

褐牙鲆幼鱼 GH、IGF-I、STC、RNA/DNA 和糖原含量对盐度操作的响应*

Responses of GH, IGF-I, Glycogen Content and RNA/DNA Ratio of Juvenile *Paralichthys olivaceus* to Salinity Manipulation

刘旭佳¹, 黄国强^{1,2**}, 李 洁², 唐 夏², 张灵燕²

LIU Xu-jia¹, HUANG Guo-qiang^{1,2}, LI Jie², TANG Xia², ZHANG Ling-yan²

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

摘要:对不同盐度胁迫 10 d 后盐度调节至 19 后恢复期间褐牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 幼鱼血浆生长激素 (GH)、类胰岛素生长因子 I (IGF-I)、司登尼亚钙素 (STC) 及肌肉和肝脏中 RNA/DNA 比值和糖原含量变化进行实验监测。结果表明:血浆 GH 质量浓度在整个实验期间未出现明显差异。IGF-I 质量浓度在高盐处理始终较低,只在实验结束时恢复至对照处理水平,而低盐胁迫处理的 IGF-I 质量浓度则在恢复期间明显高于对照处理。胁迫期间低盐处理 STC 质量浓度显著低于对照处理和高盐处理,但是在恢复期间恢复至对照组水平;而高盐胁迫处理则下降至显著低于其余两个处理水平。除在胁迫结束时低盐处理的肝脏 RNA/DNA 高于其余两个处理外,在其他时间肌肉和肝脏的 RNA/DNA 在不同处理间不存在显著差异。肝脏和肌肉糖原含量在所有时间上不同处理间均不存在显著差异。

关键词:褐牙鲆 盐度操作 GH IGF-I STC

中图分类号:S917.4 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2013)02-0171-05

Abstract: The responses of plasma growth hormone (GH), Insulin-like growth factor I (IGF-I), stanniocalcin (STC), glycogen content, and RNA/DNA ratio of brown flounder, *Paralichthys olivaceus* to salinity manipulation are investigated in this experiment. The juvenile *P. olivaceus* are kept in salinity 5 (IS₅), 19 (IS₁₉), and 47 (IS₄₇) for 10 d and then are cultured in salinity 19 for 30 d. No significant difference of plasma GH concentration appears during the whole experimental period. The plasma IGF-I concentration of IS₄₇ is lower than that of IS₁₉ in most experimental periods and restores to the level of IS₁₉ at the end of the experiment. The plasma IGF-I concentration is significantly higher in IS₅ than in IS₁₉ during the restoring period. The plasma STC concentration is significantly lower in IS₅ than in both IS₁₉ and IS₄₇ during the stressing period, but it restores to the level of IS₁₉ during the restoring period. During the restoring periods, the plasma STC concentration is significantly lower in IS₄₇ than in IS₁₉ and IS₅. The RNA/DNA ratio of liver is higher in IS₅ than in both IS₁₉ and IS₄₇ at the end of the stressing period, whereas it appears no significant difference in restoring periods. No significant difference of glycogen content in liver and muscle reveals during the whole experimental period.

