

网络出版时间:2015-01-05 08:59

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.02.006

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150105.0859.006.html

外源性肉碱对幼鲤生长性能及生化指标的影响

董 婧^{1,2}, 李 林², 于业辉², 赵莹莹², 陈玉珂¹, 王清滨¹, 王秋举¹, 张东鸣¹

(1 吉林农业大学 动物科技学院, 吉林 长春 130118; 2 沈阳农业大学 畜牧兽医学院, 辽宁 沈阳 110866)

【摘 要】【目的】研究外源性肉碱对鲤鱼幼鱼生长性能、背肌生化组成及血浆生化指标的影响, 为水产饲料中肉碱的添加提供理论依据。【方法】在基础饲料中分别添加 0(对照组), 50, 100, 150, 200 和 400 mg/kg *L*-肉碱组成试验饲料, 饲养平均体质量(2.5±0.5) g/尾的鲤鱼(*Cyprinus carpio*)幼鱼 60 d, 试验结束后取样, 测定增重率、特定生长率、饲料系数、成活率、背肌生化组成及血浆甘油三酯、总胆固醇、白蛋白、尿素氮等指标。【结果】*L*-肉碱的添加量为 200 mg/kg 时, 鲤鱼幼鱼的试验末体质量、增重率和特定生长率显著提高, 饲料系数显著降低($P<0.05$), 成活率与对照组无显著差异($P>0.05$)。随着 *L*-肉碱添加量的增大, 背肌粗蛋白含量总体呈增加趋势, 粗脂肪含量呈下降趋势, 当 *L*-肉碱添加量为 200 mg/kg 时, 与对照组相比, 粗蛋白含量增加了 11.18%, 粗脂肪含量降低了 12.65%, 差异均达显著水平($P<0.05$), 但与其添加 400 mg/kg *L*-肉碱试验组相比, 二者粗蛋白和粗脂肪含量无显著差异($P>0.05$)。饲料中添加 *L*-肉碱可显著降低血浆中总胆固醇和甘油三酯质量浓度, 当 *L*-肉碱添加量为 150 mg/kg 时, 总胆固醇质量浓度最低, 与对照组相比降低了 36.08%, 差异显著($P<0.05$); 添加 50 mg/kg *L*-肉碱时, 与对照组比较, 甘油三酯质量浓度下降了 50.28%, 差异显著($P<0.05$)。添加 *L*-肉碱后, 鲤鱼幼鱼血浆中尿素氮浓度显著下降, 白蛋白质量浓度显著增加($P<0.05$), 当 *L*-肉碱添加量为 200 mg/kg 时, 尿素氮浓度最低, 白蛋白质量浓度最高, 分别为 13.49 mmol/L 和 9.12 g/L, 与对照组相比较分别下降了 17.49% 和增加了 32.56%, 差异均达显著水平($P<0.05$)。【结论】本试验条件下, 外源 *L*-肉碱可促进鲤鱼幼鱼生长, 降低背肌中粗脂肪含量及血浆中尿素氮浓度, 增加背肌中粗蛋白含量及血浆中白蛋白质量浓度, 其中添加 200 mg/kg *L*-肉碱效果最好。

【关键词】 *L*-肉碱; 鲤鱼幼鱼; 生长性能; 生化组成; 血浆生化指标

【中图分类号】 S965.116

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)02-0058-07

Effects of exogenous carnitine on growth performance and biochemical indexes of common carp (*Cyprinus carpio*) juvenile

DONG Jing^{1,2}, LI Lin², YU Ye-hui², ZHAO Ying-ying², CHEN Yu-ke¹,
WANG Qing-bin¹, WANG Qiu-ju¹, ZHANG Dong-ming¹

(1 Faculty of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China;

2 College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China)

Abstract: 【Objective】Effects of exogenous carnitine on growth performance, body composition and plasma biochemical indexes of common carp (*Cyprinus carpio*) juvenile were studied to provide theoretical basis for adding exogenous carnitine in aquatic feed. 【Method】Six basal diets with *L*-carnitine concentrations of 0 (control group), 50, 100, 150, 200, and 400 mg/kg were fed to common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles with initially weighting of (2.5±0.5) g for sixty days. At the end of the feeding trial, growth

【收稿日期】 2013-10-25

【基金项目】 国家自然科学基金项目(30671621, 31302149); 沈阳农业大学青年教师科研基金项目(20111015); 吉林省发改委产业技术与开发项目; 东北老工业基地外贸发展项目

【作者简介】 董 婧(1982—), 女, 辽宁沈阳人, 讲师, 博士, 主要从事水产动物营养研究。E-mail: dong9834@163.com

【通信作者】 张东鸣(1962—), 男, 吉林长春人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事水产动物营养研究。

