

文章编号: 1674—5566(2010)02—0201—06

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

黄凯, 陈涛, 战歌, 麻艳群, 于丹, 蒋焕超

(广西大学动物科学技术学院, 广西南宁 530005)

摘要:取奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*)750尾,随机分为5组(每组150尾),分别饲喂添加0、50、100、150和200 mg/kg L肉碱(L-carnitine)的饲料,以研究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,饲养周期为65 d。结果表明:饲料中肉碱添加量为150 mg/kg时,奥尼罗非鱼增重率和肥满度分别较对照组高19.91%和8.42%(P<0.05);饲料系数降低31.39%(P<0.05);肌肉脂肪含量降低14.39%(P>0.05);血浆中的胆固醇、甘油三酯含量分别降低9.82%(P>0.05)和65.43%(P<0.05);血浆中谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性分别降低65.04%(P<0.05)和53.73%(P<0.05);血浆淀粉酶降低69.36%(P<0.05);血浆中尿素氮降低11.76%(P>0.05);白蛋白升高37.19%(P<0.05)。在本研究条件下,建议奥尼罗非鱼饲料中L肉碱添加量为150 mg/kg。

关键词:奥尼罗非鱼; L肉碱; 生长; 脂肪含量; 血浆生化指标

中图分类号: S 963.73 文献标识码: A

Effects of dietary L-carnitine on growth, fat content and biochemical indexes of blood of tilapia (*Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*)

HUANG Kai CHEN Tao ZHAN Ge MA Yan-qun YU Dan JIANG Huan-chao

(College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530005, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the dietary L-carnitine requirement of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*) through observing the growth of tilapia, analyzing fat content and blood biochemical indexes. 750 juvenile tilapia with body weight of (0.30±0.01) g were randomly allotted to five groups and were fed diets supplemented with different level L-carnitine (0, 50, 100, 150 and 200 mg/kg) for 65d to investigate the effects of L-carnitine on growth, fat content and blood biochemical indexes. The results showed that when tilapia feed were added with 150 mg/kg L-carnitine, tilapia' WGR and CF were 19.91% and 8.42% higher than that of control group (P<0.05) respectively. FRC was reduced 31.39% (P<0.05) respectively; the amount of fat in muscle was reduced 14.39% (P>0.05); the contents of cholesterol (CHOL) and TG were reduced 9.82% (P>0.05) and 65.43% (P<0.05) respectively; the activities of ALT and AST in Tilapia' s plasma were reduced 65.04% (P<0.05) and 53.73% (P<0.05) respectively; the activity of AMY was reduced 69.36% (P<0.05); the content of BUN in Tilapia' s plasma was reduced

收稿日期: 2009-10-31

基金项目: 广西科学研究院与技术开发计划项目(0992014-2); 广西壮族自治区科技攻关项目(0537008-ZE)

作者简介: 黄凯(1963-), 男, 教授, 博士, 主要从事水产动物营养学和集约化水产养殖学方面的研究。E-mail: hka110@163.com

11.76% ($P > 0.05$); the content of ALB in Tilapia's plasma was higher than that of control group ($P < 0.05$). Therefore under this research condition it is suggested that the supplement of L-carnitine in diets of juvenile tilapia was the best at 150mg/kg.

Key words: Oreochromis niloticus \times O. aureus L-carnitine growth fat content biochemical indexes of blood

L肉碱是俄国科学家 Krimberg于 1905年在肌肉提取物中发现的类似于 B族维生素的化合物。有 D型和 L型两种异构体。L肉碱为天然成分,存在于厌氧菌、植物和动物组织中^[1]。水产养殖中, L肉碱可增强机体对外来活性物质和水体中氨毒性的耐受,增强鱼类对水温变化的适应性^[2]。研究表明, L肉碱作为水产动物饲料添加剂可以提高其生长速度,降低饲料系数;提高水产动物蛋白含量,降低体脂率,改善肉质^[3]。鱼类本身能在组织和肝脏中合成 L肉碱,但随着高密度、集约化养殖中全价配合饲料的使用,体内合成的 L肉碱远远不能够满足鱼类快速生长的需要,这样可能造成鱼体脂肪代谢受阻,食量减少,运动减弱,成活率降低^[4]。本试验通过在饲料中添加不同水平 L肉碱,观测奥尼罗非鱼的生长,分析其对奥尼罗非鱼脂肪含量、血浆相关生化指标的影响,以期探讨 L肉碱在奥尼罗非鱼配合饲料中的适宜添加量。