Key words: *Paralichthys olivaceus*, salinity manipulation, GH, IGF-I, STC

收稿日期:2012-11-08

修回日期:2013-01-07

作者简介:刘旭佳(1986-),女,硕士,主要从事养殖生态学和海藻生态学研究。

* 国家自然科学基金项目(30600462)资助。

** 通讯作者:黄国强(1973-),男,博士,主要从事水产养殖生态学研究。E-mail:hgqghugh@yahoo.com.cn。

在河口和近海环境中,盐度是变化较大并对鱼类生理功能影响较大的环境因子之一,而内分泌激素在

对鱼类的渗透压调控过程中起着至关重要的作用^[1]。其中生长激素不仅是鱼类调节生长与代谢的内分泌因子,而且还能提高 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶的活性和氯化物细胞的数量,并可能通过促进血浆皮质醇和类胰岛素生长因子 I (IGF-I) 质量浓度的增加而促进鲢科鱼类对海水的适应^[2]。鱼类 IGF-I 作为血浆生长激素 (GH) 的作用媒介,不仅具有生长调节功能^[3],还在鱼类渗透调节中起到重要作用^[4,5]。IGF-I 和 IGF-II 能够刺激莫桑比克罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*) 的垂体释放促乳素 (prolactin, PRL)^[6]。由于促乳素是广盐性鱼类最重要的水盐调节激素^[7],因此,IGF-I 对鱼类渗透压调节的作用可能是通过刺激促乳素的分泌来实现的。斯登尼亚钙素 (STC) 是主要参与鱼体内钙的动态平衡调节,在鱼类栖居的高渗和低渗环境及在这两种环境间洄游的能力方面起重要作用^[8]。由于鱼类在不同盐度水体中洄游时不仅面临渗透压调节的压力,在进入高盐水体时还面临过量钙进入体内必须排出体外的问題,因此 STC 分泌在鱼类适应盐度变化的环境适应可能起到重要作用。

在多种鱼类营养胁迫后的补偿生长研究中,对补偿生长的内分泌调节机制进行了研究^[9~12]。一些鱼类经历温度和盐度等环境因子的胁迫后也能获得补偿生长^[13~18],但是尚未见到对环境因子胁迫后补偿生长的内分泌调节机制的报道。褐牙鲮 (*Paralichthys olivaceus*) 幼鱼在低盐度胁迫 10 天后能获得完全补偿生长^[13,14],期间前述的由 GH、IGF-I、RNA/DNA 比值组成的生长调节轴和 STC 分泌的变动可能对褐牙鲮盐度胁迫及恢复期间的生长和适应起到重要作用。本实验为结合文献^[13,14]同时进行的实验,将褐牙鲮从盐度 19 的环境中转入盐度 5 的海水中养殖 10 天,研究其体内血浆激素 GH、IGF-I 及 STC 在提高渗透压调节能力过程中可能起到的作用,以及期间 RNA/DNA 比值和糖原含量的变化,以期为鱼类适应环境盐度变动的机制探讨提供资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用褐牙鲮幼鱼购于山东文登小观镇养殖场,运回后置于实验室水槽 (280 cm × 175 cm × 150 cm) 中暂养 2 周。暂养期间,水温 (22 ± 0.5) °C,盐度 33.0 ± 0.3 , pH 值 7.9 ± 0.3 ,连续充气,日换水率 100%。每日 06:00 和 18:00 投喂牙鲮专用颗粒配合饲料,日投饵量为幼鱼体重的 3%~4%,投喂 2 h 后

及时吸除残饵。

1.2 实验设计

实验设置盐度处理分别为 5 (IS5)、19 (IS19) 和 47 (S47),每一处理 6 个重复,实验用的 18 个水族箱按完全随机化区组设计进行排列。褐牙鲮幼鱼驯化至实验盐度后,挑选规格均匀、健壮活泼的幼鱼 (每处理的平均体重见表 1) 放入水族箱开始实验,每一水族箱中放养褐牙鲮幼鱼 10 尾。实验期间每 10 d 称重 1 次,待不同处理的体重出现显著差异后,于 3d 内每半天调节 1 次的速度均匀将盐度调节至生长最快的盐度,以生长最快的盐度处理为对照,再进行 30 d 的恢复期养殖以观察补偿生长能力。

1.3 样品收集与分析

实验结束时每一水族箱内所有鱼作为一个样品,分析实验结束时鱼体的成分。与此同时,另一批鱼以实验完全相同的处理,每一处理的每个重复养鱼 12 尾,每隔 10d 取样 1 次,每个处理取鱼 9 尾 (每个重复取 3 尾)。实验用鱼用 100mg/L 的 MS-222 麻醉后,用经预冷并用 1% 肝素生理盐水溶液 (1% 肝素生理盐水 (0.9% 氯化钠)) 润洗的 1ml 注射器从尾静脉抽取血液,注入事先加入 0.1ml 1% 肝素生理盐水溶液并在 80°C 烘干的试管内,于 4°C 下 10000 r/min 离心 15 min,取分离的血浆用于测定 GH、IGF-I 和 STC 含量。抽血后立即解剖鱼体,取鳃测定鳃丝 $\text{Na} - \text{K} - \text{ATP}$ 酶活力,并取肝脏和肌肉 -30°C 下保存以备测定 RNA/DNA 比值和糖原含量用。