E-mail: dmzhang@jlau.edu.cn

rate, specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR), survival, muscle composition, triglyceride (TG), cholesterol (CHO), albumin, and urea nitrogen (BUN) were determined. 【Result】 When feeding 200 mg/kg *L*-carnitine, growth rate and SGR of common carp juveniles were significantly improved, FCR was significantly decreased ($P < 0.05$), while no significant difference was found in survival rate ($P > 0.05$). With the increase of dietary *L*-carnitine amount, lipid content in dorsal muscle decreased significantly ($P < 0.05$) whereas protein content increased significantly ($P < 0.05$). Compared with the control group, lipid content decreased by 12.65% and protein content increased by 11.18% when feeding 200 mg/kg *L*-carnitine ($P < 0.05$). However, there was no significant difference when adding 400 mg/kg *L*-carnitine ($P > 0.05$). CHO was decreased by 36.08% when feeding 150 mg/kg *L*-carnitine and TG was decreased by 50.28% when feeding 50 mg/kg *L*-carnitine ($P < 0.05$). When feeding 200 mg/kg *L*-carnitine, BUN was significantly decreased by 17.49% with the lowest value of 13.49 mmol/L while albumin was significantly increased by 32.56% with the highest value of 9.12 g/L ($P < 0.05$). 【Conclusion】 In this experiment, adding *L*-carnitine promoted the growth of common carp juvenile, reduced lipid in dorsal muscle and plasma and BUN in plasma, and increased CP in dorsal muscle and albumin in plasma. The optimal dose of exogenous *L*-carnitine was 200 mg/kg for common carp juvenile.

Key words: *L*-carnitine; common carp juvenile; growth performance; body composition; plasma biochemical indexes

鱼类养殖过程中, 应激因子不断增多, 如放养密度过大、大量摄入高能高脂饲料、水质条件恶化等因素影响鱼类对饲料中营养成分的吸收、鱼肉的品质以及肝脏等组织器官的功能, 导致各种疾病的发生。*L*-肉碱(*L*-carnitine)是一种具有多种生物学活性的绿色添加剂, 参与机体的能量代谢, 其最主要的生理学功能是参与长链脂肪酸氧化, 辅助酯酰辅酶 A (COA) 通过电位差阴离子通道进入线粒体基质, 最终释放出酰基 COA 参与 β -氧化, 产生 ATP^[1]。*L*-肉碱对鱼类的作用研究主要集中在促生长, 促脂肪酸氧化, 节约蛋白质, 减少氨排泄, 抵抗氨及外源性化合物的毒性, 有助于适应极端水温的应激, 提高高水平运动能力, 改变肌肉组成和提高生殖能力等方面^[2], 但研究结果并非都是积极的, 在过去的 20 年, 研究者一直在探讨动物饲料中是否需要添加外源 *L*-肉碱。Dias 等^[3]研究表明, *L*-肉碱对欧洲黑鲈 (*Dicentrarchus labrax*) 无促生长和促脂肪酸氧化作用; Selcuk 等^[4]对虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 的研究结果也显示, *L*-肉碱无促生长和促脂肪酸氧化作用; 而 Ozório^[5]综述了 *L*-肉碱添加的积极作用, 并分析了其作用效果的影响因素, 表明鱼类不同生长阶段添加外源性 *L*-肉碱的作用效果不同。而目前, 有关 *L*-肉碱对幼鱼期鱼类作用的研究报道较少。本试验选择鲤鱼 (*Cyprinus carpio*) 幼鱼为研究对象, 在基础饲料中添加不同含量的 *L*-肉碱, 研究其对鲤鱼幼鱼 (以下简称幼鲤) 生长性能、生化组

成及血浆生化指标的影响, 旨在探讨外源 *L*-肉碱对幼鲤的促生长作用及降脂效果, 从而为 *L*-肉碱添加问题提供参考资料和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

试验用鱼购于辽宁省大伙房水库坝下鱼种场, 挑选健康及规格一致的幼鲤, 经 20 mg/L 高锰酸钾消毒后, 驯养备用, 驯养期间投喂基础饲料。根据 SC/T 1026—2002 (鲤鱼配合饲料水产行业标准), 按幼鲤营养需求设计的基础饲料配方见表 1。在基础日粮中分别添加 0, 50, 100, 150, 200 和 400 mg/kg *L*-肉碱 (购于 sigma 公司, 货号 C0158, 纯度 $\geq 98\%$), 配制成 6 组试验饲料, 原料经粉碎过孔径为 0.25 mm 的网筛, 按配方称质量, 逐级混匀, 挤压成直径 1.0 mm 颗粒, 在 60 °C 恒温箱中经 5 h 烘干后置于 -4 °C 冰柜中保存、备用。

