

饲料中添加氯化胆碱对草鱼成鱼生长、脂肪沉积和脂肪代谢酶活性的影响

朱瑞俊¹, 李小勤¹, 谢骏², 冷向军¹, 田娟¹, 史少奕¹

(1. 上海海洋大学 省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院 珠江水产研究所, 广东 广州 510380)

摘要: 选用初始体质量为(314.7±9.9)g的草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)240尾, 随机分成4组, 每组3个重复, 每重复20尾鱼, 分别饲喂氯化胆碱添加量为0% (对照组)、0.2%、0.4%和0.6% (占饲料的质量分数)的4组饲料(粗蛋白、粗脂肪含量分别为28.01%和4.54%), 胆碱实测含量分别为1 010 mg/kg、2 516 mg/kg、4 184 mg/kg、5 852 mg/kg, 养殖77 d后, 考察氯化胆碱对草鱼成鱼生长性能、脂肪沉积及脂肪代谢酶活性的影响。结果表明, 与对照组相比较, 添加0.4%和0.6%氯化胆碱可显著提高鱼体增重率($P<0.05$)、特定生长率($P<0.05$), 降低饲料系数($P<0.05$); 添加0.2%~0.6%氯化胆碱可显著降低肝胰脏和全鱼脂肪含量($P<0.05$); 添加0.4%和0.6%氯化胆碱, 肌肉脂肪含量显著下降($P<0.05$); 添加0.2%~0.6%氯化胆碱可显著提高血清甘油三酯和总胆固醇含量($P<0.05$), 添加0.4%和0.6%氯化胆碱可显著降低肝胰脏甘油三酯和总胆固醇含量($P<0.05$); 在脂肪代谢酶方面, 添加0.2%~0.6%氯化胆碱可显著提高前肠脂肪酶活性($P<0.05$), 添加0.6%氯化胆碱显著提高脂蛋白脂酶活性($P<0.05$), 添加0.4%~0.6%氯化胆碱可显著升高肝脂酶和总脂酶活性($P<0.05$)。综上所述, 适量添加胆碱能改善草鱼成鱼生长性能, 提高饲料利用率, 降低肝胰脏、全鱼和肌肉的脂肪含量, 提高脂肪代谢酶活性。建议草鱼实用饲料中氯化胆碱添加量为0.4%~0.6%。[中国水产科学, 2010, 17(3): 527-535]

关键词: 草鱼成鱼; 氯化胆碱; 生长; 脂肪沉积; 脂肪代谢酶

中图分类号: S963; S965

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2010)03-0527-09

胆碱是维持鱼类正常生长的重要营养物质, 在鱼类神经发育、肝脏脂肪转运以及机体合成代谢等方面起着重要作用。饲料中补充胆碱不仅能促进湖鲢(*Salvelinus namaycush*)^[1]、金鲈(*Perca flavescens*)幼鱼^[2]、高首鲟(*Acipenser transmontanus*)^[3]生长, 提高饲料利用率, 还能显著降低斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*)^[4]、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)鱼种^[5]、眼斑拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)^[6]的肝脏脂肪含量。

目前, 有关鱼类胆碱营养的研究主要集中于幼鱼或鱼种需要量方面, 多使用精制、半精制饲料开展试验, 如草鱼胆碱需要量在鱼种阶段为3 000 mg/kg (精制饲料)^[5], 斑纹鲈(*Morone chrysops*×*M. saxatilis*)

幼鱼对饲料中胆碱需要量为500 mg/kg^[7]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)幼鱼为696~950 mg/kg^[8]、奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*)幼鱼为1 000 mg/kg^[9], 而对成鱼阶段胆碱需要量及实用饲料中添加胆碱的报道较少。同时, 胆碱作为鱼体内脂肪转运的限速因子, 能有效调节鱼体代谢强度和脂肪沉积水平, 但关于胆碱对鱼类不同器官脂肪代谢酶活性影响的报道还很少。

草鱼作为中国重要的养殖鱼类之一, 其成鱼阶段胆碱需要量及实用饲料中添加胆碱还未见报道。本实验选取草鱼成鱼为对象, 在实用饲料中添加不同水平的氯化胆碱, 考察其对草鱼成鱼生长性能、脂

收稿日期: 2009-06-17; 修订日期: 2009-10-15.

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(nycyx-49); 上海市重点学科建设项目(Y1101); 上海市教委发展基金(2006-416); 上海市科委计划处重点定向项目(08390510200).

作者简介: 朱瑞俊(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事水产动物营养与饲料学研究. E-mail: zhurj731@163.com

通讯作者: 冷向军(1972-), 教授. E-mail: xjleng@shou.edu.cn

肪沉积及不同器官脂肪代谢酶活性的影响,为胆碱在鱼类饲料中的合理使用提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计与饲料

在基础饲料中添加0%(对照组)、0.2%、0.4%、0.6%纯品氯化胆碱(购自北京桑普生化技术有限公

司,有效含量为50%),共设4个处理组,每处理组3个重复,4组饲料胆碱实测含量分别为1 010 mg/kg、2 516 mg/kg、4 184 mg/kg、5 852 mg/kg。基础饲料配方及营养组成见表1。各原料过40目筛,微量成分采取逐级扩大法添加,与大宗原料逐级混匀后,使用单螺杆平模制粒机挤压成为粒径3 mm,长度5 mm的浮性颗粒料,风干后放置于4℃冰箱中备用。