GH、IGF-I 和 STC 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。

1.4 数据计算和统计分析

褐牙鲮的特定生长率 (SGR_{rw} , %) 计算公式为: $\text{SGR}_{\text{rw}} = 100 \times \ln(W_{t_2}/W_{t_1}) / (t_2 - t_1)$ 其中 t_2 和 t_1 分别为某个实验阶段的结束时间 (d) 和开始时间 (d), W_{t_2} 和 W_{t_1} 分别为某一实验阶段鱼的结束体重和初始体重。

对所有实验数据进行单因子方差分析,并对不同处理间的数据进行 DUNCAN 多重比较,以 $P < 0.05$ 作为差异显著的标准。数据的统计分析采用 SPSS11.0 软件包进行。

2 结果

2.1 血浆 GH、IGF-I 和 STC 含量

从表 1 可以看出,血浆 GH 含量在整个实验期间不同处理间未表现出明显差异,但是在高盐和低盐

胁迫处理中表现出由胁迫期间低于对照处理到恢复期间恢复至对照处理的趋势。IGF-I 含量在高盐处理始终较低,只在实验结束时恢复至对照处理水平,而低盐胁迫处理的 IGF-I 含量则在恢复期间明显高于对照处理。胁迫期间低盐处理 STC 含量显著低于对照处理和高盐处理,但是在恢复期间恢复至对照组水平,而高盐胁迫处理则由与对照处理没有显著差异下降至显著低于其余两个处理水平。

表 1 实验期间褐牙鲈幼鱼血浆 GH、IGF-I 和 STC 质量浓度
Table 1 Plasma GH and IGF-I concentration of juvenile *P. olivaceus* at different time

胁迫或恢复天数 Stressing or restoring day	处理 Treatment	质量浓度 Concentration(Mean±SE)		
		GH (ng/L)	IGF-I (μg/L)	STC (ng/L)
S ₁₀	IS ₅	171.2 ± 24.4 ^a	20.45 ± 0.86 ^a	7.89 ± 0.59 ^a
	IS ₁₉	206.5 ± 35.1 ^a	20.61 ± 3.05 ^a	24.01 ± 0.49 ^b
	IS ₁₇	146.8 ± 12.3 ^a	15.58 ± 1.73 ^a	21.68 ± 3.17 ^b
R ₁₀	IS ₅	237.3 ± 12.9 ^a	27.62 ± 5.42 ^b	24.67 ± 1.47 ^b
	IS ₁₉	211.9 ± 25.1 ^a	20.90 ± 2.48 ^{ab}	23.92 ± 0.48 ^b
	IS ₁₇	199.8 ± 18.1 ^a	13.62 ± 2.63 ^a	10.96 ± 3.11 ^a
R ₂₀	IS ₅	238.1 ± 6.6 ^a	28.32 ± 3.23 ^b	25.29 ± 0.91 ^b
	IS ₁₉	217.3 ± 16.5 ^a	21.18 ± 1.92 ^{ab}	23.83 ± 1.05 ^b
	IS ₁₇	212.0 ± 8.4 ^a	17.67 ± 1.07 ^a	9.04 ± 2.62 ^a
R ₃₀	IS ₅	238.9 ± 9.4 ^a	29.02 ± 1.30 ^b	25.92 ± 0.52 ^b
	IS ₁₉	228.2 ± 17.8 ^a	21.76 ± 0.89 ^a	23.65 ± 2.36 ^b
	IS ₁₇	224.1 ± 8.6 ^a	21.72 ± 1.35 ^a	7.12 ± 2.16 ^a

S₁₀、R₁₀、R₂₀、R₃₀ 分别表示胁迫第 10 天和恢复第 10 天、20 天、30 天;同一时间同一列中没有相同字母上标的数值相互之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$)

S₁₀、R₁₀、R₂₀ and R₃₀ means the 10th day of stressing and the 10th day, the 20th day and the 30th day of restoring respectively; Values without same superscript letter in the same columns were significantly different from each other ($P < 0.05, n = 3$).

