

文章编号: 1674-5566(2013)06-0868-08

肌醇对团头鲂幼鱼生长、血清生化及组织成分含量的影响

崔红红^{1,2}, 刘波^{1,2}, 戈贤平^{1,2}, 谢骏^{1,2}, 廖英杰^{1,2}, 任鸣春¹, 陈汝丽²

(1. 南京农业大学 无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081; 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: 试验以初均重为(3.40±0.07)g的团头鲂幼鱼为研究对象, 分别配置含肌醇水平为0 mg/kg、100 mg/kg、200 mg/kg、400 mg/kg、800 mg/kg、1 600 mg/kg的6组等氮等能饲料, 每组3个重复, 连续投喂90 d后通过测定其生长指标、部分血清生化指标及肝脏和肌肉中的脂肪含量来评价饲料中的肌醇水平对团头鲂幼鱼的影响。结果表明: (1)与对照组相比, 400 mg/kg肌醇添加组的末均重(FAW)、增重率(WGR)和特定增长率(SGR)显著增大($P < 0.05$); 而饵料系数(FCR)却显著性降低($P < 0.05$); 存活率, 肝体比(HSI)、脏体比(VR)及肥满度(CF)差异不显著($P > 0.05$); (2)800 mg/kg试验组的血清葡萄糖、胆固醇和低密度脂蛋白显著升高($P < 0.05$); 甘油三酯水平显著降低($P < 0.05$); 高密度脂蛋白无显著性差异($P > 0.05$); (3)400、800 mg/kg试验组的肝脏和肌肉脂肪含量显著低于对照组($P < 0.05$); 而肌肉粗蛋白含量显著升高($P < 0.05$); 肌肉中的水分、粗灰分无显著性差异($P > 0.05$)。以鱼体特定增长率和饵料系数为评价指标, 经折线模型回归分析得到团头鲂幼鱼饲料中肌醇的适宜添加量分别为294.4 mg/kg和284.9 mg/kg。

研究亮点: 肌醇能促进各组织中脂肪的分解, 防止脂肪肝的发生。团头鲂为我国主要淡水养殖品种之一, 经济价值高。迄今未见关于肌醇对团头鲂生长的研究。本试验采用单因子试验法, 探讨肌醇对团头鲂幼鱼的影响, 以期为研制适合团头鲂幼鱼的安全环保饲料添加剂提供参考依据。
关键词: 肌醇; 团头鲂; 生长; 血清生化; 脂肪

中图分类号: S 963.1

文献标志码: A

肌醇(Myoinositol)即环己六醇, 是饱和的环状多元醇, 属于维生素B族类的物质^[1], 具有与维生素B和维生素H相类似的作用。肌醇广泛存在于植物和动物中, 并以磷脂酰肌醇的形式作为细胞膜的一部分^[2]。在水产动物营养中, 肌醇常作为营养型的添加剂添加在饲料中, 可以提高饲料的效率, 促进肝脏和其他组织中脂肪的代谢, 进而加快鱼类的生长^[3]。国内外对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[4-5]、鲤(*Cyprinus carpio*)^[6]、鲑鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)^[7]和真鲷(*pagrosomus major*)^[8]等的适宜肌醇需求量有所研究, 并发现肌醇对其具有非常重要的作用。当肌醇摄入不足时, 会造成鱼类生长速度减

慢, 厌食, 鱼鳍腐烂, 皮肤黑暗, 胃排空缓慢, 胆碱酯酶以及某些转氨酶的活性下降^[9]。但有些研究结果也表明, 斑点叉尾鲌(*Ictalurus punctatus*)和太阳鱼(*Morone chrusops* × *M. saxatilis*)本身能够合成肌醇来满足自身的需要^[10]。

团头鲂(*Megalobrama amblycephala*), 草食性鱼类, 隶属于硬骨鱼纲(Osteichthyes), 鲤形目(Cypriniformes), 鲤科(Cyprinidae), 鲴亚科(Abramidinae), 鲴属(*Megalobrama*), 其味鲜美, 生长速度快, 抗病性高^[11-13], 具有很高的经济价值, 是中国淡水混养系统中主要的养殖种类^[14]。团头鲂原产于武汉市江夏区和鄂州市境内的梁子湖, 主要分布在长江中游地区^[15]。2011年, 团

