

## 红刺参和青刺参耗氧率与排氨率的比较研究

包 杰<sup>1,2</sup>, 姜宏波<sup>2</sup>, 董双林<sup>1\*</sup>, 田相利<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学水产学院, 海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003;

2. 沈阳农业大学畜牧兽医学院, 辽宁 沈阳 110866)

**摘要:** 采用实验生态学方法比较研究了两种体色刺参(红刺参和青刺参)幼体在不同温度、盐度、光照下耗氧率(OCR)和排氨率(AER)的差异。结果表明:1)在温度 7~27 °C 范围内,红刺参和青刺参 OCR 均随温度的升高而增加,二者 OCR 变化范围分别为 7.58~25.94 和 13.12~25.61  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ;红刺参 OCR 在 7 和 12 °C 下显著低于青刺参,而在 22 °C 下则显著高于青刺参。2)红刺参 AER 随温度的升高而增加;青刺参 AER 随温度的升高先上升,在温度 17 °C 达到最高值,而后下降。二者 AER 变化范围分别为 0.62~2.57 和 0.90~2.22  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。红刺参 AER 在 7 °C 下显著低于青刺参,而在 27 °C 下显著高于青刺参。3)在盐度 26~38 范围内,红刺参和青刺参 OCR 和 AER 均随盐度的增加呈 M 形变化。红刺参和青刺参 OCR 变化范围分别为 15.72~21.32 和 14.83~21.80  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ;AER 变化范围分别为 1.47~2.83 和 1.40~2.00  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。红刺参 OCR 在盐度 23~32 条件下显著低于青刺参;红刺参的 AER 在盐度 29 下显著高于青刺参,而在盐度 32 下则显著低于青刺参。4)在不同光色下,红刺参与青刺参 OCR 变化范围分别为 14.33~21.37 和 15.73~21.59  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ,AER 变化范围分别为 4.00~8.86 和 6.38~8.22  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。红刺参和青刺参的 OCR 和 AER 仅在白光下差异达到显著水平。结果表明,红刺参对低温较敏感,而青刺参对高温敏感;红刺参和青刺参最适盐度范围均为 29~32;青刺参可能对光谱的适应范围较红刺参广,这与两者所栖息的天然环境相一致。

**关键词:** 青刺参; 红刺参; 耗氧率; 排氨率; 温度; 盐度; 光色

**中图分类号:** Q 571.8; S 968.9

**文献标志码:** A

在日本,天然刺参(*Apostichopus japonicus*)存在红刺参、青刺参和黑刺参 3 个品系。青刺参是我国重要的海水养殖种类,2011 年其养殖面积已达 15.0 万  $\text{hm}^2$ ,鲜参产量超过 13 万  $\text{t}$ <sup>[1]</sup>。随着养殖规模的扩大,我国刺参养殖业中出现的诸如品种单一、种质退化、病害严重等问题逐渐暴露出来,因此,积极改良刺参养殖品种可有效地促进刺参养殖产业的持续和健康发展<sup>[2]</sup>。

红刺参在形态(体色、骨片、消化道等)、生理生态(栖息环境、分布、生长和产卵季节等)方面与青刺参存在较大差异<sup>[3-4]</sup>;红刺参与青刺参间

遗传也存在显著差异<sup>[5-9]</sup>。由于体壁较厚,价格较高,红刺参于 2007 年从日本引入国内,并在国内开展人工育苗和养殖技术的研究。李莉<sup>[10]</sup>通过以中国当地刺参为母本,日本红刺参为父本进行单对杂交,采用微卫星和 AFLP 两种分子标记技术,验证了日本红刺参与中国当地青刺参杂交的可行性。但目前国内研究较为深入的主要是青刺参,而对于红刺参的研究则主要集中在其苗种生物学和遗传特性方面<sup>[5-11]</sup>。

呼吸和排泄是动物进行能量代谢的基本生理活动,是动物在不同条件下能量消耗的最量化

收稿日期:2013-07-21 修回日期:2013-09-22

资助项目:公益性行业(海洋)科研专项(200905020);国家科技支撑计划(2011BAD13B03)

通信作者:董双林,E-mail:dongsl@ouc.edu.cn

反映,也是生理状态的敏感指示因子,研究动物的呼吸和排泄已成为动物生理生态学的重要组成部分。关于青刺参呼吸和排泄的研究已有一些报道<sup>[12-15]</sup>,而由于红刺参和青刺参在遗传学、分布区的不同可能会导致它们对环境的适应性存在差异。因此,本实验对红刺参与青刺参在不同温度、盐度和光色下的耗氧率和排氮率进行了比较研究,为进一步开展刺参育苗和养殖技术提供基础理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

