

低盐养殖对大黄鱼生长、肌肉营养成分及抗氧化能力的影响

吴益星^{1,2}, 叶坤^{1,2}, 王志勇^{1,2}, 何松蓉^{1,2}, 王秋荣^{1,2}

(1. 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021; 2. 农业部东海海水健康养殖重点实验室, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为探讨低盐养殖对大黄鱼生长、体成分及抗氧化能力的影响, 挑选初始体重为 (53.59 ± 25.10) g 的大黄鱼幼鱼 600 尾, 分为对照组(天然海水, 盐度 24)和低盐组(盐度 10)两组, 每组设 3 个重复, 进行为期 60 d 的养殖试验。试验结果表明: 低盐养殖大黄鱼增重率及特定增长率显著高于对照组 ($P < 0.05$); 肌肉的粗蛋白质和粗灰分含量分别显著高于和低于对照组 ($P < 0.05$), 粗脂肪略低于对照组, 但没有显著差异 ($P > 0.05$); 低盐组大黄鱼肌肉 Σ MUFA 显著低于对照组, 而 Σ PUFA 显著高于对照组 ($P < 0.05$); 低盐养殖组大黄鱼肝脏与肾脏组织中总抗氧化能力(T-AOC)、过氧化氢酶(CAT)活性显著高于对照组 ($P < 0.05$); 超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)活性及丙二醛(MDA)含量均显著低于对照组 ($P < 0.05$)。

[关键词] 大黄鱼; 低盐养殖; 生长; 肌肉营养成分; 抗氧化能力

[中图分类号] S 965.322

Effects of Low Salinity Culture on Growth, Muscle Nutritional Composition and Antioxidant Capacity of *Larimichthys crocea*

WU Yixing^{1,2}, YE Kun^{1,2}, WANG Zhiyong^{1,2}, HE Songrong^{1,2}, WANG Qiurong^{1,2}

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Key Laboratory of

Healthy Mariculture for the East China Sea, Ministry of Agriculture, Xiamen 361021, China)

Abstract: In order to investigate the effects of low salinity culture on the growth, muscle nutritional composition and antioxidant capacity of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*), a total of 600 juvenile large yellow croaker with an initial body weight of (53.59 ± 25.10) g were randomly divided into two groups (natural seawater group, salinity 24; low salinity group, salinity 10) with three replicates per group. Fish were reared in an indoor cement tank (2.5 m \times 1.2 m \times 0.8 m) for 60 d. The results showed that the weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) of fish in low salinity group was significantly higher than those in the control group ($P < 0.05$). The contents of muscle crude protein and ash of large yellow croaker in the low salinity group were significantly higher and lower than those of the control group, respectively. There was no significant difference in the muscle crude lipid between two groups ($P > 0.05$). The Σ MUFA content in muscle of the large

[收稿日期] 2019-09-29

[基金项目] 国家海水鱼类产业技术体系(CARS-47-G04)

[作者简介] 吴益星(1992—), 男, 硕士生, 从事水产动物营养与饲料研究。通信作者: 王秋荣(1966—), 男, 副教授, 硕导, 从事水产动物繁殖与营养研究。E-mail: wqiurong@126.com

<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

yellow croaker in low salinity group was significantly lower than that in the control group, while the Σ PUFA content was significantly higher than that in the control group ($P < 0.05$). The total antioxidant capacity (T-AOC) and catalase (CAT) activity in liver and kidney of large yellow croaker in low salinity group were significantly higher than those in control group ($P < 0.05$). But the activity of superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GSH-PX) and the content of malondialdehyde (MDA) in liver and kidney of large yellow croaker in control group were significantly higher than those in low salinity group ($P < 0.05$).

Keywords: *Larimichthys crocea*; low salinity culture; growth; nutritional composition; antioxidant capacity

