

网络优先数字出版时间:2015-01-14

网络优先数字出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/45.1075.N.20150114.1023.006.html>

## 溶解氧含量变动对褐牙鲆幼鱼生长及其相关生化指标的影响\*

### Effects of Fluctuation of Dissolved Oxygen Content on the Growth, and Its Related Biochemical Parameters in Juvenile Brown Flounder, *Paralichthys olivaceus*

黄国强<sup>1,2</sup>, 熊向英<sup>1</sup>, 李洁<sup>2</sup>, 唐夏<sup>2</sup>

HUANG Guo-qiang<sup>1,2</sup>, XIONG Xiang-ying<sup>1</sup>, LI Jie<sup>2</sup>, TANG Xia<sup>2</sup>

(1. 广西海洋研究所 广西海洋生物技术重点实验室, 广西北海 536000; 2. 中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003)

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Biotechnology, Guangxi Institute of Oceanology, Beihai, Guangxi, 536000, China; 2. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao, Shandong, 266003, China)

**摘要:**【目的】以褐牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)幼鱼为对象,研究其在不同溶解氧条件下的生长及生长指标的变化,探讨褐牙鲆幼鱼血浆激素的内分泌调节机制,为深入研究鱼类适应溶解氧变动环境的机制提供资料。【方法】采用实验生理生态学方法,研究水体溶解氧含量变动对褐牙鲆幼鱼生长、生长激素 GH 的分泌、类胰岛素生长因子 IGF-I 的分泌、RNA/DNA 比值以及糖原含量的影响。【结果】低溶氧(2 mg/L—S<sub>2</sub>、4 mg/L—S<sub>4</sub>)胁迫的 10 d 内,褐牙鲆幼鱼生长受到明显抑制,但低溶氧胁迫导致的生长减缓可在溶解氧含量恢复至对照组(7.5 mg/L—S<sub>7.5</sub>)水平后 10 d 内获得完全补偿。胁迫期间,血浆 GH 和 IGF-I 的含量在不同处理组间没有显著差异,在恢复的第 10 天,S<sub>7.5</sub> 的 GH 含量显著高于 S<sub>2</sub> 及 S<sub>4</sub>,其他不同处理组的血浆 GH 和 IGF-I 含量未出现显著差异。胁迫和恢复期间不同处理组的肝脏 RNA/DNA 比值均未出现显著差异。低溶氧处理的肌肉 RNA/DNA 比值在胁迫期间显著低于对照组,但在恢复生长的第 20 天显著高于对照组。胁迫结束时,低溶氧处理的肝糖原含量显著低于对照组,而在恢复期间的第 10 天和 20 天时高于对照组,随后恢复至对照组水平。不同处理组的肌糖原含量在胁迫和恢复期间均未出现显著差异。在恢复阶段的第 10 天,GH 含量出现显著差异,其含量与生长速率呈负相关关系,而 RNA/DNA 含量在实验期间与褐牙鲆幼鱼的生长未表现出明显相关性。【结论】受短期低氧胁迫的褐牙鲆幼鱼能够在恢复正常溶氧后短期内获得完全补偿生长,但相关生化指标未表现出与生长变化的显著相关性。

**关键词:**褐牙鲆 溶解氧 补偿生长 生长激素 类胰岛素生长因子 I

**中图分类号:**S917.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2015)01-0016-06

**Abstract:**【Objective】To investigate the effects of oxygen content fluctuation on the growth and biochemical parameters of *Paralichthys olivaceus*, and discusses its endocrine regulation mechanism, which is important for studying the adapting mechanism to the changes of dissolved oxygen environment. 【Methods】A physiological experiment was conducted to investigate the effects of oxygen content fluctuation on the growth, GH, IGF-I, RNA/DNA, and glycogen content of juvenile brown floun-

