

草鱼幼鱼肌醇营养需要量的研究

文华¹, 赵智勇², 蒋明¹, 刘安龙², 吴凡¹, 刘伟¹

(1. 中国水产科学研究院 淡水生态与健康养殖重点开放实验室, 长江水产研究所, 湖北 荆州 434000; 2. 华中农业大学 水产学院, 湖北 武汉 430070)

摘要:以酪蛋白、明胶和鱼粉为蛋白源, 配制含肌醇水平分别为 0、50 mg/kg、100 mg/kg、200 mg/kg、400 mg/kg、800 mg/kg、1 600 mg/kg 的 7 组实验饲料。每组设 3 个重复, 连续投喂体质量 (4.78 ± 0.18) g 的草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 幼鱼 9 周, 通过测定生长指标、部分血清生化指标和全鱼营养成分来评价饲料肌醇添加水平对草鱼幼鱼的影响。结果表明, 饲料中肌醇添加水平 ≥ 200 mg/kg 使草鱼幼鱼增重率 (WGR)、特定生长率、血清中总胆固醇 (TC) 和低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 含量与对照组相比有显著提高 ($P < 0.05$), 而血清甘油三酯 (TG) 含量比对照组有显著降低 ($P < 0.05$); 200 mg/kg 和 400 mg/kg 肌醇添加组草鱼幼鱼饲料系数 (FCR) 比对照组有显著降低 ($P < 0.05$); 饲料中添加肌醇对草鱼幼鱼存活率、血清中高密度脂蛋白胆固醇和全鱼营养成分无显著影响 ($P > 0.05$)。对 WGR、FCR、TC、TG 和 LDL-C 进行折线回归分析得出饲料中肌醇添加水平为 166~214 mg/kg 对草鱼幼鱼的生长比较适宜。[中国水产科学, 2007, 14 (5): 794-800]

关键词: 草鱼; 肌醇; 生长; 血清

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2007)05-0794-07

肌醇 (Myo-inositol) 为饱和环状多元醇, 是生物体内不可缺少的成分。在水产动物营养方面, 肌醇通常作为维生素添加在饲料中, 可提高饲料效率, 加快鱼类的生长, 促进肝脏和其他组织中脂肪的代谢。国内外已有许多报道指出肌醇对于鱼类具有非常重要的作用, 缺乏肌醇会引起多种症状, 如虹鳟 (*Salmo gairdneri*) 缺乏肌醇会引起厌食和消化作用减缓, 肝内甘油三酯增加、总磷脂质量下降^[1]; 鲤 (*Cyprinus carpio*) 缺乏肌醇会引起皮肤病变和生长缓慢^[2]; 缺乏肌醇的真鲷 (*Pagrosomus major*) 生长较差, 体内胆碱脂酶活性降低, 淀粉消化减缓^[3]; 日本鳗鲡 (*Anguilla japonicus*) 缺乏肌醇出现灰白色肠、食欲低下和成长停滞等^[4]; 另外, 肌醇对日本鸚鵡鱼 (*Oplegnathus fasciatus*)^[5]、黑鲷 (*Sparus macrocephalus*)^[6]、鲈 (*Lateolabrax japonicus*)^[7] 和牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*)^[8] 等的生长都具有显著的促进作用。

草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 属鲤形目鲤科雅罗鱼亚科草鱼属的惟一种, 是中国淡水养殖的四大家鱼之一。目前国内外对草鱼幼鱼的蛋白质、脂肪、氨基酸、矿物质和碳水化合物等营养需要量都进

行了研究, 但关于草鱼幼鱼维生素营养需要量的研究只有维生素 C、E 和胆碱等少数几种^[9-12], 而关于肌醇的研究尚未见报道。为了了解肌醇在草鱼幼鱼生长和生理过程中的作用, 本实验通过肌醇梯度添加量实验研究其对草鱼幼鱼生长的影响, 旨在确定草鱼幼鱼对肌醇的适宜需要量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

本实验以酪蛋白、明胶和鱼粉为蛋白源, 糊精为糖源, 玉米油和豆油为脂肪源的半纯化饲料为实验饲料, 肌醇分别按照 0、50 mg/kg、100 mg/kg、200 mg/kg、400 mg/kg、800 mg/kg 和 1 600 mg/kg 饲料 7 个水平添加。以微晶纤维素为填充剂, 先配制等量相应设计添加肌醇水平的预混料, 再添加饲料原料使各实验组饲料其他营养水平保持一致, 然后进行混合和粉碎, 使其能全部通过 0.250 mm 的分析筛, 用绞肉机制成 $\phi 2.0$ mm 的软颗粒饲料, 常温下风干置于 -4 °C 冰箱保存备用, 基础饲料组成见表 1。用高效液相色谱法^[13]测定预混料中肌醇含量, 换算为饲料中实际

收稿日期: 2006-06-12; 修订日期: 2006-11-21.

