

文章编号: 1000-0615(2018)12-1927-13

DOI: 10.11964/jfc.20170910961

## 不同脂肪条件下添加牛磺酸对鲤生长性能、体成分、肝胰脏生化指标及抗氧化能力的影响

向 泉<sup>1\*</sup>, 曾本和<sup>1,2</sup>, 周兴华<sup>1</sup>, 陈 建<sup>1</sup>, 王文娟<sup>1</sup>

(1. 西南大学动物科学学院, 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室,

水产科学重庆市市级重点实验室, 重庆 402460;

2. 西藏自治区农牧科学院水产研究所, 西藏自治区拉萨 850000)

**摘要:** 为探索不同脂肪条件下添加牛磺酸对幼鲤生长性能、体成分、肝胰脏生化指标及抗氧化能力的影响, 实验在脂肪水平为4.65%和10.22%(高脂水平)的饲料中分别添加0、400、800和1 600 mg/kg的牛磺酸, 配制成8种等氮等能实验饲料。以720尾初始体质量为(1.17±0.01) g的健康幼鲤为实验对象, 随机分为8组, 每组3个重复, 每个重复30尾实验鱼, 分别投喂8种实验饲料, 养殖时间为56 d。结果发现, 未添加牛磺酸时, 4.65%脂肪组幼鲤增重率(WGR)、特定生长率(SGR)和蛋白质效率(PER)显著高于10.22%脂肪组, 而FCR显著低于10.22%脂肪组。添加牛磺酸后, 4.65%和10.22%脂肪组中幼鲤的WGR、SGR和PER均显著提高, FCR显著降低; 且随着牛磺酸添加量的提高, 幼鲤WGR、SGR和PER均呈先升高后趋于稳定的变化趋势, 且均在牛磺酸添加量为800 mg/kg时最大; FCR则均呈先降低后趋于稳定的变化趋势, 均在牛磺酸添加量为800 mg/kg时最小; 牛磺酸添加量大于800 mg/kg时, 10.22%脂肪组幼鲤WGR、SGR和PER显著高于4.65%脂肪组, 而FCR则显著低于4.65%脂肪组。幼鲤肝胰脏中总胆固醇及甘油三酯均随牛磺酸添加量的升高而呈逐渐降低的变化趋势, 但在4.65%脂肪组中差异不明显, 而10.22%脂肪组中差异显著, 随着牛磺酸添加量的提高, 幼鲤的肥满度均呈先增大后趋于稳定的变化趋势, HSI、VSI则均呈先降低后趋于稳定的变化趋势; 幼鲤体组织中粗蛋白质含量呈先升高后趋于稳定的变化趋势, 粗脂肪含量呈先降低后趋于稳定的变化趋势; 幼鲤肝胰脏中SOD、CAT活性均呈先升高后降低的变化趋势, 且SOD、CAT活性均在牛磺酸添加量为800 mg/kg时最强; 而MDA含量则呈降低的变化趋势, 且MDA均在牛磺酸添加量为1 600 mg/kg时最低。研究表明, 添加800~1 600 mg/kg牛磺酸可显著提高幼鲤对饲料脂肪的利用率, 促进其生长, 减少体内的脂肪沉积, 改善肌肉品质, 提高机体的抗氧化能力。

**关键词:** 鲤; 牛磺酸; 生长性能; 体成分; 生化指标; 抗氧化能力

**中图分类号:** S 963.7

**文献标志码:** A

在水产集约化养殖中, 人们通常通过提高饲料脂肪水平来节约饲料蛋白质, 促进鱼类生长, 减少氮磷排放, 保护养殖水体环境。但饲料脂肪水平过高将导致动物体内脂肪过量沉积、降低其抗应激的能力<sup>[1]</sup>, 严重时将导致动物

出现高脂血症<sup>[2]</sup>和营养性脂肪肝<sup>[3]</sup>, 在高温季节出现大量死亡, 给养殖生产造成巨大损失。牛磺酸是一种含硫氨基酸, 以游离氨基酸的形式普遍存在于动物各组织中, 调节动物正常的生理机能<sup>[4-5]</sup>, 参与体内脂肪的代谢, 促进饲料脂

收稿日期: 2017-09-10 修回日期: 2018-01-14

资助项目: 重庆市基础与前沿研究计划(cstc2013jcyjA80033); 2015年西南大学青年基金; 2015年西南大学信豚基金

通信作者: 向泉, E-mail: howlet@126.com

肪酸的氧化分解,减少脂肪合成,从而减少动物生长过程中脂质的沉积<sup>[6]</sup>;同时,牛磺酸能促进动物对蛋白质和糖的代谢,研究表明,适量的牛磺酸可显著提高草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)<sup>[7]</sup>、黄河鲤(*Cyrinus carpio*)<sup>[8]</sup>、花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)<sup>[9]</sup>、虎纹蛙(*Hoplobatrachus rugulosa*)<sup>[10]</sup>等肠道和肝脏蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的活性,上调鲫(*Carassius auratus*)体内调控蛋白质及氨基酸消化吸收的APN mRNA、PepT1 mRNA等基因的表达量<sup>[11]</sup>,促进营养物质的消化,改善肌肉营养成分,提高生长速率。在高脂饲料中添加700~1 200 mg/kg牛磺酸可显著提高草鱼的生长性能和肌肉品质,显著提高肝胰脏和血清中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶的活性,减少丙二醛(MDA)含量<sup>[12]</sup>。在正常脂肪水平的饲料中添加牛磺酸可显著提高泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)<sup>[13]</sup>、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)<sup>[14]</sup>、虎纹蛙<sup>[10]</sup>等的抗氧化酶活性,提高其抗氧化能力,降低动物生长过程中的脂质过氧化程度。本实验以幼鲤为研究对象,探讨在不同饲料脂肪条件下添加牛磺酸对其生长性能、体成分、肝胰脏生化指标及其抗氧化能力的影响,旨在了解不同脂肪条件下牛磺酸的作用,为解决高脂饲料中脂肪的消化利用和由于投喂高脂饲料而引发的鱼体肝脏和肌肉脂肪沉积增多、抗氧化能力降低等提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

以鱼粉、豆粕、棉粕、菜粕等为蛋白源,以大豆油为脂肪源,面粉为糖源,采用2×4双因子完全随机设计,在基础饲料(脂肪水平为4.65%)和高脂饲料(脂肪水平为10.22%)中分别添加0、400、800和1 600 mg/kg的牛磺酸(牛磺酸由广州市信豚水产技术有限公司提供),配制成8种等氮等能的实验饲料。各饲料原料均粉碎过60目筛,按照配方比例称重后混匀,量少的组分采用逐级扩大法混合,用实验室小型绞肉机制成1 mm的颗粒饲料,自然晾干后于-20℃保存备用。实验饲料配方组成及营养成分见表1。

### 1.2 实验设计及饲养管理

实验用幼鲤购于重庆市梅石坝渔场,为同

一批繁殖的幼鱼。购回后先用4%的食盐水消毒后放入暂养池,以基础饲料饱食投喂,使其逐渐适应实验饲料及养殖环境。暂养7 d后,选择个体大小均匀,健康、无伤病,体质量为(1.17±0.01)g的鲤720尾。随机分为8个实验组,每个实验组设3个重复,每个重复投放30尾实验鱼,以重复为单位随机放入24个实验水族箱(1.06 m×0.41 m×0.38 m)中。分别投喂不同脂肪及牛磺酸水平的实验饲料,养殖时间8周。实验期间,每天按3%~5%的投饲率表现饱食投喂3次(8:00、13:00、16:00),养殖过程中保持微流水。每日监测实验鱼的摄食行为和死亡数量等。水温维持在24~28℃,溶解氧高于6.0 mg/L, pH 7.0~7.5。

