 32.74 | 32.88 |

注: 水温和透明度是月平均值,  
\* 为 2003 年数据, 其余为 2002 年数据。

表 3 一龄和三龄长牡蛎耗氧率( $R_O$ )、排氨率( $R_N$ )和氧氮比( $\alpha_N$ )的季节变化

Tab. 3 Seasonal variations in oxygen consumption rates ( $R_O$ ), ammonia excretion rates ( $R_N$ ) and O/N ratios of 1-year and 3-year *C. gigas*

| 采样时间<br>(年.月) | 规格 | $R_O$<br>[mg/(ind·h)] | $R_N$<br>[μmol/(ind·h)] | $R_O$<br>[mg/(gDW·h)] | $R_N$<br>[μmol/(gDW·h)] | $\alpha_N$ |
|---------------|----|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|
| 2002.06       | 三龄 | 1.10±0.13             | 1.08±0.07               | 0.54±0.01             | 0.53±0.05               | 64.0±4.3   |
| 2002.07       | 三龄 | 2.45±0.19             | 2.73±0.08               | 1.76±0.09             | 1.99±0.30               | 56.1±5.8   |
| 2002.08       | 三龄 | 1.52±0.32             | 6.45±0.39               | 1.27±0.50             | 5.24±1.22               | 14.7±2.9   |
| 2002.09       | 三龄 | 1.17±0.30             | 4.35±0.77               | 0.66±0.20             | 2.45±0.54               | 16.7±1.4   |
| 2002.10       | 一龄 | 0.05±0.01             | 0.12±0.01               | 0.86±0.10             | 0.93±0.14               | 58.0±2.2   |
|               | 三龄 | 0.78±0.15             | 2.75±0.39               | 0.55±0.10             | 1.87±0.27               | 18.4±0.7   |
| 2002.11       | 一龄 | 0.16±0.01             | 0.37±0.11               | 1.16±0.21             | 2.56±0.49               | 29.8±11.1  |
|               | 三龄 | 0.40±0.10             | 1.23±0.14               | 0.45±0.01             | 1.29±0.02               | 21.9±0.5   |
| 2003.01       | 一龄 | 0.01±0.00             | 0.04±0.00               | 0.12±0.01             | 0.40±0.04               | 18.2±0.6   |
|               | 三龄 | 0.07±0.01             | 0.47±0.09               | 0.08±0.03             | 0.61±0.22               | 8.7±0.5    |
| 2003.03       | 一龄 | 0.14±0.02             | 0.54±0.12               | 0.83±0.00             | 3.10±0.36               | 16.9±2.0   |
|               | 三龄 | 0.32±0.05             | 1.26±0.22               | 0.25±0.03             | 0.97±0.08               | 15.9±0.4   |
| 2003.05       | 一龄 | 0.32±0.02             | 0.84±0.00               | 1.28±0.24             | 3.36±0.47               | 23.7±1.2   |
|               | 三龄 | 0.88±0.03             | 2.00±0.15               | 1.02±0.05             | 2.31±0.19               | 27.7±1.0   |
| 2003.07       | 一龄 | 1.38±0.07             | 1.66±0.26               | 2.90±0.35             | 3.52±0.79               | 52.4±5.7   |
|               | 三龄 | 2.86±0.16             | 4.74±0.44               | 1.32±0.22             | 2.03±0.41               | 37.8±1.5   |
| 2003.09       | 一龄 | 0.88±0.36             | 1.52±0.49               | 2.23±0.25             | 4.13±0.83               | 35.3±9.4   |
|               | 三龄 | 2.10±0.28             | 2.85±0.19               | 1.99±0.27             | 2.79±0.80               | 46.0±2.98  |

3 讨论

3.1 氧氮比的季节变化与物质代谢

氧氮比是动物呼吸排泄的重要生理指标,是揭示动物代谢规律的重要参数。理论上,当机体的蛋白质代谢占主导地位并且代谢产物全部以氨的形式释放时,碳骨架被完全氧化成CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O,此时氧氮比最低,约为7—9.3;当碳水化合物代谢占主导地位时,氧氮比通常大于24,较高的氧氮比通常意味着无氮代谢(Mayzaud, 1973)。从表3可以看出,三龄长牡蛎的氧氮比在5—7月份较高,为27.7—64.0,8月份迅速下降到14.7,以

