

光照对不同规格番红砗磲(*Tridacna crocea*) 氧、氨氮及活性磷酸盐代谢的影响*

刘小霞 李 乐 郑 兴 顾志峰^① 刘春胜^①

(海南大学海洋学院 热带生物资源教育部重点实验室 海口 570228)

摘要 在水温 24–26℃下, 采用室内实验生态学方法, 研究了 5000 lx 光照强度和黑暗对壳长为 (63.53±1.22) mm (S 组)、(75.87±1.50) mm (M 组)和(92.75±3.02) mm (L 组)番红砗磲(*Tridacna crocea*) 氧、氨氮及活性磷酸盐代谢的影响。结果显示, 光照条件下, 番红砗磲释放氧气, 吸收氨氮和活性磷酸盐。黑暗条件下, 番红砗磲代谢状况与其他双壳贝类类似。番红砗磲个体代谢率与规格密切相关: 光照条件下个体越大, 产氧率、对氨氮和活性磷酸盐吸收率越高; 黑暗条件下, 个体越大, 耗氧率、对氨氮和活性磷酸盐释放率亦越高。光照条件下, 番红砗磲软体部单位干重代谢率与其个体规格呈负相关, 个体越大, 单位干重的产氧率、氨氮和活性磷酸盐的吸收率越小。实验首次量化了不同光照条件下番红砗磲对氧、氨氮及活性磷酸盐的吸收和排泄状况, 结果可为研究番红砗磲在珊瑚礁生态系统中的作用提供依据, 对砗磲人工养殖也具有一定的参考。

关键词 番红砗磲; 光照; 规格; 代谢

中图分类号 S966 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2017)05-0092-08

番红砗磲(*Tridacna crocea*)隶属于软体动物门(Mollusca)、双壳纲(Bivalvia)、帘蛤目(Veneroida)、砗磲科(Tridacnidae)、砗磲属(*Tridacna*), 分布于从西太平洋到印度洋非洲东海岸的热带海域, 在我国主要分布在南海热带海域(罗伟, 1991)。砗磲个体巨大, 向上直立生长于珊瑚礁中, 是珊瑚礁生态系统的重要生物。砗磲肉味道鲜美、营养丰富, 具有一定的药用价值(陈国英等, 2008), 是一种名贵的经济贝类(Green *et al*, 1999; Han *et al*, 2008), 其贝壳作为“佛教七宝”之首, 具有极高的收藏价值。此外, 番红砗磲的外套膜鲜艳, 也是水族市场的新宠。

砗磲区别于其他双壳贝类的最主要特征是具有鲜艳的外套膜和共生虫黄藻(*Symbiodinium* sp.)系统。砗磲生长所需营养来源于外套膜管状系统内共生虫

黄藻的光合作用和鳃的滤食性摄食两部分, 前者所占营养比例随砗磲生长而增加。如壳长为 1.7 cm 的大砗磲(*T. gigas*)光合作用所占营养比例为 35%, 壳长为 13.7 cm 时则增至 66%以上(Klumpp *et al*, 1992; Norton *et al*, 1992)。虫黄藻不仅赋予砗磲鲜艳的颜色, 更重要的是为砗磲生长提供营养。砗磲外套膜色素细胞内部聚集的色素片晶可吸收波长为 400 nm 左右的蓝紫可见光, 以实现共生虫黄藻光合作用(Griffiths *et al*, 1994)。相关研究表明, 虫黄藻可以吸收二氧化碳、活性磷酸盐、硝酸盐等, 将其转化为砗磲所需的有机营养(Fitt, 1993; Klumpp *et al*, 1994)。

国内外对砗磲研究主要针对砗磲的形态结构、生态习性、人工繁育、个体发育及环境相关性等(罗伟, 1991; 何勇等, 2000; 李晓梅等, 2010; 晏宏等, 2011;

* 国际科技合作专项(2012DFG32200; 2013DFA31780)、国家科技支撑计划(2012BAC18B04)和海南省自然科学基金(317029)共同资助 [This work was supported by the International S&T Cooperation Program of China (2012DFG32200, and 2013DFA31780), National Science & Technology Pillar Program (2012BAC18B04), and the Natural Science Foundation of Hainan Province (317029)]. 刘小霞, E-mail: 1165957887@qq.com

① 通讯作者: 顾志峰, 教授, E-mail: hnugu@163.com; 刘春胜, 讲师, E-mail: lcs5113@163.com

收稿日期: 2016-05-11, 收修改稿日期: 2016-06-13

邵达等, 2012; 李育培等, 2015)。在砗磲代谢研究方面, 仅 Klumpp 等(1992、1994)开展了以总氮代谢为指标的大砗磲滤食性摄食和光合作用对生长的营养贡献比例变化的研究。本实验采用室内实验生态学方法研究了黑暗和光照条件下番红砗磲的氧、氨氮及活性磷酸盐生理代谢变化, 旨在量化番红砗磲对氧、氨氮及活性磷酸盐的吸收和排泄状况, 为我国砗磲资源的保护和开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