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目 (2004BA526B0604); 科技部科研院所技术开发研究专项资金项目 (2003EG134172).

作者简介: 文华 (1965-), 男, 副研究员, 主要从事水产动物营养与饲料研究. E-mail: wenhua.hb@163.com

添加水平分别为 0、48 mg/kg、96 mg/kg、192 mg/kg、384 mg/kg、768 mg/kg 和 1 536 mg/kg 饲料。

1.2 实验鱼及饲养管理

草鱼幼鱼由长江水产研究所鱼类育种实验场繁育的当年草鱼鱼种,实验鱼购回后进行鱼体消毒和调节水温,再放入暂养池中用不含肌醇的基础饲料驯养 4 周,让其适应实验条件和尽量减少各组织的肌醇含量,再进行饲养实验。实验鱼初始体质量为 (4.78 ± 0.18) g,体长为 (7.32 ± 0.54) cm。实验分为 7 组,分别饲喂 7 种饲料,每组 3 个重复,每个重

复随机将 60 尾体格健壮的草鱼幼鱼分在 400 L 的玻璃钢水族箱中。采用流水饲养,水源为经过过滤净化的湖水,每组流量为 0.4~0.6 L/min。实验期间采用饱食量投饲方式,每天投饲 3 次,时间为 8:00~9:00、12:00~13:00 和 16:00~17:00,日投食量为鱼体质量的 1%~3%,每次投料前观察鱼的残饵情况,适时调节饲料投喂量,饲养时间为 9 周。饲养期间的水质条件分别为水温 (26.9 ± 3) °C,溶解氧 7.8 mg (O₂) /L 以上,pH 约为 7.0,NH₄⁺-N 和 NO₂⁻-N 分别不高于 0.5 mg/L 和 0.029 mg/L。

表 1 基础饲料组成及营养水平

Tab.1 Composition and nutrient level in basal diets

原料 Ingredients	百分比 /% Percentage	营养成分 Nutrients	含量 /% Percentage
白鱼粉 White fish meal	25.0	水分 Moisture	10.73
酪蛋白 Casein	20.0	粗蛋白 Crude protein	37.60
白糊精 White dextrine	25.0	粗脂肪 Crude lipid	11.04
明胶 Glutin	7.0	粗灰分 Ash	8.42
玉米胚芽油 Maize germ oil	5.0		
大豆油 Soybean oil	5.0		
氯化胆碱 Choline chloride	1.0		
微晶纤维素 Micro-cellulose	5.0		
维生素预混料 Vitamin premix	1.75		
无机盐预混料 Mineral premix	5.0		
肌醇预混料 Myo-inositol premix	0.25		

注:维生素预混料每 kg 饲料含量:维生素 B₁ 10 mg;维生素 B₂ 20 mg;维生素 B₆ 10 mg;维生素 C 400 mg;泛酸钙 100 mg;烟酸 50 mg;叶酸 5 mg;维生素 B₁₂ 0.05 mg;生物素 1 mg;维生素 K₃ 5 mg;维生素 E 100 mg;维生素 A 4 500 IU;维生素 D₃ 1 00 IU。

无机盐预混料采用荻野珍吉配方^[14]。

Note: Vitamin premix (kg⁻¹ diet): thiamine 10 mg; riboflavin 20 mg; pyridoxine 10 mg; vitamin C 400 mg; Ca-pantothenate 100 mg; nicotinic acid 150 mg; folic acid 5 mg; cyanocobalamin 0.05 mg; biotin 1 mg; vitamin K₃ 5 mg; vitamin E 100 mg; vitamin A 4 500 IU; vitamin D₃ 1 000 IU.

Mineral premix refers to Literature^[14].

1.3 生长性能的测定

在实验开始即 0 d、第 21 天、第 35 天、第 49 天和第 63 天的前天空腹 24 h 后,对每个重复实验鱼进行称重,计算其增重率 (WGR) 和特定生长率 (SGR);每天投喂前后称量每个重复投喂饲料质量,实验结束后计算饲料系数 (FCR);记录各组的死亡情况,计算成活率 (SR)。

$$\text{成活率} / \% (\text{SR}) = N_f / N_i \times 100$$

$$\text{增重率} / \% (\text{WGR}) = (W_t - W_0) / W_0 \times 100$$

$$\text{特定生长率} / \% (\text{SGR}) = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times$$