收稿日期: 2013-06-18 修回日期: 2013-09-04

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费(201003020); 现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-46); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2012A0602)

作者简介: 崔红红(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产饲料与营养。E-mail: cui870416@163.com

通信作者: 戈贤平, E-mail: gexp@ffrc.cn

头鲂在中国的总产量达到将近 67 万吨左右,与 2010 年同比增长 3.94% [16]。目前为止,国内外对肌醇在团头鲂上的研究还未见报道,鉴于此,本试验采用单因子梯度法,确定团头鲂幼鱼对肌醇的需要量,为生产实践提供理论指导。

1 材料与方 法

1.1 试验饲料

本试验以酪蛋白和明胶为蛋白源,糊精和淀粉为糖源,豆油为脂肪源,配制了 6 组等氮等能饲料,肌醇(98%,吉林海资生物工程技术有限公司)的添加水平分别为每千克饲料 0、100、200、400、800、1 600 mg。采用江南大学食品学院维生素检测中心的高效液相色谱仪 Waters600 HPLC 测定饲料中肌醇实际含量分别为:0.5 mg/kg、101.2 mg/kg、202.3 mg/kg、404.8 mg/kg、809.1 mg/kg 和 1 616.4 mg/kg。基础饲料组成和主要营养成分见表 1(干物质基础)。饲料原料经过粉碎过 60 目孔径分筛,按表 1 配比混合均匀,少量的组分采用逐级扩大法混合。加 20% 的水揉匀,用 SLP-45 型颗粒机(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所)制成粒径 2.0 mm 的沉性颗粒饲料,50 °C 烘干后于 4 °C 冰箱中保存备用。

表 1 团头鲂幼鱼基础日粮与营养水平

Tab.1 Basal diet and nutrition levels of juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) %

原料	含量	营养成分	含量
酪蛋白(不含肌醇)	27.5	粗蛋白	32.12
明胶	6.5	总能(kJ/g) ³	16.74
粗脂肪	6.68	无氮浸出物 ⁴	37.91
磷酸二氢钙	2.75	赖氨酸	2.26
豆油	6	蛋氨酸	0.79
大豆磷脂	1		
氯化胆碱(50%)	0.15		
维生素预混料(不含肌醇) ¹	0.5		
矿物质预混料 ²	0.5		
糊精	10		
α-淀粉	25		
微晶纤维素	9.05		
羧甲基纤维素	11		
乙氧基喹啉	0.05		

注:1. 维生素预混料(IU 或 mg/kg 预混料):维生素 A,900 000 IU;维生素 D,250 000 IU;维生素 E,4 500 mg;维生素 C,5 000 mg;维生素 K₃,220 mg;维生素 B₁,320 mg;维生素 B₂,1 090 mg;维生素 B₆,5 000 mg;维生素 B₁₂,116 mg;生物素,50 mg;泛酸盐,1 000 mg;叶酸,165 mg;胆碱,60 000 mg;烟酸,2 500 mg;2. 矿物质添加剂(kg):CuSO₄·5H₂O,2.5 g;FeSO₄·7H₂O,28 g;ZnSO₄·7H₂O,22 g;MnSO₄·4H₂O,9 g;Na₂SeO₃,0.045 g;KI,0.026 g;CoCl₂·6H₂O,0.1 g;3. 总能(kJ/g)=23.64 粗蛋白+39.54 粗脂肪+17.15 无氮浸出物;4. 无氮浸出物(%)=100%-(粗蛋白+粗脂肪+粗纤维+粗灰分)%。

