

# 低盐胁迫对刺参存活、摄食和生长的影响

胡 炜<sup>1</sup> 李成林<sup>1\*</sup> 赵 斌<sup>1</sup> 邹安革<sup>3</sup> 董晓亮<sup>1,2</sup> 赵洪友<sup>4</sup> 邹士方<sup>3</sup> 尉淑辉<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>山东省海水养殖研究所, 青岛 266002)

(<sup>2</sup>中国海洋大学, 青岛 266003)

(<sup>3</sup>蓬莱市安源水产有限公司, 265600)

(<sup>4</sup>山东省莱阳市水产养殖总公司, 265200)

**摘 要** 采用实验生态学的方法设置包括自然海水在内的 4 个盐度组, 分别为 31(自然海水, 对照组 A)、26(B 组)、22(C 组)、18(D 组)。按逐步降盐(DG)与盐度突变(DS)两种盐度变化模式对各组刺参进行盐度胁迫实验。结果表明, B 组仅个别较小个体出现死亡现象, C 组和 D 组刺参个体的 DG 与 DS 实验组的成活率均出现显著差异( $P < 0.05$ ), DS-D 组的成活率最低, 仅为 45.67%。不同盐度胁迫的各实验组之间, 摄食率与食物转化率存在显著差异( $P < 0.05$ ); 而各实验组内, DG 处理和 DS 处理的刺参个体的 FR 和 FCR 差异均未见显著( $P > 0.05$ )。B 组内的两种降盐方式在降盐后的前 10 d 生长有显著差异( $P < 0.05$ ), 之后 20 d 内差异不显著( $P > 0.05$ )。C 组和 D 组的刺参个体在实验中均出现体重负增长, 与其余各组的 SGR 差异显著( $P < 0.05$ )。

**关键词** 刺参 低盐胁迫 摄食率 食物转化率 生长

**中图分类号** S966.9      **文献标识码** A      **文章编号** 1000-7075(2012)02-0092-05

## Effects of low salinity stress on survival, growth and feeding rate of sea cucumber *Apostichopus japonicus*

HU Wei<sup>1</sup> LI Cheng-lin<sup>1\*</sup> ZHAO Bin<sup>1</sup> ZOU An-ge<sup>3</sup> DONG Xiao-liang<sup>1,2</sup>  
ZHAO Hong-you<sup>4</sup> ZOU Shi-fang<sup>3</sup> WEI Shu-hui<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>Mariculture Institute of Shandong Province, Qingdao 266002)

(<sup>2</sup>Ocean University of China, Qingdao 266003)

(<sup>3</sup>Penglai An Yuan Fisheries Co. Ltd, 265600)

(<sup>4</sup>Shandong Laiyang Aquaculture Corporation, 265200)

**ABSTRACT** Survival, growth and feeding rate of sea cucumber *Apostichopus japonicus* were studied in two different salinity change modes (DG: salinity Decreased Gradually; DS: salinity Decreased Sharply). In each mode, sea cucumbers were kept in seawater at 4 different salinities (31-A, 26-B, 22-C, 18-D) for 30d. The results showed that there were only a few individuals died in group B. There was significant difference between group C and D in DG and DS

国家“863”计划(2006AA10A411)、山东省科技发展计划项目(2008GG10005004)、山东省农业良种工程重点项目(2005-2015 年)、山东省农业重大应用技术创新课题(2009-2015 年)、山东省农业技术推广项目(2009-2015 年)、山东省农业科技成果转化项目(2010-2013 年)和青岛市科技计划项目(07-1-4-13-hy、11-2-4-9-(5)-jch)共同资助

\* 通讯作者。E-mail: lcl\_xh@hotmail.com, Tel: (0532)82657692

收稿日期: 2011-07-13; 接受日期: 2011-11-25

作者简介: 胡 炜(1978-), 男, 助理研究员, 主要从事水产动物生理生态学和遗传学研究。E-mail: mail24@163.com

modes ( $P < 0.05$ ). The lowest survival rate was in group DS-D as 45.67%. There was significantly different FR and FCR between treatments under different low salinity stress ( $P < 0.05$ ). However, no significantly different FR and FCR appeared between different salinity change modes (DG and DS) during the experimental period ( $P > 0.05$ ). In group B, there was significant difference on growth of sea cucumber between two salinity change modes in the first 10d after the salinity decreased ( $P < 0.05$ ), but no significant difference in the next 20d ( $P > 0.05$ ). During the experiment, there were negative growth in group C and D, being significantly different from the other groups ( $P < 0.05$ ).

