

## 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

李红霞<sup>1</sup>, 刘文斌<sup>1\*</sup>, 李向飞<sup>1</sup>, 王晶晶<sup>1</sup>, 刘波<sup>2</sup>, 谢骏<sup>2</sup>

(1. 南京农业大学动物科技学院, 江苏 南京 210095;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081)

**摘要:**选取450尾健康的异育银鲫鱼种[体重为(7.46±0.2)g],随机分成5组,其中1组为对照组,2、3、4和5为试验组,投喂的饲料是在基础饲料中分别添加0.05%溶血卵磷脂、0.1%的溶血卵磷脂、0.1%甜菜碱和0.15%氯化胆碱(共含氯化胆碱0.21%),在室内可控温循环水养殖系统中饲养67d,研究3种添加剂对异育银鲫生长、脂肪代谢和血液指标等的影响。结果表明,各试验组异育银鲫的增重率比对照组均有提高,其中0.1%甜菜碱组和高剂量氯化胆碱(0.21%)组增重率分别比对照组提高了10.28%和9.23%,且差异显著( $P < 0.05$ )。试验组的饲料系数均比对照组有所下降,其中高剂量氯化胆碱(0.21%)组、0.1%的溶血卵磷脂组和0.1%甜菜碱组与对照组相比显著降低( $P < 0.05$ )。试验组的营养物质表观消化率、肌肉中蛋白质的含量与对照组相比均有提高,而肝体比、肝脏中脂肪含量、肌肉中脂肪含量均比对照组有所降低,其中试验组肝体比、肝脏中脂肪含量显著低于对照组( $P < 0.05$ )。血浆生化指标显示:高剂量氯化胆碱(0.21%)组和添加0.1%甜菜碱组血浆中的甘油三酯比对照组有所下降( $P > 0.05$ ),而0.05%溶血卵磷脂、0.1%的溶血卵磷脂组反而增加( $P > 0.05$ ),试验组均降低了血浆中胆固醇含量( $P > 0.05$ ),显著提高了游离脂肪酸的含量( $P < 0.05$ )。试验组显著提高了超氧化物歧化酶(SOD)的量( $P < 0.05$ ),降低了丙二醛(MDA)和碱性磷酸酶(AKP)的量( $P < 0.05$ ),而对谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)、血糖(Glu)无显著影响( $P > 0.05$ )。以上试验结果显示,在饲料中分别添加0.1%的溶血卵磷脂、甜菜碱和0.21%氯化胆碱后,显著提高了异育银鲫的生长性能,有效降低了鱼体肝脏中脂肪的含量,同时增强了机体的抗氧化和抗应激能力。

**关键词:**异育银鲫;氯化胆碱;甜菜碱;溶血卵磷脂;生长;脂肪代谢

**中图分类号:**S 963.73

**文献标识码:**A

随着水产养殖的集约化发展,淡水养殖过程中经常会发生鱼类营养性疾病脂肪肝,从而严重阻碍水产养殖业健康持续发展。鱼类脂肪肝的形成主要是鱼类所需营养素的不平衡和某些抗脂肪肝因子的缺乏所造成的,同时还受到鱼类的生理代谢特点、养殖环境的影响。胆碱、甜菜碱、卵磷脂是哺乳动物的“抗脂肪肝”因子,补充这些物质有利于脂蛋白转运出肝脏脂肪,从而降低肝脏脂肪含量<sup>[1]</sup>。在养殖水产动物过程中,胆碱缺乏使

合成脂蛋白的重要原料磷脂酰胆碱合成量不足,进而引起肝脏脂蛋白的合成量减少,影响脂肪向血液中的转运<sup>[1-3]</sup>,导致鱼类出现生长不良、肝脏脂质积累增加甚至出现脂肪肝等症状。研究表明,黄鳝(*Monopterus alba*)饲料中胆碱缺乏或含量较低时,呈现典型的脂肪肝症状<sup>[4]</sup>。Wilson等<sup>[5]</sup>证明,当饲料中缺乏胆碱时,斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)表现出肝脏脂肪含量增加等缺乏症状。美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)补充

收稿日期:2009-04-07 修回日期:2009-06-26

资助项目:现代农业产业技术体系建设专项——国家大宗淡水鱼类产业技术体系资金资助(nycytx-49-21)

通讯作者:刘文斌,E-mail:wbliu@njau.edu.cn

3 000 mg/kg 胆碱能促进肝脏内脂肪转运至肌肉组织,使腹膜内脂肪远离肝脏<sup>[6]</sup>。甜菜碱可为机体高效提供甲基,在生物代谢过程中起着极重要的作用。陆清儿等<sup>[7]</sup>表明甜菜碱具有增加体氮,减少氨基酸分解和排泄,促进蛋白质沉积的功能。卵磷脂参与肝脏中甘油三酯向肝外的转运,对水产动物具有促进生长、提高饲料转化率、促进脂质吸收和转运等功能<sup>[8]</sup>。溶血卵磷脂(lysophospholipids)是由卵磷脂失去一个脂肪酸基团所形成的磷脂的统称。研究证明溶血卵磷脂作为一种优良的乳化剂应用于动物日粮,能促进动物的生长和对脂类等营养物质的吸收<sup>[9-12]</sup>,但溶血卵磷脂对鱼类脂类代谢的影响尚未见报道。