后又逐渐增加到11月份的20左右,1月份降为全年的最低值。表明5—7月份糖原和脂肪是长牡蛎主要代谢底物,8月牡蛎产卵后,由于糖原和脂肪耗尽,机体必须依靠蛋白质代谢来补充由于繁殖而消耗的能量,氧氮比迅速下降,这与其他作者的研究一致(Gabbott *et al*, 1973; Barber *et al*, 1981; Ruiz *et al*, 1992)。9—11月份氧氮比又逐渐升高,表明糖原和脂肪又逐渐积累,在参与代谢的同时完成能量储备(Berthelin *et al*, 2000)。1月份氧氮比最低,是因为实验牡蛎在此阶段活动减弱,耗氧率较低引起的(表3)。但是当年的一龄牡蛎氧氮比的季节变化与三龄牡蛎的变化规律不

同, 其 O: N 在性成熟前均高于成体牡蛎, 当年 10 月的一龄牡蛎 O: N 比达 58.0 (远高于同期三龄牡蛎的 O: N), 1—3 月份较低, 平均为 17.6, 以后和三龄牡蛎具有相似的规律, 这与桑沟湾养殖的二龄长牡蛎即达到性成熟相吻合, 表明性成熟前牡蛎主要通过非氮物质代谢为机体提供能量。

### 3.2 代谢的季节变化与死亡率的关系

氧氮比的变化能反应贝类繁殖周期的能量变化 (Barber *et al.*, 1984), 随着季节的变化, 某些海水双壳类 (如 *Mytilus edulis*) 在繁殖季节受繁殖和营养的压力使它们对蛋白质的利用增加, 从而导致较低的氧氮比 (Bayne, 1973; Berthelin *et al.*, 2000)。Berthelin 等 (2000) 认为牡蛎在产卵前后, 性腺中糖原含量减少, 性腺中的能量储存组织衰退为空泡组织, 微泡细胞合成糖原的能力很低, 而且消化腺中的脂肪和糖原也达到一年中最低值。以前的研究表明, 牡蛎在机体糖原含量较高和性腺发育较低时, 死亡率低; 相反, 糖原含量的水平较低和性腺发育饱满时其死亡率较高 (Mori *et al.*, 1965; Perdue *et al.*, 1981, 1984)。大连和山东沿海的牡蛎死亡高峰期都是在 8 月份, 并且二龄以上牡蛎死亡率较高, 为 50%—60% (最高达 80%), 而当年一龄牡蛎死亡率较低。由表 3 可以看出, 三龄长牡蛎 8 月份具有较高的排氮率和较低的氧氮比, 而此时正是其产卵的高峰期 (王如才等, 1995), 表明机体对蛋白质的代谢和消耗较大。王芳等 (1998) 室内对长牡蛎的呼吸排泄的研究认为, 温度在 20—28℃ 成贝的 O: N 随温度的升高而增加, 在该温度范围内, 成体牡蛎呼吸消耗的能量主要来源于脂肪和糖, 说明仅温度的变化并不会使机体加速消耗蛋白质。作者认为, 牡蛎的夏季高温死亡, 不单纯是由于温度、盐度和海水中  $\text{NH}_4\text{-N}$  和病原体等胁迫因素引起的, 而且还因为配子发生时期要消耗大量的无氮营养物质, 迫使蛋白质过度消耗, 致使生物体质脆弱, 不能抵御高温期环境变化的巨大压力, 是主客观两方面的因素共同导致牡蛎夏季高温大量死亡。

### 参 考 文 献

马绍赛, 周诗贵, 陈聚法等, 1997. 滩涂养殖牡蛎死亡及生态环境效应调查研究. 海洋水产研究, 18 (2): 14—19 [Ma S S, Zhou S L, Chen J F *et al.*, 1997. Study on the mortality of beach culture oyster and the ecological environment effect. Marine Fisheries Research, 18 (2):

14—19]

王如才, 王昭萍, 张建中, 1995. 海水贝类养殖学. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 90—102

王 芳, 董双林, 张 硕等, 1998. 海湾扇贝和太平洋牡蛎呼吸排泄的研究. 青岛海洋大学学报, 28 (2): 233—239 [Wang F, Dong S L, Zhang S *et al.*, 1998. Study on the respiration and excretion of Sea scallop *Argopecten irradians* and Pacific oyster *Crassostrea gigas*. J Ocean University of Qingdao, 28 (2): 233—239]