表1 基础饲料配方及营养组成
Tab.1 Formulation and nutrient composition of basal diets

成份 Ingredient	比例 Percentage	化学组成 Chemical composition	比例 Percentage
豆粕 Soybean meal	17	水分 Moisture	9.76
棉籽粕 Cottonseed meal	16	粗蛋白 Crude protein	28.01
菜籽粕 Rapeseed meal	28	灰分 Ash	7.21
小麦麸 Wheat bran	12.5	粗脂肪 Crude fat	4.54
次粉 Wheat middle	23	胆碱 Choline	0.101
鱼油 Fish oil	0.5	赖氨酸 Lys	1.19
豆油 Soybean oil	0.5	蛋氨酸 Met	0.40
维生素预混料 Vitamin premix	0.5	胱氨酸 Cys	0.56
矿物元素预混料 Mineral premix	0.5	含硫氨基酸 Saa	0.96
磷酸二氢钙 Monocalcium phosphate	1.5		
总计 Total	100		

注:维生素和矿物元素在每kg饲料中的添加量:维生素A 6 000.0 IU,维生素D 2 000.0 IU、维生素E 50.0 mg,维生素K 5.0 mg,维生素B₁ 15.0 mg,维生素B₂ 15.0 mg,烟酸30.0 mg,维生素B₆ 10.0 mg,泛酸25.0 mg,叶酸0.2 mg,维生素B₁₂ 0.03 mg,生物素0.2 mg,维生素C 100.0 mg,肌醇100 mg; 锌80 mg,铁150 mg,铜4.0 mg,锰20.0 mg,碘0.4 mg,钴0.1 mg,硒0.1 mg,镁100.0 mg.

Note: To contain vitamin and mineral in diet added as premix per kilogram: vitamin A 6 000.0 IU, vitamin D 2 000.0 IU, vitamin E 50.0 mg, vitamin K 5.0 mg, vitamin B₁ 15.0 mg, vitamin B₂ 15.0 mg, niacin 30.0 mg, vitamin B₆ 10.0 mg, pantothenate acid 25.0 mg, folic acid 0.2 mg, vitamin B₁₂ 0.03 mg, biotin 0.2 mg, vitamin C 100 mg, inositol 100 mg; Zn 80.0 mg, Fe 150.0 mg, Cu 4.0 mg, Mn 20.0 mg, I 0.4 mg, Co 0.1 mg, Se 0.1 mg, Mg 100.0 mg.

1.2 实验用鱼

实验用草鱼初始体质量(314.7±9.9)g,由上海海洋大学特种养殖场提供,取240尾体质健壮个体,随机分配于12口水泥池(3.0 m×5.0 m×1.2 m,水深0.7 m)中,每池20尾。

1.3 饲养管理

正式实验开始前用基础饲料驯养草鱼14 d,以适应养殖环境和实验饲料。实验开始后,每天于8:00、12:30、17:00投喂3次,日投喂量为鱼体质量的2%~3%(根据摄食情况作调整,投饲后当场吃完为宜),各组保持基本一致的投饲量,每2天通过虹吸清理水池污物,养殖池昼夜充气,养殖期间水温23.5~30.5℃,溶氧6.5~8.3 mg/L, pH值6.9~7.6,养殖时间为77 d。

1.4 生长性能及计算方法

养殖实验结束后,鱼体饥饿24 h,以池为单位称重,每池随机取草鱼3尾,测量体长、体高,称体质量,解剖后称量肝胰脏质量和肠系膜脂肪质量,各指标计算方法如下:

$$\text{尾净增重 (g)} = \text{末体质量 (g)} - \text{初体质量 (g)}$$

$$\text{增重率 (WGR, \%)} = [\text{末体质量 (g)} - \text{初体质量 (g)}] / \text{初体质量 (g)} \times 100$$

$$\text{饲料系数 (FCR)} = \text{摄食量 (g)} / [\text{末体质量 (g)} - \text{初体质量 (g)}]$$

$$\text{特定生长率 (SGR, \% \cdot d^{-1})} = [\ln \text{鱼均末质量 (g)} - \ln \text{鱼均初质量 (g)}] \times 100 / \text{养殖天数}$$

$$\text{成活率 (SR, \%)} = \text{成活尾数} / \text{总尾数} \times 100$$

体长体高比=体长(cm)/体高(cm)

肥满度(K)=个体质量(g)/体长³(cm³)

肝体比(HSI, %)=肝质量(g)/体质量(g)×100

肠脂比(%)=肠系膜脂肪质量(g)/体质量(g)×100

1.5 样品制备

养殖实验结束后, 鱼体饥饿24 h, 每池随机取鱼6尾, 其中任取3尾, 从尾静脉取血, 3 000 r/min离心10 min, 制得血清, 置于-20℃冰箱中以备分析; 再迅速取出肝胰脏、前肠、肌肉(第1根背鳍至最后1根背鳍之间, 侧线以上白肌), 置于-20℃冰箱中保存; 另3尾鱼, 切碎后放入绞肉机中制备全鱼样品, 于-20℃冰箱中保存。