### 1.3 样品采集

实验前和结束后对实验鱼饥饿24 h,并对每个重复组分别计数、称重。实验结束后分别在各重复组中随机取10尾幼鲤用50 mg/L的MS-222溶液麻醉,测定其体质量和体长。其中5尾鱼保存于-20℃冰箱,用于测定全鱼的营养成分;另外5尾鱼在冰盘上解剖,取出内脏团,用预冷的生理盐水冲洗并用滤纸吸干,准确称取内脏团的质量。再分离出肝胰脏,并准确称取肝胰脏的质量,加入相当于其重20倍的生理盐水,迅速用冰冻玻璃匀浆器匀浆后用离心机(4℃, 3 500 r/min)离心20 min,取上清液作为粗酶提取液,测定肝脏生化指标及抗氧化指标。

### 1.4 指标测定

生长及形体指标的测定 根据测定的数据计算实验鱼的增重率(weight gain rate, WGR)、特定生长率(specific growth rate, SGR)、蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER)、饲料系数(feed conversion ratio, FCR)、肥满度(condition factor, CF)、肝体比(hepatosomatic index, HSI)、脏体比(viscerosomatic index, VSI),根据统计的实验鱼死亡情况计算成活率(survival rate, SR),计算公式:

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

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

$$\text{蛋白质效率(PER, \%)} = (W_t - W_0) / F \times P$$

$$\text{饲料系数(FCR)} = F / (W_t - W_0)$$

$$\text{成活率(SR, \%)} = N_f / N_i \times 100$$

$$\text{肥满度(CF, g/cm}^3\text{)} = W / L^3 \times 100$$

表 1 实验饲料配方及营养组成(风干基础)  
Tab. 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)

原料 ingredients	饲料脂肪水平 dietary lipid levels								
	4.65%				10.22%				
鱼粉 fish meal	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	
豆粕 soybean meal	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	
菜粕 rapeseed meal	23.50	23.50	23.50	23.50	23.50	23.50	23.50	23.50	
面粉 flour	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	
麦麸 wheat bran	11.50	11.50	11.50	11.50	6.00	6.00	6.00	6.00	
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	2.00	1.96	1.92	1.84	2.00	1.96	1.92	1.84	
大豆油 soybean oil	3.50	3.50	3.50	3.50	9.00	9.00	9.00	9.00	
复合预混料 compound premix <sup>1</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
氯化胆碱 choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
牛磺酸 taurine	0.00	0.04	0.08	0.16	0.00	0.04	0.08	0.16	
合计 total	100	100	100	100	100	100	100	100	
<b>营养成分 nutrient content<sup>2</sup></b>									
水分/% moisture	9.76	9.74	7.69	9.82	9.81	9.78	9.85	9.73	
粗蛋白/% crude protein	35.10	35.36	35.07	35.23	35.08	35.14	35.24	35.31	
粗脂肪/% crude lipid	4.65	4.68	4.61	4.63	10.22	10.18	10.20	10.13	
灰分/% ash	5.92	5.97	6.02	5.96	6.07	5.93	6.01	5.89	
总能/(MJ/kg) gross energy	16.35	16.42	16.39	16.27	16.24	16.26	16.32	16.22	

注: 复合预混料为每千克饲料提供: 维生素A 2 000 IU, 维生素C 300 mg, 维生素D<sub>3</sub> 2 000 IU, 维生素E 100 mg, 维生素K<sub>3</sub> 10 mg, 维生素B<sub>1</sub> 5 mg, 维生素B<sub>2</sub> 10 mg, 维生素B<sub>6</sub> 10 mg, 维生素B<sub>12</sub> 0.02 mg, 尼克酸 100 mg, 泛酸 40 mg, 生物素 1 mg, 叶酸 5 mg, 肌醇 100 mg, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 600 mg, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 15 mg, MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 80 mg, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 300 mg, KI(1%) 60 mg, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O(1%) 60 mg, CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O(1%) 7 mg; 2. 饲料营养成分为实测值

Notes: 1. the compound premix provides vitamin and mineral for a kilogram of diets: vitamin A 2 000 IU, vitamin C 300 mg, vitamin D<sub>3</sub> 2 000 IU, vitamin E 100 mg, vitamin K<sub>3</sub> 10 mg, vitamin B<sub>1</sub> 5 mg, vitamin B<sub>2</sub> 10 mg, vitamin B<sub>6</sub> 10 mg, vitamin B<sub>12</sub> 0.02 mg, nicotinic acid 100 mg, calcium pantothenate 40 mg, biotin 1 mg, folic acid 5 mg, inositol 100 mg, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 600 mg, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 15 mg, MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 80 mg, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 300 mg, KI (1%) 60 mg, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O (1%) 60 mg, CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (1%) 7 mg; 2. the feed nutrient content were measured values

肝体比(HSI, %)= $W_h/W \times 100$ ;

脏体比(VSI, %)= $W_v/W \times 100$ ;

式中,  $W_0$ 、 $W_f$ 分别为实验鱼的初始体质量和终末体质量(g);  $F$ 为饲料摄入量(g);  $P$ 为饲料粗蛋白质含量(%);  $L$ 为体长(cm);  $W_h$ 为鱼体肝质量(g),  $W_v$ 为鱼体内脏质量(g)。  $N_f$ 、 $N_i$ 分别为实验开始和结束时实验鱼的尾数;  $t$ 为养殖天数(d)。

饲料及体成分的测定 饲料及实验鱼全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分和饲料总能的测定参照AOAC的方法<sup>[15]</sup>。水分采用105 °C干燥恒重法; 粗蛋白采用凯氏定氮法; 粗脂肪采用索氏提取法; 灰分采用马弗炉550 °C灼烧法; 饲

料总能采用氧弹热量计(WGR-1, 中国)测定。

肝胰脏生化指标及抗氧化指标的测定

肝脏中甘油三酯(TG)、总胆固醇(TCH)、MDA含量及SOD、CAT活性等均采用南京建成生物研究所相应试剂盒测定。

## 1.5 数据统计

实验数据采用SPSS 19.0统计软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)和双因素方差分析(Two-Way ANOVA)。若差异显著, 则采用Duncan氏进行多重比较; 显著性水平设为0.05。实验数据采用“平均值±标准差”表示。

## 2 结果

### 2.1 不同脂肪条件下添加牛磺酸对幼鲤生长性能的影响

在4.65%和10.22%脂肪饲料中添加牛磺酸时幼鲤的WGR、SGR和PER均显著高于未添加组( $P<0.05$ ), FCR均显著低于未添加组( $P<0.05$ ); 且随着牛磺酸添加水平的升高, 幼鲤的WGR、SGR和PER均呈先升高后趋于稳定的变化趋势, 且均在牛磺酸添加量为800 mg/kg时最大(4.65%脂肪组分别为865.43%、4.05%/d和2.07%; 10.22%脂肪组分别为975.98%、4.24%/d和2.23%);

FCR均呈先降低后趋于稳定的变化趋势( $P<0.05$ ), 均在牛磺酸添加量为800 mg/kg时最小(分别为1.41和1.30); 牛磺酸添加量大于800 mg/kg时, 4.65%脂肪组WGR、SGR和PER显著低于10.22%脂肪组( $P<0.05$ ), 而FCR则显著高于10.22%脂肪组( $P<0.05$ )。未添加牛磺酸时, 4.65%脂肪组中WGR、SGR和PER显著高于10.22%脂肪组( $P<0.05$ ); FCR则显著低于10.22%脂肪组( $P<0.05$ )。饲料脂肪水平和牛磺酸添加量对实验幼鲤WGR、SGR、PER和FCR存在明显的交互效应( $P<0.05$ )。各实验组成活率差异不显著(表2)。

表2 饲料脂肪和牛磺酸水平对幼鲤生长性能的影响

Tab. 2 Effect of different dietary lipid and taurine levels on growth performance of juvenile *C. carpio*