100

$$\text{饲料系数} (\text{FCR}) = W_f / (TW_t - TW_0)$$

式中, N_f 为终末尾数, N_i 为初始尾数, W_t 为实验第 t 天时体质量 (g), t 为饲养天数, W_0 为初始体质量 (g), W_f 为饲料投喂总量 (g), TW_t 为实验第 t 天时鱼

体总质量 (g), TW_0 为实验初始时鱼体总质量 (g)。

1.4 全鱼生化成分的测定

实验结束后从每个实验箱中取 5 尾草鱼幼鱼进行全鱼生化成分分析,全鱼水分按食品中水分的测定方法 (GB/T 5009.3—2003) 直接干燥法测定;粗蛋白按食品中蛋白质的测定方法 (GB/T 5009.5—2003) 凯氏定氮法测定;粗脂肪按食品中脂肪的测定方法 (GB/T 5009.6—2003) 索氏抽提法测定;粗灰分按食品中灰分的测定方法 (GB/T 5009.4—2003) 灼烧称重法测定^[15]。

1.5 血清中部分生化指标的测定

草鱼幼鱼养殖到第 56 天,停食 24 h,从每个实验箱取 6~8 尾鱼断尾取血,在 4 °C 条件下放置 30 min,再 2 000 r/min 离心 15 min,取上清液血清,然后用 OLYMPUS AU600 型全自动生化分析仪分

析血清中总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇和高密度脂蛋白胆固醇含量。

1.6 数据处理

采用 STATISTICA 6.0 统计软件中 one-way ANOVA 方差分析和 Duncan 氏均值多重比较对实验数据进行分析处理, $P < 0.05$ 即认为有显著性差异, 所有的数据结果均以样本平均值 $\pm$ 标准偏差 ($\bar{X} \pm SD$) 表示。

2 结果与分析

2.1 添加肌醇对草鱼幼鱼生长性能的影响

经过 9 周养殖实验, 各实验组草鱼幼鱼增重率、

特定生长率、饲料系数和存活率见表 2。随着饲料中肌醇添加水平的增加, 各组实验鱼的增重率和特定生长率有增加的趋势, 当肌醇添加水平 ≥ 200 mg/kg 时, 草鱼幼鱼的增重率和特定生长率比未添加肌醇的对照组有显著提高 ($P < 0.05$)。肌醇添加水平 200 mg/kg 和 400 mg/kg 饲料的实验组草鱼幼鱼饲料系数比 0、50 mg/kg、800 mg/kg 和 1 600 mg/kg 饲料组显著降低 ($P < 0.05$)。添加肌醇对草鱼幼鱼存活率的影响不显著 ($P > 0.05$), 但随着肌醇添加水平的增加有上升的趋势, 到 800 mg/kg 和 1 600 mg/kg 添加组成活率又出现下降。

表 2 饲料肌醇添加水平对草鱼幼鱼生长性能的影响

Tab.2 Effect of dietary myo-inositol level on growth of *C. idella* fingerling

$n = 3; \bar{X} \pm SD$

肌醇水平 / (mg·kg ⁻¹) Myo-inositol level	初体质量 / g Initial body weight	末体质量 / g Final body weight	增重率 / % WGR	特定生长率 / % SGR	饲料系数 FCR	存活率 / % SR
0	4.92 $\pm$ 0.12 ^{ab}	18.39 $\pm$ 0.28 ^b	273.19 $\pm$ 4.63 ^c	2.19 $\pm$ 0.02 ^c	1.29 $\pm$ 0.02 ^{ab}	89.70 $\pm$ 9.76
50	4.71 $\pm$ 0.11 ^{ab}	18.76 $\pm$ 1.09 ^b	298.74 $\pm$ 21.21 ^{cd}	2.30 $\pm$ 0.09 ^{bc}	1.32 $\pm$ 0.08 ^a	89.13 $\pm$ 7.77
100	4.98 $\pm$ 0.18 ^a	19.56 $\pm$ 1.19 ^{ab}	293.45 $\pm$ 30.6 ^{cd}	2.28 $\pm$ 0.13 ^{bc}	1.17 $\pm$ 0.06 ^{ab}	91.23 $\pm$ 8.23
200	4.74 $\pm$ 0.14 ^{ab}	21.00 $\pm$ 0.47 ^a	343.25 $\pm$ 7.99 ^a	2.48 $\pm$ 0.03 ^a	1.15 $\pm$ 0.04 ^b	92.93 $\pm$ 3.10 ^a
400	4.83 $\pm$ 0.31 ^{ab}	20.49 $\pm$ 0.74 ^a	324.85 $\pm$ 23.94 ^{ab}	2.41 $\pm$ 0.09 ^{ab}	1.07 $\pm$ 0.03 ^b	95.73 $\pm$ 4.09
800	4.61 $\pm$ 0.18 ^b	19.74 $\pm$ 0.44 ^{ab}	328.98 $\pm$ 16.82 ^{ab}	2.43 $\pm$ 0.07 ^{ab}	1.39 $\pm$ 0.16 ^a	91.76 $\pm$ 4.59
1 600	4.67 $\pm$ 0.01 ^{ab}	19.38 $\pm$ 1.08 ^{ab}	314.85 $\pm$ 22.35 ^{ab}	2.37 $\pm$ 0.09 ^{ab}	1.33 $\pm$ 0.07 ^a	85.97 $\pm$ 5.82