本实验所用青刺参购自青岛胶南,红刺参是从日本九州引进亲参的子一代。将运回的健康刺参随机置于10个400 L水槽中暂养。暂养期间24 h充气,驯养15 d,每天换水1/2~2/3,投喂过量配合饲料(粗蛋白16.56%,粗脂肪5.40%,灰分47.42,能量8.92 kJ/g)。驯养期间温度为(16±0.5)℃,盐度为30,光强(200±30) lx(白光),光照周期为10L:14D。

### 1.2 实验设计

**温度实验设计** 实验设置7、12、17、22和27℃5个温度梯度。各温度梯度是在实验刺参放入预设温度组后从实验温度16℃开始,每天升高或降低水温1℃,达到实验设定温度后驯化10 d。实验在250 mL三角锥形瓶测定其代谢率,每个瓶中放1个个体,每组设10个重复,3个空白呼吸瓶(不放刺参)作为对照。实验采用静水法,水浴控温,并用保鲜膜密封。每次实验均从上午9:00开始,持续进行6h。实验红刺参和青刺参体质量分别为(1.67±0.25)和(1.58±0.43) g。

**盐度实验设计** 实验设置23、26、29、32、35和38等6个盐度梯度。各盐度梯度是在实验刺参放入预设盐度组后从盐度30开始,每天升高或降低1~2个盐度,达到实验设定盐度后驯化10 d。实验操作同温度实验。实验红刺参和青刺参体质量分别为(3.31±0.41)和(3.36±0.34) g。

**光色实验设计** 实验设置白光(荧光灯,全光谱400~700 nm)、红光(700 nm)、黄光(580 nm)、绿光(525 nm)、蓝光(450 nm)5种光色。将已适应实验室条件的刺参于不同光谱下驯化

20 d。其他实验操作同温度实验,实验进行5 h。实验红刺参和青刺参体质量分别为(8.56±0.75)和(8.24±0.96) g。

### 1.3 样品测定

实验结束后,利用虹吸法取水样,然后用碘量法测定呼吸瓶及对照瓶中DO;用次溴酸钠氧化法测定NH<sup>4+</sup>-N浓度。所有样品测定均在3~5 h内完成。

### 1.4 计算方法

耗氧率(oxygen consumption rate,OCR)和排氮率(ammonia-N excretion rate,AER)分别以下式来计算:

$$\text{OCR} = (\text{DO}_0 - \text{DO}_1) V / (W \cdot t)$$

$$\text{AER} = (N_1 - N_0) V / (W \cdot t)$$

式中:OCR、AER为耗氧率[μg/(g·h)]和排氮率[μg/(g·h)],DO<sub>0</sub>、DO<sub>1</sub>分别为实验初始、结束时对照瓶中DO含量(μg/L),N<sub>0</sub>、N<sub>1</sub>分别为实验初始、结束时对照瓶中NH<sup>4+</sup>-N含量(μg/L),V为呼吸瓶体积,W为实验刺参体质量,t为实验持续时间。

Q<sub>10</sub>表示温度对刺参代谢率影响强度,其计算公式:

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

式中,M<sub>1</sub>和M<sub>2</sub>分别为实验温度t<sub>1</sub>和t<sub>2</sub>时刺参的代谢率(耗氧率)。

氧氮比公式:

$$\text{O:N} = (C_o / 16) / (C_n / 14)$$

式中,C<sub>o</sub>为单位时间刺参耗氧的质量(μg/h),C<sub>n</sub>为单位时间刺参排出氮氮的质量(μg/h)。

### 1.5 统计分析

数据以平均值±标准差(mean±SD)表示。所得数据用SPSS 10.0软件进行单因子方差分析(One-Way ANOVA)以及Duncan氏多重比较,用t检验对红刺参和青刺参进行比较,以P<0.05作为差异显著的标志。

## 2 结果

### 2.1 不同温度条件下红刺参和青刺参耗氧率与排氮率

在温度7~27℃范围内,红刺参和青刺参的耗氧率均随温度的升高而增加(图1)。红刺参与青刺参耗氧率变化范围分别为7.58~25.94和13.12~25.61 μg/(g·h)。红刺参和青刺参耗

氧率(OCR)与温度( $T$ )的关系式分别为  $OCR = 0.82 + 0.818T + 0.006T^2$  ( $r^2 = 0.856, P < 0.001$ );  $OCR = 18.018 - 0.856T + 0.042T^2$  ( $r^2 = 0.820, P < 0.001$ )。  $t$  检验表明,红刺参和青刺参间耗氧率在 7、12 和 22  $^{\circ}C$  条件下差异显著 ( $P < 0.05$ )。红刺参在 7 和 12  $^{\circ}C$  下的耗氧率显著低于青刺参 ( $P < 0.05$ ),而在 22  $^{\circ}C$  下,则为显著高于青刺参 ( $P < 0.05$ )。

