

饲料中添加L-肉碱对牙鲆幼鱼生长、生化组成及血液指标的影响

高小强, 田青杰, 石洪玥, 姜志强

(大连海洋大学农业部北方海水增养殖重点实验室, 辽宁 大连 116023)

摘要: 研究0、300、600、900、1 200、1 500 mg/kg 6个L-肉碱添加水平对牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 幼鱼生长、生化组成和血液指标的影响。结果表明: 添加量为1 200 mg/kg的处理组牙鲆幼鱼的增重率和特定生长率显著提高, 饲料系数显著降低 ($P < 0.05$); 随着饲料中L-肉碱含量的增加, 肝指数呈现下降趋势, 且在添加量为900~1 500 mg/kg时, 各组较对照组差异显著 ($P < 0.05$); 饲料中添加L-肉碱显著降低各实验组脏体比 ($P < 0.05$), 而对各处理组间存活率和肥满度均无影响 ($P < 0.05$); 肌肉和肝脏中的脂肪含量与L-肉碱添加量呈负相关, 当添加量为1 200~1 500 mg/kg时, 较对照组差异显著 ($P < 0.05$); 肌肉中的蛋白含量与L-肉碱添加量呈正相关, 但各组差异不显著 ($P < 0.05$); 饲料中添加L-肉碱降低血清中的谷草转氨酶、胆固醇、甘油三酯和尿素氮含量, 且添加量1 200 mg/kg组各指标含量均显著低于对照组 ($P < 0.05$); 各处理组的血糖含量较对照组均有所增加, 其中1 200 mg/kg组血糖含量较对照组提高41.6% ($P < 0.05$); 血清中总蛋白和低密度脂蛋白均随着L-肉碱添加量的增加而呈下降趋势, 高密度脂蛋白却得以提升, 但差异均不显著 ($P < 0.05$)。分析认为, 在本实验条件下, 饲料中添加L-肉碱可促进牙鲆幼鱼生长, 且降脂效果显著。建议L-肉碱最适添加量为1 200 mg/kg。

关键词: 牙鲆; 饲料添加剂; L-肉碱; 生长指标; 生化组成; 血液指标

中图分类号: S963.73

文献标志码: A

文章编号: 1673-9159(2012)01-0039-08

Effects of Dietary L-Carnitine on Growth Performance, Body Composition and Blood Parameters of Japanese Flounder (*Paralichthys olivaceus*) Juvenile

GAO Xiao-qiang, TIAN Qing-jie, SHI Hong-yue, JIANG Zhi-qiang

(Key Laboratory of North Mariculture, Ministry of Agriculture, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

Abstract: The effects of L-carnitine on growth performance, body composition and blood parameters for juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) with initial body weight of 10.30 ± 0.12 g were investigated. The juveniles were fed with diets that supplied with L-carnitine at 0, 300, 600, 900, 1 200 and 1 500 mg/kg diet. The results showed that juveniles fed with the diet added with 1 200 mg/kg L-carnitine got significant rise in body weight and special growth rate in contrast to that in control group, and the feed conversion ratio in this group got significantly lower than that in control group ($P < 0.05$). The hepato-pancreas index decreased with the L-carnitine level increased, and when the

收稿日期: 2011-12-23

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划(2011BAD13B03)

第一作者: 高小强(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事水产养殖学研究。E-mail: gao3170090@163.com

通讯作者: 姜志强。E-mail: zhqjiang@dlou.edu.cn

content of *L*-carnitine was 900-1500mg/kg, there were significant differences compared with the control group ($P < 0.05$). Condition factor and survival rate were not affected by supplemented with *L*-carnitine ($P > 0.05$). Crude lipid of muscle and liver were negative correlation with supplemented with *L*-carnitine, and there were significant differences compared with the control group ($P < 0.05$), when the *L*-carnitine content was 1 200 - 1 500 mg/kg. Protein content of muscle was positive correlation with supplemented with *L*-carnitine, but there were no significant differences between the groups ($P > 0.05$). Glutamate-oxaloacetate transaminase (AST), total cholesterol (CHOL), triglyceride (TG) and blood urea nitrogen (BUN) that supplemented with 1 200 mg/kg *L*-carnitine were significantly lower than that of the control group ($P < 0.05$). Compared with the control group, the blood glucose of the group that containing *L*-carnitine increased, and that of the group adding 1 200 mg/kg *L*-carnitine increased by 41.6% ($P < 0.05$). There was no significant effect in total protein, low density lipoprotein and high density lipoprotein levels at all treatments ($P > 0.05$), but the content of total protein and low density lipoprotein was descended and the content of high density lipoprotein was promoted, according to the increased dietary *L*-carnitine level. In conclusion, under the condition of this experiment, adding *L*-carnitine will promote the growth parameters of Japanese Flounder (*Paralichthys olivaceus*) and reduce crude lipid content of fish, at the same time, the optimal dietary *L*-carnitine level was estimated to be 1 200 mg/kg.