异育银鲫(*Carassais auratus gibelio*)是一种广温性淡水鱼类,杂食性,具有良好的杂种优势,增产效果明显,不但肉质细嫩,营养丰富,而且具有生长快、个体大、抗逆性强等特点,在养殖生产中显示出良好的经济性状。十多年来,异育银鲫在全国各地得到了大面积推广,是目前主要的淡水养殖鱼类,几乎取代了原养殖的鲫鱼品种。随着异育银鲫养殖规模的不断扩大,经常会发生营养性脂肪肝,从而对其健康养殖造成一定影响。本研究以异育银鲫为研究对象,通过在饲料中添加非抗生素营养性添加剂溶血卵磷脂、甜菜碱和氯化胆碱,探讨其对异育银鲫生长性能、脂肪代谢和血液指标的影响,从而为鱼类提供有效的脂肪肝防治措施,并为水产绿色添加剂的开发和利用提

供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

氯化胆碱(50%)由特明科(中国宜兴)有限公司提供;甜菜碱(96%)由丹尼斯克(芬兰)动物营养提供;溶血卵磷脂(20%)由建明工业(中国珠海)有限公司提供。

### 1.2 试验分组与饲料制备

选取一批规格一致的健康异育银鲫鱼种,初始均重为(7.46±0.20)g,随机分为5组,每组设3个重复,每个重复30尾。第1组为对照组,饲喂基础日粮(含氯化胆碱0.06%);第2、3组为溶血卵磷脂组,在基础日粮中分别添加0.05%和0.1%的溶血卵磷脂产品;第4组为甜菜碱组,在基础日粮中添加0.1%甜菜碱产品;第5组为高剂量氯化胆碱组,在基础日粮中添加0.15%氯化胆碱产品(共含氯化胆碱0.21%),基础日粮组成及营养成分见表1。饲料原料粉碎后过80目筛,采取逐级扩大法添加微量成分,使各组成充分混匀后用小型绞肉机制成颗粒料,制粒温度为45~50℃,饲料粒径为1mm,放置在室温中晾干并保存于4℃冰箱中备用。为测定异育银鲫鱼对试验饲料的表观消化率,在各试验日粮中添加0.5%的Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>过120目筛,以逐级扩大法将其与试验饲料混合均匀,加工成直径为1mm颗粒,风干后置于4℃冰柜保存,备用。

表1 基础日粮组成及营养水平

Tab.1 Nutrients and compositions of basal diet

日粮组成 diet ingredients	含量(%) content	营养成分 nutrient levels	含量(%) content
豆粕 soybean meal	20	干物质 DM	90.54
棉粕 cotton meal	18	粗蛋白 CP	35.48
菜粕 rapeseed meal	26	粗脂肪 EE	4.28
鱼粉 fish meal	10	粗灰分 CA	11.73
面粉 flour	10	钙 Ca	0.92
次粉 wheat middling	7.4	有效磷 AP	0.88
食盐 salt-sodium chloride	0.3		
酸二氢钙 monocalcium phosphate	1.8		
棒土 attapulgate	1		
沸石粉 zeolite meal	2.5		
油脂 oil	2		
预混料 premix *	1		

Notes: Provided per kg of premix : CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 2.0 g, FeSOV4 · 7H<sub>2</sub>O 25 g, ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 22 g, MnSO<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O 7 g, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 0.04 g, KI 0.026 g, CoCl<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O 0.1 g, V<sub>A</sub> 900 000 IU, V<sub>D</sub> 200 000 IU, V<sub>E</sub> 4 500 mg, V<sub>K</sub> 3 220 mg, V<sub>B</sub> 1 320 mg, V<sub>B2</sub> 1 090 mg, V<sub>B5</sub> 2 000 mg, V<sub>B6</sub> 500 mg, V<sub>B12</sub> 1.6 mg, V<sub>C</sub> 10 000 mg, Choline-chloride 60 000 mg, Pantothenate 1 000 mg, Folicacid 165 mg.

### 1.3 饲养管理

养殖试验在南京农业大学水产动物营养与生态学研究室内进行,采用可控温循环水养殖系统,共15个水族箱,分为5组,每组设3个重复,每个水族箱(155 L)为1个重复。整个试验期水族箱维持水质稳定,无强烈外界应激。采取自然光照条件(昼夜比为10 h:14 h),白天的平均光照强度是1 250 lx。试验期共67 d,其中驯化期7 d,正试期60 d。正试期开始后投喂试验日粮,每次喂料前吸污1次,每天投喂2次,时间为08:30、16:30,记录投喂量,30 min后观察并记录采食情况,使其饱食。每天09:00、14:00各测1次水温,饲养过程中水温控制在(25±2)℃。试验期间保持水体pH 7.5~8.0,溶氧>5.0 mg/L,氨氮<0.4 mg/L,亚硝态氮<0.064 mg/L,以保证水质优良。