1.2 试验鱼及饲养管理

团头鲂幼鱼由中国水产科学研究院淡水渔业研究中心苗种基地提供。试验鱼放入可控温的循环流水圆形蓄养槽(规格为 φ820×700 mm)内,采用循环流水控温系统进行养殖。试验开始前,先用不含肌醇的基础饲料驯养 4 周后进行正式试验。试验选择健康的、重量、规格基本一致的团头鲂幼鱼,初始体重为(3.40±0.07)g 左右的团头鲂幼鱼随机分为 6 组,每组 3 个重复,每个重复 25 尾鱼。试验期间,每天投喂 4 次(8:00-8:30,11:00-11:30,14:00-14:30,17:00-17:30),达饱食水平,日投饵量为鱼体重 3%~4%,并根据摄食和生长情况作适当调整,每天收集残饵并烘干称重。养殖期间水温 27.5 °C 左右,pH 为 7.6~7.8,溶氧和氨氮分别大于 5 mg/L 和小于 0.01 mg/L。饲养 90 d 后称重、采样等。

1.3 样品采集及处理

试验结束后,禁食 24 h,每个缸随机选取 3 尾鱼,将鱼迅速捞起并立即投入浓度为 150 mg/L 的 MS-222 中做快速深度麻醉,尾静脉采血,每尾鱼的血液分成两份,一份放于抗凝管中制备全血,用于血细胞的测定;另一份血液于 4 °C 条件下 10 000 r/min 离心 5 min 制备血清,-20 °C 冻存储存备用。采完血后鱼体称重,量体长,并立即剖开腹部,剥离出内脏和肝胰脏并称重。

1.4 指标的测定方法

1.4.1 血液常规参数的测定

白细胞(WBC)、红细胞(RBC)、中性粒细胞(Neu)、血红蛋白(HGB)在迈瑞 BC-5300VEt 全自动五分类动物血液细胞分析仪上测定,试剂购自深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司。

1.4.2 血液生化指标的测定

血糖(Glu)、胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)在深圳迈瑞 BS-400 全自动生化分析仪上测定,试剂盒均购自深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司。

1.4.3 肝脏和肌肉中相关指标的测定

称取一定质量的肝脏和肌肉(W),先 65 °C 烘干 12 h,再 105 °C 烘干 4 h,然后称取烘干的样品 50 mg 左右(W₁),按照王少梅等^[17]的方法测定其脂肪的含量,烘干后称重(W₂)。肝脏、肌肉中的脂肪含量为

$$w(\%) = 100 \times (W_1 - W_2) / W \quad (1)$$

肌肉粗蛋白和粗灰分分别用凯氏定氮法和灼烧法(550 °C)进行测定。

1.4.4 饲料中肌醇含量的测定

饲料中肌醇含量的测定采用的是高效液相色谱法,即采用江南大学食品学院维生素检测中心的高效液相色谱仪 Waters600 HPLC。

1.5 相关指标的计算公式

相关指标的计算公式如下:

$$W_{GR} = 100 \times (W_t - W_0) / W_0 \quad (2)$$

$$S_{GR} = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t \quad (3)$$

$$F_{CR} = F_1 / (W_t - W_0) \quad (4)$$

$$S_R = 100 \times N_t / N_0 \quad (5)$$

$$H_{SI} = 100 \times W_h / W_b \quad (6)$$

$$V_{SI} = 100 \times W_v / W_b \quad (7)$$

$$C_F = 100 \times W_b / L^3 \quad (8)$$

式中: W_{GR} 为增重率; S_{GR} 为特定生长率; F_{CR} 为饵料系数; S_R 为成活率; H_{SI} 为肝体比; V_{SI} 为脏体比; C_F 为肥满度; W_0 为鱼初体均重; W_t 为鱼末体均

重; t 为饲喂天数; F_1 为每尾鱼平均摄食饲料总量(风干样重); N_t 为收获尾数; N_0 为放养尾数; W_h 为每尾鱼末肝脏重; W_v 为每尾鱼末内脏重; W_b 为每尾鱼末体重; L 为每尾鱼末体长。

1.6 数据统计与分析

数据用 SPSS 11.5 软件 Duncan's 多重比较检验各组间的差异, $P < 0.05$ 表示差异显著。所有的结果均以平均值 \pm 标准误($\bar{X} \pm SE$)表示。

2 结果与分析

2.1 日粮不同水平的肌醇对团头鲂幼鱼生长性能的影响

由表 2 可知,随着饲料中肌醇水平添加量的升高,末均重、增重率、特定增长率呈先升高后降低的趋势。与对照组相比,400 mg/kg 肌醇添加组显著增加了增重率和特定增长率($P < 0.05$),显著降低了饵料系数($P < 0.05$);各试验组间的存活率、肝体比、脏体比以及肥满度没有显著性的差异($P > 0.05$)。

