

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2012.03.001

饲料中添加甜菜碱对军曹鱼生长、体营养成分和血清生化指标的影响

张文超¹, 梁桂英¹, 阳会军¹, 王华朗², 田丽霞¹, 刘永坚¹

(1. 中山大学水生经济动物研究所, 广东 广州 510275; 2. 广东恒兴饲料实业股份有限公司, 广东 湛江 524092)

摘要: 通过8周的养殖试验, 评估了饲料中添加甜菜碱对军曹鱼(*Rachycentron canadum*)生长、体营养成分、血清生化指标和肝脏中酶活性的影响。共设计6种饲料, 甜菜碱添加水平分别为0、0.05%、0.10%、0.20%、0.30%和0.40%。结果显示, 添加水平为0.05%时增重率(WG)和特定增长率(SGR)最高, 肝脏组织状况最好, 全鱼和肌肉中蛋白质质量分数最高; 添加水平超过0.20%时肥满度(CF)随甜菜碱添加量的上升而下降。各添加组的肝体比(HSI)均显著低于对照组且全鱼和肝脏中(0.10%添加组除外)的脂肪质量分数均低于对照组; 血清指标中各添加组的血清甘油三酯(TG)浓度均高于对照组, 但随着添加量的提高有先升后降的趋势; 肝脏中谷丙转氨酶(GPT)的活性显著低于对照组。由此可见, 饲料中添加适量的甜菜碱可以促进军曹鱼的生长, 具有一定的降脂作用, 利于脂肪代谢。

关键词: 军曹鱼; 甜菜碱; 生长; 脂肪代谢

中图分类号: S 963.16

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2012)03-0001-09

Effects of dietary betaine on growth, nutritional components and serum biochemistry of *Rachycentron canadum*

ZHANG Wenchao¹, LIANG Guiying¹, YANG Huijun¹, WANG Hualang²,
TIAN Lixia¹, LIU Yongjian¹

(1. Institute of Economic Aquatic Animals, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangdong Evergreen Feed Industry Co., Ltd., Zhanjiang 524092, China)

Abstract: We conducted an 8-week feeding experiment by designing 6 kinds of feed (addition levels of betaine: 0, 0.05%, 0.10%, 0.20%, 0.30%, 0.40%) to investigate the effects of dietary supplementation of betaine on the growth, nutritional components, serum biochemistry and enzyme activity on liver of juvenile *Rachycentron canadum*. The results show that when the addition level is 0.05%, the weight gain (WG) and specific growth rate (SGR) reach the maximum; the condition of liver is the best; the protein content is the highest in both whole body and muscle. When the addition level is higher than 0.20%, the condition factor (CF) shows a negative correlation with the level of dietary betaine. Hepatosomatic index (HSI) of each group is significantly lower than that of the control ($P < 0.05$), and the lipid mass fraction (except for 0.10% group) is lower than that of the control. The concentration of triglyceride (TG) in serum is higher than that of the control, showing an "increase-decrease" trend. The activity of glutamic-pyruvic transaminase (GPT) of all groups are significantly lower than that of the control ($P < 0.05$). The results indicate that dietary supplementation of betaine can improve the growth and lipid metabolism for *R. canadum*, doing good to reduce the lipid of the fish.

Key words: *Rachycentron canadum*; betaine; growth; lipid metabolism

收稿日期: 2011-10-09; 修回日期: 2011-11-06

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD29B04)

作者简介: 张文超(1986-), 男, 硕士研究生, 从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: zwc198645@yahoo.com.cn

通讯作者: 刘永坚, E-mail: edls@mail.sysu.edu.cn

甜菜碱是一种季胺型生物碱,广泛分布于动植物体内,因其从甜菜糖草中分离出来而得名。甜菜碱在水产动物中的生物学功能很多,包括促进生长^[1-3]、降低体营养成分中肌肉和肝脏的脂肪质量分数等指标^[4-5]、降低血清中胆固醇和甘油三酯(TG)浓度等^[6-7]。其中的降脂作用在水产动物营养领域越来越受到重视。在对鲫(*Carassius auratus*)的研究中发现,当日粮中甜菜碱的质量分数为0.30%时,可以起到降低肝脏脂肪质量分数的作用^[8];在尼罗罗非鱼(*Tilapia nilotica*)的饲料中添加甜菜碱后,鱼肌肉中的脂肪质量分数显著下降^[9];在短盖巨脂鲤(*Colossoma brachypomum*)的基础饲料中添加一定比例的盐酸甜菜碱,可使肝、肠及全鱼含脂量降低^[10]。可见,甜菜碱在许多鱼类中都有一定的降脂作用。

军曹鱼(*Rachycentron canadum*),亦称海鲷,属鲈形目,军曹鱼科。由于其生长快、肉质鲜美、营养价值高,已成为中国近海网箱养殖的一种重要养殖鱼类^[11]。实际生产中军曹鱼商业饲料中粗脂肪质量分数都在16%左右^[12],用这种高脂饲料长期饲喂军曹鱼容易使其发生脂肪肝,因为摄入过量的脂肪是脂肪肝的主要病因之一^[13]。对红姑鱼(*Sciaenops ocellatus*)的研究表明,脂肪质量分数在5%~12%时,均引起营养性脂肪肝病,且病变程度与死亡率随着日粮含脂量升高而增加^[14]。营养性脂肪肝病问题越来越受到广泛关注,而且已有许多针对脂肪肝问题的研究,但是在军曹鱼中研究的较少,鉴于甜菜碱是一种重要的甲基供体,具有一定的降脂作用,该试验考察甜菜碱对军曹鱼生长、体营养成分和血清生化指标影响,探讨这种降脂因子是否有用。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验共设计6种等氮(N)等能饲料,包括1个对照组和5个甜菜碱(纯度 $\geq 96\%$,购于广州桑马动物保健饲料有限公司)梯度试验组,添加水平分别为0、0.05%、0.10%、0.20%、0.30%和0.40%。饲料配方见表1。饲料原料经粉碎,过筛并按配方比例称质量、混合后,使用双螺杆挤条机制成直径为2 mm和4 mm的2种颗粒(分别饲喂生长初期体型略小和生长后期体型略大的军曹鱼幼鱼)的饲料。自然晾干后置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存备

