

文章编号: 1000-0615(2018)06-0863-07

DOI: 10.11964/jfc.20170710895

亚热带网箱区底播仿刺参养殖周期内生理生态学特征

于宗赫¹, 许强², 罗鹏¹, 黄文¹, 胡超群^{1*}

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 热带海洋生物资源与生态重点实验室, 广东广州 510301;

2. 海南大学南海海洋资源利用国家重点实验室, 海南海口 570228)

摘要: 在现场条件下研究了亚热带网箱区底播养殖仿刺参的生理生态学指标随时间的变化。结果显示, 网箱区底播的仿刺参耗氧率变化范围为 0.012~0.016 mg O₂/(g·h), 各时期数据间无显著差异, 表明在实验期间仿刺参维持基本代谢的能量消耗随时间变化不大; 对照区5月仿刺参的耗氧率显著高于2、3、6月, 表明对照区仿刺参夏眠初期能量消耗较大。2、3月网箱区仿刺参的耗氧率显著高于同期对照区, 表明冬季网箱区底播仿刺参代谢更为活跃。网箱区底播仿刺参排氮率随着时间不断下降, 2月排氮率[(0.061±0.009) μmol/(g·h)]显著高于5月[(0.045±0.011) μmol/(g·h)]和6月[(0.035±0.007) μmol/(g·h)], 这是因为冬、春季节水温更适宜仿刺参生长, 该阶段仿刺参摄食活跃, 可以有效地利用网箱区高质量的食物。5月以后网箱区仿刺参进入夏眠状态, 肠道逐渐萎缩, 其排氮率也随之降低。对照区仿刺参排氮率始终维持在较低的水平, 表明其营养状态不佳。各时期网箱区和对照区的O/N比值均为10~30, 表明仿刺参新陈代谢底物包含蛋白质和碳水化合物或者脂质。其中, 2—5月网箱区刺参O/N比值相对于对照区较低, 表明该阶段网箱区仿刺参新陈代谢底物中蛋白质所占比例较多, 这与该时期网箱区较高的食物质量相对应。

关键词: 仿刺参; 复合生态养殖; 生物修复; 耗氧率; 排氮率

中图分类号: S 966

文献标志码: A

近30年来, 中国海水网箱养殖发展迅速, 据统计, 2015年全国海水网箱养殖鱼类总产量为 5.72×10⁵ t, 其中位于热带和亚热带的海南、广东、广西以及福建的产量占全国总产量的 83.66%^[1]。网箱养殖对促进我国经济发展起着举足轻重的作用, 但是养殖过程中向海底排放大量的残饵、粪便等有机颗粒物造成的环境污染问题却不容忽视——有机颗粒物在海底分解过程中会消耗大量的溶解氧, 提高海区氨氮和硫化物浓度, 并增加富营养化的风险, 对海区生态环境造成了极大破坏^[2-5]。因此, 必须发展环境友好的、可持续发展的养殖方式, 这样才能减轻网箱养殖带来的污染负荷, 降低其对生态环境造成的影响。

复合生态养殖(integrated multi-trophic aquaculture, IMTA)被认为是降低海水养殖对生态环境影响的有效方式。研究表明, 仿刺参(*Apostichopus japonicus*)对沉积物摄食效率较高, 可有效地利用鱼类和贝类养殖过程中产生的残饵、粪便等碎屑, 在养殖系统中混养仿刺参能够有效地降低环境污染, 并带来额外的收益, 因此仿刺参被作为生物滤器广泛地应用于IMTA系统当中^[3-8]。

仿刺参适温范围很广, 在水温0~30 °C都可以生存, 但只在12~21 °C能够快速生长^[4-5, 9]。冬季, 北方海域水温较低, 当地仿刺参的生长和存活会受到低温的影响, 而此时亚热带海域水温则降到适宜仿刺参生长的范围, 因此在冬季将仿刺参南移到亚热带进行养殖是提高其生