2.2 肝脏和肌肉 RNA/DNA 及糖原含量

从表 2 可以看出,除在胁迫结束时低盐处理的肝脏 RNA/DNA 高于其余两个处理外,在其他时间肌肉和肝脏的 RNA/DNA 在不同处理间不存在显著差异。从表 3 可以看出,肝脏和肌肉糖原含量在所有时间上不同处理间均不存在显著差异,但是在胁迫结束后高盐处理肝脏糖原含量有明显的上升。

3 讨论

3.1 褐牙鲈幼鱼 GH、IGF-I 及 STC 对盐度操作的响应及其与生长的关系

通过本实验结果与褐牙鲈幼鱼盐度胁迫后的补偿生长数据^[13,14]比较发现,在经 10d 不同盐度处理后,血浆 GH 及 IGF-I 质量浓度最高的处理 IS₁₉ 生长表现最佳,但是血浆 GH 及 IGF-I 质量浓度与生长的表现并不完全一致,可能是由于 GH 对鱼类具有高

表 2 盐度胁迫及恢复期间肌肉和肝脏的 RNA/DNA
Table 2 RNA/DNA ratio of muscle and liver of *P. olivaceus* at different time

胁迫或恢复天数 Stressing or restoring day	处理 Treatments	RNA/DNA ratio(Mean±SE)	
		肝脏 Liver	肌肉 Muscle
S ₁₀	IS ₅	4.02 ± 0.14 ^b	2.49 ± 0.22 ^a
	IS ₁₉	3.47 ± 0.17 ^a	3.39 ± 0.58 ^a
	IS ₁₇	3.49 ± 0.07 ^a	2.96 ± 0.32 ^a
R ₁₀	IS ₅	3.08 ± 0.29 ^a	1.68 ± 0.07 ^a
	IS ₁₉	3.34 ± 0.09 ^a	2.98 ± 0.41 ^a
	IS ₁₇	3.51 ± 0.13 ^a	2.00 ± 0.17 ^a
R ₂₀	IS ₅	3.14 ± 0.13 ^a	1.98 ± 0.31 ^a
	IS ₁₉	3.39 ± 0.08 ^a	2.77 ± 0.37 ^a
	IS ₁₇	3.17 ± 0.19 ^a	2.09 ± 0.08 ^a
R ₃₀	IS ₅	3.23 ± 0.22 ^a	2.05 ± 0.11 ^a
	IS ₁₉	3.48 ± 0.13 ^a	2.73 ± 0.09 ^a
	IS ₁₇	2.97 ± 0.33 ^a	2.12 ± 0.07 ^a

S₁₀、R₁₀、R₂₀、R₃₀ 分别表示胁迫第 10 天和恢复第 10 天、20 天、30 天;同一时间同一列中没有相同字母上标的数值相互之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$)。

S₁₀、R₁₀、R₂₀ and R₃₀ means the 10th day of stressing and the 10th day, the 20th day and the 30th day of restoring respectively; Values without same superscript letter in the same columns were significantly different from each other ($P < 0.05, n = 3$).

表 3 盐度胁迫及恢复期间肌肉和肝脏的糖原含量
Table 3 Glycogen content of muscle and liver of *P. olivaceus* at different time

胁迫或恢复天数 Stressing or restoring day	处理 Treatments	糖原含量 Glycogen content(Mean±SE, mg/g)	
		肝脏 Liver	肌肉 Muscle
S ₁₀	IS ₅	58.86 ± 6.60 ^b	0.77 ± 0.17 ^a
	IS ₁₉	46.65 ± 5.45 ^{ab}	0.59 ± 0.09 ^a
	IS ₁₇	27.95 ± 4.91 ^a	1.01 ± 0.15 ^a
R ₁₀	IS ₅	46.15 ± 11.67 ^a	0.73 ± 0.09 ^a
	IS ₁₉	43.54 ± 3.07 ^a	0.73 ± 0.13 ^a
	IS ₁₇	62.93 ± 9.84 ^a	1.07 ± 0.21 ^a
R ₂₀	IS ₅	56.12 ± 9.89 ^a	0.82 ± 0.18 ^a
	IS ₁₉	69.49 ± 9.57 ^a	1.21 ± 0.29 ^a
	IS ₁₇	55.75 ± 8.20 ^a	1.19 ± 0.28 ^a
R ₃₀	IS ₅	57.38 ± 4.37 ^a	1.09 ± 0.13 ^a
	IS ₁₉	57.87 ± 4.61 ^a	1.13 ± 0.10 ^a
	IS ₁₇	54.31 ± 3.74 ^a	0.07 ^a