用。

1.2 试验鱼

试验用鱼购自海南某商业育苗场,养殖试验在国家“863”海水养殖种子工程南方基地(湛江)营养实验室进行。试验开始前试验鱼暂养7 d以驯化其适应硬颗粒饲料和环境。驯养后试验鱼体质量上升至3 g左右,禁食24 h,再挑选体质好的鱼种随机分配到18个圆形玻璃纤维缸中(1 000 L),每缸20尾[初质量为 $(3.00 \pm 0.05)\text{ g}$]。试验分6个组,每组3个平行。每天投喂2次,分别为上午8:00和下午5:00。投喂率为8%~10%,每2周对每缸鱼称质量和计数,并调整投喂量。试验持续8周。

1.3 养殖系统

试验使用流水养殖($15\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$),海水来自近海,经沙滤后进入营养实验室。试验期间的溶氧大于 $7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (增氧气石充气);水温 $24.2\sim 30.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;盐度约29;pH为7.8~8.0;自然光照,各缸光强相近。每2周清洁1次玻璃纤维缸。

1.4 样品采集与分析

养殖试验结束时试验鱼先饥饿24 h后,再从各缸中随机抽取9尾鱼。其中3尾鱼测定终末体长、鱼体质量、内脏质量、肝脏质量和肠脂质量,计算肥满度(CF)、肝体比(HSI)、脏体比(VSI)和肠脂比(IPF)等形态学数据,并收集肝脏样品;另外再取4尾经尾静脉取血,取得肌肉和肝脏样品,剪取少量肝脏放入10%中性福尔马林固定液[甲醛(40%)100 mL,无水磷酸氢二钠6.5 g,磷酸二氢钠4.0 g,蒸馏水900 mL]中,以制作肝脏切片,剩余肝脏放入液氮中保存以测酶活性;2尾鱼留做全鱼体营养成分分析。血液样品在冷冻离心机中 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,以 $5\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心10 min并吸取上清液得到血清样品。根据以下公式计算增重率(WG)、特定生长率(SGR)、饲料系数(FCR)、成活率和一些体形和内脏器官相对质量指标:

增重率(WG)/% = [(终末全鱼质量 - 初始全鱼质量) / 初始全鱼质量] $\times 100$

特定生长率(SGR)/% = [(ln 终末全鱼质量 - ln 初始全鱼质量) / 试验天数] $\times 100$

饲料系数(FCR) = 饲料总摄入量 / (试验中死鱼质量 + 终末鱼体总质量 - 初始总质量)

成活率/% = [终末尾数 / 初始尾数] $\times 100$

肥满度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ = [全鱼质量 / 体长³] $\times 100$

肝体比/% = [肝脏质量 / 全鱼质量] $\times 100$

表1 试验饲料组成及营养成分分析

Tab. 1 Approximate composition in experimental diets

%

原料 raw ingredient	w(甜菜碱)/组别 actual content of betaine/group					
	0(对照) (I)	0.05% (II)	0.10% (III)	0.20% (IV)	0.30% (V)	0.40% (VI)
鱼粉 fish meal	45	45	45	45	45	45
豆粕 soybean meal	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7
鱼油 fish oil	6	6	6	6	6	6
玉米油 corn oil	2	2	2	2	2	2
面粉 wheat starch	19.90	19.85	19.80	19.70	19.60	19.50
复合矿物盐 mineral premix ¹	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
复合维生素 vitamin premix ²	1	1	1	1	1	1
磷脂 lecithin oil	2	2	2	2	2	2
磷脂维生素 C V _C	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
磷酸氢二钾 K ₂ HPO ₄	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1	1	1	1	1	1
氯化胆碱 choline chloride	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
甜菜碱 betaine	0	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40
牛黄酸 taurine	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
营养成分 nutritional component(干物质 dry matter)						
水分 moisture	11.05	10.77	10.27	10.85	10.90	10.97
粗蛋白 crude protein	44.47	44.73	44.34	44.77	44.86	44.80
粗脂肪 crude lipid	14.41	14.64	14.20	14.13	14.10	14.37
粗灰分 crude ash	10.59	10.64	10.60	10.55	10.49	10.44

注: 1. 每1 000 g 饲料中复合无机盐含有以下成分: 硫酸亚铁 172 mg, 硫酸镁 576 mg, 氯化钴 25 mg, 硫酸锰 21 mg, 碘酸钾 0.45 mg, 氯化铝 35 mg, 硫酸铜 58 mg, 氯化钠 450 mg, 硫酸锌 101 mg, 硒酸钠 1.08 mg; 2. 每1 000 g 饲料中复合维生素含有以下成分: 维生素 B₁ 60 mg, 维生素 B₂ 200 mg, 维生素 B₆ 40 mg, 维生素 B₁₂ 0.1 mg, 泛酸钙 280 mg, 烟酸 800 mg, 叶酸 15 mg, 肌醇 400 mg, 维生素 K₃ 40 mg, 维生素 A 0.1 mg, 维生素 E 400 mg, 生物素 6 mg