### 1.4 采样与处理

饲养试验结束后,禁食24 h,将各缸鱼称重,从每缸中分别选取体重相近的3尾鱼,称重后用注射器尾静脉采血2.0 mL,放置30 min后4℃离心取血清;另取2尾鱼,剖开腹腔,剥离出肝胰脏,称重后放入2.0 mL离心管中;然后将腹腔内其它内脏剥离,称空壳重;去鳞后,取背侧肌肉,去皮、去骨后放入自封袋中;整个过程尽量在低温下进行,收集血清、肝胰脏和肌肉,-20℃冰箱保存。

### 1.5 测定指标与方法

生长性能 增重率(WG,%)=(试验末重-试验初重)/试验初重×100;饲料系数(FCR)=饲料消耗量/(试验末重-试验初重);特定生长率(SGR,%/d)=(Ln试验末重-Ln试验初重)/试验天数×100;去内脏比(%)=去内脏重/体重×100;肝体比(%)=肝脏重/体重×100。

表观消化率的测定 投喂试验日粮30 d后,用含0.5% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>指示剂试验日粮投喂7 d,每天喂料2 h后收集粪便,连续收集10 d。收集时用捞网捞起条状粪便,用镊子选择新鲜、外表带有包膜、尽可能完整的粪便,放在干净的培养皿中在65℃的烘箱中烘干,保存在-20℃冰箱中待测干物质、粗蛋白、粗脂肪的表观消化率。总消化率(%)=(1-饲料中Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量/粪便中Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量)×100;蛋白消化率(%)=(1-粪便中粗

蛋白含量×饲料中Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量/饲料中粗蛋白含量×粪便中Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量)×100;脂肪消化率(%)=(1-粪便中粗脂肪含量×饲料中Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量/饲料中粗脂肪含量×粪便中Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量)×100。

肌肉成分分析 粗蛋白的测定采用GB6432-86凯氏微量定氮法,利用FOSS全自动定氮仪。粗脂肪的测定采用GB6433-86索式抽提法。

血液生化指标的测定 甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、游离脂肪酸(FFA)、谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)、血糖(Glu)、碱性磷酸酶(AKP)、超氧化物歧化酶(SOD)、及丙二醛(MDA)的测定采用南京建成生物工程研究所的试剂盒(产品批号均为20050224)进行测定,具体测定方法按照试剂盒的说明进行。谷丙转氨酶(GPT)和谷草转氨酶(GOT)活的测定采用改良的赖氏比色法,单位定义每毫克组织蛋白每分钟生成1 nmol NO为一个酶活力单位;MDA的单位为nmol/mL;SOD活力测定采用羟胺法,酶活力单位的定义为:每毫升反应液中SOD抑制率达50%时所对应的SOD量为1个SOD活力单位,单位为U/mL;血清AKP单位定义为100 mL血清在37℃与底物作用15 min产生1 mg酚即为一个活力单位。

### 1.6 数据处理

实验结果均以“平均值±标准差”形式表示,采用SPSS 16.0软件对实验数据进行单因素方差分析,用最小显著极差法(LSD)进行统计分析,显著水平为P<0.05。

## 2 结果

### 2.1 氯化胆碱、甜菜碱和溶血卵磷脂对异育银鲫生产性能的影响

试验组鱼类的增重率比对照组均有提高(表2),其中以添加0.1%甜菜碱和高剂量氯化胆碱(0.21%)组增重率最高,分别比对照组提高了10.28%和9.23%,且差异显著(P<0.05);添加0.05%和0.1%的溶血卵磷脂组和对照组相比,增重率分别提高2.08%和3.96%,但差异不显著(P>0.05)。试验组间增重率差异不显著(P>0.05)。各组特定生长率的情况和增重率相同。试验组的饲料系数均比对照组有所下降,其中高

剂量氯化胆碱(0.21%)组、0.1%的溶血卵磷脂组和添加0.1%甜菜碱组与对照组相比显著降低( $P < 0.05$ )。按饲料原料市场价计算,各试验组

生产每公斤鱼的饲料成本与对照组相比均有下降。表明各试验组均可促进异育银鲫的生长,降低饲料系数,提高饲料利用率和经济价值。

表2 氯化胆碱、甜菜碱和溶血卵磷脂对异育银鲫生产性能的影响

Tab.2 Effects of three kinds of additives on the performance of *Carassais auratus gibelio*

