

不同胆汁酸对花鲈生长、血清生化及 肝脏脂代谢的影响

袁君^{1,2}, 夏天^{1,2}, 赖州文³, 黄艺珠³, 张丞³, 张春晓^{1,2}, 鲁康乐^{1,2}

(1. 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021; 2. 厦门市饲料检测与安全评价重点实验室, 福建 厦门 361021;
3. 龙岩新奥生物科技有限公司, 福建 龙岩 31006)

[摘要] 为研究不同胆汁酸对花鲈生长性能、血清生化及脂肪代谢的影响, 选取240尾体格健壮、规格一致的花鲈((16.00 ± 0.50) g), 随机分到12个养殖桶中, 分别饲喂基础饲料(不添加胆汁酸)、添加载体胆汁酸的饲料、添加脂壮素NE的饲料和添加液体胆能L的饲料, 投喂8周后, 采集样品并分析。结果表明: 1) 与基础饲料组相比, 脂壮素NE组显著提高了花鲈的增重率、摄食量和血清溶菌酶活性($P < 0.05$); 液体胆能L组显著降低增重率和摄食量($P < 0.05$), 对血清非特异性免疫无显著影响($P > 0.05$); 而载体胆汁酸组对花鲈增重率和血清非特异性免疫均无显著影响($P > 0.05$)。2) 3种不同剂型胆汁酸的添加均可显著降低血清谷草转氨酶、肝脏乙酰辅酶A羧化酶的活性($P < 0.05$), 且脂壮素NE组的肝脏脂蛋白脂酶活性增加显著($P < 0.05$)。综上所述, 饲料中添加脂壮素NE后会显著提高花鲈的增重率和血清中溶菌酶、肝脏中脂蛋白脂酶的活性。

[关键词] 花鲈(*Lateolabrax maculatus*); 饲料; 胆汁酸; 增重率; 脂代谢; 血液生化

[中图分类号] S 963.71

Effects of Different Bile Acids on Growth Performance, Serum Biochemical and Lipid Metabolical Indexes of Spotted Seabass (*Lateolabrax maculatus*)

YUAN Jun^{1,2}, XIA Tian^{1,2}, LAI Zhouwen³, HUANG Yizhu³, ZHANG Cheng³, ZHANG Chunxiao^{1,2}, LU Kangle^{1,2}

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Xiamen Key Laboratory for Feed Quality Testing and Safety Evaluation, Xiamen 361021, China;

3. Singao Agribusiness Development Co., Ltd., Longyan 361006, China)

Abstract: This study investigates effects of different bile acids on growth performance, serum biochemical and lipid metabolism indexes of spotted seabass (*Lateolabrax maculatus*). A total of 240 fish ((16.00 ± 0.50) g) were randomly divided into 12 tanks. The fish were fed with basal diet, diets supplemented with carrier bile acid, bile acid NE and liquid bile acid L, respectively. After 8 weeks of feeding, samples were collected and analyzed. The results showed that, compared with the control group, bile acid NE group significantly increased the weight gain rate (WGR), food intake (FI) and the serum lysozyme activities ($P < 0.05$); liquid

[收稿日期] 2023-04-06

[基金项目] 国家海水鱼产业技术体系“海鲈饲料和营养生理的研究”(CARS-47)

[作者简介] 通信作者: 鲁康乐(1986—), 博士, 教授, 从事水产动物营养与饲料方向研究。E-mail: lukanle2007@126.com

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

bile L group significantly reduced the WGR and FI ($P < 0.05$), and no significant effect on serum immunity was observed ($P > 0.05$); however, carrier bile acid had no significant effect on WGR and serum immunity ($P > 0.05$). Compared with control group, other 3 bile acid supplementation groups significantly decreased the activities of serum glutamic oxaloacetic transaminase, liver acetyl-CoA carboxylase ($P < 0.05$). Moreover, bile acid NE group significantly increased hepatic lipoprotein lipase activities ($P < 0.05$), and improved the liver tissue structure. In conclusion, bile acid NE could improve fat catabolism, reduce fat deposition to maintain liver health. Based on the comprehensive analysis of growth performance, serum biochemical and lipid metabolism indexes of spotted seabass, the bile acid NE might be suitable form for the supplement of bile acid.