0 引言

大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 是我国特有的地方性海水养殖鱼类, 主要养殖产区在福建宁德, 其肉质细嫩鲜美、营养丰富, 因而深受消费者的青睐^[1-2]。因大黄鱼养殖规模没有得到合理的控制, 造成无序快速发展。养殖海区网箱布置过度密集, 水流不畅, 加上大量投喂冰鲜小杂鱼, 容易造成水质恶化, 病害频发, 特别是由刺激隐核虫 (*Cryptocaryon irritans*)^[3-9] 引起的“白点病”常造成大黄鱼毁灭性的死亡, 使养殖户蒙受巨大经济损失。由于刺激隐核虫等多数海水寄生虫在低盐水环境下不易存活, 因此, 低盐养殖环境能有效抑制“白点病”的发生, 提高养殖效益^[10]。一些研究^[11-16]表明水体盐度对鱼类的生长和存活有显著影响, 鱼类处于盐度适宜的水体 (等渗点) 时, 渗透压力最小, 鱼体调节渗透压需要消耗的能量最少, 代谢率达到最低, 摄食量最大, 鱼的存活率高, 特定生长率和肥满度等指标也能达到最大值。不同鱼类及生长阶段盐度对其生长的影响也不尽相同, 一些研究表明广盐性鱼类在低盐条件下其生长性能优于高盐环境^[17-18]。此外, 水体盐度变化也可能导致鱼类消化酶的活性降低, 影响食物转化效率, 使鱼类生长速率降低或停滞, 甚至出现负增长^[19-20]。水体盐度和温度的变化也会影响鱼肉产品的营养组成。曾霖等^[21]对大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 幼鱼研究发现鱼体的粗蛋白质含量随着盐度升高而降低, 盐度为 12 时粗脂肪低于其他盐度组, 粗灰分却显著高于其他盐度组, 必需氨基酸指数 (essential amino acid index, EAAI) 随盐度的升高而增大。鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*) 稚鱼在 0 ~ 15 盐度范围内养殖, 其肌肉中的多不饱和脂肪酸, 特别是 EPA、DHA 和 AA 的含量随盐度下降而呈现升高的趋势^[22]。此外, 盐度应激会引起鱼体内抗氧化能力的变化。虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)^[23] 在海水环境中肝脏超氧化物歧化酶 (SOD) 和谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-PX) 活性高于淡水环境, 而过氧化氢酶 (CAT) 活性低于淡水环境, 在非最适盐度范围内, 日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*)^[24]、斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*)^[25] 等鱼类可以通过提高抗氧化酶活性来保护鱼体免受氧化损伤。

本研究旨在探讨低盐养殖对大黄鱼生长、肌肉营养成分及抗氧化能力的影响, 为今后探索内陆低盐或淡水单养大黄鱼, 或与对虾及其他淡水经济鱼类混养提供参考基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用大黄鱼幼鱼由福建省宁德市金铃水产科技有限公司网箱养殖基地提供。挑选健康规格相近的大黄鱼幼鱼 600 尾 (平均体重 (53.59 ± 25.10) g) 运至室内育苗室进行试验。养殖试验配合饲料为健马牌大黄鱼配合饲料。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计及养殖试验

试验设对照组 (天然海水, 盐度 24) 和低盐度组 (盐度 10), 每组设 3 个平行。在室内水泥池

(2.5 m × 1.2 m × 0.8 m) 进行养殖试验, 每口池放养大黄鱼幼鱼 100 尾, 试验为期 60 d。试验前进行降低盐度驯化, 将淡水加入过滤海水逐级下调盐度 (每日下调 3~5), 至盐度 10 时再开始饲养试验。试验期间, 采用配合饲料进行投喂, 每天投喂 2 次 (上午 8:00 和下午 17:00), 投喂至饱食为止, 投喂完 30 min 清除残饵及污物。每天上午 10:00 换水 1 次, 低盐度组换水前要预先调配好新鲜海水盐度。试验期间平均水温为 (24 ± 0.5) °C, pH 为 7.8~8.0, 溶解氧含量 >5 mg/L, 氨氮含量 <0.05 mg/L。

1.2.2 样品采集

试验开始及试验结束时各取样一次, 每组取 30 尾, 每次取样之前, 将试验鱼禁食 24 h, 再进行取样。然后用丁香酚麻醉 (1:10 000), 用纱布拭干试验鱼体表的水分, 测定体长并称重后, 将鱼置于冰盘上解剖, 取出肝脏和肾脏, 剔除内容物和脂肪, 经干冰迅速冷冻后置于 -20 °C 超低温冰箱保存, 备用于抗氧化酶活力的测定。最后去除表皮取侧肌和肝脏迅速放入干冰中速冻, 带回实验室进行相关营养分析。

1.2.3 样品分析

1) 粗蛋白质采用凯式定氮法, 粗脂肪采用索氏提取法, 水分采用烘箱 (105 ± 2) °C 干燥法, 粗灰分采用马福炉 550 °C 高温灰化法分别进行测定。

2) 脂肪酸的测定采用 Folch 法^[26] 提取肌肉粗脂肪, 经皂化及甲酯化后, 用 Agilent 689 气相色谱仪进行脂肪酸分析。根据脂肪酸甲酯混标 (Sigma) 的分析图谱和保留时间对样品脂肪酸进行定性分析, 采用面积归一法计算各脂肪酸的相对含量。

3) 总抗氧化力 (T-AOC)、过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-PX) 活性均采用南京建成生物工程研究所检测试剂盒测定, 操作方法参照说明书进行。

1.2.4 特定生长率和增重率的计算

特定生长率和增重率的计算公式为:

$$\text{增重率 (Weight gain rate, WGR, \%)} = (W_t - W_0) / W_0 \times 100,$$

$$\text{特定生长率 (Specific growth rate, SGR, \% / d)} = (\ln W_t - \ln W_0) / d \times 100,$$

其中: W_0 (g) 为初均体重; W_t (g) 为试验鱼终末均体重; d 为试验天数。

1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS 软件进行统计处理, 试验结果用平均值 ± 标准差 (mean ± SD) 表示。对试验数据进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 用 LSD 法进行多重比较, 以 $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 低盐养殖对大黄鱼生长性能的影响