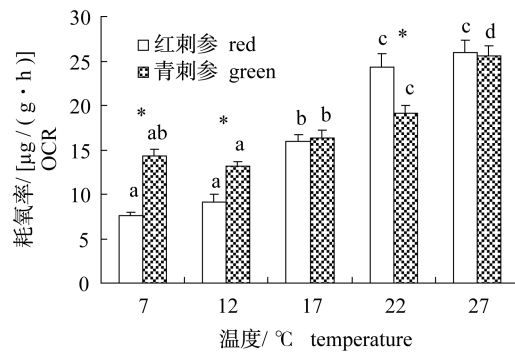


图 1 不同温度条件下青刺参与红刺参耗氧率

图中不同温度处理下带有不同字母的数据表示相互之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 以下图注释同此

\* 表示同一温度处理下红刺参和青刺参之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同

Fig. 1 Oxygen consumption rate of red and green type *A. japonicus* at different temperatures

Data with different letter at the different temperatures means significant difference each other ( $P < 0.05$ )

\* means significant differences between two types of sea cucumbers. The same as the following

在温度 7 ~ 27  $^{\circ}C$  范围内,红刺参排氨率随温度的升高而增加;青刺参排氨率随温度的升高先上升而后下降,在温度 17  $^{\circ}C$  达到最高值(图 2)。红刺参与青刺参排氨率变化范围分别为 0.62 ~ 2.57 和 0.90 ~ 2.22  $\mu g/(g \cdot h)$ 。红刺参和青刺参排氨率(AER)与温度( $T$ )的关系式分别为  $AER = -0.889 + 0.249T - 0.004T^2$  ( $r^2 = 0.885, P < 0.001$ );  $AER = -0.803 + 0.303T - 0.008T^2$  ( $r^2 = 0.810, P < 0.001$ )。  $t$  检验表明,红刺参排氨率在 7、12 和 17  $^{\circ}C$  条件下低于青刺参,在 22 和 27  $^{\circ}C$  下则高于青刺参,而二者仅在温度 7 和 27  $^{\circ}C$  下差异显著 ( $P < 0.05$ )。

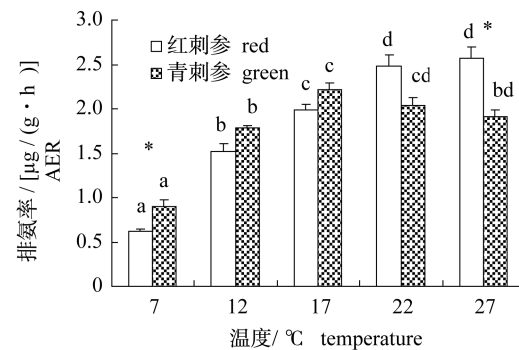


图 2 不同温度条件下青刺参与红刺参排氨率

Fig. 2 Ammonia-N excretion rate of red and green type *A. japonicus* at different temperatures

不同温度下红刺参和青刺参  $Q_{10}$  系数见表 1, 红刺参耗氧率  $Q_{10}$  变化范围为 1.33 ~ 3.65, 青刺参耗氧率  $Q_{10}$  变化范围为 0.91 ~ 2.47。

表 1 红刺参和青刺参耗氧率  $Q_{10}$  的变化

Tab. 1 The extent of temperature influence on metabolism rate of *A. japonicus*

	温度/ $^{\circ}C$ temperature				
	7 ~ 12	12 ~ 17	17 ~ 22	22 ~ 27	7 ~ 27
红刺参 red	1.34	3.65	1.84	1.33	1.85
青刺参 green	0.91	1.40	2.47	1.59	1.42

## 2.2 不同盐度条件下青刺参和红刺参耗氧率与排氨率

在盐度 26 ~ 38 范围内,红刺参和青刺参的耗氧率均随盐度的增加而呈 M 形变化(图 3)。红刺参和青刺参耗氧率分别在盐度 26 和 35 下最高,而均在盐度 29 条件下最低。红刺参与青刺参耗氧率变化范围分别为 15.72 ~ 21.32 和 14.83 ~ 21.80  $\mu g/(g \cdot h)$ 。  $t$  检验表明,在盐度 23 ~ 32 条件下,红刺参耗氧率显著低于青刺参 ( $P <$

0.05),而在盐度 35 ~ 38 条件下,则为红刺参低于青刺参,但二者间耗氧率差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

在盐度 23 ~ 38 范围内,红刺参排氨率随盐度的变化也呈 M 形变化(图 4)。红刺参与青刺参排氨率变化范围分别为 1.47 ~ 2.83 和 1.40 ~ 2.00  $\mu g/(g \cdot h)$ 。  $t$  检验表明,红刺参排氨率在盐度 23 ~ 29 条件下高于青刺参,而在盐度 32 ~ 38 下低于青刺参。红刺参和青刺参的排氨率差异仅在盐度 29 ~ 32 下达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。