实验用番红砗磲(图 1)来自南海西沙赵述岛。实验前, 先将番红砗磲外壳洗净, 于水族缸中暂养 7 d。挑选大小不同、活力好、健康的个体, 测定其生物学性状。

实验用海水为经沉淀、砂滤的新鲜天然海水, pH 为 7.8–8.2, 盐度为 32–34, 水温为 24–26℃。

1.2 方法

实验采用静水系统, 在 15 L 的塑料圆桶中进行, 每个桶中放 6 L 抽滤海水, 用保鲜膜在水体表面封口, 膜中央开一小口, 插入一根长 40 cm 左右的塑料吸管(直径为 1 cm), 用于采集水样。

黑暗实验分成 4 组, 其中第 1 组为对照(无番红砗磲), 其余 3 组按番红砗磲规格分成小规格组(S 组)、中规格组(M 组)、大规格组(L 组), 具体参数见表 1。实验组每组 9 个番红砗磲, 随机平均放置于 3 个塑料圆桶中。实验持续 6 h, 每 1 h 取水样 1 次(75 ml), 测定溶解氧、氨氮、活性磷酸盐等, 所有水样均在 3–5 h 内测完。黑暗组实验桶采用黑色保鲜膜覆盖水体表面, 同时用黑色呢绒幕布遮盖, 以保证整个实验过程为无光环境。

光照实验: 待黑暗实验结束后, 番红砗磲放回水族缸中暂养 48 h 后, 进行光照实验。实验过程中, 所用光源为 LED 灯, 光照强度为 5000 lx, 采用白色透明保鲜膜覆盖水体表面。其他处理与黑暗实验相同。

1.3 溶解氧、氨氮、活性磷酸盐的测定方法

水质指标的检测依照《海洋监测规范》(GB17378.4-2007): 溶解氧采用 Winkler 碘量法测定, 氨氮采用次溴酸钠氧化法测定, 活性磷酸盐采用抗坏血酸还原磷钼蓝法测定。pH、盐度和温度采用 YSI-6600V2 型多参数水质监测仪测定。

1.4 计算方法

根据实验过程中桶内水中的溶解氧、氨氮和活性磷酸盐的质量浓度, 计算以下参数:

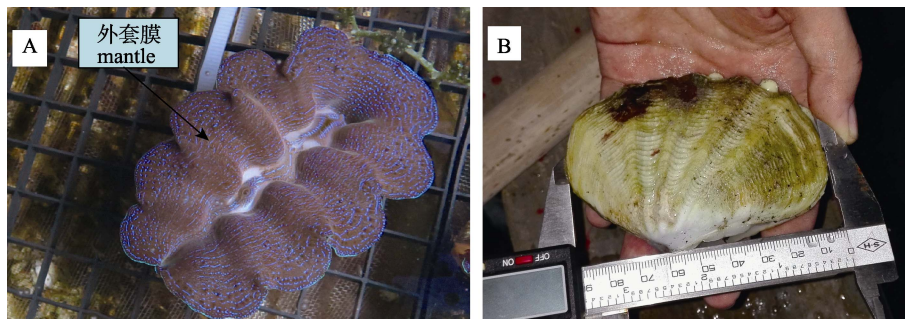


图 1 番红砗磲

Fig.1 Giant clam *T. crocea*

A. 正面; B. 侧面

A. Front view; B. Lateral view

表 1 番红砗磲的生物学数据

Tab.1 Biological data of giant clam *T. crocea*

生物学特征 Biological characteristics	番红砗磲分组 <i>T. crocea</i> groups		
	小规格 S	中规格 M	大规格 L
壳长 Shell length (mm)	63.53±1.22	75.87±1.50	92.75±3.02
壳宽 Shell width (mm)	45.23±3.33	55.97±6.85	58.3±5.57
壳高 Shell height (mm)	50.11±3.49	60.57±5.45	75.93±3.97
湿重 Wet body weight (g)	64.67±3.36	111.71±18.77	191.24±17.36
软体部干重 Soft tissue dry weight (g)	1.26±0.22	2.11±0.41	3.44±0.38

$$OR = [(A_t - A_0 - \Delta A) \times V] / (N \times t);$$

$$OR' = [(A_t - A_0 - \Delta A) \times V] / (W \times t);$$

$$NR = [(B_t - B_0 - \Delta B) \times V] / (N \times t);$$

$$NR' = [(B_t - B_0 - \Delta B) \times V] / (W \times t);$$

$$PR = [(C_t - C_0 - \Delta C) \times V] / (N \times t);$$

$$PR' = [(C_t - C_0 - \Delta C) \times V] / (W \times t).$$

式中, OR 为个体耗氧率[mg/(ind·h)]; OR'为软体部单位干重耗氧率[mg/(DW·h)]; NR 为个体排氮率[mg/(ind·h)]; NR'为软体部单位干重排氮率[mg/(DW·h)]; PR 为个体对活性磷酸盐的排出率[mg/(ind·h)]; PR'为软体部单位干重对活性磷酸盐的排出率[mg/(DW·h)]; A_0 、 A_t 为实验开始和实验持续时间为 t 时水体溶解氧含量(mg/L); B_0 、 B_t 为实验开始和实验持续时间为 t 时水体氨氮含量(mg/L); C_0 、 C_t 为实验开始和实验持续时间为 t 时水体活性磷酸盐含量(mg/L); t 为实验持续时间; Δ 值为对照组中溶解氧、氨氮和活性磷酸盐的变化值; V 为桶中海水体积(L); N 为番红砗磲的个数(ind); W 为番红砗磲软体部干重(g)。