经过 60 d 养殖试验, 大黄鱼的生长结果如表 1 所示。

表 1 低盐养殖对大黄鱼生长性能的影响

Tab. 1 Effect of low salinity on growth performance of *L. crocea*

项目 Items	对照组 Control group (盐度 Salinity 24)	低盐组 Low salinity group (盐度 Salinity 10)
初均体长 Initial body length/cm	15.49 ± 2.66	15.49 ± 2.66
初均体重 Initial weight/g	53.59 ± 25.10	53.59 ± 25.10
末均体长 Final body length/cm	17.41 ± 1.50	17.91 ± 1.11
末均体重 Final weight/g	83.07 ± 21.52 ^a	89.18 ± 18.93 ^b
特定生长率 SGR/(% · d ⁻¹)	0.73 ± 0.04 ^a	0.86 ± 0.04 ^b
增重率 WGR/%	55.00 ± 11.47 ^a	66.49 ± 10.52 ^b
成活率 Survival rate/%	76.52 ± 2.15	77.66 ± 2.40

说明: 同一行数据上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The different superscript lowercase letters in the same row indicated significant differences between the treatments ($P < 0.05$).

由表 1 可知,低盐养殖组大黄鱼终末平均体长略大于对照组,但两组之间没有显著性差异 ($P > 0.05$),而终末平均体重、增重率和特定生长率均显著高于对照组 ($P < 0.05$)。大黄鱼成活率天然海水对照组为 76.52%,低盐组为 77.66%,两组之间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.2 低盐养殖对大黄鱼肌肉营养组成的影响

经过 60 d 的养殖试验,对照组与低盐养殖组大黄鱼肌肉营养组成如表 2 所示。由表 2 可知:与试验开始时相比,试验结束时大黄鱼肌肉干物质中粗蛋白质含量升高;低盐组的大黄鱼肌肉的粗蛋白质含量显著高于对照组,粗灰分含量显著低于对照组 ($P < 0.05$),粗脂肪含量则没有显著性变化 ($P > 0.05$)。

表 2 低盐养殖对大黄鱼肌肉营养组成的影响

Tab. 2 Effect of low salinity on muscle composition of *L. crocea*

营养成分 Nutritional ingredient	试验开始时 Initial	试验结束时 Final	
		对照组 Control group	低盐组 Low salinity group
粗蛋白质 Crude protein	69.69 ± 1.01 ^a	72.48 ± 0.84 ^b	74.25 ± 0.96 ^a
粗脂肪 Crude fat	21.75 ± 0.44 ^b	19.89 ± 0.47 ^a	19.42 ± 0.56 ^a
粗灰分 Crude ash	8.48 ± 0.07 ^a	9.60 ± 0.13 ^b	8.53 ± 0.13 ^a

说明:同一行数据上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The different superscript lowercase letters in the same row indicated significant differences between the treatments ($P < 0.05$).

2.3 低盐养殖对大黄鱼肌肉脂肪酸组成的影响

大黄鱼肌肉脂肪酸组成如表 3 所示。与试验开始时相比,试验结束时对照组与低盐组大黄鱼肌肉饱和脂肪酸 C14:0、C16:0、C18:0 与 C20:0 的含量均有显著上升 ($P < 0.05$),除了 C16:0 外,低盐组其他饱和脂肪酸的含量均低于对照组;低盐组与对照组肌肉中单不饱和脂肪酸 C16:1 和 C24:1 的含量差异不显著 ($P > 0.05$);对照组大黄鱼肌肉 C18:1 的含量显著高于低盐组,而 C20:1 的含量显著低于低盐组;对照组与低盐组大黄鱼肌肉多不饱和脂肪酸中 C18:2n-6 与 C18:3n-3 的含量均比试验开始时显著降低 ($P < 0.05$),但低盐组显著高于对照组 ($P < 0.05$);两组大黄鱼肌肉中 C20:3n-6、C20:4n-6、C20:3n-3、C20:5n-3、C22:5n-3、C22:6n-3 的含量均比试验开始时显著上升;低盐组大黄鱼肌肉中 C20:4n-6 与 C20:3n-3 的含量显著低于对照组 ($P < 0.05$),而 C20:5n-3 (EPA)、C22:5n-3 (DPA)、C22:6n-3 (DHA) 的含量均高于对照组,但两组之间差异不显著 ($P > 0.05$);大黄鱼肌肉饱和脂肪酸总量 (Σ SFA) 与高度不饱和脂肪酸总量 (Σ HUFA) 显著增加 ($P < 0.05$),但对照组与低盐组之间无显著差异 ($P > 0.05$);单不饱和脂肪酸总量 (Σ MUFA)、多不饱和脂肪酸总量 (Σ PUFA) 显著下降,低盐组大黄鱼肌肉 Σ MUFA 显著低于对照组,而 Σ PUFA 显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