1.2 试验设计与饲养管理

试验用鱼先用基础饲料驯养 15 d 后, 选择健康无伤病的 540 尾幼鲤 (体质量均为 (2.5 ± 0.5) g/尾), 随机分到 18 个水族箱中, 分为 6 个处理组, 每处理组 3 个重复箱, 每个重复 30 尾鱼。其中第 1 组为对照组, 投喂基础饲料, *L*-肉碱的添加量为 0 mg/kg; 2、3、4、5 和 6 组为试验组, 分别投喂在基础饲料中添加 50, 100, 150, 200, 400 mg/kg *L*-肉碱试验饲料。分组后预饲 1 周, 然后开始正式试验, 正式

试验期 60 d。

表 1 基础饲料和营养成分的组成
Table 1 Ingredients and nutrients composition of basal diet (dry diet) g/kg

基础饲料成分 Ingredient	含量 Mass fraction	营养成分 Nutrients composition	含量 Mass fraction
豆粕 Soybean meal	290	水分 Moisture	86.80
菜粕 Rapeseed meal	280	粗蛋白 Crude protein	349.50
面粉 Wheat meal	230	粗脂肪 Crude lipid	67.95
肉粉 Meat meal	20	粗纤维 Crude fibre	58.60
血球蛋白粉 Erythrocyte meal	10	粗灰分 Ash	83.90
进口鱼粉 Fish meal	100	赖氨酸 Lysine	21.00
豆油 Soybean oil	40	蛋氨酸 Methionine	6.20
磷酸二氢钙 Monocalcium phosphate	20	钙 Calcium	9.20
预混料 Premix	10	总磷 Total phosphorus	12.80

注:预混料包括维生素和矿物质。预混料的维生素含量: V_A 8 000 IU/kg, V_{D_3} 2 000 IU/kg, V_E 200 mg/kg, V_{K_3} 5 mg/kg, V_{B_1} 15 mg/kg, V_{B_2} 15 mg/kg, 烟酸 150 mg/kg, 泛酸 80 mg/kg, V_{B_6} 10 mg/kg, $V_{B_{12}}$ 0.03 mg/kg, 肌醇 100 mg/kg, V-C 磷酸酯 400 mg/kg, 叶酸 40 mg/kg, 生物素 5 mg/kg。预混料的矿物质含量: Zn 90 mg/kg, Fe 150 mg/kg, Cu 4 mg/kg, Mn 30 mg/kg, I 0.4 mg/kg, Co 0.5 mg/kg, Se 0.2 mg/kg, Mg 200 mg/kg。

Note: Vitamin contents: V_A 8 000 IU/kg, V_{D_3} 2 000 IU/kg, V_E 200 mg/kg, V_{K_3} 5 mg/kg, V_{B_1} 15 mg/kg, V_{B_2} 15 mg/kg, niacin 150 mg/kg, D-Ca pantothenate 80 mg/kg, V_{B_6} 10 mg/kg, $V_{B_{12}}$ 0.03 mg/kg, inositol 100 mg/kg, vitamin C phosphate 400 mg/kg, folic acid 40 mg/kg, and biotin 5 mg/kg. Mineral contents: Zn 90 mg/kg, Fe 150 mg/kg, Cu 4 mg/kg, Mn 30 mg/kg, I 0.4 mg/kg, Co 0.5 mg/kg, Se 0.2 mg/kg, and Mg 200 mg/kg.

试验采用循环流水饲养系统,水族箱尺寸为 150 cm×60 cm×80 cm,试验分组前先用 20 mg/L 高锰酸钾水溶液消毒水族箱,再用清水冲洗干净。试验用水为经气泵充分曝气 1~2 d 的自来水,且与水族箱中的水温保持一致,方便换水。用加热棒控制水温保持恒定。试验期间平均水温(26±1)℃;光周期为自然光周期;溶解氧≥5 mg/L, pH 7~8, NH₃-N≤0.2 mg/L,亚硝酸盐≤0.05 mg/L。隔天早上吸污后,换水 1/3。日投饵率为 3%~6%,视鱼群摄食情况在此范围变动,日投饵 3 次(08:00, 13:00, 18:00),投饵方法为人工手撒。记录试验分组时每箱鱼体质量和饲养期间日投饵量。饲养遵循“四定”(即定时、定位、定质、定量)和“三看”(即看天、看水、看鱼)原则。