Note: 1. In 1 000 g diet, mineral mixture contains: FeSO₄ 172 mg, MgSO₄ 576 mg, CoCl₂ 25 mg, MnSO₄ 21 mg, KIO₃ 0.45 mg, AlCl₃ 35 mg, CuSO₄ 58 mg, NaCl 450 mg, ZnSO₄ 101 mg, Na₂SeO₃ 1.08 mg; 2. In 1 000 g diet, vitamin mixture contains: thiamin hydrochloride 60 mg, riboflavin 200 mg, pyridoxine hydrochloride 40 mg, cyanocobalamin 0.1 mg, calcium pantothenate 280 mg, nicotinic acid 800 mg, folic acid 15 mg, inositol 400 mg, menadione 40 mg, retinyl acetate 0.1 mg, phytoergmine 400 mg, biotin 6.0 mg.

脏体比/% = [内脏质量/全鱼质量] × 100

脂肪比/% = [肠系膜脂肪质量/全鱼质量] × 100

所有样品的分析指标(包括水分、灰分、粗脂肪和粗蛋白质量分数)按照 AOAC^[15]的方法进行。在 105 ℃ 的烘箱中干燥至恒质量测定水分质量分数; 在马福炉中(550 ℃)焚烧 7 h 测定灰分质量分数; 采用索氏提取法(石油醚为溶剂)测定粗脂肪质量分数; 使用凯氏定氮法测定粗蛋白质量分数。血清生化指标[包括总 TG、总胆固醇(CHOL)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇

(LDL-C)] 在日立 7107A 自动生化测定仪上分析。肝脏中谷丙转氨酶(GPT)和谷草转氨酶(GOT)的活性测定采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒。取出在 10% 中性福尔马林固定液中的肝脏, 经过冲洗、脱水、透明、浸蜡、包埋、切片、贴片、烘片、苏木精-伊红染色、脱水、透明和封片制成肝脏横切片, 然后在显微镜下观察。

1.5 数据统计

试验结果用平均数 ± 标准差($\bar{X} \pm SD$)显示。采用 Duncan's 多重比较法, 检验各组平均数间的差异显著性, 当 $P < 0.05$ 时差异显著。以上分析在

统计分析软件 SPSS 11.5 中进行。

2 结果

2.1 甜菜碱对生长、体形和内脏器官的影响

整个养殖试验过程中军曹鱼摄食正常, 无病害发生。养殖试验 56 d 后不同饲料组间军曹鱼幼鱼

的生长有显著差异 ($P < 0.05$)。II 饲料组的 WG 最高, 且显著高于 I (对照组)、IV 和 V 饲料组; 各组间 SGR 和 WG 有相同的趋势。I 组和 VI 组饲料系数显著低于 V 组, 其他各组间无显著性差异 ($P > 0.05$)。各组间的成活率无显著差异 ($P > 0.05$) (表 2)。

表 2 军曹鱼的增重率、特定生长率、饲料系数和成活率 ($\bar{X} \pm SD$, $n=3$)

Tab. 2 WG, SGR, FCR and survival of cobia

组别 group	初始质量/g initial weight	终末质量/g final weight	增重率/% WG	特定生长率/% SGR	饲料系数 FCR	成活率/% survival
I	2.99 ± 0.04	90.60 ± 3.24 ^a	2937.5 ± 143.1 ^{ab}	6.09 ± 0.09 ^{ab}	0.89 ± 0.00 ^a	100 ± 0.00
II	3.00 ± 0.01	98.50 ± 2.56 ^b	3179.9 ± 90.9 ^c	6.23 ± 0.05 ^c	0.92 ± 0.02 ^{ab}	93.33 ± 5.77
III	3.06 ± 0.01	95.43 ± 3.26 ^{ab}	3023.2 ± 101.1 ^{abc}	6.14 ± 0.06 ^{abc}	0.90 ± 0.01 ^{ab}	100 ± 0.00
IV	3.02 ± 0.03	89.50 ± 1.86 ^b	2861.3 ± 53.9 ^a	6.05 ± 0.03 ^a	0.91 ± 0.00 ^{ab}	100 ± 0.00
V	3.02 ± 0.06	90.60 ± 1.22 ^a	2903.4 ± 30.2 ^{ab}	6.08 ± 0.02 ^{ab}	0.93 ± 0.02 ^b	98.33 ± 2.89
VI	2.94 ± 0.06	94.39 ± 5.74 ^{ab}	3045.8 ± 65.2 ^{bc}	6.16 ± 0.04 ^{bc}	0.89 ± 0.02 ^a	95.00 ± 8.66

注: 表中同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 后表同此

Note: Within the same column, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$); the same case in the following tables.