1.5 数据处理与分析

所得数据为 3 个平行组数据的平均值±标准差 (Mean±SD), 使用 Excel 和 SPSS 17.0 软件处理数据, 用单因素方差分析方法(One-way ANOVA)分析, 显著性水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 溶氧变化

黑暗条件下, 水中溶解氧的变化情况见图 2-A。与对照组相比, 各实验组溶解氧含量均呈下降趋势, 即该条件下番红砗磲消耗氧气。不同规格的番红砗磲个体对溶解氧的消耗率不同, 规格越大, 其耗氧率亦越高(L 组 > M 组 > S 组)。S 组、M 组、L 组番红砗磲个体的耗氧率分别为(0.53±0.06)、(0.70±0.03)、(0.80±0.09) mg/(ind·h) (图 3-A)。数据统计表明, S 组与其他 2 组均具有显著差异($P < 0.05$), M 组与 L 组没有显著差异。

光照条件下, 水中溶解氧的变化情况见图 2-B。

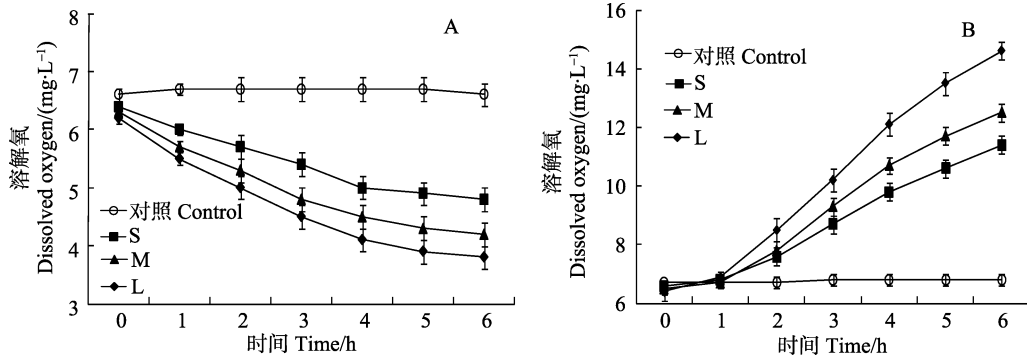


图 2 不同光照条件下溶解氧变化

Fig.2 The change in the level of dissolved oxygen under different illumination conditions

A: 黑暗; B: 光照 A: Dark; B: Light

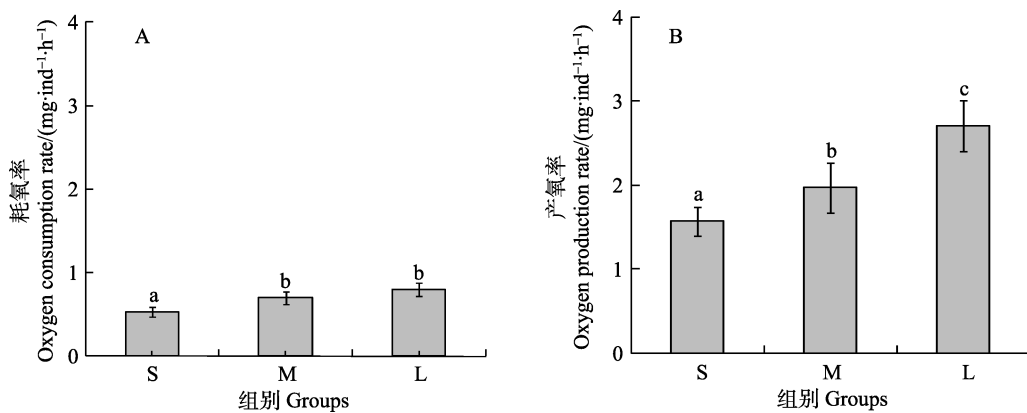


图 3 不同光照条件下番红砗磲个体氧代谢率

Fig.3 The metabolic rate of oxygen of individual giant clam *T. crocea* under different illumination conditions

A: 黑暗; B: 光照 A: Dark; B: Light

与对照组相比, 各实验组溶解氧均呈升高趋势, 即该条件下番红砗磲释放氧气。不同规格的番红砗磲个体产氧率不同, 规格越大产氧率越高(L 组>M 组>S 组)。S、M、L 组番红砗磲个体产氧率分别为(1.57±0.17)、(1.97±0.22)、(2.70±0.30) mg/(ind·h) (图 3-B), 数据统计表明, 各组之间均有显著差异($P<0.05$)。

2.2 氨氮变化

在黑暗条件下, 水中氨氮的变化情况见图 4-A。相对于对照组, 各实验组海水中氨氮浓度均升高, 即各实验组中的番红砗磲均排氨, 但排氨的效果不同, 规格越大, 其排氨率亦越高(L 组>M 组>S 组)。S 组、M 组、L 组中番红砗磲个体排氨率分别为(0.0145±0.0021)、(0.0161±0.0023)、(0.0186±0.0027) mg/(ind·h) (图 5-A)。数据统计分析表明, S 组与 M 组无显著差异, L 组与 S 和 M 组均有显著差异($P<0.05$)。