组别 groups	对照组 control	0.05%溶血卵磷脂 lysophospholipids	0.1%溶血卵磷脂 lysophospholipids	0.1%甜菜碱 betaine	0.21%氯化胆碱 choline-chloride
初重(g) initial weight	7.59 ± 0.40	7.63 ± 0.14	7.21 ± 0.62	7.28 ± 0.36	7.58 ± 1.60
末重(g) final weight	18.34 ± 0.74	18.10 ± 0.74	17.63 ± 1.30	18.25 ± 1.40	18.31 ± 2.85
增重率(%) weight gain	139.25 ± 8.46 <sup>b</sup>	142.15 ± 4.98 <sup>ab</sup>	144.77 ± 4.86 <sup>ab</sup>	153.56 ± 5.25 <sup>a</sup>	152.1 ± 7.90 <sup>a</sup>
特定生长率(%/d) SGR	1.45 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.47 ± 0.03 <sup>ab</sup>	1.49 ± 0.03 <sup>ab</sup>	1.55 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.54 ± 0.05 <sup>a</sup>
日摄食量(g) feed intake	0.40 ± 0.01	0.40 ± 0.02	0.37 ± 0.01	0.39 ± 0.03	0.41 ± 0.08
饲料系数 feed coefficient	2.31 ± 0.12 <sup>a</sup>	2.19 ± 0.03 <sup>ab</sup>	2.11 ± 0.11 <sup>b</sup>	2.08 ± 0.03 <sup>b</sup>	2.13 ± 0.09 <sup>b</sup>
干物质表观消化率(%) dry matter ADC	67.71 ± 1.89 <sup>b</sup>	71.99 ± 5.02 <sup>ab</sup>	72.71 ± 1.36 <sup>ab</sup>	74.05 ± 1.86 <sup>a</sup>	72.71 ± 1.77 <sup>ab</sup>
粗蛋白表观消化率(%) protein ADC	85.38 ± 0.97 <sup>b</sup>	88.27 ± 1.97 <sup>a</sup>	88.10 ± 0.53 <sup>a</sup>	88.75 ± 0.77 <sup>a</sup>	88.49 ± 0.80 <sup>a</sup>
粗脂肪表观消化率(%) lipid ADC	89.61 ± 2.31 <sup>b</sup>	91.36 ± 0.17 <sup>b</sup>	95.19 ± 0.62 <sup>a</sup>	95.78 ± 0.92 <sup>a</sup>	90.35 ± 1.23 <sup>b</sup>
每公斤鱼的饲料成本 (元/kg) cost	8.72	8.27	7.97	7.85	8.04

注:同一行不同数值上的字母不同表示具有显著性差异( $P < 0.05$ ),相同则表示无显著性差异( $P > 0.05$ )。

Notes: The different letters indicate statistical significance ( $P < 0.05$ ) of differences between values of two treatments, whereas the same ones indicate no statistical significant differences ( $P > 0.05$ ).

由表2可知,各试验组的干物质表观消化率都高于对照组,其中添加0.1%的甜菜碱组最高,比对照组高9.36%,且差异显著( $P < 0.05$ )。高剂量氯化胆碱(0.21%)组、添加0.05%和0.1%的溶血卵磷脂组与对照组相比,分别提高了7.38%、6.32%和7.38%。各试验组间干物质表观消化率差异不显著( $P > 0.05$ )。与对照组相比,各试验组的蛋白质表观消化率都有所提高,分别提高3.64%、3.38%、3.19%和3.95%,且差异显著( $P < 0.05$ )。试验组间差异不显著( $P > 0.05$ )。与对照组相比,各试验组的粗脂肪表观消化率都有提高,其中添加0.1%的溶血卵磷脂组和添加0.1%甜菜碱组分别提高6.23%、6.89%,且差异显著( $P < 0.05$ ),高剂量氯化胆碱(0.21%)组和添加0.05%的溶血卵磷脂组分别提高了0.83%和1.95%( $P > 0.05$ )。

## 2.2 氯化胆碱、甜菜碱和溶血卵磷脂对异育银鲫肌肉成分、肝脏脂肪含量、肝体比的影响

各试验组鱼肌肉中粗蛋白含量均比对照组高(表3),其中最高组为添加0.1%的甜菜碱组,比对照组提高了2.42%( $P < 0.05$ ),添加0.05%和0.1%的溶血卵磷脂组分别提高了2.34%、1.53%( $P < 0.05$ ),高剂量氯化胆碱(0.21%)组提高了0.71%( $P > 0.05$ )。同时,试验组降低了肌肉中的脂肪含量,各试验组比对照组分别降低6.37%、16.11%( $P < 0.05$ )、12.02%、9.62%。各试验组的去内脏比也比对照组显著提高( $P < 0.05$ ),意味着异育银鲫的可食部分增多了,提高了其食用价值和商品价值。

由表3可知,各试验组鱼的肝体比与对照组相比,均低于对照组,其中最小的是高剂量氯化胆碱(0.21%)组,降低了20.41%,添加0.05%、

0.1%的溶血卵磷脂组和添加0.1%的甜菜碱组分别降低了12.47%、11.34%、15.65%，各试验组均显著低于对照组( $P < 0.05$ )。各试验组肝脏脂肪含量均有所下降，最低的为添加0.1%溶血卵磷脂组，比对照组降低21.39%，且差异显著( $P < 0.05$ )。高剂量氯化胆碱(0.21%)组、添加0.05%的溶血卵磷脂组、添加0.1%的甜菜碱组与对照组相比分别显著降低16.54%、13.06%、17.29%( $P < 0.05$ )。试验组之间，高剂量氯化胆碱(0.21%)组、添加0.05%的溶血卵磷脂组、添