2.4 低盐养殖对大黄鱼肝脏抗氧化能力的影响

经过 60 d 的养殖试验,两组大黄鱼肝脏总抗氧化力及各种抗氧化酶活性测定结果如表 4 所示。与试验开始时比较,对照组大黄鱼肝脏中的 T-AOC、CAT、SOD、GSH-PX 活性以及 MDA 含量均变化不明显,不存在显著性差异 ($P > 0.05$);低盐组大黄鱼肝脏的 T-AOC 与 CAT 活性显著上升,SOD、GSH-PX 活性以及 MDA 含量显著下降 ($P < 0.05$)。与对照组相比,试验结束时低盐组大黄鱼肝脏中的 T-AOC 和 CAT 活性均显著高于对照组 ($P < 0.05$),SOD 和 GSH-PX 活性以及 MDA 含量均显著低于对照组 ($P < 0.05$)。

2.5 低盐对大黄鱼肾脏抗氧化能力的影响

经过 60 d 的养殖试验,低盐组和对照组大黄鱼肾脏总抗氧化力及各种抗氧化酶活性的测定结果如表 5 所示。

表3 低盐养殖对大黄鱼肌肉脂肪酸的影响(% 总脂肪酸)

Tab.3 Effect of low salinity on muscle fatty acids compositions of *L. crocea* (% of total fatty acid)

脂肪酸 Fatty acid	试验开始时 Initial	试验结束时 Final	
		对照组 Control group	低盐组 Low salinity group
C14:0	1.89 ± 0.02 ^a	2.48 ± 0.06 ^b	2.38 ± 0.07 ^b
C16:0	18.93 ± 0.22 ^a	20.69 ± 0.55 ^b	21.11 ± 0.70 ^b
C18:0	5.13 ± 0.07 ^c	5.65 ± 0.16 ^b	5.45 ± 0.14 ^a
C20:0	0.47 ± 0.13 ^a	0.92 ± 0.21 ^c	0.76 ± 0.20 ^b
C16:1	5.74 ± 0.08 ^b	3.56 ± 0.25 ^a	3.65 ± 0.13 ^a
C18:1	2.87 ± 0.21 ^a	3.50 ± 1.42 ^b	2.37 ± 1.17 ^a
C20:1	1.65 ± 0.33 ^a	1.56 ± 0.12 ^b	1.67 ± 0.09 ^a
C24:1	0.30 ± 0.03 ^a	0.47 ± 0.06 ^b	0.51 ± 0.01 ^b
C18:2n-6	21.12 ± 0.79 ^c	12.48 ± 0.20 ^a	14.37 ± 0.58 ^b
C18:3n-3	22.74 ± 0.48 ^c	13.76 ± 0.61 ^a	14.27 ± 0.81 ^b
C20:4n-6	3.24 ± 0.40 ^a	5.85 ± 0.20 ^b	5.17 ± 0.36 ^b
C20:5n-3	1.02 ± 0.08 ^a	1.82 ± 0.12 ^b	1.96 ± 0.18 ^b
C20:3n-6	0.05 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.06 ± 0.00
C20:3n-3	0.09 ± 0.01 ^a	0.26 ± 0.02 ^b	0.22 ± 0.00 ^b
C22:6n-3	2.57 ± 0.20 ^a	5.04 ± 0.41 ^b	5.39 ± 0.55 ^b
C22:5n-3	0.34 ± 0.02 ^a	0.72 ± 0.06 ^b	0.75 ± 0.05 ^b
ΣSFA	26.42 ± 0.38 ^a	29.74 ± 0.56 ^b	29.70 ± 1.04 ^b
ΣMUFA	10.55 ± 0.37 ^c	9.09 ± 0.99 ^b	8.21 ± 0.96 ^a
ΣPUFA	51.18 ± 1.16 ^c	39.98 ± 0.11 ^a	42.21 ± 1.18 ^b
Σn-3	26.76 ± 0.77 ^b	21.59 ± 0.11 ^a	22.61 ± 0.98 ^a
Σn-6	24.42 ± 0.39 ^b	18.39 ± 0.01 ^a	19.60 ± 0.22 ^a
ΣHUFA	7.32 ± 0.11 ^a	13.74 ± 0.38 ^b	13.57 ± 0.44 ^b
DHA/EPA	0.40 ± 0.01 ^b	0.36 ± 0.01 ^a	0.36 ± 0.00 ^a
DHA + EPA	3.59 ± 0.29 ^a	6.86 ± 0.52 ^b	7.36 ± 0.72 ^c

说明: ΣSFA 为饱和脂肪酸总量, ΣMUFA 为单不饱和脂肪酸总量, ΣPUFA 为多不饱和脂肪酸总量, ΣHUFA 为高度不饱和脂肪酸总量; 同一行数据上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Notes: ΣSFA—Total saturated fatty acids, ΣMUFA—Total monounsaturated fatty acids, ΣPUFA—Total polyunsaturated fatty acids, ΣHUFA—Total highly unsaturated fatty acids; the different superscript lowercase letters in the same row indicated significant differences between the treatments ($P < 0.05$) .