**KEY WORDS** *Apostichopus japonicus* Low salinity stress FR FCR Growth

刺参 *Apostichopus japonicus* (Selenta) 属棘皮动物门 Echinodermata、海参纲 Holothroidea, 具有较高的经济价值。近年来, 刺参作为功能性食品的市场认可程度逐渐提高, 极大推进了刺参养殖产业的提升发展。目前刺参养殖在我国黄、渤海海域特别是山东沿海的海水养殖产业中所占比重日益增大, 山东省刺参养殖总产量占全国刺参养殖总产量的六成以上, 已成为山东省渔业经济的支柱产业, 代表着我国海水养殖的第 5 次浪潮产业(李成林等 2010), 刺参养殖产业已成为我国北方沿海渔业结构调整、渔业增效、渔民增收和捕捞渔民转产转业的新途径。

盐度是影响海洋无脊椎动物生理生态学最重要的环境因子之一, 与养殖动物的渗透压调节、生长、发育关系密切(马英杰等 1999; 赵峰等 2006; 罗国芝等 2010; 马月钗等 2010)。近年来, 池塘刺参养殖经常面临盐度剧烈变动带来的一系列问题。由于养殖池塘的水体交换相对不便, 盐度变化范围较大, 加之汛期难以人为控制的池塘大面积盐度突降, 不同程度地对池塘刺参养殖产生一定的负面影响。此外, 像黄河三角洲及丁字湾等类似河口型海区的养殖池塘, 在夏季汛期往往面临时间长达数月的盐度下降、盐度不稳定、盐度波幅大等问题(薛素燕等 2009), 导致养殖刺参生长缓慢、成活率低以及化皮、吐脏等现象发生, 使池塘养殖刺参遭受不同程度的经济损失。目前, 国内关于刺参耐受低盐程度的相关研究报道尚不多见。因此, 研究刺参对低盐环境的应激反应特性, 探明其盐度降低的承受阈值, 对实际生产中更好地应对突如其来的盐度降低事件, 采取一系列必要的技术措施安全度汛, 防止或降低池塘刺参养殖生产损失, 具有十分重要的生产指导意义, 并可为池塘刺参养殖的高效健康可持续发展提供科学的理论数据和技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验用刺参个体取自本课题组在山东省莱阳池塘生态育苗培育的 1 龄刺参苗种, 吸水后称重(22.6 ± 2.3g), 于 2010 年 5 月 25 日在实验室内盐度 31 的自然海水中驯化暂养 15d 后, 选取表观正常、伸展自如、活力强、肉刺完整挺直的刺参个体 630 头用于实验。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 分组设计

根据夏季类似黄河三角洲及丁字湾海域的河口型海区海水盐度范围, 设置包括自然海水在内的 4 个盐度组, 分别为 31(自然海水, 对照组 A)、26(B 组)、22(C 组)、18(D 组)。除 A 组外, 各盐度组均按两种盐度变化模式从自然海水过渡到实验海水盐度, 分别为: 逐步降盐(DG-B, DG-C, DG-D), 每天降低两个盐度单位; 盐度突变(DS-B, DS-C, DS-D), 直接从自然海水盐度转入实验海水盐度。

各实验组在达到实验设计盐度之后开始胁迫实验, 分别持续养殖 30 d, 每组均设 3 个平行。

实验刺参饲养在塑料整理箱(80 cm × 60 cm × 48 cm)中, 每个整理箱内放置 30 头刺参。实验采用自然曝

晒的自来水与自然海水混合的方式降低盐度,配好盐度的海水静置 1 d 后使用。

### 1.2.2 日常管理

实验采用工厂化养殖车间提供的深水井海水,实验温度为 20.4~24.3℃,盐度为 27~29,pH 为 7.9~8.2。按照实验刺参体重的 5% 进行投喂:每天 17:00 投喂一次自配人工饲料,同时按照饲料与海泥重量之比为 1:10 的比例投喂新鲜海泥,投喂后停止充气 0.5 h。每天全量换水,换水时整理箱底的排泄物并将残饵清除干净。光照周期为 14L:10D。