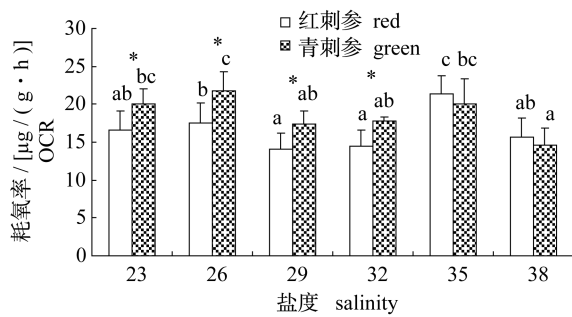


图3 不同盐度条件下青刺参与红刺参耗氧率

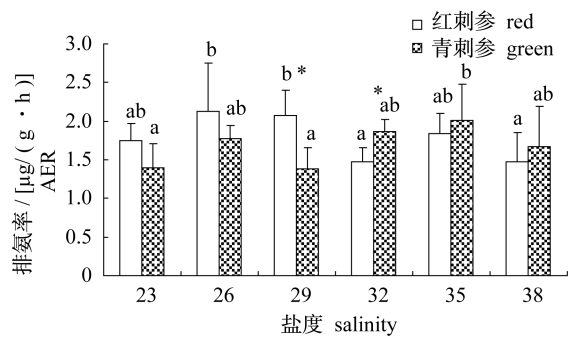
Fig. 3 Oxygen consumption rate of red and green type *A. japonicus* at different salinities

图4 不同盐度条件下青刺参与红刺参排氨率

Fig. 4 Ammonia-N excretion rate of red and green type *A. japonicus* at different salinities

### 2.3 不同光色条件下青刺参与红刺参耗氧率与排氨率

红刺参与青刺参耗氧率变化范围分别为14.33~21.37和15.73~21.59  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$  (图5)。方差分析表明,光色对红刺参与青刺参耗氧率影响显著( $P < 0.05$ )。红刺参耗氧率在黄光下最高,并显著高于其他4种光的处理( $P < 0.05$ );青刺参在白光下的耗氧率高于其它光色处理组,其中以红光和绿光与其差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。红刺参耗氧率在红光、黄光和绿光下高于青刺参,而在白光和蓝光下则低于青刺参。 $t$ 检验表明,红刺参与青刺参的耗氧率仅在白光下差异达到显著水平( $P < 0.05$ ),而在其它光色处理组下无显著差异( $P > 0.05$ )。

红刺参与青刺参排氨率变化范围分别为4.00~8.86和6.38~8.22  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$  (图6)。方差分析表明,光色对红刺参与青刺参排氨率影响显著( $P < 0.05$ )。红刺参排氨率在绿光下最高,并显著高于其它4个光色处理组( $P < 0.05$ ),

且白光下的排氨率显著低于蓝光、黄光和红光( $P < 0.05$ );青刺参排氨率也在绿光下最高,但仅显著高于黄光,而与白光、红光和蓝光间无显著差异( $P > 0.05$ )。红刺参排氨率在黄光和绿光下高于青刺参,而在白光、红光和蓝光下则低于青刺参。 $t$ 检验表明,红刺参与青刺参的排氨率仅在白光下差异达到显著水平( $P < 0.05$ ),在其它光色处理组下无显著差异( $P > 0.05$ )。

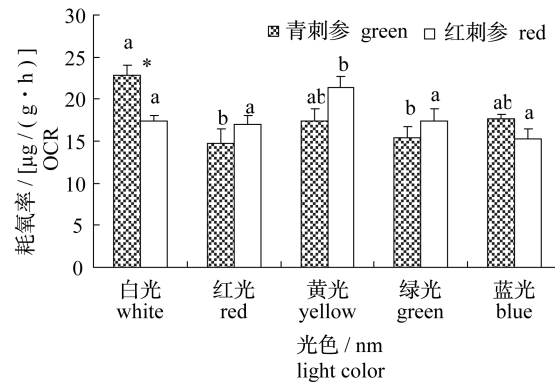


图5 不同光色条件下青刺参与红刺参耗氧率

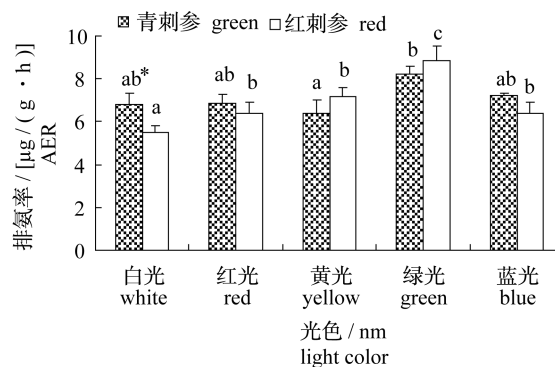
Fig. 5 Oxygen consumption rate of red and green type *A. japonicus* at different light colors