表4 低盐养殖对大黄鱼肝脏抗氧化酶活性的影响

Tab.4 Effect of low salinity on antioxidant enzyme activity of *L. crocea*

项目 Items	试验开始时 Initial	试验结束时 Final	
		对照组 Control group	低盐组 Low salinity group
T-AOC/(U · mg ⁻¹)	0.91 ± 0.12 ^a	1.02 ± 0.25 ^a	1.84 ± 0.21 ^b
CAT/(U · mg ⁻¹)	33.17 ± 1.27 ^a	34.16 ± 1.23 ^a	60.96 ± 7.51 ^b
SOD/(U · mg ⁻¹)	40.50 ± 0.18 ^b	39.97 ± 1.04 ^b	15.56 ± 3.56 ^a
GSH-PX/(U · mg ⁻¹)	42.71 ± 4.26 ^b	43.68 ± 3.23 ^b	23.33 ± 2.36 ^a
MDA/(nmol · mg ⁻¹)	56.22 ± 5.64 ^b	59.27 ± 1.39 ^b	18.01 ± 1.96 ^a

说明: 同一行数据上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The different superscript lowercase letters in the same row indicated significant differences between the treatments ($P < 0.05$) .

与试验开始时比较, 试验结束时对照组大黄鱼肾脏的 T-AOC、CAT、SOD、GSH-PX 活性以及 MDA 含量都在小范围内波动, 且不存在显著性差异 ($P > 0.05$); 但低盐组大黄鱼肾脏中的 T-AOC 和 CAT 活性均出现了显著性上升 ($P < 0.05$), SOD、GSH-PX 活性以及 MDA 含量均出现了显著性降低 ($P < 0.05$)。与对照组相比, 低盐组的 T-AOC 和 CAT 活性均显著高于对照组 ($P < 0.05$), SOD、GSH-PX 活性以及 MDA 含量均显著低于对照组 ($P < 0.05$)。

表 5 低盐养殖对大黄鱼肾脏抗氧化酶活性的影响

Tab. 5 Effect of low salinity on antioxidant enzyme activity in kidney of *L. crocea*

项目 Items	试验开始时 Initial	试验结束时 Final	
		对照组 Control group	低盐组 Low salinity group
T-AOC/(U · mg ⁻¹)	1.25 ± 0.18 ^a	0.75 ± 0.45 ^a	2.09 ± 0.46 ^b
CAT/(U · mg ⁻¹)	24.81 ± 2.21 ^a	27.20 ± 1.62 ^a	46.86 ± 3.02 ^b
SOD/(U · mg ⁻¹)	39.46 ± 1.54 ^b	40.65 ± 0.76 ^b	18.11 ± 3.55 ^a
GSH-PX/(U · mg ⁻¹)	42.64 ± 3.10 ^b	41.58 ± 3.47 ^b	21.60 ± 3.19 ^a
MDA/(nmol · mg ⁻¹)	57.86 ± 3.86 ^b	57.41 ± 4.14 ^b	18.27 ± 1.97 ^a

说明: 同一行数据上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The different superscript lowercase letters in the same row indicated significant differences between the treatments ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 低盐养殖对大黄鱼生长性能的影响

水体盐度是影响鱼类生长与存活的重要环境因子, 对于广盐性鱼类, 虽然在较大盐度范围内均能正常生长存活, 但在最适的盐度下, 鱼类的生长率、增重率能达到最大。这是因为当水体盐度接近鱼体等渗点时, 鱼类用于调节渗透压平衡所消耗的能量较少, 将更多能量用于鱼体的生长^[27]。但不同鱼类及同种鱼类不同生长阶段水体盐度对其生长的影响具有一定差异, 如: 尤宏争等^[17]对豹纹鳃棘鲈 (*Plectropomus leopardus*) 的研究表明在水体盐度为 15 时豹纹鳃棘鲈幼鱼生长最快, 盐度为 30 时生长最慢; 而条石鲷 (*Oplegnathus fasciatus*)^[28] 的特定生长率及食物转化率在高盐度 (30) 下均达最高值, 在低盐度 (10) 下均为最低值; 税春等^[29]对梭鱼 (*Liza haematocheila*) 的研究却发现水体盐度对梭鱼的生长无显著影响; 孙向军等^[30]比较漠斑牙鲆 (*Paralichthy lethostigma*) 幼鱼在海水及淡水两种环境中的生长, 发现并没有显著性差异; 陈佳等^[31]研究温度和盐度对大黄鱼生长的联合影响效应显示, 在水温 24.1 ~ 24.7 °C、盐度 13.6 ~ 14.1 条件下, 大黄鱼生长性能最佳, 表明在适宜温度范围内, 大黄鱼在低盐环境下生长性能优于高盐 (23) 环境。本试验平均温度为 24 °C, 低盐养殖组大黄鱼的增重率显著高于对照组 ($P < 0.05$) 与陈佳等^[31]的研究结果相类似, 表明低盐度养殖能够促进大黄鱼的生长。此外, 黄伟卿等^[32]使用平均体重 0.1 g 大黄鱼研究比较天然海水与纯淡水养殖下大黄鱼的生长结果, 发现经 4 个月养殖, 大黄鱼平均体长和特定生长率淡水养殖组比海水养殖组高 52.17%。而本研究结果显示低盐组大黄鱼末均体长略高于对照组, 但差异不显著 ($P > 0.05$), 增重率和特定生长率显著高于对照组 ($P < 0.05$), 这可能是缘于本试验鱼规格相对较大 (53.59 g), 且试验时间较短 (60 d), 体长的增长速度相对于体重的增长速度慢。