1.3 样品采集与测定方法

饲养试验结束禁食 24 h 后,先以水族箱为单位称质量,然后每箱随机抽取 3 尾鱼,分别测量每尾鱼的体质量;每箱再随机抽取 3 尾鱼,放于冰盘上,用含抗凝剂(质量分数 1%肝素钠)的一次性注射器(1 mL)从尾静脉采血,由于鱼体较小,每尾鱼血量不足以提供试验需要,因此需要将同一箱中试验鱼的血液收集在一个离心管。将离心管置于离心机中,4 000 r/min 离心 10 min,制备血浆,贮存于-20℃冰箱内保存待用。血浆样品指标的测定在 2 周内进行完毕。在冰盘上解剖试验鱼,迅速取出背部白肌放入冻存管中,用液氮浇冻后于-80℃保存备用。

1.3.1 幼鱼生长指标 生长指标包括增重率(Growth rate, WGR)、特定生长率(Specific growth rate, SGR)、饲料系数(Feed conversion ratio, FCR)、成活率(Survival rate)。主要计算公式如下:

$$\begin{aligned} \text{增重率} &= (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%, \\ \text{特定生长率} &= (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\%, \\ \text{饲料系数} &= C / (W_t - W_0), \\ \text{成活率} &= N_t / N_0 \times 100\%. \end{aligned}$$

式中: W_0 为初始体质量(g), W_t 为终末体质量(g), t 为试验时间(d), C 为投饵量(g), N_0 为初始鱼尾数, N_t 为终末鱼尾数。

1.3.2 幼鱼背肌生化组成 取肌肉样品,分别采用恒温干燥法(105℃)、凯氏定氮法、索氏抽提法和马福炉灼烧法(550℃)测定肌肉中水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量(均为质量分数)^[6]。

1.3.3 幼鱼血浆生化指标 血浆样品测定指标包括甘油三酯(Triglyceride, TG)、总胆固醇(Cholesterol, CHO)、白蛋白质量浓度及尿素氮(BUN)浓度。甘油三酯质量浓度测定采用甘油磷酸氧化酶-过氧化物酶(GPO-PAP)法;总胆固醇质量浓度测定采用胆固醇氧化酶-过氧化物酶(GHOD-PAP)法;白蛋白质量浓度测定采用溴甲酚绿比色法;尿素氮浓度测定采用脲酶法。以上指标测定均采用南京建成生物技术有限公司生产的试剂盒,测定步骤严格按照试剂盒说明书进行。

1.4 数据统计与分析

原始数据采用 Excel 2007 初步整理后,采用 SPSS 13.0 软件中的单因子方差分析(One-Way ANOVA)进行数据的统计分析,所得结果用“平均值±标准差(mean±SD)”表示。经方差分析后,采用 Duncan’s 多重比较法分析试验结果,当 $P<0.05$ 时,认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 外源性 L-肉碱对幼鲤生长性能的影响

基础饲料中添加不同水平的 L-肉碱对幼鲤生长性能的影响见表 2。由表 2 可知,添加 200 mg/kg L-肉碱组鱼的试验末体质量、增重率和特定生长率

均最高,饲料系数最低;与对照组相比,其增重率提高了 73.78% ($P<0.05$),饲料系数下降 22.16% ($P<0.05$);与 50,100,150 和 400 mg/kg L-肉碱添加组相比,其增重率分别提高了 30.50%,53.79%,41.15%和 1.38%。添加 200 mg/kg L-肉碱组鱼的试验末体质量、增重率和特定生长率与添加 400 mg/kg L-肉碱添加组鱼相比差异不显著 ($P>0.05$),但与 0,50,100 和 150 mg/kg L-肉碱添加组差异显著 ($P<0.05$)。添加 50,150,200,400 mg/kg L-肉碱对幼鲤增重率、特定生长率均有明显影响,与对照组相比,增重率分别提高了 30.09%,23.12%,73.78%和 71.40% ($P<0.05$)。各试验组成活率均为 100%。

表 2 L-肉碱对幼鲤生长性能的影响($n=3$)

Table 2 Effects of dietary L-carnitine supplementation on growth performance of common carp ($n=3$)

L-肉碱添加量/ (mg·kg ⁻¹) L-carnitine content	初始体质量/ (g·尾 ⁻¹) Initial body weight	试验末体质量/ (g·尾 ⁻¹) Final body weight	增重率/% Growth rate	特定生长率/ (%·d ⁻¹) Specific growth rate	饲料系数 Feed coversion ratio	成活率/% Survival rate
0(CK)	4.49±0.42	10.14±0.50 a	126.93±21.49 a	1.60±0.18 a	1.85±0.10 ab	100
50	4.69±0.20	12.59±0.40 b	169.03±15.22 b	1.94±0.11 b	1.76±0.06 ac	100
100	4.60±0.29	11.21±0.93 c	143.43±10.35 ab	1.74±0.08 ba	2.09±0.13 d	100
150	4.37±0.35	11.15±0.36 c	156.27±14.49 b	1.84±0.11 b	1.92±0.05 b	100
200	4.67±0.23	14.94±0.12 d	220.58±13.68 c	2.28±0.08 c	1.44±0.02 e	100
400	4.56±0.09	14.46±0.41 d	217.56±15.10 c	2.26±0.09 c	1.70±0.09 c	100