组别 groups	初始体质量/g initial weight	终末体质量/g final weight	增重率/% WGR	特定增长率/(%/d) SGR	蛋白质效率/% PER	饲料系数 FCR	成活率/% SR
NL 0	1.17±0.01	10.10±0.02 <sup>b</sup>	762.98±1.78 <sup>b</sup>	3.85±0.00 <sup>b</sup>	1.80±0.02 <sup>b</sup>	1.62±0.02 <sup>d</sup>	95.00±7.07
NL 400	1.17±0.00	10.87±0.05 <sup>c</sup>	829.27±4.11 <sup>c</sup>	3.98±0.01 <sup>c</sup>	1.86±0.04 <sup>bc</sup>	1.57±0.03 <sup>cd</sup>	95.00±7.07
NL 800	1.17±0.02	11.30±0.21 <sup>cd</sup>	865.43±17.88 <sup>c</sup>	4.05±0.03 <sup>c</sup>	2.07±0.07 <sup>bc</sup>	1.41±0.05 <sup>ab</sup>	98.33±2.36
NL 1 600	1.17±0.01	11.13±0.23 <sup>cd</sup>	851.42±19.49 <sup>c</sup>	4.02±0.04 <sup>c</sup>	1.98±0.07 <sup>cd</sup>	1.47±0.05 <sup>bc</sup>	100.00±0.00
HL 0	1.17±0.01	9.37±0.08 <sup>a</sup>	701.00±16.27 <sup>a</sup>	3.72±0.04 <sup>a</sup>	1.63±0.01 <sup>a</sup>	1.79±0.01 <sup>f</sup>	91.67±2.36
HL 400	1.17±0.01	11.44±0.35 <sup>d</sup>	877.99±41.92 <sup>c</sup>	4.07±0.08 <sup>c</sup>	2.13±0.06 <sup>def</sup>	1.37±0.04 <sup>a</sup>	91.67±2.36
HL 800	1.17±0.01	12.59±0.22 <sup>e</sup>	975.98±32.19 <sup>d</sup>	4.24±0.05 <sup>d</sup>	2.23±0.10 <sup>f</sup>	1.30±0.06 <sup>a</sup>	95.00±7.07
HL 1 600	1.18±0.01	12.35±0.22 <sup>e</sup>	951.01±12.62 <sup>d</sup>	4.20±0.02 <sup>d</sup>	2.20±0.08 <sup>ef</sup>	1.32±0.05 <sup>a</sup>	96.67±4.71
Two-Way ANOVA							
牛磺酸 taurine	0.789	0.005	0	0	0.004	0.002	0.789
脂肪 lipid	0.971	0.082	0.079	0.093	0.095	0.132	0.971
交互作用 interaction	0.917	0.008	0.002	0.002	0.004	0.001	0.917

注: 同列平均数后不同的上标表示差异显著( $P<0.05$ ); 下同

Notes: mean with different superscripts have significant differences ( $P<0.05$ ); the same below

### 2.2 不同脂肪条件下添加牛磺酸对幼鲤形体指标的影响

在4.65%和10.22%脂肪组中, 随着牛磺酸添加量的提高, 幼鲤的CF均呈先增大后趋于稳定的变化趋势, 而HSI、VSI则均呈先降低后趋于稳定的变化趋势。4.65%脂肪组中幼鲤CF在牛磺酸水平为800 mg/kg时最高, 但与1 600 mg/kg牛磺酸组差异不显著, 显著高于0~400 mg/kg牛磺酸组( $P<0.05$ ); VSI在牛磺酸水平为0~800 mg/kg和400~1 600 mg/kg时均无明显差异; 牛磺酸水平对HSI无显著影响。10.22%脂肪组中CF在800 mg/kg牛磺酸组最高, 显著高于其他各组( $P<0.05$ ), HSI

在牛磺酸水平大于400 mg/kg时差异不显著, VSI则在牛磺酸水平大于800 mg/kg时差异不显著。饲料脂肪水平和牛磺酸添加量对幼鲤的HSI、VSI存在明显的交互效应( $P<0.05$ ), 而对其CF无明显交互效应(表3)。

### 2.3 不同脂肪条件下添加牛磺酸对幼鲤体成分的影响

在4.65%和10.22%的脂肪组中, 随着牛磺酸添加量的升高, 幼鲤全鱼粗蛋白含量呈先升高后趋于稳定的变化趋势( $P<0.05$ ), 粗脂肪含量呈先降低后趋于稳定的变化趋势( $P<0.05$ ), 水分含

表 3 饲料脂肪和牛磺酸水平对幼鲤形体指标的影响

Tab. 3 Effect of different dietary lipid and taurine levels on morphological characteristics of juvenile *C. carpio*

组别 groups	肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) CF	肝体比/% HSI	脏体比/% VSI
NL 0	2.23±0.05 <sup>a</sup>	2.54±0.15 <sup>b</sup>	10.31±0.13 <sup>b</sup>
NL 400	2.26±0.02 <sup>a</sup>	2.15±0.13 <sup>ab</sup>	10.05±0.37 <sup>ab</sup>
NL 800	2.39±0.03 <sup>b</sup>	2.11±0.14 <sup>ab</sup>	9.88±0.08 <sup>ab</sup>
NL 1 600	2.31±0.01 <sup>bc</sup>	2.17±0.12 <sup>ab</sup>	9.74±0.59 <sup>a</sup>
HL 0	2.37±0.04 <sup>bc</sup>	3.61±0.53 <sup>c</sup>	11.92±0.11 <sup>d</sup>
HL 400	2.41±0.03 <sup>c</sup>	2.19±0.27 <sup>ab</sup>	11.04±0.20 <sup>c</sup>
HL 800	2.54±0.06 <sup>d</sup>	1.97±0.16 <sup>a</sup>	10.09±0.19 <sup>ab</sup>
HL1 600	2.49±0.07 <sup>d</sup>	2.03±0.10 <sup>a</sup>	10.12±0.16 <sup>b</sup>
Two-Way ANOVA			
牛磺酸 taurine	0.000	0.049	0.000
脂肪 lipid	0.000	0.000	0.000
交互作用 interaction	0.436	0.001	0.002

量则呈逐渐降低的变化趋势。牛磺酸添加量相同时, 饲料脂肪水平对幼鲤全鱼粗蛋白和水分

含量影响不显著; 但10.22%脂肪组中鱼体粗脂肪含量显著高于4.65%脂肪组( $P<0.05$ )。各实验组灰分差异不显著。饲料脂肪水平和牛磺酸添加量对幼鲤全鱼粗蛋白和粗脂肪含量有显著交互作用( $P<0.05$ ), 但对水分和灰分含量无明显交互作用(表4)。

## 2.4 不同脂肪条件下添加牛磺酸对幼鲤肝胰脏生化指标的影响

4.65%和10.22%脂肪组中, 随着牛磺酸添加量的提高, 幼鲤肝胰脏中TCH及TG均呈逐渐降低的变化趋势。且4.65%脂肪组中, 牛磺酸对鲤肝胰脏中TCH、TG的影响差异不明显, 10.22%脂肪组中, 牛磺酸可显著影响幼鲤肝胰脏中TCH、TG含量( $P<0.05$ )。牛磺酸添加量相同时, 10.22%脂肪组中实验鱼TCH、TG含量明显高于4.65%脂肪组。在10.22%脂肪组中, 当牛磺酸添加量大于800 mg/kg时可显著降低其肝胰脏中TCH、TG含量( $P<0.05$ )。饲料脂肪水平和牛磺酸添加量对幼鲤肝胰脏中TCH、TG含量存在明显的交互效应( $P<0.05$ )(表5)。

表 4 饲料脂肪和牛磺酸水平对幼鲤体成分的影响

Tab. 4 Effect of different dietary lipid and taurine levels on body composition of juvenile *C. carpio* %