S₁₀、R₁₀、R₂₀、R₃₀ 分别表示胁迫第 10 天和恢复第 10 天、20 天、30 天;同一时间同一列中没有相同字母上标的数值相互之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$)

S₁₀、R₁₀、R₂₀ and R₃₀ means the 10th day of stressing and the 10th day, the 20th day and the 30th day of restoring respectively; Values without same superscript letter in the same columns were significantly different from each other ($P < 0.05, n = 3$).

渗透调节作用^[2],而海水鱼类的 IGF-I 具有低渗透调节作用所导致^[19,20]。STC 质量浓度与生长表现趋势一致,由于 STC 是盐度变化时调节血液中钙含量的关键激素之一^[6],因此可能在胁迫期间其所起作用对于褐牙鲈幼鱼适应高盐度和低盐度起主导作用并引起生长的主要差异。

恢复期间血浆 GH、IGF-I、STC 的质量浓度均表现出 $IS_{47} < IS_{19} < IS_5$ 趋势,与恢复期间的生长表现完全一致,表明可能是由于这 3 种激素的调节作用下,经历低盐度胁迫的褐牙鲈幼鱼获得完全补偿生长而经历高盐度胁迫的褐牙鲈幼鱼不能获得完全补偿生长。

3.2 褐牙鲈幼鱼肝脏和肌肉 RNA/DNA 比值的变化

褐牙鲈幼鱼在经 10d 不同盐度处理后, IS_5 肝脏 RNA/DNA 比值显著高于其余两个处理,而肌肉中 RNA/DNA 比值则以 IS_{19} 处理最高,生长与肌肉 RNA/DNA 比值具有直接正相关关系,而与肝脏的 RNA/DNA 比值负相关。这一结果与已有的肌肉中 RNA/DNA 比值和生长率呈显著的负相关关系报道^[21~24]不同,可能与不同实验所采用的鱼类对盐度的适应能力不同有关。

盐度恢复 11~40d 期间,各处理组肝脏及肌肉 RNA/DNA 比值均未表现出显著性差异,但 SGR 有明显差异,表明在这一阶段生长与 RNA/DNA 比值不再有直接联系,其中原因有待进一步研究。

3.3 褐牙鲈幼鱼肝脏和肌肉糖原含量的变化

鱼类在低盐和高盐胁迫中均会导致血糖浓度的变化,不同淡水鱼血糖含量对盐度的反应不同,如咸海卡拉白鱼 (*Chalcalburnus chalcoides aralensis*) 的血糖含量随盐度升高而下降^[25],史氏鲟 (*Acipenser schrenkii*) 的血糖含量随盐度升高而升高^[26]。不同海水鱼类血糖含量对盐度的响应也不同,如斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*) 的血糖含量随盐度升高呈先下降后上升模式^[27],而军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 长期适应后血糖浓度随盐度升高略有下降趋势^[28],在急性盐度变化实验中,盐度低于 15 随盐度升高血糖含量下降,然后上升,当盐度高于 25 后又称下降趋势,并在 12h 后不同盐度之间差异不再显著^[29]。由于血糖在应激状态下主要靠动员肝糖原补充,因此经历盐度变动的鱼体肝和肌肉糖原含量会产生变动。本实验中,褐牙鲈幼鱼在经 10 天不同盐度处理后,各处理组肝脏糖原含量表现出显著性差异并呈 $IS_{47} < IS_{19} < IS_5$ 的趋势,肌肉糖原未表现出显著性差异,这表明高盐度水体中褐牙鲈幼鱼动员更多的糖原作为代谢底物应对胁迫。而低盐度胁迫则未导致糖原含量的下降,反而有一定程度的上升,可能与褐牙鲈幼鱼为广盐性鱼类并对低盐度水体适应能力较强有关。同时,作者待发表的研究结果发现,褐牙鲈幼鱼向低盐度驯化及适应的过程中,氧氮比也有一定程度的下降,表明其代谢底物中脂肪和碳水化合物比