每尾鱼取1.0 g前肠, 加入9倍体积4℃双蒸水, 冰浴匀浆(10 000 r/min, 10 s/次, 连续4次), 3 000 r/min离心10 min, 取上清液测前肠脂肪酶活性; 取0.1 g肝胰脏加入9倍体积4℃生理盐水, 用同上方法制备粗酶液, 测定肝胰脏中组织蛋白、甘油三酯和总胆固醇含量以及脂蛋白脂酶和肝脂酶活性。

1.6 生化指标分析与方法

全鱼、肌肉及肝胰脏的粗脂肪含量测定采用Floch总脂测定法^[10]; 粗蛋白含量测定采用凯氏定氮法(GB/T5009.5-2003); 灰分含量测定采用灰化法(GB/T5009.4-2003); 肌肉和全鱼水分含量采用105℃恒重法(GB/T5009.3-2003); 基础饲料中胆碱含量测定参照GB/T 5413.20-1997; 肝胰脏水分含量测定采用冷冻干燥法, 使用LABCONCO冷冻干燥机, 冷冻干燥72 h, 温度低于-46℃, 真空度低于133。

血清和肝脏甘油三酯、胆固醇的测定分别采用GPO-PAP法和CHOD-PAP法。肝胰脏组织蛋白测定采用考马斯亮蓝法。肝胰脏肝脂酶、脂蛋白脂酶采用化学比色法, 其活力单位定义为每毫克肝胰脏组织蛋白每小时产生1 μmol的游离脂肪酸为1个酶活性单位[U/mg(蛋白)], 其中总脂酶活性为脂蛋白脂酶活性与肝脂酶活性之和。以上指标测定均采用南京建成生物技术有限公司生产的测试盒。

肠道脂肪消化酶采用聚乙烯醇橄榄油法^[11-12], 活力单位定义为在pH 7.3, 30℃条件下, 每分钟每克肠组织分解脂肪产生1 μmol脂肪酸为1个活性单位(U/g)。

1.7 数据统计

结果用平均数±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示, 经方差分析之后, 采用Duncan's多重比较法分析实验结果的差异显著性, 差异显著水平为0.05。

2 结果与分析

2.1 氯化胆碱对草鱼成鱼生长性能及饲料利用的影响

经77 d养殖, 饲料中添加氯化胆碱对草鱼生长性能、饲料利用的影响见表2。随着饲料中氯化胆碱添加量的升高, 草鱼增重率、特定生长率增高, 饲料系数降低。与对照组相比, 添加0.4%、0.6%氯化胆碱, 增重率分别提高17.55%、28.04% ($P < 0.05$), 特定生长率提高13.25%、20.48% ($P < 0.05$), 饲料系数分别降低10.69%、13.36% ($P < 0.05$)。

表2 添加氯化胆碱对草鱼成鱼生长和饲料利用的影响

Tab. 2 Effect of supplemental choline chloride on growth performance and feed utilization of *Ctenopharyngodon idella* $n=3; \bar{x} \pm SD$

指标 Index	氯化胆碱添加量/% Choline chloride supplement			
	0	0.2	0.4	0.6
平均初体质量/g Initial body weight	314.7±20.8	320.5±11.6	310.1±2.1	313.8±0.5
平均末体质量/g Final body weight	595.1±15.6 ^a	629.3±24.3 ^{ab}	640.0±29.9 ^{ab}	677.7±1.8 ^b
尾净增重/g Weight gain per fish	279.9±4.5 ^a	308.8±12.7 ^{ab}	330.1±27.8 ^{bc}	364.1±6.3 ^c
增重率/% WGR	90.6±5.8 ^a	96.34±3.5 ^{ab}	106.5±6.3 ^{bc}	116.0±3.9 ^c
特定生长率/(%·d ⁻¹) SGR	0.83±0.05 ^a	0.88±0.01 ^{ab}	0.94±0.06 ^{bc}	1.00±0.02 ^c
饲料系数 FCR	2.62±0.13 ^a	2.50±0.03 ^{ab}	2.34±0.04 ^{bc}	2.27±0.05 ^c
成活率/% SR	100	100	100	100

注: 同行上标字母不同代表差异显著($P < 0.05$)。

Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

2.2 氯化胆碱对草鱼成鱼形体指标和内脏指数的影响

饲料中添加氯化胆碱对草鱼形体指标和内脏指数的影响见表3。随着氯化胆碱添加量升高,草鱼肠

脂比呈下降趋势,氯化胆碱添加量为0.4%时,肠脂比较对照组下降22.31% ($P < 0.05$)。各处理组在体长/体高、肥满度、肝体比方面无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表3 添加氯化胆碱对草鱼成鱼形体指标和内脏指数的影响

Tab. 3 Effect of supplemental choline chloride on figure and viscous indices of *Ctenopharyngodon idella*

$n=9; \bar{x} \pm SD$

指标 Index	氯化胆碱添加量/% Choline chloride supplement			
	0	0.2	0.4	0.6
体长/体高 Length / height	4.38±0.22	4.35±0.23	4.21±0.20	4.21±0.10
肥满度 Condition factor, K	1.96±0.06	1.97±0.08	1.94±0.06	1.96±0.07
肝体比/% HSI	2.56±0.29	2.44±0.26	2.41±0.31	2.43±0.12
肠脂比/% Mesenteric lipid index	1.30±0.17 ^a	1.26±0.21 ^a	1.01±0.14 ^b	1.20±0.08 ^{ab}