加0.1%的甜菜碱组间差异不显著( $P > 0.05$ )但与添加0.1%的溶血卵磷脂组差异显著( $P < 0.05$ )。试验组肌肉脂肪含量均比对照组下降，最低的为添加0.05%溶血卵磷脂组，与对照组相比降低了16.11%，且差异显著( $P < 0.05$ )。而高剂量氯化胆碱(0.21%)组、添加0.1%溶血卵磷脂组和添加0.1%的甜菜碱组与对照组相比，分别下降了6.37%、12.02%、9.62%，但差异不显著( $P > 0.05$ )。

表3 氯化胆碱、甜菜碱和溶血卵磷脂对异育银鲫肌肉成分和肝脏脂肪的影响

Tab.3 Effects of diet treatments on the muscle composition and the liver fat contents of *Carassais auratus gibelio*

组别 groups	对照组 control	0.05%溶血卵磷脂 lysophospholipids	0.1%溶血卵磷脂 lysophospholipids	0.1%甜菜碱 betaine	0.21%氯化胆碱 choline-chloride
肌肉粗蛋白(%)CP	76.52 ± 0.30 <sup>c</sup>	78.31 ± 0.59 <sup>a</sup>	77.69 ± 0.58 <sup>ab</sup>	78.37 ± 0.65 <sup>a</sup>	77.06 ± 0.48 <sup>bc</sup>
肌肉粗脂肪(%)EE	8.32 ± 0.35 <sup>a</sup>	6.98 ± 1.09 <sup>b</sup>	7.32 ± 0.45 <sup>ab</sup>	7.52 ± 0.29 <sup>ab</sup>	7.79 ± 0.73 <sup>ab</sup>
肝脏脂肪(%)EE	8.04 ± 0.44 <sup>a</sup>	6.99 ± 0.09 <sup>b</sup>	6.32 ± 0.28 <sup>c</sup>	6.65 ± 0.29 <sup>bc</sup>	6.71 ± 0.36 <sup>bc</sup>
去内脏比(%)	78.59 ± 0.69 <sup>b</sup>	81.60 ± 0.29 <sup>a</sup>	81.53 ± 1.23 <sup>a</sup>	82.85 ± 0.96 <sup>a</sup>	81.48 ± 1.40 <sup>a</sup>
肝体比(%)HSI	4.41 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.86 ± 0.04 <sup>b</sup>	3.91 ± 0.50 <sup>b</sup>	3.72 ± 0.07 <sup>b</sup>	3.51 ± 0.27 <sup>b</sup>

注：同一行不同数值上的字母不同表示具有显著性差异( $P < 0.05$ )，相同则表示无显著性差异( $P > 0.05$ )。

Notes: The different letters indicate statistical significance ( $P < 0.05$ ) of differences between values of two treatments, whereas the same ones indicate no statistical significant differences ( $P > 0.05$ ).

### 2.3 氯化胆碱、甜菜碱和溶血卵磷脂对异育银鲫血浆生化指标的影响

血浆中甘油三酯的量与对照组相比，高剂量氯化胆碱(0.21%)组和添加0.1%的甜菜碱组下降；添加0.05%、0.1%的溶血卵磷脂组反而上升(表4)。其中添加0.1%甜菜碱组最低，显著低于添加0.05%、0.1%的溶血卵磷脂组( $P < 0.05$ )，但与对照组差异不显著( $P > 0.05$ )。与对照组相比，血浆胆固醇的量添加0.05%、0.1%的溶血卵磷脂组和添加0.1%的甜菜碱组均下降，其中添加0.1%的甜菜碱组最低( $P < 0.05$ )，添加0.05%、0.1%的溶血卵磷脂组比对照组相比差异不显著( $P > 0.05$ )。高剂量氯化胆碱(0.21%)组反而比对照组升高，但差异不显著( $P > 0.05$ )。与对照组相比，各试验组血浆中游离脂肪酸的量均升高，添加0.05%、0.1%的溶血卵磷脂组和添加0.1%的甜菜碱组显著提高( $P < 0.05$ )，高剂

量氯化胆碱(0.21%)组与对照组相比差异不显著( $P > 0.05$ )。

由表4可知，血浆中GOT和GPT的变化不大，差异不显著。血糖的含量与对照组相比变化不大，差异不显著( $P > 0.05$ )。血浆中SOD含量变化很大，与对照组相比，试验组均显著提高( $P < 0.05$ )，添加0.1%的甜菜碱组最高，且显著高于高剂量氯化胆碱(0.21%)组和0.1%的溶血卵磷脂组。各试验组MDA的量比对照组显著下降( $P < 0.05$ )，其中添加0.05%溶血卵磷脂组最低，显著低于高剂量氯化胆碱(0.21%)组( $P < 0.05$ )，添加0.05%、0.1%的溶血卵磷脂组和添加0.1%的甜菜碱组间差异不显著( $P > 0.05$ )。与对照组相比，AKP的量均有所下降，其中添加0.1%的甜菜碱组最低( $P < 0.05$ )，且显著低于0.1%的溶血卵磷脂组( $P < 0.05$ )，其它试验组差异不显著( $P > 0.05$ )。

表 4 氯化胆碱、甜菜碱和溶血卵磷脂对异育银鲫血浆生化指标的影响  
Tab. 4 Effects of three kinds of additives on plasma biochemical indices