组别 groups	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash
NL 0	77.50±0.09 <sup>c</sup>	11.77±0.20 <sup>b</sup>	6.77±0.150 <sup>c</sup>	2.42±0.15
NL 400	77.49±0.25 <sup>c</sup>	12.41±0.04 <sup>c</sup>	6.14±0.08 <sup>b</sup>	2.35±0.07
NL 800	77.13±0.12 <sup>bc</sup>	13.05±0.11 <sup>d</sup>	5.22±0.47 <sup>a</sup>	2.52±0.04
NL 1 600	76.83±0.21 <sup>b</sup>	12.97±0.09 <sup>d</sup>	5.58±0.18 <sup>a</sup>	2.35±0.08
HL 0	77.37±0.16 <sup>c</sup>	11.09±0.10 <sup>a</sup>	8.90±0.24 <sup>f</sup>	2.42±0.02
HL 400	77.33±0.07 <sup>c</sup>	12.43±0.25 <sup>c</sup>	8.36±0.11 <sup>e</sup>	2.41±0.12
HL 800	76.86±0.13 <sup>b</sup>	12.99±0.09 <sup>d</sup>	7.73±0.60 <sup>d</sup>	2.40±0.19
HL1 600	76.46±0.11 <sup>a</sup>	12.94±0.14 <sup>d</sup>	7.30±0.13 <sup>d</sup>	2.45±0.08
Two-Way ANOVA				
牛磺酸 taurine	0.000	0.000	0.000	0.765
脂肪 lipid	0.067	0.081	0.000	0.876
交互作用 interaction	0.694	0.027	0.044	0.526

## 2.5 不同脂肪条件下添加牛磺酸对幼鲤抗氧化能力的影响

在4.65%和10.22%脂肪组中, 随着牛磺酸添

加量的提高, 实验鱼肝胰脏中SOD及CAT活性均呈先升高后降低的变化趋势, 而MDA含量则呈降低的变化趋势。4.65%和10.22%脂肪组中, 实验

表5 饲料脂肪和牛磺酸水平对幼鲤肝胰脏生化指标的影响

**Tab. 5 Effect of different dietary lipid and taurine levels on hepatopancreas biochemical index of juvenile *C. carpio***

组别 groups	总胆固醇 TCH	甘油三酯 TG	%
NL 0	5.33±0.34 <sup>ab</sup>	1.71±0.11 <sup>ab</sup>	
NL 400	5.03±0.64 <sup>a</sup>	1.49±0.20 <sup>ab</sup>	
NL 800	4.37±0.17 <sup>a</sup>	1.14±0.07 <sup>a</sup>	
NL 1 600	4.94±0.87 <sup>a</sup>	1.07±0.09 <sup>a</sup>	
HL 0	8.49±0.29 <sup>d</sup>	4.32±0.47 <sup>d</sup>	
HL 400	7.49±0.57 <sup>d</sup>	3.99±0.45 <sup>d</sup>	
HL 800	7.09±0.65 <sup>e</sup>	2.64±0.43 <sup>e</sup>	
HL 1 600	6.26±0.75 <sup>bc</sup>	2.10±0.60 <sup>bc</sup>	
Two-Way ANOVA			
牛磺酸 taurine	0.000	0.000	
脂肪 lipid	0.001	0.000	
交互作用 interaction	0.026	0.003	

鱼SOD、CAT活性均在牛磺酸添加量为800 mg/kg时最强。4.65%脂肪组中SOD、CAT活性在牛磺酸添加量大于400 mg/kg时无明显差异，10.22%脂肪组则在牛磺酸添加量大于800 mg/kg时差异不明显；4.65%和10.22%脂肪组MDA含量均在牛磺酸添加量为1 600 mg/kg时最低，且牛磺酸添加量大于800 mg/kg时差异不显著。饲料脂肪水平和牛磺酸添加量对实验鱼肝胰脏SOD、CAT活性及MDA含量均无显著交互效应(表6)。

### 3 讨论

#### 3.1 不同脂肪条件下添加牛磺酸对幼鲤生长性能的影响

脂肪是水产动物生长和发育中重要能量来源，可为鱼类的生长发育提供能量和必需脂肪酸<sup>[16]</sup>。当动物摄取脂肪不足时，饲料蛋白质将作为能源被分解以维持鱼类正常生命活动，使蛋白质的合成代谢效率降低；适当提高饲料脂肪的添加量可起到节约蛋白质的作用<sup>[17]</sup>，降低蛋白质作为能源降解的量，提高饲料蛋白质的效率，促进水产动物的生长<sup>[18]</sup>，但脂肪水平超过鱼类的需求量时，其消化利用率则会显著降低，从而抑制鱼体肌肉中脂肪酸的重新合成，降低

表6 饲料脂肪和牛磺酸水平对幼鲤抗氧化能力的影响

**Tab. 6 Effect of different dietary lipid and taurine levels on antioxidant ability of juvenile *C. carpio***

组别 groups	超氧化物歧化酶/ (U/mg) SOD	过氧化氢酶/ (U/mg) CAT	丙二醛/ (nmol/mg) MDA
NL 0	145.64±12.11 <sup>c</sup>	66.60±4.97 <sup>cd</sup>	6.29±0.46 <sup>c</sup>
NL 400	164.72±13.04 <sup>d</sup>	73.50±3.27 <sup>e</sup>	5.17±0.29 <sup>b</sup>
NL 800	177.42±5.55 <sup>d</sup>	79.81±1.36 <sup>e</sup>	4.15±0.93 <sup>a</sup>
NL 1 600	172.44±3.70 <sup>d</sup>	70.41±2.01 <sup>de</sup>	4.06±0.21 <sup>a</sup>
HL 0	110.60±7.05 <sup>a</sup>	40.87±4.97 <sup>a</sup>	8.21±0.28 <sup>d</sup>
HL 400	121.17±5.21 <sup>ab</sup>	51.34±7.92 <sup>b</sup>	7.81±0.47 <sup>d</sup>
HL 800	148.35±10.33 <sup>c</sup>	63.61±8.82 <sup>cd</sup>	6.48±0.28 <sup>c</sup>
HL 1 600	132.44±11.99 <sup>bc</sup>	60.29±4.93 <sup>bc</sup>	6.42±0.67 <sup>c</sup>
Two-Way ANOVA			
牛磺酸 taurine	0.000	0.000	0.000
脂肪 lipid	0.000	0.000	0.000
交互作用 interaction	0.207	0.101	0.675

鱼类的生长速率<sup>[19-20]</sup>。范泽等<sup>[21]</sup>研究表明，饲料脂肪水平为7.6%时鲤的WGR、SGR均显著高于脂肪水平为9.4%的实验组。本实验中，未添加牛磺酸时，4.65%脂肪组WGR、SGR和PER显著高于10.22%高脂组，FCR显著低于10.22%脂肪组。同时，本研究还发现，未添加牛磺酸时4.65%脂肪组中幼鲤肠道及肝胰脏中的蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的活性较10.22%脂肪组强。这与范泽等<sup>[21]</sup>对鲤(*Cyprinus carpio*)，曾本和等<sup>[16]</sup>。对大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)研究结果相似，可能是因为饲料脂肪超过鱼类需求量后，可引起脂肪在肝脏等处的沉积，使肝脏发生病变而影响其消化酶的分泌<sup>[22]</sup>。

牛磺酸是一种含硫的非蛋白氨基酸，虽不参与动物体内蛋白质合成，但却与胱氨酸、半胱氨酸等含硫氨基酸的代谢密切相关。研究表明，外源牛磺酸的添加可下调鱼类组织中Tau T mRNA的表达量，而上调IGF-I mRNA的表达量，抑制蛋氨酸、半胱氨酸、胱氨酸参与合成牛磺酸，从而使其更多的氨基酸参与动物机体蛋白质的合成<sup>[23-24]</sup>。同时，牛磺酸可通过修复肠道损伤来提高营养物质的吸收利用以促生长<sup>[25]</sup>。Chatzifotis等<sup>[26]</sup>研究表明牛磺酸具有刺激气味，适量的牛磺酸对鱼类有诱食作用，提高摄食

