

文章编号:1000-0615(2009)02-0295-08

肉碱对草鱼生长性能、体成分和脂肪代谢酶活性的影响

田娟¹, 冷向军¹, 李小勤¹, 李家乐¹, 文华², 刘昌盛¹

(1. 上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 荆州 434000)

摘要:在基础饲料中分别添加 100、200、300 和 400 mg/kg DL-肉碱, 饲喂平均体重 (134.3 ± 12.1) g 的草鱼 8 周, 以增重率、饲料系数 (FCR)、肌肉和肝胰脏中基本成分含量、肠道脂肪消化酶、肝胰脏脂蛋白脂酶 (LPL)、肝脂酶 (HL) 和脂肪酸合成酶 (FAS) 等指标为判据, 研究肉碱对草鱼生长性能、体成分和脂肪代谢酶活性的影响。结果表明, 添加 200 mg/kg 肉碱提高鱼体增重率 5.70% ($P < 0.05$), 降低 FCR 5.26% ($P < 0.05$); 添加 200 ~ 400 mg/kg 肉碱显著降低了肌肉和肝胰脏中的脂肪含量 ($P < 0.05$); 当肉碱添加量为 300 mg/kg 时, 肌肉蛋白含量最高; 肉碱对肌肉水分和灰分、肝胰脏的蛋白含量无影响 ($P > 0.05$); 添加 200、400 mg/kg 肉碱显著降低了血清胆固醇含量 ($P < 0.05$); 在脂肪代谢酶活性方面, 200 mg/kg 肉碱组肠道脂肪消化酶和 HL 活性较对照组提高 28.0%、38.6% ($P < 0.05$); 添加 400 mg/kg 肉碱提高肠道脂肪消化酶、HL 及总脂酶活性 41.41%、36.26%、10.66% ($P < 0.05$), 降低 FAS 活性 47.3% ($P < 0.05$)。综上所述, 适量肉碱能改善草鱼生长性能、降低肌肉和肝胰脏脂肪含量及促进脂肪降解。建议草鱼饲料中肉碱添加量为 200 mg/kg。

关键词:草鱼; 肉碱; 脂肪代谢酶; 生长性能; 体成分

中图分类号:S 963.73; S 965.112

文献标识码:A

在集约化养殖条件下, 由于大量摄入配合饲料及缺少运动, 养殖鱼类普遍出现体脂肪含量较高的特点, 这一方面降低了鱼肉品质和风味, 另一方面也增加了养殖成本, 因此在鱼类饲料中添加降脂因子, 降低其体组织脂肪的蓄积成为近几年水产动物营养与饲料学的研究热点。肉碱是一种具有多种生理功能的添加剂, 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, 是转化脂肪生成能量的关键。目前肉碱已在一些鱼类饲料中得到了应用, 对真鲷 (*Pagrus major*)^[1]、鲤 (*Cyprinus carpio*)^[2] 的研究发现, 饲料中添加 150 ~ 200 mg/kg 肉碱可以促进鱼类生长, 提高饲料转化率, 降低肝胰脏和肌肉中的脂肪含量; 在军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[3] 饲料中添加肉碱则未能改善鱼类的生长和饲料利用情

况, 但促进了脂肪的代谢。

草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 是我国重要的养殖经济鱼类, 其体脂含量增加及脂肪肝的发生表现较为突出, 目前仅见林仕梅等^[4-5] 报道了肉碱对草鱼生长和代谢强度的影响, 但未涉及对脂肪代谢的影响。因此本试验选用草鱼作为研究对象, 在饲料中添加不同浓度的肉碱, 考察其对草鱼生长性能、肌肉和肝胰脏成分及脂肪代谢酶活性的影响, 为肉碱在水产饲料中的合理应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验设计与饲料 在基础饲料 (对照组) 中分别添加 100、200、300 和 400 mg/kg DL-肉碱

收稿日期: 2008-04-25 修回日期: 2008-08-21

资助项目: “十一五”科技支撑计划 (2006BAD03B03); 上海市重点学科建设项目 (Y1101); 上海市科委基础重大专项 (06DJ14003); 上海市教委发展基金 (06KZ002)

通讯作者: 李小勤, E-mail: xqli@shou.edu.cn

(均指纯肉碱含量,所用肉碱购于北京桑普生物化学技术有限公司,含量20%),共5个处理组,每处理组3重复。基础饲料组成及营养指标见表1。各原料过40目筛,逐级混匀,加工成为粒径2 mm,长度3 mm的沉性颗粒料,晾干后于4℃冰箱中保存备用。