在光照条件下, 各实验组水中的氨氮含量变化基本一致, 均呈现一定的波动(图 4-B), 可能与番红砗磲内收缩运动的频率有关。同时, 番红砗磲的规格越大,

水中的氨氮含量也相对较高, 即番红砗磲规格越大, 其个体排氨率亦越高(L 组>M 组>S 组)。数据统计分析表明, 光照和黑暗条件下, 番红砗磲 S 组与 M 组均无显著差异, 而与 L 组具有显著差异($P<0.05$) (图 5-B)。

2.3 活性磷酸盐变化

在黑暗条件下, 水中活性磷酸盐的变化如图 6-A 所示, 对照组和各实验组随实验时长均上下波动, 且变化基本一致。统计数据表明, 各组间活性磷酸盐的排出率无显著差异(图 7-A)。

在光照条件下, 水中活性磷酸盐的浓度变化见图 6-B。与对照组相比, 各实验组水中活性磷酸盐浓度降低, 即各实验组中的番红砗磲吸收活性磷酸盐, 但不同规格番红砗磲个体对活性磷酸盐的吸收率不同: 规格越大, 对活性磷酸盐的吸收率越高(L 组>M 组>S 组)。S 组、M 组、L 组中番红砗磲个体对活性磷酸盐的吸收率分别为(0.0039±0.0005)、(0.0050±0.0006)、(0.0066±0.0008) mg/(ind·h), 各组之间均有显著差异 ($P<0.05$) (图 7-B)。

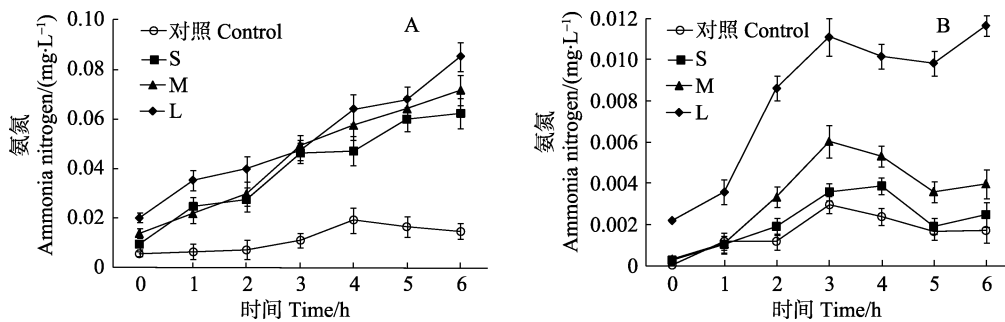


图 4 不同光照条件下氨氮浓度变化

Fig.4 The change in ammonia nitrogen concentration of giant clam *T. crocea* under different illumination conditions

A: 黑暗; B: 光照 A: Dark; B: Light

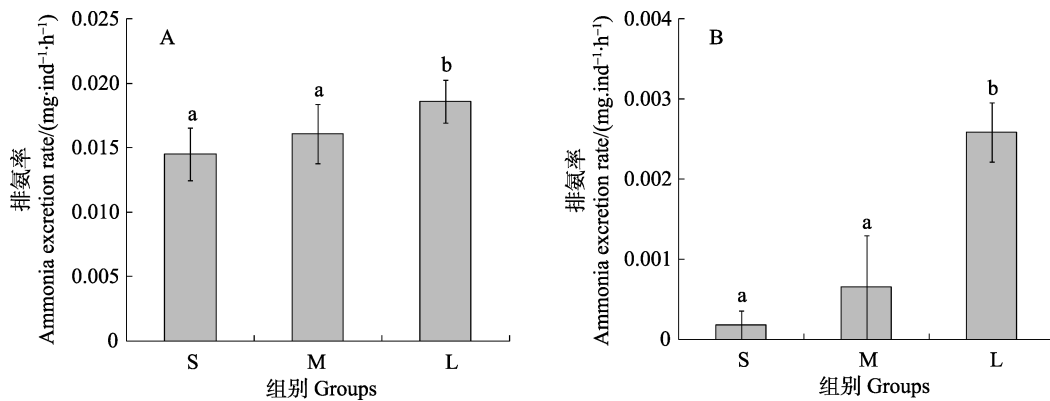


图 5 不同光照条件下番红砗磲个体氨氮代谢率

Fig.5 The metabolic rate of ammonia nitrogen of individual giant clam *T. crocea* under different illumination conditions

A: 黑暗; B: 光照 A: Dark; B: Light

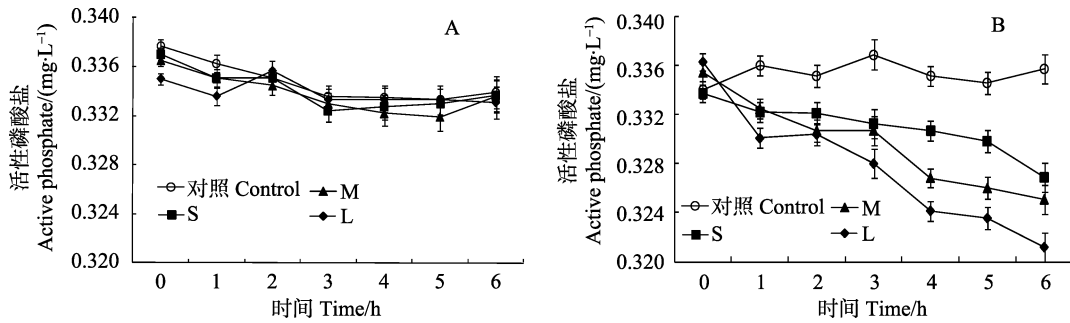


图 6 不同光照条件下活性磷酸盐变化

Fig.6 The changes in active phosphate concentration under different illumination conditions