Key words: Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*); feed additive; *L*-carnitine; growth performance; biochemical composition; blood parameters

在经济鱼类的人工养殖过程中, 养殖鱼类会摄入大量高能高脂饲料。如果摄入脂肪过多, 就会影响蛋白等营养成分的吸收, 影响肌肉的品质, 也会因过氧化脂质氧化所产生的应激给肝脏机能带来负担, 从而引发各种疾病, 甚至导致脂肪肝^[1-3]。*L*-肉碱是一种多功能的绿色添加剂, 主要参与机体的能量代谢, 是脂肪酸进入线粒体进行 β -氧化的载体, 可以加速脂肪的氧化, 还具有节约蛋白质、促进生长等作用^[4]。如在对欧洲黑鲈 (*Dicentrarchus labrax*)^[5]、印度野鲮 (*Labeo rphita*)^[6]等的研究中均证实了*L*-肉碱具有显著的促生长和降低肌肉脂肪的作用。但在其他一些鱼类, 如虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)^[7]、真鲷 (*Pagrosomus major*)^[8]等的研究中发现, 添加*L*-肉碱对其生长和脂肪并未起预期的效果。

本文以牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 幼鱼为研究对象, 探讨饲料中添加不同水平的*L*-肉碱对牙鲆幼鱼生长性能, 肌肉、肝脏等营养成分, 以及血液指标的影响, 旨在探索*L*-肉碱是否对牙鲆具有促进生长作用及降脂效果, 从而为牙鲆人工配合饲料配制、规模化健康养殖以及脂肪肝疾病防治提出理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

1.1.1 实验饲料 实验以白鱼粉和活性谷蛋白 (小麦胚谷粉) 为蛋白源, 以鱼油为主要脂肪源配制基础饲料。配制*L*-肉碱 (武汉远诚科技有限公司产品, 纯度为99.8%) 添加量分别为0、300、600、900、1 200和1 500 mg/kg等6种饲料, 分别记为L0、L300、L600、L900、L1200、L1500。饲料原料经混合后用制粒机挤压成颗粒料, 饲料直径4.6 mm, 在烘箱中40℃烘干2 h, 保存于-20℃冰箱中。饲料配方及营养成分组成见表1。

1.1.2 实验用鱼 牙鲆幼鱼, 初始体质量 (10.30 ± 0.12) g, 购自山东省威海市海盛水产有限公司, 于实验室驯养3周, 驯养时投喂基础饲料。

1.2 饲养管理

实验在大连海洋大学农业部北方海水增殖重点实验室进行, 实验共设6个处理组, 每个处理设置3个重复组, 共18个200 L蓝色圆形流水水槽, 每槽放鱼15尾。每日分别于7:00和16:00表观饱食投喂1次, 投喂后1/2 h清除残饵。实验采用流水系统, 流速大约为2 L/min, 每天水交换量约为15

个全量, 24 h微充气, 饲养60 d, 实验用水为大连黑石礁海区沙滤海水, 整个养殖期间水温为15.2~19.5 °C, 盐度32.6±0.2, 溶解氧高于7 mg/L, pH 7.7±0.01, 总氨氮小于0.05 mg/L。

1.3 样品收集

养殖实验结束后, 停食24 h, 从每个水槽中随机抽取鱼5尾, 测体长、体质量, 并于冰盘上用不含有抗凝剂的针管于尾静脉处取血, 离心(12 000

r/min, 5 min, 4 °C)。所有处理组在冰盘解剖采样鱼后迅速称取肝脏, 同时取鱼左侧背部大侧肌。将采集的血清、肝脏和肌肉样品均置于-80 °C超低温冰箱中保存备用。再在每槽中随机取牙鲆幼鱼2尾, 烘干(105 °C), 研磨, 过孔径0.18~0.25 mm的筛网, 保存于干燥器中, 进行全鱼体生化组成分析。

表1 饲料配方与营养成分质量分数(干重)
Tab.1 Mass fraction (dry diet) of ingredients and nutrients composition of basal diet g/kg

原料 Ingredients	L0	L300	L600	L900	L1200	L1500
鱼粉 Fish meal	500	500	500	500	500	500
活性谷蛋 Active gluten	200	200	200	200	200	200
α-淀粉 α-starch	60	60	60	60	60	60
糊精 Dextrin	60	60	60	60	60	60
鱼油 Fish oil	40	40	40	40	40	40
APNC-stay-C	5	5	5	5	5	5
大豆卵磷脂 soybean lecithin	30	30	30	30	30	30
α-纤维素 α-cellulose	35.0	34.7	34.4	34.1	33.8	33.5
L-肉碱 L-Carnitine	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
三氧化二铬 Cr ₂ O ₃	5	5	5	5	5	5
混合维生素 Vitamin Mix ¹⁾	35	35	35	35	35	35
混合矿物质 Mineral Mix ²⁾	40	40	40	40	40	40
粗蛋白 Crude protein	436.1	457.6	444.3	449.5	436.7	445.8
粗脂肪 Crude lipid	120.7	132.1	125.3	129.6	136.9	127.1
灰分 Ash	176.6	181.4	185.7	178.2	183.9	185.3
水分 Moisture	58.1	55.5	64.2	53.8	59.4	57.8