组别 groups	对照组 control	0.05% 溶血卵磷脂 lysophospholipids	0.1% 溶血卵磷脂 lysophospholipids	0.1% 甜菜碱 betaine	0.21% 氯化胆碱 choline-chloride
甘油三酯 TG (mmol/L)	3.18 ± 0.07 <sup>ab</sup>	3.46 ± 0.18 <sup>a</sup>	3.34 ± 0.24 <sup>a</sup>	2.95 ± 0.03 <sup>b</sup>	3.17 ± 0.17 <sup>ab</sup>
总胆固醇 TC (mmol/L)	4.54 ± 0.29 <sup>ab</sup>	4.53 ± 0.45 <sup>ab</sup>	4.39 ± 0.30 <sup>ab</sup>	3.82 ± 0.06 <sup>b</sup>	4.77 ± 0.54 <sup>a</sup>
游离脂肪酸 FFA (μmol/L)	957.68 ± 30.56 <sup>b</sup>	1110.6 ± 78.55 <sup>a</sup>	1074.5 ± 58.3 <sup>a</sup>	1094.9 ± 73.26 <sup>a</sup>	1034.6 ± 34.29 <sup>ab</sup>
谷草转氨酶 GOT (U/L)	1.70 ± 0.42	2.0 ± 0.56	1.60 ± 0.41	1.40 ± 0.55	1.44 ± 0.13
谷丙转氨酶 GPT (U/L)	2.71 ± 0.28	2.80 ± 0.42	2.36 ± 0.30	2.65 ± 0.26	2.17 ± 0.42
血糖 Glu (mmol/L)	5.59 ± 0.87	5.49 ± 1.15	5.52 ± 0.76	7.15 ± 2.73	6.13 ± 0.70
超氧化物歧化酶 SOD (U/L)	183.69 ± 0.88 <sup>c</sup>	229.24 ± 0.51 <sup>ab</sup>	220.98 ± 16.65 <sup>b</sup>	236.41 ± 2.13 <sup>a</sup>	215.9 ± 1.84 <sup>b</sup>
丙二醛 MDA (U/L)	10.73 ± 0.3 <sup>a</sup>	7.72 ± 0.87 <sup>c</sup>	8.67 ± 0.14 <sup>bc</sup>	8.51 ± 0.04 <sup>bc</sup>	9.09 ± 1.01 <sup>b</sup>
碱性磷酸酶 AKP (U/L)	2.78 ± 0.28 <sup>a</sup>	1.97 ± 0.26 <sup>bc</sup>	2.26 ± 0.40 <sup>ab</sup>	1.53 ± 0.31 <sup>c</sup>	1.91 ± 0.35 <sup>bc</sup>

注:同一行不同数值上的字母不同表示具有显著性差异( $P < 0.05$ ),相同则表示无显著性差异( $P > 0.05$ )。

Notes: The different letters indicate statistical significance ( $P < 0.05$ ) of differences between values of two treatments, whereas the same ones indicate no statistical significant differences ( $P > 0.05$ ).

### 3 讨论

胆碱、甜菜碱和卵磷脂是动物机体代谢间密切联系的 3 种物质。三者之间存在一定的转化关系,胆碱可以转化为甜菜碱,作为甲基供体,胆碱首先氧化为甜菜碱,然后提供代谢需要的甲基,据此人们可能会认为胆碱的供甲基效率比甜菜碱低,但有人用雏鸡所做的试验结果表明,甜菜碱的甲基转移效价比胆碱高 12 ~ 15 倍。已有研究表明在日粮胆碱含量不能满足机体对胆碱的基本需要的情况下添加甜菜碱不能代替胆碱的特有功能。Craig 等<sup>[6]</sup>发现甜菜碱节约了尼罗罗非鱼对胆碱的需要量,甜菜碱代替胆碱提高了鱼的摄食量。Rumsey<sup>[13]</sup>研究发现,甜菜碱在虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 饲料中可替代胆碱需要量的 50%。Snyder 等<sup>[14]</sup>研究结果表明,生长鸡饲喂低蛋白高脂肪日粮,就降低肝脂肪和脂类磷酸化的速度而言,胆碱优于甜菜碱。而胆碱和甜菜碱又可以通过不同的代谢途径合成卵磷脂,卵磷脂又是脂蛋白的主要组成成份,因此它们均具有降低鱼类肝脏脂质积累的作用。由于这 3 种物质均与机体甲基代谢和肝脏脂质代谢具有密切关系,因此研究它们之间的相互替代关系,对于鱼类促生长和“营养性脂肪肝”有重要的理论意义和实际价值。在本试验中,基础饲料中含有 0.06% 的氯化胆碱,已基本满足了异育银鲫机体对胆碱的需求,在此基础上试验组分别添加了 0.15% 氯化胆碱、0.05% 溶血卵磷脂、0.1% 的溶血卵磷脂和 0.1% 甜菜碱,初步研究了甜菜碱和溶血卵磷脂部分替代氯化胆碱的作用,结果显示在日粮胆

碱含量满足机体对胆碱的基本需要的情况下,添加甜菜碱的促生长和抗脂肪肝对异育银鲫的效果更明显,甜菜碱和溶血卵磷脂有部分替代胆碱的作用,可能由于添加量的因素而造成部分结果差异不显著。