率, 提高对营养物质的消化吸收。本实验中, 4.65%和10.22%脂肪组中添加适宜水平的牛磺酸(800 mg/kg)可显著提高幼鲤的增重率、特定生长率和蛋白质效率, 降低饲料系数, 且高脂饲料(脂肪水平10.22%)中添加牛磺酸对幼鲤的促生长作用较4.65%脂肪组明显。与对花鲈(*Lateolabrax japonicus*)<sup>[23]</sup>、大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)<sup>[23]</sup>、大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)<sup>[27]</sup>、黄尾鲷(*Seriola lalandi*)<sup>[28]</sup>、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)<sup>[29]</sup>等的研究结果相似。本研究认为, 添加牛磺酸后幼鲤肠道和肝胰脏中脂肪酶的活性明显升高, 且10.22%脂肪组中脂肪酶的活性强于4.65%脂肪组。则究其促长的原因可能为: ①牛磺酸在肝脏中与游离胆酸结合形成的牛磺胆酸是脂肪酶的激活剂, 增强了脂肪酶的活性<sup>[26]</sup>, 促进了对饲料脂肪的消化; ②牛磺酸可增加肠道绒毛高度, 降低隐窝深度<sup>[11]</sup>, 增强肠道的分泌功能, 促进体内脂肪酶的分泌<sup>[7-9]</sup>, 提高了肠道对饲料脂肪的消化吸收能力; ③高脂饲料中添加牛磺酸可对饲料脂肪进行乳化和消化利用, 为鱼类生长提供了能量, 减少饲料蛋白质的分解代谢而增强其合成代谢, 促进鱼类的生长。

### 3.2 不同脂肪条件下添加牛磺酸对幼鲤体成分的影响

关于饲料脂肪水平对鱼体组成影响的报道不一致。Martins等<sup>[30]</sup>报道, 饲料脂肪水平的增加可提高庸鲈(*Hippoglossus hippoglossus*)体脂含量, 而对粗蛋白等含量无影响; 有名锤形石首鱼(*Atractoscion nobilis*)全鱼粗蛋白、粗脂肪含量及肌肉、肝脏粗脂肪含量则均随饲料脂肪水平增加而增大<sup>[31]</sup>。本实验中, 未添加牛磺酸时, 10.22%脂肪组幼鲤全鱼粗脂肪含量显著高于4.65%脂肪组。与上述研究结果基本一致, 可能是因为饲料脂肪含量增加时, 鱼体吸收的脂肪除了满足其体能量需求外, 剩余部分脂肪用于体脂合成, 从而使体脂含量增加。Takeuchi等<sup>[32]</sup>研究认为饲料脂肪含量过高, 将降低饲料蛋白质与肠道蛋白酶的接触面积, 同时, 过高的饲料脂肪将导致脂肪在鱼体内大量沉积, 严重时还可造成营养性脂肪肝<sup>[1, 3]</sup>, 从而降低机体内消化酶的分泌, 降低蛋白酶的活性, 使蛋白质的消化吸收及合成代谢能力降低, 从而影响鱼体蛋白含量。本实验中, 未添加牛磺酸时, 4.65%

脂肪组幼鲤全鱼粗蛋白含量显著高于10.22%脂肪组, 与未添加牛磺酸时, 4.65%脂肪组幼鲤肠道脂肪酶和蛋白酶的活性显著高于10.22%脂肪组相一致, 但与上述研究结论有一定的差异。可能与鱼的品种、食性和生长阶段、实验饲料组成等有关, 具体原因有待进一步研究。

本实验不同脂肪组中, 随着牛磺酸添加量的提高, 实验鱼全鱼粗蛋白含量均呈先升高后趋于稳定的变化趋势。说明添加适量的牛磺酸可促进其机体中蛋白质的沉积, 提高动物组织中粗蛋白的含量。与对斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)<sup>[33]</sup>、花鳗鲡<sup>[9]</sup>、草鱼<sup>[7]</sup>等的研究结果基本一致。原因可能是牛磺酸可上调鱼类APN、PepT1、LAT2、CDX2 mRNA的表达量, 提高对饲料蛋白质的消化吸收<sup>[11]</sup>, 适度增加鱼体肝胰脏和肌肉中ALT、AST的活性<sup>[7]</sup>, 减少了鱼体对蛋白质分解代谢, 加强了其合成代谢, 利于氮在体内沉积<sup>[34]</sup>。同时, 适量的牛磺酸可显著提高鱼类血清T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>含量<sup>[35-36]</sup>, 促进与动物体蛋白质合成相关的生长激素的分泌<sup>[37]</sup>, 促进蛋白质的沉积。另一方面, 牛磺酸为含硫的非蛋白氨基酸, 与含硫氨基酸的代谢密切相关。当动物摄入外源性牛磺酸的量增加后, 可相应减少用于合成牛磺酸的含硫氨基酸的量, 而更多地用于蛋白质的合成。Vessey等<sup>[38]</sup>认为牛磺酸在动物肝脏中可与胆酸、鹅脱氧胆酸等游离胆酸形成结合胆汁酸, 参与动物脂类代谢, 促进饲料中脂肪和脂溶性维生素的消化吸收。本实验中, 4.65%和10.22%脂肪组中实验幼鲤全鱼粗脂肪含量均随牛磺酸添加量的增大而呈先降低后趋于稳定的变化趋势。与对吉富罗非鱼(*O. niloticus* GIFT)<sup>[37]</sup>、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)<sup>[39]</sup>、尼罗罗非鱼<sup>[29]</sup>等的研究结论相反。但与在草鱼<sup>[12]</sup>、花鳗鲡<sup>[9]</sup>、斜带石斑鱼<sup>[33]</sup>、大菱鲂<sup>[40]</sup>、大西洋鲑(*Salmo salar*)<sup>[30]</sup>等中的研究基本一致, 说明牛磺酸可促进饲料中脂肪酸氧化, 减少动物生长过程中脂肪合成, 降低脂肪在机体中沉积<sup>[40]</sup>, 提高了鱼体肌肉品质。

### 3.3 不同脂肪条件下添加牛磺酸对幼鲤形体指标的影响

Chatzifotis等<sup>[41]</sup>认为, 肥满度可以反映鱼类生长过程中的营养状况。白甲鱼(*Onychostoma sima*)<sup>[1]</sup>、奥尼罗非鱼(*O. niloticus* × *O. aureus*)<sup>[42]</sup>等

幼鱼的肥满度均随饲料脂肪水平的升高呈先升后降的变化趋势。本实验中,未添加牛磺酸时,10.22%高脂组实验鱼的肥满度显著高于4.65%低脂组。说明适当增加饲料脂肪含量可增加鱼类的营养贮存。草鱼幼鱼的肥满度随饲料中牛磺酸添加量的提高而呈先升高后降低的变化趋势<sup>[12]</sup>,黄河鲤的肥满度也随着牛磺酸含量的增加呈上升的趋势<sup>[43]</sup>。本实验中,幼鲤的肥满度随着牛磺酸添加量的提高而呈先增大后趋于稳定的变化趋势,与实验鱼生长速率的变化趋势一致,也与上述研究基本一致。说明适量的牛磺酸能增强鱼类对营养物质的贮存,提高其肥满度,加快鱼类的生长。Hillestad等<sup>[44]</sup>发现,适宜的脂肪水平有利于提高动物对饲料的利用率,但饲料脂肪水平过高可引起动物腹腔、肝脏和肌肉组织中积累过多的脂肪<sup>[45]</sup>。本实验中,未添加牛磺酸时,10.22%高脂组实验鱼肝胰脏中总胆固醇与甘油三酯的含量及肝体比、脏体比均显著高于4.65%低脂组。与对军曹鱼<sup>[46]</sup>、草鱼<sup>[12]</sup>、白甲鱼<sup>[17]</sup>的研究相一致。说明随着饲料脂肪含量的逐渐升高,幼鲤从饲料中吸收的脂肪量逐渐增多,使肝脏分解脂肪的代谢负担逐渐加重,肝脏中总胆固醇及甘油三酯的量增大,导致肝体比与脏体比增大。王学习等<sup>[33]</sup>研究表明,牛磺酸可显著降低斜带石斑鱼幼鱼的肝体比与脏体比;随着牛磺酸水平升高,草鱼幼鱼的肝体比呈降低的趋势,脏体比则成先下降后升高的趋势<sup>[12]</sup>;在高植物蛋白饲料中添加牛磺酸,可降低大菱鲂幼鱼肝脏脂肪累积,降低其肝体比<sup>[40]</sup>。于昱等<sup>[47]</sup>发现,牛磺酸可显著降低幼龄蛋鸡肝脏胆固醇含量。本实验中,随着牛磺酸添加量的提高,幼鲤肝胰脏中总胆固醇及甘油三酯均呈逐渐降低的变化趋势,而肝体比、脏体比则呈先降低后趋于稳定的变化趋势。与上述实验结果基本一致。研究发现,适量的牛磺酸可提高动物肝脏中肝脂酶和脂蛋白脂酶的活性,降低肝脏中甘油三酯的含量<sup>[48-49]</sup>,说明牛磺酸可促进脂肪酸氧化,减少脂肪的合成,减少鱼体肝脏和其他内脏中脂肪的沉积<sup>[6]</sup>。也与幼鲤全鱼中粗脂肪含量的变化趋势相一致。