试验用鱼 试验用草鱼平均体重(134.3 ± 12.1) g,由上海海洋大学特种养殖场提供,取450尾体质健壮个体,随机分配于15口水泥池中(3 m × 1.5 m × 1.2 m,水深0.6 m),每池30尾。

饲养管理 正式试验开始前对草鱼进行为期2周的驯养,以适应试验饲料和环境,正式试验时,按照鱼体重3%左右确定投饲量(根据摄食情况调整,以投饲后当场吃完为宜),每天分3次投喂(8:00、12:30、16:30);每3天通过虹吸清理水池污物,试验池昼夜充气,饲养试验期间水温26.5~31.5℃,溶氧6.5~8.3 mg/L,pH 6.9~7.6,饲养时间为8周。饲养试验于2007年8~10月在上海海洋大学特种养殖场进行。

表1 基础饲料组成与营养成分
Tab.1 Ingredients and nutrients composition of basal diet

基础饲料 ingredients	百分含量 percent	营养成分 nutrients composition	百分含量 percent
豆粕 soybean meal	23	水分 moisture	8.46
棉籽粕 cottonseed meal	8	粗蛋白 crude protein	31.36
菜籽粕 rapeseed meal	25	灰分 ash	8.58
小麦麸 wheat bran	12.25	粗脂肪 crude fat	4.96
鱼粉 fish meal	3	蛋氨酸 Met	0.42
次粉 wheat middle	23.5	赖氨酸 Lys	1.40
鱼油 fish oil	1		
豆油 soybean oil	1		
胆碱 choline chloride	0.5		
维生素预混料 vitamin premix	0.25		
矿物元素预混料 mineral premix	0.5		
磷酸二氢钙 monocalcium phosphate	2		
总计 total	100		

注:维生素预混料和微量元素预混料添加量为(mg/kg饲料)[contain vitamin premix and mineral element premix as (mg/kg diet)]
V_A 6 000 IU/kg, V_D 2 000 IU/kg, V_E 50, V_K 5, V_{B1} 15, V_{B2} 15, V_{B3} 25, V_{B5} 30, V_{B6} 10, V_{B7} 0.2, V_{B11} 3, V_{B12} 0.03, inositol 100, V_C 100; Zn 80, Fe 150, Cu 4, Mn 20, I 0.4, Co 0.1, Se 0.1, Mg 100

1.2 试验方法

样品制备 养殖8周后,鱼体饥饿24 h,以池为单位称重,每池随机取鱼3尾,测量体长、体高,称个体重,从尾静脉采血(添加肉碱0、200、400 mg/kg组),3 000 r/min离心10 min,制得血清,置-70℃冰箱以备分析。所有处理组采样鱼解剖后称肝胰脏重、肠系膜脂肪重,迅速取出肝胰脏、前肠、肌肉(第1根背鳍至最后1根背鳍之间,侧线以上白肌),置-70℃冰箱中保存待测。

粗酶液制备 (添加肉碱0、200、400 mg/kg组)每尾鱼取1.0 g肠道加入9倍体积4℃双蒸水,冰浴匀浆(10 000 r/min,10秒/次,连续4次),3 000 r/min离心10 min,取上清测肠道脂肪消化酶活性;取0.1 g肝胰脏加入9倍体积4℃生理盐水,用同上方法制备粗酶液,测定脂蛋白脂酶和肝脂酶活性;脂肪酸合成酶粗酶液的制备方

法为:将鱼致死,立刻取1.0 g肝胰脏,加2 mL抽提液^[6]匀浆,冷冻离心50 min(20 000 r/min,4℃),上清液于-70℃冰箱冻存。

测定指标及方法 根据下列公式计算以下指标:增重率(%) = $(W_1 - W_0)/W_0 \times 100$ W₁为末重,W₀为初重;特定生长率(%/d) = $(\ln W_f - \ln W_i) \times 100/56$,其中,W_i和W_f分别表示初始尾均重和结束尾均重(g),56是试验天数;饲料系数 = 投饲量/增重量;成活率(%) = 成活尾数/总尾数 × 100;肥满度K = 个体重(g)/体长(cm);体长/体高比 = 体长/体高;肝胰脏体重比(%) = 肝胰脏重/体重 × 100;肠脂比(%) = 肠系膜脂肪重/体重 × 100。

