

文章编号: 1000-0615(2002)05-0259-06

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

杜震宇, 刘永坚, 田丽霞, 刘栋辉, 冯 健, 梁桂英

(中山大学生命科学院, 广东 广州 510275)

摘要: 在饲料中分别添加 $200\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $400\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 DL-肉碱和 $200\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 L-肉碱, 饲养初始重为 $38.65 \pm 0.21\text{g}$ 的罗非鱼, 经过 34 d 的生长试验, 观察不同添加量的 DL-肉碱与 L-肉碱对于罗非鱼生长情况、机体营养成分组成的影响。实验结果表明, 添加两种构型肉碱对于罗非鱼并无促生长作用, 也未明显改变全鱼和肌肉的营养成分组成, 但是对于改变罗非鱼内脏相对重量、降低肝脂则有一定作用, 这些作用和影响在相同添加量 ($200\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 的 DL-肉碱与 L-肉碱之间无显著差异 ($P > 0.05$)。

关键词: 罗非鱼; DL-肉碱; L-肉碱; 生长; 营养成分

中图分类号: S963 **文献标识码:** A

Effects of two different carnitine isomers on growth and body composition of hybrid *Oreochromis nilotica* ♀ × *Oreochromis aurea* ♂

DU Zhen-yu, LIU Yong-jian, TIAN Li-xia, LIU Dong-hui, FENG Jian, LIANG Gui-ying

(School of Life Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The effects of DL-carnitine and L-carnitine with different supplement doses ($200\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ DL-carnitine, $400\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ DL-carnitine and $200\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ L-carnitine) on the growth and composition of body of hybrid tilapia (*Oreochromis nilotica* ♀ × *Oreochromis aurea* ♂) were studied with a mean body weight of $38.65 \pm 0.21\text{g}$ per fish over 34 days. The study showed that the two isomers of carnitine neither improve the growth rate nor alter the composition of whole fish and muscle significantly, but it was observed that the relative weight of viscus was changed and the liver fat decreased significantly ($P < 0.05$). No clear difference of supplement effects between DL-carnitine and L-carnitine with same supplement dose ($200\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) was found under the experiment conditions.

Key words: hybrid tilapia; DL-carnitine; L-carnitine; growth; nutrient composition

肉碱(carnitine)于 1905 年被发现, 它的主要作用是能够携带长链脂肪酸通过线粒体膜而促进脂肪酸的 β -氧化^[1]。上世纪 80 年代以来, 国内外有文章报道, 肉碱用于畜禽和鱼虾饲料有促进动物的生长发育、改善肉质品质等作用^[2], 并已作为一种饲料添加剂在畜禽、水产养殖中应用。肉碱具有 D 型和 L 型两种旋光异构体, 有研究指出, L-肉碱是真正在鱼类体内有生理活性的物质, 而 D-肉碱则只

收稿日期: 2001-08-02

资助项目: 广东省“九五”科技攻关项目

作者简介: 杜震宇(1977-), 男, 浙江绍兴人, 硕士研究生, 主要从事鱼类营养学研究。Tel: 020-84110789, E-mail: duzhenyu@263.net

会起到毒害作用^[3]。但是,在国内,由于生产工艺等原因,生产的肉碱水产饲料添加剂以 DL-肉碱为主,而且经过长期生产实践证实其同样具有促进动物生长、改善组织营养组成的作用^[4,5]。另外,对于肉碱的促生长和改善机体营养成分组成的作用,虽有不少报道^[6-10],但是也有报道提出了截然不同的意见^[11,12]。甚至在同一种鱼中,也有两种相反的意见存在^[13,14]。本文用国内养殖量较大的罗非鱼为实验对象,以生产实践中常用的肉碱添加量为实验剂量,研究和探讨 DL-肉碱和 L-肉碱对罗非鱼生长和机体营养成分组成的影响。