Keywords: spotted seabass (*Lateolabrax maculatus*); diet; bile acids; weight gain rate; lipid metabolism; biochemical of serum

0 引言

花鲈 (*Lateolabrax maculatus*), 又名七星鲈、海鲈, 是我国南方重要的经济鱼类, 因其广温广盐、生长迅速、肉质细腻等特点而被广泛养殖^[1]。随着集约化养殖模式的推广, 配合饲料的使用, 以及投食频率的增加, 使鱼类摄入脂肪过量, 腹腔脂肪大量沉积, 导致鱼类患脂肪肝的风险加大^[3]。大量研究表明, 脂肪肝是鱼类众多疾病的诱发因子, 甚至导致死亡^[4], 对水产养殖业造成巨大经济损失。

胆汁酸由肝细胞中的胆固醇代谢产生, 是胆汁的主要成分, 其分子结构的一端为亲水基, 另一端为疏水基, 能促进脂质的消化和甘油三酯、胆固醇以及脂溶性维生素的吸收^[5]。在哺乳动物中发现, 胆汁酸可降低血清和肝脏中总胆固醇和甘油三酯水平, 维持肝脏细胞形态结构^[6-8]。在鱼类上, Yin 等^[9]报道饲料中添加适量胆汁酸能提高脂肪代谢酶的活性, 减少脂质沉积, 维持大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 肝脏脂质代谢的稳态, 促进生长。Jin 等^[10]发现饲料中添加胆汁酸能提高黑鲷 (*Acanthopagrus schlegelii*) 的抗氧化能力、免疫能力和脂肪酸 β 氧化, 从而改善黑鲷的生长性能。因此, 本研究以花鲈为试验对象, 通过在饲料中添加不同的胆汁酸, 研究其对花鲈生长、血清生化及脂肪代谢的影响, 旨在比较不同胆汁酸对花鲈饲养效果的差异, 为花鲈饲料的胆汁酸添加提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以鱼粉、豆粕为主要蛋白源, 豆油为主要脂肪源, 配制粗蛋白和粗脂肪水平分别为 44% 和 12% 的基础饲料, 试验饲料配方及组成见表 1。分别在基础饲料中添加不同胆汁酸, 使有效含量均为 140 g, 得到 4 种等氮等脂的试验饲料。4 种饲料喂养组分别叫对照组 (基础饲料)、载体胆汁酸组 (淀粉吸附 20% 胆汁酸产品)、脂壮素 NE 组 (70% 食品乳化剂包被 30% 胆汁酸产品) 和液体胆能 L 组 (3% 胆汁酸乳化 30% 鱼油产品)。将饲料原料经粉碎后过筛并准确称量, 按照逐级扩大法混匀, 后根据饲料实际情况加入适量水, 制成 1.5 mm 和 2.5 mm 粒径的颗粒料, 烘干后用自封袋分装并低温保存待用。

1.2 试验鱼与饲养管理

试验花鲈鱼苗购自某苗种场的同批繁育幼苗, 运至集美大学水产试验场, 用低浓度生理盐水 (3% ~ 5%) 消毒后暂养, 暂养期间使用基础饲料进行驯化摄食。暂养 1 个月, 选取规格均一, 健康无畸形的花鲈幼鱼 240 尾 (16.00 ± 0.50 g), 随机分到 12 个养殖缸 (长 0.6 m × 宽 0.6 m × 高 0.8 m), 每缸 20 尾。用 4 种试验饲料分别投喂花鲈, 试验周期为 8 周。每天 8:00 和 17:00 人工饱食 (鱼不再活跃摄食) 投喂两次, 投喂 1 h 后使用虹吸管收集残饵和粪便, 并记录摄食量和死亡数量。养殖期间根据水质情况适当换水, 保持水温在 25 ~ 28 °C, 溶解氧 ≥ 6.0 mg/L, 氨氮 < 0.1 mg/L, pH = 7.5 ~ 8.5。

表1 试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Tab.1 Compisition and nutrient levels of experimental diets (dry-matter basis)