收稿日期:2014-10-10

修回日期:2014-11-19

作者简介:黄国强(1973-),男,博士,研究员,主要从事水产养殖生态学研究。

\* 国家自然科学基金项目(30600462)资助。

der, *Paralichthys olivaceus*. **【Results】**In the first 10 d, the growth of juvenile flounder in low dissolved oxygen content (2 mg/L— $S_2$  and 4mg/L— $S_4$ ) was obviously suppressed. But the growth suppression could be completely compensated in 10 d following the dissolved oxygen content switch to controlled level (about 7.5 mg/L— $S_{7.5}$ ). No significant difference appeared in plasma GH and IGF- I content in plasma in low DO stressing period and GH in  $S_{7.5}$  was significantly higher than  $S_2$  and  $S_4$  in the recovery period. No significant difference of GH and IGF- I appeared in the following periods. No significant difference appeared in liver RNA/DNA through the all experiment, but the muscle RNA/DNA in  $S_2$  and  $S_4$  were significantly lower than  $S_{7.5}$  in low DO stressing period and were significantly higher than  $S_{7.5}$  at the end of the 20<sup>th</sup> d of recovery period. The liver glycogen content of  $S_2$  and  $S_4$  were significantly lower than  $S_{7.5}$  at the end of low DO stressing period. In the following 10<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> d of recovery period, liver glycogen content of  $S_2$  and  $S_4$  were significantly higher than  $S_{7.5}$  and then fell to the level of  $S_{7.5}$ . No difference in glycogen content of muscle was observed through the experiment. Significant difference of GH in plasma appeared at the 10<sup>th</sup> d of recovery period, but the GH content was negatively related to the growth rate. No significant correlation between RNA/DNA and growth of juvenile flounder was found in the experiment. **【Conclusion】**Juvenile flounder experienced short periods stress of low dissolved oxygen content would achieved completely compensatory by growing in a short period with normal dissolved oxygen content. The biochemical parameters measured in experiment were not obviously related to the fluctuation of growth.

**Key words:** brown flounder, dissolved oxygen, compensatory growth, growth hormone, insulin-like growth factor I

## 0 引言

**【前人研究进展】**研究表明,水体溶解氧含量的下降可导致鱼类生长阻滞<sup>[1~3]</sup>。Buentello 等<sup>[1]</sup>和 Filho 等<sup>[2]</sup>发现在低溶氧水体中鱼类生长阻滞的原因主要是摄食量和饵料转化效率低。李洁<sup>[4]</sup>对褐牙鲆的研究表明,褐牙鲆幼鱼的生长速度随溶解氧的下降而下降,在经历低溶解氧胁迫后能够在 40 d 内获得完全补偿生长;再对其摄食、食物转化、能量收支的动态变化研究发现,溶解氧含量下降时褐牙鲆幼鱼的摄食量和饵料转化效率明显降低,其在低溶氧胁迫恢复试验的补偿生长也是由于恢复期间提高摄食量而获得的。文献<sup>[5]</sup>认为 GH-IGF-I 生长调节轴的动态变化可能在幼鱼的补偿生长期间起主要作用,但对于鱼类非营养胁迫后的补偿生长过程中生长内分泌调节的研究尚未深入开展。**【本研究切入点】**以褐牙鲆幼鱼为研究对象,对幼鱼在低溶氧胁迫后的补偿生长过程中内分泌调节体制进行深入研究。**【拟解决的关键问题】**对褐牙鲆幼鱼在不同溶解氧条件下的生长及生长指标的变化进行研究,探讨其血浆激素的内分泌调节机制。**【研究意义】**为深入探讨鱼类适应溶解氧变动环境的机制提供资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验用褐牙鲆幼鱼购于山东省黄海水产有限公司,实验用饲料为市售升索牌鲆鲽类配合饲料。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 幼鱼的驯化

试验在中国海洋大学鱼类行为学实验室进行。幼鱼于长方形玻璃钢水槽(2.0 m×1.5 m×1.0 m,海水 2000 L)循环养殖系统内驯化 10 d,驯化条件:水温(20.0±1.0)℃、DO>6.3 mg/L、盐度 30~31、pH 值(7.9±0.2)、光照周期 14L:10D。驯化期间每天过量投饵 2 次(早上 8:00 和傍晚 6:00),投饵后清除残饵和粪便。