例下降,也可能是低盐度胁迫后肝糖原含量上升的原因之一。

盐度恢复的 11~40d 内,褐牙鲈幼鱼肝脏和肌肉糖原含量均未表现出显著性差异,与此同时 GH 含量差异性也不显著,但是 IGF-I 及 STC 的分泌量出现显著性差异并呈 $IS_{47} < IS_{19} < IS_5$ 的趋势。所以,推测尽管 IGF-I 及 STC 的分泌量出现显著性差异,但是并未影响到肝脏和肌肉糖原的含量,而肝糖原与肌糖原含量的变化与 GH 含量的变化趋势一致,故肝糖原与肌糖原含量的变化很可能与 GH 含量的变化有关。

参考文献:

- [1] 冯广朋,庄平,赵峰,等.不同盐度海水驯养中史氏鲟血清激素浓度的变化[J].上海水产大学学报,2007,16(4):318-322.
- [2] Sakamoto T, McCormick S D, Hirano T. Osmoregulatory actions of growth hormone and its mode of action in salmonids: A review[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1993, 11(1-6): 155-164.
- [3] Froesch E, Schmid C, Schwander J, et al. Actions of insulin-like growth factors[J]. Annual Reviews of Physiology, 1985, 47: 443.
- [4] Sakamoto T, Hirano T, Madsen S S, et al. Insulin-like growth factor -I gene expression during parr-smolt transformation in coho salmon[J]. Zoological Sciences, 1995, 12(2): 249-252.
- [5] Deane E E, Kelly S P, Luk J C Y, et al. Chronic salinity adaptation modulates hepatic heat shock protein and insulin-like growth factor I expression in black seabream [J]. Marine Biotechnology, 2002, 4(2): 93-205.
- [6] Kajimura S, Uchida K, Yada T, et al. Effects of insulin-like growth factors (IGF-I and IGF-II) on growth hormone and prolactin release and gene expression in euryhaline tilapia, *Oreochromis mossambicus* [J]. General and Comparative Endocrinology, 2002, 127(3): 223-231.
- [7] 温海深. 水产动物生理学[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2009: 296-323.
- [8] Wagner G F, Mckeown B A. Development of a salmon growth hormone radio immunoassay [J]. General and Comparative Endocrinology, 1986, 62(3): 452-458.
- [9] Chauvigné F, Gabillar D J C, Weil C, et al. Effect of refeeding on IGF1, IGF2, IGF receptors, FGF2, FGF6, and myostatin mRNA expression in rainbow trout myotomal muscle[J]. General and Comparative Endocrinology, 2003, 132(2): 209-215.
- [10] Hagen F, Fernandes J M O, Solberg C, et al. Expression of growth-related genes in muscle during fasting and refeeding of juvenile Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L. [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 2009, 152B(1): 47-53.
- [11] Enes P, Sanchez-Gurmaches J, Navarro I, et al. Role of insulin and IGF-I on the regulation of glucose metabo-