注: 1) 每10g预混料的维生素含量(mg): 维生素A, 6; 维生素D₃, 0.125; 维生素E, 200; 维生素K₃, 40; 维生素B₁, 50; 维生素B₂, 100; 维生素B₆, 120; 维生素B₁₂, 0.2; 泛酸钙, 60; 叶酸, 4; 烟酸, 60; 肌醇, 150; 高稳定Vc, 20; 生物素, 0.5。2) 每10g预混料的矿物质含量(mg): 铁, 50; 铜, 10; 锰, 25; 锌, 15; 硒, 0.3。

Notes: 1) Vitamin content (mg) in 10 g diet: Vitamin A, 6; Vitamin D₃, 0.125; Vitamin E, 200; Menadione (K₃), 40; Thiamine-nitrate, 50; Riboflavin, 100; Pyridoxine-HCl, 120; Cyanocobalamine, 0.2; Ca Panthothenate, 60; Folic acid, 4; Niacine (Nicotic acid), 60; Inositol, 150; High stability of vitamin C, 20; d-Biotin, 0.5; 2) Mineral content(mg) in 10 g diet: Fe, 50; Cu, 10; Mn, 25; Zn, 15; Se, 0.3.

1.4 测定方法

1.4.1 生长指标测定 生长指标有体增重率 (Body weight gain, BWG)、特殊生长率 (Specific growth rate, SGR)、饲料系数 (Feed conversion ratio, FCR)、肥满度 (Condition factor, CF)、肝指数 (Hepatosomatic index, HSI)、脏体比 (Viscera index, VSI)、蛋白质效率 (Protein efficiency ratio, PER)、成活率 (survival, %), 主要公式计算如下。

特殊生长率 = $[(\ln W_t - \ln W_0) / t] \times 100\%$,

饲料系数 = $C / (W_t - W_0)$,

肥满度 = $(W / L^3) \times 100\%$,

肝指数 = $(\text{肝重} / \text{鱼体总质量}) \times 100\%$,

脏体比 = $(\text{内脏质量} / \text{鱼体总质量}) \times 100\%$,

蛋白质效率 = $(W_t - W_0) / C_p$

其中, W_0 为初始体质量 (g), W_t 为终末体质量 (g), t 为实验时间 (d), C 为摄饵量 (g), W 为实验鱼体质量 (g), L 为实验鱼长度 (cm), C_p 为蛋白质摄入量 (干重, g)。

1.4.2 生化分析方法 饲料及样品中水分、蛋白

质、粗脂肪和灰分含量的测定分别采用恒温干燥法(105℃)、半微量凯氏定氮法、索氏抽提法和马福炉灼烧法(550℃)^[9]。

1.4.3 血液指标测定 血清中谷丙转氨酶、总蛋白、白蛋白、血糖、总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白通过SPOTCHEM EZ SP-4430全自动血液分析仪(ARKRAY, JAPAN)直接测得。

1.5 统计分析

实验数据以平均值±标准差表示,结果用SPSS16.0软件包进行处理,采用Duncan多重比较法分析实验结果,以 $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 L-肉碱对牙鲆生长性能的影响

饲料中添加不同水平的L-肉碱对牙鲆生长性能的影响见表2。由表2可见,牙鲆在摄食添加

1 200 mg/kg L-肉碱饲料后终末体质量、增重率和特定生长率最高,饲料系数最低,增重率较对照组提高22.7% ($P < 0.05$),饲料系数下降12.9% ($P < 0.05$),添加300、600和900 mg/kg L-肉碱各组对终末体质量、增重率和特定增长率无显著影响 ($P > 0.05$)。随着L-肉碱添加量的增加,蛋白质效率呈递增趋势,其中添加量1 200和1 500 mg/kg处理组与对照组差异显著 ($P < 0.05$)。各组间实验鱼的存活率差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 L-肉碱对牙鲆肝指数、脏体比和肥满度的影响

由表3可知,牙鲆饲料中添加300~1 500 mg/kg的L-肉碱显著降低其脏体比 ($P < 0.05$)。随着饲料中L-肉碱添加量的增加,肝指数呈现下降趋势,添加量为900~1 500 mg/kg处理组均较对照组显著下降 ($P < 0.05$),各处理组间肥满度均无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表2 L-肉碱对牙鲆生长指标的影响

Tab.2 Effect of supplemental L-carnitine on the growth performance of Japanese Flounder

组别 Groups	终末体重 FBW / g	增重率 BWG / %	特定生长率 SGR / (%/d)	饲料系数 FCR	蛋白质效率 PER	存活率 Survival / %
L0	37.87 ± 2.86 ^a	269.60 ± 24.6 ^a	2.37 ± 0.12 ^a	0.70 ± 0.03 ^a	3.19 ± 0.02 ^a	96.50 ± 3.50
L300	37.76 ± 1.37 ^a	269.37 ± 20.6 ^a	2.37 ± 0.10 ^a	0.68 ± 0.05 ^{ab}	3.22 ± 0.01 ^a	96.77 ± 1.37
L600	38.15 ± 1.44 ^a	263.74 ± 16.5 ^a	2.35 ± 0.08 ^a	0.69 ± 0.07 ^a	3.21 ± 0.09 ^a	95.53 ± 2.67
L900	40.17 ± 4.31 ^{ab}	286.59 ± 33.6 ^a	2.45 ± 0.16 ^{ab}	0.66 ± 0.01 ^{ab}	3.39 ± 0.11 ^a	94.21 ± 1.89
L1200	43.72 ± 2.54 ^b	330.70 ± 15.0 ^b	2.65 ± 0.06 ^b	0.61 ± 0.04 ^b	3.66 ± 0.08 ^b	98.33 ± 4.67
L1500	40.48 ± 2.57 ^{ab}	292.05 ± 23.5 ^{ab}	2.48 ± 0.11 ^{ab}	0.63 ± 0.03 ^{ab}	3.75 ± 0.21 ^b	97.19 ± 2.31

注:数据表示方式为平均值±标准差,不同字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Data are mean ± S.D; Different superscript letters within each row represent significant differences ($P < 0.05$).