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Notes:Different lowercase letters in each column indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

2.2 外源性 L-肉碱对幼鲤背肌生化组成的影响

基础饲料中添加不同水平的 L-肉碱对幼鲤背肌生化组成的影响见表 3。由表 3 可知,与对照组相比,200 mg/kg L-肉碱添加组鱼背肌水分含量显著降低 ($P<0.05$),灰分含量无显著变化 ($P>0.05$),粗脂肪含量降低了 12.65% ($P<0.05$),粗蛋白含量增加了 11.18% ($P<0.05$)。添加 400 mg/kg L-肉碱组鱼水分含量与对照组相比显著降低 ($P<0.05$),但与添加 200 mg/kg L-肉碱试验组相比无显著差异 ($P>0.05$);灰分和粗蛋白含量与对照组相比显著升高 ($P<0.05$);粗脂肪含量最低,与对照组相比显著降低了 17.55% ($P<0.05$)。200 与 400 mg/kg L-肉碱添加组鱼的粗蛋白和粗脂肪含量无显著差异 ($P>0.05$)。

表 3 L-肉碱对幼鲤背肌生化组成的影响($n=3$)

Table 3 Effects of dietary L-carnitine supplementation on biochemical composition of dorsal muscle of common carp ($n=3$)

L-肉碱添加量/(mg·kg ⁻¹) L-carnitine content	水分 Moisture	灰分 Ash	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid
0(CK)	78.27±0.51 a	4.21±0.10 a	18.87±0.49 a	4.90±0.27 a
50	77.45±0.30 b	4.59±0.14 bc	18.45±0.22 a	4.75±0.24 a
100	77.95±0.65 ab	4.74±0.08 b	19.04±0.44 ab	4.63±0.16 ab
150	77.76±0.21 ab	4.2±0.22 a	19.67±0.19 b	4.56±0.33 ac
200	77.32±0.40 b	4.41±0.16 ac	20.98±0.52 c	4.28±0.26 bcd
400	77.15±0.51 b	4.78±0.04 b	20.43±0.54 c	4.04±0.19 d

2.3 外源性 L-肉碱对幼鲤血浆生化指标的影响

基础饲料中添加不同水平的 L-肉碱对幼鲤血浆生化指标的影响见表 4。由表 4 可知,与对照组相比,50 mg/kg L-肉碱添加组鱼血浆中甘油三酯质

量浓度显著降低 ($P<0.05$),但之后随着 L-肉碱添加量的逐渐增加,甘油三酯质量浓度与 50 mg/kg L-肉碱添加组相比显著增大 ($P<0.05$),但 100,150,200 和 400 mg/kg L-肉碱组间差异不显著

($P>0.05$)。与对照组相比,50,100,150,200 和 400 mg/kg *L*-肉碱添加组鱼血浆中甘油三酯质量浓度分别下降了50.28%,23.36%,28.75%,27.80%和29.06% ($P<0.05$)。随着 *L*-肉碱添加量的增加,幼鱼血浆中总胆固醇质量浓度总体降低。与对照组相比,50,100,150,200 和 400 mg/kg *L*-肉碱添加组幼鱼血浆中总胆固醇质量浓度分别下降了16.46%,24.05%,36.08%,31.65%和30.07% ($P<0.05$)。

由表 4 还可知,随着 *L*-肉碱添加量的增大,鲤鱼幼鱼血浆中白蛋白质量浓度与对照组相比明显增

加,其中 200 mg/kg *L*-肉碱添加组幼鱼血浆中白蛋白质量浓度最高(9.12 g/L),与 0,50,100,150 和 400 mg/kg *L*-肉碱添加组相比分别增加了32.56%,22.58%,9.62%,8.57%和 6.54% ($P<0.05$),各 *L*-肉碱添加组与对照组差异均显著($P<0.05$)。随着 *L*-肉碱添加量的逐渐增加,鲤鱼幼鱼血浆中尿素氮(BUN)浓度与对照组相比显著下降($P<0.05$),其中 200 mg/kg *L*-肉碱添加组幼鱼血浆中尿素氮浓度最低,为 13.49 mmol/L,下降了 17.49% ($P<0.05$);各添加组与对照组相比差异均显著($P<0.05$),但各添加组间差异不显著($P>0.05$)。

表 4 *L*-肉碱对幼鲤血浆生化指标的影响($n=3$)