3.2 低盐养殖对大黄鱼肌肉一般营养成分的影响

鱼类为了适应盐度的变化, 需要消耗食物中部分营养物质来氧化释放能量以维持渗透压平衡, 这样鱼体内营养物质的积累相对减少, 从而使体成分发生改变^[33]。不同鱼种体成分的变化受盐度变化影响的结果不尽相同, 斑点叉尾鲷 (*Channel catfish*)^[34]幼鱼随着盐度的升高其肌肉水分含量上升, 灰分含量降低; 冯连华等^[35]研究发现斜带石斑鱼幼鱼在盐度变化的情况下, 肌肉中粗蛋白质含量维持稳定不变状态 ($P > 0.05$), 而水分和粗脂肪含量显著上升, 粗灰分显著下降 ($P < 0.05$); 但林建斌等^[36]研究发现不同盐度组点带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*) 肌肉水分、粗蛋白质和粗脂肪含量差

异均不显著 ($P > 0.05$)。梭鱼^[29]幼鱼则随着盐度升高水分含量减少, 粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量上升。本试验结果显示, 通过 60 d 的低盐养殖, 低盐组大黄鱼肌肉中粗蛋白质含量显著升高、粗灰分含量显著降低 ($P < 0.05$)、粗脂肪含量略有下降。其原因可能是大黄鱼主要消耗脂肪来维持渗透压平衡, 而从饲料中摄取的蛋白质则用于鱼体生长^[25]。

3.3 低盐养殖对大黄鱼肌肉脂肪酸组成的影响

王艳等^[22]研究盐度对鲈鱼稚鱼肌肉脂肪酸组成的影响, 发现肌肉中饱和脂肪酸 (SFA) 和单不饱和脂肪酸 (MUFA) 的含量随盐度的变化不明显, 低盐条件下肌肉中多不饱和脂肪酸 (PUFA) 含量上升, 其中 EPA、DHA 和 AA 含量升高得最为显著 ($P < 0.05$), $n-3$ 系列 PUFA 含量随着盐度下降而升高, $n-6$ 系列 PUFA 含量则随盐度下降而降低; 斜带石斑鱼^[25]幼鱼肌肉中 EPA、DPA 和 DHA 的含量随盐度升高出现先升高后下降再升高的趋势, 当盐度为 25 时, 幼鱼肌肉中饱和脂肪酸总量 (Σ SFA) 和单不饱和脂肪酸总量 (Σ MUFA) 均显著低于其他盐度组, 而多不饱和脂肪酸总量 (Σ PUFA) 则显著高于其他盐度组。在本实验中低盐组大黄鱼肌肉中 Σ SFA 与 Σ HUFA 的含量与对照组之间无显著差异, 但 Σ MUFA 的含量显著低于对照组, 而 Σ PUFA 含量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。本实验结果与上述研究结果不一致的原因可能是由于不同鱼种在盐度胁迫下体内各种脂肪酸的消耗与蓄积率不同而导致肌肉脂肪酸组成的差异。

3.4 低盐对大黄鱼抗氧化能力的影响

大量研究表明, 鱼类的抗氧化能力会受到盐度变化的影响, 不同鱼种抗氧化系统应对盐度胁迫的变化机制不同。云纹石斑鱼 (*E. moara*)^[37]随着盐度的降低, 肝脏中的 SOD 与 CAT 活性呈现先下降再大幅度升高的变化趋势; 暗纹东方鲀 (*Takifugu obscurus*)^[38]肝脏中的 CAT、SOD 活性随着盐度的降低则呈现出先增加后降低的趋势; 许氏平鲉 (*Sebastes schlegeli*)^[39]血液中的 CAT 和 SOD 活性随着盐度的降低而逐渐上升; 军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[40]肌肉中的 SOD、CAT 和 GSH-PX 活性均随着盐度的降低而升高。本试验结果显示, 与天然海水组比较, 低盐组大黄鱼肝脏与肾脏组织中 CAT 活性显著性升高 ($P < 0.05$), SOD 和 GSH-PX 活性显著降低 ($P < 0.05$), 这与巩建华等^[41]对虹鳟的研究结果一致, 可能是因为大黄鱼由高盐环境转移至低盐环境时, 盐度胁迫导致鱼体内产生大量的活性氧自由基, 抑制了过氧化氢的产生, 使 GSH-PX 与 SOD 的活性降低, 大量的活性自由基需要被清除, 所以 CAT 活性升高, 从而避免体内的细胞受到伤害。