图6 不同光色条件下青刺参与红刺参排氨率

Fig. 6 Ammonia-N excretion rate of red and green type *A. japonicus* at different light colors

### 2.4 红刺参与青刺参 O:N

不同温度、盐度和光色对青刺参与红刺参 O:N 的影响见表2。可以看出,不同温度下青刺参与红刺参的 O:N 的范围分别为4.75~11.74和5.52~15.91;不同盐度下青刺参与红刺参的 O:N 的范围分别为6.37~12.29和8.71~11.80;不同光色下青刺参与红刺参的 O:N 的范围分别为1.97~2.80和1.63~2.77。

表 2 红刺参和青刺参 O:N 比较  
Tab.2 Ratio of O:N of red and green *A. japonicus* at different temperatures, salinities and light colors

温度/℃ temperature	红刺参 red	青刺参 green	盐度 salinity	红刺参 red	青刺参 green	光色 light color	红刺参 red	青刺参 green
7	11.74	15.91	23	7.21	11.80	白光 white	2.80	2.77
12	4.75	5.52	26	8.09	10.73	红光 red	1.97	2.16
17	7.55	7.64	29	6.37	11.02	黄光 yellow	1.71	1.63
22	8.69	8.97	32	8.33	8.59	绿光 green	2.45	2.58
27	8.57	11.49	35	10.00	8.95	蓝光 blue	2.34	1.85
			38	12.29	8.71			

### 3 讨论

实验结果表明,温度、盐度和光色对红刺参和青刺参的耗氧率和排氨率影响显著,二者对环境的适应存在较大差异。由于水生动物的耗氧率和排氨率受内在生物因子(体质量、活动、操作、日节律、摄食等)和外在因子(如温度,盐度,光照等)的影响<sup>[16-18]</sup>。为尽量避免上述因素的影响,本研究中用于比较的红刺参和青刺参均取同一规格,并养殖于相同环境条件下,因此可排除影响二者耗氧率和排氨率的背景干扰。

#### 3.1 不同温度下红刺参和青刺参耗氧率及排氨率的比较

温度是影响水生生物新陈代谢的重要因子。在一定温度范围内,大多数生物的耗氧率随温度的升高而增加,而当温度超过生物的适宜或耐受范围时则会显著下降。本研究中,红刺参和青刺参耗氧率在实验温度范围内(7~27℃)均随温度的升高而增加,二者的耗氧率与温度的关系满足线性回归方程( $r_R^2=0.856$ ,  $r_G^2=0.820$ ),表明二者的呼吸代谢强度直接受温度的影响。李宝泉等<sup>[12]</sup>,董云伟等<sup>[14-15]</sup>对青刺参的研究也发现类似现象。然而,本研究结果表明,二者对高温、低温的适应性存在明显差异。在适温范围内, $Q_{10}$ 可反应水生生物对温度变化的代谢调节能力。 $Q_{10}$ 越低,表明生物对环境温度的适应性较强,可使其在低温或高温条件下保持体内生理活动的稳定进而减少能量的消耗。例如,栖息于河口的桡足类 $Q_{10}$ 值就较低,剑水蚤(*Oithona davisae*)在温度5~30℃时 $Q_{10}$ 甚至可接近于1<sup>[19]</sup>。在本实验温度7~27℃范围内,红刺参的 $Q_{10}$ (1.85)高于青刺参 $Q_{10}$ (1.42),表明红刺参对温度变化更为敏感(表1)。在7~12和12~17℃范围内红刺参的 $Q_{10}$ 均高于青刺参,而在17~22和22~27℃范

围内则低于青刺参,表明红刺参能耐受高温变化而对低温较为敏感,青刺参则相反,这与红刺参和青刺参的栖息环境相一致,即红刺参主要栖息于环境稳定的外洋岩礁、砾石地带,而青刺参主要栖息于环境因子复杂多变的内湾砂泥地带<sup>[20]</sup>。

在温度7~27℃范围内,红刺参和青刺参的排氨率与温度的关系满足线性回归方程( $r_R^2=0.885$ ,  $r_G^2=0.810$ )。青刺参排氨率随温度的升高在17℃达到最高值而后呈下降趋势。李宝泉等<sup>[12]</sup>、袁秀堂等<sup>[21]</sup>对青刺参的研究也发现类似现象。然而,红刺参排氨率却随温度的升高而增加,这表明青刺参不耐受高温,这与温度对二者耗氧率影响的结果相一致。