注: 同列肩标字母完全不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

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

由图 1 可以看出, 随着饲喂时间的加长, 鱼体质量增加, 前 3 周以 800 mg/kg 肌醇添加组尤为突出, 其增重率显著高于肌醇添加水平 ≤ 400 mg/kg 的实验组, 到第 5 周, 800 mg/kg 和 1 600 mg/kg 肌醇添加组鱼体质量增加明显, 增重率显著高于肌醇添加

水平 ≤ 100 mg/kg 的实验组 ($P < 0.05$)。7 周后, 肌醇添加水平 200 mg/kg 和 400 mg/kg 的实验组增长比较明显, 到第 9 周, 增重率显著高于未添加肌醇的对照组 ($P < 0.05$)。

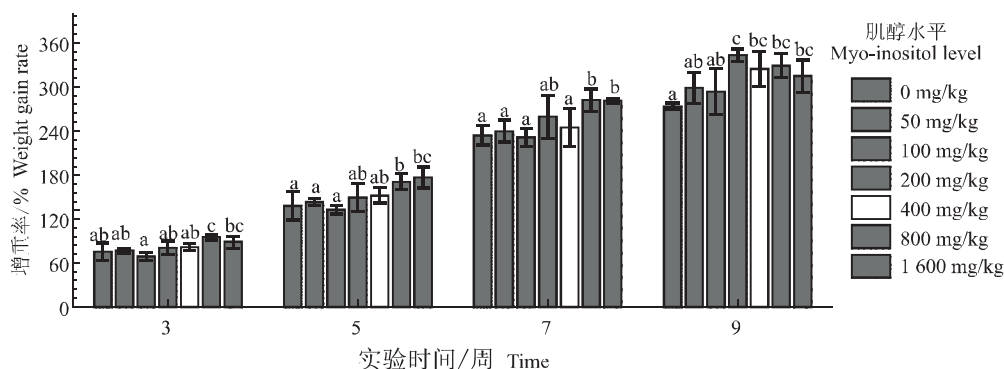


图 1 不同肌醇添加组草鱼幼鱼的增重率随时间变化情况

注: 图中同一时间标有不同字母的柱之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

Fig.1 Changes of weight gain rate of *C. idella* fingerling at dietary myo-inositol levels with testing time

Note: Columns with different letters were significantly different at the same time ($P < 0.05$).

2.2 添加肌醇对草鱼幼鱼血清生化指标的影响

如表3所示,当肌醇添加水平 ≥ 200 mg/kg饲料时,草鱼幼鱼血清中总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇含量比未添加肌醇的对照组有显著增加($P <$

0.05),但添加肌醇 ≥ 200 mg/kg使草鱼幼鱼血清中甘油三酯含量比对照组有显著降低($P < 0.05$)。添加肌醇对草鱼幼鱼血清中高密度脂蛋白胆固醇含量无显著影响($P > 0.05$)。

表3 饲料肌醇添加水平对草鱼幼鱼血清中总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)的影响

Tab.3 Effects of dietary myo-inositol level on total cholesterol (TC), triacylglycerol (TG), high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) and low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) in serum of *C. idella* fingerling

$n=3; \bar{X} \pm SD$				
肌醇水平 /(mg·kg ⁻¹) Myo-inositol level	总胆固醇 /(mmol·L ⁻¹) TC	甘油三酯 /(mmol·L ⁻¹) TG	高密度脂蛋白胆固醇 /(mmol·L ⁻¹) HDL-C	低密度脂蛋白胆固醇 /(mmol·L ⁻¹) LDL-C
0	5.05 ± 0.15 ^a	5.88 ± 0.32 ^a	1.00 ± 0.12	0.94 ± 0.12 ^a
50	5.40 ± 0.35 ^{abc}	6.12 ± 1.07 ^a	0.92 ± 0.20	0.94 ± 0.14 ^a
100	5.29 ± 0.36 ^{ab}	5.47 ± 0.47 ^{ab}	0.96 ± 0.06	0.98 ± 0.06 ^{ab}
200	5.83 ± 0.20 ^c	4.41 ± 0.63 ^b	1.06 ± 0.04	1.21 ± 0.08 ^c
400	5.89 ± 0.29 ^c	4.90 ± 0.35 ^b	1.05 ± 0.07	1.23 ± 0.07 ^c
800	5.55 ± 0.25 ^{bc}	4.82 ± 0.72 ^b	0.94 ± 0.08	1.12 ± 0.10 ^{bc}
1 600	5.62 ± 0.22 ^{bc}	4.78 ± 0.80 ^b	0.94 ± 0.03	1.18 ± 0.05 ^c