表3 L-肉碱对牙鲆肝指数、脏体比和肥满度的影响

Tab.3 Effect of supplemental L-carnitine on hepato-pancreas index, viscera index and condition factor of Japanese Flounder

组别 Groups	肝指数 HIS/%	脏体比 VSI/%	肥满度 CF
L0	1.67 ± 0.02 ^a	4.87 ± 0.08 ^a	0.86 ± 0.02
L300	1.63 ± 0.04 ^a	4.67 ± 0.06 ^b	0.86 ± 0.07
L600	1.45 ± 0.02 ^b	4.62 ± 0.10 ^{bc}	0.84 ± 0.04
L900	1.44 ± 0.03 ^b	4.54 ± 0.09 ^{bc}	0.85 ± 0.03
L1200	1.37 ± 0.04 ^b	4.51 ± 0.04 ^c	0.86 ± 0.09
L1500	1.39 ± 0.06 ^b	4.56 ± 0.03 ^{bc}	0.85 ± 0.03

注:数据表示方式为平均值±标准差,结果后不同字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Data are mean±S.D; Different superscript letters within each row represent significant differences ($P < 0.05$).

2.3 L-肉碱对牙鲆全鱼、肌肉和肝脏营养成分的影响

各组牙鲆全鱼、肌肉和肝脏营养成分见表4。表4表明,各组牙鲆全鱼的灰分无显著差异 ($P > 0.05$),而饲料中添加600~1 500 mg/kg L-肉碱显著降低全鱼的水分 ($P < 0.05$)。全鱼脂肪含量随着L-肉碱添加量的增加而降低,当L-肉碱添加量为1 200和1 500 mg/kg时,全鱼脂肪较对照组分别降低10.3%、13.8% ($P < 0.05$),蛋白质则随着L-肉碱添加量的增加而增加,当添加量为1 500 mg/kg时,蛋白质较对照组增加6.5% ($P < 0.05$)。

各组间肌肉水分和灰分无显著差异 ($P > 0.05$)。随着饲料中L-肉碱添加量的增加,各组肌肉脂肪含量较对照组均有所下降,其中L1200组差

异显著, 较对照组下降 8.1% ($P < 0.05$), 肌肉蛋白含量则随添加量的增加而增加, 但各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

各组间肝脏的水分无显著差异 ($P > 0.05$)。肝

脏脂肪含量随着 L-肉碱添加量的增加均有所下降, 其中 L1200 和 L1500 两组较对照组均差异显著 ($P < 0.05$), 分别下降 13.4%、12.7%。

表 4 L-肉碱对牙鲆全鱼、肌肉和肝脏成分(干物质)的影响
Tab. 4 Effects of supplemental L-carnitine on nutrients composition (dry weight) of the whole body, muscle and liver of Japanese Flounder

组别	全鱼 whole body				肌肉 muscle				肝脏 liver	
	水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	灰分 Ash	水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	灰分 Ash	水分 Moisture	粗脂肪 Crude lipid
L0	75.95 ± 0.83 ^a	59.45 ± 0.62 ^a	22.81 ± 0.59 ^a	11.15 ± 0.14	78.07 ± 0.85	79.59 ± 2.04	5.54 ± 0.07 ^a	4.15 ± 0.14	71.85 ± 3.81	50.62 ± 0.17
L300	74.47 ± 1.26 ^{ab}	60.46 ± 2.68 ^a	20.71 ± 2.17 ^{ab}	11.27 ± 1.13	77.54 ± 1.30	82.56 ± 1.98	5.36 ± 0.00 ^b	4.27 ± 0.13	69.96 ± 4.09	47.96 ± 0.57 ^b
L600	71.46 ± 0.28 ^{bc}	61.08 ± 2.55 ^b	21.07 ± 1.27 ^{bc}	10.88 ± 0.45	77.53 ± 0.77	81.88 ± 1.75	5.40 ± 0.03 ^b	4.88 ± 0.45	68.77 ± 0.83	47.08 ± 0.31 ^b
L900	68.56 ± 0.28 ^c	61.15 ± 0.64 ^{bc}	20.64 ± 0.43 ^{bc}	11.14 ± 0.67	78.48 ± 1.02	81.60 ± 1.25	5.14 ± 0.02 ^c	4.14 ± 0.67	70.20 ± 3.33	46.78 ± 0.96 ^b
L1200	67.76 ± 3.03 ^c	61.46 ± 1.43 ^{bc}	20.45 ± 1.2 ^b	11.43 ± 1.68	77.95 ± 0.94	83.37 ± 2.57	5.09 ± 0.06 ^c	4.16 ± 0.68	67.66 ± 1.41	43.86 ± 0.50 ^c
L1500	69.51 ± 1.20 ^c	63.35 ± 1.27 ^b	19.67 ± 0.60 ^b	11.76 ± 1.01	77.76 ± 0.27	80.71 ± 1.55	5.24 ± 0.14 ^d	4.76 ± 0.11	68.17 ± 3.03	44.26 ± 0.56 ^c

注: 数据表示方式为平均值±标准差, 结果后不同字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Data are mean ± S.D; Different superscript letters within each row represent significant differences ($P < 0.05$).