收稿日期: 2017-07-09 修回日期: 2017-09-28

资助项目: 国家自然科学基金(41406194, 41676162); 广州市科技计划项目(201707010176); 海南大学南海海洋资源利用国家重点实验室开放课题(2016006)

通信作者: 胡超群, E-mail: hucq@scsio.ac.cn

长效率的有效方法^[4-5, 10]。前期研究表明, 将仿刺参底播养殖于亚热带网箱区是可行的, 在养殖过程中不需要额外投饵, 仿刺参也可以获得较高的生长率^[4-5]。

本实验重点考察亚热带网箱区底播养殖仿刺参的耗氧率和排氨率等生理生态学指标随时间的变化, 旨在为构建经济高效和环境友好的IMTA养殖模式提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验地点

实验在深圳大亚湾大鹏澳网箱养殖区(22°33'56" N, 114°31'16" E)和对照区(22°33'27" N, 114°30'52" E)进行。大鹏澳拥有20余年的网箱养殖历史, 养殖对象主要是鲷科鱼类、石斑鱼以及卵形鲳鲆(*Trachinotus ovatus*)等, 年产量约450 t; 养殖所用的饵料主要为冰鲜杂鱼, 较少投喂人工配合饲料^[11]。对照区位于网箱区西南部约1 km处, 周边100 m范围内没有养殖。网箱区和对照区海流速度都很低(<10 cm/s), 平均水深分别为5和4 m。各实验海域海底沉积物都为黏土质粉砂, 其中网箱区有机质和硫化物含量较高^[4-5, 11]。夏季由于水体分层, 海底常呈缺氧状态(DO<2.5 mg/L)^[4-5]。

1.2 仿刺参来源及底播养殖

实验用仿刺参来自于青岛地区养殖场, 利用冰盒空运至深圳, 将其暂养于数个体积为0.5 m³的玻璃钢桶中, 暂养过程中不进行投喂, 定期换水并剔除吐脏个体; 暂养2 d后, 选择规格相近[(40.35±4.84) g/头]、活力良好、体表无明显破损的仿刺参用于现场实验。实验仿刺参用于干毛巾吸干体表水分后称重。利用养殖设施底播养殖于网箱区和对照区, 养殖设施及养殖方式参照文献^[5]。实验所用仿刺参养殖密度为20头/m²。

1.3 生理生态学指标测定

仿刺参底播2个月以后, 每月从养殖设施中随机抽取5头规格均一的个体用于生理生态学指标测定。实验开始前将仿刺参放入网目为0.5 cm的网袋中悬挂于海区24 h以清空肠道, 然后将其分别放入5个注满现场海水的3 L棕色呼吸瓶内, 同时设置3个不放仿刺参的呼吸瓶作为空白对照, 用橡胶塞将呼吸瓶封口后开始计时, 并立

即放置于实验区海底使其水温与现场保持一致。实验持续4 h(具体时间需根据水温及仿刺参规格进行调整, 使实验结束时实验组DO不低于对照组的50%), 取回呼吸瓶, 将瓶内海水小心地混匀, 利用多参数水质分析仪(YSI 6920, 美国)直接测定DO; 取500 mL水样(含对照组)冷藏带回实验室, 依据《海洋调查规范》(GB/T 12763.4-2007)^[12]的方法分析NH₄-N含量。水样采集后, 立即测定仿刺参湿重和体积等生物学指标。

仿刺参的耗氧率[mg O₂/(g·h)]及其对N的排泄率[μmol/(g·h)]按照以下公式进行计算:

$$E = |C_t - C_0| \times V/W/t$$

式中, E 为仿刺参的耗氧率或排氨率; C_t 和 C_0 分别为实验组和对照组呼吸瓶中海水的DO(mg/L)或NH₄-N(μmol/L)含量。 V 为扣除仿刺参体积后的呼吸瓶容积(L); W 为实验用仿刺参湿重(g); t 为实验持续时间(h)。