注: 同行上标字母不同代表差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

2.3 氯化胆碱对草鱼成鱼肌肉、全鱼和肝胰脏化学组成的影响

各组草鱼肌肉、全鱼和肝胰脏化学组成见表4。氯化胆碱对草鱼成鱼肌肉粗蛋白、水分和灰分含量影响不显著 ($P > 0.05$)。与对照组相比,添加0.4%和0.6%氯化胆碱组的肌肉脂肪含量较对照组降低38.36%、24.57% ($P < 0.05$); 添加0.2%氯化胆碱对肌肉脂肪含量无影响 ($P > 0.05$)。

在全鱼成分方面,添加0.4%氯化胆碱组全鱼水分含量显著升高 ($P < 0.05$); 灰分和粗蛋白含量随着氯化胆碱添加量的增加而升高 ($P < 0.05$); 与对照组相比,添加0.2%、0.4%和0.6%氯化胆碱组全鱼脂肪含量较对照组降低了13.05%、41.48%和15.67% ($P < 0.05$)。

在肝胰脏成分方面,随着氯化胆碱添加量的升高,草鱼肝胰脏水分含量呈增高趋势 ($P < 0.05$)。当氯化胆碱添加量 $\geq 0.2\%$ 后,肝胰脏粗蛋白含量显著提高,粗脂肪含量显著降低 ($P < 0.05$)。氯化胆碱添加量为0.2%、0.4%、0.6%时,肝胰脏脂肪含量较对照组分别降低了13.68%、19.70%和30.32% ($P < 0.05$)。

2.4 氯化胆碱对草鱼成鱼血清、肝胰脏甘油三酯和总胆固醇含量的影响

氯化胆碱对草鱼血清和肝胰脏中甘油三酯和总胆固醇的影响见表5。与对照组相比,添加

0.2%、0.4%和0.6%氯化胆碱组的血清甘油三酯含量较对照组显著提高了26.96%、26.51%和13.61% ($P < 0.05$),同时草鱼血清总胆固醇的含量亦显著升高 ($P < 0.05$)。在肝胰脏甘油三酯和总胆固醇方面,与对照组相比,添加0.2%氯化胆碱对肝胰脏甘油三酯、总胆固醇含量无显著影响,但添加0.4%、0.6%的氯化胆碱使甘油三酯和总胆固醇含量分别降低了26.78%、29.87%和29.97%、30.39% ($P < 0.05$)。

2.5 氯化胆碱对草鱼成鱼脂肪代谢酶活性的影响

氯化胆碱对草鱼成鱼脂肪代谢酶活性的影响见表6。在肝胰脏脂肪代谢酶方面,随着氯化胆碱添加量增高,脂蛋白酯酶(LPL)、肝脂酶(HL)和总脂酶(TL)活性呈升高趋势;与对照组相比,氯化胆碱添加量为0.6%时,脂蛋白酯酶活性提高105.95% ($P < 0.05$),但添加0.2%和0.4%的氯化胆碱对脂蛋白酯酶活性无影响 ($P > 0.05$); 氯化胆碱添加量为0.4%和0.6%时,肝脂酶活性较对照组提高110.39%、123.38% ($P < 0.05$),总脂酶活性提高51.52%、107.88% ($P < 0.05$)。

在肠道脂肪消化酶方面,随着饲料中氯化胆碱添加量升高,草鱼肠道脂肪消化酶活性显著升高,与对照组相比,添加0.2%、0.4%和0.6%氯化胆碱,前肠脂肪消化酶活性提高13.21%、59.54%和32.63% ($P < 0.05$)。

表4 氯化胆碱对草鱼成鱼肝胰脏、全鱼和肌肉常规成分的影响(干物质%)

Tab. 4 Effect of supplemental choline chloride on muscle, whole body and hepatopancreas composition of *Ctenopharyngodon idella* n=9; $\bar{x} \pm SD$; Dry matter %

指标 Index	氯化胆碱添加量/% Choline chloride supplement				
	0	0.2	0.4	0.6	
肌肉 Muscle	水分 Moisture	77.32±0.54	77.15±0.29	76.80±1.73	76.89±0.42
	灰分 Ash	5.95±0.18	5.87±0.08	5.87±0.12	5.98±0.29
	粗脂肪 Crude fat	4.64±0.54 ^a	4.61±0.53 ^a	2.86±0.27 ^c	3.50±0.78 ^b
	粗蛋白 Crude protein	90.03±0.63	90.00±0.27	90.48±0.18	90.34±0.22
全鱼 Whole-body	水分 Moisture	72.03±0.84 ^a	71.67±1.36 ^a	74.50±1.46 ^b	72.46±0.76 ^a
	灰分 Ash	12.39±0.31 ^a	13.47±0.52 ^b	18.33±0.61 ^c	13.71±0.83 ^b
	粗脂肪 Crude fat	16.78±1.53 ^a	14.59±1.59 ^b	9.82±0.98 ^c	14.15±1.50 ^b
	粗蛋白 Crude protein	59.90±0.32 ^a	61.20±0.50 ^{ab}	61.95±0.45 ^{bc}	62.41±0.38 ^c
肝胰脏 Hepatopancreas	水分 Moisture	65.60±0.86 ^a	66.55±1.76 ^{ab}	67.29±1.79 ^b	67.71±0.97 ^b
	粗脂肪 Crude fat	23.25±1.04 ^a	20.07±2.26 ^b	18.67±2.71 ^b	16.20±1.03 ^c
	粗蛋白 Crude protein	31.36±0.48 ^a	33.72±0.24 ^b	33.41±0.26 ^b	34.62±0.41 ^c

注: 同行上标小写字母不同代表差异显著(P<0.05).

Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

表5 添加氯化胆碱对草鱼成鱼血清、肝胰脏中甘油三酯和胆固醇含量的影响

Tab. 5 Effect of supplemental choline chloride on serum and hepatopancreas triglyceride and cholesterol content of *Ctenopharyngodon idella* n=9; $\bar{x} \pm SD$

指标 Index	氯化胆碱添加量/% Choline chloride supplement				
	0	0.2	0.4	0.6	
血清 Serum	甘油三酯/(mg·100 ⁻¹ ·mL ⁻¹) Triglyceride	149.56±11.22 ^a	189.88±22.33 ^b	189.21±29.62 ^b	169.91±19.99 ^b
	总胆固醇/(mg·100 ⁻¹ ·mL ⁻¹) Cholesterol	245.48±16.51 ^a	276.20±13.28 ^b	281.74±17.10 ^{bc}	291.40±11.44 ^c
肝胰脏 Hepatopancreas	甘油三酯/(μg·mg ⁻¹) Triglyceride	180.76±19.75 ^a	187.21±11.31 ^a	132.36±23.12 ^b	126.77±17.42 ^b
	总胆固醇/(μg·mg ⁻¹) Cholesterol	11.68±1.15 ^a	11.49±1.44 ^a	8.18±0.88 ^b	8.13±0.93 ^b

注: 同行上标小写字母不同代表差异显著(P<0.05).

Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

表6 添加氯化胆碱对草鱼成鱼脂肪代谢酶活性的影响

Tab. 6 Effect of supplemental choline chloride on lipid metabolism enzymes activities of *Ctenopharyngodon idella* n=9; $\bar{x} \pm SD$

指标 Index	氯化胆碱添加量/% Choline chloride supplement				
	0	0.2	0.4	0.6	
肝胰脏 Hepatopancreas	脂蛋白脂酶/(U·mg ⁻¹) Lipoprotein lipase	0.84±0.18 ^a	0.86±0.20 ^a	0.95±0.39 ^a	1.73±0.44 ^b
	肝脂酶/(U·mg ⁻¹) Hepatic lipase	0.77±0.09 ^a	0.86±0.06 ^a	1.62±0.15 ^b	1.72±0.42 ^b
肠道 Gut	总脂酶/(U·g ⁻¹) Total lipase	1.65±0.15 ^a	1.71±0.15 ^a	2.50±0.41 ^b	3.43±0.43 ^c
	脂肪酶/(U·g ⁻¹) Lipase activity	20.44±2.32 ^a	23.14±4.17 ^b	32.61±2.13 ^d	27.11±2.32 ^c

注: 同行上标小写字母不同代表显著差异(P<0.05).

Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

3 讨论

3.1 氯化胆碱对草鱼生长性能的影响

胆碱是维持鱼类正常生长的营养物质,饲料中缺乏胆碱会导致虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[13]、湖鳟(*Salvelinus namaycush*)^[11]生长受阻、饲料利用率降低,草鱼鱼种^[5]、斑点叉尾鲷^[14]肝脏脂肪过量沉积,大麻哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)^[15]肾脏出血等症状。胆碱在鱼类肝脏胆碱脱氢酶作用下释放出活性甲基,参与机体的合成代谢被认为是胆碱促生长的主要原因^[16]。本研究中,养殖77 d后,对照组草鱼并未出现典型的胆碱缺乏症,这与饲料原料中含有一定量的胆碱有关,也可能是因为本次实验所用鱼体规格较大,对胆碱的缺乏相对不敏感。

鱼类对胆碱需要量的确定,一般以肝脏胆碱蓄积量、肝脏脂肪含量以及生长性能等指标作为评定标准。研究表明,以胆碱蓄积量和增重率为标准所确定的奥尼罗非鱼胆碱需要量为1 000 mg/kg^[9];以增重率和摄食量为标准确定的金鲈幼鱼胆碱需要量分别为598 mg/kg、634 mg/kg^[2];王道尊等^[5]以增重率和肝脏脂肪含量为标准所确定的草鱼鱼种胆碱需要量为3 000 mg/kg。可见,鱼类对胆碱的需要量因评定标准不同而不同。本实验中,与对照组相比,添加0.4%、0.6%氯化胆碱组草鱼的增重率、特定生长率显著提高($P<0.05$),饲料系数、肝胰脏脂肪含量显著降低($P<0.05$)。因此,本实验中以生长性能和肝胰脏脂肪含量为标准确定的草鱼成鱼胆碱需要量为4 184 ~ 5 852 mg/kg,高于王道尊等^[5]所确定的草鱼鱼种胆碱需要量。本实验基础饲料中鱼油和豆油添加量仅1%,而在王道尊等^[5]的实验中,油脂(鱼油、豆油)添加量达到8%,油脂中含有的磷脂及磷脂酰胆碱在磷脂酶-D的催化下能够分解产生胆碱,对胆碱的需求产生节约效应,这在南美白对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[17]、大西洋鲑(*Salmo salar*)^[18]的研究中已有报道;此外,草鱼成鱼阶段饲料完全由植物性原料组成,而鱼类对植物性原料中胆碱的利用率低于鱼粉等动物性原料,如斑点叉尾鲷对豆粕、