		单位: %			
组成		对照组	载体胆汁酸组	脂壮素 NE 组	液体胆能 L 组
原料	鱼粉	32.00	32.00	32.00	32.00
	豆粕	32.00	32.00	32.00	32.00
	鸡肉粉	8.00	8.00	8.00	8.00
	鱿鱼膏	2.00	2.00	2.00	2.00
	高筋面粉	14.50	14.50	14.50	14.50
	豆油	7.50	7.50	7.50	7.50
	预混料	0.70	0.70	0.70	0.70
	磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	1.50	1.50	1.50	1.50
	褐藻酸钠	1.00	1.00	1.00	1.00
	微晶纤维素	0.80	0.73	0.75	0.33
	载体胆汁酸	0	0.07	0	0
	脂壮素 NE	0	0	0.047	0
	液体胆能 L	0	0	0	0.47
	粗蛋白质	44.47	44.24	44.32	44.40
营养水平	粗脂肪	12.90	12.90	12.90	13.10
	灰分	3.22	3.39	3.23	3.33

注: 每千克预混料含有 $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 40 000 mg、 CoCl_2 (1%) 1000 mg、 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 500 mg、KI (1%) 1000 mg、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 200 mg、 $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 2600 mg、 $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 1500 mg、 Na_2SeO_3 (1%) 500 mg、硫胺素250 mg、核黄素450 mg、盐酸吡哆醇2 mg、 VB_{12} 1 mg、 VK_3 100 mg、肌醇8000 mg、泛酸钙600 mg、烟酰胺2000 mg、叶酸200 mg、生物素12 mg、VA 乙酸酯320 mg、 VD_3 50 mg、 α -生育酚1200 mg、乙氧基喹啉1500 mg。

1.3 样品采集

样品采集前, 对各组试验鱼饥饿 24 h 后, 使用 MS-222 麻醉剂 (1:10 000) 麻醉, 再分别称重和测量体长。每缸随机取 3 尾鱼低温保存, 用于全鱼体成分分析。每缸随机取 10 尾鱼, 使用丁香酚 (1:10 000) 麻醉后, 用 1 mL 无菌注射器于尾静脉取血, 取出的血液于 4 ℃ 冰箱静置 12 h 后, 2500 r/min 离心 10 min, 取上层血清置于 -80 ℃ 冰箱保存, 用于血清生化分析。采血后, 随机选 6 尾鱼, 分离出肝脏、腹脂, 并分别称重。其中 3 尾鱼的肝脏用液氮速冻后保存于 -80 ℃ 冰箱, 用于肝脏酶活性测定; 另 3 尾鱼的肝脏固定于 Bouin's 液中, 用于肝脏切片观察。

1.4 样品分析与测定

1.4.1 常规成分分析

全鱼与肌肉中的水分、粗脂肪、粗灰分的测定参考 AOAC 的方法^[11], 水分使用烘箱 105 ℃ 恒温干燥法测定, 粗脂肪使用索氏抽提法测定, 粗灰分使用 550 ℃ 马弗炉灼烧法测定。

1.4.2 生化指标测定

血清溶菌酶活性采用比浊法; 谷丙转氨酶、谷草转氨酶、酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活性采用微板法; 甘油三酯、总胆固醇含量采用单试剂 GPO-PAP 法; 脂蛋白脂酶、肝脂酶采用比色法; 脂肪酸合成酶和乙酰辅酶 A 羧化酶活性采用 Elisa 商业试剂盒通过酶联免疫吸附法测定。所有试剂盒均购于南京建成生物工程有限公司, 具体步骤参考说明书。

1.4.3 肝脏组织学

HE 染色切片制备与观察: 将花鲈肝脏从固定液取出, 切片 (0.5 cm × 0.3 cm × 0.3 cm), 用酒精脱水, 再用二甲苯透明, 最后用石蜡包埋。切片脱蜡后用苏木精-伊红染液染色, 制成永久切片,

用奥林巴斯 CX23 显微镜观察、拍照。

1.5 计算公式与数据的统计分析

相关的计算公式为:

$$\text{增重率}(\%) = 100 \times (\text{末体重} - \text{初体重}) / \text{初体重};$$

$$\text{饲料系数} = \text{饲料摄入量} / (\text{末体重} - \text{初体重});$$

$$\text{蛋白质效率}(\%) = 100 \times (\text{末体重} - \text{初体重}) / (\text{摄入饲料蛋白质总量});$$

$$\text{摄食量}(\text{g}/\text{尾}) = 100 \times \text{饲料摄入量} / \text{初始鱼数量};$$

$$\text{肝体比}(\%) = 100 \times \text{肝脏重} / \text{体重};$$

$$\text{腹脂率}(\%) = 100 \times \text{腹脂重} / \text{体重};$$

$$\text{肥满度}(\text{g}/\text{cm}^3) = 100 \times \text{体重} / \text{体长}^3。$$

所有数据均采用 SPSS 23.0 软件进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 结果以平均值 \pm 标准差表示, 用 Duncan 氏法进行多重比较, 以 $P < 0.05$ 为差异显著性水平。