- lism in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed with different dietary carbohydrate levels [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2010, 157A(4): 346-353.
- [12] Rahimi R, Farhangi M, Amiri B M, et al. Compensatory growth assessment by plasma IGF-I hormone measurement and growth performance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *African Journal of Biotechnology*, 2010, 9 (25): 3949-3954.
- [13] 王丽华, 黄国强, 田思娟, 等. 盐度对褐牙鲈幼鱼生长的影响及其在盐度胁迫后的补偿生长[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(4): 615-621.
- [14] 张国政, 黄国强, 田思娟, 等. 盐度胁迫及恢复对褐牙鲈幼鱼生长、能量分配和身体成分的影响[J]. *水产学报*, 2008, 32(3): 402-410.
- [15] Mortensen A, Damsgård B. Compensatory growth and weight segregation following light and temperature manipulation of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) [J]. *Aquaculture*, 1993, 114(3-4): 261-272.
- [16] Nieceza A, Metcalfe N B. Growth compensation in juvenile Atlantic salmon: responses to depressed temperature and food availability [J]. *Ecology*, 1997, 78(8): 2385-2400.
- [17] 王晓杰, 张秀梅, 黄国强. 低温胁迫对许氏平鲈补偿生长的影响[J]. *中国水产科学*, 2006, 13(4): 566-572.
- [18] Huang G, Wei L, Zhang X, et al. Compensatory growth of juvenile brown flounder *Paralichthys olivaceus* following thermal manipulation [J]. *Journal of Fish Biology*, 2008, 72(10): 2534-2542.
- [19] Collie N L, Bolton J P, Kawauchi H, et al. Survival of salmonids in seawater and the time frame of growth hormone action [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1989, 7(1-6): 315-321.
- [20] Kelly S P, Chow N K, Woo N Y S. Effects of prolactin and growth hormone on strategies of hypoosmotic adaptation in a marine teleost, *Sparus sarba* [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 1999, 113(1): 9-22.
- [21] Ferguson M M, Danzmann R G. RNA/DNA ratios in white muscle as estimates of growth in rainbow trout held at different temperatures [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1990, 68(7): 1494-1498.
- [22] Mathers E M, Houlihan D F, McCarthy I D, et al. Rates of growth and protein synthesis correlated with nucleic acid content in fry of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*: effects of age and temperature [J]. *Journal of Fish Biology*, 1993, 43(2): 245-263.
- [23] Folkvord A, Ystanes L, Johannessen A, et al. RNA:DNA ratios and growth of herring (*Clupea harengus*) larvae reared in mesocosms [J]. *Marine Biology*, 1996, 126(4): 591-602.
- [24] Imsland A K, Foss A, Bonga S W, et al. Comparison of growth and RNA:DNA ratios in three populations of juvenile turbot reared at two salinities [J]. *Journal of Fish Biology*, 2002, 60(2): 288-300.
- [25] 王信海, 蔺玉华, 姜秋俚, 等. 盐度对咸海卡拉白鱼生长及组织学特征的影响[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(5): 808-815.
- [26] 童燕, 陈立侨, 庄平, 等. 急性盐度胁迫对施氏鲟的皮质醇、代谢反应及渗透调节的影响[J]. *水产学报*, 2007, 31(增刊): 38-44.
- [27] 杨宇晴, 余德光, 谢骏, 等. 急性盐度胁迫对斜带石斑鱼 Na^+/K^+ -ATP 酶及血清应激指标的影响[J]. *热带海洋学报*, 2010, 29(4): 160-164.
- [28] 徐力文, 冯娟, 郭志勋, 等. 盐度对军曹鱼稚鱼血液生理生化及鳃 Na^+/K^+ -ATPase 活性的影响[J]. *海洋环境科学*, 2008, 27(6): 602-606.
- [29] 徐力文, 苏友禄, 刘广锋, 等. 急性盐度胁迫下军曹鱼稚鱼应激反应的血清学指标[J]. *华南农业大学学报*, 2007, 28(2): 91-94.

(责任编辑: 邓大玉)

新催化剂让制氢过程 CO 排放接近零

尽管氢气在大气中无所不在,但是制造并收集分子氢用于交通运输和工业领域的成本非常高,过程也相当复杂。目前大多数制氢方法会产生对人和动物有毒的一氧化碳。最近美国科研人员使用金和氧化铁纳米粒子的组合作为催化剂,制造出供燃料电池使用的氢。研究人员让新反应进行了 200 多个小时,发现催化剂减少富含氢气的混合气体内一氧化碳数量的能力并未下降。新方法可以持续不断地制造出氢气,产生的一氧化碳浓度仅为 0.002%,而副产品是二氧化碳和水。新方法比传统方法更实用。但是目前研究人员还没有弄清新反应内含的机制是什么。尽管金纳米粒子的大小对反应来说非常关键,但是,研究过程中研究人员发现,增加氧化铁的表面积可以显著增加金纳米粒子的催化活性,未来的研究应专注于氧化铁粒子在化学反应中的作用。

(据科学网)