### 1.2.3 测定方法

测定体重:实验开始前 1d 停止投喂,测其体重初始值,实验 30d 结束时同样停止投喂 1d,测其体重最终值。

通过测定摄食率(Feeding rate,  $FR$ )与食物转化率(Food conversion ratio,  $FCR$ ),观察盐度胁迫对刺参摄食的影响。计算公式如下:

$$FR = 2F / [t(W_t + W_0)] \times 100\%$$

$$FCR = F / (W_t - W_0)$$

式中, $W_0$ 为体重初始值(g), $W_t$ 为测定值(g), $t$ 为实验时间(d), $F$ 为饲料总摄入量(g)。

实验期间刺参特定生长率( $SGR$ )采用以下公式计算:

$$SGR = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

式中, $W_0$ 为体重初始值(g), $W_t$ 为测定值(g), $t$ 为实验时间(d)。

### 1.2.4 数据分析

数据采用 SPSS 11.0、Microsoft Office Excel 2003 软件进行统计学分析。先做方差齐性检验,利用单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Duncan 多重比较分析不同处理之间生长的差异。以  $P < 0.05$  为差异显著。

## 2 结果

### 2.1 低盐胁迫对刺参生长与存活率的影响

实验期间,在正常盐度 A 组和盐度降至 26 的 B 组中,刺参活动、摄食未见受影响。C 组刺参个体在盐度突降至 22 时表现为身体不能自然伸展,体表肉刺突起不明显,肉刺末端圆滑,在水体底部匍匐,活动和摄食量减少,但观察到个体仍可正常排便;当实验进行 48h 后逐渐恢复正常,但身体与肉刺的伸展依然不能达到最佳状态。盐度逐渐降低至 22 的处理组中,刺参个体需 4~5d 后才能逐渐恢复正常。D 组刺参个体在两种降盐方式的实验中均无法适应盐度的过度变化,开始刺参个体在水体底部收缩不动,观察不到明显的摄食行为,在盐度胁迫 36~48h 后,个体开始出现体表溃烂,身体逐渐溶化为白色粘稠体,死亡现象较为严重。各实验组刺参成活率如表 1 所示。对照组 A 在实验过程中均未出现死亡,B 组仅个别较小个体出现死亡现象,但 DG 与 DS 组的死亡率未出现显著差异( $P > 0.05$ ),C 组和 D 组的刺参个体的 DG 与 DS 实验组的成活率均出现显著差异( $P < 0.05$ )。成活率最低的实验组为盐度突降至 18 的 DS-D 组,成活率仅为 45.67%。

表 1 不同盐度对刺参成活率的影响

Table 1 The survival of *A. japonicus* under different salinity conditions

组别 Treatment	A	B	C	D
DG	100±0 <sup>a</sup>	97.67±2.51 <sup>a</sup>	85.33±3.52 <sup>a</sup>	56.67±5.21 <sup>a</sup>
DS	100±0 <sup>a</sup>	96.33±2.57 <sup>a</sup>	80.00±3.47 <sup>b</sup>	45.67±6.17 <sup>b</sup>

注:1) DG:逐步降盐组,DS:盐度突变组;2)同一列参数上标字母相异则有显著差异( $P < 0.05$ )

Note: 1) DG: Salinity decreased gradually; DS: Salinity decreased sharply; 2) Data with different superscripts within each column are significantly different( $P < 0.05$ )

### 2.2 低盐胁迫对刺参摄食率和食物转化率的影响

低盐胁迫下刺参的摄食率和食物转化率随胁迫盐度的降低而逐渐降低。除对照组外,摄食率最高的实验

组为盐度逐渐降至 26 的 DG-B 组,为  $2.43\% \pm 0.45\%$ ;DS-D 组的摄食率最低,仅为  $0.21\% \pm 0.43\%$ ,如图 1 所示。

低盐胁迫对刺参食物转化率的影响见图 2。食物转化率除对照组外,最高为 DG-B 组,为  $0.95\% \pm 0.72\%$ 。C 组和 D 组的食物转化率出现负值,DS-D 组最低,仅为  $-1.37\% \pm 1.21\%$ 。不同胁迫盐度下的各实验组之间,摄食率与食物转化率存在显著差异( $P < 0.05$ );而各实验组内,DG 处理和 DS 处理的刺参个体的  $FR$  和  $FCR$  差异均未见显著( $P > 0.05$ ),说明两种降盐方式对摄食率和食物转化率的影响并不显著( $P > 0.05$ )。