#### 1.2.2 实验设计

驯化结束后,鱼禁食 24 h,挑选规格一致的实验鱼称重(精确到 0.01 g)后放入水族箱内(6 尾/箱)(初始体重见表 1)。实验共设置 3 个处理,每个处理 3 个重复。在胁迫的 10 d 内溶解氧含量分别控制在 2 mg/L( $S_2$ )、4 mg/L( $S_4$ )、7.5 mg/L(对照组  $S_{7.5}$ )左右,然后恢复至 7.5 mg/L,观察幼鱼的补偿生长现象。同时另外 18 个水族箱做平行实验处

理,提供实验不同阶段所需要的样品鱼。

胁迫结束时每个处理随机选取3个水族箱取样(取样前实验鱼饥饿处理24 h),每个水族箱随机取样3条(共9条)进行一系列生理指标测定并采集血液、肝脏和肌肉样品。每个水族箱剩余的3条鱼用于测定整体身体成分。

1.2.3 溶氧控制方法

养殖设施为带有自制流量控制循环水系统(图1)<sup>[4]</sup>的水族箱。水族箱规格为50 cm×40 cm×40 cm,水量约为80 L。水族箱一侧以PVC管从底部供水,再从另一侧上方的溢水孔流出。实验期间每天用YSI 55型溶氧仪监测结果显示溶解氧(DO)分别控制在(2.0±0.28)mg/L、(4.0±0.22)mg/L、(7.5±0.34)mg/L。

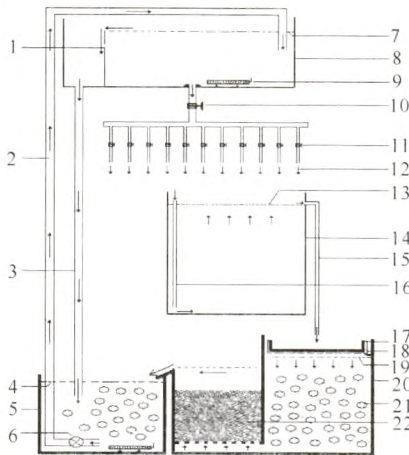


图1 实验装置示意图

Fig1 Diagram of the experiment system

1:水位控制板;2:提水管;3,15:溢流管;4,7,13,19:水位线;5:蓄水池;6:潜水泵;8:高位蓄水池;9:控温加热棒;10,11:水阀;12:水流方向;14:养殖单元;16:进水管;17:过滤棉;18:塑料隔层;20:过滤池;21:生物过滤球;22:珊瑚砂滤料

1: water level-controlling glass; 2: raising pipe; 3 and 15: overflow pipes; 4, 7, 13, and 19: water levels; 5: cistern; 6: underwater pump; 8: high cistern; 9: temperature controlling heater; 10 and 11: switch; 12: direction of water flow; 14: one of the eighteen aquaria; 16: inlet pipe; 17: filter bed; 18: filter plastic container; 20: filter tank; 21: biochemical filter ball; 22: filter materials

1.2.4 样品收集与数据记录

血液样品采集:在每个1.5 mL的离心管中加入50 μL肝素钠抗凝剂,在65℃烘干24 h,然后冷却备用。实验鱼用100 mg/L的MS-222麻醉后,以1 mL的注射器从尾静脉取血(注射器需经4℃预冷并用抗凝剂润洗)。取出血液一部分转移到离心管中摇匀,插入碎冰中,立即进行各项血液指标的测定;另一部分经离心后取血浆用于测定生长激素(GH)和类胰岛素生长因子 I(IGF- I)含量。

肝脏和肌肉样品处理:取鳃0.2 g左右,肝脏和肌肉0.5 g左右,按1:9比例加入0.09%生理盐水,在冰水浴中用IKA匀浆机匀浆10 min,然后在0℃下10000 r/min离心10 min,取上清液放入-30℃冰箱保存以备测定RNA/DNA比值和糖原质量分数。

GH和IGF- I含量用R&D公司生产的双抗体夹心酶联免疫法试剂盒测定,肌肉和肝脏糖原含量均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定,RNA/DNA比值用紫外比色法测定。