棉粕和麦麸中胆碱利用率为75%、55%和54%,而对鲢鱼粉、肉骨粉中胆碱利用率高达92%和90%^[14],这可能是造成本实验中草鱼成鱼胆碱需求量较高的原因之一。

3.2 氯化胆碱对草鱼成鱼脂肪沉积的影响

胆碱作为一种营养性添加剂,对鱼体各器官脂肪沉积有重要调控作用。研究表明,饲料中添加胆碱可降低许多鱼类肝脏脂肪含量。添加0.3%~0.5%胆碱可降低草鱼鱼种肝胰脏脂肪含量19.29%~22.09% ($P<0.05$)^[5],添加0.3%胆碱(以氯化胆碱为胆碱源)可降低眼斑拟石首鱼肝脏脂肪含量32.67% ($P<0.05$)^[6],添加0.05%胆碱(以氯化胆碱为胆碱源)可降低斑纹鲈幼鱼肝胰脏脂肪含量47.78% ($P<0.05$)^[7]。本实验中,氯化胆碱添加量为0.2%~0.6%时,草鱼肝胰脏脂肪含量下降13.68%~30.32% ($P<0.05$),与上述研究结果基本一致。

在全鱼脂肪方面,饲料胆碱含量对军曹幼鱼全鱼脂肪含量无影响^[8];添加1 216 mg/kg胆碱可提高初体质量为16 g的金鲈全鱼脂肪含量31.86% ($P<0.05$)^[2],添加0.6%~0.9%氯化胆碱可降低大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)全鱼脂肪12.99%~16.40% ($P<0.05$)^[19]。本研究发现氯化胆碱能显著降低草鱼全鱼脂肪含量,最高幅度达41.48% ($P<0.05$)。可见,胆碱对鱼类全鱼脂肪含量的影响尚无一致的结论,可能与鱼的种类及饲料等因素有关,有待于进一步研究。肌肉脂肪方面,添加0.1%胆碱可显著降低南美白对虾幼体肌肉脂肪含量^[17];在黄鳝(*Monopterus albus*)饲料中添加0.8%~1.2%胆碱,肌肉脂肪含量下降了22.38%~33.88% ($P<0.05$)^[20]。本实验中,添加0.4%和0.6%氯化胆碱使草鱼肌肉含量降低了38.36%、24.57% ($P<0.05$),与上述研究结果类似。

研究表明,胆碱降低鱼类肝胰脏脂肪含量的作用可能是通过胆碱直接或间接参与肝脏脂肪的转运而实现的^[21]。甘油三酯(TG)是鱼类肝脏脂肪的主要成分,TG以极低密度脂蛋白(VLDL)为载体向肝外转运,而VLDL的合成与磷脂酰胆碱含量密切相关。饲料中缺乏胆碱时,磷脂酰胆碱在鱼体内合成

量减少,进而使肝脏中脂蛋白合成量减少,影响肝脏中脂肪向血液中转运,导致肝脏中脂肪大量沉积^[5]。本实验中,添加0.2%~0.6%氯化胆碱,草鱼成鱼血清甘油三酯的含量较对照组显著升高($P<0.05$),同时血清总胆固醇含量亦显著升高($P<0.05$),这与王道尊等对草鱼鱼种^[5]、Hung对高首鲟^[3]的研究结果一致。同时,对肝胰脏中甘油三酯和总胆固醇含量测定发现,随着氯化胆碱添加量的升高,特别是添加量大于0.2%后,肝胰脏甘油三酯、总胆固醇含量显著下降,比较肝胰脏脂肪含量,表明草鱼肝胰脏中甘油三酯含量与肝胰脏脂肪含量呈正比,血清甘油三酯含量和肝胰脏中甘油三酯含量呈反比,这与在草鱼鱼种^[22]和罗非鱼^[21]中的研究结果类似。本实验中,添加胆碱后,肝胰脏脂肪水平下降、血清甘油三酯上升的同时,全鱼和肌肉中脂肪含量并未升高反而有所下降,表明更多的脂肪不是用于贮存,而是用作能量消耗,使一部分本应供能的蛋白质用于生长,从而提高了草鱼的生长性能,降低了鱼体脂肪沉积。

3.3 氯化胆碱对草鱼成鱼脂肪代谢酶活性的影响

前肠脂肪酶活性是评价前肠对脂肪消化能力的重要指标。目前关于胆碱对鱼类肠道脂肪酶活性的报道仅见于黄鳝^[23]。随饲料中胆碱添加量增高,黄鳝前肠脂肪酶活性逐渐升高,添加量为0.8%~1.5%时,前肠脂肪酶活性较对照组提高47.42%~62.31% ($P<0.05$),但添加量大于1.5%后,前肠脂肪酶活性下降。本实验中,与对照组相比,添加0.2%、0.4%和0.6%氯化胆碱,草鱼肠道脂肪酶活性分别较对照组提高13.21%、59.54%和32.63% ($P<0.05$),与上述研究结果一致,表明添加较高水平胆碱可能有提高鱼类前肠脂肪酶活性的作用。