表 2 日粮中添加不同水平的肌醇对团头鲂幼鱼生长性能的影响

Tab. 2 Effect of various inositol levels on growth performance of juvenile *M. amblycephala* (mean \pm SE, n = 3)

肌醇添加量/(mg/kg)	0	100	200	400	800	1 600
初均重/g	3.39 \pm 0.03	3.39 \pm 0.02	3.41 \pm 0.01	3.41 \pm 0.01	3.41 \pm 0.02	3.41 \pm 0.01
末均重/g	17.84 \pm 1.04 ^a	19.98 \pm 1.59 ^{ab}	20.09 \pm 1.14 ^{ab}	22.32 \pm 0.55 ^b	21.32 \pm 0.28 ^{ab}	20.71 \pm 0.80 ^{ab}
增重率/%	428.51 \pm 23.39 ^a	488.75 \pm 31.49 ^{ab}	489.03 \pm 34.83 ^{ab}	555.94 \pm 19.41 ^b	525.27 \pm 11.86 ^{ab}	506.91 \pm 23.10 ^{ab}
特定生长率/(%/d)	1.85 \pm 0.03 ^a	1.96 \pm 0.03 ^{ab}	1.97 \pm 0.01 ^{ab}	2.09 \pm 0.03 ^b	2.04 \pm 0.02 ^{ab}	2.00 \pm 0.02 ^{ab}
饵料系数	3.33 \pm 0.23 ^a	2.96 \pm 0.26 ^{ab}	2.89 \pm 0.19 ^{ab}	2.53 \pm 0.08 ^b	2.66 \pm 0.04 ^{ab}	2.77 \pm 0.13 ^{ab}
存活率/%	91.67 \pm 2.46	92.87 \pm 2.06	92.15 \pm 2.01	95.46 \pm 2.31	93.00 \pm 2.36	93.19 \pm 3.41
肝体比/%	1.59 \pm 0.09	1.64 \pm 0.15	1.43 \pm 0.04	1.79 \pm 0.12	1.64 \pm 0.13	1.41 \pm 0.15
脏体比/%	9.76 \pm 0.21	9.55 \pm 0.35	9.31 \pm 0.45	9.42 \pm 0.33	10.01 \pm 0.30	9.44 \pm 0.25
肥满度/%	1.94 \pm 0.06	2.00 \pm 0.04	2.00 \pm 0.04	1.97 \pm 0.04	1.97 \pm 0.09	2.01 \pm 0.04

注:同行无字母或肩标相同字母表示差异不显著($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

由图 1 和图 2 可知,经折线模型回归分析发现:团头鲂幼鱼特定增长率与日粮肌醇水平建立如下方程: $Y = 294.44 - 0.0006 \times (2.0433 - X)$, $R^2 = 0.8281$,由上述方程得出,当肌醇水平为 294.4 mg/kg 时,团头鲂幼鱼的特定增长率最大;团头鲂幼鱼饵料系数与日粮肌醇水平建立如下方程: $Y = 2.6533 - 0.0022 \times (X - 284.85)$, $R^2 = 0.8872$,当肌醇水平为 284.9 mg/kg 时,团头鲂幼鱼的饵料系数最小。

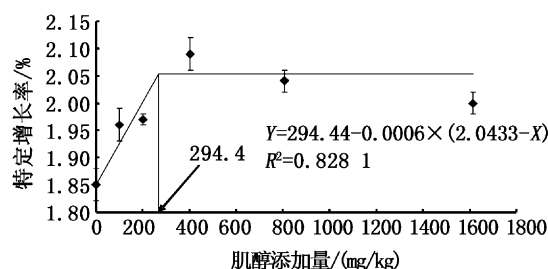


图 1 饲料中肌醇水平对团头鲂幼鱼特定增长率的影响
Fig. 1 Effect of various inositol levels on SGR of juvenile *M. amblycephala*