1.2.5 数据计算

日生长系数  $DGC = (W_{F_2}^{1/3} - W_{F_1}^{1/3}) \times 100/40$ , 其中  $W_{F_2}$  和  $W_{F_1}$  分别为时间  $t_2$  和  $t_1$  鱼的体重。

1.2.6 数据的统计分析

实验数据的处理采用单因子方差分析法,对<30%或>70%的百分比数据则先进行反正弦转换后再进行了单因子方差分析。对不同处理间的数据进行了Duncan多重比较,以  $P < 0.05$  作为差异显著的标准。所有数据的统计分析均采用软件SPSS11.0进行。

2 实验结果

2.1 幼鱼的生长

胁迫结束时两个低溶氧组幼鱼的体重显著小于对照组;在恢复阶段第20天结束时,两个低溶氧组的体重经过补偿生长赶上但随后并不能显著超过对照组(表1)。日生长系数也表明在恢复生长的第10天内是补偿生长发生的时期,整个实验期间不同处理的日生长系数没有显著差异(表2)。

表1 溶解氧胁迫及补偿生长过程中的体重变化( $\bar{X} \pm SD$ , g)

Table 1 Body weight of fish in phase of low dissolved oxygen content stress and recovery( $\bar{X} \pm SD$ , g)

时间段 Period	S <sub>2</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>7.5</sub>
IW	75.59 ± 0.35 <sup>a</sup>	76.85 ± 0.54 <sup>a</sup>	76.09 ± 0.60 <sup>a</sup>
S10	78.50 ± 1.24 <sup>a</sup>	87.99 ± 1.63 <sup>b</sup>	93.50 ± 1.27 <sup>c</sup>
R10	100.56 ± 1.21 <sup>a</sup>	105.98 ± 0.52 <sup>b</sup>	102.39 ± 1.09 <sup>ab</sup>
R20	119.28 ± 4.26 <sup>a</sup>	120.49 ± 4.66 <sup>a</sup>	116.25 ± 2.23 <sup>a</sup>
R30	131.78 ± 5.75 <sup>a</sup>	135.10 ± 1.49 <sup>a</sup>	131.85 ± 4.85 <sup>a</sup>
R40	146.98 ± 6.54 <sup>a</sup>	151.09 ± 1.14 <sup>a</sup>	142.35 ± 4.43 <sup>a</sup>

注:同一列中没有相同字母上标的处理相互之间差异显著; S10、R10、R20、R30和R40分别代表胁迫第10天,恢复第10天、第20天、第30天和第40天。

Note: Values with different superscript in the same row are significantly different from each other. S10 represent the 10<sup>th</sup> day of low dissolved oxygen content stress. R10, R20, R30, and R40 represent the 10<sup>th</sup> day, the 20<sup>th</sup> day, the 30<sup>th</sup> day, and 40<sup>th</sup> day of recovery, respectively.

表 2 溶解氧胁迫及补偿生长过程中的日生长系数 DGC( $\bar{X} \pm SD, \%$ )

Table 2 Daily growth coefficient of fish in phase of low dissolved oxygen content stress and recovery( $\bar{X} \pm SD, \%$ )

时间段 Period	S <sub>2</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>7.5</sub>
S10	0.53 ± 0.24 <sup>a</sup>	1.95 ± 0.23 <sup>b</sup>	3.01 ± 0.28 <sup>c</sup>
R10	3.31 ± 0.14 <sup>c</sup>	2.60 ± 0.17 <sup>b</sup>	1.48 ± 0.20 <sup>a</sup>
R20	2.71 ± 0.63 <sup>a</sup>	2.05 ± 0.71 <sup>a</sup>	2.02 ± 0.31 <sup>a</sup>
R30	1.66 ± 0.27 <sup>a</sup>	1.93 ± 0.50 <sup>a</sup>	2.08 ± 0.59 <sup>a</sup>
R40	1.88 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.95 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.32 ± 0.31 <sup>a</sup>
RI-40	2.39 ± 0.18 <sup>b</sup>	2.13 ± 0.01 <sup>ab</sup>	1.72 ± 0.11 <sup>a</sup>
实验期 间平均 Average during the experimental	2.11 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.11 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.96 ± 0.10 <sup>a</sup>