粗蛋白质采用凯氏定氮法(GB/T5009.5);粗脂肪参照Folch等的氯仿-甲醇抽提法^[7];粗灰分采用灰化法(GB/T5009.4);肌肉水分采用105

℃衡重法(GB/T5009);肝胰脏水分采用冷冻干燥法,使用LABCONCO型冷冻干燥机,冷冻干燥48 h,温度低于-46℃,真空度小于133。

血清甘油三酯和胆固醇的测定分别采用GPO-PAP法和CHOD-PAP法。肝胰脏肝脂酶、脂蛋白脂酶采用化学比色法,其活力单位定义为每克肝胰脏每小时产生1 μmol的游离脂肪酸为1个酶活性单位(U/g),其中总脂酶活性=脂蛋白脂酶活性+肝脂酶活性。以上指标测定采用南京建成生物技术有限公司生产的测试盒。

肝胰脏脂肪酸合成酶(FAS)的测定根据Tian等的方法^[8],于含有1 mmol/L EDTA的pH 7.0,0.1 mol/L KH₂PO₄-K₂HPO₄缓冲液中进行,底物浓度为乙酰CoA 6 μmol/L,丙二酰CoA 12 μmol/L,NADPH 37.5 μmol/L,体积2 mL,于37℃温浴5 min,加入0.05 mL上清液启动酶反应,于340 nm波长(1 cm光径)下连续监测吸光度变化,每隔30 s记录一次,时间为3 min。计算出每分钟吸光度变化值。FAS的活性单位定义为每克肝胰脏每分钟氧化14 nmol NADPH的酶量(U/g)。

肠道脂肪消化酶采用聚乙烯醇橄榄油法^[9],

并参考方之平等^[10]的研究,其活力单位定义为在pH 7.3,30℃条件下,每分钟每克肠组织分解脂肪产生1 μmol脂肪酸为一个活性单位(U/g)。

1.3 数据统计

试验结果用(平均数±标准差)表示,经方差分析之后,采用Duncan氏多重比较法分析试验结果平均数的差异显著性,差异显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 肉碱对草鱼生长性能的影响

经8周养殖试验,饲料中添加肉碱对草鱼生长性能的影响见表2。草鱼摄食添加200 mg/kg肉碱饲料后增重率、特定生长率最高,饲料系数最低,增重率较对照组提高5.70% ($P < 0.05$),饲料系数下降5.26% ($P < 0.05$);添加100、300 mg/kg肉碱对增重率无显著影响($P > 0.05$);当肉碱添加量大于200 mg/kg后,随肉碱添加量增加,草鱼增重率呈下降趋势,饲料系数呈上升趋势,其中添加400 mg/kg肉碱组饲料系数较对照组提高了3.95% ($P < 0.05$);各处理组成活率均为100%。

表2 肉碱对草鱼生长的影响

Tab.2 Effect of supplemental carnitine on the growth performance of grass carp

指标 index	肉碱添加量(mg/kg) carnitine supplement				
	0	100	200	300	400
平均初尾重(g) initial weight	134.33 ± 10.2	134.77 ± 9.8	134.88 ± 10.7	134.66 ± 10.3	134.94 ± 10.4
平均末尾重(g) final weight	347.23 ± 11.9 ^a	352.00 ± 11.5 ^a	361.28 ± 10.4 ^b	349.40 ± 10.8 ^a	347.39 ± 11.7 ^a
增重率(%) growth rate	158.29 ± 5.89 ^a	161.38 ± 3.81 ^{ab}	167 ± 4.04 ^b	159.45 ± 1.41 ^a	157.43 ± 3.36 ^a
特定生长率(%/d) SGR	1.69 ± 0.04 ^a	1.72 ± 0.02 ^{ab}	1.76 ± 0.02 ^b	1.70 ± 0.01 ^a	1.69 ± 0.02 ^a
饲料系数 FCR	1.52 ± 0.04 ^b	1.48 ± 0.04 ^{ab}	1.44 ± 0.01 ^a	1.51 ± 0.02 ^b	1.58 ± 0.03 ^c
成活率(%) survival rate	100	100	100	100	100

注:同行上标小写字母不同代表显著差异($P < 0.05$),以下各表同

Notes: Figures in the same row with different letters indicated significantly different ($P < 0.05$), the same as following tables