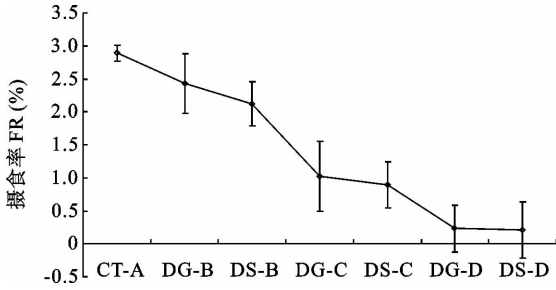


图 1 不同盐度改变模式下刺参摄食率

Fig. 1 Feeding rate of sea cucumber under different salinity acclimation methods

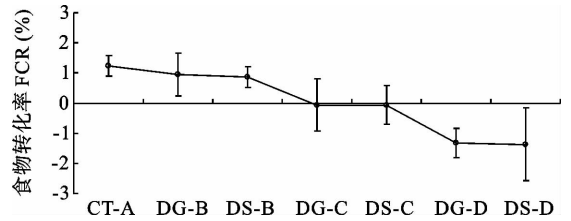


图 2 不同盐度改变模式下刺参食物转化率

Fig. 2 Food conversion ratio of sea cucumber under different salinity acclimation methods

### 2.3 低盐胁迫对刺参体重增长与特定生长率的影响

DG-B 实验组在实验进行至 20d 后的特定增长率  $SGR$  与对照组 A 比较未出现显著差异( $P > 0.05$ ),在实验进行至 30d 后  $SGR$  与对照组出现显著差异( $P < 0.05$ ),而在实验期间 30d 内的  $SGR$  与对照组相比同样出现显著差异( $P < 0.05$ )。DS-B 组在实验 10~20d 时的  $SGR$  与对照组差异不显著( $P > 0.05$ ),其余各时间段均出现显著差异( $P < 0.05$ ),B 组内的两种降盐方式在实验中除降盐后的前 10d 生长有显著差异( $P < 0.05$ ),其余时间差异并不显著( $P > 0.05$ )。C 组和 D 组的刺参个体在实验中均出现体重负增长,与其余各组的  $SGR$  差异显著( $P < 0.05$ )。C 组的两种降盐方式在实验中个体体重变化差异显著( $P < 0.05$ ),盐度逐渐降低的实验组的个体体重显著高于盐度突降组。D 组的体重变化规律与 C 组相似,伴随死亡率的上升其体重减少也较为显著。不同盐度处理对刺参生长与特定生长率的影响结果详见表 2。

表 2 不同盐度处理对刺参生长与  $SGR$ (%/d) 的影响

Table 2 Effects of different salinity treatments on the growth and  $SGR$  of *A. japonicus*

组 Group	盐度 Salinity	初体重(g) Initial body weight	末体重(g) Final body weight	$SGR_1$ (%/d)	$SGR_2$ (%/d)	$SGR_3$ (%/d)	$SGR$ (%/d)
A	31	26.35±4.25 <sup>a</sup>	29.34±4.47 <sup>a</sup>	3.64±0.53 <sup>a</sup>	2.97±0.53 <sup>a</sup>	2.84±0.53 <sup>a</sup>	3.14±0.53 <sup>a</sup>
DG-B	26	26.28±3.68 <sup>a</sup>	28.48±4.65 <sup>ab</sup>	3.23±0.57 <sup>a</sup>	2.62±0.75 <sup>a</sup>	1.73±0.78 <sup>b</sup>	2.34±0.45 <sup>b</sup>
DG-C	22	26.64±5.20 <sup>a</sup>	26.23±4.68 <sup>b</sup>	1.21±0.88 <sup>b</sup>	-0.42±0.75 <sup>b</sup>	-0.92±0.64 <sup>c</sup>	-0.23±0.27 <sup>c</sup>
DG-D	18	26.27±4.48 <sup>a</sup>	22.45±5.67 <sup>c</sup>	-0.35±3.67 <sup>c</sup>	-5.56±3.68 <sup>c</sup>	-6.35±3.54 <sup>d</sup>	-4.85±2.34 <sup>d</sup>
DS-B	26	25.78±5.29 <sup>a</sup>	27.27±5.42 <sup>ab</sup>	2.54±0.48 <sup>d</sup>	2.45±0.45 <sup>a</sup>	1.95±0.73 <sup>b</sup>	2.20±0.78 <sup>b</sup>
DS-C	22	26.12±4.30 <sup>a</sup>	24.33±4.24 <sup>b</sup>	0.58±0.47 <sup>e</sup>	-0.2±0.45 <sup>d</sup>	-1.67±0.84 <sup>e</sup>	-1.52±0.43 <sup>e</sup>
DS-D	18	26.01±4.31 <sup>a</sup>	19.64±7.25 <sup>e</sup>	-3.45±2.55 <sup>f</sup>	-6.38±2.27 <sup>e</sup>	-8.55±2.47 <sup>f</sup>	-5.67±3.42 <sup>f</sup>