2.4 L-肉碱对牙鲆血液指标的影响

由表 5 可知, 饲料中添加 L-肉碱对牙鲆血清中总蛋白、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白含量未产生显著的影响 ($P > 0.05$), 但低密度脂蛋白均随 L-肉碱添加量的增加而呈现下降趋势, 高密度脂蛋白却得以提升。各组谷草转氨酶和尿素氮含量较对照组均显著下降 ($P < 0.05$), 其中以 L1200 组最低, 分别比对照组降低 34.7%、34.3%。各组

血糖和白蛋白含量较对照组均有所增加, 其中以 L1200 组最高, 分别比对照组升高 41.6%、31.9% ($P < 0.05$)。饲料中添加 L-肉碱降低牙鲆血清中的总胆固醇和甘油三酯含量, 除 L300 组外, 其余各组总胆固醇含量较对照组差异显著 ($P < 0.05$), 且以 L1200 组最低, 较对照组降低 22.2%。L900、L1200 和 L1500 各组的甘油三酯含量较对照组显著下降, 分别下降 13.6%、24.6%、22% ($P < 0.05$)。

表 5 L-肉碱对牙鲆血液指标的影响
Tab. 5 Effects of supplemental L-carnitine on blood parameters in Japanese Flounder

处理组 Groups	谷草转氨酶 GOT/ (IU/L)	血糖 GLU/ (mmol/L)	总蛋白 TP/ (g/L)	白蛋白 AL/ (g/L)	尿素氮 BUN/ (mmol/L)	总胆固醇 CHOL/ (mmol/L)	甘油三酯 TG/ (mmol/L)	高密度脂蛋白 HDL/ (mmol/L)	低密度脂蛋白 LDL/ (mmol/L)
L0	32.67 ± 5.03 ^a	1.73 ± 0.18 ^a	30.27 ± 0.91	2.07 ± 0.25 ^a	0.35 ± 0.03 ^a	8.02 ± 0.2 ^a	5.36 ± 0.14 ^a	1.95 ± 0.16	1.52 ± 0.47
L300	22.33 ± 2.08 ^b	1.72 ± 0.13 ^a	31.60 ± 1.13	2.10 ± 0.36 ^a	0.35 ± 0.09 ^a	7.61 ± 0.40 ^{ab}	5.25 ± 0.33 ^a	2.35 ± 0.23	1.49 ± 0.43
L600	24.45 ± 1.99 ^b	1.83 ± 0.10 ^a	33.13 ± 3.93	2.40 ± 0.20 ^{ab}	0.26 ± 0.06 ^{ab}	7.25 ± 0.15 ^b	4.94 ± 0.42 ^{ab}	2.41 ± 0.25	1.48 ± 0.19
L900	23.67 ± 2.08 ^b	1.95 ± 0.11 ^a	32.97 ± 3.52	2.37 ± 0.21 ^{ab}	0.27 ± 0.05 ^{ab}	7.22 ± 0.36 ^b	4.63 ± 0.34 ^{bc}	2.46 ± 0.58	1.45 ± 0.12
L1200	21.34 ± 2.52 ^b	2.45 ± 0.19 ^b	34.57 ± 2.80	2.73 ± 0.45 ^b	0.23 ± 0.06 ^b	6.24 ± 0.41 ^c	4.04 ± 0.21 ^d	2.52 ± 0.35	1.38 ± 0.28
L1500	21.67 ± 1.98 ^b	2.43 ± 0.06 ^b	32.90 ± 0.90	2.53 ± 0.15 ^{bc}	0.24 ± 0.04 ^b	6.52 ± 0.47 ^c	4.18 ± 0.14 ^{cd}	2.47 ± 0.33	1.41 ± 0.41

说明: 数据表示方式为平均值 ± 标准差, 结果后不同字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Data are mean ± S.D; Different superscript letters within each row represent significant differences ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 L-肉碱对牙鲆生长性能的影响

对很多鱼类, L-肉碱是一种生长促进剂^[6, 10, 11]。其促进生长主要体现在两个方面: 从能量方面, 通过增加脂肪酸氧化和增加对饲料能量的利用, 从而使鱼类充分发挥最大氧化供能能力, 加快新