形态学指标中 (表 3), II 组和 III 组军曹鱼的 CF 高于对照组, 但无显著差异 ($P > 0.05$), III 组、IV 组和 V 组则呈逐渐下降的趋势, 且 V 组显著低于其他各组 ($P < 0.05$)。各添加组 HSI 均低于对照

组, 且除 III 组外, 其他各组均显著低于对照组 ($P < 0.05$)。V 组 VSI 显著低于 I 组、IV 组和 III 组 ($P < 0.05$), 其他各组间无显著差异。各添加组的 IPF 无显著差异, 但均高于对照组 ($P > 0.05$)。

表 3 军曹鱼的肥满度、肝体比、脏体比和肠脂比 ($\bar{X} \pm SD$, $n=3$)

Tab. 3 CF, HSI, VSI and IPF of cobia

组别 group	肥满度/ $g \cdot cm^{-3}$ CF	肝体比/% HSI	脏体比/% VSI	肠脂比/% IPF
I	0.89 ± 0.02 ^{bcd}	2.66 ± 0.16 ^c	10.45 ± 0.38 ^b	0.62 ± 0.09
II	0.88 ± 0.03 ^{bc}	2.36 ± 0.06 ^b	10.36 ± 0.16 ^b	0.93 ± 0.12
III	0.92 ± 0.03 ^{cd}	2.41 ± 0.11 ^{bc}	10.45 ± 0.49 ^b	0.93 ± 0.33
IV	0.93 ± 0.03 ^d	2.21 ± 0.07 ^{ab}	10.26 ± 0.49 ^{ab}	0.66 ± 0.17
V	0.86 ± 0.02 ^b	2.04 ± 0.12 ^a	8.75 ± 0.24 ^a	0.64 ± 0.02
VI	0.80 ± 0.03 ^a	2.13 ± 0.26 ^{ab}	10.20 ± 0.52 ^{ab}	0.84 ± 0.04

2.2 对血清指标的影响

各添加组的 CHOL 浓度无显著差异 ($P > 0.05$) (表 4)。各添加组 TG 浓度均高于对照组, III 组显著高于对照组 ($P < 0.05$), 且随着甜菜碱添加量的增加, 血清 TG 浓度有先增后减的趋势。V 组 HDL-C 浓度显著低于 VI 组 ($P < 0.05$), 其他各组间无显著差异 ($P > 0.05$)。各添加组的 LDL-C 浓度无

显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3 对全鱼、肌肉及肝脏营养成分的影响

全鱼和肝脏中各添加组蛋白质质量分数均无显著差异 ($P > 0.05$), 但 II 组全鱼蛋白质质量分数最高, 肌肉中 II 组蛋白质质量分数亦最高, 且显著高于 VI 组 ($P < 0.05$); 全鱼和肌肉中各添加组脂肪质量分数均无显著差异 ($P > 0.05$), 但全鱼添加组的

脂肪质量分数均低于对照组, 肝脏中除Ⅲ组外脂肪质量分数均低于对照组(表5)。全鱼和肌肉中各添加组的水分质量分数没有显著差异, 但肝脏的添加组中除Ⅲ组外均高于对照组。饲料中添加甜菜碱对全鱼和肌肉的灰分质量分数亦无显著影响($P >$

0.05)。

2.4 对肝脏 GPT 和 GOT 活性的影响

各添加组肝脏 GPT 活性均显著低于对照组($P < 0.05$), 组内之间无显著性差异($P > 0.05$)。各添加组肝脏 GOT 活性无显著差异($P > 0.05$)(表6)。

表4 军曹鱼血清中总胆固醇、总甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇的浓度($\bar{X} \pm SD, n=3$)

Tab. 4 CHOL, TG, HDL-C and LDL-C concentration of cobia in serum

mmol·L⁻¹

组别 group	c(总胆固醇) CHOL	c(总甘油三酯) TG	c(高密度脂蛋白) HDL-C	c(低密度脂蛋白) LDL-C
I	2.76 ± 0.19	0.41 ± 0.03 ^a	1.02 ± 0.05 ^{ab}	0.06 ± 0.03
II	3.05 ± 0.50	0.58 ± 0.13 ^{ab}	1.02 ± 0.15 ^{ab}	0.08 ± 0.02
III	2.70 ± 0.13	0.69 ± 0.26 ^b	0.92 ± 0.05 ^{ab}	0.06 ± 0.01
IV	2.66 ± 0.18	0.49 ± 0.04 ^{ab}	0.96 ± 0.04 ^{ab}	0.08 ± 0.01
V	2.62 ± 0.37	0.45 ± 0.15 ^{ab}	0.88 ± 0.11 ^a	0.06 ± 0.05
VI	3.07 ± 0.32	0.46 ± 0.03 ^{ab}	1.07 ± 0.12 ^b	0.05 ± 0.02

表5 军曹鱼全鱼、肌肉及肝脏组成($\bar{X} \pm SD, n=3$, 湿质量)

Tab. 5 Whole body, muscle and liver composition of cobia (wet weight)

%

组别 group	I	II	III	IV	V	VI
全鱼组成 whole body composition						
水分 moisture	70.96 ± 0.22	71.44 ± 1.12	71.32 ± 0.47	71.80 ± 0.49	71.05 ± 0.53	71.03 ± 1.69
蛋白 protein	16.60 ± 0.69	17.56 ± 1.50	16.80 ± 0.24	16.76 ± 0.52	16.68 ± 0.07	16.49 ± 0.54
脂肪 lipid	8.96 ± 0.26	7.85 ± 1.00	7.86 ± 0.34	7.60 ± 0.47	8.59 ± 0.45	8.74 ± 1.56
灰分 ash	3.09 ± 0.05	3.24 ± 0.16	3.12 ± 0.08	3.30 ± 0.08	3.15 ± 0.03	3.19 ± 0.14
肌肉组成 muscle composition						
水分 moisture	76.55 ± 1.08	74.82 ± 0.41	75.74 ± 0.24	75.49 ± 0.38	75.82 ± 0.49	78.19 ± 3.63
蛋白 protein	18.70 ± 0.64 ^{ab}	19.91 ± 0.14 ^b	19.28 ± 0.22 ^{ab}	19.54 ± 0.25 ^{ab}	19.63 ± 0.19 ^{ab}	17.57 ± 2.73 ^a
脂肪 lipid	2.41 ± 0.42	2.58 ± 0.28	2.40 ± 0.13	2.57 ± 0.39	2.17 ± 0.48	2.20 ± 0.51
灰分 ash	1.32 ± 0.02	1.40 ± 0.02	1.31 ± 0.11	1.37 ± 0.02	1.40 ± 0.03	1.23 ± 0.17
肝脏组成 liver composition						
水分 moisture	39.65 ± 1.02 ^{ab}	41.22 ± 1.78 ^{abc}	38.59 ± 4.22 ^a	41.63 ± 2.00 ^{ab}	44.42 ± 2.47 ^{bc}	44.63 ± 2.65 ^c
蛋白 protein	8.22 ± 1.04	7.85 ± 1.63	7.42 ± 0.45	7.98 ± 1.12	8.63 ± 0.15	8.44 ± 0.83
脂肪 lipid	49.80 ± 1.61 ^{ab}	48.78 ± 2.11 ^{ab}	51.66 ± 4.86 ^b	48.02 ± 2.12 ^{ab}	44.76 ± 2.89 ^a	44.68 ± 3.48 ^a

