

文章编号: 1674-5566(2011)02-0224-06

甜菜碱对奥尼罗非鱼生长、体脂含量及血清生化指标的影响

朱定贵^{1,2}, 于丹³, 陈涛⁴, 战歌¹, 黄凯¹, 麻艳群¹, 杨思华³

(1. 广西大学, 广西南宁 530005; 2. 广西农业职业技术学院, 广西南宁 530007; 3. 广西百洋集团有限公司, 广西南宁 530004; 4. 邕江大学, 广西南宁 530001)

摘要: 取奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) 750尾, 随机分为5组, 分别饲喂甜菜碱 (Betaine) 添加量为0、0.15%、0.30%、0.45%和0.60%的饲料, 饲养65 d, 以研究甜菜碱对奥尼罗非鱼生长、体脂含量及血清生化指标的影响。结果表明: 当甜菜碱添加量为0.30%~0.60%时, 罗非鱼的增重率较对照组分别提高19.52%、16.63%和21.38%; 饲料系数分别降低25.55%、20.44%和29.93%; 肝体比降低9.29%、38.57%和29.29%; 血清中甘油三酯含量较对照组分别降低66.28%、55.81%和80.23%; 淀粉酶活性降低88.78%、37.59%和62.41%; 白蛋白和总蛋白含量升高, 胆固醇含量显著降低; 谷丙转氨酶、谷草转氨酶、乳酸脱氢酶活性均有所降低。在本研究条件下, 建议奥尼罗非鱼饲料中甜菜碱的适宜添加量为0.45%~0.60%。

研究亮点: 将罗非鱼脂肪含量和血清生化指标结合起来, 综合分析了甜菜碱对奥尼罗非鱼机体脂肪代谢的影响, 尚属首次。而关于甜菜碱对动物体血清指标影响的研究仅见于陆生动物及淡水白鲢。未见有甜菜碱对罗非鱼血清指标影响的研究。

关键词: 甜菜碱; 奥尼罗非鱼; 生长; 体脂含量; 血清生化指标

中图分类号: S 963.73

文献标识码: A

甜菜碱是一种广泛存在于动物、植物和微生物体内的天然化合物, 具有适合鱼类嗅觉和味觉感受器的化学结构, 其作为甲基供体, 具有重要的生理调节作用, 能促进动物体蛋白质和脂肪代谢, 作为水产饲料添加剂, 能有效提高饲料的利用率并降低饲喂成本。林建斌^[1]研究表明, 甜菜碱在水产养殖中是一种非常有效的化学诱食剂, 能增强水产动物对氨基酸的味觉反应, 可以促进摄食, 提高增重, 改善饲料报酬, 并降低死亡率。阎希柱^[2]认为甜菜碱具有缓冲鱼类渗透压激变、诱食、替代维生素、促进鱼体生长和改善鱼体组织成分等作用。田云荣^[3], 郭玉琴和丁角立^[4]通过试验证明, 甜菜碱能通过促进脂肪分解, 转移和抑制脂肪生成来促进脂肪代谢, 防止肝中脂肪沉积, 降低脂肪肝的发病率。本试验通过考察奥尼罗非鱼的生长状况、体脂含量以及血清生化指标, 探讨饲料中甜菜碱的添加剂量对罗非鱼的影响,

旨在为健康快速养殖罗非鱼和预防罗非鱼脂肪肝病提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料配制

参照罗非鱼的营养需求 (NRC1998), 以鱼粉、豆粕、次粉、花生麸等为原料, 添加不同剂量的甜菜碱 (分析纯), 添加量分别为0、0.15%、0.30%、0.45%和0.60%, 记作1、2、3、4、5组, 配制5组试验饲料, 试验饲料配方及营养组成见表1。配料用绞肉机制成条状, 在60℃恒温箱中经5 h烘干, 制成2 mm粒径的颗粒, 然后密封冷藏保存。

1.2 试验鱼和饲养管理

试验鱼由广西水产研究所提供。取规格较均匀的试验鱼750尾, 平均体长(1.60 ± 0.13) cm, 平均体重(0.30 ± 0.01) g, 驯养7 d后随机分