### 3.4 不同脂肪条件下添加牛磺酸对幼鲤抗氧化能力的影响

在正常的生理条件下,人和动物体内的氧

化和抗氧化处于动态的平衡中。一些正常的生理生化反应需要氧自由基的参与,使其不断地生成,同时通过动物体内有关酶性和非酶性抗氧化系统清除过量的氧自由基,从而维持其相对动态平衡。SOD、CAT等是动物机体内酶性抗氧化系统的重要组成部分,其活性的强弱反映了动物机体清除体内活性氧自由基能力的大小。SOD主要负责清除体内的 $O_2^{\cdot-}$ ,将其转化为 $H_2O_2$ <sup>[50]</sup>;CAT则主要负责对微粒体、胞浆及线粒体基质中 $H_2O_2$ 的清除<sup>[51]</sup>。MDA是脂质过氧化的产物,其含量的多少间接反映机体中活性氧自由基的含量及组织细胞脂质过氧化的强度<sup>[52]</sup>,本实验中,未添加牛磺酸时,10.22%高脂组实验鱼的SOD、CAT活性显著低于低脂组,MDA含量显著高于4.65%低脂组。对草鱼的研究也发现,高脂组肝胰脏和血清中SOD、CAT活性显著低于基础组,而MDA含量则显著高于基础组<sup>[12]</sup>,说明饲料脂肪含量过高可能导致动物代谢过程中产生较多的活性氧自由基。牛磺酸是机体的一种内源性抗损伤物质,可以清除氧自由基,同时具有维持细胞膜的稳定性、对抗氧自由基的损伤等细胞保护作用<sup>[53]</sup>。王银东等<sup>[13]</sup>研究表明,泥鳅饲料中添加牛磺酸可显著提高其肝脏中SOD、CAT活性,而降低MDA含量;凌云<sup>[10]</sup>认为,随着灌喂牛磺酸浓度的增加,虎纹蛙血清中MDA含量呈下降趋势。本实验中,随着饲料中牛磺酸添加量的提高,幼鲤肝胰脏SOD、CAT活性均呈先升高后降低的变化趋势,而MDA含量则呈降低的变化趋势。与上述研究结果基本一致。说明牛磺酸减轻了幼鲤代谢过程中过多的活性氧自由基对机体的氧化损伤,降低鱼体的脂质过氧化程度,增强了鱼体的抗氧化能力。

综上所述,牛磺酸可显著影响幼鲤的生长性能,改善其形体指标及体成分,减少肝胰脏中的甘油三酯和总胆固醇的含量,提高肝胰脏中SOD、CAT活性,降低MDA含量,说明牛磺酸可提高幼鲤的生长性能,改善产品质量,提高其抗氧化能力;在高脂饲料中,牛磺酸对幼鲤在生长过程中对饲料脂肪的消化利用能力及抗氧化能力的提高效果更明显。

### 参考文献:

- [1] 向泉,周兴华,陈建,等.饲料脂肪水平对白甲鱼幼鱼形体指数、脂肪沉积和脂肪代谢酶活性的影响[J].水



- 产学报, 2013, 37(9): 1349-1358.
- Xiang X, Zhou X H, Chen J, *et al.* Effect of dietary lipid level on body index, lipid deposition and lipid metabolic enzyme activities of juvenile *Onychostoma sima*[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(9): 1349-1358(in Chinese).
- [ 2 ] 王爱民, 韩光明, 吕富, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼幼鱼摄食后血脂, 血糖的影响[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2011, 24(3): 9-14.
- Wang A M, Han G M, Lv F, *et al.* Effects of dietary lipid levels on blood lipid, glucose indexes of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Yancheng Institute of Technology (Natural Science Edition), 2011, 24(3): 9-14(in Chinese).
- [ 3 ] 李坚明, 甘晖, 冯广强, 等. 饲料脂肪含量与奥尼罗非鱼幼鱼肝脏形态结构特征的相关性[J]. 南方水产科学, 2008, 4(5): 37-43.
- Li J M, Gan H, Feng G Q, *et al.* Correlation between lipid levels of feed and liver morphology characters of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*)[J]. South China Fisheries Science, 2008, 4(5): 37-43(in Chinese).
- [ 4 ] Chipponi J X, Bleier J C, Santi M T, *et al.* Deficiencies of essential and conditionally essential nutrients[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1982, 35(5): 1112-1116.
- [ 5 ] Rudman D, Feller A. Evidence for deficiencies of conditionally essential nutrients during total parenteral nutrition[J]. Journal of the American College of Nutrition, 1986, 5(2): 101-106.
- [ 6 ] Espe M, Ruohonen K, El-Mowafi A. Effect of taurine supplementation on the metabolism and body lipid-to-protein ratio in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. Aquaculture Research, 2012, 43(3): 349-360.
- [ 7 ] 罗莉, 文华, 王琳, 等. 牛磺酸对草鱼生长、品质、消化酶和代谢酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2006, 18(3): 166-171.
- Luo L, Wen H, Wang L, *et al.* Effects of taurine on growth performance, quality, digestive and metabolic enzyme activity of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2006, 18(3): 166-171(in Chinese).
- [ 8 ] 高春生, 范光丽, 王艳玲. 牛磺酸对黄河鲤鱼生长性能和消化酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(6): 645-647.
- Gao C S, Fan G L, Wang Y L. Effects of taurine on growth performance and digestive enzyme activity of carp[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(6): 645-647(in Chinese).
- [ 9 ] 何明, 刘利平, 曲恒超, 等. 牛磺酸对花鳊生长和消化酶活力的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(2): 227-234.
- He M, Li L P, Qu H C, *et al.* Effects of dietary taurine on growth performance and digestive enzyme activity of *Anguilla marmorata*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2017, 26(2): 227-234(in Chinese).
- [10] 凌云. 牛磺酸对虎纹蛙(*Hoplobatrachus rugulosa*)非特异性免疫、消化酶活力及抗氧化能力的影响[D]. 金华: 浙江师范大学, 2012.
- Ling Y. The effect of taurine on the nonspecific immune, digestive enzyme activity and antioxidant ability in the tiger frogs (*Hoplobatrachus rugulosa*)[D]. Jinhua: Zhejiang Normal University, 2012 (in Chinese).
- [11] 伍琴, 唐建洲, 刘臻, 等. 牛磺酸对鲫鱼(*Carassius auratus*)生长、肠道细胞增殖及蛋白消化吸收相关基因表达的影响[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(6): 1516-1523.
- Wu Q, Tang J Z, Liu Z, *et al.* Proper taurine-enriched fishmeal promotes growth of crucian carp *Carassius auratus*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(6): 1516-1523(in Chinese).
- [12] 王清滨, 王秋举, 杨翼羽, 等. 牛磺酸对投喂高脂饲料草鱼幼鱼生长、肌肉品质及抗氧化能力的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(7): 49-56, 65.
- Wang Q B, Wang Q J, Yang Y Y, *et al.* Effect of taurine on growth, muscle quality and antioxidant capacity of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fed with high-fat diets[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2015, 43(7): 49-56, 65(in Chinese).
- [13] 王银东, 陈路, 王永杰, 等. 牛磺酸对泥鳅生长性能与抗氧化能力的影响[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2016, 13(9): 33-37.
- Wang Y D, Chen L, Wang Y J, *et al.* Effects of taurine on the growth performance and antioxidant capacity of *Misgurnus anguillicaudatus*[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2016, 13(9): 33-37(in Chinese).