注:同一列中没有相同字母上标的处理相互之间差异显著;S10、R10、R20、R30和R40分别代表胁迫第10天,恢复第10天、第20天、第30天和第40天,RI-40代表恢复期第1天至第40天期间。

Note: Values with different superscript in the same row are significantly different from each other. S10 represent the 10<sup>th</sup> day of low dissolved oxygen content stress. R10, R20, R30, and R40 represent the 10<sup>th</sup> day, the 20<sup>th</sup> day, the 30<sup>th</sup> day, and 40<sup>th</sup> day of recovery; RI-40 represent the period from the first day to the 40th day of recovery, respectively.

表 3 DO胁迫及恢复期间血浆 GH 和 IGF- I 的变动( $\bar{X} \pm SD, \text{ng/L}$ )

Table 3 Plasma GH and IGF- I in phase of low dissolved oxygen content stress and recovery ( $\bar{X} \pm SD, \text{ng/L}$ )

激素 Hormone	处理 Treatment	S10	R10	R20	R30	R40
GH	S <sub>2</sub>	249.4 ± 41.6 <sup>a</sup>	174.6 ± 6.6 <sup>a</sup>	222.9 ± 10.8 <sup>a</sup>	226.4 ± 12.5 <sup>a</sup>	275.2 ± 8.1 <sup>a</sup>
	S <sub>4</sub>	220.9 ± 30.8 <sup>a</sup>	196.1 ± 11.0 <sup>ab</sup>	218.9 ± 12.0 <sup>a</sup>	264.8 ± 16.9 <sup>a</sup>	300.7 ± 34.9 <sup>a</sup>
	S <sub>7.5</sub>	245.7 ± 18.4 <sup>a</sup>	223.3 ± 12.7 <sup>b</sup>	189.0 ± 4.9 <sup>a</sup>	232.1 ± 7.5 <sup>a</sup>	243.7 ± 16.1 <sup>a</sup>
IGF-I	S <sub>2</sub>	14.86 ± 3.77 <sup>a</sup>	18.69 ± 2.43 <sup>a</sup>	13.92 ± 1.15 <sup>a</sup>	19.63 ± 1.13 <sup>a</sup>	24.96 ± 1.82 <sup>a</sup>
	S <sub>4</sub>	18.23 ± 6.60 <sup>a</sup>	25.15 ± 1.65 <sup>a</sup>	16.60 ± 1.22 <sup>a</sup>	21.90 ± 1.76 <sup>a</sup>	26.40 ± 3.75 <sup>a</sup>
	S <sub>7.5</sub>	18.73 ± 2.37 <sup>a</sup>	23.21 ± 1.52 <sup>a</sup>	15.14 ± 1.95 <sup>a</sup>	21.63 ± 3.75 <sup>a</sup>	29.06 ± 4.29 <sup>a</sup>

注:同一列中没有相同字母上标的处理相互之间差异显著;S10、R10、R20、R30和R40分别代表胁迫第10天,恢复第10天、第20天、第30天和第40天。

Note: Values with different superscript in the same row are significantly different from each other. S10 represent the 10<sup>th</sup> day of low dissolved oxygen content stress. R10, R20, R30, and R40 represent the 10<sup>th</sup> day, the 20<sup>th</sup> day, the 30<sup>th</sup> day, and 40<sup>th</sup> day of recovery, respectively.

表 4 DO胁迫及恢复期间肌肉和肝脏的 RNA/DNA 比值( $\bar{X} \pm SD$ )

Table 4 RNA/DNA of liver and muscle in phase of low dissolved oxygen content stress and recovery( $\bar{X} \pm SD$ )