仿刺参的O/N比值为原子数比值, 由耗氧率和排氨率进行换算。

1.4 环境参数

在进行仿刺参生理生态学实验的同时, 利用多参数水质分析仪在现场测定各海区海底水温、盐度以及DO; 利用沉积物捕集器采集海底新鲜沉降沉积物, 利用采泥器采集海底表层沉积物。各海区沉积物总有机质、有机碳以及有机氮的测定方法及结果参照文献^[5]。

1.5 数据分析

利用SPSS 19.0软件对数据进行统计分析。其中, 利用单因素方差分析(One-Way ANOVA)检验各组数据差异显著性, 利用SNK法对不同时期同一实验地点的数据进行多重比较; 利用 t 检验分析同一时期不同实验地点数据差异性。数据分析之前都进行正态分布和方差齐性检验。 $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果

2.1 环境参数

实验期间各海区水温均随时间逐步升高, 其中2、3月, 各海区水温均<19 °C, 4月下旬以后水温升到22 °C以上, 实验结束时水温接近30 °C; 同一取样时期, 网箱区与对照区水温比较接近(表1)。各海区盐度通常在31~33之间波

动, 同一取样时期, 网箱区和对照区盐度差异 <0.2 ; 而5月由于持续降雨, 各海区盐度均有较大幅度下降, 特别是对照区由于受到陆源淡水的影响, 其盐度降到了28.38。各海区DO随着水温的升高而降低, 到6月底降至 <5 mg/L; 同一时期, 除3月外, 对照区DO均略高于网箱区。

另外, 实验期间网箱区海底沉积物通量, 海底表层及新鲜沉降沉积物总有机质、有机碳以及有机氮含量均高于对照区^[5]。

表 1 各实验海区水质随时间的变化

Tab. 1 Temporal variations in water parameters at different experimental sites

日期 date	实验地点 study site	水温/°C water temperature	盐度 salinity	溶解氧/(mg/L) DO
2-18	网箱区 fish farm	16.39	31.18	7.63
	对照区 control	16.74	31.19	7.81
3-26	网箱区 fish farm	18.27	31.24	8.62
	对照区 control	17.98	31.16	7.22
4-26	网箱区 fish farm	22.35	32.67	5.08
	对照区 control	22.60	32.56	5.74
5-23	网箱区 fish farm	27.21	29.86	5.50
	对照区 control	26.67	28.38	5.93
6-29	网箱区 fish farm	29.42	31.57	4.08
	对照区 control	29.93	31.42	4.95

2.2 仿刺参生理生态学指标

实验期间各海区仿刺参成活率皆为100%, 其中2—4月生长率均为正值, 4月以后由于水温升高, 仿刺参进入夏眠状态, 其湿重开始迅速下降。各时期仿刺参具体生长情况见相关报道^[5]。

网箱区仿刺参耗氧率变化范围为0.012~0.016 mg O₂/(g·h), 方差分析表明, 各时期数据间无显著差异($P=0.145$); 而对照区5月仿刺参的耗氧率要显著高于2、3、6月(图1)。对于同一取样时期, t 检验表明, 2、3月网箱区仿刺参的耗氧率要显著高于对照区($P=0.026$ 和 $P=0.000$), 其余月份二者之间无显著差异($P>0.05$)

网箱区底播仿刺参排氨率随时间不断下降, 其中2月排氨率 $[(0.061\pm 0.009)\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})]$ 显著高于5月 $[(0.045\pm 0.011)\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})]$ 和6月 $[(0.035\pm 0.007)\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})]$ (图2)。方差分析表明, 各时期对照区仿刺参排氨率无显著差异($P=0.976$)。

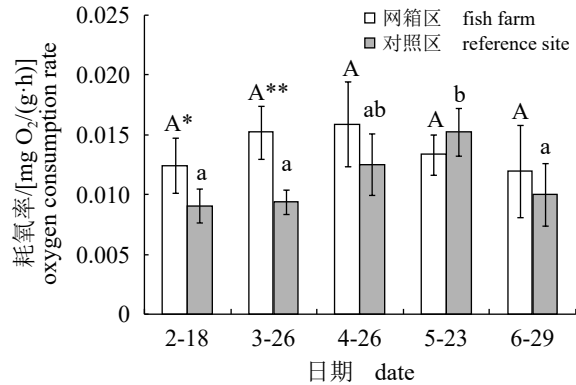


图 1 各海区底播养殖仿刺参耗氧率随时间的变化

不同字母表示各时期同一地点数据间存在显著差异; *, 同一时期各地点数据间存在显著差异 ($P<0.05$); **, 同一时期各地点数据间存在极显著差异 ($P<0.01$)。下同