1 材料与方 法

1.1 试验饲料、试验鱼和饲养管理

试验饲料配方和成分分析如表 1 所示。试验用罗非鱼由本实验室渔场提供,平均体重为 $38.65 \pm 0.21\text{g}$ 。饲养试验在室内循环流水过滤水族箱($98\text{cm} \times 48\text{cm} \times 42\text{cm}$)中进行。4 种饲料(不添加肉碱的对照组,添加 DL-肉碱浓度分别为 $200\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $400\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的两组饲料以及添加 L-肉碱浓度为 $200\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的饲料),每种饲料设置 3 个平行箱,每箱放鱼 20 尾。水源为曝气去氯后的自来水,水温平均为 $20.62 \pm 2.52^\circ\text{C}$,水中溶氧量为 $9.71 \pm 0.47\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, pH 值为 7.38 ± 0.18 ,氨氮含量为 $0.48 \pm 0.07\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。试验前将罗非鱼在水族箱中驯养 1 周使之适应环境。正式试验开始时,称取罗非鱼初始体重,前 2 周的日投喂量为鱼体重的 1.75%,以后调整为 2%,每日于上午 9:30 和下午 4:30 两次投喂。试验过程中每两周称一次总体重,检查生长情况。在试验两周后,于每日清晨投喂前采用虹吸法收集粪便,挑选有完整包膜的粪粒于 105°C 烘干后,置于 -20°C 冰箱保存备测。饲养周期为 34d。

表 1 试验饲料组成和营养成分分析

Tab.1 Composition of diets

(% dry matter)

成分 ingredients	对照组 control group	DL-肉碱组($200\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) DL-carnitine	DL-肉碱组($400\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) DL-carnitine	L-肉碱组($200\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) L-carnitine
次粉(wheat middling)	31.58	31.58	31.58	31.58
大豆粕(soybean meal)	21.33	21.33	21.33	21.33
菜籽粕(rapeseed meal)	20	20	20	20
花生仁粕(peanut meal)	10	10	10	10
鱼粉(fish meal)	10	10	10	10
玉米油(corn oil)	2	2	2	2
碳酸氢钙($\text{CaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	2	2	2	2
大豆磷脂(soybean lecthin)	1	1	1	1
复合矿物质(mineral mixture)	1	1	1	1
复合维生素(vitamin mixture)	0.5	0.5	0.5	0.5
α -淀粉(α -starch)	0.3	0.3	0.3	0.3
胆碱(choline)	0.2	0.2	0.2	0.2
Vc 磷酸酯(ascorbic acid phosphate ester)	0.1	0.1	0.1	0.1
L-肉碱(L-carnitine)	-	-	-	0.02
DL-肉碱(DL-carnitine)	-	0.02	0.04	-
三氧化二铈(Y_2O_3)	0.01	0.01	0.01	0.01
蛋白质(protein)	35.83	36.02	36.08	36.31
脂肪(lipid)	6.11	6.22	6.77	6.47
灰分(ash)	9.13	9.00	9.05	9.14

1.2 样品采集和分析

试验结束时,使鱼空腹 24h 后,从每箱中随机取鱼 2 尾,立即杀死,在 105°C 烘至恒重制备全鱼样

品。另随机取鱼 3 尾,用针自枕骨孔处插入颅腔毁髓,取肌肉、肝胰脏分别取肌肉样品和肝胰脏样品,并分离肠系膜脂肪称重。分别采用 105℃ 常压干燥法、凯氏定氮法、索氏提取法及 550℃ 灼烧法分别测定全鱼、肌肉和肝胰脏的水分、粗蛋白、脂肪和灰分。用等离子体原子发射光谱法测定饲料和粪便中指标物的含量,消化率测定方法参考文献[15]。

1.3 试验结果的统计分析

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 试验结果

2.1 DL-肉碱和 L-肉碱对罗非鱼特定生长率、消化率和饲料系数的影响

由表 2 可见,在罗非鱼饲料中添加 DL 和 L 型肉碱,对于罗非鱼而言并没有促进生长的作用,相反却妨碍了罗非鱼的生长,其中,添加 $400\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ DL-肉碱的试验组的生长率显著低于对照组 ($P < 0.05$)。而在相同添加量的 DL-肉碱组与 L-肉碱实验组之间,则不存在显著差异 ($P > 0.05$)。DL-肉碱和 L-肉碱对于罗非鱼生长情况的影响结果,也几乎同样地表现在对消化率和饲料系数的影响上。从消化率来看,添加 DL-肉碱和 L-肉碱的实验组与对照组无显著差异 ($P > 0.05$),但都较对照组为低。在饲料系数方面,3 个实验组都高于对照组,但添加 $400\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ DL-肉碱组的饲料系数要显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