A: 黑暗; B: 光照 A: Dark; B: Light

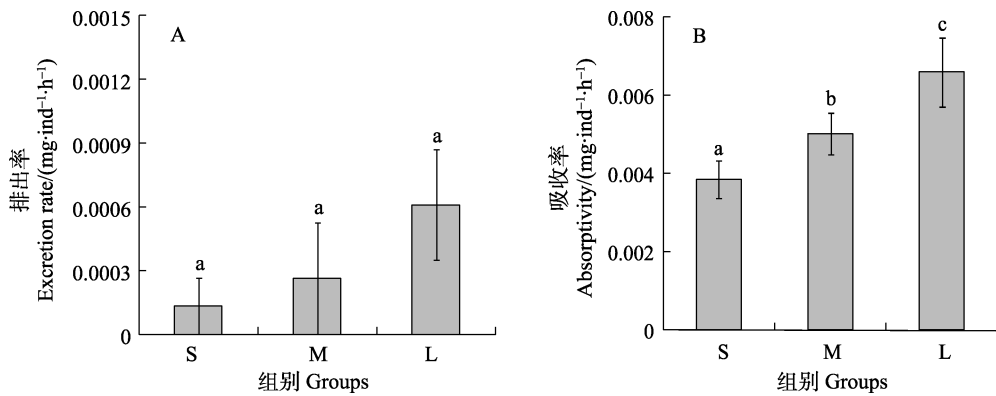


图 7 不同光照条件下番红砗磲个体活性磷酸盐代谢率

Fig.7 The metabolic rate of active phosphate of individual giant clam *T. crocea* under different illumination conditions

A: 黑暗; B: 光照 A: Dark; B: Light

2.4 光照条件下番红砗磲共生虫黄藻的代谢

光照条件下, 砗磲能量收支为砗磲与虫黄藻消耗氧并释放氨氮和活性磷酸盐的异养代谢, 与虫黄藻光合作用产生氧并吸收氨氮和活性磷酸盐的自养代谢的总和。基于上述条件, 同时假设黑暗与光照条件下番红砗磲与虫黄藻异养代谢相同, 作者得出光照条件下番红砗磲共生虫黄藻的产氧率、氨氮吸收率和活性磷酸盐吸收率分别为:

产氧率=黑暗条件下番红砗磲耗氧率+光照条件下番红砗磲产氧率;

氨氮吸收率=黑暗条件下番红砗磲的排氨率-光照条件下番红砗磲的排氨率;

活性磷酸盐吸收率=黑暗条件下番红砗磲对活性磷酸盐的排出率+光照条件下番红砗磲对活性磷酸盐的吸收率。

如图 8 所示, 光照条件下个体越大, 番红砗磲个体共生虫黄藻产氧率、氨氮和活性磷酸盐吸收率越高

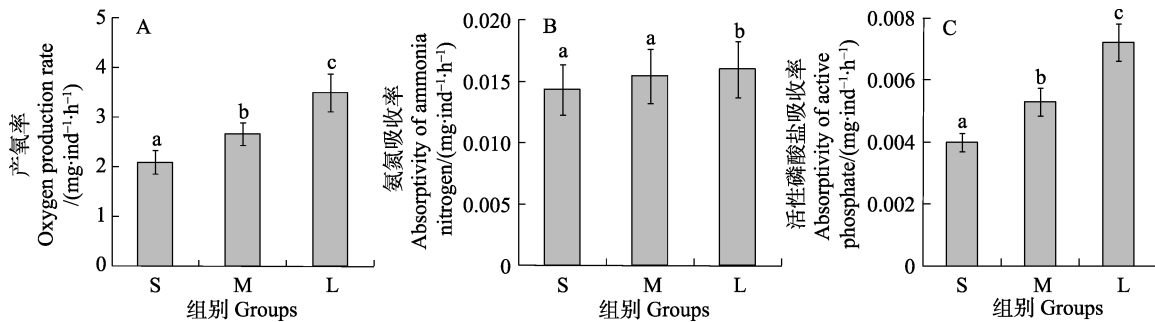


图 8 光照条件下番红砗磲个体共生虫黄藻的代谢率

Fig.8 The metabolic rate of symbiotic zooxanthellae of individual giant clam *T. crocea* under illumination conditions

(L 组>M 组>S 组), S 组、M 组、L 组中番红砗磲个体共生虫黄藻产氧率分别为(2.10±0.23)、(2.67±0.30)、(3.50±0.39) mg/(ind·h), 各组之间都具有显著差异($P<0.05$)。而光照条件下, 番红砗磲个体共生虫黄藻对氨氮的吸收率差异不明显, S 组与 M 组无显著差异, L 组与其他 2 组均具有显著差异($P<0.05$)。番红