MDA 的含量可以间接反映出细胞受自由基攻击的严重程度, 研究表明多鳞四指马鲛 (*Eleutheronema rhadinum*)^[42]幼鱼肝脏中的 MDA 含量随盐度的降低而降低, 随着时间的延长同样呈现出降低的趋势。云纹石斑鱼^[37]肝脏中 MDA 的含量随盐度的降低以及时间的延长均呈现出先升高后降低的变化趋势。本试验的低盐组大黄鱼肝脏与肾脏组织中的 MDA 的含量均显著低于天然海水组 ($P < 0.05$), 总体变化趋势与上述结果一致, 可能是因为试验末期时大黄鱼体内细胞受自由基的攻击程度较低, 体内自由基由各相关酶协同作用清除之后减少到了一定的数量, 最终导致 MDA 含量降低。

鱼体的健康程度与机体防御体系的总抗氧化能力 (T-AOC) 的强弱存在着十分密切的联系, 本试验中, 低盐组大黄鱼肝脏与肾脏组织中 T-AOC 的活性均显著高于天然海水组, 与 CAT 活力变化趋势一致。

4 结论

1) 低盐养殖组大黄鱼增重率及特定生长率显著高于天然海水组 ($P < 0.05$); 肌肉的粗蛋白质含量显著高于天然海水组; 粗灰分含量显著低于天然海水组 ($P < 0.05$); 粗脂肪略低于天然海水组, 但没有显著差异 ($P > 0.05$)。

2) 低盐组大黄鱼肌肉 Σ MUFA 显著低于天然海水组, 而 Σ PUFA 显著高于天然海水组 ($P <$

0.05)。

3) 低盐养殖组大黄鱼肝脏与肾脏组织中总抗氧化能力 (T-AOC)、过氧化氢酶 (CAT) 活性显著高于天然海水组 ($P < 0.05$), 超氧化物歧化酶 (SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-PX) 活性及丙二醛 (MDA) 含量均显著低于天然海水组 ($P < 0.05$)。

[参 考 文 献]

- [1] 《福建鱼类志》编写组. 福建鱼类志: 下卷 [M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1985: 130-132.
- [2] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴 2017 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- [3] 刘振勇, 谢友伦, 林小金, 等. 感染刺激隐核虫的大黄鱼对低溶氧量的耐受力研究 [J]. 渔业研究, 2012, 34(6): 471-475.
- [4] 邹峰, 苏永全, 覃映雪, 等. 海水鱼类寄生虫刺激隐核虫 (*Cryptocaryon irritans*) 趋化性研究 [J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(4): 1003-1007.
- [5] 池洪树, 刘晓东, 柯翎, 等. 3 株刺激隐核虫的 ITS-1 序列与部分 HSP70 序列分析 [J]. 建农业学报, 2013, 28(7): 625-629.
- [6] 徐晓津, 桑本红, 毛勇. 巨噬细胞移动抑制因子 (MIF) 在大黄鱼刺激隐核虫病中的表达及意义 [C] //中国水产学会鱼病专业委员会 2013 年学术研讨会论文摘要汇编. 海口: 中国水产学会, 2013: 55.
- [7] 王桢. 刺激隐核虫感染养殖大黄鱼的 LAMP 检测与分析 [D]. 宁波: 宁波大学, 2014.
- [8] 郭阳. 大黄鱼刺激隐核虫虫株鉴定及“白点病”的防治探讨 [D]. 厦门: 厦门大学, 2015.
- [9] 郑利兵, 洪越群, 洪宇建, 等. 大黄鱼 cGAS-like 基因 isoform X1 的克隆鉴定及在感染刺激隐核虫后的表达变化 [J]. 海洋科学, 2018, 42(12): 62-70.
- [10] 罗朋朝. 大黄鱼的寄生虫病及其防治方法 [J]. 水产科技情报, 2002, 30(4): 176-177.
- [11] 冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口纹缟虾虎鱼胚胎发育及早期仔鱼生长与盐度的关系 [J]. 水生生物学报, 2009, 33(2): 170-176.
- [12] 强俊, 王辉, 李瑞伟, 等. 盐度对奥尼罗非鱼仔、稚鱼生长、存活及其消化酶活力的影响 [J]. 南方水产, 2009, 5(5): 8-14.
- [13] 王武, 甘炼, 张东升, 等. 盐度对江黄颡鱼生存和生长的影响 [J]. 水产科技情报, 2004, 31(3): 121-124.
- [14] IMSLAND A K, GUNNARSSON S, FOSS A, et al. Gill Na^+ , K^+ -ATPase activity, plasma chloride and osmolality in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) reared at different temperatures and salinities [J]. Aquaculture, 2003, 218(1/2/3/4): 671-683.
- [15] FIVELSTAD S, BERGHEIM A, HOLLAND P M, et al. Water flow requirements in the intensive production of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr smolt at two salinity levels [J]. Aquaculture, 2004, 231(1/2/3/4): 263-277.
- [16] GUTT J. The growth of juvenile flounders (*Platichthys flesus* L.) at salinity of 1, 5, 15 and 35 [J]. Appl Ichthyol, 1985(1): 17-26.
- [17] 尤宏争, 孙志景, 张勤, 等. 盐度对豹纹鳃棘鲈幼鱼摄食生长及体成分的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(1): 89-93.
- [18] 张龙岗, 付佩胜, 王锡荣. 不同盐度对尼罗罗非鱼存活和生长性能的影响 [J]. 河北渔业, 2018(1): 22-23.
- [19] 陈品健, 王重刚, 郑森林. 盐度影响真鲷幼鱼消化酶活力的研究 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 1998, 37(5): 134-136.
- [20] TSUZUKI M Y, SUGAI J K, MACIEL J C, et al. Survival, growth and digestive enzyme activity of juveniles fat snook (*Centropomus parallelus*) reared at different salinities [J]. Aquaculture, 2007, 271(1): 319-325.
- [21] 曾霖, 雷霖霖, 刘滨, 等. 盐度对大菱鲆幼鱼生长和肌肉营养成分的影响 [J]. 水产学报, 2013, 37: 1535-1541.
- [22] 王艳, 胡先成, 罗颖. 盐度对鲈鱼稚鱼的生长及脂肪酸组成的影响 [J]. 重庆师范大学学报 (自然科学版), 2007, 24(2): 62-66.
- [23] 巩建华, 郭春阳, 田喆, 等. 在淡水和海水环境下虹鳟血液理化指标、肌肉和肝脏的抗氧化酶活性的比较 [J]. 生物学杂志, 2016, 33(4): 34-37.