表 2 DL-肉碱和 L-肉碱对罗非鱼特定生长率、消化率和饲料系数的影响

Tab.2 Effects of DL- and L- carnitine on specific growth rate(SGR), digestibility and food coefficient (FC)

组别 groups	初重(g) initial weight	末重初重(g) final weight	特定生长率(%) SGR	总消化率(%) digestibility	饲料系数 FC
对照组 control	38.77 ± 0.17	47.80 ± 0.36	0.60 ± 0.03 ^a	64.00 ± 1.24	2.99 ± 0.18 ^a
DL-肉碱组 (200mg·kg ⁻¹) DL- carnitine	38.67 ± 0.22	46.25 ± 0.82	0.51 ± 0.06 ^{ab}	62.56 ± 0.96	3.50 ± 0.50 ^{ab}
DL-肉碱组 (400mg·kg ⁻¹) DL- carnitine	38.55 ± 0.23	45.22 ± 0.75	0.46 ± 0.06 ^b	62.24 ± 0.30	4.01 ± 0.62 ^b
L-肉碱组 (200mg·kg ⁻¹) L- carnitine	38.63 ± 0.29	46.40 ± 1.44	0.52 ± 0.07 ^{ab}	62.72 ± 0.76	3.49 ± 0.47 ^{ab}

注:同列数据上标字母不同者之间表示存在显著差异 ($P < 0.05$),表中各评价指标计算公式参考文献[15]。

Notes: Within the same line, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$), and significant growth rate(SGR), digestibility and food coefficient (FC) were introduced by reference[15].

2.2 DL-肉碱和 L-肉碱对罗非鱼肥满度和内脏器官相对重量的影响

由表 3 可见,在饲料中添加 DL-肉碱和 L-肉碱,对于改善罗非鱼的体形以及内脏器官的相对重量是有作用的。从表 3 的数据来看,添加肉碱的实验组与对照组相比,肥满度增加,脏体比下降,肠系膜脂肪占体重百分比也下降,相对应地,表示可食部分的空壳率增高,而且,这些指标在相等添加量的 DL-肉碱组与 L-肉碱组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。肝体比的比较发现, $400\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 添加量的 DL-肉碱组较其它组为低,并显著低于 $200\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 添加量的 L-肉碱组 ($P < 0.05$)。而 $200\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 添加量的 L-肉碱组与相同添加量的 DL-肉碱组以及对照组之间,则无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 3 DL-肉碱和 L-肉碱对罗非鱼肥满度与内脏器官相对重量的影响

Tab.3 Effects of DL- and L- carnitine on relative weight of viscus (%)

组别 groups	肥满度 condition factor	脏体比 viscus ratio	肝体比 hepatosomatic index	肠脂比 intraperitoneal fat ratio	空壳率 trunk ratio
对照组 control	3.31 ± 0.29	10.87 ± 1.52	3.14 ± 0.13 ^{ab}	3.55 ± 0.83	89.13 ± 1.52
DL-肉碱组 (200mg·kg ⁻¹) DL- carnitine	3.43 ± 0.42	10.68 ± 1.09	3.24 ± 0.93 ^{ab}	3.30 ± 0.74	89.32 ± 1.09
DL-肉碱组 (400mg·kg ⁻¹) DL- carnitine	3.56 ± 0.29	9.96 ± 0.94	2.97 ± 0.33 ^a	2.97 ± 0.70	90.04 ± 0.94
L-肉碱组 (200mg·kg ⁻¹) L- carnitine	3.47 ± 0.34	10.85 ± 1.14	3.73 ± 0.28 ^b	3.24 ± 0.65	89.15 ± 1.14

注:同列数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P < 0.05$),表中各评价指标计算公式参考文献[16].

Notes: Within the same line, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$), and CF, VR, HSI, IPFR and TR were introduced by reference[16].