表6 军曹鱼肝脏中谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性($\bar{X} \pm SD, n=3$)

Tab. 6 GPT and GOT activity of liver of cobia

U·mg prot⁻¹

组别 group	I	II	III	IV	V	VI
谷丙转氨酶 GPT	170.88 ± 17.05 ^b	105.11 ± 14.60 ^a	121.88 ± 17.10 ^a	103.67 ± 17.01 ^a	103.34 ± 4.89 ^a	91.70 ± 4.82 ^a
谷草转氨酶 GOT	45.41 ± 1.86	45.16 ± 4.09	44.29 ± 5.81	36.88 ± 6.87	45.18 ± 7.46	40.88 ± 7.10

2.5 对肝脏组织的影响

饲料中添加不同水平甜菜碱对军曹鱼肝脏组织的影响见图1。对照组肝脏细胞分散、破裂,有脂肪空泡,状况最差;0.05%添加组肝脏细胞排列紧密、完整,状况最好;0.10%和0.20%添加组情况略好;0.30%和0.40%添加组则随甜菜碱添加水平的增加,组织状况越来越差。

3 讨论

3.1 甜菜碱对生长、体形和内脏器官的影响

甜菜碱是动物体内重要的甲基供体,参与氨基酸代谢,促进动物生长^[1-2]。在对甜菜碱促进短盖巨脂鲤生长机制的研究中发现,甜菜碱使三碘甲状腺原氨酸(T_3)和胰岛素分泌增加,通过神经-内分泌水平调控机体代谢活动,实现甜菜碱的促进生长功能^[16]。此外,宦海琳等^[3]研究发现,饲料中添加0.3%甜菜碱显著促进异育银鲫(*C. auratus gibelio*)生长;阎希柱和邱岭泉^[3]对尼罗罗非鱼的研究显示,添加甜菜碱的各组的SGR较对照组均有上升,促进了鱼体生长;对1龄大麻哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)的研究报道,在淡水环境下饲料中添加甜菜碱对该鱼的生长、死亡无显著影响,但在海水环境下对生长有显著的提高作用^[4]。

可能是因为大麻哈鱼主要生活在海洋,海水中生长环境更适宜,仅仅在性成熟时才进入淡水进行繁殖。同时在对罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)^[17]、短盖巨脂鲤^[18]、黄鳝(*Monopterus albus*)^[5]等水产动物的研究中也发现甜菜碱具有促进生长的作用。该试验结果与之前的报道结论相似,饲料中添加甜菜碱影响了军曹鱼的WG和SGR,当添加量为0.05%时显著提高了军曹鱼的生长性能。

同时,在该研究中随着甜菜碱质量分数的上升,军曹鱼幼鱼WG达到峰值后有下降趋势。冯家斌等^[19]在研究甜菜碱对黄鳝生长影响的试验中也发现,甜菜碱添加水平为0.8%和1.0%时鱼体平均WG达到峰值,随着添加量的继续增大,增重效果迅速下降;陆清尔等^[18]在饲料中添加甜菜碱对短盖巨脂鲤的日增重的影响研究中有类似的结果。表明饲料中添加适量的甜菜碱已经满足生长要求,过量后非但不会促进生长还可能影响生长。

甜菜碱的添加也影响了军曹鱼的体形指标和内脏器官的相对质量。当甜菜碱添加水平为0.10%和0.20%时CF略上升,而添加水平为0.30%和0.40%时则显著下降。对短盖巨脂鲤的研究表明,饲料中盐酸甜菜碱添加水平为0.10%和0.20%时CF上升,添加水平为0.40%、0.60%和0.80%时