国家海洋局, 1991. 海洋监测规范. 北京: 海洋出版社, 250—287

隋锡林, 孙景伟, 王富贵等, 2002. 大连沿海长牡蛎大量死亡原因解析. 大连水产学院学报, 17 (4): 272—278 [Sui X L, Sun J W, Wang F G *et al.*, 2002. Reasons of mass death off in Pacific oyster cultured in Dalian seashore. J Dalian Fisheries University, 17 (4): 272—278]

Barber B J, Blake N B, 1981. Energy and utilization in relation to gametogenesis in *Argopecten irradians concentricus* (Say). J Exp Mar Biol Ecol, 52: 121—134

Barber B J, Blake N J, 1985. Substrate catabolism related to reproduction in the bay scallop *Argopecten irradians concentricus*, as determined by O/N and RQ physiological indexes. Mar Bio, 87: 13—18

Bayne B L, 1973. Physiological changes in *Mytilus edulis* (L.) induced by temperature and nutritive stress. J Mar Biol Ass U K, 53: 39—58

Berthelin C, Kellner K, Mathieu M, 2000. Storage metabolism in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in relation to summer mortalities and reproductive cycle (West Coast of France). Comp Biochem Physiol, 125B: 359—369

Bougrier S, Collet B, Geaillon P *et al.*, 1998. Respiratory time activity of the Japanese oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). J Exp Mar Biol Ecol, 219: 205—216

Cabbott P A, Bayne B L, 1973. Biochemical effects of temperature and nutritive stress on *Mytilus edulis* (L.). J Mar Biol Ass U K, 53: 269—286

Garcia-Esquivel Z, Bricelj M V, Felbeck H, 2002. Metabolic depression and whole-body response to enforced starvation by *Crassostrea gigas* postlarvae. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A, 133: 63—77

Mayzaud P, 1973. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton: II. Studies of the metabolic characteristics of starved animals. Mar Biol, 21: 19—28

Mori K, Tamate H, Imai T *et al.*, 1965. Studies on the mass mortality of the oyster in Matsushima Bay. V. Changes in the metabolism of lipids and glycogen of the oyster during the stages of sexual maturation and spawning. Bull Tohoku Reg Fish Res Lab, 25: 66—68 (In Japanese with English

summary)

- Perdue J, Beattie J H, Chew K K, 1981. Some relationships between gametogenetic cycle and summer mortality phenomenon in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in the Washington state. *J Shell Res*, 1: 9—16
- Perdue J, Erickson G, 1984. A comparison of the gametogenetic cycle between the Pacific oyster *Crassostrea gigas* and the suminoe oyster *Crassostrea rivularis* in Washington State. *Aquaculture*, 37: 231—237
- Ren J S, Ross A H, 2001. A dynamic energy budget model of

the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Ecological Modelling*, 142: 105—120

- Ruiz C, Abad M, Sedano F *et al*, 1992. Influence of seasonal environmental changes on the gamete production and biochemical composition of *Crassostrea gigas* (Thunberg) in suspended culture in El Grove, Galicia, Spain. *J Exp Mar Biol Ecol*, 155: 249—262
- Shumway S E, 1982. Oxygen consumption in oysters: an overview. *Mar Biol Lett*, 3: 1—23

## SEASONAL VARIATION IN METABOLIC RATE OF PACIFIC OYSTER, *CRASSOSTREA GIGAS* AND ITS IMPLICATION TO SUMMER MORTALITY

MAO Yi-Ze, ZHOU Yi, YANG Hong-Sheng, YUAN Xi-Tang,

WEN Hai-Xiang, WANG Rui-Cai

(Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

(Key Laboratory of Mariculture, Education Ministry of China, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

**Abstract** Data of oxygen consumption rates ( $R_O$ ), ammonia excretion rates ( $R_N$ ) and O: N ratios of Pacific oyster *Crassostrea gigas* were measured seasonally from June, 2002 to September, 2003, under the ambient conditions of temperature, pH, and salinity in Sanggou Bay, an important mariculture field in north China. Different sized oysters, namely 1-year oysters (0.12—0.53g/ind, DW) and 3-year oysters (0.84—2.34g/ind, DW) were collected from integrated cultivation areas of bivalve and kelp in the bay monthly or bimonthly, depending on water temperature. The  $R_O$  and  $R_N$  were determined using 6.4 liter respiration chambers, each chamber contains 4—6 3-year or 8—12 1-year individual oysters. The chambers were filled with field seawater and submerged in the sea by tuck net to keep the temperature. The chambers were taken out from seawater after 2—4h depending on field water temperature. In order to record stable oxygen consumption and ammonia excretion rates, oysters were acclimated in the chambers until their valves opened (approximately 30 min), and then close the chambers with rubber plugs. When the experiments were conducted, oxygen concentration in the chambers must be kept in high level above 60% of the initial concentration, to avoid any negative impact on oysters in normal physiological function.