2.3 DL-肉碱和 L-肉碱对罗非鱼机体营养成分组成的影响

由表 4 可见,添加 DL-肉碱与 L-肉碱对于罗非鱼全鱼和肌肉的大部分营养成分组成的影响不大,但是在全鱼的灰分、肌肉的脂肪含量以及肝胰脏的粗蛋白含量 3 个指标上,200mg·kg⁻¹添加量的 L-肉碱组都要显著低于对照组与 DL-肉碱组($P < 0.05$),而后两者则不存在显著差异($P > 0.05$)。另外,从表 4 看出,肉碱对于降低肝脂有一定作用,表现在 3 个实验组该指标均低于对照组,同样添加量的 DL-肉碱组与 L-肉碱组之间无显著差异($P > 0.05$),而 400mg·kg⁻¹添加量的 DL-肉碱组则显著低于对照组与 200mg·kg⁻¹添加量的 L-肉碱组($P < 0.05$)。

表 4 DL-肉碱和 L-肉碱对罗非鱼鱼体营养成分组成的影响

Tab.4 Effects of DL- and L- carnitine on composition of body muscle and liver (% dry matter)

组别 groups		对照组 control group	DL-肉碱组 (200mg·kg ⁻¹) DL- carnitine	DL-肉碱组 (400mg·kg ⁻¹) DL- carnitine	L-肉碱组 (200mg·kg ⁻¹) L- carnitine
全鱼 total fish	水分 moisture	69.92 ± 0.51	69.12 ± 0.06	68.99 ± 1.30	68.55 ± 0.71
	粗蛋白 protein	55.62 ± 2.53	54.40 ± 1.99	53.46 ± 2.14	55.38 ± 3.12
	粗脂肪 lipid	26.91 ± 2.69	27.17 ± 1.26	29.00 ± 1.51	26.89 ± 1.78
	灰分 ash	14.42 ± 0.47 ^{ab}	14.78 ± 0.32 ^a	14.49 ± 0.61 ^{ab}	13.82 ± 0.25 ^b
肌肉 muscle	水分 moisture	77.9 ± 0.44	78.15 ± 0.06	78.21 ± 0.25	77.93 ± 0.26
	粗蛋白 protein	90.04 ± 0.24	90.37 ± 1.14	90.15 ± 0.67	90.75 ± 1.11
	粗脂肪 lipid	3.54 ± 0.29 ^a	3.43 ± 0.26 ^a	3.14 ± 0.58 ^a	2.22 ± 0.72 ^b
	灰分 ash	5.28 ± 0.32	5.15 ± 0.39	5.41 ± 0.23	5.49 ± 0.29
肝胰脏 hepatopan creas	水分 moisture	65.80 ± 5.28	68.25 ± 0.68	68.76 ± 1.46	67.22 ± 0.19
	粗蛋白 protein	32.43 ± 1.54 ^a	30.57 ± 1.89 ^a	31.12 ± 3.70 ^a	27.74 ± 0.88 ^b
	粗脂肪 lipid	18.09 ± 0.99 ^{bc}	15.81 ± 2.15 ^{ab}	14.63 ± 0.99 ^a	17.04 ± 1.94 ^b

注:同行数据上标字母 a,b,c 不同者之间表示存在显著差异($P < 0.05$)。

Notes: Within the same raw, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

3 讨论

肉碱的营养机制是作为长链脂肪酸进入线粒体氧化的转运关键因子,促进长链脂肪酸的氧化,同时又能协助中短链脂肪酸的氧化,降低过多乙酰基的毒害,并且由于终端产物抑制作用而减少体内对赖氨酸、蛋氨酸的消耗,起到节约蛋白质的作用^[1,2,17,18]。Santulli 等^[3,10]在饲养周期 7 个月,添加 D-肉碱与 L-肉碱浓度为 $250\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的条件下,对尖吻鲈的研究指出,L-肉碱能够转运乙酰基团,促进脂质代谢,促进生长和提高蛋白质含量,而 D-肉碱则抑制生长,并且干扰鱼体的正常代谢。但是国内的大量养殖试验报道^[4,5,19]则证实了 DL-肉碱在实际生产实践中的作用。另外,Rebouche^[20]对大鼠 32d 的养殖实验也显示出对于体内 L-肉碱的合成与代谢而言,在饲料中添加 DL-肉碱与 L-肉碱并无显著差异。从本实验结果来看,虽然实验组生长情况劣于对照组,但是在相同添加浓度的 DL-肉碱与 L-肉碱之间则无显著差别($P > 0.05$)。在鱼内脏相对重量与鱼体营养成分组成方面,同样显示出与生长情况相似的情况,即相同添加浓度的 DL-肉碱与 L-肉碱之间无显著差异($P > 0.05$)。这说明在本试验条件下,在饲料中添加 DL-肉碱与 L-肉碱无明显差别。