1 材料与方法

1.1 试验鱼和饲养

试验用奥尼罗非鱼来自广西水产研究所,大小基本一致,体重为(0.30±0.01)g 健康无病,共计 750尾。试验鱼暂养 1周后随机分为 5组,每组设 3个重复,每个重复 50尾。试验期为 65 d。养殖试验采用循环水过滤系统进行。试验期间每日 8:00 和 17:00 时各投喂 1次,以饱食为准,即鱼体重的 3%~5%。每次待鱼吃完后收集残饵并称重。每隔 15 d 调整一次投喂量,根据水温和鱼摄食情况而定。每天早上吸污后,换水 1/3,观察鱼活动状况,并记录投饲量、水温和死亡数。

1.2 试验场地及水源

本试验在动物科学技术学院水产养殖基地进行。养殖容器采用 15只(1.0 m×1.0 m×0.8 m)大小一致的水池,每个池子配有充氧机和加热

棒。水源为曝气去氯后的自来水,在加热控温、循环过滤、充氧条件下养殖,整个试验过程平均水温为(28.9±0.7)℃, DO 为(7.03±0.23)mg/L pH 为 6.9±0.1, NH₃-N 为(0.03±0.01)mg/L。

1.3 饲料配制

按照罗非鱼的营养需求(NRC1998),以鱼粉、花生粕等原料配制成基础饲料,在此基础上添加不同水平的 L肉碱,配制成 5组试验饲料,其中 1组为不添加,2、3、4和 5组分别以 50、100、150和 200 mg/kg 水平添加,以上原料混合均匀后用温水调质,用绞肉机制成直径约 1~2 mm 的条状饲料,在 60℃恒温箱中经 5 h 烘干、制成长约 2~3 mm 的颗粒饲料后,于 0℃下密封储存,以备使用,饲料组成见表 1。

表 1 试验饲料组成和营养水平

Tab. 1 Nutrient level and composition of experimental diet

原料名称及 添加比例	饲料组(%)				
	1(对照)	2	3	4	5
鱼粉	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
豆粕	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
次粉	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
花生麸	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
菜子饼	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
玉米	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
麦麸	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
复合矿物质	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
复合维生素	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
鱼油	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
食盐	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
黏合剂	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
糊精	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
防霉剂	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
诱食剂	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
合计	100	100	100	100	100
水分	9.2	8.9	9.1	9.0	9.1
粗蛋白	39.6	39.8	39.7	39.6	39.5
粗脂肪	5.26	5.32	5.29	5.40	5.35
粗灰分	9.7	9.6	9.7	9.6	9.5

1.4 样品的采集和试验指标的测定

1.4.1 增重率、肥满度、肝体比、肝脂率和肌脂率的测定

试验结束前后,每池随机抽取鱼20尾,逐尾鱼称重,量体长,称取肝胰腺重量。每池取鱼5尾,分别剪取肝胰腺和肌肉,以索氏抽脂法测定其中的粗脂肪含量。

1.4.2 血液生化指标的测定

每池随机抽取鱼15尾,心脏抽血,加肝素抗凝,用台式离心机离心10 min(4 000 r/min),取上清液为血浆冷藏待用。采用美国倍肯公司生产的ABBOTT ALOYON 300全自动生化分析仪进行血液生化指标的分析测定,测定指标有:胆固醇(CHOL),甘油三酯(TG),高密度脂蛋白(HDLC),谷丙转氨酶(ALT),谷草转氨酶(AST),γ谷氨酰转肽酶(GGT),尿素氮(BUN),白蛋白(ALB),总蛋白(TB)。

1.5 统计分析

试验数据用SPSS 13.0统计软件进行相关性分析和方差分析,试验结果用“平均数±标准差”表示,采用Duncan氏多重比较分析试验结果平均数的差异显著性($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 L肉碱对奥尼罗非鱼生长的影响