收稿日期: 2010-06-08 修回日期: 2010-09-19

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

作者简介: 朱定贵(1963-), 男, 副教授, 硕士, 主要从事水产养殖、农业经济方面的研究。E-mail: gxnxzdg@163.com

通讯作者: 黄凯, E-mail: hkai110@163.com

为5组(150尾/组),每组设3个重复分养到15个室内水泥池(1 m×1 m×1.5 m)中,试验期为65 d。

表1 试验饲料配方及营养组成
Tab.1 Composition of the diets and the nutrient level of the diets

原料名称	饲料组 (%)				
	1	2	3	4	5
甜菜碱	0	0.15	0.30	0.45	0.60
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
菜籽饼	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	0.85	0.70	0.55	0.40
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	8.8	9.2	8.5	9.3	8.1
粗蛋白	39.8	39.4	39.5	39.2	39.6
粗脂肪	4.50	4.75	4.36	4.84	4.76
粗灰分	10.8	10.6	10.4	10.2	10.2

水源为曝气去氯后的自来水,养殖过程中保持加热控温和循环过滤,并适当充氧。每天9:00和17:00各投饲1次,投饲量为鱼体重的3%~5%。每天早上吸污后,换水1/3并记录水温。试验期间平均气温为(29.1±1.3)℃,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 样品的采集和试验指标的测定

试验结束后,试验鱼停饲24 h,称总重。每池随机取鱼15尾,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。再取15尾鱼量体长,称取肝胰脏重量,计算肥满度和肝体比,剖取肝胰脏、肌肉,称重,以索氏抽提法测定其中的粗脂肪含量。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),乳酸脱氢酶(LDH),淀粉酶(AMY),

γ-谷氨酰转肽酶(GGT),尿素氮(BUN),白蛋白(ALB),总蛋白(TP)。

相关计算公式如下:

$$R_{FC} = F / (W_t - W_o) \quad (1)$$

式中: R_{FC} 为饲料系数, F 为饲料摄取量, W_o 、 W_t 分别为初始及鱼体终重。

$$R_S (\%) = 100\% \times Q_t / Q_o \quad (2)$$

式中: R_S 为成活率, Q_t 为终末尾数, Q_o 为初始尾数。

$$R_{WC} (\%) = 100\% \times (W_t - W_o) / W_o \quad (3)$$

式中: R_{WC} 为增重率。

$$F_C (\%) = 100\% \times W_t / L^3 \quad (4)$$

式中: F_C 为肥满度, L 为终末体长。

$$I_{HS} (\%) = 100\% \times H / W_t \quad (5)$$

式中: I_{HS} 为肝体比, H 为肝胰脏重量。

$$C_{HL} (\%) = 100\% \times L_H / H \quad (6)$$

式中: C_{HL} 为肝胰脏脂肪含量, L_H 为肝胰脏脂肪重量。

$$C_{ML} (\%) = 100\% L_M / M \quad (7)$$

式中: C_{ML} 为肌肉脂肪含量, L_M 为肌肉脂肪重量, M 为肌肉重量。

1.4 数据处理

采用SPSS 15.0统计软件分析试验数据的相关性和方差,试验数据用“平均数±标准差”表示。采用Duncan氏多重比较法分析试验数据的差异显著性($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 饲料中甜菜碱水平对奥尼罗非鱼生长的影响

由表2可知,饲养65 d后,各组奥尼罗非鱼成活率无显著差异($P > 0.05$);3~5组鱼体增重率均显著高于对照组($P < 0.05$),而2~5组间增重率(6 186.44%~6 569.82%)差异不显著($P > 0.05$);饲料系数以5组最低(0.96),显著低于对照组($P < 0.05$),但2~5组间无显著差异($P > 0.05$);各试验组鱼的肥满度差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 饲料中甜菜碱水平对奥尼罗非鱼肝体比、肝胰脏和肌肉脂肪含量的影响