砗磲个体共生虫黄藻对活性磷酸盐的吸收率各组之间均具有显著差异($P<0.05$)。

而光照条件下番红砗磲软体部单位干重的共生虫黄藻产氧率、对氨氮的吸收率、对活性磷酸盐的吸收率均是 S 组>M 组>L 组, 各组之间具有显著差异($P<0.05$) (图 9)。

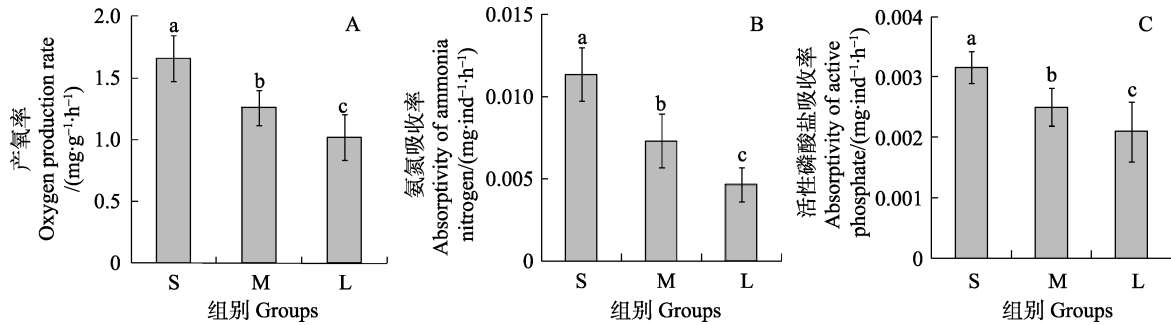


图 9 光照条件下番红砗磲软体部单位干重共生虫黄藻的代谢率

Fig.9 The metabolic rate of symbiotic zooxanthellae per gram of dry weight of giant clam *T. crocea* under illumination conditions

3 讨论

3.1 光照对番红砗磲代谢的影响

砗磲具共生虫黄藻系统。本研究发现, 在黑暗条件下, 即没有共生虫黄藻光合作用影响的情况下, 番红砗磲与其他双壳贝类相似, 消耗氧, 而在适宜光照条件下, 番红砗磲释放氧, 光照强度 5000 lx 时, 壳高为 50.11、60.57 和 75.97 mm 个体产氧率分别为 1.57、1.97 和 2.70 mg/(ind·h)。其他的双壳贝类, 如壳高为 44.34 mm 和 106.56 mm 的企鹅珍珠贝(*Pteria penguin*), 其耗氧率分别为 2.53 和 2.85 mg/(ind·h) (栗志民等, 2009); 壳高为 41.00 mm 和 66.20 mm 的马氏珠母贝(*Pinctada martensi*)耗氧率分别为 0.90 和 3.05 mg/(ind·h) (王海等, 2013)。同样光照条件下, 番红砗磲亦能吸收水体中活性磷酸盐, 且吸收率远大于黑暗条件下的排出率。光照条件下番红砗磲排氨率远小于黑暗条件, 说明相对于黑暗条件, 光照条件下番红砗磲可吸收氨氮。可见光照是影响砗磲代谢的重要因素。砗磲最独特的生物学性状是它的营养方式, 即通过其外套膜共生的虫黄藻, 利用海水中无机营养盐进行光合作用, 获得生长和呼吸所需营养; 砗磲水管系统和外套膜演化为一个巨大的“外套膜”组织并转向上方, 以利于共生虫黄藻光合作用(Brale, 1992), 继而通过外套膜内结构精细的管道系统将光合作用的产物输送给

宿主(Norton *et al.*, 1992)。此外, 砗磲也可通过鳃的过滤获得营养, 但 Yonge(1975)指出, 通过共生藻获得额外营养, 使砗磲贝超越了滤食的营养限制, 这也是砗磲能够生长巨大的原因。Mingoa 等(1988)的研究也揭示了大砗磲生长对于光照的依赖。Davies(1991)进一步指出, 成年后砗磲大部分生长和呼吸所需要的营养由共生的虫黄藻提供。以放射性标志所做的碳平衡研究揭示, 虫黄藻光合作用固定的 90%–95%碳传送给宿主(Davies, 1984)。

3.2 规格对番红砗磲代谢的影响

本研究发现, 在黑暗条件下, 番红砗磲个体的耗氧率、排氨率和对活性磷酸盐的排出率都随着规格的增大而升高, 这与虾夷马粪海胆(*Strongylocentrotus intermedius*)和长牡蛎(*Crassostrea gigas*)呼吸及排泄实验结果一致(毕远溥等, 2000; 任黎华等, 2013), 与甲虫螺(*Cantharus cecillei*)(吴文广等, 2016)的研究结果不一致。在光照条件下, 番红砗磲个体产氧率、排氨率和对活性磷酸盐的吸收率以及番红砗磲个体共生虫黄藻的产氧率、对氨氮的吸收率、对活性磷酸盐的吸收率也随规格的增大而升高, 说明单位个体的番红砗磲规格越大, 其虫黄藻总量也越多。有研究表明, 在一定范围内, 微藻的生物量越大, 对氨氮和活性磷酸盐的去除效果越好(孙颖颖等, 2006; 边磊, 2010¹⁾; 刘磊等, 2014)。但是, 光照条件下番红砗磲软体部单