由表2可知,饲养65 d后,1到4组的鱼体增重率随着肉碱添加量的增加而提高,第5组回落,以L肉碱添加量150 mg/kg的第4组增重率

最高,为5.752%±7.01%,较1、2、3、5组分别高19.91%、13.43%、17.15%、15.34%,显著高于其它各组($P < 0.05$);5种饲料对奥尼罗非鱼的成活率影响不大($P > 0.05$),4组的成活率95.33%±3.06%稍低于成活率最高的5组96.00%±4.00%,与1~3组无显著性差异($P > 0.05$);从1组到5组鱼体肥满度逐渐增加,变化差异显著($P < 0.05$),其中3、4、5组差异不显著($P > 0.05$),但显著高于1、2组($P < 0.05$),2、3、4、5组分别较1组提高了1.05%、9.47%、8.42%、12.63%,第5组肥满度最大为3.21%±0.34%;各组饲料系数不呈规律性变化,4组饲料系数最低(0.94±0.07),分别较1、2、3、5组降低45.74%、2.13%、42.55%、12.77%,与2、5组差异不显著($P > 0.05$),显著低于1、3组($P < 0.05$)。

2.2 L肉碱对奥尼罗非鱼的肝体比、肝胰腺和肌肉脂肪含量的影响

表3显示,各试验组奥尼罗非鱼肝胰腺脂肪含量差异不显著($P > 0.05$),其中第2组肝胰腺脂肪含量最高(5.42%±0.99%),5组次之(5.38%±1.53%),1、3、4组均较低;肌肉脂肪含量各组间差异显著($P < 0.05$),从1~3组,肌肉脂肪含量升高,3组达最高,4、5组的肌肉脂肪含量逐渐下降,5组最低,1、4、5组之间的肌肉脂肪含量无显著性差异($P > 0.05$),2、3组显著高于其它各组($P < 0.05$);肝体比最小的是4组(0.76%±0.08%),该值显著低于1、2、5组($P < 0.05$),与3组无显著性差异($P > 0.05$)。

表2 不同L肉碱水平对奥尼罗非鱼生长指标的影响

Tab 2 Effect of different L-carnitine levels on growth of tilapia

生长指标	饲料组				
	1	2	3	4	5
初重(g/尾)	0.32±0.02	0.31±0.01	0.30±0.01	0.29±0.01	0.30±0.02
末重(g/尾)	15.67±1.67	16.03±1.91	15.03±1.72	16.97±1.79	15.26±1.84
成活率(%)	91.33±1.15	92.66±3.06	92.00±7.21	95.33±3.06	96.00±4.00
增重率(%)	4797±552 ^b	5071±628 ^{ab}	4910±529 ^b	5752±701 ^c	4987±428 ^{ab}
肥满度(%)	2.85±0.83 ^b	2.88±0.34 ^b	3.12±0.33 ^a	3.09±0.29 ^a	3.21±0.34 ^a
饲料系数	1.37±0.10 ^a	0.96±0.08 ^c	1.34±0.30 ^{ab}	0.94±0.07 ^c	1.06±0.08 ^{bc}

注:同一行数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P < 0.05$)。成活率(%)=100×终末尾数/初始尾数;增重率(%)=100×(末重-初重)/初重;肥满度=100×体重/体长³;饲料系数=摄食饲料总量/(末重-初重)。

表 3 不同肉碱水平对奥尼罗非鱼肝体比、肝胰腺及肌肉脂肪含量的影响

Tab. 3 Effects of different L-carnitine levels on amount of fat in liver and muscle of tilapia

指标	饲料组				
	1	2	3	4	5
肝体比(%)	0.91±0.12 ^{ab}	0.88±0.09 ^{bc}	0.79±0.07 ^{cd}	0.76±0.08 ^d	0.98±0.11 ^a
肝脏脂肪含量(%)	5.13±0.57	5.42±0.99	5.12±0.51	5.16±0.57	5.38±1.53
肌肉脂肪含量(%)	1.39±0.45 ^{ab}	2.12±0.94 ^a	2.24±1.49 ^a	1.19±0.48 ^{ab}	0.79±0.24 ^b

注:同一行数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P<0.05$)。肝体比(%)=100×肝重/鱼体重;肝胰腺脂肪含量(%)=100×肝胰腺脂肪含量/肝重;肌肉脂肪含量(%)=100×肌肉脂肪含量/肌肉重量。

2.3 L肉碱对奥尼罗非鱼的血浆生化指标的影响

由表 4 可见,各组奥尼罗非鱼血浆中的 CHOL 的含量变化差异不显著 ($P>0.05$),但随着肉碱添加量的增加呈下降趋势,第 4 组 CHOL 的含量最低;血浆中 TG、ATL 和 AST 含量变化差异显著 ($P<0.05$),其中第 4 组的 TG 含量最低, ATL 和 AST 活性最低,从第 1 组到第 5 组 ATL 活性呈降低趋势。1、2 组的 TG 含量显著高于 4 组 ($P<0.05$),3、5 组的 TG 含量与 4 组差异不显著 ($P>0.05$);各组 ATL 活性随着 L 肉碱添加量的增加而降低,1、2 组显著高于 4、5 组 ($P<0.05$);各组血浆中 AST 活性随 L 肉碱添加量的增加而