2.2 肉碱对草鱼形体指标和内脏指数的影响

饲料中添加100~400 mg/kg肉碱,显著降低了肝胰脏体重比($P < 0.05$);随肉碱添加量增加,鱼体肠脂比呈下降趋势,添加量为200~400 mg/kg各组均较对照组显著下降($P < 0.05$)。各处

理组在体长/体高、肥满度 K 方面无显著差异($P > 0.05$)(表3)。

2.3 肉碱对草鱼肌肉和肝胰脏营养成分的影响

各组草鱼肌肉和肝胰脏成分见表4。各组草鱼肌肉的水分、灰分含量无显著差异($P > 0.05$),

但脂肪含量随肉碱添加量的增加而降低,当肉碱添加量为 200、300、400 mg/kg 时,肌肉脂肪含量较对照组分别降低了 7.32%、12.20%、18.70% ($P < 0.05$);蛋白含量则随着肉碱添加量增加而增加,其中当肉碱添加量为 300 mg/kg 时,肌肉蛋白含量较对照组增加了 7.58% ($P < 0.05$)。

随饲料中肉碱添加量的增加,肝胰脏水分含量呈上升趋势,脂肪含量则呈下降趋势。与对照组相比,添加肉碱 200、300 和 400 mg/kg 组的肝胰脏水分含量分别上升了 4.34%、7.66%、

9.37% ($P < 0.05$);脂肪含量则分别下降了 12.88%、24.72%、37.35% ($P < 0.05$);饲料中添加肉碱不影响肝胰脏中的蛋白含量 ($P > 0.05$)。

2.4 肉碱对血清甘油三酯和胆固醇含量的影响

由表 5 可见,饲料中添加 400 mg/kg 肉碱,显著降低了血清甘油三酯含量 ($P < 0.05$),但添加 200 mg/kg 肉碱组,血清甘油三酯较对照组升高了 10.83% ($P < 0.05$);饲料中添加 200、400 mg/kg 肉碱后,草鱼血清胆固醇含量较对照组分别降低了 11.54%、13.62% ($P < 0.05$)。

表 3 肉碱对草鱼形体指标和内脏指数的影响

Tab. 3 Effect of supplemental carnitine on figure and visceral index of grass carp

指标 index	肉碱添加量(mg/kg) carnitine supplement				
	0	100	200	300	400
体长/体高 length / height	4.24 ± 0.20	4.35 ± 0.13	4.38 ± 0.19	4.35 ± 0.28	4.28 ± 0.13
肥满度 K condition factor K	13.58 ± 0.27 ^{ab}	13.33 ± 0.50 ^a	14.00 ± 0.54 ^b	13.93 ± 0.28 ^b	13.54 ± 0.76 ^{ab}
肝胰脏体重比(%) hepatopancreas weight/ body weight	3.46 ± 0.41 ^a	2.73 ± 0.36 ^b	2.77 ± 0.25 ^b	2.70 ± 0.28 ^b	2.76 ± 0.31 ^b
肠脂比(%) mesenteric lipid index	1.32 ± 0.27 ^a	1.24 ± 0.15 ^{ab}	1.18 ± 0.16 ^b	1.09 ± 0.18 ^b	1.07 ± 0.16 ^b

表 4 肉碱对草鱼肌肉和肝胰脏成分的影响

Tab. 4 Effect of supplemental carnitine on muscle and hepatopancreas composition of grass carp %

指标 index	肉碱添加量(mg/kg) carnitine supplement					
	0	100	200	300	400	
肌肉 muscle	水分 moisture	77.67 ± 0.68	77.46 ± 0.87	77.17 ± 0.83	77.22 ± 0.68	77.21 ± 0.40
	灰分 ash	1.38 ± 0.06	1.40 ± 0.09	1.38 ± 0.08	1.34 ± 0.08	1.42 ± 0.09
	粗蛋白 crude protein	21.49 ± 0.98 ^a	22.00 ± 0.84 ^{ab}	22.43 ± 0.98 ^{ab}	23.12 ± 0.84 ^b	22.86 ± 0.88 ^{ab}
肝胰脏 hepatopan-creas	粗脂肪 crude fat	1.23 ± 0.07 ^a	1.18 ± 0.07 ^{ab}	1.14 ± 0.06 ^b	1.08 ± 0.06 ^c	1.00 ± 0.08 ^c
	水分 moisture	65.81 ± 1.25 ^a	67.61 ± 0.79 ^{ab}	68.67 ± 0.42 ^b	70.85 ± 0.28 ^c	71.98 ± 0.87 ^c
	粗蛋白 crude protein	17.47 ± 0.33	17.56 ± 0.65	17.37 ± 0.45	17.44 ± 0.37	17.63 ± 0.49
	粗脂肪 crude fat	15.45 ± 0.50 ^a	14.67 ± 0.61 ^{ab}	13.46 ± 0.48 ^b	11.63 ± 0.32 ^c	9.68 ± 0.69 ^d