Table 4 Effects of dietary <i>L</i> -carnitine supplementation on plasma biochemical indexes of common carp ($n=3$)				
<i>L</i> -肉碱添加量/(mg·kg ⁻¹) <i>L</i> -carnitine content	甘油三酯/ (mg·dL ⁻¹)TG	总胆固醇/ (mg·dL ⁻¹)CHO	白蛋白/ (g·L ⁻¹)AL	尿素氮/ (mmol·L ⁻¹)BUN
0(CK)	206.39±11.70 a	131.67±5.05 a	6.88±0.26 a	16.35±0.35 a
50	102.61±13.91 b	110.00±9.44 b	7.44±0.24 b	14.70±0.47 b
100	158.17±3.00 c	100.00±6.96 bcd	8.32±0.36 c	13.94±0.06 b
150	147.06±8.99 c	84.17±6.29 d	8.40±0.24 c	14.00±0.30 b
200	149.02±5.88 c	90.00±7.81 bcd	9.12±0.24 d	13.49±0.48 b
400	146.41±15.97 c	92.08±5.20 bc	8.56±0.38 c	14.13±0.35 b

3 讨 论

3.1 外源性肉碱对幼鲤生长性能的影响

肉碱的化学结构有 2 个异构体,右旋(*D*型)和左旋(*L*型),体内具有生物活性的是 *L*型。机体内肉碱的来源包括内源性合成和外源性摄取。当内源性肉碱的合成受阻或合成的量不能满足机体需要时则需要添加外源性肉碱,因此肉碱为条件性必需营养素。内源性肉碱合成机理较为复杂,一般成年动物可通过自身合成肉碱满足机体的正常需求,但幼龄动物机体内肉碱合成速度仅为成年动物的13%~15%^[7],所以幼龄动物的肉碱合成能力弱,存在肉碱缺乏的现象。鱼类生长发育最重要的 2 种限制性氨基酸为赖氨酸和蛋氨酸,这 2 种氨基酸恰为内源性肉碱合成的必需因子。因此,外源性肉碱的添加可弥补幼鱼体内肉碱合成能力较弱的不足,减少赖氨酸和蛋氨酸的消耗,节约蛋白质,促进动物生长,降低饲料系数。本试验结果表明,外源 *L*-肉碱可促进幼鲤生长,且与添加量相关。幼鲤在添加 200 mg/kg *L*-肉碱后其试验末体质量、增重率和特定生长率均最高,饲料系数最低,增重率较对照组提高了 73.78% ($P<0.05$),饲料系数下降 22.16% ($P<0.05$)。添加 50,150 和 400 mg/kg *L*-肉碱对幼鲤增重率、特定生长率也有影响,与对照组相比,增重率分别提高了 30.09%,23.12%和 71.40%

($P<0.05$)。200 mg/kg *L*-肉碱添加组与 400 mg/kg *L*-肉碱添加组幼鲤的生长性能差异总体不显著($P>0.05$),但与其他添加组差异显著($P<0.05$)。本试验结果与其他学者对杂交斑点鲈鱼(*Morone saxatilis male*×*M. chrysops female*)^[8]、黑鲷(*Sparus macrocephalus*)^[9]、麦鲢(*Cirrhinus mrigala*)^[10]、鲫鱼(*Carassius auratus*)^[11]、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[12]、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)幼鱼^[13]的研究结果一致。但也有报道认为,外源性肉碱对鱼类生长无影响,如罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*)^[14]、非洲鲶(*Clarias gariepinus*)^[15]等。这些研究结果表明,外源性肉碱对鱼类生长性能的作用效果受多因素影响,如试验鱼的种类、生长发育阶段、饲料组成及营养水平、外源性肉碱的剂量、养殖水温等。

3.2 外源性肉碱对幼鲤背肌生化组成的影响

外源性肉碱对鱼类生长性能影响的报道并非都是积极的,但在减少体脂方面却有较为一致的结论。本试验结果表明,添加一定量 *L*-肉碱可以显著降低鲤鱼幼鱼背肌中粗脂肪含量,显著增加组织中的粗蛋白含量,当 *L*-肉碱添加量为 200 和 400 mg/kg 时,鲤鱼幼鱼背肌中粗脂肪含量较对照组分别显著降低了 12.65%和 17.55% ($P<0.05$);当 *L*-肉碱添加量为 150,200 和 400 mg/kg 时,鲤鱼幼鱼背肌中粗蛋白含量较对照组分别显著增加了 4.24%,

11.18%和 8.27% ($P < 0.05$),这与田娟等^[12]、高小强等^[13]的研究结论一致。一方面,*L*-肉碱的添加有利于脂肪分解代谢,促进脂肪酸的 β -氧化,产生 ATP,给机体供能,减少了组织蛋白分解供能,增加了组织中蛋白的积累;另一方面,*L*-肉碱的添加可以减少内源性肉碱的合成,减少了组织中蛋氨酸和赖氨酸的消耗,提高了氨基酸的利用率,增加了机体氮的储备。