呈不规律变化,3 组的 AST 活性最高;各组血浆中的 HDLC 含量随着组数增加而下降,各组间无显著性差异 ($P>0.05$),5 组 HDLC 含量最低 (1.51 ± 0.17);4 组血浆中的 GGT 活性显著低于其它各组 ($P<0.05$);各组血浆中 BUN 含量差异不显著 ($P>0.05$),其中第 4 组 BUN 浓度最低,为 (1.95 ± 0.59) mmol/L;从对照组到第 4 组血浆中白蛋白含量逐渐升高,到第 5 组回落,各组间差异显著 ($P<0.05$),其中第 1 组 (10.97 ± 1.07) g/L 显著低于其他 4 组 ($P<0.05$),第 4 组最高。1 到 5 组血清中总蛋白浓度呈降低趋势,组间差异显著 ($P<0.05$),第 5 组显著低于 1、2、3 组 ($P<0.05$),与第 4 组差异不显著 ($P>0.05$)。

表 4 不同肉碱水平对奥尼罗非鱼血浆生化指标的影响

Tab. 4 Effects of the different carnitine levels on tilapia's plasma biochemical indexes

生化指标	饲料组				
	1	2	3	4	5
胆固醇 (mmol/L)	3.26±0.29	3.26±0.08	3.19±0.09	2.94±0.51	3.20±0.42
甘油三酯 (mmol/L)	0.81±0.08 ^{ab}	0.86±0.24 ^a	0.55±0.13 ^{bc}	0.28±0.07 ^c	0.50±0.13 ^c
谷丙转氨酶 (U/L)	123.00±26.33 ^a	104.00±17.09 ^a	85.50±9.31 ^{ab}	43.33±5.69 ^b	53.00±13.59 ^b
谷草转氨酶 (U/L)	384.00±78.29 ^a	206.33±25.70 ^{bc}	393.67±80.67 ^a	177.67±20.53 ^c	348.00±70.70 ^b
高密度脂蛋白 (mmol/L)	1.77±0.27	1.64±0.08	1.59±0.13	1.53±0.10	1.51±0.17
γ 谷氨酰转肽酶 (U/L)	40.00±3.00 ^b	66.67±5.77 ^a	63.33±15.28 ^a	20.00±4.00 ^c	53.33±5.77 ^{ab}
尿素氮 (mmol/L)	2.21±0.81	2.10±0.30	2.25±0.78	1.95±0.59	2.41±0.47
白蛋白 (g/L)	10.97±1.07 ^b	13.80±1.13 ^a	14.90±0.62 ^a	15.05±0.92 ^a	14.06±0.74 ^a
总蛋白 (g/L)	38.20±1.56 ^a	36.90±3.29 ^a	34.26±2.04 ^a	33.65±3.04 ^{ab}	28.73±2.24 ^b

注:同一行数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异 ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 不同 L 肉碱水平对奥尼罗非鱼生长的影响

本试验结果指出,在奥尼罗非鱼饲料中添加一定比例的 L 肉碱后,随着肉碱添加量的增加,奥尼罗非鱼的肥满度总体呈升高趋势,饲料系数逐渐降低,各组奥尼罗非鱼的增重率较对照组均

有提升,生长性能得到提高。本试验结果与其它学者在鲫 (*Carassius auratus*)^[5]、军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[6]、日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*)^[7]、鲤 (*Cyprinus carpio*)^[8] 上研究所得结果一致。而另有一些学者认为肉碱对鱼类无促生长效果^[9-10],杜震宇^[9]等报道了在饲料中添加 200 mg/kg 的 L 肉碱对罗非鱼生长的影响试验,罗非鱼初始重为 (38.65±0.21) g 试验温度为 (20.62±2.52) °C,肉碱添加组的生长率较未添

加组降低,添加 200 mg/kg 的L肉碱对罗非鱼并无促生长作用,认为可能是相对较低的水温影响了肉碱的作用效果。本研究在饲料中添加肉碱促进了奥尼罗非鱼的生长,这可能跟本试验较高的水温($28.9 \pm 0.7^\circ\text{C}$)和较小的鱼体初始重($0.30 \pm 0.01\text{ g}$)有关。肉碱的作用效果受到多方面因素的影响。Santulli等^[11]通过研究指出,试验水温将会影响肉碱的作用效果;Torreele等^[12]认为饲料中脂肪含量以及饲料中脂肪的组成可对肉碱的作用效果产生影响。本试验饲料的脂肪含量较杜震宇所用饲料脂肪含量低将近2个百分点。