肝酯酶(HL)和脂蛋白脂酶(LPL)是鱼类肝胰脏中参与脂肪降解的2种关键酶,合称为总脂酶(TL)。HL在肝细胞中合成,可作为配体促进低密度脂蛋白和乳糜微粒残粒进入肝细胞,并直接参与高密度脂蛋白胆固醇的逆转运和高密度脂蛋白残粒的分解^[24]。LPL是一种糖蛋白,存在于多种细胞和组织中,能够水解富含甘油三酯的脂蛋白,产生

游离脂肪酸^[25]。目前,胆碱对鱼类肝脏肝酯酶、脂蛋白脂酶和总脂酶活性的影响还未见报道,但对小鼠^[26]的研究发现,肝酯酶和脂蛋白脂酶活性降低与脂肪肝发生密切相关。对人的研究同样发现,脂肪肝患者肝脏中脂蛋白脂酶和肝酯酶活性显著降低^[27]。胆碱作为一种抗脂肪肝因子,具有调节体脂沉积的重要功能。本实验中,与对照组相比,添加0.6%氯化胆碱组肝胰脏脂蛋白脂酶升高了105.95% ($P<0.05$),添加0.4%、0.6%氯化胆碱组肝酯酶活性升高了110.39%、123.38% ($P<0.05$),总脂酶活性升高了51.52%、107.88% ($P<0.05$),而肝胰脏脂肪含量降低了19.70%、30.32% ($P<0.05$),这说明胆碱添加能提高草鱼肝胰脏脂肪降解酶活性,降低肝胰脏脂肪积累。

4 结论

本研究表明,饲料中添加0.4%~0.6%氯化胆碱能促进草鱼成鱼生长,提高饲料利用率,降低肠系膜、肌肉和肝胰脏中脂肪含量,促进脂肪的转运、增加肠道脂肪酶和肝胰脏脂肪代谢酶活性;草鱼实用饲料中氯化胆碱添加量推荐为0.4%~0.6%。

参考文献:

- [1] Ketola H G. Choline metabolism and nutritional requirement of lake trout (*Salvelinus namaycush*) [J]. *J Anim Sci*, 1976, 43: 474-477.
- [2] Twibell R G, Brown P B. Dietary choline requirement of juvenile yellow perch (*Perca flavescens*) [J]. *J Nutr*, 2000, 130: 95-99.
- [3] Hung S S O. Choline requirement of hatchery-produced juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) [J]. *Aquaculture*, 1989, 78: 183-194.
- [4] Wilson R P, William E P. Choline nutrition of fingerling channel catfish [J]. *Aquaculture*, 1988, 68: 65-71.
- [5] 王道尊,赵亮,谭玉钧. 草鱼鱼种对胆碱需要量的研究[J]. *水产学报*, 1995, 19(2): 133-138.
- [6] Craig R C, Gatlin D M III. Growth and body composition of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*) fed diets containing lecithin and supplemental choline [J]. *Aquaculture*, 1997, 151: 259-267.
- [7] Griffen M E, Wilson K A, White M R, et al. Dietary choline requirement of juvenile hybrid striped bass [J]. *J Nutr*, 1994, 4: 1686-1689.
- [8] Mai K S, Xiao L D, Ai Q H, et al. Dietary choline requirement for juvenile cobia, *Rachycentron canadum* [J]. *Aquaculture*, 2009, 289:

- 124-128.
- [9] Shiao S Y, Lo P S. Dietary choline requirements of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. J Nutr, 2000, 130: 100-103.
- [10] Folch J, Lees M, Sloane-Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. J Biol Chem, 1957, 226: 497-509.
- [11] 中山大学生化系生化微生物教研室. 生化技术导论[M]. 北京: 科学出版社, 1957: 57-62.
- [12] 方之平, 潘黔生, 何瑞国, 等. 温度对彭泽鲫主要消化酶活力的影响[J]. 水利渔业, 1998, 2: 15-17.
- [13] McLaren B A, Keller E, O'Donnell D J, et al. The nutrition of rainbow trout. I. Studies of vitamin requirements [J]. Arch Biochem Biophys, 1947, 15: 169-178.
- [14] Zhang Z, Wilson R P. Reevaluation of the choline requirement of fingerling channel catfish (*Ictalurus punctatus*) and determination of the availability of choline in common feed ingredients [J]. Aquaculture, 1999, 180: 89-98.
- [15] Halver J E. Nutrition of salmonid fishes. III. Water-soluble vitamin requirements of chinook salmon [J]. J Nutr, 1957, 62: 225-243.
- [16] 冷向军, 李小勤. 水产动物的胆碱营养[J]. 饲料研究, 2005, 2: 45-46.
- [17] Gong H, Lawrence A L, Jiang D H. Effect of dietary phospholipids on the choline requirement of *Litopenaeus vannamei* juveniles [J]. J World Aquac Soc, 2003, 34(3): 289-299.
- [18] Poston H A. Response of Atlantic salmon fry to feed-grade lecithin and choline [J]. Prog Fish-Culturist, 1991, 53: 224-228.
- [19] 周明. 饲料中添加胆碱和卵磷脂对大口黑鲈生长、体组成和肝脏的影响[D]. 广州: 中山大学, 2007.
- [20] 陈芳, 杨代勤, 方长琰, 等. 饲料添加胆碱对黄鳝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.
- [21] 黄凯, 杨鸿昆, 甘晖, 等. 饲料中添加胆碱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.
- [22] 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.
- [23] 杨代勤. 黄鳝营养需要与消化酶的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2002.
- [24] Choi S Y, Goldberg I J, Curtiss L K, et al. Interaction between ApoB and hepatic lipase mediates the uptake of ApoB-containing lipoproteins [J]. J Biol Chem, 1998, 273(32): 20456-20462.
- [25] Auwerx J, Leroy P, Schoonjans K. Lipoprotein lipase: recent contributions from molecular biology [J]. Crit Rev Clin Lab Sci, 1992, 29: 243-268.
- [26] Reue K, Doolittle M H. Naturally occurring mutations in mice affecting lipid transport and metabolism [J]. J Lipid Res, 1996, 37: 1387-1405.
- [27] 倪燕君, 刘厚钰, 张顺财, 等. 肝脂酶、脂蛋白脂肪酶在脂肪肝病中的作用[J]. 中华消化杂志, 1999, 19(5): 324-327.