组织 Tissue	处理 Treatment	S10	R10	R20	R30	R40
肝脏 Liver	S <sub>2</sub>	2.85 ± 0.10 <sup>a</sup>	3.84 ± 0.43 <sup>a</sup>	5.06 ± 0.41 <sup>a</sup>	4.43 ± 0.35 <sup>a</sup>	3.73 ± 0.26 <sup>a</sup>
	S <sub>4</sub>	3.01 ± 0.24 <sup>a</sup>	3.63 ± 0.39 <sup>a</sup>	4.50 ± 0.39 <sup>a</sup>	3.89 ± 0.37 <sup>a</sup>	3.69 ± 0.37 <sup>a</sup>
	S <sub>7.5</sub>	2.98 ± 0.19 <sup>a</sup>	4.81 ± 0.36 <sup>a</sup>	4.95 ± 0.44 <sup>a</sup>	4.43 ± 0.35 <sup>a</sup>	4.12 ± 0.26 <sup>a</sup>
肌肉 Muscle	S <sub>2</sub>	1.49 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.83 ± 0.06 <sup>a</sup>	2.16 ± 0.18 <sup>b</sup>	1.69 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.51 ± 0.11 <sup>a</sup>
	S <sub>4</sub>	1.70 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.98 ± 0.11 <sup>a</sup>	2.49 ± 0.12 <sup>b</sup>	1.73 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.38 ± 0.07 <sup>a</sup>
	S <sub>7.5</sub>	2.02 ± 0.12 <sup>b</sup>	2.23 ± 0.25 <sup>a</sup>	1.58 ± 0.08 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.20 ± 0.04 <sup>a</sup>

注:同一列中没有相同字母上标的处理相互之间差异显著;S10、R10、R20、R30和R40分别代表胁迫第10天,恢复第10天、第20天、第30天和第40天。

Note: Values with different superscript in the same row are significantly different from each other. S10 represent the 10<sup>th</sup> day of low dissolved oxygen content stress. R10, R20, R30, and R40 represent the 10<sup>th</sup> day, the 20<sup>th</sup> day, the 30<sup>th</sup> day, and 40<sup>th</sup> day of recovery, respectively.

## 2.2 血浆激素含量

胁迫期间,血浆 GH 和 IGF- I 的含量在不同处理间没有显著差异,在恢复的第 10 天, S<sub>7.5</sub> 的 GH 含量显著高于 S<sub>2</sub> 及 S<sub>4</sub>, 随后的各时间点上不同处理的血浆 GH 和 IGF- I 含量未出现显著差异(表 3)。

## 2.3 肌肉和肝脏的 RNA/DNA 比值

由表 4 可知,胁迫和恢复期间不同处理的肝脏 RNA/DNA 比值均未出现显著差异。胁迫期间低溶解氧处理的肌肉 RNA/DNA 比值显著低于对照处理,并在恢复生长的第 20 天显著高于对照处理。

## 2.4 肌肉和肝脏糖原含量

胁迫结束时,低溶解氧处理的肝糖原含量显著低于对照组,而在恢复期间的第 10 天和 20 天时高于对照组,随后恢复至对照组水平。肌糖原含量在不同时间段均未出现显著差异(表 5)。

表5 DO胁迫及恢复期间肌肉和肝脏的糖原含量( $\bar{X} \pm SD, \text{mg/g}$ )Table 5 Glycogen of liver and muscle in phase of low dissolved oxygen content stress and recovery ( $\bar{X} \pm SD, \text{mg/g}$ )

组织 Tissue	处理 Treatment	S10	R10	R20	R30	R40
肝脏 Liver	S <sub>2</sub>	32.41 ± 8.12 <sup>a</sup>	62.15 ± 3.57 <sup>b</sup>	63.36 ± 3.78 <sup>b</sup>	54.32 ± 4.50 <sup>a</sup>	41.68 ± 7.50 <sup>a</sup>
	S <sub>4</sub>	35.48 ± 6.95 <sup>a</sup>	42.54 ± 3.07 <sup>a</sup>	58.31 ± 8.03 <sup>b</sup>	48.87 ± 4.71 <sup>a</sup>	37.37 ± 3.91 <sup>a</sup>
	S <sub>7.5</sub>	66.45 ± 7.57 <sup>b</sup>	51.50 ± 8.64 <sup>ab</sup>	35.01 ± 7.15 <sup>a</sup>	44.31 ± 3.54 <sup>a</sup>	50.89 ± 2.96 <sup>a</sup>
肌肉 Muscle	S <sub>2</sub>	0.27 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.52 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.15 <sup>a</sup>	1.29 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.14 <sup>a</sup>
	S <sub>4</sub>	0.27 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.71 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.42 <sup>a</sup>	1.23 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.29 ± 0.15 <sup>a</sup>
	S <sub>7.5</sub>	0.84 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.86 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.96 ± 0.19 <sup>a</sup>	1.24 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.26 ± 0.14 <sup>a</sup>