Fig. 1 Temporal variations in oxygen consumption rates of the bottom-cultured *A. japonicus* at different experimental sites

Different letters above bars indicate significant difference among times at the same sampling site; *, significant difference between data for the two sites at the same sampling time ($P<0.05$); **, extremely significant difference between data for the two sites at the same sampling time ($P<0.01$). The same below

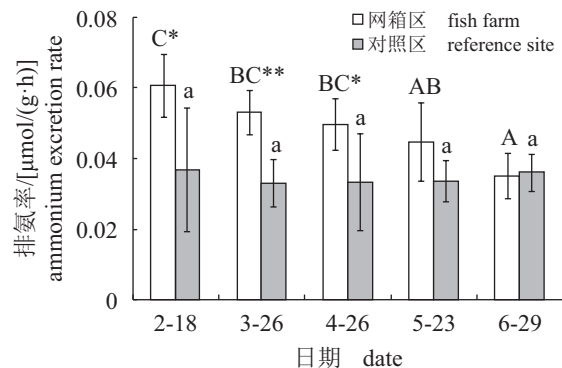


图 2 各海区底播养殖仿刺参排氨率随时间的变化

Fig. 2 Temporal variations in ammonium excretion rates of the bottom-cultured *A. japonicus* at different experimental sites

t 检验表明, 2—4月网箱区仿刺参排氨率均显著高于同期对照区($P=0.027$ 、 $P=0.001$ 和 $P=0.028$)。

各时期网箱区仿刺参O/N比值存在显著差异($P=0.036$), 而对照区则差异不显著($P=0.052$)(图3)。2月网箱区O/N比值 (13.04 ± 3.47) 显著低于6月 (22.07 ± 8.71) , 而其余月份间则无显著差异。 t 检验表明, 5月网箱区O/N比值 (19.05 ± 2.94) 显著低于同期对照区 (28.97 ± 7.03) ($P=0.020$), 其余月份二者差异不显著($P>0.05$)。

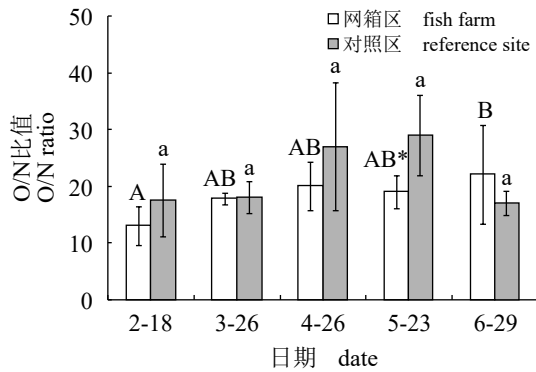


图3 各海区底播养殖仿刺参O/N比值随时间的变化

Fig. 3 Temporal variations in O/N ratios of the bottom-cultured *A. japonicus* at different experimental sites

3 讨论

研究表明,耗氧率和排氨率是用于指示棘皮动物能量代谢的重要指标^[13-15]。海洋生物从周围环境中获取氧的能力与其组织对氧的需求量密切相关,它随着生物体新陈代谢强度的增加而提高,因此耗氧率可以作为棘皮动物能量消耗的重要指标^[13-17]。本研究表明,各时期网箱区仿刺参耗氧率没有显著差异,表明整个实验期间其维持基本代谢的能量消耗变化不大;而4、5月对照区仿刺参耗氧率较高,表明对照区仿刺参在夏眠初期能量消耗较大。2、3月网箱区仿刺参耗氧率均显著高于对照区,表明冬季网箱区仿刺参代谢更为活跃,这也与该时期其较高的生长率相对应^[5]。仿刺参的耗氧率受各种因素影响,包括水温、盐度、规格甚至体色等^[13, 15, 18],如Yang等^[13]的研究表明,大规格仿刺参的耗氧率随着水温的升高而增加,在20℃达到最高值,随后开始下降;而对于小规格仿刺参,只有当水温>20℃时其耗氧率才随水温升高而增加,低温则对其影响不大。包杰等^[16]研究表明,在7~27℃范围内,小规格仿刺参耗氧率随温度升高而增加。上述结果与本研究存在较大出入,可能是实验条件差异造成的。