注:同列肩标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

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

2.3 添加肌醇对草鱼幼鱼全鱼生化成分的影响

从表4看出所有实验组草鱼幼鱼全鱼水分、粗蛋白、灰分和粗脂肪含量无显著差异($P > 0.05$),其

中水分含量以200 mg/kg添加水平最低,以对照组最高,蛋白含量以200 mg/kg添加水平最高,以对照组最低。

表4 饲料肌醇添加水平对草鱼幼鱼全鱼生化成分的影响

Tab.4 Effects of dietary myo-inositol level on the whole fish biochemical composition of *C. idella* fingerling

$n=3; \bar{X} \pm SD$				
肌醇水平/(mg·kg ⁻¹) Myo-inositol level	水分/% Moisture	粗蛋白/% Crude protein	灰分/% Ash	粗脂肪/% Crude lipid
0	72.48 ± 0.30	14.62 ± 0.17	3.21 ± 0.12	7.55 ± 0.74
50	72.89 ± 0.66	14.72 ± 0.27	3.28 ± 0.13	7.64 ± 0.22
100	72.74 ± 0.47	14.66 ± 0.48	3.16 ± 0.14	7.53 ± 0.43
200	71.74 ± 1.49	15.32 ± 0.75	3.25 ± 0.10	7.90 ± 1.14
400	72.21 ± 0.84	14.94 ± 0.25	3.19 ± 0.11	7.65 ± 0.61
800	72.03 ± 0.74	14.71 ± 0.10	3.27 ± 0.09	8.38 ± 0.58
1 600	72.32 ± 1.52	14.87 ± 0.44	3.26 ± 0.17	8.16 ± 0.65

注:同列肩标字母完全不同表示差异显著($P < 0.05$)。

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

2.4 回归分析

对结果中部分具有显著性差异的指标进行折线(Broken-line)回归分析。以草鱼幼鱼饲料中肌醇添加水平为自变量(X),草鱼幼鱼增重率(WGR)、饲

料系数(FCR)、血清中甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)分别为因变量(Y),用折线回归分析得出回归方程、回归关系相关系数(R^2)以及求得拐点肌醇添加水平见图2~6。

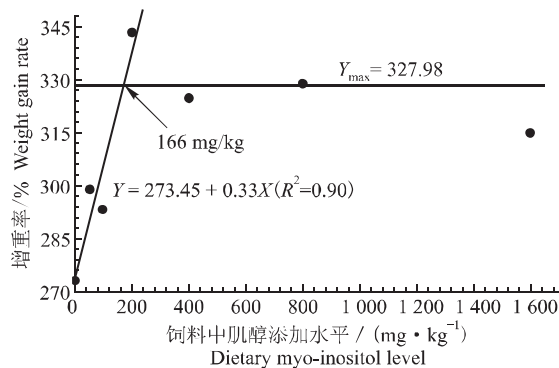


图2 肌醇添加水平对草鱼幼鱼增重率的影响

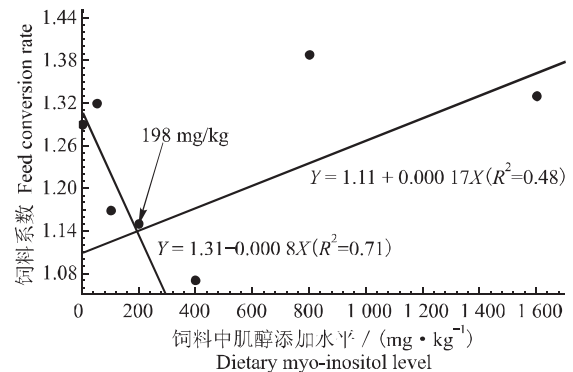
Fig.2 Effects of dietary myo-inositol level on relative weight gain rate of *C. idella* fingerling