3.3 外源性肉碱对幼鲤血浆生化指标的影响

鱼类血液生理生化指标广泛用于评价机体的新陈代谢水平、健康状况以及营养状况和抗应激能力。血浆中胆固醇、甘油三酯、磷脂、非酯化脂肪酸 4 类脂类物质统称为血脂,其含量在一定程度上代表着全身的脂类代谢状况。外源性肉碱对鱼类血脂水平影响的报道并不一致。Yang 等^[16]对银鲈(*Bidyanus bidyanus*)的研究结果表明,饲料中添加 *L*-肉碱未能降低摄食高脂饲料鱼血浆中总脂、甘油三酯、胆固醇的含量。Dias 等^[3]对欧洲黑鲈、Selcuk^[4]等对虹鳟的研究也得到了相同的结果。但是,*L*-肉碱能够降低陆生动物血清中甘油三酯和胆固醇含量的文献报道较多^[17]。Santulli 等^[18]对黑鲈的研究结果也表明,*L*-肉碱可以降低血浆中甘油三酯和胆固醇的含量。高小强等^[13]对牙鲆的研究表明,饲料中添加 *L*-肉碱可显著降低牙鲆血清中的甘油三酯和胆固醇含量。前人在草鱼上的研究表明,饲料中添加 400 mg/kg *L*-肉碱时,草鱼血清中的甘油三酯和胆固醇含量分别降低 12.60%和 13.62%^[12]。从本试验结果看,外源 *L*-肉碱显著降低幼鲤血浆中总胆固醇和甘油三酯的质量浓度($P < 0.05$),当其添加量为 150 mg/kg 时,幼鲤血浆中总胆固醇质量浓度最低,与对照组比降低了 36.08%,而 *L*-肉碱添加量为 50 mg/kg 时,甘油三酯质量浓度最低,比对照组降低了 50.28%,差异显著($P < 0.05$)。这与高小强等^[13]、黄凯等^[19]的研究结果一致。游离酰基是合成胆固醇的原料,而 *L*-肉碱能有效清除游离酰基,降低动物体内胆固醇的积累^[19]。甘油三酯特别适合作为能量贮存物质,是由甘油和脂肪酸缩合而成,其中脂肪酸分子的长烷链基本上是碳氢化合物,具有高度还原结构,甘油三酯完全氧化所释放出的能量(38 kJ/g)为同样质量的糖类或蛋白质所释放出能量的 2 倍多。但是血浆中甘油三酯、胆固醇含量过高会增加血液黏稠度,降低其运输效率,造成高血脂及脂肪肝,危害鱼类健康。肉碱对脂肪酸的正常代谢极为重要,因为细胞器内脂酰基的完全活化与跨

膜转运均需要肉碱的参与。肉碱作为跨膜载体将脂肪酸以脂酰肉碱的形式从线粒体外转移至膜内,进行 β -氧化,降低血浆中甘油三酯的含量。

尿素氮是机体内蛋白质代谢的主要终末产物。血浆中尿素氮浓度可以准确地反映机体内蛋白质代谢与氨基酸平衡状况,尿素氮浓度下降表明机体氨基酸平衡状况、蛋白质代谢及机体营养状况良好。黄凯等^[19]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浓度降低 11.76%,白蛋白含量升高 37.19%。高小强等^[13]对牙鲆的研究表明,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*-肉碱含量的增加呈下降趋势,添加 1 200 mg/kg *L*-肉碱降低效果最为明显,较对照组降低 34.3%。本试验中,与对照组相比,添加 *L*-肉碱后,幼鲤血浆中尿素氮浓度显著下降,当 *L*-肉碱添加量为 200 mg/kg 时,尿素氮浓度最低,与对照组比较下降了 17.49%;各添加组间血浆中尿素氮浓度差异不显著($P > 0.05$)。另外,与对照组相比,添加 *L*-肉碱后,血浆中白蛋白质量浓度均显著增加,当添加 200 mg/kg *L*-肉碱时,白蛋白质量浓度最高,与对照组比较增加了 32.56%。表明外源性 *L*-肉碱可以降低血浆中尿素氮浓度,增加白蛋白质量浓度,这与 Haji-abadi 等^[20]、Yang 等^[16]、Ozório 等^[21]研究结果一致。外源性肉碱能够减少机体内氨基酸分解代谢,有效调节氨基酸平衡,促进蛋白质沉积,但外源性肉碱对氮代谢的可能作用还需深入研究,另外水生动物外源性肉碱的添加量与血浆中甘油三酯、胆固醇、尿素氮等生化指标的相关关系及其影响因素还不明确,有待进一步研究。