棘皮动物的排氨率与其蛋白质和氨基酸的代谢密切相关,因此排氨率是其氮代谢的重要指标,该指标可以直接体现其自身的营养状况^[15]。如海星(*Leptasterias hexactis*)和玉足海参(*Holothuria leucospilota*)的摄食率均与其排氨率正相关^[14, 19]。对于仿刺参,其排氨率也与其食物质量密切相关,

拥有较高排氨率的个体往往表现出较高的生长率^[17, 20-21]。本研究表明,2—4月网箱区仿刺参的排氨率较高,且显著高于同期对照区,这是因为冬、春季节水温适宜,仿刺参摄食活跃,网箱区仿刺参相较于对照区可以获得更为充足的高质量食物。该阶段网箱区仿刺参的营养状态更佳,生长速率更快^[5]。5月以后仿刺参进入夏眠状态,肠道逐渐萎缩并停止摄食,因此其排氨率也随之降低。对照区仿刺参排氨率较低且比较稳定,表明其营养状态长期维持在较差的水平。另外,棘皮动物的排泄率受盐度影响很大,当盐度不适宜时需要分解更多的游离氨基酸来调节渗透压^[14]。最适合仿刺参的盐度范围为28~34^[5],而各时期网箱区和对照区海水盐度均在28~33之间波动,因此本研究中盐度不是影响仿刺参排氨率的主要因素。

O/N比值是衡量海洋无脊椎动物代谢过程的重要指标,可以指示生物体新陈代谢的能量来源;一般来说,O/N比值>30表明新陈代谢底物以碳水化合物或者脂质为主,而O/N比值<10表明新陈代谢底物以蛋白质为主^[13-14, 22-23]。盐度、食物成分以及个体大小等因素都可以影响棘皮动物的O/N比值,其中长期饥饿和高质量的食物均可以降低O/N比值^[13-14, 24]。本研究中不同时期各实验地点的O/N比值均在10~30之间波动,表明仿刺参新陈代谢底物同时混合蛋白质和碳水化合物或者脂质;其中,2—5月网箱区仿刺参O/N比值要低于对照区,特别是2月,其值更是低至13.04,表明该阶段网箱区仿刺参新陈代谢底物中蛋白质所占比例较多,这与网箱区较高的食物质量相对应^[5]。

本实验结果表明,冬季和早春亚热带网箱区底播养殖仿刺参的营养状态及生理活性要优于对照区,该阶段适宜在网箱区构建以仿刺参为生物滤器的IMTA系统,从而有效地利用网箱养殖过程中产生的有机颗粒物,降低环境污染,并将其转化为高值产品。另外,为避免夏眠造成的损失,建议在4月下旬之前(水温<22℃)收获仿刺参,这样可以获得最大的产量。

参考文献:

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业年鉴2016[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.

Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the

- Ministry of Agriculture. China Fisheries Yearbook 2016[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016(in Chinese).
- [2] Holmer M, Marba N, Diaz-Almela E, *et al.* Sedimentation of organic matter from fish farms in oligotrophic Mediterranean assessed through bulk and stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) analyses[J]. *Aquaculture*, 2007, 262(2-4): 268-280.
- [3] Yokoyama H. Growth and food source of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* cultured below fish cages-potential for integrated multi-trophic aquaculture[J]. *Aquaculture*, 2013, 372-375: 28-38.
- [4] Yu Z H, Zhou Y, Yang H S, *et al.* Bottom culture of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) in a fish farm, southern China[J]. *Aquaculture Research*, 2014, 45(9): 1434-1441.
- [5] Yu Z H, Zhou Y, Yang H S, *et al.* Survival, growth, food availability and assimilation efficiency of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* bottom-cultured under a fish farm in southern China[J]. *Aquaculture*, 2014, 426-427: 238-248.
- [6] 袁秀堂, 杨红生, 周毅, 等. 刺参对浅海筏式贝类养殖系统的修复潜力[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(4): 866-872.
- Yuan X T, Yang H S, Zhou Y, *et al.* Bioremediation potential of *Apostichopus japonicus* (Selenka) in coastal bivalve suspension aquaculture system[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(4): 866-872(in Chinese).
- [7] 刘石林, 杨红生, 周毅, 等. 刺参对筏式养殖海区生物沉积物清除作用的模拟研究[J]. *海洋科学*, 2006, 30(12): 21-24.
- Liu S L, Yang H S, Zhou Y, *et al.* Simulative studies on utilization efficiency of *Apostichopus japonicus* on the biodeposit in the raft culture system in shallow sea[J]. *Marine Sciences*, 2006, 30(12): 21-24(in Chinese).
- [8] Zhou Y, Yang H S, Liu S L, *et al.* Feeding and growth on bivalve biodeposits by the deposit feeder *Stichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) co-cultured in lantern nets[J]. *Aquaculture*, 2006, 256(1-4): 510-520.
- [9] An Z H, Dong Y W, Dong S L. Temperature effects on growth-ration relationships of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka)[J]. *Aquaculture*, 2007, 272(1-4): 644-648.
- [10] Xing K, Liu S L, Yang H S, *et al.* Southward transplanted cage-culture of sea cucumbers *Apostichopus japonicus* in China's Shengsi Islands[J]. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 2012, 32: 33-38.
- [11] 黄洪辉, 林钦, 甘居利, 等. 大鹏澳海水鱼类网箱养殖对沉积环境的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(1): 75-80.
- Huang H H, Lin Q, Gan J L, *et al.* Impact of cage fish farming on sediment environment in Dapengao Cove[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(1): 75-80(in Chinese).
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.4-2007海洋调查规范第4部分: 海水化学要素调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.4-2007 Specifications for oceanographic survey-Part 4: Survey of chemical parameters in sea water[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008(in Chinese).
- [13] Yang H S, Zhou Y, Zhang T, *et al.* Metabolic characteristics of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) during aestivation[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 330(2): 505-510.
- [14] Yu Z H, Qi Z H, Hu C Q, *et al.* Effects of salinity on ingestion, oxygen consumption and ammonium excretion rates of the sea cucumber *Holothuria leucospilota*[J]. *Aquaculture Research*, 2013, 44(11): 1760-1767.
- [15] Talbot T D, Lawrence J M. The effect of salinity on respiration, excretion, regeneration and production in *Ophiophragmus filigraneus* (Echinodermata: Ophiuroidea)[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, 275(1): 1-14.
- [16] 包杰, 姜宏波, 董双林, 等. 红刺参和青刺参耗氧率与排氨率的比较研究[J]. *水产学报*, 2013, 37(11): 1689-1696.
- Bao J, Jiang H B, Dong S L, *et al.* Comparison of oxygen consumption rate and ammonia-N excretion rate between green type and red type *Apostichopus japonicus*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(11): 1689-1696(in Chinese).