图3 肌醇添加水平对草鱼幼鱼饲料系数的影响

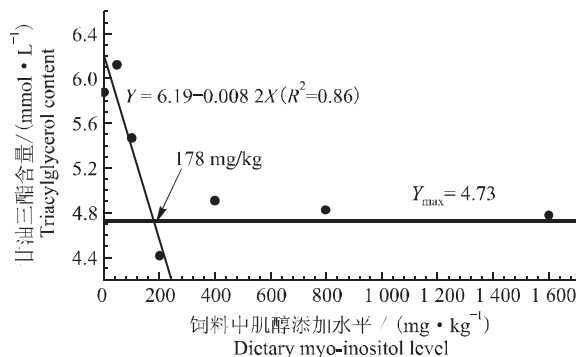
Fig.3 Effects of dietary myo-inositol level on relative feed conversion rate of *C. idella* fingerling

图4 肌醇添加水平对草鱼幼鱼血清甘油三酯的影响

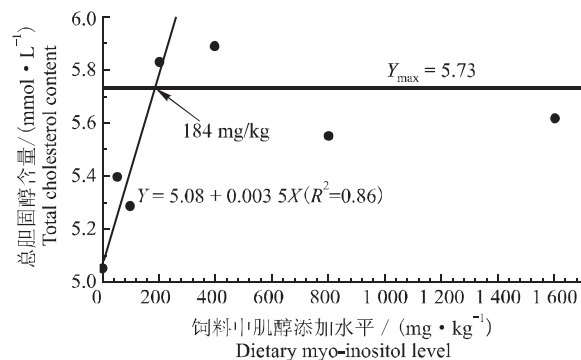
Fig.4 Effects of dietary myo-inositol level on relative triacylglycerol in serum of *C. idella* fingerling

图5 肌醇添加水平对草鱼幼鱼血清总胆固醇的影响

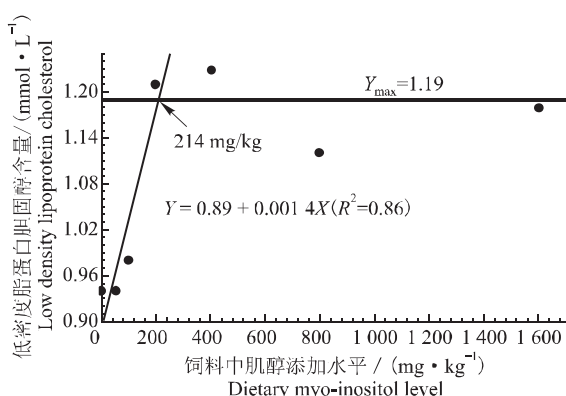
Fig.5 Effects of dietary myo-inositol level on relative total cholesterol in serum of *C. idella* fingerling

图6 肌醇添加水平对草鱼幼鱼血清低密度脂蛋白胆固醇的影响

Fig.6 Effects of dietary myo-inositol level on relative low density lipoprotein cholesterol in serum of *C. idella* fingerling

从图2~6可见,草鱼幼鱼获得最佳增重率、饲料系数和血清中甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇含量时,饲料中肌醇添加水平分别为166 mg/kg、198 mg/kg、178 mg/kg、184 mg/kg和214 mg/kg,因此可以初步确定本次实验中草鱼幼鱼饲料中肌醇的适宜添加水平为166~214 mg/kg。

3 讨论

有些鱼类自身能合成肌醇来满足生理上的需要。Burtle等^[16]报道斑点叉尾鲴(*Ictalurus punctatus*)肝脏和肠道都能合成肌醇,因此在饲料中不需要添加肌醇就能正常生长;Boonyaratpalin等^[17]也指出亚洲黑鲈(*Dicentrarchus labrax*)幼鱼没有因肌醇不足而引起任何缺乏症状;太阳鱼(*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)幼鱼^[18]自身能合成足够的肌醇来满足生长和组织的需要,而不需在它们的饲

料中添加肌醇。本实验结果中各组存活率无显著差异,对照组也未因缺乏肌醇而表现出明显的缺乏症状(如表皮破损或鳍腐烂等),表明草鱼幼鱼自身可能合成一定量的肌醇来满足生理上的需求。