随着饲料中甜菜碱添加量的上升,各组鱼肝体比逐渐降低,4组达最低(0.86%),5组略有回升,4、5组显著低于1~3组($P < 0.05$)(表3)。各

组鱼体间肝胰脏脂肪含量和肌肉脂肪含量均无显著差异($P > 0.05$),对照组肝脂含量最高(表3)。

表2 甜菜碱水平对奥尼罗非鱼生长指标的影响

Tab.2 Effect of the different betaine levels on tilapia's growth indexes

生长指标	饲料组				
	1	2	3	4	5
初重(g)	0.28 ± 0.01	0.29 ± 0.01	0.31 ± 0.02	0.28 ± 0.01	0.28 ± 0.02
末重(g)	18.19 ± 2.84	18.32 ± 2.45	16.89 ± 1.96	18.07 ± 2.05	18.17 ± 2.82
成活率(%)	90.67 ± 4.62	91.33 ± 7.02	88.67 ± 10.07	91.33 ± 13.32	88.67 ± 11.37
增重率(%)	5 412.54 ± 206.50 ^b	6 186.44 ± 323.05 ^{ab}	6 468.99 ± 329.26 ^a	6 312.50 ± 323.20 ^a	6 569.82 ± 340.79 ^a
肥满度(%)	2.80 ± 0.43	2.75 ± 0.30	2.90 ± 0.37	2.89 ± 0.25	2.93 ± 0.34
饲料系数	1.37 ± 0.28 ^a	0.98 ± 0.03 ^{ab}	1.02 ± 0.07 ^{ab}	1.09 ± 0.20 ^{ab}	0.96 ± 0.09 ^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($P < 0.05$)。

表3 甜菜碱水平对奥尼罗非鱼肝体比、肝胰脏及肌肉脂肪含量的影响

Tab.3 Effect of different betaine levels on tilapia's HIS, amount of fat in hepatopancreas and muscle

指标	饲料组				
	1	2	3	4	5
肝体比(%)	1.40 ± 0.52 ^a	1.35 ± 0.49 ^a	1.27 ± 0.43 ^a	0.86 ± 0.36 ^b	0.99 ± 0.36 ^b
肝胰脏脂肪含量(%)	5.67 ± 0.70	5.12 ± 0.86	5.16 ± 1.57	4.92 ± 1.55	4.51 ± 1.08
肌肉脂肪含量(%)	1.65 ± 1.72	0.93 ± 0.23	1.01 ± 0.48	1.22 ± 0.75	1.70 ± 2.05

注:同一行数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P < 0.05$)。

2.3 饲料中甜菜碱水平对奥尼罗非鱼血清生化指标的影响

表4显示,随着甜菜碱添加量的升高,各组(对照组除外)奥尼罗非鱼血清中的CHOL和TG

含量逐渐升高,5组TG含量有所回落,3、4组血清CHOL和TG含量均显著低于对照组($P < 0.05$),2组最低;各组鱼血清HDLc含量差异不显著($P > 0.05$)。

表4 甜菜碱水平对奥尼罗非鱼血清生化指标的影响

Tab.4 Effect of the different betaine levels on tilapia's serum biochemical indexes

生化指标	饲料组				
	1	2	3	4	5
胆固醇CHOL(mmol/L)	3.15 ± 0.41 ^a	2.28 ± 0.19 ^b	2.34 ± 0.12 ^b	2.54 ± 0.24 ^b	2.77 ± 0.35 ^{ab}
甘油三酯TG(mmol/L)	1.72 ± 0.17 ^a	0.33 ± 0.19 ^c	0.58 ± 0.11 ^{bc}	0.76 ± 0.11 ^b	0.34 ± 0.10 ^c
高密度脂蛋白HDLc(mmol/L)	1.46 ± 0.05	1.35 ± 0.12	1.31 ± 0.12	1.27 ± 0.15	1.65 ± 0.20
谷丙转氨酶ALT(U/L)	69.67 ± 26.54 ^b	155.00 ± 1.41 ^a	42.33 ± 18.23 ^b	38.00 ± 4.24 ^b	37.50 ± 7.78 ^b
谷草转氨酶AST(U/L)	176.00 ± 37.04 ^b	300.67 ± 35.73 ^a	157.33 ± 65.62 ^b	155.33 ± 67.57 ^b	146.67 ± 12.42 ^b
乳酸脱氢酶LDH(U/L)	680.67 ± 188.02 ^{ab}	791.00 ± 103.32 ^a	486.33 ± 47.54 ^b	484.00 ± 117.04 ^b	549.67 ± 56.08 ^b
淀粉酶AMY(U/L)	133.67 ± 70.23 ^a	130.00 ± 56.57 ^a	15.00 ± 7.07 ^b	83.33 ± 102.14 ^c	50.00 ± 10.00 ^c
γ-谷氨酰转肽酶GGT(U/L)	43.33 ± 5.77 ^{ab}	46.67 ± 15.28 ^{ab}	70.00 ± 10.00 ^a	56.67 ± 5.77 ^{ab}	33.33 ± 32.15 ^b
尿素氮BUN(mmol/L)	1.85 ± 1.01	2.68 ± 0.47	1.78 ± 0.63	2.43 ± 1.28	1.61 ± 0.17
白蛋白ALB(g/L)	9.46 ± 1.53 ^b	9.90 ± 0.36 ^b	10.46 ± 0.25 ^{ab}	11.16 ± 1.50 ^{ab}	12.30 ± 0.98 ^a
总蛋白TP(g/L)	23.9 ± 2.06 ^b	28.63 ± 3.50 ^{ab}	23.87 ± 1.91 ^b	27.90 ± 1.65 ^{ab}	33.87 ± 5.61 ^a