陈代谢速度,提高饲料转化率,且减少蛋白质供能的消耗;从蛋白方面,*L*-肉碱在体内的生物合成起始于赖氨酸和蛋氨酸,这两种氨基酸是鱼类生长发育的限制性氨基酸,也是饲料中最为重要又极易缺乏的必需氨基酸。体内*L*-肉碱合成能力的受限性使得动物特别是幼龄动物体内肉碱的合成速度大大减弱,仅为成年动物的13%~15%,所以幼龄动物出现肉碱缺乏的可能性最大^[12]。因此,添加外源的*L*-肉碱,弥补了幼鱼合成肉碱能力不足,减少了体内或饲料中的赖氨酸和蛋氨酸的消耗,以达到节约蛋白质、促进生长的目的。本实验研究表明,饲料中添加*L*-肉碱可以促进牙鲆生长,且与饲料中*L*-肉碱的添加量相关。当添加量小于600 mg/kg时,促生长效果不明显,当大于900 mg/kg时促生长效果有所提高,当添加量为1 200 mg/kg时获得最大的增重率,比对照组提高22.7% ($P < 0.05$),饲料系数显著降低,比对照组降低12.9% ($P < 0.05$)。在罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)和新吉富品系尼罗罗非鱼的研究中同样发现,添加*L*-肉碱能促进鱼体生长、提高饲料效率^[13-14],在杂交斑点鲈鱼(*Morone saxatilis male* × *M. chrysops female*)的研究中也表明,添加369.7 mg/kg *L*-肉碱组显著促进了鲈鱼的生长^[15]。而在其他一些研究中发现,*L*-肉碱对某些鱼类并未起促生长作用。如黑鲷(*Acanthopagrus schlegeli*)幼鱼^[16]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[7]、非洲鲶鱼(*Clarias gariepinus*)^[17]、欧洲石斑鱼(*Dicentrarchus labrax*)^[18]等,而引起不同效果的因素是多方面的,实验鱼种类不同^[19]、不同发育阶段^[12]、*L*-肉碱的添加量^[15]、实验过程中的水温^[5]以及饲料中的脂肪含量^[20]对*L*-肉碱的作用效果都会产生较大的影响。

本实验中当*L*-肉碱添加量达到1 500 mg/kg时生长效果有所下降,可能是饲料中*L*-肉碱添加量过高,加大了牙鲆代谢强度,从而减少了用于生长的能量。有研究表明,添加适量的*L*-肉碱可加速脂肪酸氧化,提高能量利用率,从而促进动物生长发育^[13]。但剂量过高可能会抑制机体内参于脂肪酸氧化过程的各种酶的活性,降低营养利用率,从而导致动物生产性能下降^[21]。本实验对于加添量超过1 500 mg/kg是否进一步抑制牙鲆生长,尚待进一步验证。

肝指数是评价鱼体健康程度的重要指标,较

低的肝指数可以说明鱼体的肝胰脏负荷在可控范围内。本实验中,饲料中添加一定量*L*-肉碱可使牙鲆肝指数和脏体比显著低于对照组,这与周萌等^[22]对军曹鱼的研究结果类似,说明适当的*L*-肉碱添加量对牙鲆的健康指标有利,引起这种现象的原因可能是*L*-肉碱参与机体的能量代谢,促使脂肪酸进入线粒体进行 β -氧化,加速了组织脂肪的氧化,从而降低肝脏的脂肪含量。

3.2 *L*-肉碱对牙鲆幼鱼生化组成的影响

对于饲料中添加*L*-肉碱对鱼类生长影响的报道虽然存在分歧,但是在降低鱼类脂肪沉积,改善肉质方面却取得较为一致的结论。添加*L*-肉碱对组织脂肪含量的影响已在许多鱼中有所报道^[3,4,18]。从本实验结果看,饲料中添加*L*-肉碱可以显著降低牙鲆全鱼、肌肉和肝脏中的脂肪含量,尤其是L1200组,较对照组分别降低10.3%、8.1%和13.4% ($P < 0.05$),说明*L*-肉碱可降低牙鲆体脂肪,对脂肪肝的预防起到良好效果。另一方面,添加*L*-肉碱的各处理全鱼和肌肉的蛋白含量较对照组均有所升高,其中L1500组全鱼蛋白含量显著提升,比对照组提高6.5% ($P < 0.05$),这与张东鸣等对鲤鱼的研究结果类似^[23],原因可能是饲料中添加*L*-肉碱减少了内源肉碱的合成,节约了组织中蛋氨酸和赖氨酸,避免了由于各氨基酸比例不平衡所带来的损耗,从提高氨基酸的作用率,增加机体氮的储备。同时,添加*L*-肉碱也增强了机体对脂肪酸的 β -氧化,使更多脂肪用于能量消耗,降低了组织蛋白分解供能,最终促进组织中的蛋白沉积。

3.3 *L*-肉碱对牙鲆血液指标的影响

血液指标被广泛用于评价动物的健康状况、营养状况及对环境的适应状况,而且正常的血液指标值能反映物种的属性和动物的生理状态。血中的脂类物质称为血脂,包括甘油三酯(CHOL)、磷脂、胆固醇等,另外血液中的胆固醇、甘油三酯(TG)与血液中的蛋白质分别结合成高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C),都属于血液指标范畴。当血清中的CHOL、TG和LDL-C含量升高会导致血液黏稠度升高,血液运输效率降低,形成高脂血,危害鱼类健康^[24]。田娟等^[3]对草鱼的研究表明,饲料中添加400 mg/kg的*L*-肉碱时,草鱼血清中的胆固醇和甘油三酯含量分别降低13.62%和12.60%。本实