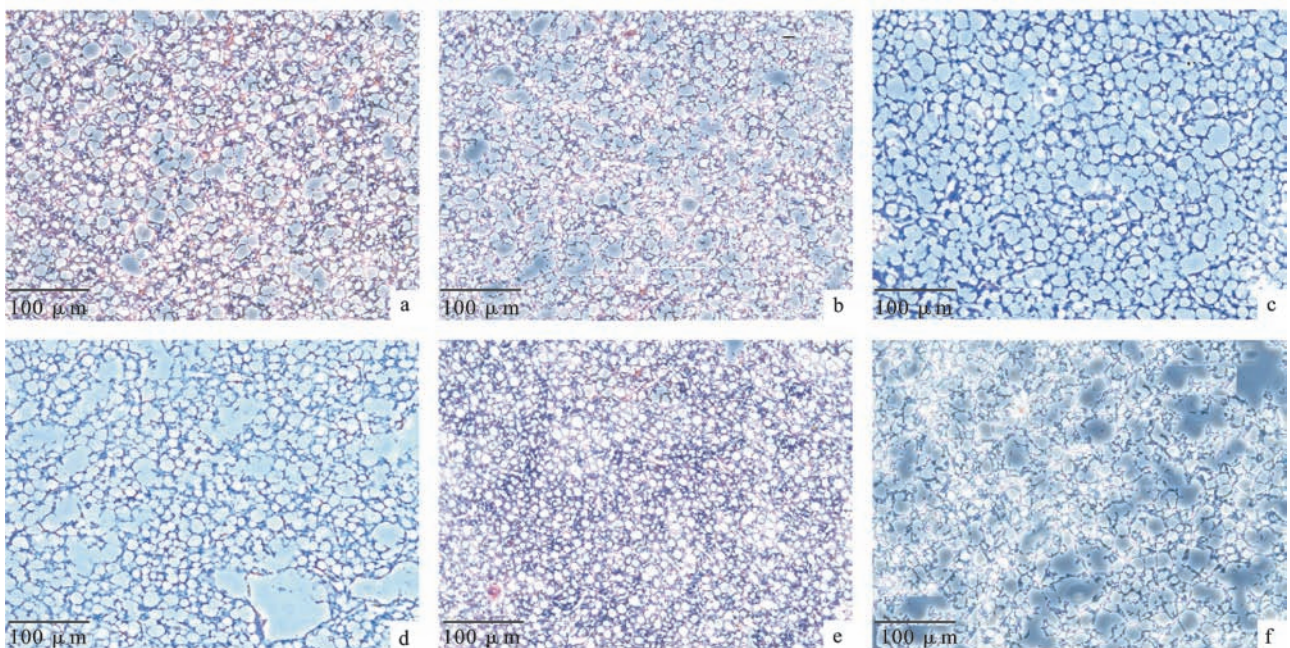


图1 饲喂不同水平甜菜碱饲料的军曹鱼肝脏切片

a. 0.10%添加组; b. 0.20%添加组; c. 0.30%添加组; d. 0.40%添加组; e. 0.05%添加组; f. 对照组

Fig. 1 Cross sections of liver biopsy of cobia fed with different levels of betaine

a. 0.10% addition; b. 0.20% addition; c. 0.30% addition; d. 0.40% addition; e. 0.05% addition; f. control

则略有下降^[18]; 对鲫的研究显示, 当饲料中添加甜菜碱(纯度为40%)水平为0.1%时CF最低, 且显著低于杆菌肽锌(添加量 $25\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) + 硫酸抗敌素(添加量 $5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)组^[20]。说明饲料中添加一定量甜菜碱可以降低鱼体CF, 使鱼体更苗条。该试验也发现, 各添加组的HSI均显著低于对照组, 且除0.6%添加组外, 其他各组均显著低于对照组^[18]; 对异育银鲫的研究结果也表明, 甜菜碱添加组的HSI均低于对照组^[1]。由此可见, 饲料中添加一定量的甜菜碱可以降低军曹鱼幼鱼的HSI。

3.2 对全鱼、肌肉及肝脏营养成分的影响

添加甜菜碱后, 全鱼、肝脏和肌肉(0.40%添加组除外)中各添加组蛋白质质量分数均无显著差异, 但全鱼和肌肉中0.05%添加组蛋白质质量分数最高, 说明此添加水平可以在一定程度上促进体蛋白合成和鱼体的生长。全鱼和肌肉中各添加组脂肪质量分数均无显著差异, 但全鱼和肝脏中(0.10%添加组除外)各添加组的脂肪质量分数均低于对照组。全鱼和肌肉中各添加组的水分、灰分质量分数没有显著差异。在尼罗罗非鱼的研究中发现, 添加甜菜碱后各组之间鱼体肌肉的水分、粗蛋白和灰分无显著差异, 但显著降低了鱼体肌肉中的脂肪质量分数^[4]; 对短盖巨脂鲤的研究得出各添加甜菜碱的试验组全鱼水分、粗脂肪质量分数与对照组相比呈下降趋势, 但差异不显著^[18]; 对黄鳝的研究也显示随着甜菜碱质量分数的升高, 黄鳝肌肉和肝脏中脂肪质量分数均呈下降趋势^[5]。大多数研究表明, 甜菜碱为重要的甲基供体, 参与动物体内的脂肪代谢过程, 并且影响动物体内的脂肪含量与分布^[21-22]。该试验说明, 甜菜碱可以在一定程度降低肝脏中的脂肪质量分数。

3.3 对血清指标、肝脏酶活性及肝脏组织的影响

该试验中添加甜菜碱的试验组血清TG浓度均高于对照组, 且有先增后减的趋势。有报道称患脂肪肝的草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)肝脏的脂质浓度与血清TG浓度呈反相变化趋势^[23]。曹俊明等^[24]的研究结果说明, 草鱼肝脏脂质浓度的升高与肝脏中脂质向血液中的转运有关。该试验中添加甜菜碱后TG升高可能因为脂蛋白将肝脏中TG转运到血液中, 降低肝脏中甘油三酯浓度, 从而增加了血液中的甘油三酯浓度。笔者认为添加一定量甜菜碱可能改善了脂肪在军曹鱼体内的转运。

GPT是肝脏功能的一个重要指标, 该试验中基础饲料脂肪含量偏高, 长期投喂肝脏可能会受到破坏, 引起GPT活性偏高^[7]。检测肝脏中GPT和GOT活性, 发现各添加组的GOT活性无显著差异, 而GPT活性均显著低于对照组。说明饲料中添加一定量甜菜碱对GOT活性影响不显著, 但可以降低肝脏组织GPT活性, 添加甜菜碱可能有助于缓解长期摄食高脂肪饲料引起的肝脏损伤。