注:同一列中没有相同字母上标的处理相互之间差异显著;S10、R10、R20、R30和R40分别代表胁迫第10天,恢复第10天、第20天、第30天和第40天。

Note: Values with different superscript in the same row are significantly different from each other. S10 represent the 10<sup>th</sup> day of low dissolved oxygen content stress. R10, R20, R30, and R40 represent the 10<sup>th</sup> day, the 20<sup>th</sup> day, the 30<sup>th</sup> day, and 40<sup>th</sup> day of recovery, respectively.

### 3 讨论

#### 3.1 胁迫和恢复期间生长与GH、IGF- I、RNA/DNA比值的关系

已有很多研究表明鱼类在营养胁迫状态下生长激素分泌会大量增加<sup>[6~10]</sup>。本实验中,低溶氧胁迫阶段褐牙鲮幼鱼体重显著下降,但不同处理组之间血浆GH和IGF- I水平均没有显著差异,这一方面可能表明GH和IGF- I对低溶解氧胁迫的反应与营养胁迫不同,而另一方面可能是由于两者的分泌通常是过量的,而影响其作用的受体和酶等因素才是低溶氧胁迫阶段生长调节的关键因子。在恢复阶段的第10天,GH含量出现显著差异,但其含量与生长速率呈负相关,这种不一致性表明GH与生长的复杂关系的仍需进一步研究。

低溶氧胁迫过程中,S<sub>2</sub>、S<sub>4</sub>处理组肌肉RNA/DNA比值显著降低,这一趋势与生长表现一致;而肝脏RNA/DNA比值未出现显著差异,这主要是由于鱼类身体生长主要依靠肌肉中蛋白质的合成。但在恢复阶段,经历低氧胁迫的褐牙鲮幼鱼肌肉RNA/DNA比值在恢复20d时显著高于对照处理,并在随后的20d内也略高于对照处理,这一趋势与生长率的变动趋势不符。RNA/DNA比值已经被证明是一个可靠有效的营养状况指标<sup>[11,12]</sup>,而褐牙鲮幼鱼在低溶氧胁迫期间由于摄食量较少,加上能量代谢支出的比例较高<sup>[4]</sup>,因此鱼体营养状况较差;而恢复阶段由于摄食量明显超过对照处理,营养状况得到改善并优于对照组<sup>[4]</sup>,因此这一阶段RNA/DNA比值高于对照组可能只是营养状态的一种表现。

#### 3.2 胁迫和恢复期间褐牙鲮幼鱼肌肉及肝脏糖原含量的变化

由于水生动物使用碳水化合物作为能量代谢底

物时,可以获得最高的氧卡系数<sup>[13]</sup>,因此在缺氧时会动用体内的糖原作为能量代谢底物来获得足够的能量。在胁迫阶段,低溶解氧处理的褐牙鲮幼鱼的肝糖原含量明显低于对照处理,这与Padmavathy等<sup>[14]</sup>发现南亚野鲮肝脏中糖原含量随溶解氧含量的下降而明显降低的现象一致。但Padmavathy等<sup>[14]</sup>发现肌肉中糖原含量也同时降低,而本实验中则未发现肌肉糖原含量有明显降低,这可能与不同鱼类的特点有关。因为褐牙鲮是一种匍匐于底部的鱼类,而南亚野鲮则在水体中不停游动,在缺氧时由于其仍需不停游动,其肌肉中糖原的变化幅度会比褐牙鲮大。Martinez等<sup>[15]</sup>研究表明,海湾鲮在经历缺氧胁迫后其肌肉中的与糖酵解、糖原代谢有关酶的酶活力会受到抑制,而肝脏中这些酶的活力明显提高,表明肝脏中利用碳水化合物能力明显提高。本实验中褐牙鲮幼鱼肌糖原和肝糖原在胁迫阶段的变化与这一现象一致。