验中, 饲料中添加L-肉碱显著降低牙鲆血清中的胆固醇和甘油三酯含量, 尤其是L1200组, 比对照组分别降低22.2%和24.6% ($P < 0.05$)。本实验中, 胆固醇和低密度脂蛋白的变化趋势相同, 而高密度脂蛋白却与之相反。姜玲等^[25]对新吉富罗非鱼的研究也表明, 饲料中添加L-肉碱可提高高密度脂蛋白的含量。高密度脂蛋白可将血液中多余的胆固醇转运到肝脏, 经过处理分解成胆酸盐, 通过胆道排泄出去, 从而加快胆固醇的代谢, 完成胆固醇的逆向转运, 最终降低血液中的胆固醇含量。本实验及文献中的高密度脂蛋白的升高可能是鱼类摄入了较多外源的胆固醇而诱发, 具体原因还有待进一步研究。

血清中转氨酶的活性可反映肝细胞损伤程度, 当动物的生理机能处于正常情况下, 谷草转氨酶和谷丙转氨酶主要存在于细胞内, 而血清中的活性很低。在各组织器官中, 以心肌细胞和肝细胞内的活性最高。但是当这些组织细胞受损时, 可能有大量的谷草转氨酶和谷丙转氨酶从细胞内逸出进入血液, 使血清中的这两种转氨酶活性升高, 因而检测血清中转氨酶活性的变化是判断肝脏损伤程度的主要依据之一^[26]。本实验中, L1200组血清中的谷草转氨酶活性最低, 对肝脏的损害程度较低, 说明了饲料中添加L-肉碱可以缓解由于鱼类摄入过多脂肪而对肝脏的压迫。

血清尿素氮是动物体内蛋白质代谢的主要终产物。Malmolf等^[27]认为血清中尿素氮浓度可以准确反映动物体内蛋白质代谢和氨基酸平衡状况, 尿素氮上升表明机体蛋白代谢或氨基酸平衡状况异常。血液中的蛋白维持着血液胶体的渗透压, 参与脂类或脂溶性物质的运输以及机体免疫反应^[28]。黄凯等^[29]对奥尼罗非鱼的研究表明, 饲料中添加L-肉碱使血浆中尿素氮降低11.76%, 白蛋白升高37.19%。本实验发现, 饲料中添加L-肉碱可有效降低牙鲆幼鱼血清中尿素氮含量, 且随L-肉碱含量的增加而呈下降趋势, 尤以L1200组降低效果最为明显, 较对照组降低34.3% ($P < 0.05$), 这说明饲料中添加L-肉碱可减少体内氨基酸的分解代谢消耗, 有效调节氨基酸之间的平衡, 促进蛋白质沉积。同时, 血清中总蛋白和白蛋白含量较对照组升高的结果也进一步说明了L-肉碱对节约蛋白质的作用。通常情况下, 鱼类血糖浓度由于受神经和内分泌系统的调节而处于一种动态平

衡, 但极易发生变化。当血糖浓度较高时, 鱼类表现为积极摄食, 健康状况良好^[30]。本实验中, 添加L-肉碱各组的血糖浓度较对照组也有不同程度提高, 说明饲料中添加L-肉碱在一定程度上提高了血液储能的能力, 其原因可能是L-肉碱的添加促进了脂肪酸的氧化, 使辅酶A (CoA)、ATP、NADH⁺增加, 从而抑制糖酵解的关键酶, 另外, 乙酰COA、ATP、NADH⁺又可以作为糖异生的原料, 使糖异生加强, 最终提高血糖浓度。其确切的原因还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 戴贤君, 邵庆均. L-肉碱对水产动物的营养作用及其饲养效果[J]. 水产科学, 2001, 20 (1): 38-41.
- [2] 王优军, 李勇, 蒋克勇. L-肉碱的研究及其在水产养殖中的应用[J]. 海洋渔业, 2005, 27 (3): 256-260.
- [3] 田娟, 冷向军, 李小勤, 等. 肉碱对草鱼生长性能、体成分和脂肪代谢酶活性的影响[J]. 水产学报, 2009, 33 (2): 295-302.
- [4] Harpaz S. L-Carnitine and its attributed functions in fish culture and nutrition—a review [J]. Aquaculture, 2005, 249(1-4): 3-21.
- [5] Santulli A, D' Amelio V. Effects of supplemental dietary carnitine on growth and lipid metabolism of hatchery-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) [J]. Aquaculture, 1986, 59 (3-4): 177-186.
- [6] Keshavanath P, Renuka P. Effect of dietary L-carnitine supplements on growth and body composition of fingerling rohu, *Labeo rohita* (Hamilton) [J]. Aquaculture Nutrition, 1998, 4 (2): 83-87.
- [7] Selcuk Z, Tiril S U, Alagii F, et al. Effects of dietary L-carnitine and chromium picolinate supplementation on performance and some serum parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquac. Int., 2010, 18 (2): 213-221.
- [8] Chatzifotis S, Takeuchi T. Effect of supplemental carnitine on body weight loss, proximate and lipid compositions and carnitine content of red sea bream (*Pagrus major*) during starvation [J]. Aquaculture, 1997, 158 (1-2): 129-140.
- [9] 桂远明. 水产动物技能学试验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004. 15-267.
- [10] Focken U, Becker K, Lawrence P. A note on the effects of L-carnitine on the energy metabolism of individually reared carp, *Cyprinus carpio* L. [J]. Aquaculture Nutrition, 1997, 3 (4): 261-264.
- [11] Gaylord T G, Gatlin D M. Effects of dietary carnitine and lipid on growth and body composition of hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) [J]. Fish Physiology and Biochemistry,