[参考文献]

- [1] Kerner J, Hoppel C. Fatty acid import into mitochondria [J]. Biochim Biophys Acta, 2000, 1486: 1-17.
- [2] Harpaz S. *L*-carnitine and its attributed functions in fish culture and nutrition: A review [J]. Aquaculture, 2005, 249: 3-21.
- [3] Dias J, Arzel J, Corraze G, et al. Effects of dietary *L*-carnitine supplementation on growth and lipid metabolism in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquac Res, 2001, 32: 206-215.
- [4] Selcuk Z, Tiril S U, Alagil F. Effects of dietary *L*-carnitine and chromium picolinate supplementations on performance and some serum parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquac Int, 2010, 18(2): 213-221.
- [5] Ozório R O A. Dietary *L*-carnitine supplementation to cultivated fish: A mini-review [J]. Curr Nutr Food Sci, 2009, 5: 40-48.
- [6] 袁 婴. 动物营养学实验教程 [M]. 北京: 中国农业大学出版

- 社,2006:12-33.
- Yuan Y. Animal nutrition experiment tutorial [M]. Beijing: China Agricultural University Press,2006:12-33. (in Chinese)
- [7] 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.
- Yang Q H,Zhou X Q. Effects of dietary supplemental *L*-carnitine on lipid metabolism in aquatic animals [J]. Feed Review, 2004(5):9-11. (in Chinese)
- [8] 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, 187:153-161.
- [9] Ma J J,Xu Z R,Shao Q J,et al. Effects of dietary supplemental *L*-carnitine on growth performance,body composition and antioxidant status in juvenile black sea bream, *Sparus macrocephalus* [J]. Aquac Nutr,2008,14:464-471.
- [10] Singh R K,Desai A S,Chavan S L,et al. Effects of varying concentrations of *L*-carnitine-incorporated diets on growth and body composition of fry of *Cirrhinus mrigala* (Hamilton, 1822) [J]. Journal of the World Aquaculture Society,2008, 39:275-280.
- [11] 王立新,周继术,杨元昊,等. *L*-肉碱对鲫鱼生长和代谢的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2004,32(10):63-67.
- Wang L X,Zhou J S,Yang Y H,et al. Effects of dietary *L*-carnitine on growth and metabolism of crucian [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed,2004,32(10):63-65. (in Chinese)
- [12] 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.
- Tian J,Leng X J,Li X Q,et al. Effects of dietary carnitine on growth performance,body composition and lipid metabolism enzymes of grass carp,*Ctenopharyngodon idella* [J]. Journal of Fisheries of China,2009,33(2):295-302. (in Chinese)
- [13] 高小强,田青杰,石洪玥,等. 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 [J]. 广东海洋大学学报, 2012,32(1):39-46.
- Gao X Q,Tian Q J,Shi H Y,et al. Effects of dietary *L*-carnitine on growth performance,body composition and blood parameters of Japanese flounder(*Paralichthys olivaceus*) juvenile [J]. Journal of Guangdong Ocean University,2012,32(1): 39-46. (in Chinese)
- [14] Schlechtriem C,Bresler V,Fishelson L,et al. Protective effects of dietary *L*-carnitine on tilapia hybrids (*Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*) reared under intensive pond-culture conditions [J]. Aquac Nutr,2004,10:55-63.
- [15] Ozório R O A, van 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,2001,32:406-414.
- [16] Yang S D,Liu F G,Liou C H. Effects of dietary *L*-carnitine, plant proteins and lipid levels on growth performance, body composition, blood traits and muscular carnitine status in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*) [J]. Aquaculture, 2012,342/343:48-55.
- [17] Rebouche C J. Carnitine function and requirements during the life cycle [J]. The FASEB Journal,1992,6:3379-3386.
- [18] Santulli A,Modica A,Curatolo A,et al. Carnitine administration to sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) during feeding on a fat diet: Modification of plasma lipid levels and lipoprotein pattern [J]. Aquaculture,1988,68:345-351.
- [19] 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.
- Huang K,Chen T,Zhan G,et al. Effects of dietary *L*-carnitine on growth,fat content and biochemical indexes of blood of tilapia (*Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*) [J]. Journal of Shanghai Ocean University,2010,19(2):201-206. (in Chinese)
- [20] Jalali Haji-abadi S M A, Soofiani N M, Sadeghi A A, et al. Effect of supplemental dietary *L*-carnitine and ractopamine on the performance of juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture Research,2010,41:1582-1591.
- [21] Ozório R O A,Booms G H R,Huisman E A,et al. Changes in amino acid composition in the tissues of African catfish (*Clarias gariepinus*) as a consequence of dietary *L*-carnitine supplements [J]. Journal of Applied Ichthyology,2002,18: 140-147.