注:同一列中具不同字母标记的值表示差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different letters in the same column indicate significant differences( $P < 0.05$ )

### 3 讨论

棘皮动物缺乏专门的排泄器官,不像鱼类等水生动物那样可以进行细胞外的渗透压调节,它们体内的渗透压会随着环境盐度的变动而迅速改变(Talbot *et al.* 2002),通过调控细胞体积来调节渗透压。刺参等棘皮动物的管足和体壁对盐度和水分具有高渗透性,在低盐度条件下,其体腔液体积随盐度的降低而升高,但数天后又会恢复到初始时的内外平衡状态。外界盐度变动时,棘皮动物体腔液中离子浓度会在 8~24h 内达到平衡状态(Diehl 1986)。因此,低盐胁迫对刺参等棘皮动物的影响与鱼类等水生动物存在差异性。本实验中,对

于盐度突降方式的低盐胁迫,在盐度 22 时刺参个体能够在 48h 后快速恢复正常状态,即其体腔液的盐度达到内外平衡,而在逐渐降低盐度方式的实验中需 4~5d 才能恢复常态,说明盐度的频繁变动会延长刺参体内的渗透压调节机制的作用时间。

Yamamoto 等(2003)对刺参的呼吸生理研究发现,当盐度降低到 20 时,出现部分刺参停止呼吸的现象。本实验中盐度 18 的实验组刺参个体死亡率较高,摄食率基本为零,说明低盐胁迫已使刺参个体的某些生理机能停止,无法进行正常的代谢作用。不同盐度胁迫的各实验组之间,摄食率与食物转化率存在显著差异( $P < 0.05$ );而各实验组内,DG 处理和 DS 处理的刺参个体的 FR 和 FCR 差异均未见显著( $P > 0.05$ )。由此可见,对刺参摄食率和食物转化率的关键影响因子仍是低盐胁迫的最终盐度而不是改变盐度的方式。

一般认为,当棘皮动物处在等渗环境时,不需要进行渗透调节,代谢耗能较少,呈现较好的生长(袁秀棠等 2006)。在摄入相等能量的情况下,处于低盐胁迫的刺参个体需要更多的能量用来调节渗透压,用于个体生长的能量随之降低,以至于当盐度降到过低范围时,体重出现负增长,这与本实验的结果相吻合。在相同盐度下,C 组和 D 组的 DG 处理末体重和 SGR 略高于 DS 处理,可能是由于盐度突变的范围已经超过刺参能适应的程度,导致盐度突变时生理功能发生紊乱,造成生长结果略低于盐度逐渐改变的实验组,而 B 组未出现这种现象,有可能是在盐度适应范围内,DG 组长时间的盐度改变,使其渗透调节机制连续应激,增加了能量消耗,从而使最终的生长结果与 DS 组未出现显著差异。