There were significant seasonal variations in  $R_O$  and  $R_N$  for both 1-year and 3-year oysters. According to S-N-K's test, the highest  $R_O$  in 3-year oysters occurred in July with an average of 2.66mgO<sub>2</sub>/(ind•h) or 1.54mgO<sub>2</sub>/(gDW•h); the lowest  $R_O$  occurred in January with an average of 0.07mgO<sub>2</sub>/(ind•h) or 0.08mgO<sub>2</sub>/(gDW•h). The maximum and minimum  $R_O$  of 1-year oysters also occurred in July and January varied from 0.01—1.38mgO<sub>2</sub>/(ind•h) or 0.03—2.90mgO<sub>2</sub>/(gDW•h). The least ammonium excretion occurred in January for both 1-year and 3-year oysters in average of 0.04μmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup>N/(ind•h) or 0.40μmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup>N/(gDW•h) for 1-year oysters and 0.47μmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup>N/(ind•h) or 0.61μmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup>N/(gDW•h) for 3-year oysters, respectively. The highest  $R_N$  of 1-year and 3-year oysters occurred in July and August at 1.66μmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup>N/(ind•h) or 2.90μmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup>N/(gDW•h) and 6.45μmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup>N/(ind•h) or 5.24μmol NH<sub>4</sub><sup>+</sup>N/(gDW•h), respectively. Per single individual  $R_O$  and  $R_N$  in 3-year oysters were higher than those in 1-year oysters, while the per unit dry issue weight  $R_O$  and  $R_N$  in 3-year oysters were lower than 1-year oysters.

The O: N ratios of both 1-year and 3-year oysters showed significant difference as well. The O: N in 1-year oys-

ters ranged between 16.7 and 58.0, the minimum and maximum were recorded in January and October, respectively. The O: N in 3-year oysters changed from 8.7 to 64, higher in June—July, and lower in August in average of 14.7 at the period of spawning. Low O: N ratio (below 20) is used as an indicator of nutritional stress for marine bivalves as it shows increased reliance on protein as a catabolic substrate rather than carbohydrate and lipid. The lower O: N ratio in 3-year oysters during spawning period, was indicative of a greater demand for dietary nitrogen than carbon in this period, and had relatively high rates of protein catabolism to meet the energy consumption for spawning and resisting harsh environment, such as high temperature or abnormal salinity, which would impose a supplementary stress and increase the risk of summer mortality. It was believed to be one main reason that resulted in mass summer mortality of 3-year oysters.

**Key words** Pacific oyster *Crassostrea gigas*, Metabolic rate, Summer mortality, Sanggou Bay

### 欢迎订阅《中国水产科学》

《中国水产科学》是中国水产科学研究院主办的国家级学术期刊, 主要报道水产生物学基础研究、水产生物病害及其防治、水产生物营养及饲料、渔业生态保护及渔业水域环境保护、水产品保鲜与加工综合利用、水产资源、海淡水捕捞、水产养殖与增殖以及渔船、渔业机械与仪器等方面的最新进展、最新成果、最新技术和方法。主要服务对象是科研、教学、科技管理人员以及大专院校师生。是反映水产科研创新成果的窗口和培养人才的园地。它面向水产业, 为水产业的持续发展和水产经济建设服务。

本刊为双月刊, A4 开本, 每期 140 页, 单月出版, 国内外公开发行。国内定价 20 元/期, 全年 120 元(含邮费)。邮发代号: 18-250, 国内统一刊号: CN11-3446/S, 国际标准刊号: ISSN1005-8737, 国外代号 4639Q。全国各地邮电局(所)办理订阅手续(可破季订阅)。漏订或补订当年和过期期刊, 请直接向编辑部订阅。另备有少量合订本, 欢迎购买。

《中国水产科学》1994~2003 年光盘(ISBN 7-89995-232-8/S·004)已经出版发行, 每套定价 150 元。需要购买光盘的读者, 请将款通过邮局直接寄到编辑部, 款到寄盘, 同时开正式报销发票。欢迎广大读者与编辑部直接联系购买事宜。

编辑部地址: 北京市丰台区青塔村 150 号, 邮政编码: 100039, 联系电话: 010-68673921, 传真: 010-68673931; E-mail: jfishok@publica.bj.cninfo.net