表 5 肉碱对草鱼血清甘油三酯和胆固醇的影响

Tab. 5 Effect of supplemental carnitine on serum triglyceride and cholesterol of grass carp mg/dL

指标 index	肉碱添加量(mg/kg) carnitine supplement		
	0	200	400
血清甘油三酯 serum triglyceride	390.03 ± 41.09 ^b	432.26 ± 30.20 ^c	340.89 ± 32.06 ^a
血清胆固醇 serum cholesterol	241.93 ± 34.71 ^a	214.01 ± 7.52 ^b	208.88 ± 14.29 ^b

2.5 肉碱对脂肪代谢酶活性的影响

肉碱对脂肪代谢酶活性的影响见表 6。在肝脏脂肪代谢酶方面,与对照组相比,添加 200 mg/kg 肉碱显著降低了脂蛋白脂酶(LPL)活性,增加了肝脂酶(HL)活性($P < 0.05$),但对总脂酶

(脂蛋白脂酶 + 肝脂酶)和脂肪酸合成酶(FAS)活性没有影响($P > 0.05$);添加 400 mg/kg 肉碱对 LPL 活性没有影响($P > 0.05$),但显著增加了 HL、总脂酶活性($P < 0.05$),降低 FAS 活性 47.3% ($P < 0.05$)。

表 6 肉碱对脂肪代谢酶活性的影响

Tab.6 Effect of supplemental carnitine on lipid metabolism enzymes of grass carp

指标 index		肉碱添加量(mg/kg) carnitine supplement		
		0	200	400
肝脏 hepatopancreas	脂蛋白脂酶 lipoprotein lipase	24.77 ± 3.66 ^a	19.57 ± 3.73 ^b	25.88 ± 3.43 ^a
	肝脂酶 hepatic lipase	22.45 ± 2.17 ^a	31.13 ± 5.63 ^b	30.59 ± 2.78 ^b
	总脂酶 total lipase	47.08 ± 3.58 ^a	49.93 ± 2.86 ^{ab}	56.10 ± 4.23 ^b
	脂肪酸合成酶 fatty acid synthetase	132.85 ± 20.91 ^a	124.71 ± 13.89 ^a	69.98 ± 18.24 ^b
肠道 intestine	脂肪消化酶 lipase activity	16.47 ± 0.71 ^a	21.09 ± 1.20 ^b	23.29 ± 1.42 ^c

在肠道脂肪消化酶方面,饲料中添加 200、400 mg/kg 肉碱后,草鱼脂肪消化酶活性较对照组分别提高了 28.05%、41.41% ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 肉碱对鱼类生长性能的影响

在饲料中添加 L-肉碱可提高鲈 (*Morone saxatilis* ♂ × *M. chrysops* ♀) [11]、鲤 [2] 鱼体增重率,改善鲫 (*Carassius auratus*) [12] 对饲料的利用效率。本试验中草鱼摄食添加 200 mg/kg 肉碱饲料后得到与上述报道一致的结果。一方面肉碱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,可促进脂肪的氧化供能,产生节约蛋白质的效应;另一方面饲料中添加肉碱可起到节省蛋氨酸用量的作用,这被认为是肉碱促进生长的主要原因。但也有报道认为饲料中添加肉碱对鱼类生长和饲料系数并无影响,如罗非鱼 (*Oreochromis nilotica* × *O. aurea*) [13]、军曹幼鱼 [3]、鲤 [14] 和大西洋鲑 (*Salmo salar*) [15] 等。这表明肉碱对鱼类生长的作用效果受多种因素影响,如品种、生长阶段、饲料组成与营养水平、肉碱构型等。一般认为肉碱对幼鱼的作用效果较成鱼明显,这是因为成鱼能合成较充足肉碱,而幼鱼的合成量有限。同时肉碱有 D 型、L 型和消旋型 (DL-混合型) 之分,一般认为只有 L-肉碱才具有