已有研究证明,氯化胆碱、甜菜碱、卵磷脂均能够促进鱼类的生长,提高增重,降低饲料系数等生长性能。Poston 等<sup>[9]</sup>在大西洋鲑 (*Salmo salar*) 饲料中添加大豆磷脂和胆碱,试验组的增重比对照组提高 50%,添加 4% 或 8% 的大豆磷脂可明显降低饲料系数。Kanazawa<sup>[10]</sup>证明,饲喂 1% 大豆磷脂可以明显提高日本对虾的生长和成活率。阎希柱<sup>[11]</sup>等在配合饲料中添加甜菜碱盐酸盐的粗制品后明显提高了鲤日增重率,降低了饲料系数。本研究结果表明,在基础饲料中添加 3 种添加剂后,增重率都比对照组有所提高,其中 0.1% 甜菜碱组和 0.15% 氯化胆碱组分别比对照组提高了 10.28% 和 9.23% ( $P < 0.05$ )。同时,饲料系数显著下降 ( $P < 0.05$ )。说明饲料中添加 0.1% 甜菜碱和 0.15% 氯化胆碱能有效提高异育银鲫的生长、降低饲料系数,而溶血卵磷脂组与对照组相比不是太明显。对异育银鲫肌肉成分进行分析发现,添加 3 种添加剂后,分别提高了肌肉中蛋白质的含量,降低了肌肉中脂肪含量,并显著提高了异育银鲫的去内脏比,增加了鱼体的可食部分。分析原因可能与 3 种添加剂有效提高饲料的表观消化率和降低体内脂肪含量增加体蛋白等有关,与陆清儿等<sup>[7]</sup>报道的结果一致。

肝脏是合成甘油三酯和脂蛋白的主要场所。正常情况下,甘油三酯都以脂蛋白形式转动到肝

外组织利用,如果肝脏中缺乏磷脂,则脂蛋白的合成或分泌发生障碍、肝脏内大量甘油三酯积聚,超过脂肪的贮藏,便形成脂肪肝。而脂肪肝病变存在明显的甘油三酯和总胆固醇代谢紊乱,两者合并升高是脂肪肝主要的血脂特点,尤其是甘油三酯升高与脂肪肝关系密切。甜菜碱可以改善细胞线粒体中脂肪酸的氧化过程,明显提高肝脏中长链酯酰肉碱的含量及长链酯酰肉碱和游离肉碱的比例,促进脂肪分解,减少肝脏和体脂肪沉积,促进蛋白质合成。陆清儿等<sup>[15]</sup>实验结果表明甜菜碱可改善肉质,它参与机体代谢活动,使肝脏和肌肉中甲基化产物(肉碱)含量增加,影响肠系膜脂肪酶活力,改变体脂和鱼肉脂肪酸组成,进行体脂重分配。徐中南等<sup>[16]</sup>研究表明甜菜碱对大鼠酒精性脂肪肝有较好的治疗作用,其部分机制可能是通过抗脂质过氧化和增加脂质代谢。

氯化胆碱、卵磷脂、甜菜碱对肝脏脂肪的影响已有很多研究报道,但是对其机理研究不尽相同。本研究表明,饲料中添加 0.15% 氯化胆碱和 0.1% 甜菜碱组降低了血浆中甘油三酯的含量,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。而添加溶血卵磷脂组甘油三酯升高可能与脂蛋白将肝脏中甘油三酯转运到血液中,降低了肝脏中甘油三酯含量,从而增加了血液中甘油三酯含量有关。此结果与杨鸿昆<sup>[17]</sup>研究结果相似,而与杨丹丹等<sup>[18]</sup>研究结果不同。Murata 等<sup>[19]</sup>研究表明磷脂降低胆固醇的效应可能与降低肝脏的胆固醇分泌或增加进入肝脏的 HDL 有关,卵磷脂有效降低了血液中胆固醇的含量,与本研究结果相一致。