2 结果

2.1 不同胆汁酸对花鲈生长的影响

试验期间各组花鲈均未出现死亡, 成活率 100%。由表 2 可知: 与基础饲料相比, 添加脂壮素 NE 的饲料会显著提高花鲈的增重率, 而降低花鲈的腹脂率 ($P < 0.05$); 添加液体胆能 L 的饲料会显著降低花鲈的增重率和摄食量 ($P < 0.05$); 载体胆汁酸的饲料对花鲈的增重率、腹脂率无显著影响 ($P > 0.05$)。相较于其他各组, 对照组的肥满度最低 ($P < 0.05$)。各组间的饲料系数、蛋白质效率、肝体比均无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 2 不同剂型胆汁酸对花鲈生长的影响

Tab.2 Effect of different bile acids on the growth of *L. maculatus*

项目	对照组	载体胆汁酸组	脂壮素 NE 组	液体胆能 L 组
增重率/%	543.89 \pm 15.47 ^b	513.40 \pm 10.50 ^{ab}	570.26 \pm 7.82 ^c	495.11 \pm 4.46 ^a
饲料系数	1.14 \pm 0.03	1.13 \pm 0.02	1.15 \pm 0.02	1.17 \pm 0.02
蛋白质效率/%	2.00 \pm 0.05	2.00 \pm 0.03	1.97 \pm 0.04	1.94 \pm 0.04
摄食量/(g·尾 ⁻¹)	96.09 \pm 0.88 ^{bc}	93.37 \pm 0.92 ^b	99.53 \pm 1.24 ^c	88.89 \pm 0.65 ^a
肝体比/%	1.21 \pm 0.01	1.19 \pm 0.03	1.17 \pm 0.03	1.08 \pm 0.03
腹脂率/%	7.40 \pm 0.34 ^b	6.81 \pm 0.22 ^{ab}	5.97 \pm 0.36 ^a	7.13 \pm 0.17 ^{ab}
肥满度/(g·cm ⁻³)	1.79 \pm 0.01 ^a	1.98 \pm 0.02 ^b	1.89 \pm 0.01 ^{ab}	1.86 \pm 0.05 ^{ab}

注: 同行数据间肩标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$); 肩标字母相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 不同胆汁酸对花鲈全鱼和肌肉组成的影响

由表 3 可知, 与对照组相比, 载体胆汁酸组和脂壮素 NE 组花鲈全鱼中粗脂肪的含量显著降低 ($P < 0.05$); 而三种胆汁酸添加组对花鲈肌肉中的水分、粗脂肪和粗灰分含量均无显著影响 ($P > 0.05$)。

2.3 不同胆汁酸对花鲈血清生化指标的影响

由表 4 可知, 相较于其他各组, 脂壮素 NE 组血清中溶菌酶的活性显著提高 ($P < 0.05$); 与对照组相比, 载体胆汁酸组血清总胆固醇、低密度脂蛋白和高密度脂蛋白含量显著提高 ($P < 0.05$); 相较于三种胆汁酸添加组, 对照组的谷草转氨酶活性最高 ($P < 0.05$); 与对照组相比, 三种胆汁酸添加组对花鲈血清碱性磷酸酶、酸性磷酸酶、谷丙转氨酶活性和甘油三酯含量均无显著影响 ($P > 0.05$)。

表3 不同剂型胆汁酸对花鲈全鱼与肌肉组成的影响

Tab.3 Effect of different bile acids on the composition of whole fish and muscle of *L. maculatus*

		单位: %			
组成		对照组	载体胆汁酸组	脂壮素 NE 组	液体胆能 L 组
全鱼	水分	68.43 ± 0.36	67.23 ± 0.29	68.86 ± 0.62	68.05 ± 0.95
	粗脂肪	11.99 ± 0.41 ^b	10.26 ± 0.18 ^a	10.3 ± 0.57 ^a	10.77 ± 0.89 ^{ab}
	粗灰分	4.43 ± 0.09	4.10 ± 0.07	4.43 ± 0.03	4.44 ± 0.11
肌肉	水分	76.90 ± 0.58	77.36 ± 0.05	77.49 ± 0.01	78.61 ± 0.99
	粗脂肪	1.03 ± 0.04	0.97 ± 0.05	0.93 ± 0.05	0.83 ± 0.06
	粗灰分	1.32 ± 0.04	1.23 ± 0.09	1.29 ± 0.01	1.19 ± 0.09