注:同一行数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P < 0.05$)。

各组(对照组除外)奥尼罗非鱼血清ALT和AST活性随甜菜碱添加量的提高而降低,2组ALT和AST活性均显著高于其它各组($P < 0.05$),3~5组均较低,并显著低于1、2组($P < 0.05$);各组鱼血清LDH活性4组最低(484 U/

L),2组最高(791 U/L),1组次高(680 U/L),3~5组显著低于2组($P < 0.05$);饲料中甜菜碱水平对各组鱼血清AMY活性影响显著,3~5组显著低于1、2组($P < 0.05$),3组最低(15 U/L),1组最高(133 U/L);各组鱼血清GGT活性1~4组

间差异不显著($P > 0.05$),5组显著低于3组($P < 0.05$)。

各组鱼血清 ALB 浓度差异显著($P < 0.05$),其中5组最高,并显著高于1、2组($P < 0.05$);血清 TP 含量5组最高,并显著高于1、3组($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 不同甜菜碱添加量对奥尼罗非鱼生长的影响

甜菜碱是一种季氮型生物碱,作为动物营养的甲基供体,参与氨基酸的协同与合成作用,对动物和鱼类有诱食的效果,能促进动物体的生长。有研究表明,在鱼类饲料中添加甜菜碱对大口鲶(*Far east asian catfish*)^[5],鲤(*Cyprinus carpio*)^[6],淡水白鲳(*Serrasalmus nattereri*)^[7]的摄食和生长均具有促进作用,并能降低饵料系数。而罗琳等^[8]的研究显示,在饲料中添加0.2%和0.3%的复合甜菜碱或者添加0.1%的进口纯甜菜碱对鲤的促生长作用不明显,这可能是因为其试验在室内循环水条件下进行,试验的水温、溶氧及水质条件均好于闫有利等^[6]的室外网箱养殖条件,试验鱼生长良好,导致甜菜碱的促生长作用不如野外的明显。从本试验结果来看,甜菜碱添加组的鱼体增重率较对照组均有较大提高,饲料系数均明显降低,生长性能得到提高,说明甜菜碱发挥了其促生长的作用。

3.2 不同甜菜碱添加量对奥尼罗非鱼肝体比、肝胰脏和肌肉脂肪含量的影响

甜菜碱作为甲基供体,可以为甲基氨基乙醇提供甲基而生成胆碱,在脂肪代谢中有重要作用。很多研究表明,甜菜碱可以降低鱼体肝脂和肌脂含量,从而有效地减少水产动物脂肪肝的发生。杨小林等^[9]证实,甜菜碱对降低肝脂含量有显著作用。王锐和侯永清^[10]的研究表明,饲料中添加0.3%的甜菜碱可显著降低鲫(*Carassius auratus*)肝、胰脏脂肪含量。据陆清儿等^[11]的报道,在短盖巨脂鲤(淡水白鲳)的饲料中添加一定比例的盐酸甜菜碱,可降低肝脂、肠脂及整鱼的含脂量。本研究证实,甜菜碱同样可以降低奥尼罗非鱼的肝脂含量,各甜菜碱添加组鱼肝脂含量均低于对照组,其中0.6%添加组达最低(4.51%)。甜菜碱还可以降低奥尼罗非鱼的肝