- 2000, 22 (4): 297-302.
- [12] 杨奇慧, 周小秋. *L*-肉碱对水产动物脂肪代谢的影响[J]. 饲料博览, 2004 (5): 9-11.
- [13] Becker K, Schreiber S, Angoni C. Growth performance and feed utilization response of *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus* hybrids to *L*-carnitine measured over a full fattening cycle under commercial conditions [J]. *Aquaculture*, 1999, 174 (3-4): 313-322.
- [14] 张明辉, 陈刚, 董宏标, 等. 不同饲料蛋白水平下 *L*-肉碱对新吉富品系尼罗罗非鱼生长和饲料利用的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 28 (6): 35-40.
- [15] Twibell R G, Brown P B. Effects of dietary carnitine on growth rates and body composition of hybrid striped bass (*Morone saxatilis* male × *M. chrysops* female) [J]. *Aquaculture*, 2000, 187 (1): 153-161.
- [16] 彭士明, 李二超, 陈立侨, 等. *L*-肉碱对黑鲷幼鱼生长及组织生化成分的影响[J]. 饲料工业, 2010 (1): 61-64.
- [17] Ozório R O A, Eekeren T H B, Huisman E A, et al. Effects of dietary carnitine and protein energy: nonprotein energy ratios on growth, ammonia excretion and respiratory quotient in African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell) juveniles [J]. *Aquac Res*, 2001, 32 (Suppl.1): 406-414.
- [18] Dias J, Arzel J, Corraze G, et al. Effects of dietary *L*-carnitine supplementation on growth and lipid metabolism in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Aquac Res*, 2001, 32 (suppl.1): 206-215.
- [19] 杜震宇, 刘永坚, 田丽霞, 等. 添加不同构型肉碱对于罗非鱼生长和鱼体营养成分组成的影响[J]. 水产学报, 2002, 26 (3): 259-264.
- [20] Torreele B E, Der Sluiszen A V, Verreth J. The effect of dietary *L*-carnitine on the growth performance in fingerlings of the African catfish (*Clarias gariepinus*) in relation to dietary lipid[J]. *Br J Nutr*, 1993, 69 (1): 289-299.
- [21] 王骥腾, 韩涛, 田丽霞, 等. 2个脂肪水平下添加肉碱对军曹鱼生长及体组成的影响[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2007, 26 (2): 125-131.
- [22] 周萌, 曹俊明, 马利, 等. 饲料中添加磷脂油、胆碱、*L*-肉碱对军曹鱼生长及组织脂肪含量的影响[J]. 饲料工业, 2007, 28 (10): 23-25.
- [23] 张东鸣, 黄权, 周景祥, 等. 不同饲料蛋白质水平条件下 *L*-肉碱对鲤鱼生长和肌肉营养成分的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2002, 24 (1): 82-87.
- [24] 孙立威, 文华, 蒋明, 等. 壳寡糖对吉富罗非鱼幼鱼生长性能、非特异性免疫及血液学指标的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2011, 31 (3): 43-49.
- [25] 姜玲, 陈刚, 张健东. 不同脂肪及 *L*-肉碱水平对新吉富罗非鱼幼鱼的生长、生化组成及能量收支的影响[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2009: 1-60.
- [26] 陈晨, 黄峰, 舒秋艳, 等. 共轭亚油酸对草鱼生长、肌肉成分、谷草转氨酶及谷丙转氨酶活性的影响[J]. 水生生物学报, 2010, 34 (3): 647-651.
- [27] Malmlof K. Amino acid in farm animal nutrition metabolism, arttition and consequences of imbalance [J]. *Swedish Journal of Agriculture*, 1988, 18 (4): 191-193.
- [28] 尾崎久雄. 鱼类血液与循环生理[M]. 许学龙, 等译. 上海: 上海科学技术出版社, 1982: 116-120.
- [29] 黄凯, 陈涛, 战歌, 等. *L*-肉碱对奥尼罗非鱼生长、脂肪含量及血浆相关生化指标的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(2): 201-206.
- [30] Imsland A K, Foss A, Gunnarsson S, et al. The interaction of temperature and salinity on growth and food conversion in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*)[J]. *Aquaculture*, 2001, 198 (3-4): 353-367.

饲料中添加L-肉碱对牙鲆幼鱼生长、生化组成及血液指标的影响



作者: [高小强](#), [田青杰](#), [石洪玥](#), [姜志强](#), [GAO Xiao-qiang](#), [TIAN Qing-jie](#), [SHI Hong-yue](#), [JIANG Zhi-qiang](#)

作者单位: [大连海洋大学农业部北方海水增养殖重点实验室, 辽宁大连, 116023](#)

刊名: [广东海洋大学学报](#) 

英文刊名: [Journal of Guangdong Ocean University](#)

年, 卷(期): 2012, 32(1)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zjhydxxb201201007.aspx