注: 同行数据间肩标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$); 肩标字母相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

表4 不同剂型胆汁酸对花鲈血清生化指标的影响

Tab.4 Effect of different bile acids on the serum biochemical indexes of *L. maculatus*

项目	对照组	载体胆汁酸组	脂壮素 NE 组	液体胆能 L 组
溶菌酶/(U · L ⁻¹)	4.67 ± 0.92 ^a	5.85 ± 2.05 ^a	12.52 ± 5.74 ^b	7.34 ± 0.47 ^a
碱性磷酸酶/(U · L ⁻¹)	9.22 ± 1.27	7.96 ± 0.44	9.94 ± 1.27	8.51 ± 0.10
酸性磷酸酶/(U · L ⁻¹)	3.24 ± 0.08	3.53 ± 0.41	3.13 ± 0.25	3.43 ± 0.32
谷草转氨酶/(U · L ⁻¹)	8.70 ± 0.24 ^b	6.04 ± 0.47 ^a	6.95 ± 0.18 ^a	6.76 ± 0.49 ^a
谷丙转氨酶/(U · L ⁻¹)	3.34 ± 0.94	3.54 ± 1.54	3.75 ± 0.74	4.72 ± 1.35
甘油三酯/(mmol · L ⁻¹)	3.79 ± 0.24	3.58 ± 0.08	3.67 ± 0.14	4.03 ± 0.15
总胆固醇/(mmol · L ⁻¹)	228.00 ± 9.13 ^b	176.00 ± 3.58 ^a	212.00 ± 9.57 ^{ab}	203.00 ± 11.48 ^{ab}
低密度脂蛋白/(mmol · L ⁻¹)	3.44 ± 0.26 ^b	2.55 ± 0.08 ^a	3.79 ± 0.08 ^b	2.83 ± 0.29 ^a
高密度脂蛋白/(mmol · L ⁻¹)	78.80 ± 4.88 ^b	53.80 ± 4.03 ^a	66.90 ± 4.72 ^{ab}	64.30 ± 2.82 ^{ab}

注: 同行数据间肩标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$); 肩标字母相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.4 不同胆汁酸对花鲈肝脏脂肪代谢相关指标的影响

由表5可知, 相较于其他各组, 脂壮素 NE 组的脂蛋白脂酶活性显著增加, 而肝脂酶活性显著降低 ($P < 0.05$); 与对照组相比, 胆汁酸添加组的乙酰辅酶 A 羧化酶活性和总胆固醇含量显著降低 ($P < 0.05$); 各试验组的甘油三酯含量无显著变化 ($P > 0.05$)。

表5 不同类型胆汁酸对花鲈肝脏脂肪代谢的影响

Tab.5 Effect of different bile acids on the hepatic lipid metabolism of *L. maculatus*

组别	对照组	载体胆汁酸组	脂壮素 NE 组	液体胆能 L 组
脂蛋白脂酶/(U · mg ⁻¹)	26.58 ± 0.42 ^a	29.33 ± 0.65 ^a	59.48 ± 2.42 ^b	35.15 ± 6.03 ^a
肝脂酶/(U · mg ⁻¹)	44.75 ± 0.67 ^b	46.26 ± 1.18 ^b	32.05 ± 3.54 ^a	47.98 ± 0.17 ^b
乙酰辅酶 A 羧化酶/(U · mg ⁻¹)	2.51 ± 0.15 ^b	1.55 ± 0.04 ^a	1.75 ± 0.21 ^a	1.68 ± 0.24 ^a
甘油三酯/(mmol · mg ⁻¹)	16.38 ± 0.44	16.31 ± 1.39	16.74 ± 2.13	12.44 ± 0.92
总胆固醇/(mmol · mg ⁻¹)	23.48 ± 3.51 ^b	13.87 ± 1.22 ^a	16.26 ± 0.47 ^{ab}	15.01 ± 0.78 ^{ab}

注: 同行数据间肩标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$); 肩标字母相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.5 不同胆汁酸对花鲈肝脏组织结构的影响