#### 参考文献

- [1] 曹俊明,林鼎,薛华,等. 四种抗脂肪肝物质降低草鱼肝胰脏脂质积累的替代关系[J]. 水生生物学报,1999,23(2):102-111.
- [2] 王道尊,赵亮,谭玉钧. 草鱼鱼种对脂碱需要量的研究[J]. 水产学报,1995,19(2):133-139.
- [3] 刘镜恪,雷冀霖. 饵料胆碱含量对真鲷仔稚鱼生长影响的初步研究[J]. 海洋科学,2001,25(11):42-44.
- [4] 陈芳,杨代勤,方长琰,等. 饲料添加胆碱对黄鳍生长及肌肉和肝脏脂肪含量的影响[J]. 湖北农学院学报,2002,22(4):327-329.
- [5] Wilson R P, Poe W E. Choline nutrition of fingerling channel catfish[J]. Aquaculture, 1988, 68(1-4): 65-71.
- [6] Craig S R, Neill W H, Gatlin III D M. Growth and body composition of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*) fed diets containing lecithin and supplemental choline [J]. Aquaculture, 1997, 151(1-4): 259-267.
- [7] 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.
- [8] Sheridan M A. Lipid dynamics in fish; aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization [J]. Comp Biochem Physiol, 1988, 90B:679-690.
- [9] Poston H A. Effect of bodysize on growth, survival, and chemical composition of Atlantic salmon fed soy lecithin and choline [J]. Progressive Fish Culturist, 1990, 52:226-230.
- [10] Kanazawa A. Effects of docosahexaenoic acid and phospholipids on stress tolerance of fish [J]. Aquaculture, 1997, 155(4):129-134.
- [11] 阎希柱,邱岭泉. 饲料中添加甜菜碱时尼罗罗非鱼生长、肌肉组成和消化率的影响[J]. 水产学报, 1998, 22(2):190-192.
- [12] Kasper C S, White M R, Brown P B. Betaine can replace choline in diets for juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. Aquaculture, 2002, 205(1-4):119-126.
- [13] Rumsey G L. Choline betaine requirements of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1991, 95(1-4): 107-116.
- [14] Snyder F, Cornatzer W E, Simonson G E. Comparative lipotropic and lipid phosphorylating effect of choline betaine and inositol [J]. Proc Soc Exp Biol Med, 1957, 96:670-672.
- [15] 陆清儿,李忠全. 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.
- [16] 徐中南,谢梅林,陆伦根,等. 甜菜碱对大鼠酒精性脂肪肝的影响[J]. 中国肝病学, 2006, 11(3):163-166.
- [17] 杨鸿昆. 卵磷脂、胆碱和肌醇在罗非鱼脂肪肝病变中的作用机制[D]. 南宁:广西大学, 2006.
- [18] 杨丹丹,黄进,王恬. 日粮中添加溶血卵磷脂对肉仔鸡脂类代谢的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2008, 37(4):394-398.
- [19] Murata M, Imaizumi K, Sugano M. Hepatic secretion of lipids and apolipoproteins in rats fed soybean phospholipid and soybean oil [J]. Nutr, 1983, 113: 1708-1716.

## Effects of dietary choline-chloride, betaine and lysophospholipids on the growth performance, fat metabolism and blood indices of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*)

LI Hong-xia<sup>1</sup>, LIU Wen-bin<sup>1\*</sup>, LI Xiang-fei<sup>1</sup>, WANG Jing-jing<sup>1</sup>, LIU Bo<sup>2</sup>, XIE Jun<sup>2</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

**Abstract:** A feeding experiment was carried out to evaluate the growth performance, fat metabolism and blood indices of diets containing different additives by crucian carp, *Carassius auratus gibelio* [mean initial weight of (7.46 ± 0.2) g], for 67 days. 450 healthy fish were randomly divided into five groups in the experiment, group 1 was control group fed basic feed, whereas groups 2, 3, 4 and 5 were fed the basic feed added with 0.05% lysophospholipids, 0.1% lysophospholipids, 0.1% betaine and 0.15% choline-chloride, respectively. At the end of the experiment, growth performance, fat metabolism and blood biochemical parameters were observed to estimate the function of these three additives. The results showed that weight growth ratio (WGR) of carps in groups 4 (added with 0.1% betaine) and 5 (added with 0.15% choline-chloride) tended to be higher than that of fish in group 1 (control) and this difference was significant ( $P < 0.05$ ), and a lower feed conversion ratio (FCR) was found in groups 3 (added with 0.1% lysophospholipids), 4 (added with 0.1% betaine) and 5 (added with 0.15% choline-chloride) too ( $P < 0.05$ ). The apparent digestibility coefficients (ADC) of nutrients and crude protein content in body composition were significantly higher in experimental groups than those in control group ( $P < 0.05$ ). However, the liver fat, muscle fat content in experimental groups were lower than those in the control group, of which the test group of liver body ratio, liver fat content was significantly lower than that in the control group ( $P < 0.05$ ). The triglyceride levels in groups 4 (added with 0.1% betaine) and 5 (added with 0.15% choline-chloride) were lower than those in control group while the triglyceride levels in groups 2 (added with 0.05% lysophospholipids) and 3 (added with 0.1% lysophospholipids) were higher than those in control group ( $P > 0.05$ ). Reduced plasma cholesterol levels were found in experimental groups while the increased free fatty acid contents were observed in experimental groups ( $P < 0.05$ ). The experimental groups significantly increased superoxide dismutase (SOD) of the volume ( $P < 0.05$ ), reduced malondialdehyde (MDA) and alkaline phosphatase (AKP) of the volume ( $P < 0.05$ ), while aspartate aminotransferase (GOT), alanine aminotransferase (GPT), glucose (Glu) have no significant effect ( $P > 0.05$ ). In conclusion, it could improve growth performance, reduce the fat content in liver and enhance antioxidation function obviously by adding 0.1% lysophospholipids, betaine and 0.21% choline-chloride in basic diet of crucian carp, *Carassius auratus gibelio* in our study.

**Key words:** *Carassius auratus gibelio*; choline-chloride; betaine; lysophospholipids; growth; fat metabolism

**Corresponding author:** LIU Wen-bin. E-mail: wbliu@njau.edu.cn