#### 3.2 不同盐度下红刺参和青刺参耗氧率及排氨率的比较

棘皮动物缺乏专门的排泄器官,无法进行细胞外渗透调节,它们主要通过管足、体壁对盐度和水分较高的渗透性来完成体腔内离子浓度随环境盐度变化的适应。由于棘皮动物对离子调节方式的差异可引起其耗氧率和排氨率的明显差异<sup>[22-24]</sup>。在本研究盐度范围内(23~38)红刺参和青刺参均能保持正常生命活动,表明二者均对盐度的耐受范围较广。一般来讲,水生动物(如虾蟹类、鱼类、贝类等)的代谢率在最适盐度下较低,但随着盐度的升高或降低而偏离其栖息适宜环境则代谢率增加,这是由于它们要通过消耗能量以满足其渗透调节。本研究结果表明,青刺参和红刺参的耗氧率随盐度的升高呈M形变化,二者分别在盐度29、32耗氧率较低,而在盐度26和35时较高。可以看出,在盐度29~32范围内其代谢能量消耗最少,可能为其适宜盐度,这与袁秀堂等<sup>[21]</sup>研究的青刺参在盐度31.5和李莉<sup>[10]</sup>研究的红刺参幼虫生长率和存活率在盐度30最高的结果基本一致。

盐度可影响棘皮动物排泄率的明显变化。研究表明,海星(*Luidia clathrata*)的排氮率从盐度 27 降到 16 时显著升高<sup>[23]</sup>; *Eupentacta quinquesemita* 的排泄率随着盐度从 30 降至 20 而下降了 50%<sup>[24]</sup>, 而北方球海胆(*Strongylocentrotus droebachiensis*)的排泄率则受低盐度的影响不明显<sup>[24]</sup>。一般来讲,在最适盐度下棘皮动物维持渗透压调节所消耗的能量较少;在最适盐度范围外,低盐度胁迫带来的渗透压调节需要较多游离氨基酸分解,这会导致其排氮率的升高<sup>[25]</sup>;而高盐度胁迫下,其代谢能量需求主要通过体内蛋白质供能,而氨基酸库则变化不大<sup>[26]</sup>。本实验盐度范围内,青刺参和红刺参排氮率随盐度的增加也呈 M 形变化,分别在盐度 29 和 32 条件下最低,这与袁秀堂等<sup>[21]</sup>研究不同盐度下青刺参排氮率的变化结果基本一致。在低盐度(23~26)条件下,红刺参排氮率高于青刺参,而在高盐度(35~38)条件下,排氮率则为青刺参高于红刺参,表明二者对盐度的调节能力存在一定差异。

### 3.3 不同光色下红刺参和青刺参耗氧率及排氮率的比较

棘皮动物体内具有荧光色素、黄绿色素和表皮色素等色素,这些分散于真皮层的色素通过光感受器感知光线。在不同光色下棘皮动物体表色素会发生迁移,致使其对不同光色的敏感性存在差异<sup>[27]</sup>。本研究发现,刺参对光谱的变化十分敏感,光色对红刺参和青刺参耗氧率和排氮率均有显著影响。青刺参的耗氧率在白光、黄光和蓝光均较高,而红刺参的耗氧率在黄光下最高。这表明青刺参可能对光色更为敏感,对光谱的适应范围较红刺参更广。Kanno 等<sup>[5]</sup>研究发现红刺参在色彩分布和色素组成上表现为不连续性,而青刺参则为连续性;且红刺参具有青刺参所未有的红色素。二者体表色素细胞的差异可能导致它们对不同光色具有不同的反应。

池塘养殖是中国刺参养殖的重要方式,池塘的深度对光照等物理因素影响很大。不同波长的光在天然海水中的衰减系数不同,其中,红光的透射较弱,蓝光的透射较强。近岸水体或富含颗粒有机碳、溶解有机物的海水(如养殖池塘水)可强烈吸收或散射短波长的蓝光而引起波峰向长波段偏移<sup>[28]</sup>,使得水体底部光波峰值一般在 480~590 nm 间波动,波动的程度与水体的深度和浊度

密切相关<sup>[29-30]</sup>。本实验中,红刺参和青刺参排氮率均在绿光下较高,可能是刺参对绿光较敏感。在实际养殖中,我们可以通过调节池塘深度和水体透明度控制水体中光谱的变化,减少氮排泄以促进刺参的快速生长。

### 3.4 不同环境因子下红刺参和青刺参能量利用

O:N 比值可评估海洋无脊椎动物的能量需求和对营养物质的利用特性。O:N 比值低时(小于 10),动物以蛋白质代谢为主;O:N 比值高时(大于 10)时则以脂肪和碳水化合物代谢为主。从表 2 中可以看出,在不同温度、盐度和光色下,红刺参和青刺参 O:N 比值分别在 1.63~15.91 和 1.71~12.29 间波动,表明二者在本实验条件下其所需能量主要由蛋白质提供,而脂肪和碳水化合物次之。在低温(7℃)条件下红刺参和青刺参主要以脂肪和碳水化合物代谢为主,而随着温度的增加它们代谢的蛋白质也在增加。但是,在高温条件(27℃)下二者的能量利用存在显著差异,红刺参主要以蛋白质为主要能量来源,而青刺参则以脂肪和碳水化合物为主要能量来源。在盐度 23~38 条件下,随着盐度的升高,红刺参代谢底物中脂肪和碳水化合物所占的比例逐渐增加,而青刺参蛋白质所占的比例增加。在不同光色下,红刺参和青刺参能量代谢差异不大。