观察肝脏切片可以看出 (见图1): 对照组的肝脏细胞排列松散、细胞核偏移并有较多的脂肪空泡 (箭头所指部分), 表明出现了脂肪沉积; 相较于对照组, 载体胆汁酸组和脂壮素 NE 组的肝细胞有明显改善, 肝细胞结构正常、排列紧密、边缘清晰、细胞核规则清晰且脂肪空泡减少。

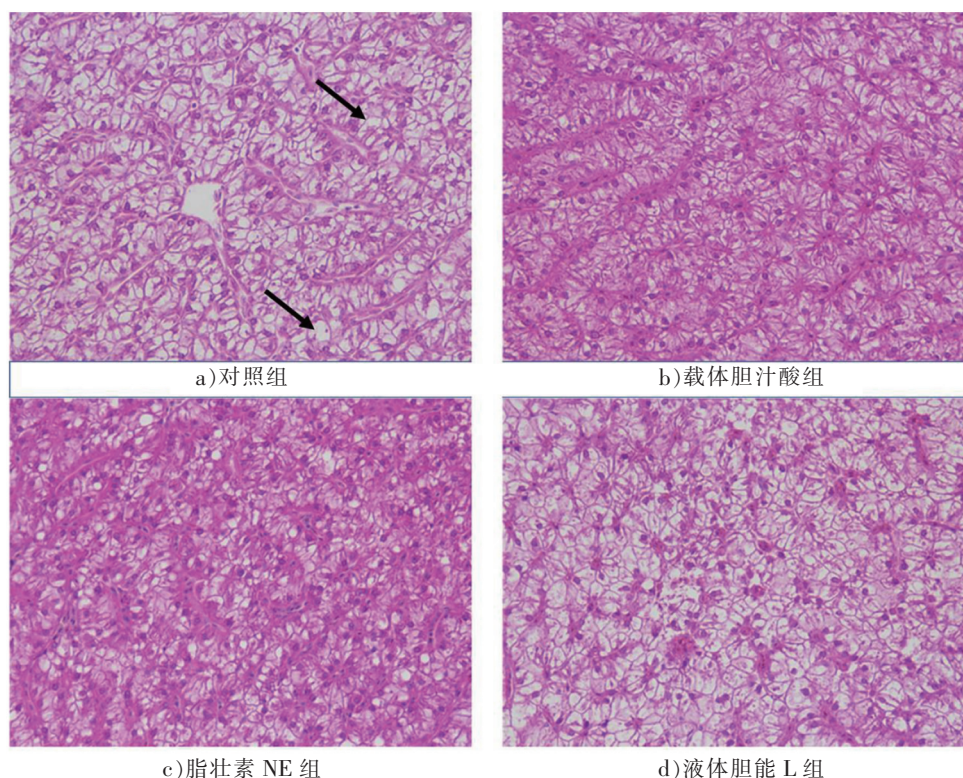


图 1 不同胆汁酸添加对花鲈肝组织结构的影响(400×,1:200)
Fig.1 Effect of different bile acids on the hepatic tissue structure of *L. maculatus* (400×,1:200)

3 讨论

胆汁酸是肝细胞内胆固醇的代谢产物,可以有效乳化脂类物质,从而加速脂类物质的吸收和消化^[12]。已有大量研究表明,饲料胆汁酸的添加,对军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[13]、大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)^[14]、齐口裂腹鱼 (*Schizothorax prenanti*)^[15]、草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)^[16]和大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)^[17]等鱼类的生长具有显著促进作用。在本试验中,与对照组相比,脂壮素 NE 组显著提高了花鲈的增重率和摄食量,液体胆能 L 组则显著降低了花鲈的增重率和摄食量,而载体胆汁酸组对增重率无显著影响。这表明:虽然胆汁酸具有促进花鲈生长的作用,却受到添加形式的影响,可能是因为脂壮素 NE 是食品乳化剂包被胆汁酸,呈微粒状,这使得胆汁酸和脂类物质结合的表面积增大,另一方面,脂壮素 NE 组显著增加了花鲈的摄食量,从而提高了花鲈的增重率。