生理活性。

本试验中添加 200 mg/kg 肉碱能促进草鱼生长,降低饲料系数,但当添加量大于 300 mg/kg 时,草鱼增重率较对照组并无改善,且肉碱添加量为 400 mg/kg 时饲料系数显著升高。在罗非鱼的研究中同样发现,添加 150 mg/kg 肉碱能促进鱼体生长、提高饲料效率,但添加 300 mg/kg 肉碱则无改善作用 [16];在对露斯塔野鲮 (*Labeo rohita*) 的研究中也得到类似结果 [17];在鲫饲料中添加 50 mg/kg L-肉碱可改善生长性能,当添加量达 200 mg/kg 时,相对生长率和饲料效率则降低了 17.01%、11.76% [12]。这表明在鱼类饲料中添加肉碱量具有一个适宜范围,添加剂量过高反而对生长不利。可能是因为肉碱能提高草鱼代谢强度 [5],使鱼类活动增加,过高浓度的肉碱使运动消耗增加,减少了用于生长的能量。在养殖过程中亦观察到 400 mg/kg 组的鱼行为活跃,游动较多。

3.2 肉碱对鱼体成分的影响

肉碱对鱼类生长影响的报道虽不一致,但在降低鱼体脂肪含量方面却取得了较为一致的结果。在淡水白鲮 (*Colossoma brachypomum*) 饲料中添加 100 ~ 250 mg/kg 肉碱,鱼体脂肪含量较对照组下降了 25% ~ 29.69% [18];在鲤的研究中,添加 200 mg/kg 肉碱降低肌肉脂肪含量 49.29% [2]。

本试验中,肉碱能降低肌肉脂肪含量,最大幅度达18.70%。此外,一些研究还表明,饲料中添加肉碱能增加鱼体肌肉蛋白含量,这在淡水白鲮^[18]、鲤^[2]、斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*)^[19]等鱼类已有研究报道。本试验中,添加300 mg/kg肉碱肌肉蛋白含量较对照组显著增加,与上述报道一致。表明肉碱可使鱼体脂肪含量降低,蛋白质含量增加,改善肌肉品质。

肉碱不仅可降低肌肉脂肪含量,对降低肝胰脏脂肪含量也有明显效果。在罗非鱼饲料中添加200、400 mg/kg DL-肉碱,可降低肝胰脏脂肪含量12.60%、19.13%^[13];在舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[20]和杂交条纹狼鲈(*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)^[21]上也有类似报道。本试验中添加肉碱200、300和400 mg/kg,使得草鱼肝胰脏脂肪含量分别下降了12.88%、24.72%、37.35%,可见肉碱能降低肝胰脏脂肪含量,这为肉碱预防鱼类脂肪肝的发生提供了理论依据。

3.3 肉碱对脂肪代谢酶的影响

肠道脂肪消化酶的活性是反映肠道脂肪消化能力的重要指标,在生长肥育猪(*Duroc* × *Yorkshire White*)饲料中添加100 mg/kg L-肉碱,其肠道脂肪消化酶活性提高了360.86%^[22]。目前关于肉碱对鱼类肠道脂肪消化酶活性的影响还未见报道。本试验中,添加200、400 mg/kg肉碱,提高了草鱼肠道脂肪消化酶活性28.05%、41.41%,与在猪上的研究一致。这表明,肉碱具有提高肠道脂肪消化酶活性的作用,其原因可能与脂肪分解的加强,肌肉、肠系膜脂肪蓄积的降低所导致的对机体脂肪需求的增加有关。

肝胰脏是鱼类进行脂肪酸 β 代谢和调节脂肪蓄积的主要器官,其脂肪分解酶主要包括脂蛋白脂酶(LPL)和肝脂酶(HL),合称总脂酶。LPL主要催化血浆中乳糜微粒和极低密度脂蛋白中的甘油三酯水解,控制其在各组织的含量,决定从饲料中摄入脂类的代谢途径(以体脂形式贮备或作为能源底物消耗)^[23-24]。在中华鳖(*Trionyx sinensis* Wiegmann)饲料中添加100 mg/kg肉碱,肌肉和脂肪LPL活性较对照组分别提高了27.08%、13.18%^[25]。本试验中,200 mg/kg肉碱组肝胰脏LPL活性较对照组下降了21%,血清甘油三酯含量上升10.83%,而添加400 mg/kg肉碱提高了LPL活性4.48%,血清甘油三酯