多数鱼类需要在饲料中补充肌醇以维持正常生长,并且鱼类种类不同其需要量也各有差异,肌醇可以作为饲料添加剂促进鱼类生长。罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)幼鱼饲料中添加 400 mg/kg 肌醇时,其增重率和饲料利用率显著增高^[19];对鲈和牙鲆生长具有显著作用的肌醇适宜添加量分别为 500 mg/kg^[7]和 800~1 200 mg/kg 饲料^[8]; Waagbø 等^[20]报道大西洋鲑(*Salmo salar*)饲料中添加 300 mg/kg 肌醇使其生长速度明显加快;真鲷饲料中添加 550~900 mg/kg 肌醇其增重率也显著增高^[3]。本次实验结果中草鱼幼鱼的增重率和特定生长率随着饲料中肌醇添加水平的增加而增加,9 周后有较高增重率(即肌醇添加水平 ≥ 200 mg/kg 的实验组)的草鱼幼鱼体质量是初体质量的 4 倍多,显著高于未添加肌醇的对照组,其特定生长率也显著高于对照组,表明饲料中添加适量的肌醇对草鱼幼鱼的生长有促进作用。同时也可以看出草鱼幼鱼对肌醇的适宜需要量相对其他几种鱼类要少一些,这可能是由于各种鱼类食性的差异而引起的。杂食性或肉食性鱼类摄取的食物中脂肪含量相对较高,对于脂肪代谢所必需的肌醇的需要量也会较高,因此在长期的进化中适应了较高肌醇才能满足其快速生长的需要;而作为草食性鱼类的草鱼,其摄取食物多为草类,其脂肪含量较低,因此草鱼快速生长的肌醇需要量就比杂食性或肉食性鱼类少。

从结果中看到饲料中添加适量的肌醇,草鱼幼鱼对饲料的利用率较高,饲料系数显著低于对照组,可能适量的肌醇促进了草鱼幼鱼对饲料中脂肪的利用,从而增加饲料的利用价值;而肌醇 800 mg/kg 和 1 600 mg/kg 的添加组,在实验后期其生长速度减缓,并出现了一定量的死亡,虽然没有显著差异,但过量的肌醇也可能使草鱼幼鱼的身体机能产生了一些不良反应,阻碍其对饲料营养的摄取,从而使饲料转化率偏高。另外,本次实验中添加肌醇对草鱼幼鱼全鱼营养成分无显著影响,这与大西洋鲑^[20]的研究结果相类似,但也有可能是因为本次实验周期较短而这些差异尚未表现出来。

肠道吸收的外源性食物脂类、肝脏合成的内源性脂类及脂肪组织储存、脂肪的动用都须先经血液

再到其他组织,而鱼类脂肪的运输,主要借助于血清,因此血脂水平可以反映全身脂类代谢状态^[12],同时肌醇作为动物细胞内磷脂的构成成分,在脂肪代谢中能起到促进肝脏脂肪分解的重要作用^[19]。由于肌醇能促进脂肪的代谢,必能促进鱼类对饲料中脂肪的利用,提高饲料效率^[6],因此本次实验中肌醇在促进草鱼幼鱼饲料和体内脂肪代谢、提高饲料效率、加快草鱼幼鱼生长的同时,会反映到与脂类代谢密切联系的血脂水平上。本次结果中添加适量的肌醇使草鱼幼鱼血清中总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇水平显著增高,可能肌醇促进了草鱼幼鱼肝脏中脂肪的分解,产生饱和脂肪酸,而饱和脂肪酸被认为可升高胆固醇^[21],从而使肝脏胆固醇水平增加。而低密度脂蛋白胆固醇主要功能是转运体内的胆固醇,将肝脏内的胆固醇经血液转运到各个组织进行利用,因此肝脏胆固醇水平的增加可能促使低密度脂蛋白胆固醇加快对肝脏胆固醇的转运,从而使血清中总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇水平同时升高。适量的肌醇使草鱼血清中甘油三酯水平显著降低,其原因可能是肌醇促进草鱼幼鱼体内脂肪的分解,产生较多的 n-3 脂肪酸,它们阻碍甘油三酯渗入到肝的极低密度脂蛋白颗粒中^[21],这导致分泌到血循环中的甘油三酯减少,从而降低了血清中甘油三酯的含量;另外从人类心血管疾病的发生率来看,血清甘油三酯的降低有可能避免心血管疾病^[22]。

参考文献:

- [1] Kitamura S, Suwa T, Ohara S, et al. Studies on vitamin requirements of rainbow trout [J]. Soc Sci Fish, 1967, 33: 1 120 - 1 125.
- [2] Aoe H, Masuda I. Water-soluble vitamin requirements of carp: II. Requirements for p-aminobenzoic acid and inositol [J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1967, 33: 674 - 680.
- [3] Yone Y, Furuichi M, Shitanda K. Vitamin requirements of the red sea bream: 1. Relationship between inositol requirements and glucose levels in diet [J]. Soc Sci Fish, 1971, 37: 149 - 155.
- [4] Arai S, Nose T, Hashimoto Y. Qualitative requirements of young eels, *Anguilla japonica*, for watersoluble vitamins and their deficiency symptoms [J]. Freshw Res Lab, 1972, 22: 69 - 83.
- [5] Ikeda S, Ishibashi Y, Murata O, et al. Qualitative requirements of the Japanese parrot fish for water-soluble vitamins [J]. Soc Sci Fish, 1988, 54: 2 029 - 2 035.
- [6] 陈四清, 季文娟, 吕用琦, 等. 肌醇对黑鲷幼鱼营养作用研究 [J]. 海洋科学, 1999, 5: 13 - 15.