鱼类的免疫系统主要依赖于非特异性免疫^[18-20],而溶菌酶是非特异性免疫的重要组成部分^[21],其活性能够反映机体的免疫机能^[22-23]。Jin 等^[10]发现饲料中添加胆汁酸能显著提高黑鲷的溶菌酶活性;同样,Guo 等^[24]在大口黑鲈饲料中添加胆汁酸后,显著提高了血清溶菌酶的活性;然而,于漫涵等^[25]发现饲料中添加胆汁酸和乳化胆汁酸后,对鱼血清溶菌酶活性无显著影响。在本试验中,相比于对照组,脂壮素 NE 组中花鲈血清溶菌酶活性提高显著。这表明花鲈血清溶菌酶活性受饲料胆汁酸添加剂型的影响。

血清总胆固醇指血液中全部脂蛋白所含的胆固醇总量,可以反映机体脂肪的代谢情况^[26]。谷丙转氨酶和谷草转氨酶以肝脏中最为丰富,肝脏损伤或坏死后会导致其含量在血清中异常升高。因此,血清谷丙、谷草转氨酶含量是反映肝脏健康与否的重要指标^[27]。在本实验中,与对照组相比,各胆汁酸添加组显著降低了谷草转氨酶含量,同时血清总胆固醇也较对照组低。这表明胆汁酸的添加降低了肝脏损伤与血清胆固醇的堆积,有利于花鲈健康。

肝脏是鱼类进行脂肪代谢的主要器官,脂蛋白酯酶和肝脂酶是脂质分解代谢的两种关键调控酶。哺乳动物研究^[26]表明,脂肪肝会导致脂蛋白酯酶和肝脂酶活性显著降低。黄炳山等^[14]对大菱鲆的研究发现,饲料胆汁酸的添加能显著增加肝脏脂蛋白酯酶和肝脂酶的活性。乙酰辅酶A羧化酶是肝脏内脂肪酸合成的限速酶,一定程度上能反映机体对脂肪的合成速率。此外,于漫涵等^[25]的研究结果表明,饲料中直接添加胆汁酸的降脂作用不明显,而添加乳化胆汁酸的效果显著。在本研究中,与对照组相比,各胆汁酸添加组的乙酰辅酶A羧化酶显著降低。本研究脂壮素NE组显著增加了脂蛋白酯酶的活性,结合肝脏组织学变化表明,脂壮素NE能降低肝脏脂肪含量,对花鲈脂肪肝的发生有缓解作用,此外,相较于对照组,脂壮素NE组显著降低了花鲈全鱼中粗脂肪的含量,这进一步说明了脂壮素NE的降脂效果最佳。

4 结论

综上所述,饲料中添加脂壮素NE后会显著提高花鲈的增重率,以及血清中溶菌酶、肝脏中脂蛋白酯酶的活性。综合考虑增重率、血清生化、脂肪酶的变化,在花鲈饲料中添加胆汁酸,使用脂壮素NE的配方效果最佳。

[参考文献]

- [1] LI X, SUN J, WANG L, et al. Effects of dietary vitamin E levels on growth, antioxidant capacity and immune response of spotted seabass (*Lateolabrax maculatus*) reared at different water temperatures[J]. *Aquaculture*, 2023, 565: 739141.
- [2] 乔永刚. 军曹鱼微量元素锌、铁、铜营养生理的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [3] 杜震宇. 养殖鱼类脂肪肝成因及相关思考[J]. *水产学报*, 2014, 38(9): 1628-1638.
- [4] IBRAHIM M K, SIMON T G, RINELLA M E. Extrahepatic outcomes of nonalcoholic fatty liver disease: nonhepatocellular cancers[J]. *Clinics in Liver Disease*, 2023, 27(2): 251-273.
- [5] WANG L, SAGADA G, WANG C, et al. Exogenous bile acids regulate energy metabolism and improve the health condition of farmed fish[J]. *Aquaculture*, 2023, 562: 738852.
- [6] ZHENG X, HUANG F, ZHAO A, et al. Bile acid is a significant host factor shaping the gut microbiome of diet-induced obese mice[J]. *Bmc Biology*, 2017, 15(1): 120.
- [7] SAYIN S, WAHLSTR M A, FELIN J, et al. Gut microbiota regulates bile acid metabolism by reducing the levels of tauro-beta-muricholic acid, a naturally occurring FXR antagonist[J]. *Cell Metabolism*, 2013, 17(2): 225-235.
- [8] LIAO Z, SUN B, ZHANG Q, et al. Dietary bile acids regulate the hepatic lipid homeostasis in tiger puffer fed normal or high-lipid diets[J]. *Aquaculture*, 2020, 519(5): 734935.
- [9] YIN P S, SHI W Z, ZHEN X H, et al. Dietary supplementation of bile acid attenuate adverse effects of high-fat diet on growth performance, antioxidant ability, lipid accumulation and intestinal health in juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Aquaculture*, 2021, 531(1): 735864.
- [10] JIN M, PAN T, CHENG X, et al. Effects of supplemental dietary l-carnitine and bile acids on growth performance, antioxidant and immune ability, histopathological changes and inflammatory response in juvenile black seabream (*Acanthopagrus schlegelii*) fed high-fat diet[J]. *Aquaculture*, 2019, 504: 199-209.
- [11] AOAC. Official Methods of analysis of official analytical chemists international[M]. 17th ed. Arlington, VA, USA: Clinics in Liver Disease, 2015.
- [12] RUSSELL D W. Fifty years of advances in bile acid synthesis and metabolism[J]. *Journal of Lipid Research*, 2009, 50: S120-S125.
- [13] 周书耘, 刘永坚, 梁海鸥, 等. 饲料中添加胆汁酸对军曹鱼生长及体组成的影响[J]. *南方水产*, 2010, 6(4): 20-25.
- [14] 黄炳山, 李宝山, 张利民, 等. 胆汁酸对大菱鲆幼鱼生长、脂肪代谢酶及血清生化的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(5): 737-744.
- [15] 郑宗林, 曾本和, 向泉, 等. 饲料中胆汁酸添加水平对齐口裂腹鱼幼鱼生长性能、形体指标及体成分的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(8): 2423-2430.