1) Bian L. The removal and recycle of nitrogen and phosphorus nutrients and wastewater purification by microalgae. Master's Thesis of Zhejiang University, 2010, 16–52 [边磊. 微藻对氮磷营养盐的脱除利用与废水净化. 浙江大学硕士学位论文, 2010, 16–52]

位于重共生虫黄藻的产氧率、氨氮的吸收率和活性磷酸盐的吸收率却随着规格的增大而降低。这一现象可能是因为随着番红砗磲个体增大,其软体部的干重虫黄藻数量减少的缘故。

总之,实验首次量化了光照和规格对番红砗磲氧、氨氮和活性磷酸盐代谢的影响。研究表明,光照显著影响番红砗磲生理代谢。光照条件下,番红砗磲释放氧气,同时吸收氨氮和活性磷酸盐。其代谢率与规格密切相关,即个体越大,其产氧率、对氨氮和活性磷酸盐吸收率越高。因此,在砗磲的养殖过程中,需提供光照和营养盐,以利于番红砗磲共生虫黄藻的光合作用。从生态学角度讲,砗磲不但可直接吸收海水中营养盐,同时为其他各种珊瑚鱼类、底栖生物等提供饵料和庇护所,使砗磲具有极高的生态价值(Neo *et al.*, 2015)。

参 考 文 献

- Bi YP, Jiang S, Liu HY, *et al.* Effect of temperature and body weight on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Strongylocentrotus intermedius*. *Fisheries Science*, 2000, 19(4): 5–7 [毕远溥, 蒋双, 刘海映, 等. 水温、体重对虾夷马粪海胆耗氧量和排氨量的影响. *水产科学*, 2000, 19(4): 5–7]
- Bralely RD. The giant clam: hatchery and nursery culture manual. Australian Centre for International Agricultural Research, 1992(15): 144
- Chen GY, Li JP, Li H. One of Buddhist's seven treasure—*Tridacna*. *Collection World*, 2008(5): 126 [陈国英, 李江平, 李焕. “佛教七宝”之一——砗磲. *收藏界*, 2008(5): 126]
- Davies PS. Effects of day light variation on energy budgets of shallow water corals. *Marine Biology*, 1991, 108(1): 137–144
- Davies PS. The role of zooxanthellae in the nutritional energy requirements of *Pocillopora eydouxi*. *Coral Reefs*, 1984, 2(4): 181–186
- Fitt WK. Nutrition of giant clams. Australian Centre for International Agricultural Research, 1993(47): 31–40
- Green A, Craig P. Population size and structure of giant clams at Rose Atoll, an important refuge in the Samoan Archipelago. *Coral Reefs*, 1999, 18(3): 205–211
- Griffiths DJ, Winsor H, Luongvan T. Iridophores in the mantle of giant clams. *Australian Journal of Zoology*, 1992, 40(3): 319–326
- Han L, Peter AT, Loke MC, *et al.* The defensive role of scutes in juvenile fluted giant clams (*Tridacna squamosa*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2008, 359(1): 77–83
- He Y, Yang JD. The connection between Sr isotope in shell of modern *Tridacna* and its living environment. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2000, 20(1): 35–38 [何勇, 杨杰东. 现代砗磲壳体锶同位素与其生活环境的关系. *海洋地质与第四纪地质*, 2000, 20(1): 35–38]
- Klumpp DW, Bayne BL, Hawkins AJ. Nutrition of the giant clam *Tridacna gigas* (L.) I. Contribution of filter feeding and photosynthates to respiration and growth. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1992, 155(1): 105–122
- Klumpp DW, Griffiths CL. Contributions of phototrophic and heterotrophic nutrition to the metabolic and growth requirements of four species of giant clam (Tridacnidae). *Marine Ecology Progress Series*, 1994, 115: 103–115
- Liu L, Yang XW, Chen PY, *et al.* Efficiency of nitrogen and phosphorus removal from artificial wastewater by three kinds of microalgae. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014(11): 172–176 [刘磊, 杨雪薇, 陈朋宇, 等. 3种微藻对人工污水中氮磷去除效果的研究. *广东农业科学*, 2014(11): 172–176]
- Li YP, Li GY, Li JJ. Bottom sowing culturing *Tridacna squamosa* in the sea area of Xisha Islands. *Scientific Fish Farming*, 2015(9): 44–45 [李育培, 李广毅, 李家积. 西沙群岛海域砗磲底播养殖试验. *科学养鱼*, 2015(9): 44–45]
- Li XM, Du Y, Lin CX. Research on relationship between body size and zooxanthellae number of *Tridacna maxima*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010(6): 2981–2982 [李晓梅, 杜宇, 林炽贤. 长砗磲(*Tridacna maxima*)个体大小与虫黄藻数量的相关性研究. *安徽农业科学*, 2010(6): 2981–2982]
- Li ZM, Liu ZG, Xie L, *et al.* Oxygen consumption and ammonia-N excretion rates of *Pteria penguin*. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 31(6): 129–135 [栗志民, 刘志刚, 谢丽, 等. 企鹅珍珠贝耗氧率和排氨率的研究. *海洋学报*, 2009, 31(6): 129–135]
- Luo W. Larval growth of *Tridacna crocea*. *Topic Oceanology*, 1991(1): 73–79 [罗伟. 番红砗磲幼虫的生长. *热带海洋*, 1991(1): 73–79]
- Mingoa SSM. Photo adaptation in juvenile *Tridacna gigas*. Giant clams in Asia and the Pacific. *ACIAR Monograph*, 1988 (9): 145–150
- Neo ML, Eckman W, Vicentuan K, *et al.* The ecological significance of giant clams in coral reef ecosystems. *Biological Conservation*, 2015, 181: 111–123
- Norton JH, Shepherd MA, Long HM, *et al.* The zooxanthellae tubular system in the giant clam. *The Biological Bulletin*, 1992, 183(3): 503–506
- Ren LH, Zhang JH, Fang JG, *et al.* The diurnal of respiration, excretion and calcification in oyster *Crassostrea gigas*. *Progress in Fishery Sciences*, 2013(1): 75–81 [任黎华, 张继红, 方建光, 等. 长牡蛎呼吸、排泄及钙化的日节律研究. *渔业科学进展*, 2013(1): 75–81]
- Shao D, Yan H, Wang YH, *et al.* High resolution Sr/Ca profiles of three *Tridacna* specimens and their potential as sea surface temperature proxy. *Journal of University of Science and Technology of China*, 2012, 42 (1): 1–9 [邵达, 晏宏,