从本试验结果看,在饲料中添加肉碱,并未促进罗非鱼的生长,也没有显著地改变罗非鱼全鱼、肌肉的营养成分,这与曹俊明等^[19]用 DL-肉碱饲养草鱼的试验结果相仿。但是,在本实验中,添加肉碱,对于改善罗非鱼的体形却起到了一定的作用,并且明显降低了肝脂的含量。这与 Santulli 等^[3]在尖吻鲈、Gaylord 等^[13]在杂种条纹狼鲈(*Morone chrysops* ♀ × *Morone saxatilis* ♂)用 L-肉碱做试验得到的结果是相似的。众多的研究表明,影响肉碱添加效果的因素是多方面的。Chatzifrtis 等^[8]认为饲料中不同的赖氨酸水平会极大地影响肉碱的作用效果;Twibell 等^[14]认为不同的肉碱添加量会对最后的作用效果产生很大的影响;Santulli 等^[3]认为实验水温将会影响肉碱的作用效果;Torreale 等^[9]则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。在本实验中,在饲料中添加 DL-肉碱与 L-肉碱都没有促进罗非鱼的生长,从结果看,反而阻碍了罗非鱼的生长。考虑到罗非鱼为耐寒力较弱的鱼类,而本实验的实验温度较低($20.62 \pm 2.52^\circ\text{C}$),与罗非鱼正常生长所需温度有较大差距,因此,这可能说明,水温确实是影响肉碱作用效果的一个相当重要的因子,而由于生长情况不佳,则可能会引起其它更多的负面效应或者阻碍肉碱营养作用的发挥。虽然本实验没有观察到肉碱的促生长作用,但是,对于肉碱的降肝脂作用,却取得了预期的结果。这是否提示肉碱促生长作用与降肝脂作用的主要影响因子并不一致,存在着相对的独立性,更进一步说,肉碱促生长与降低肝脂可能有着不同的生理生化机制。由于肉碱对于生长的促进作用除了增加脂类氧化提供能量之外,也与对限制性氨基酸蛋氨酸和赖氨酸的节约效应有关,因此如果当饲料质量较高而造成肉碱对蛋氨酸、赖氨酸的节约效应下降之后,其促生长作用效果将会下降,但促生长效果的下降与其降脂作用的发挥,却并没有必然的严格对应关系。这提示肉碱在体内的营养机理可能要比人们目前认识的更为复杂和精细。由此看来,肉碱对于养殖鱼类的营养效果,是与养殖鱼类的养殖条件和饲料营养水平密切相关的,不同的条件下肉碱作用的表现并不一致,并非在任何情况下添加肉碱都有效果。因此,探讨确定肉碱的最佳添加条件,仍需要做大量的工作。

王艳奇、孙燕燕、刘继芳、陈素芳和魏祥东同志参与了本文的部分工作,谨表谢意。

参考文献:

- [1] Bremer J. Carnitine-metabolism and functions[J]. *Physiological Reviews*, 1983, 63:1421 - 1466.
- [2] Zhu Y Y, Liu W H, Wu T X. The application of carnitine on animal nutrition[J]. *Feed Research*, 1999, 12:15 - 18. [朱友谊,刘万涵,吴天星. 肉毒碱在动物营养学上的应用[J]. *饲料研究*, 1999, 12:15 - 18.]
- [3] Santulli A, D'Amelio V. Effects of supplemental dietary carnitine on growth and lipid metabolism of hatchery-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) [J]. *Aquac*, 1986, 59:177 - 186.
- [4] Liu W H. A new feed additive: Yuchu IV[A]. *Corpus of 3th forum of feed additive research communication in China*[C], 1993. 154 -