· 书讯 ·

专著《长江口中华鲟自然保护区科学考察与综合管理》介绍

由中国水产科学研究院东海水产研究所庄平研究员主持著述的《长江口中华鲟自然保护区科学考察与综合管理》专著,于2009年底已由海洋出版社出版发行。2002年,上海市长江口中华鲟自然保护区建立伊始,即全面开展了自然保护区的科学考察和专题研究工作。该书汇集了6周年的资源和环境科学考察成果以及大量的原始科学数据,专题研究包括中华鲟幼鱼在长江口的时空分布、生长特性、摄食习性、发育行为、生态毒理、生理调节、受伤个体的抢救治疗技术、人工放流技术等内容。专著还论述了保护区的总体规划和运行管理经验。该书共计60万字,分为自然资源与社会经济概况、中华鲟生态学和生物学研究、总体规划与综合管理以及附录等4篇,共计16章,并附有大量栖息地、保护物种和科研活动的照片,内容丰富,资料详实,图文并茂,大开本精装,共425页。



该书可供从事水生野生动物保护、渔业资源和环境研究、自然保护区工作的科研和管理人员参考,也可以作为大专院校相关专业师生以及民众的读物。定价168元,直接邮购优惠价100元,另加邮运费20元,共计120元。购书款请邮局汇款,在附言中注明书名,并详细注明具体邮寄地址和联系方式。

联系人: 闫文罡 地址: 上海市军工路300号中国水产科学研究院东海水产研究所
 邮编: 200090 电话: 021-65807898 E-mail: ywg_3168@163.com

Effects of dietary supplemental choline chloride on growth performance and lipid deposition and activities of lipid metabolism enzymes of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*

ZHU Ruijun¹, LI Xiaoqin¹, XIE Jun², LENG Xiangjun¹, TIAN Juan¹, SHI Shaoyi¹

(1. Ministry of Education Key laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China)

Abstract: A 77-day feeding trial was conducted to study the effect of dietary choline chloride supplementation on growth performance and lipid metabolism of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*. The basal diet contained 28.01% crude protein and 4.54% crude lipid. Choline chloride of graded levels (0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%) was supplemented to basal diet to formulate four practical diets containing choline of 1 010 mg/kg (control group), 2 516 mg/kg, 4 184 mg/kg, 5 852 mg/kg, respectively. Each diet was randomly fed to triplicate of grass carps with initial average weight of (314.7±9.9) g in 12 concrete tanks (3.0 m×5.0 m×1.2 m). The results were as follows: Compared with the control group, weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) of fish fed with 0.4% and 0.6% choline chloride diets increased significantly ($P<0.05$), whereas feed conversion rate (FCR) decreased significantly ($P<0.05$). Crude fat content in hepatopancreas and whole body significantly decreased in the groups fed on diets adding choline chloride of 0.2%–0.6% ($P<0.05$). Fish fed with 0.2%–0.6% choline chloride diets had a higher concentration of serum cholesterol and triglyceride than control group ($P<0.05$). However, when grass carp fed on diets supplemented with 0.4%–0.6% choline chloride, muscle lipid content, triglyceride and cholesterol content of hepatopancreas were lower than those fed on control diet ($P<0.05$). In the respect of lipid metabolism enzymes, intestine lipase activity increased significantly in the groups fed on diets adding 0.2%–0.6% choline chloride ($P<0.05$). Lipoprotein lipase activity of hepatopancreas significantly increased in the groups fed on diets adding 0.6% choline chloride ($P<0.05$). Adding 0.4%–0.6% choline chloride also increased the hepatic lipase and total lipase activities of hepatopancreas significantly ($P<0.05$). Results above showed that the supplemental choline chloride could improve growth performance, decrease crude fat content of muscle, hepatopancreas and whole body, promote lipid degradation and increase lipid metabolism enzymes activities. The proper level of choline chloride in practical grass carp feed was suggested to be 0.4%–0.6%. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17 (3): 527–535]

Key words: *Ctenopharyngodon idella*; choline chloride; growth performance; lipid deposition; lipid metabolism enzyme

Corresponding author: LENG Xiangjun. E-mail: xjleng@shou.edu.cn