章世元等^[13]用L肉碱水平分别为0、50、100、150、200和 250 mg/kg 的几组饲料对异育银鲫(Hybridized prussian carp)进行饲养试验,结果发现, 200 mg/kg 组鲫增重最快,优于 250 mg/kg 组,这说明L肉碱对鲫的促生长作用并非完全与添加量呈正比。王骥腾等^[14]认为,肉碱可加强蛋白质合成进而引起肝糖和氮代谢的变化,但高剂量的肉碱消耗大量脂肪,可能造成鱼体所需脂肪量的相对不足,最终使得促生长效果不佳甚至下降。本试验同样表明,当饲料中肉碱添加量为 150 mg/kg 时,奥尼罗非鱼的增重率最高,饲料系数最低,促生长效果最好。而当肉碱添加量达到 200 mg/kg 时,增重率有所回落,饲料系数有所上升。所以在奥尼罗非鱼配合饲料生产中应把握好肉碱的适宜添加量。

3.2 不同L肉碱水平对奥尼罗非鱼肝胰腺和肌肉脂肪含量的影响

王永侠等^[15]认为,在饲料中添加L肉碱能减少脂肪沉积,改善肉质。Hong等^[10]研究指出,在大西洋鲑(Salmo salar)饲料中添加L肉碱可以降低组织脂肪含量。从本研究结果来看,奥尼罗非鱼肌肉脂肪含量先随着肉碱添加量的增加而升高,随后下降,其中肉碱添加量为 200 mg/kg 的第5组肌肉脂肪含量最低。周萌等^[6]研究发现,在军曹鱼饲料中添加一定量的L肉碱可以降低军曹鱼的肝体比及肝脂。本试验中,奥尼罗非鱼肝胰腺脂肪含量随着肉碱添加量的增加,不呈规律性变化,但可以看到,当肉碱添加量为 100 mg/kg 时,肝胰腺脂肪含量最低,这与Burtele等^[16]的试验结果相一致;4组的肝体比最小,显著低于1、2、5组,到第5组陡然回升,说明添加适量的肉

碱能降低罗非鱼的肝体比。因此,在饲料中添加适量的L肉碱可以降低奥尼罗非鱼体内脂肪含量,促进脂肪代谢,预防鱼类脂肪肝。

3.3 不同L肉碱水平对奥尼罗非鱼血浆生化指标的影响

L肉碱可有效清除合成胆固醇的原料—游离酰基,从而降低动物体内胆固醇沉积量。本试验中,添加L肉碱后奥尼罗非鱼血浆CHOL含量明显下降,说明L肉碱可以有效地降低奥尼罗非鱼体内胆固醇的沉积量,这与章世元等^[9]的研究结果相一致。由于HDL是CHOL的主要运输者之一,所以HDL和CHOL的变化趋势相似。TG由甘油和脂肪酸缩合而成,血浆中TG含量过高即形成高脂血,对鱼体有害,L肉碱作为脂肪酸的跨膜载体,以酰基L肉碱的形式将脂肪酸从线粒体外运送到膜内,促进脂肪酸的 β 氧化,使血浆中的TG含量下降。本研究显示,对照组奥尼罗非鱼的血浆TG含量较高,而3、4、5组血浆TG含量均有明显下降,其中4组降幅最大,说明添加肉碱可以降低奥尼罗非鱼的血脂浓度。

陈义等^[17]认为,血清中转氨酶的活性可反映肝细胞损伤程度,因而检测转氨酶是判断肝脏损害程度的主要实验室依据之一。当肝细胞遭受破坏或细胞膜通透性增加时,ALT和AST等酶就会渗入血液,使血液中转氨酶的活性显著升高^[18],本试验中, 150 mg/kg 添加组奥尼罗非鱼血浆ALT和AST酶的活性较低,肝细胞损伤程度较低。GGT在肝内主要分布于肝细胞浆和肝内胆管上皮中,血浆中的GGT主要来自肝脏,肝脏受损时,血浆中GGT活性升高,本试验中4组GGT活性最低,肝脏受损程度较低。