- [7] 仲维仁,张淑华. 鲈鱼不同生长阶段对维生素需求的研究[J]. 浙江海洋学院学报, 2001, 9 (20): 98-102.
- [8] 李爱杰,张道波,魏万权,等. 牙鲈鱼种营养需要的研究[J]. 浙江海洋学院学报, 2001, 20: 6-10.
- [9] 胡志洲,黄忠志,廖朝兴. 草鱼早期生长阶段对维生素C的需要[J]. 淡水渔业, 1988, 2: 12-14.
- [10] Takeuchi T, Watanabe K, Satoh S, et al. Requirement of grass carp fingerling for α -tocopherol [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58 (9): 1743-1749.
- [11] 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): 133-139.
- [12] 黄世蕉,沈弘. 维生素B₆对草鱼脂肪代谢的影响[J]. 水生生物学报, 1992, 16 (4): 313-321.
- [13] 陈秋虹,莫建光,黄岛平. 高效液相色谱法测定预混饲料中肌醇的含量[J]. 理化检验化学分册, 2003, 39 (9): 551-552.
- [14] 荻野珍吉. 鱼类的营养与饲料[M]. 台北: 养鱼世界杂志出版社, 1980: 275.
- [15] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准食品卫生检验方法理化部分(一)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 27-46.
- [16] Burtle G J, Lovell R T. Lack of response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to dietary myo-inositol [J]. Aqu Sci, 1989, 46: 218-222.
- [17] Boonyaratpalin M, Wanakowat J. Effects of thiamin, riboflavin, pantothenic acid and inositol on growth, feed efficiency and mortality of juvenile sea bass. In: Kaushik S J, Luquet P. Fish Nutrition in Practice [J]. Les Colloques, 1993, 61: 819-828.
- [18] Deng D F, Hemre H I, Wilson R P. Juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* ♀ × *Morone saxatilis* ♂) do not require dietary myo-inositol [J]. Aquaculture, 2002, 213: 387-393.
- [19] Shiau S Y, Su S L. Juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) requires dietary myo-inositol for maximal growth [J]. Aquaculture, 2005, 243: 273-277.
- [20] Waagbø R, Sandnes K, Lie Ø. Effects of inositol supplementation on growth, chemical composition and blood chemistry in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fry [J]. Aquacult Nutr, 1998, 4: 53-59.
- [21] 闻芝梅, 陈君石. 现代营养学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1998: 45-53.
- [22] 王抒, 李健斋, 李红霞. 血清甘油三酯与高密度脂蛋白胆固醇合适水平与危险水平的划分[J]. 中国动脉硬化杂志, 2002, 10 (6): 513-516.

Dietary myo-inositol requirement for grass carp, *Ctenopharyngodon idella* fingerling

WEN Hua¹, ZHAO Zhi-yong², JIANG Ming¹, LIU An-long², WU Fan¹, LIU Wei¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Ecology and Aquaculture, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou 434000, China; 2. College of Aquaculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: An 9-week growth experiment was conducted to estimate the requirement of myo-inositol (MI) for grass carp, *Ctenopharyngodon idella* fingerling. Half-purified basal diets were formulated using the fish meal, gluten and casein as the protein source. MI was supplemented at 0, 50, 100, 200, 400, 800, and 1 600 mg/kg diet in the basal diet. Each diet was fed to triplicate groups of grass carp with initial average body weight (4.78 ± 0.18) g. Grass carp fingerling fed diets supplemented with ≥ 200 mg MI/kg had significantly higher weight gain, specific growth rate, total cholesterol and low density lipoprotein cholesterol in serum than the control group fed diet without MI supplement ($P < 0.05$). In contrast, the test groups had significantly lower triacylglycerol in serum than the control group ($P < 0.05$). Also grass carp fingerling fed diets with 200 mg (MI)/kg and 400 mg (MI)/kg had significantly lower feed conversion rate than the control group ($P < 0.05$). Supplementation of dietary MI had no effect on survival, high density lipoprotein cholesterol in serum and the whole fish biochemical composition of grass carp fingerling ($P > 0.05$). Weight gain rate, feed conversion rate, total cholesterol, triacylglycerol and low density lipoprotein cholesterol of grass carp analyzed by broken-line regression indicated that the suitable requirement for dietary MI of growing grass carp was approximately 166-214 mg/kg diet. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14 (5): 794-800]

Key words: *Ctenopharyngodon idella*; myo-inositol; growth; serum