- [16] ZHOU J S, CHEN H J, JI H, et al. Effect of dietary bile acids on growth, body composition, lipid metabolism and microbiota in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2018, 24(2): 802-813.
- [17] DING T, XU N, LIU Y, et al. Effect of dietary bile acid (BA) on the growth performance, body composition, antioxidant responses and expression of lipid metabolism-related genes of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) fed high-lipid diets [J]. *Aquaculture*, 2020, 518: 734768.
- [18] 黄灵. 饲料中添加益生菌对虎龙斑 (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Elanceclatius* ♂) 幼鱼生长、非特异性免疫和抗病力影响的研究 [D]. 广州: 广州大学, 2017.
- [19] YU M, LI X, WANG J, et al. Substituting fish meal with a bacteria protein (*Methylococcus capsulatus*, Bath) grown on natural gas; effects on growth non-specific immunity and gut health of spotted seabass (*Lateolabrax maculatus*) [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2023, 296: 115556.
- [20] KIM J, BAEK S I, CHO S H, et al. Evaluating the efficacy of partially substituting fish meal with unfermented tuna by-product meal in diets on the growth, feed utilization, chemical composition and non-specific immune responses of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture Reports*, 2022, 24: 101150.
- [21] CHEN P, JIN D, YANG S, et al. *Aeromonas veronii* infection remarkably increases expression of lysozymes in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) and injection of lysozyme expression cassette along with QCDC adjuvant significantly upregulates immune factors and decreases cumulative mortality [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2022, 169: 105646.
- [22] NOVRIADI R, ILHAM I, ROIGÉ O, et al. Effects of dietary nucleotides supplementation on growth, total haemocyte count, lysozyme activity and survival upon challenge with *Vibrio harveyi* in pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. *Aquaculture Reports*, 2021, 21: 100840.
- [23] SAURABH S, SAHOO P K. Lysozyme: an important defence molecule of fish innate immune system [J]. *Aquaculture Research*, 2008, 39(3): 223-239.
- [24] GUO J, KUANG W, ZHONG Y, et al. Effects of supplemental dietary bile acids on growth, liver function and immunity of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) fed high-starch diet [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2020, 97: 602-607.
- [25] 于漫涵, 董衍邹, 赖州文, 等. 不同胆汁酸对花鲈生长性能、血清生化指标及脂肪代谢的影响 [J]. *饲料工业*, 2021, 42(2): 55-59.
- [26] 刘玉芳. 降胆固醇乳酸菌的筛选及其对高脂饮食小鼠的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [27] 王香丽, 麦康森, 徐玮, 等. 蛋氨酸对瓦氏黄颡鱼幼鱼肝脏及血浆中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活力的影响 [J]. *中国海洋大学学报 (自然科学版)*, 2015, 45(9): 49-53.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄力行)