综上所述,在本实验条件下红刺参和青刺参的耗氧率和排氮率差异显著,二者对环境的适应性存在较大差异。红刺参对温度变化较青刺参敏感,红刺参能耐受高温变化而对低温较为敏感,青刺参则相反;红刺参和青刺参最适盐度范围均为 29~32;青刺参可能对光谱的适应性范围较红刺参广,这与二者对天然栖息环境的适应性相一致。

### 参考文献:

- [1] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [2] 隋锡林,邓欢. 刺参池塘养殖的病害及防治对策[J]. 水产科学,2004,23(6):22-23.
- [3] Choe S, Oshima Y. On the morphological and ecological differences between two commercial forms, 'green' and 'red', of the Japanese common sea cucumber, *Stichopus japonicus* Selenka [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1961, 27:97-105.
- [4] 梁森. 刺参(*Apostichopus japonicus*)个体生长差异的实验研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2010.
- [5] Kanno M, Kijima A. Quantitative and qualitative

- evaluation on the color variation of the Japanese sea cucumber *Stichopus japonicus* [ J ]. *Suisanzoshoku*, 2002, 50: 63 - 69.
- [ 6 ] Kanno M, Kijima A. Genetic differentiation among three color variants of Japanese sea cucumber *Stichopus japonicus* [ J ]. *Fish Science*, 2003, 69: 806 - 812.
- [ 7 ] Kanno M, Li Q, Kijima A. Isolation and characterization of twenty microsatellite loci in Japanese sea cucumber (*Stichopus japonicus*) [ J ]. *Marine Biotechnology*, 2005, 7: 179 - 183.
- [ 8 ] Kanno M, Suyama Y, Li Q, *et al.* Microsatellite analysis of Japanese sea cucumber, *Stichopus (Apostichopus) japonicus*, supports reproductive isolation in color variants [ J ]. *Marine Biotechnology*, 2006, 8: 672 - 685.
- [ 9 ] Kang J H, Yu K H, Park J Y, *et al.* Allele-specific PCR genotyping of the HSP70 gene polymorphism discriminating the green and red color variants sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) [ J ]. *Journal of Genetics Genomics*, 2011, 38: 351 - 355.
- [ 10 ] 李莉. 中国青刺参和日本红刺参苗种培育的生物学研究 [ D ]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [ 11 ] 胡美燕, 李琪, 孔令锋, 等. 中国刺参与日本红刺参杂交子一代的早期生长比较 [ J ]. *中国海洋大学学报*, 2009, 39(增): 375 - 380.
- [ 12 ] 李宝泉, 杨红生, 张涛, 等. 温度和体重对刺参呼吸和排泄的影响 [ J ]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(2): 182 - 187.
- [ 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: 505 - 510.
- [ 14 ] 董云伟, 董双林, 张美昭, 等. 变温对刺参幼参生长、呼吸代谢及生化组成的影响 [ J ]. *水产学报*, 2005, 29(5): 659 - 665.
- [ 15 ] 董云伟, 董双林, 田相利, 等. 不同水温对刺参幼参生长、呼吸及体组成的影响 [ J ]. *中国水产科学*, 2005, 12(1): 33 - 37.
- [ 16 ] 陈松波, 陈伟兴, 范兆廷. 鱼类呼吸代谢研究进展 [ J ]. *水产学杂志*, 2004, 17(1): 82 - 89.
- [ 17 ] 林小涛, 张秋明, 许忠能, 等. 虾蟹类呼吸代谢研究进展 [ J ]. *水产学报*, 2000, 24(6): 575 - 580.
- [ 18 ] 包杰, 董双林, 姜宏波, 等. 棘皮动物呼吸代谢研究进展 [ J ]. *海洋湖沼通报*, 2013, 136: 85 - 89.
- [ 19 ] Hiromi J, Nagata T, Kadota S. Respiration of the small planktonic copepod *Oithona davisae* at different temperatures [ J ]. *Bulletin of Plankton Society of Japan*, 1988, 35: 143 - 148.
- [ 20 ] Nishimura S. Guide to seashore animals of Japan with color pictures and keys [ M ]. Hoikusha Press, Japan, 1995.
- [ 21 ] 袁秀堂, 杨红生, 周毅, 等. 盐度对刺参 (*Apostichopus japonicus*) 呼吸和排泄的影响 [ J ]. *海洋与湖沼*, 2006, 37(4): 348 - 354.
- [ 22 ] Lewis J B. Respiration in the tropical sea urchin *Diadema antillarum* Philippi [ J ]. *Physiological Zoology*, 1968, 41: 476 - 480.
- [ 23 ] Ellington W R, Lawrence J M. Coelomic fluid volume regulation and isosmotic intracellular regulation by *Luidia clathrata* (Echinodermata: Asteroidea) in response to hyposmotic stress [ J ]. *The Biological Bulletin*, 1974, 146: 20 - 31.
- [ 24 ] Emerson D N. Influence of salinity on ammonia excretion rates and tissue constituents of euryhaline invertebrates [ J ]. *Comparative Biochemistry Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 1969, 29: 1115 - 1133.
- [ 25 ] Diehl W J. Osmoregulation in Echinoderms [ J ]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 1986, 84(2): 199 - 205.
- [ 26 ] Diehl W J, Lawrence J M. The effect of salinity on coelomic fluid osmolyte concentration and intracellular water content in *Luidia clathrata* (Echinodermata: Asteroidea) [ J ]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 1984, 79(1): 119 - 126.
- [ 27 ] Yoshida M. Photosensitivity [ M ] // *Physiology of Echinoderms*. New York: John Wiley, 1966: 435 - 464.
- [ 28 ] McFarland W N. Light in the sea-correlations with behaviours of fishes and invertebrates [ J ]. *American Zoologist*, 1986, 26: 389 - 401.
- [ 29 ] Jerlov N G. *Optical oceanography* [ M ]. Elsevier: Amsterdam, 1968.
- [ 30 ] Boeuf G, Le Bail P Y. Does light have an influence on fish growth? [ J ]. *Aquaculture*, 1999, 177: 129 - 152.