体比,各甜菜碱添加组鱼肝体比均低于对照组,4、5组较对照组分别降低38.57%和29.29%,并显著低于1~3组($P < 0.05$),4组达最低(0.86%),说明4、5组鱼体肝胰脏中脂肪的蓄积明显减少,肝胰脏脂肪代谢得到改善,添加0.45%~0.60%的甜菜碱能使奥尼罗非鱼抵抗脂肪肝病变,而0.15%~0.30%的添加量不能达到这样的效果。阎希柱等^[12]在饲料中添加甜菜碱后,尼罗罗非鱼(*Tilapia nilotica linnaeus*)肌脂含量显著下降,其中0.8%~1.0%的添加量效果最好。陆清儿等^[13]报道饲料中添加盐酸甜菜碱可以降低淡水白鲳的整鱼粗脂肪含量。本试验中2~4组奥尼罗非鱼肌脂含量较对照组有所降低,5组高于对照组,说明一定量的甜菜碱能降低奥尼罗非鱼肌肉脂肪含量,从而改善肉质。

3.3 不同甜菜碱添加量对奥尼罗非鱼血清生化指标的影响

与陆清儿等^[7]的研究结果相似,本试验各组奥尼罗非鱼血清 BUN 含量不呈规律变化,但可以看出,3组和5组 BUN 含量均较低;1~5组血清白蛋白含量逐渐升高,在0.6%添加组达最高(12.30 g/L),较对照组提高30.02%;血清总蛋白含量先降后升,0.3%添加组最低(23.87 g/L),0.6%添加组达到峰值(33.87 g/L),较对照组提高41.72%,表明甜菜碱具有增加体氮,减少氨基酸分解,并节约蛋白质,促进蛋白质沉积的功能。

胆固醇是类脂的一种,在体内有着广泛的生理作用,但当其过量时便会导致高胆固醇血症(高脂血症的一种),对机体产生不利的影 响。TG 由甘油和脂肪酸组成,血浆中 TG 含量过高即形成高脂血,对鱼体有害。陆清儿等^[7]的研究中,甜菜碱可以降低淡水白鲳血清 CHOL 和 TG 含量,而 HDLC 含量无明显变化。本研究的结果是2~5组奥尼罗非鱼血清 TG 含量均显著低于对照组($P < 0.05$),2~4组血清 CHOL 含量亦显著低于对照组($P < 0.05$),说明甜菜碱有利于罗非鱼胆固醇代谢和降低血脂,可以有效地降低罗非鱼体内胆固醇的沉积量,这从另一方面解释了甜菜碱在预防脂肪肝病变,改善鱼体脂肪代谢方面的功能。HDLC 是 CHOL 的主要运输者之一,本试验中2~4组奥尼罗非鱼血清 HDLC 含量相对较低,对应的 CHOL 含量也较低,复合 HDLC 和

CHOL的变化趋势相似的规律。

ALT、AST、LDH 和 AMY 等酶的活性可反映肝细胞损伤程度,当肝细胞遭受破坏或细胞膜通透性增加时,这些酶就会渗入血液,使血清酶活性显著升高^[14]。LDH 是糖酵解过程中的一个重要酶,存在于机体组织细胞的胞质中,肝细胞损伤时,LDH 逸出,导致血清 LDH 活性增加。AMY 能催化淀粉和糖元分解,对糖代谢有重要作用,通过影响血糖含量而影响脂肪代谢。本试验结果表明,当甜菜碱添加量为 0.30%~0.60% 时,奥尼罗非鱼血清中 ALT、AST、LDH 和 AMY 的活性较低,均显著低于添加量为 0.15% 的 2 组($P < 0.05$),且 3 组 AMY 达最低(15.00 U/L),说明 3~5 组奥尼罗非鱼肝细胞损伤程度较低,原因可能是甜菜碱作为一种高效的甲基供体,可以参与胆碱的中间代谢,可替代饲料中的部分胆碱^[15],而胆碱可以促使肝脏脂肪以卵磷脂的形式被输送至肝脏外的其它组织,减少肝脏中脂肪积聚和肝细胞损伤^[16]。GGT 在肝内主要分布于肝细胞浆和肝内胆管上皮中,血清中 GGT 主要来自肝脏,肝细胞损伤时,GGT 逸入血液而使血清 GGT 活性升高。本研究中当甜菜碱添加量达 0.60% 时,奥尼罗非鱼血清 GGT 活性最低(33.33 U/L),而当甜菜碱添加量为 0.30% 时,鱼体血清 GGT 活性最高(70 U/L),并显著高于 0.60% 添加组($P < 0.05$)。