- [14] 徐奇友, 许红, 郑秋珊, 等. 牛磺酸对虹鳟仔鱼生长、体成分和免疫指标的影响[J]. 动物营养学报, 2007, 19(5): 544-548.  
Xu Q Y, Xu H, Zheng Q S, *et al.* Effects of taurine on growth, body composition and immunity of rainbow trout juvenile[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2007, 19(5): 544-548(in Chinese).
- [15] AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC[M]. 17th ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC, 2000.
- [16] 曾本和, 廖增艳, 吴双, 等. 饲料脂肪水平对大鳞副泥鳅幼鱼生长性能、消化酶活性及抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2016, 28(4): 1105-1113.  
Zeng B H, Liao Z Y, Wu S, *et al.* Effects of dietary lipid level on growth performance, digestive enzyme activities and antioxidant ability of juvenile *Paramisgurnus dabryanus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(4): 1105-1113(in Chinese).
- [17] 向梟, 周兴华, 陈建, 等. 饲料脂肪水平对白甲鱼幼鱼生长性能、体组成和血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2013, 25(8): 1805-1816.  
Xiang X, Zhou X H, Chen J, *et al.* Effects of dietary lipid level on growth performance, body composition and serum biochemical indices of juvenile *Onychostoma sima*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(8): 1805-1816(in Chinese).
- [18] 付世建, 谢小军, 张文兵, 等. 南方鲇的营养学研究: III. 饲料脂肪对蛋白质的节约效应[J]. 水生生物学报, 2001, 25(1): 70-75.  
Fu S J, Xie X J, Zhang W B, *et al.* The unritrition of *Silurus meridionalis*: III. Protein-sparing effect of dietary lipid[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2001, 25(1): 70-75(in Chinese).
- [19] Alanärä A. The effect of temperature, dietary energy content and reward level on the demand feeding activity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture, 1994, 126(3-4): 349-359.
- [20] Paspatis M, Boujard T. A comparative study of automatic feeding and self-feeding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets of different energy levels[J]. Aquaculture, 1996, 145(1-4): 245-257.
- [21] 范泽, 张宝龙, 程镇燕, 等. 饲料脂肪水平对鲤鱼生长、脂代谢酶活性和基因表达的影响[C]. 2015年中国水产学会学术年会论文摘要集. 杭州: 中国水产学会, 2015.  
Fan Z, Zhang B L, Cheng Z Y, *et al.* The effect of fat level on the growth, lipid metabolism enzyme activity and gene expression of carp[C]. Hangzhou: China Society of Fisheries, 2015 (in Chinese).
- [22] Pedersen B H, Nilssen E M, Hjelmeland K. Variations in the content of trypsin and trypsinogen in larval herring (*Clupea harengus*) digesting copepod nauplii[J]. Marine Biology, 1987, 94(2): 171-181.
- [23] 柳茜. 饲料中牛磺酸及相关氨基酸对大菱鲆和鲈鱼生长性能与*TauT* mRNA表达的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.  
Liu X. Effects of dietary taurine and related amino acids on growth performance and *TauT* mRNA expression of turbot and japanese seabass[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016 (in Chinese).
- [24] Matsunari H, Furuita H, Yamamoto T, *et al.* Effect of dietary taurine and cystine on growth performance of juvenile red sea bream *Pagrus major*[J]. Aquaculture, 2008, 274(1): 142-147.
- [25] 田芊芊, 胡毅, 毛盼, 等. 低鱼粉饲料中添加牛磺酸对青鱼幼鱼生长、肠道修复及抗急性拥挤胁迫的影响[J]. 水产学报, 2016, 40(9): 1330-1339.  
Tian Q Q, Hu Y, Mao P, *et al.* Effect of dietary taurine supplementation on growth, intestine structure and resistance to acute crowding stress in juvenile black carp (*Mylopharyngodon piceus*) fed low fish meal diets[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(9): 1330-1339(in Chinese).
- [26] Chatzifotis S, Polemitou I, Divanach P, *et al.* Effect of dietary taurine supplementation on growth performance and bile salt activated lipase activity of common dentex, *Dentex dentex*, fed a fish meal/soy protein concentrate-based diet[J]. Aquaculture, 2008, 275(1-4): 201-208.
- [27] Krogdahl Å, Penn M, Thorsen J, *et al.* Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: an update on recent findings regarding responses in salmonids[J]. Aquaculture Research, 2010, 41(3): 333-344.
- [28] Nguyen H P, Khaoian P, Fukada H, *et al.* Feeding fermented soybean meal diet supplemented with taurine to yellowtail *Seriola quinqueradiata* affects growth performance and lipid digestion[J]. Aquaculture Research, 2015, 46(5): 1101-1110.
- [29] 周铭文, 王和伟, 叶继丹. 饲料牛磺酸对尼罗罗非鱼生长、体成分及组织游离氨基酸含量的影响[J]. 水产学

- 报, 2015, 39(2): 213-223.
- Zhou M W, Wang H W, Ye J D. Effects of taurine supplementation on the growth, body composition and tissue free amino acid concentrations in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(2): 213-223(in Chinese).
- [30] Martins D A, Valente L M P, Lall S P. Effects of dietary lipid level on growth and lipid utilization by juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*, L.)[J]. Aquaculture, 2007, 263(1-4): 150-158.
- [31] López L M, Torres A L, Durazo E, et al. Effects of lipid on growth and feed utilization of white seabass (*Atractoscion nobilis*) fingerlings[J]. Aquaculture, 2006, 253(1-4): 557-563.
- [32] Takeuchi T, Watanabe T, Ogino C. Optimum ratio of protein to lipid in diets of rainbow trout[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1978, 44(6): 683-688.
- [33] 王学习, 周铭文, 黄岩, 等. 饲料牛磺酸水平对不同生长阶段斜带石斑鱼幼鱼生长性能和体成分的影响[J]. 动物营养学报, 2017, 29(5): 1810-1820.
- Wang X X, Zhou M W, Huang Y, et al. Effects of dietary taurine level on growth performance and body composition of juvenile grouper (*Epinephelus coioides*) at different growth periods[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29(5): 1810-1820(in Chinese).
- [34] 艾晓杰, 韩正康. 酶制剂对成年鹅代谢激素和生化指标的影响[J]. 中国兽医学报, 2002, 22(2): 163-164.
- Ai X J, Han Z K. Influence of enzyme preparation on metabolic hormone levels and biochemical parameters in plasma of geese[J]. Chinese Journal of Veterinary Science, 2002, 22(2): 163-164(in Chinese).
- [35] 邱小琼, 赵红雪. 牛磺酸对鲤生长及血清 $T_3$ 、 $T_4$ 含量的影响[J]. 淡水渔业, 2006, 36(1): 22-24.
- Qiu X C, Zhao H X. Effects of taurine on the growth and the contents of serum Triiodo-L-Thyronine and Thyroxine of carp[J]. Freshwater Fisheries, 2006, 36(1): 22-24(in Chinese).
- [36] 高春生, 范光丽, 王艳玲. 牛磺酸对黄河鲤鱼血清 $T_3$ 、 $T_4$ 含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(21): 6440, 6546.
- Gao C S, Fan G L, Wang Y L. Effect of taurine on  $T_3$  and  $T_4$  contents of serum in *Cyprinus carpio*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(21): 6440, 6546(in Chinese).
- [37] 王和伟. 饲料牛磺酸水平对吉富罗非鱼和斜带石斑鱼生长的影响[D]. 厦门: 集美大学, 2013.
- Wang H W. Effect of dietary taurine level on the growth performance of GIFT tilapia *Oreochromis niloticus* and grouper *Epinephelus coioides*[D]. Xiamen: Jimei University, 2013 (in Chinese).
- [38] Vessey D A, Benfatto A M, Zerweck E, et al. Purification and characterization of the enzymes of bile acid conjugation from fish liver[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Comparative Biochemistry, 1990, 95(4): 647-652.
- [39] 骆艺文, 艾庆辉, 麦康森, 等. 饲料中添加牛磺酸和胆固醇对军曹鱼生长、体组成和血液指标的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43(8): 31-36.
- Luo Y W, Ai Q H, Mai K S, et al. Effects of dietary taurine and cholesterol on growth performance, body composition and plasma metabolites in diets of cobia (*Rachycentron canadum* L.)[J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science Edition), 2013, 43(8): 31-36(in Chinese).
- [40] 张圆琴, 张越, 卫育良, 等. 大菱鲆鱼体脂肪累积调节方法研究[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(5): 700-709.
- Zhang Y Q, Zhang Y, Wei Y L, et al. A study on the regulation of lipid accumulation in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(5): 700-709(in Chinese).
- [41] Chatzifotis S, Panagiotidou M, Papaioannou N, et al. Effect of dietary lipid levels on growth, feed utilization, body composition and serum metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) juveniles[J]. Aquaculture, 2010, 307(1-2): 65-70.
- [42] 甘晖, 李坚明, 冯广朋, 等. 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长和血浆生化指标的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(1): 35-41.
- Gan H, Li J M, Feng G P, et al. Effects of different lipid levels on growth and haematological biochemistry in juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*)[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(1): 35-41(in Chinese).
- [43] 王霜英. 低蛋白饲料中添加牛磺酸对黄河鲤生长性能、体成分及生理生化指标的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2015.
- Wang S Y. The effect of low protein dietary with taur-