## Comparison of oxygen consumption rate and ammonia-N excretion rate between green type and red type *Apostichopus japonicus*

BAO Jie<sup>1,2</sup>, JIANG Hongbo<sup>2</sup>, DONG Shuanglin<sup>1\*</sup>, TIAN Xiangli<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** Experimental ecological method was used to compare the oxygen consumption rate and ammonia-N excretion rate between red type and green type *Apostichopus japonicus*, aiming at the investigation on the optimum environmental range for reproduction and culture conditioning of this species. Sea cucumbers were taken to the laboratory, acclimated for 10 d at five temperatures (7, 12, 17, 22 and 27 °C), six salinities (23, 26, 29, 32, 35 and 38) and five light colors (white, red, yellow, green and blue). The uniform size individuals were separately sampled from the red and green *A. japonicus*. The results showed that: 1) Oxygen consumption rate (OCR) and ammonia-N excretion rate (AER) were positively correlative to the temperature for both types *A. japonicus*. Under the test temperatures (7 – 27 °C), the increasing OCR values of the red and green types sea cucumbers covered the range of 7.58 – 25.94 and 13.12 – 25.61  $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$  respectively. OCR for the red type was significantly higher than the green one at 7 °C and 27 °C, however, it was significantly lower than the green one at 22 °C ( $P < 0.05$ ). 2) The AER for red type was positively correlative to the temperature, while for the green one AER reached the maximum at 17 °C and then it declined with the increasing of temperature. The AER for the red and green types were 0.62 – 2.57 and 0.90 – 2.22  $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , respectively. AER for the red type was significantly higher than that of the green one at 7 °C, and it was significantly lower than the green one at 27 °C. 3) At test salinities of 26 to 38, both of the OCR and AER showed a shape of ‘M’ with the increasing of salinity. OCR for the red and green ones were in range of 15.72 to 21.32  $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , 14.83 to 21.80  $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , and AER was 1.47 to 2.83  $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , 1.40 to 2.00  $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , respectively. OCR of red type was significantly lower than that of the green one in range of salinity 23 to 32 ( $P < 0.05$ ), whereas AER only was significantly higher at salinity of 29 between the two types *A. japonicus* ( $P < 0.05$ ). 4) Under different light color treatments OCR values for the red type and the green type covered range of 14.33 – 21.37 and 15.73 – 21.59  $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , and AER covered 4.00 – 8.86 and 6.38 – 8.22  $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$ , respectively. The OCR and AER were significantly different under white light treatment between the two types *A. japonicus* ( $P < 0.05$ ). This study demonstrated that the red type *A. japonicus* could tolerate higher temperature and was sensitive to lower temperature, while the green type showed an opposite tendency; The optimum salinity range for two types *A. japonicus* was 29 – 32; The green type may have broader light spectrum compared with the red type *A. japonicus*. Above all, the adaptability of the red and the green type *A. japonicus* to experimental conditions were well consistent with their natural habitats.

**Key words:** green type *Apostichopus japonicus*; red type *Apostichopus japonicus*; oxygen consumption rate; ammonia-N excretion rate; temperature; salinity; light color

**Corresponding author:** DONG Shuanglin. E-mail: dongsl@ouc.edu.cn