- 王玉宏, 等. 砗磲高分辨率 Sr/Ca 温度计: 3 种物种的对比分析. 中国科学技术大学学报, 2012, 42 (1): 1–9]
- Sun YY, Wang CH. Study on relation between the growth rates of *Isochrysis galbana* and nutrient salt concentration. Marine Sciences, 2006, 30(1): 78–83 [孙颖颖, 王长海. 球等鞭金藻的生长速率与培养液中营养盐的关系研究. 海洋科学, 2006, 30(1): 78–83]
- Wang H, Shi YH, Gu ZF. Relationship between weight and oxygen consumption rate of *Pinctada fucata martensii*. Journal of Qiongzhou University, 2013, 20(5): 73–79 [王海, 石耀华, 顾志峰. 马氏珠母贝体重与耗氧率的关系. 琼州学院学报, 2013, 20(5): 73–79]
- Wu WG, Zhang JH, Gao ZK, *et al.* Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion rate of whelk *Cantharus cecillei* with different sizes. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(2): 134–138 [吴文广, 张继红, 高振铨, 等. 温度和盐度对不同规格甲虫螺(*Cantharus cecillei*)耗氧率和排氨率的影响. 渔业科学进展, 2016, 37(2): 134–138]
- Yan H, Shao D, Wang YH, *et al.* High resolution Sr/Ca profiles of *Tridacna gigas* from Xisha Islands of South China Sea and its potential application on sea surface temperature reconstruction. Journal of Earth Environment, 2011, 2(2): 381–386 [晏宏, 邵达, 王玉宏, 等. 南海西沙大砗磲高分辨率 Sr/Ca 温度计及其意义. 地球环境学报, 2011, 2(2): 381–386]
- Yonge CM. Giant clams. Scientific American, 1975, 232(4): 96–105

(编辑 冯小花)

Effects of Illumination and Size on Metabolism of Oxygen Consumption, Ammonia and Active Phosphate Excretion in Giant Clam *Tridacna crocea*

LIU Xiaoxia, LI Le, ZHENG Xing, GU Zhifeng^①, LIU Chunsheng^①

(Ocean College, Hainan University, Key Laboratory of Tropical Biological Resources of Ministry of Education, Haikou 570228)

Abstract The effects of illumination (5000 lx illumination and darkness) and size [shell length: (63.53±1.22) mm as “small” group, (75.87±1.50) mm as “medium”, and (92.75±3.02) mm as “large”] on the metabolism of dissolved oxygen, ammonia nitrogen and active phosphate in the giant clam *Tridacna crocea* were studied under laboratory conditions at 24–26°C. The results showed that under illumination, *T. crocea* released oxygen and absorbed ammonia nitrogen and active phosphate; the metabolism of *T. crocea* was similar to other bivalve mollusks in the dark. The metabolism rate of individual *T. crocea* was closely related to the size. Under illumination, the oxygen-production rate and the ammonia nitrogen/active phosphate absorption rate had a highly positive correlation with the size; in the dark, on the contrary, there was a negative correlation between the size and the oxygen production rate and the ammonia nitrogen/active phosphate absorption rate. Under illumination, the metabolic rate of symbiotic zooxanthellae (per gram of dry weight) of *T. crocea* was negatively correlated with the individual size. In this study, the metabolism of oxygen, ammonia nitrogen and active phosphate of *T. crocea* was quantitatively correlated with the size and light conditions for the first time. Our results provided basic information on the role of *T. crocea* in coral reef ecosystems and on the artificial breeding of giant clams.

Key words *Tridacna crocea*; Illumination; Size; Metabolism

① Corresponding author: GU Zhifeng, E-mail: hnugu@163.com; LIU Chunsheng, E-mail: lcs5113@163.com