161. [刘万涵. 新型饲料添加剂鱼促4号[A]. 第三届全国饲料添加剂学术交流会议论文集[C], 1993. 154-161.]
- [5] Du M X, Cheng Z F, Lu X Y. The metabolism of carnitine and its effects in Fish aquaculture[J]. Zhujiang Fishery, 2000, 31:8-10,15. [杜森鑫,陈正芳,陆小茜. 肉毒碱作用机理与鱼虾养殖效果试验[J]. 珠江水产, 2000, 31:8-10,15.]
- [6] Klaus B, Simone S, Chaim A, 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]. Aquac, 1999, 174(3-4):313-322.
- [7] Schuhmacher A, Gropp J M. Carnitine: a vitamin for rainbow trout? [J] Journal of Applied Ichthyology, 1998, 14(1-2):87-90.
- [8] Chatzifrtis S, Takenchi T, Seikai T. The effect of dietary carnitine supplementation on growth of red sea bream (*Pagrus major*) fingerlings at two levels of dietary lysine[J]. Aquac, 1996, 147:235-248.
- [9] Torrele 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, 69:289-299.
- [10] Santulli A, D'Amelio V. The effects of carnitine on growth of sea bass, *Dicentrarchus labrax* L., fry[J]. J Fish Biol, 1986, 28:81-86.
- [11] Ji H, Bradley T M, Tremblay G C. Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed L-carnitine exhibit altered intermediary metabolism and reduced tissue lipid, but no change in growth rate[J]. J Nutr, 1996, 126:1937-1950.
- [12] Rodehutsord M. Effects of supplemental dietary L-carnitine on growth and body composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high fat diets[J]. J Anim Physiol Anim Nutr, 1995, 73:276-279.
- [13] Gaylord T G, Gatlin D M. Dietary lipid level but not L-carnitine affects growth performance of hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *Morone saxatilis* ♂) [J]. Aquac, 2000, 190:237-246.
- [14] 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]. Aquac, 2000, 187:153-161.
- [15] Lin D, Mao Y Q. Fish nutrition and formulated diet[M]. Guangzhou: Zhongshan University Press, 1987. 80-84, 135-137. [林鼎, 毛永庆. 鱼类营养与配合饲料[M]. 广州: 中山大学出版社, 1987. 80-84, 135-137.]
- [16] Mao Y Q, Lin D, Liu Y J. Relationship of diet and growth, biological character and composition of pond fishes[A]. Corpus of 3th forum of Chinese foodstuff and diet association, Taiyuan[C], 1990. 117-123. [毛永庆, 林鼎, 刘永坚. 饲料与塘养鱼类的生长、生物性状和成分关系[A]. 中国粮油学会饲料专业学会第三届年会论文集[C]. 太原, 1990. 117-123.]
- [17] Hong W G. The biological effect of L-carnitine[A]. Foreign medical sciences section of phthophysiology and clinical medicine[M]. 1997, 17(4):356-359. [洪卫国. L-肉碱的生物学作用[A]. 国外医学生理、病理科学与临床分册[M], 1997, 17(4):356-359.]
- [18] Liu W. The new biological effect of carnitine[J]. Chemistry of Life, 1991, 11(4):17-18. [刘武. 肉碱的生物学新功用[J]. 生命的化学, 1991, 11(4):17-18.]
- [19] Cao J M, Liu Y J, Liang G Y. The effect of Yuxia IV on improving using efficiency on feed protein and tissue nutrient composition[J]. China Feed, 1997, 19:30-31. [曹俊明, 刘永坚, 梁桂英. 鱼虾4号对提高草鱼饲料蛋白利用率及组织营养成分组成的影响[J]. 中国饲料, 1997, 19:30-31.]
- [20] Rebouche C J. Effect of dietary carnitine isomers and γ -butyrobetaine on L-carnitine biosynthesis and metabolism in the rat[J]. J Nutr, 1983, 113:1906-1913.