不同棘皮动物具有不同的离子调节方式,这就意味着它们的耐盐范围有所不同(Diehl *et al.*, 1985)。本实验中刺参在盐度 26 时摄食、生长等生理活动基本不受影响,当盐度降至 22 时体重增长变缓趋停滞,但仍能维持正常的生理活动,个体死亡率维持在 15%~20%的低水平,说明盐度 22 时对经过低盐胁迫驯化的刺参仍是适应范围,盐度 18 的实验组在 30d 实验中没有出现大规模死亡,与肖培华等(2004)的报道中刺参能够耐受的最低盐度一致。王国利等(2007)和陈勇等(2007)的研究认为,刺参分别在盐度 30 和 32 下生长最好,其间的差异可能与实验刺参的规格、发育阶段以及前期驯养条件等的不同均有关系。因此本研究认为刺参养殖池塘选址最好以汛期内盐度最低值不低于 22 为原则,在养殖生产中必要时可采取短期内向刺参养殖池塘内注入深水井海水等方式应对盐度突降,以确保安全度过汛期。

## 参 考 文 献

- 马 境, 庄 平, 冯广朋, 张 涛, 赵 峰, 章龙珍, 黄晓荣. 2006. 不同盐度驯化模式对施氏鲟生长及摄食的影响. 中国水产科学, 13(6): 945~950
- 马月钗, 王国良, 杨玉娇. 2010. 盐度变化对锯缘青蟹 *Scyllaserrata* 免疫因子的胁迫影响. 浙江农业学报, 22(4): 479~484
- 马英杰, 马爱军, 孙 谧, 张志峰, 廖承义. 1999. 低盐度突变对中国对虾仔虾存活率的影响. 海洋与湖沼, 30(2): 134~138
- 毛玉泽, 刘 鹰, 杨红生, 周 毅, 张 涛, 袁秀堂. 2006. 盐度对刺参(*Apostichopus japonicus*)呼吸和排泄的影响. 海洋与湖沼, 37(4): 348~353
- 王国利, 付荣恕, 李兆智, 祝文兴. 2007. 温度与盐度对刺参(*Apostichopus japonicus*)生长的影响. 山东科学, 20(3): 6~9
- 刘国山, 石国锋, 陈 勇, 邵丽萍, 高 峰. 2007. 温度、盐度和光照周期对刺参生长及行为的影响. 水产学报, 31(5): 687~691
- 齐巨龙, 孙大川, 罗国芝, 黄霞峰, 谭洪新. 2010. 盐度驯化对海水生物过滤器功能的影响. 上海海洋大学学报, 19(4): 540~546
- 李成林, 宋爱环, 张艳萍, 李翹楚, 胡 炜, 赵 斌, 麻丹萍. 2010. 山东省刺参养殖产业现状分析与可持续发展对策. 渔业科学进展, 31(4): 126~132
- 肖培华, 谭福伟, 唐永新, 于乐河, 张新成, 邹海波. 2004. 刺参对较低盐度的适应试验. 齐鲁渔业, 21(6): 20~21
- 陈 勇, 高 峰, 刘国山, 邵丽萍, 石国锋. 2007. 温度、盐度和光照周期对刺参生长及行为的影响. 水产学报, 31(5): 687~691
- 袁秀堂, 杨红生, 周 毅, 毛玉泽, 张 涛, 刘 鹰. 2006. 热度对刺参(*Apostichopus japonicus*)呼吸和排泄的影响. 海洋与湖沼, 37(4): 348~353
- 薛素燕, 方建光, 毛玉泽, 张继红, 张 媛. 2009. 高温下不同盐度对刺参幼参和 1 龄参呼吸排泄的影响. 中国水产科学, 16(6): 975~980
- Astall CM, and Jones, M B. 1991. Respiration and biometry in the sea cucumber *Holothuria forskali*. J. Mar. Biol. Ass. UK, 71: 73~81
- Diehl, W. J. 1986. Osmoregulation in Echinoderms. Comp. Biochem. Physiol. 84(2): 199~205
- Diehl, W. J., and Lawrence, J. M. 1985. Effect of salinity on the intracellular osmolytes in the pyloric caeca and tube feet of *Luidia clathrata* (Echinodermata: Asteroidea). Comp. Biochem. Physiol. 82(2): 559~566
- Talbot, T. D., and Lawrence, J. M. 2002. The effect of salinity on respiration, excretion, regeneration and production in *Ophiophragmus logranicus* (Echinodermata: Ophiuroidea). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 275(1): 1~14
- Yamamoto, K., Handa, T., and Fujimoto, K. 2003. Differences in tolerance to low-salinity among red, blue and black (color pattern) of the Japanese common sea cucumber, *Apostichopus japonicus* from ventilation in the respiratory tree. Suisan Zoshoku, 51(3): 321~326