通过观察该试验肝脏切片图, 发现0.05%添加组肝脏细胞排列紧密、完整, 状况最好。对照组最差, 脂肪空泡多。0.10%、0.20%、0.30%和0.40%添加组则随甜菜碱添加水平的增加, 细胞分散程度及破裂状况越来越差。说明饲料中添加一定量甜菜碱会影响肝脏组织状况。

从血清指标中看出, 甜菜碱可能改善了脂肪在军曹鱼体内的转运, 而肝脏切片显示甜菜碱影响了肝脏组织状况, 对照组脂肪空泡最多, 0.05%添加组最好, 同时, 肝脏中GPT活性的差异也间接说明甜菜碱参与了肝脏内脂肪的代谢, 三者均表明甜菜碱可能改善了军曹鱼的脂肪代谢。

一般水产饲料中甜菜碱的适宜添加量为0.1%~0.3%^[9,18,25-26], 该试验设计的梯度也在此范围, 但从生长和肝脏细胞形态等指标可以看出, 甜菜碱的添加量为0.05%时效果好。该试验基础饲料中含有0.4%的氯化胆碱, 其亦具有促生长和抗脂肪肝的效果^[8,18,27], 同时胆碱在胆碱氧化酶的作用下, 经二次氧化作用转化为甜菜碱^[28], 故实际起作用的甜菜碱质量分数可能高于0.05%。试验表明, 机体对胆碱需要的75%必须由胆碱自身提供, 其余25%可由甜菜碱代替^[1]。也有研究显示, 饲料中添加0.15%氯化胆碱和0.1%甜菜碱组降低了血浆中TG的浓度, 可能与胆碱和甜菜碱通过转化为肉碱促进脂肪酸氧化有关^[6]。由此可见, 饲料中添加一定量甜菜碱可以有效促进军曹鱼的生长和肝脏的脂肪代谢, 具有一定的降脂作用, 并影响肝脏组织状况。

参考文献:

- [1] LOWRY K R, ROSEBROUGH N J, FARR A L, et al. Efficacy of betaine relative to choline as a dietary methyl donor [J]. Poultry Sci, 1987, 66(1): 135-140.
- [2] SMITH J W, NELSEN J L, GOODBAND R D, et al. The effect of supplementation growing-finishing swine diets with betaine and (or) choline on growth and carcass characteristics [J]. J Anim Sci,