- ine on growth performance, body composition and biochemical indices of *Cyprinus carpio* Heamatopterus[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2015 (in Chinese).
- [44] Hillestad M, Johnsen F. High-energy/low-protein diets for Atlantic salmon: effects on growth, nutrient retention and slaughter quality[J]. *Aquaculture*, 1994, 124(1-4): 109-116.
- [45] Grisdale-Helland B, Shearer K D, Gatlin III D M, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth, protein digestibility, feed utilization and body composition of Atlantic cod (*Gadus morhua*)[J]. *Aquaculture*, 2008, 283(1-4): 156-162.
- [46] Wang J T, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. *Aquaculture*, 2005, 249(1-4): 439-447.
- [47] 于昱, 袁纓. 日粮中不同牛磺酸水平对蛋鸡体内脂类代谢的影响[J]. *中国饲料*, 2006(15): 25-28.  
Yu Y, Yuan Y. Effects of different taurine levels in dietary on lipid metabolism in layers[J]. *China Feed*, 2006(15): 25-28(in Chinese).
- [48] Zeng D S, Gao Z H, Huang X L, *et al.* Effect of taurine on lipid metabolism of broilers[J]. *Journal of Applied Animal Research*, 2012, 40(2): 86-89.
- [49] 王芙蓉, 董晓芳, 张晓鸣, 等. 牛磺酸对鹌鹑产蛋性能、脂肪代谢及免疫功能的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2010, 29(3): 381-384.  
Wang F R, Dong X F, Zhang X M, *et al.* Effects of taurine on egg production, immune responses and fat metabolism in laying quails[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2010, 29(3): 381-384(in Chinese).
- [50] Mccord J M. The evolution of free radicals and oxidative stress[J]. *The American Journal of Medicine*, 2000, 108(8): 652-659.
- [51] David M, Munaswamy V, Halappa R, *et al.* Impact of sodium cyanide on catalase activity in the freshwater exotic carp, *Cyprinus carpio* (Linnaeus)[J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2008, 92(1): 15-18.
- [52] Kanner J, Lapidot T. The stomach as a bioreactor: dietary lipid peroxidation in the gastric fluid and the effects of plant-derived antioxidants[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2001, 31(11): 1388-1395.
- [53] Thomas E L, Grisham M B, Melton D F, *et al.* Evidence for a role of taurine in the *in vitro* oxidative toxicity of neutrophils toward erythrocytes[J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1985, 260(6): 3321-3329.

## Effect of taurine supplementation at different dietary lipid levels on growth performance, body composition, hepatopancreas biochemical index and antioxidant capacity of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*)

XIANG Xiao<sup>1\*</sup>, ZENG Benhe<sup>1,2</sup>, ZHOU Xinghua<sup>1</sup>, CHEN Jian<sup>1</sup>, WANG Wenjuan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education,

Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, College of Animal Science of Southwest University, Chongqing 402460, China;

2. Fisheries Research Institute, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lasa 850000, China)

**Abstract:** This experiment was aimed to investigate the effects of taurine supplementation at different dietary lipid levels on growth performance, body composition, hepatopancreas biochemical index and antioxidant capacity of juvenile *Cyprinus carpio*. A total of 720 healthy juvenile *C. carpio* with average initial body weight of (1.17±0.01) g were randomly divided into eight treatments (3 replicates per treatment and 30 carp each replicate). Eight isonitrogenous and isoenergetic experimental diets were formulated with the graded taurine levels (0, 400, 800 and 1 600 mg/kg dry diet, respectively) in dietary lipid level of 4.65% and 10.22% respectively. The experiment lasted for 56 days. The results showed that the weight gain ratio (WGR), the specific growth ratio (SGR) and protein efficiency ratio (PER) of juvenile *C. carpio* in 4.65% lipid group were higher than 10.22% lipid group, at the same time, the feed conversion ratio (FCR) was the lower than 10.22% lipid group when taurine were not added. The WGR, SGR, PER were significantly improved, while the FCR were significantly decreased when taurine were added. The WGR, SGR, PER of juvenile *C. carpio* initially increased with increasing dietary taurine levels and then towards stability. Conversely, the feed conversion ratio (FCR) first decreased and then towards stability. The WGR, SGR, PER were all the highest when the dietary taurine level was 800 mg/kg, at the same time, the FCR was the lowest. The WGR, SGR, PER were significantly higher and the FCR were significantly lower in the 10.22% lipid group than 4.65% lipid group when taurine was added more than 800 mg/kg. The total cholesterol (TCH) and triglyceride (TG) in hepatopancreas were gradually decreasing with taurine level increasing. However, there was no significant difference in the 4.65% lipid group, while the difference in the 10.22% lipid group was significant, and the condition factor (CF) of juvenile *C. carpio* first increased with increasing dietary taurine levels and then towards stability, at the same time, the hepatosomatic index (HIS) and viscerosomatic index (VSI) first decreased and then towards stability. The crude protein in whole body first increased with increasing dietary taurine levels and then towards stability, while the crude lipid first decreased and then towards stability. With the increase of dietary taurine level, the activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) in hepatopancreas first increased then decreased, the activities of SOD and CAT were all the highest when the dietary taurine level was 800 mg/kg. At the same time, the content of malondialdehyde (MDA) in hepatopancreas was gradually decreasing, and the the content of MDA was the lowest when the dietary taurine level was 1 600 mg/kg. Results of above show that the appropriate dietary taurine level (800–1 600 mg/kg) could effectively improve the utilization of dietary lipid, promote the growth, reduce the lipid deposition, improve the muscle quality and the antioxidant capacity of *C. carpio*.

**Key words:** *Cyprinus carpio*; taurine; growth performance; body composition; biochemical index; antioxidant ability

**Corresponding author:** XIANG Xiao. E-mail: howlet@126.com

**Funding projects:** Basic and Advanced Research Projects in Chongqing (cstc2013jcyj80033); Youth Fund Project of Southwestern University in 2015; Xintun Fund Project of Southwestern University in 2015