L肉碱可以抑制体内赖氨酸和蛋氨酸的消耗,从而起到节约蛋白质的作用,也可能通过增加丙酮酸羧化酶的作用来改变代谢过程中产生的废氮的去向,使之向合成氨基酸和机体蛋白质的方向转化^[19]。从本试验结果来看,随着肉碱添加量的增加,各组的血浆白蛋白有升高趋势,尿素氮有下降趋势,表明肉碱能增加体氮,抑制体内氨基酸消耗,从而起到节约蛋白质,促进蛋白质沉积的作用。

3.4 L肉碱在奥尼罗非鱼饲料中的适宜添加量

L肉碱在水产饲料中应用广泛,饲料厂一般

采用纯度为 50% 左右的肉碱。在饲料中添加 L 肉碱可以解决动物在生长过程中由于体内合成不足而造成的生长滞后的问题,从而提高动物生长速度,并且在一定程度上降低了饲料的损失。Becker^[20]研究指出,在罗非鱼饲料中添加 L 肉碱对饲料利用率和蛋白质效率影响明显。本研究表明,当 L 肉碱(纯度为 99%)在奥尼罗非鱼饲料中的添加量为 150 mg/kg 时,奥尼罗非鱼生长和脂肪代谢较好。建议在规模化、高密度养殖奥尼罗非鱼过程中,可以适当加大 L 肉碱添加量,但不能添加过量,否则过量的肉碱不但会消耗大量脂肪,使鱼体消瘦,生长缓慢,而且加重机体代谢负载,影响其它物质代谢,引起鱼类生长性能下降。另外值得注意的是要选好 L 肉碱的添加条件,应根据奥尼罗非鱼在不同的生长阶段、生理状态及环境条件下的实际需要量来添加 L 肉碱,否则就不能发挥奥尼罗非鱼最大的生长潜能。

参考文献:

- [1] 胡梦虹,王有基.新型水产饲料添加剂—左旋肉碱(L-Carnitine)[J].现代渔业信息,2006,21(6):18—20,23.
- [2] 沈佳佳,张晓军,王浩.绿色水产饲料添加剂—L肉碱的研究进展[J].饲料与养殖,2005,(10):23—23.
- [3] 石军,陈安国,张云刚.L肉碱的生物学功能及其在鱼类营养代谢中的作用[J].水利渔业,2002,22(5):10—12.
- [4] 朱友谊,张宝彤,李爱琴,等.肉碱在畜牧水产动物营养上的研究及应用[J].中国饲料,1999,8:21—23.
- [5] 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—65.
- [6] 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.
- [7] 许民强,邬成华.L肉碱对日本鳗鲡生长性能的影响[J].水产科技情报,1997,24(5):223—225.
- [8] 景水才.饲料中左旋肉碱对鲤鱼促生长和抗应激作用的影响[J].北京水产,2008,(2):54—56.
- [9] 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.
- [10] Hong J Bradley T M. A tlanitic salam on fed L-carnitine exhibit altered intermediary metabolism and reduced tissue lipid but not change in growth rate[J]. J Nutri 1996, 126(8): 1937—1950.
- [11] 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: 177—186.
- [12] Torneek B E, Der Shiszen A V, Verreth J. The effect of dietary L-carnitine on the growth performance in fingerlings of the American catfish (*Clarias gariepinus*) in relation to dietary lipid[J]. Br J Nutr 1993, 69: 289—299.
- [13] 章世元,张丽娜,姜德兴.L肉碱对异育银鲫生长性能、血液生化指标和肌肉氨基酸组成的影响[J].饲料添加剂,2008,(10):34—36,44.
- [14] 王骥腾,韩涛,韩丽霞,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.
- [15] 王永侠,占秀安,郑严严.L肉碱及其在水产养殖中的应用研究进展[J].广东饲料,2008,17(3):39—40.
- [16] Burtle G J Liu Q H. Dietary carnitine and lysine affect channel catfish lipid and protein composition[J]. J World Aquacult Soc 1994, 25(2): 169—174.
- [17] 陈义,吴斌,李永茂.病毒性肝炎肝细胞损伤程度对血清转氨酶活性与比值的影响[J].兰州医学院学报,1991,17(2):96—97,103.
- [18] 李莉.动物生物化学[M].北京:中国农业出版社,2001:147.
- [19] 周洪琪,潘兆龙,李世钦.草鱼代谢能的研究[J].水产学报,1998,22(1):28—31.
- [20] Becker K, Schreiber S, Angonico et al. 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.