在恢复阶段的前20d,褐牙鲮幼鱼肝糖原含量迅速恢复并一度出现高于对照处理的现象,在随后的恢复阶段则恢复至对照处理水平。这可能主要是因为恢复期间头10d褐牙鲮幼鱼摄食量明显提高<sup>[4]</sup>,为幼鱼提供了较多能源储备,但这一现象仍需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Buentello J A, Gatlin III D M, Neill W H. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Aquaculture*, 2000, 182:339-352.
- [2] Filho D W, Torres M A, Zaniboni F E, et al. Effect of different oxygen tensions on weight gain, feed conversion, and antioxidant status in piapara, *Leporinus elon-*

- gatus (Valenciennes, 1847) [J]. *Aquaculture*, 2005, 244:349-357.
- [3] McNatt R A, Rice J A. Hypoxia-induced growth rate reduction in two juvenile estuary-dependent fishes[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, 311(1):147-156.
- [4] 李洁. 限制溶解氧供应对褐牙鲈幼鱼生长的影响及其机制的实验研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2011.  
Li J. Effects of Restricted the Supply of Dissolved Oxygen on the Growth of Juvenile Brown Flounder, *Paralichthys olivaceus* and the Mechanism[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [5] Hornick J L, Van Eanaeme C, Gérard O, et al. Mechanisms of reduced and compensatory growth[J]. *Domestic Animal Endocrinology*, 2000, 19:121-132.
- [6] 张为民, 张利红, 沈文英, 等. 饥饿状态下草鱼生长激素的分泌[J]. *水生生物学报*, 2001, 25(3):236-240.  
Zhang W M, Zhang L H, Shen W Y, et al. The secretion of growth hormone in starved grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, 25(3):236-240.
- [7] 钟山, 罗大极, 汪亚平, 等. 饥饿状态下转基因鲤鱼和对照鲤鱼血清生长激素的表达研究[J]. *水生生物学报*, 2009, 33(6):1046-1050.  
Zhong S, Luo D J, Wang Y P, et al. Study on serum GH expression of transgenic and control common carp under hungry condition[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(6):1046-1050.
- [8] 王桂芹, 周洪琪, 陈建明, 等. 饲料蛋白对翘嘴鲈生长和内分泌激素的影响[J]. *水生生物学报*, 2008, 32(4):544-550.  
Wang G Q, Zhou H Q, Chen J M, et al. Effect of dietary protein on growth and hormone of *culture alburnus* juveniles[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2008, 32(4):544-550.
- [9] Barret B A, McKeown B A. Sustained exercise augment longterm starvation increase in plasma growth hormone in the steelhead trout *Salmo gairdneri*[J]. *Canada Journal of Zoology*, 1988, 66:853-855.
- [10] Sumpter J P, Le Bail P Y, Pickering A D. The effect of starvation on growth and plasma growth hormone concentration of rainbow trout, *oncorhynchus mykiss* [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 1991, 83:94-102.
- [11] Buckley L J. Relationships between RNA-DNA ratios, prey density, and growth rate in Atlantic cod (*Gardus morhua*) larvae[J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1979, 36:1497-1502.
- [12] Buckley L J. Changes in ribonucleic and deoxyribonucleic acid, and protein content during ontogenesis in winter flounder *Pseudopleuronectes americanus*, and effect of starvation[J]. *Fishery Bulletin US*, 1980, 77:703-708.
- [13] Jobling M. *Fish Bioenergetics*[M]. London: Chapman & Hall, 1994:309.
- [14] Padmavathy P, Ramanathan N, Francis T. Glucose, lactate and pyruvate metabolism in *Labeo rohita* with reference to ambient oxygen[J]. *Asian Fisheries Science*, 2003, 16:51-58.
- [15] Martinez M L, Landry C, Boehm R, et al. Effects of long-term hypoxia on enzymes of carbohydrate metabolism in the Gulf killifish, *Fundulus grandis* [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2006, 209:851-8861.

(责任编辑:米慧芝)