含量下降12.60%,添加肉碱对LPL活性、血清甘油三酯的影响并未表现出规律性变化,肉碱与LPL活性、甘油三酯之间的关系有待进一步探讨。HL在肝胰脏中合成,具多种脂酶活性,可作为配体促进低密度脂蛋白和乳糜微粒残粒进入肝细胞,并直接参与高密度脂蛋白胆固醇的逆转运和高密度脂蛋白残粒的分解^[26]。关于肉碱对肝胰脏HL活性的影响目前尚未见报道,本试验中,添加200、400 mg/kg肉碱提高草鱼HL活性38.6%、36.26%,血清胆固醇含量下降11.54%、13.62%,同时提高总脂酶活性4.72%、19.16%。这表明肉碱可提高肝脂酶和总脂酶活性,促进肝胰脏脂肪降解。

乙酰CoA经7次酶促反应合成棕榈酸,这是脂肪酸合成的关键步骤,脂肪酸合成酶(FAS)是催化这一系列反应的复合酶,其活性高低控制着体内脂肪合成的强弱,影响机体脂肪含量。草鱼饥饿28 d后,其肌肉和肝胰脏FAS活性分别下降了74.81%、71.56%^[27]。肉碱对鱼类FAS活性的影响国内尚未见报道。本试验中,饲料中添加200 mg/kg肉碱对肝胰脏FAS活性无显著影响,但添加量为400 mg/kg时其活性则降低了47.3%,表明添加适量肉碱能抑制脂肪酸合成。

本次研究表明,随饲料中肉碱添加量的增加,脂肪代谢过程中的分解酶活性升高,合成酶活性降低,使得肠系膜、肌肉和肝胰脏脂肪含量下降,这一结果为阐明肉碱的作用机理提供了直接依据,表明肉碱可通过调节脂肪代谢酶的活性,来维持机体脂肪代谢的动态平衡,但是肉碱调节脂肪代谢酶活性的机制目前并不清楚,有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] Chatzifotis S, Takeuchi T, Seikai T. The effect of carnitine supplementation on growth of red sea bream fingerlings at two levels of dietary lysine[J]. *Aquaculture*, 1996, 147: 235-248.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 林仕梅, 叶元土, 罗 莉. 鱼虾四号和肉碱对草鱼生长的影响[J]. 饲料研究, 2001, 8: 24-25.
- [5] 林仕梅, 罗 莉, 叶元土, 等. 肉碱对草鱼代谢强度的影响[J]. 西南农业大学学报, 2001, 23(4): 343-346.
- [6] 李伟国. 饲料脂肪源对中华绒螯蟹生长、体脂沉积和 FAS 的影响[D]. 武汉: 华中农业大学硕士论文, 2005.
- [7] Folch J, Lees M, Stanley G S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226: 497-509.
- [8] Tian W X, Robert Y H, Yang S W. Studies on the reactivity of the essential sulfhydryl groups as a conformational probe for the fatty acid synthetase of chicken liver[J]. Journal of Biological Chemistry, 1985, 260: 11375-11387.
- [9] 中山大学生化系生化微生物教研室. 生化技术导论[M]. 北京: 科学出版社, 1957: 57-62.
- [10] 方之平, 潘黔生, 何瑞国, 等. 温度对彭泽鲫主要消化酶活力的影响[J]. 水利渔业, 1998, 2: 15-17.
- [11] Twibeli R, Brown P. Effect of dietary carnitine on growth rates and body composition of hybrid striped bass (*Morone saxatilis* ♀ × *M. chrysops* ♂) [J]. Aquaculture, 2000, 187: 153-161.
- [12] 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.
- [13] 杜震宇, 刘永坚, 田丽霞, 等. 添加不同构型肉碱对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.
- [14] 蔡雪峰, 罗 琳, 薛 敏, 等. 添加不同的促生长剂对鲤鱼生长和鱼体成分的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2003, 30(6): 27-29.
- [15] Hong J, Terence M, George C. Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed L-carnitine exhibit altered intermediary metabolism and reduced tissue lipid, but not change in growth rate-1, 2, 3[J]. Journal of Nutrition, 1996, 126(8): 1937-1950.
- [16] 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: 313-322.
- [17] 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.
- [18] 向 泉, 蒋扬玲, 何 敏, 等. L-肉碱和碘化酪蛋白对淡水白鲢生长的影响[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2003, 25(5): 456-459.
- [19] Burtle G J. Effect of dietary L-carnitine supplements on growth and muscle lipid fingerling Channel catfish [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1993, 24: 200-208.
- [20] Santulli A, D'Amelio V. Effect of supplemental dietary carnitine on growth and lipid metabolism of hatchery-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) [J]. Aquaculture, 1986, 59: 177-186.
- [21] Gaylord T G, Cratlin D M. Dietary lipid level but not L-carnitine affects growth performance of hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *Morone saxatilis*) [J]. Aquaculture, 2000, 190: 237-246.
- [22] 高顺宾, 吴天星. 左旋肉碱对生长肥育猪消化酶活力的影响[J]. 动物营养学报, 2003, 4: 54-58.
- [23] Auwerx J, Leroy P, Schoonjans K. Lipoprotein lipase: recent contributions from molecular biology [J]. Crit Rev Clin Lab Sci, 1992, 29(3-4): 243-68.
- [24] Zechner R. The tissue-specific expression of lipoprotein lipase: implications for energy and lipoprotein metabolism [J]. Current Opinion in Lipidology, 1997, 8(2): 77-88.
- [25] 占秀安, 许梓荣. 肉碱对中华鳖脂肪代谢的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28(1): 70-73.
- [26] Choi S Y, Goldberg I J, Curtiss L K, et al. Interaction between ApoB and hepatic lipase mediates the uptake of ApoB-containing lipoproteins [J]. Journal of Biological Chemistry, 1998, 273(32): 20456-20462.
- [27] 朱大世. 饥饿和不同脂肪源对草鱼体脂含量及脂肪酸合成酶的影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学硕士论文, 2005.