- [17] Yuan X T, Yang H S, Zhou Y, *et al.* The influence of diets containing dried bivalve feces and/or powdered algae on growth and energy distribution in sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) (Echinodermata: Holothuroidea)[J]. *Aquaculture*, 2006, 256(1-4): 457-467.
- [18] 薛素燕, 方建光, 毛玉泽, 等. 高温下不同盐度对刺参幼参和1龄参呼吸排泄的影响[J]. *中国水产科学*, 2009, 16(6): 975-980.
- Xue S Y, Fang J G, Mao Y Z, *et al.* Effects of salinity on the respiration and ammonia excretion of sea cucumber *Apostichopus japonicus* under high temperature[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2009, 16(6): 975-980(in Chinese).
- [19] Shirley T C, Stickle W B. Responses of *Leptasterias hexactis* (Echinodermata: Asteroidea) to low salinity[J]. *Marine Biology*, 1982, 69(2): 147-154.
- [20] Liu Y, Dong S L, Tian X L, *et al.* Effects of dietary sea mud and yellow soil on growth and energy budget of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka)[J]. *Aquaculture*, 2009, 286(3-4): 266-270.
- [21] Shi C, Dong S L, Wang F, *et al.* Effects of four fresh microalgae in diet on growth and energy budget of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka)[J]. *Aquaculture*, 2013, 416-417: 296-301.
- [22] Ikeda T. Nutritional ecology of marine zooplankton[J]. *Memoirs of the Faculty of Fisheries Hokkaido University*, 1974, 22(1): 1-97.
- [23] Bayne B L, Widdows J. The physiological ecology of two populations of *Mytilus edulis* L.[J]. *Oecologia*, 1978, 37(2): 137-162.
- [24] Del Mar Oterovillanueva M, Kelly M S, Burnell G. How diet influences energy partitioning in the regular echinoid *Psammechinus miliaris*; constructing an energy budget[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, 304(2): 159-181.

Temporal variations in physiological characteristics of the sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) bottom-cultured in a subtropical fish farm

YU Zonghe¹, XU Qiang², LUO Peng¹, HUANG Wen¹, HU Chaoqun^{1*}

(1. Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology,

South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

2. State Key Laboratory of Marine Resources Utilization in South China Sea, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: An *in situ* experiment was carried out to estimate the temporal variations in physiological characteristics of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* bottom-cultured in a subtropical fish farm. Results showed that the oxygen consumption rates of the *A. japonicus* in the fish farm ranged from 0.012 to 0.016 mg O₂/(g·h), and no significant differences were observed between the values at different sampling times ($P=0.145$). This indicated the energy consumption for the basic metabolic needs of the animals didn't vary obviously during the experiment; however, the oxygen consumption rate of *A. japonicus* in the reference site during the May sampling was significantly higher than those in February, March and June, which indicated that high energy consumption at the beginning of aestivation. During the February and March samplings, the oxygen consumption rates of *A. japonicus* in the fish farm were significantly higher than those in the reference site during this period, indicating the higher metabolic rates of the animals in the fish farm. The ammonium excretion rates of *A. japonicus* in the fish farm decreased with time, and the value at the February sampling [(0.061±0.009) μmol/(g·h)] was significantly higher than those in May [(0.045±0.011) μmol/(g·h)] and June [(0.035±0.007) μmol/(g·h)], because water temperatures in winter and spring were suitable for the growth of *A. japonicus*, and animals in the fish farm could assimilate more food of better quality from the surrounding environment. *A. japonicus* in the fish farm underwent aestivation and their guts degenerated after May, and their ammonium excretion rates decreased simultaneously. The ammonium excretion rates of the *A. japonicus* in the reference site were low and constant during the whole study period, which indicated that animals were always in low nutritional condition. The O/N ratios of both sites ranged between 10 and 30, which indicated the mixed utilization of carbon-based substrates and protein acted as the catabolic substrate for *A. japonicus*. The O/N ratios of *A. japonicus* in the fish farm was lower than the reference site from February to May, which demonstrated the protein-dominated catabolism of the animals, and it corresponded to the higher food quality in the fish farm.

Key words: *Apostichopus japonicus*; integrated multi-trophic aquaculture; bioremediation; oxygen consumption rate; ammonium excretion rate

Corresponding author: HU Chaoqun. E-mail: hucq@scsio.ac.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (41406194, 41676162); Guangzhou Science and Technology Plan Project (201707010176) ; Open Project Program of the State Key Laboratory of Marine Resource Utilization in South China Sea (2016006)