- 1995, 73(Suppl 1): 83.
- [3] 宦海琳, 汪益峰, 周维仁, 等. L-肉碱、甜菜碱、氯化胆碱对异育银鲫生长性能及肌肉品质的影响 [J]. 饲料工业, 2009, 30(24): 31-33.
HUAN Hailin, WANG Yifeng, ZHOU Weiren, et al. Effects of L-carnitine, betaine and choline chloride on growth performance and meat quality of *Carassius auratus gibelio* [J]. Feed Ind, 2009, 30(24): 31-33. (in Chinese)
- [4] CLARKE W C, VIRTANEN E, BLACKBURN J, et al. Effects of a dietary betaine/amino acid additive on growth and seawater adaptation in yearling chinook salmon [J]. Aquaculture, 1994, 121(1/2): 137-145.
- [5] 陈芳, 杨代勤, 阮国良, 等. 甜菜碱对黄鳝生长及肌肉与肝脏脂肪含量的影响研究 [J]. 湖北农学学报, 2004, 24(3): 190-192.
CHEN Fang, YANG Daiqin, RUAN Guoliang, et al. Effect of betaine on the growth, lipid content of muscle and liver of *Monopterus albus* [J]. J Hubei Agric Coll, 2004, 24(3): 190-192. (in Chinese)
- [6] 李红霞, 刘文斌, 李向飞, 等. 饲料中添加氯化胆碱、甜菜碱和溶血卵磷脂对异育银鲫生长、脂肪代谢和血液指标的影响 [J]. 水产学报, 2010, 34(2): 292-299.
LI Hongxia, LIU Wenbin, LI Xiangfei, et al. Effects of dietary choline-chloride, betaine and lysophospholipids on the growth performance, fat metabolism and blood indices of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. J Fish China, 2010, 34(2): 292-299. (in Chinese)
- [7] 战歌. 饲料中添加L-肉碱和甜菜碱对罗非鱼生长及脂肪代谢的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2008.
ZHAN Ge. Effects of dietary L-carnitine and betaine on growth and lipid metabolism of tilapia [D]. Nanning: Guangxi University, 2008. (in Chinese)
- [8] 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, 19(4): 43-44.
WANG Rui, HOU Yongqing. Effect of dietary betaine and choline on the lipid accumulation in liver and pancreas of *Carassius auratus* [J]. Cereal Feed Ind, 2004, 19(4): 43-44. (in Chinese)
- [9] 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): 186-189.
YAN Xizhu, QIU Lingquan. Effect of dietary betaine on the growth, flesh composition and digestibility of *Tilapia nilotica* [J]. J Fish China, 1998, 22(2): 186-189. (in Chinese)
- [10] 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): 306-312.
LU Qing'er, LI Zhongquan, LI Xingxian. Effects of betaine hydrochloride on lipid metabolism of *Colossoma brachypomum* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2003, 34(3): 306-312. (in Chinese)
- [11] HOLT G J, FAULK C K, MICHAEL H S. A review of the larviculture of cobia *Rachycentron canadum*, a warm water marine fish [J]. Aquaculture, 2007, 268(1/2/3/4): 181-187.
- [12] CHOU R L, SU M S, CHEN H Y. Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. Aquaculture, 2001, 193(1/2): 81-89.
- [13] HALVER J E, HARDY R W. Fish nutrition [M]. 3rd ed. London: Academic Press, 2002: 201-206.
- [14] 冯健, 刘永坚, 刘栋辉, 等. 红姑鱼日粮脂肪水平和脂肪酸比例与脂肪肝病关系研究 [J]. 海洋科学, 2004, 28(6): 28-31.
FENG Jian, LIU Yongjian, LIU Donghui, et al. Relationship between dietary lipid levels and proportion of lipid acids on fatty liver disease in juvenile *Sciaenops ocellatus* [J]. Mar Sci, 2004, 28(6): 28-31. (in Chinese)
- [15] AOAC. Official methods of analysis [S]. 14th ed. Washington D. C.: Association of Official Analytical Chemists, 1984.
- [16] 陆清儿, 李行先, 李忠全. 甜菜碱促进淡水白鲢生长的机制 [J]. 水产学报, 2003, 27(6): 564-569.
LU Qing'er, LI Xingxian, LI Zhongquan. Growth-promoting mechanism by betaine hydrochloride in *Colossoma brachypomum* [J]. J Fish China, 2003, 27(6): 564-569. (in Chinese)
- [17] 解涵, 韩如政, 赵晓临. 罗氏沼虾诱食促生长剂效果试验 [J]. 水产科学, 1997, 16(6): 20-22.
XIE Han, HAN Ruzheng, ZHAO Xiaolin. The effect of feeding stimulants to formulated feeds on feeding activity and growth of *Macrobrachium rosenbergii* [J]. Fish Sci, 1997, 16(6): 20-22. (in Chinese)
- [18] 陆清儿, 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(z1): 130-136.
LU Qing'er, LI Zhongquan, ZHOU Xiangyang. Effects of betaine hydrochloride on feed intake, growth and meat quality and approach to mechanism of the effects in *Colossoma* sp. [J]. J Zhejiang Ocean Univ: Natural Science, 2001, 20(Suppl 1): 130-136. (in Chinese)
- [19] 冯家斌, 阮国良, 杨代勤. 不同剂量甜菜碱对黄鳝存活、生长和免疫能力的影响 [J]. 饲料工业, 2006, 27(14): 27-28.
FENG Jiabin, RUAN Guoliang, YANG Daiqin. Effect of different dose of betaine on survival, growth and immune ability of *Monopterus albus* [J]. Feed Ind, 2006, 27(14): 27-28. (in Chinese)
- [20] 李自金, 冯光德, 吴承林, 等. L-肉碱和甜菜碱替代抗生素对鲫鱼促生长效果研究 [J]. 中国饲料, 2003, 3(3): 28-31.
LI Zijin, FENG Guangde, WU Chenglin, et al. Study of L-carnitine and betaine substitute for antibiotics on growth promotion of *Carassius auratus* [J]. China Feed, 2003, 3(3): 28-31. (in Chinese)
- [21] GILL C. Feeding stimulants [J]. Feed Int, 1989, 10(1/2/3): 12-14.
- [22] 王广军. 甜菜碱在水产动物中的应用 [J]. 中国饲料, 2005,

- 3(7): 27-29.
WANG Guangjun. Application of betaine in aquatic animals [J]. China Feed, 2005, 3(7): 27-29. (in Chinese)
- [23] LIN D, MAO Y Q, CAI F S. Nutritional lipid liver disease of grass carp *Ctenopharyngodon idullus* (C. et V.) [J]. Chin J Oceanol Limnol, 1990, 8(4): 363-373.
- [24] 曹俊明, 林鼎, 薛华, 等. 四种抗脂肪肝物质降低草鱼肝脏脂质激烈的替代关系 [J]. 水生生物学报, 1999, 23(2): 102-109.
CAO Junming, LIN Ding, XUE Hua, et al. Substitution effects of four lipotropic agents on lipid accumulation in grass carp liver [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(2): 102-109. (in Chinese)
- [25] 高银爱, 夏儒龙, 曾红松, 等. 饲料中添加甜菜碱对大口鲶生长的影响 [J]. 内陆水产, 2001, 26(10): 7.
GAO Yin'ai, XIA Rulong, ZENG Hongsong. Effect of dietary betaine on growth of *Silurus meridionalis* [J]. Inland Fish, 2001, 26(10): 7. (in Chinese)
- [26] 李咏梅, 余晓丽. 甜菜碱对尼罗罗非鱼诱食促生长的研究 [J]. 饲料工业, 1998, 19(7): 22-23.
LI Yongmei, YU Xiaoli. Effect of dietary betaine on growth of *Tilapia nilotica* [J]. Feed Ind, 1998, 19(7): 22-23. (in Chinese)
- [27] 莫伟仁. 氯化胆碱饲养异育银鲫效果 [J]. 中国饲料, 1996, 1(8): 22-23.
MO Weiren. Effect of choline chloride on feeding *Carassius auratus gibelio* [J]. China Feed, 1996, 1(8): 22-23. (in Chinese)
- [28] 张涛, 董宽虎. 蛋氨酸、胆碱和甜菜碱在甲基供体中的相互关系 [J]. 中国家禽, 2003, 25(12): 39-41.
ZHANG Tao, DONG Kuanhu. Relationship among methionine, choline and betaine on methyl donor [J]. China Poultry, 2003, 25(12): 39-41. (in Chinese)