- [24] 胡利华, 闫茂仓, 郑金和, 等. 盐度对日本鳗鲡生长及非特异性免疫酶活性的影响 [J]. 台湾海峡, 2011, 30(4): 528-532.
- [25] 成永洲. 海水盐度对斜带石斑鱼幼鱼生长及生理生化的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [26] FOLCH J, LEES M, STANLEY G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. Journal of Biology Chemistry, 1957, 226: 497-509.
- [27] BOEUUF G, PAYAN P. How should salinity influence fish growth? [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 2001, 130(4): 411-423.
- [28] 柳敏海, 彭志兰, 张凤萍, 等. 盐度对条石鲷摄食、生长和肌肉生化组成的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(5): 392-397.
- [29] 税春, 张海明, 施永海, 等. 盐度对梭鱼幼鱼生长、渗透生理和体成分组成的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(6): 634-640.
- [30] 孙向军, 梁拥军, 苏建通, 等. 盐度对漠斑牙鲆幼鱼存活、生长及摄食的影响 [J]. 水产科学, 2008, 27(10): 516-518.
- [31] 陈佳, 袁重桂, 阮成旭. 温度和盐度对大黄鱼生长性能的联合效应 [J]. 广州大学学报 (自然科学版), 2013, 12(5): 35-39.
- [32] 黄伟卿, 阮少江, 张艺, 等. 盐度对大黄鱼成活、生长和耳石金属元素的影响 [J]. 水生态学杂志, 2018, 39(6): 100-105.
- [33] ALAVA V R. Effect of salinity, dietary lipid source and level on growth of milkfish (*Chanos chanos*) fry [J]. Aquaculture, 1998, 167(3/4): 229-236.
- [34] 张世勇, 邵俊杰, 陈校辉, 等. 盐度对斑点叉尾鲷幼鱼生长性能、肌肉持水力和营养组成的影响 [J]. 生物学杂志, 2018, 35(3): 57-61.
- [35] 冯连华. 低盐环境对斜带石斑鱼幼鱼生长、生理的影响 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012.
- [36] 林建斌, 李金秋, 朱庆国, 等. 盐度对点带石斑鱼生长、肌肉成分和消化率的影响 [J]. 海洋科学, 2009, 33(3): 31-35.
- [37] 廖雅丽, 张晨捷, 彭士明, 等. 盐度对云纹石斑鱼抗氧化酶及溶菌酶活性的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(2): 169-176.
- [38] 边平江, 邱成功, 徐善良, 等. 盐度对暗纹东方鲀生长、非特异性免疫和抗氧化酶活力的影响 [J]. 水生生物学报, 2014, 38(1): 108-114.
- [39] 王晓杰, 张秀梅, 李文涛. 盐度胁迫对许氏平鲉血液免疫酶活力的影响 [J]. 海洋水产研究, 2005, 26(6): 17-21.
- [40] 杨健, 陈刚, 黄建盛, 等. 温度和盐度对军曹鱼幼鱼生长与抗氧化酶活性的影响 [J]. 广东海洋大学学报, 2007(4): 25-29.
- [41] 巩建华, 郭春阳, 田喆, 等. 在淡水和海水环境下虹鳟血液理化指标、肌肉和肝脏的抗氧化酶活性的比较 [J]. 生物学杂志, 2016, 33(4): 34-37.
- [42] 张琴星. 多鳞四指马鲛幼鱼的盐度适应性研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄力行)