Effect of dietary carnitine on growth performance, body composition and lipid metabolism enzymes of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*

TIAN Juan¹, LENG Xiang-jun¹, LI Xiao-qin¹, LI Jia-le¹, WEN Hua², LIU Chang-sheng¹

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Resource,
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou 434000, China)

Abstract: An experiment was conducted to investigate the effect of dietary carnitine on growth performance, body composition and lipid metabolism enzymes of grass carp *Ctenopharyngodon idella*. The basal diet contained 31.36 % crude protein and 4.96 % crude fat. Five dietary treatments contained DL-carnitine concentrations of either 0 (control group), 100, 200, 300 or 400 mg/kg diet. Dietary treatments were fed to apparent satiation third daily to triplicate groups of initially weighting (134.3 ± 12.1) g per fish. Growth rate, feed conversion rate (FCR), crude fat and protein content of muscle and hepatopaneas, activities of intestine lipase, lipoprotein lipase (LPL), hepatic lipase (HL), total lipase and fatty acid synthase (FAS) were measured. At the end of the 8-week feeding trial, growth rate of fish fed with 200 mg/kg carnitine diet was increased by 5.70 % and FCR was decreased by 5.26 % compared with control group ($P < 0.05$), but no improvement was observed in other carnitine addition groups. hepatopaneas weight/body weight, mesenteric lipid index and crude fat content of muscle and hepatopaneas were decreased ($P < 0.05$), but length/height and condition factor K were not affected by adding carnitine of 200–400 mg/kg diet ($P > 0.05$). Muscle protein content was the highest at 300 mg/kg diet group. There were no significant difference in moisture and crude ash content of muscle, and protein content of hepatopaneas among all groups ($P > 0.05$). Fish fed with 200, 400 mg/kg carnitine diet, a lower concentration of serum cholesterol than the control group ($P < 0.05$). In the respect of lipid metabolism enzymes, the addition of 200 mg/kg carnitine increased intestine lipase activity, HL activity by 28.0%, 38.6% ($P < 0.05$), which were also increased by 41.41%, 36.26% by the addition of 400 mg/kg carnitine. At the same time, total lipase activity were increased by 10.66%, and FAS activity decreased by 47.3% by the addition of 400 mg/kg carnitine ($P < 0.05$). Results of above show that the addition of carnitine could improve the growth performance, decrease muscle and hepatopaneas fat content, promote lipid degradation. The proper dose of carnitine in grass carp diet was suggested to be 200 mg/kg.

Key words: *Ctenopharyngodon idella*; carnitine; lipid metabolism enzymes; growth performance; body composition