3.4 甜菜碱在奥尼罗非鱼饲料中的适宜添加量

关于甜菜碱在水产饲料中适宜添加量的报道,国外主要集中于海水养殖品种中的冷水性鱼类,据 CLAYTON^[17]报道,鲑、鳟鱼类甜菜碱的最佳添加量是 1.5%,而 CLARKE 等^[18]则报道,海水养殖条件下,一龄大麻哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)的饲料中甜菜碱的添加量为 1% 时,鱼体生长状况良好。国内关于甜菜碱的研究多见于淡水温水养殖品种,以在鲤上的研究结果为例:甜菜碱的适宜添加量有 0.3%^[6]、0.1% (甜菜碱复合剂)^[19]和 0.3%~1.0%^[20]。陆清儿等^[13]报道,淡水白鲟饲料中甜菜碱最佳添加量为 0.2%,其合适添加范围为 0.1%~0.4%。阎希柱等^[12]在饲料中分别添加 0、0.1%、0.3%、0.5%、0.8%、1.0%、1.5% 和 2.0% 的甜菜碱,饲喂尼罗罗非鱼 42 d 后,测得 0.3%~2.0% 的甜菜碱添加量可以显著提高鱼体特定生长率,而添加

量达 0.8%~2.0% 时效果更显著;甜菜碱添加量为 0.5%~0.8% 时饲料系数达最低,综合特定生长率和饲料系数两个指标得出 0.8% 的添加量最合适。

本试验的 0.30%~0.60% 甜菜碱添加组的奥尼罗非鱼增重率较对照组显著提高($P < 0.05$),0.15% 添加组增重率和对照组差异不显著($P > 0.05$),增重率大小顺序为 5 组 > 3 组 > 4 组 > 2 组 > 1 组;2~4 组饲料系数较对照组均有所降低,但与对照组相比均无显著性差异($P > 0.05$),5 组饲料系数显著低于对照组($P < 0.05$)。0.6% 添加组的鱼体增重率达最高(6569.82%),饲料系数最低(0.96),生长效果最好,这说明不同的甜菜碱添加量对奥尼罗非鱼生长的影响程度不同。本试验中甜菜碱对奥尼罗非鱼的促生长效果以 0.30%~0.60% 的添加量为佳,再结合各组罗非鱼的肝体比、血清 GGT 活性、白蛋白以及总蛋白含量,认为 0.45%~0.60% 的添加量不但促进了罗非鱼的生长和肝脏脂肪代谢,而且降低了鱼体肝细胞受损程度,促进了蛋白质的沉积。

参考文献:

- [1] 林建斌. 鱼用饲料中的诱食剂[J]. 饲料工业,1992,13(4): 20-22.
- [2] 阎希柱. 鱼类饲料添加剂甜菜碱的作用及其机理[J]. 饲料添加剂,1997(7):2-4.
- [3] 田云荣. 甜菜碱的独特营养作用[J]. 中国畜牧兽医,1995,22(4):11.
- [4] 郭玉琴,丁角立. 甜菜碱营养机理及在养殖业中的应用[J]. 国外畜牧科技,1995,22(6):12-14.
- [5] 高银爱,夏儒龙,曾红松,等. 饲料中添加甜菜碱对大口鲈生长的影响[J]. 内陆水产,2001,26(10):7.
- [6] 闫有利,韩如政,李书林,等. 甜菜碱及其盐酸盐用作鲤鱼饲料添加剂的初步研究[J]. 水产科学,1994,13(2): 13-15.
- [7] 陆清儿,李行先,李忠全. 甜菜碱促进淡水白鲟生长的机制[J]. 水产学报,2003,27(6):564-568.
- [8] 罗琳,高鹏,薛敏. 复合甜菜碱对鲤鱼生长和脂肪代谢的影响研究[J]. 饲料研究,2003(6):3-5.
- [9] 杨小林,侯孟君,林万明. 降低草鱼肝脏脂肪含量的初步研究饲料研究[J]. 饲料研究,1991(9):6-7.
- [10] 王锐,侯永清. 胆碱和甜菜碱对鲫鱼肝、胰脏脂质积累的影响[J]. 粮食与饲料工业,2004(4):43-44.
- [11] 陆清儿,李忠全,李行先. 盐酸甜菜碱对短盖巨脂鲤脂肪代谢的影响[J]. 海洋与湖沼,2003,34(3):307-312.
- [12] 阎希柱,邱岭泉. 饲料中添加甜菜碱对尼罗罗非鱼生长、

- 肌肉组成和消化率的影响[J]. 水产学报,1998,22(2):190-192.
- [13] 陆清尔,李忠全,周向阳. 盐酸甜菜碱对淡水白鲢生长性能、鱼体解剖特性和肉质的影响[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版,2001,20(9):130-136.
- [14] 刘莉. 动物生物化学[M]. 北京:中国农业出版社,2001:147.
- [15] 杨鸿昆,黄凯,阮栋俭. 养殖鱼类脂肪肝及防治研究进展[J]. 水利渔业,2007,27(1):4-6.
- [16] 黄凯,杨鸿昆,甘晖,等. 饲料中添加胆碱对预防罗非鱼脂肪肝病变的作用[J]. 中国水产科学,2007,14(2):257-262.
- [17] CLAYTON G. Feeding stimulants[J]. Feed International, 1989,10(1):12-14.
- [18] CLARKE W C, VIRTANEN E. Effect of a dietary betaine/amino acid additive on growth and seawater adaptation in yearling Chinook Salmon[J]. Aquaculture,1994,121(1):137-145.
- [19] 薛永瑞,金兆峰. 甜菜碱及其复合剂在鲤鱼饲料中的添加效果[J]. 中国饲料,1995(10):17-18.
- [20] 阎希柱. 甜菜碱对鲤鱼诱食促生长的研究[J]. 水产学杂志,1996,9(2):31-35.

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

ZHU Ding-gui^{1,2}, YU Dan³, CHEN Tao⁴, ZHAN Ge¹, HUANG Kai¹, MA Yan-qun¹, YANG Si-hua³

(1. Guang xi University, Nanning 530005, China; 2. Guang xi Agricultural Vocational and Technical College, Nanning 530007, China; 3. Guang xi Baiyang Group Company Limited, Nanning 530004, China; 4. Yong Jiang University, Nanning 530001, China)

Abstract: 750 juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) were randomly allotted to five groups, and were fed diets supplemented with different level Betaine (0, 0.15%, 0.30%, 0.45% and 0.60%) for 65 d to investigate the effects of Betaine on growth, fat content and biochemical indexes of blood of tilapia. The results showed that tilapia' WGR were 19.52%, 16.63% and 21.38% higher than that of control group ($P < 0.05$) respectively when tilapia feed were added with 0.30% - 0.60% Betaine; FRC reduced by 25.55%, 20.44% and 29.93% ($P < 0.05$) respectively; the HSI reduced by 9.29%, 38.57% and 29.29% ($P < 0.05$); the contents of TG in Tilapia' s plasma reduced by 66.28%, 55.81% and 80.23% ($P < 0.05$) respectively; the activities of AMY in Tilapia' s plasma reduced by 88.78%, 37.59% and 62.41% ($P < 0.05$); the contents of ALB and TP in Tilapia' s plasma were improved, the contents of CHOL in Tilapia' s plasma reduced; the activities of LDH, ALT and AST in Tilapia' s plasma reduced respectively. Therefore, under this research condition, it is suggested that the supplement of Betaine in diets of juvenile tilapia was the best at 0.45% ~ 0.60%.

Key words: betaine; *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*; growth; body fat content; serum biochemical indexes