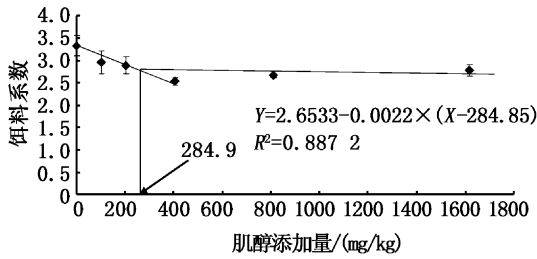


图2 饲料中肌醇水平对团头鲂幼鱼饵料系数的影响

Fig. 2 Effect of various inositol levels on FCR of juvenile *M. amblycephala*

表3 饲料中肌醇水平对团头鲂幼鱼血细胞的影响

Tab. 3 Effects of various inositol levels on blood cell of juvenile *M. amblycephala*

(mean ± SE, n = 9)

肌醇添加量/(mg/kg)	0	100	200	400	800	1 600
白细胞/(10^9 个/L)	169.98 ± 7.49	185.50 ± 5.34	183.98 ± 8.58	179.36 ± 8.24	186.51 ± 7.38	184.67 ± 12.57
中性粒细胞/%	19.59 ± 1.96	16.75 ± 1.40	17.85 ± 0.93	17.87 ± 1.03	20.29 ± 0.90	20.06 ± 2.13
红细胞/(10^{12} 个/L)	1.69 ± 0.07	1.56 ± 0.10	1.65 ± 0.09	1.67 ± 0.07	1.68 ± 0.10	1.57 ± 0.11
血红蛋白/(g/L)	83.00 ± 3.62	77.63 ± 4.14	81.56 ± 3.54	77.33 ± 3.77	83.44 ± 4.08	83.29 ± 5.15

注:同行无字母或肩标相同字母表示差异不显著($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3 日粮不同水平的肌醇对团头鲂幼鱼血清生化指标的影响

由表4可以看出,800 mg/kg肌醇添加组的葡萄糖水平显著高于100、400、1 600 mg/kg肌醇添加组和对照组($P < 0.05$);800 mg/kg肌醇添加组的胆固醇水平显著大于200、1 600 mg/kg肌醇

2.2 日粮不同水平的肌醇对团头鲂幼鱼血液常规参数的影响

由表3可以看出,随饲料中肌醇添加量的增加,中性粒细胞和血红蛋白含量呈先降低后升高的趋势。各试验组之间的白细胞,中性粒细胞,红细胞和血红蛋白含量无显著性差异($P > 0.05$)。

添加组和对照组($P < 0.05$);与对照组相比,100 mg/kg、200 mg/kg、400 mg/kg和800 mg/kg肌醇添加组的甘油三酯水平显著降低($P < 0.05$);相反,低密度脂蛋白胆固醇水平却显著升高($P < 0.05$);高密度脂蛋白胆固醇水平各组之间差异不显著($P > 0.05$)。

表4 饲料中肌醇水平对团头鲂幼鱼血清生化指标的影响

Tab. 4 Effects of various inositol levels in the diet on biochemical indexes of serum of juvenile *M. amblycephala*

(mean ± SE, n = 9)

肌醇添加量/(mg/kg)	0	100	200	400	800	1 600
胆固醇/(mmol/L)	3.81 ± 0.31 ^a	4.38 ± 0.17 ^{ab}	4.04 ± 0.26 ^a	4.31 ± 0.17 ^{ab}	4.99 ± 0.21 ^b	3.88 ± 0.30 ^a
甘油三酯/(mmol/L)	1.28 ± 0.08 ^b	1.10 ± 0.06 ^a	1.10 ± 0.05 ^a	1.08 ± 0.03 ^a	1.05 ± 0.05 ^a	1.14 ± 0.06 ^{ab}
低密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L)	0.91 ± 0.02 ^a	1.21 ± 0.08 ^b	1.24 ± 0.14 ^b	1.25 ± 0.05 ^b	1.44 ± 0.12 ^b	0.87 ± 0.05 ^a
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L)	3.22 ± 0.19	3.25 ± 0.09	3.09 ± 0.17	3.13 ± 0.09	3.56 ± 0.13	3.20 ± 0.24
葡萄糖/(mmol/L)	2.21 ± 0.19 ^a	2.53 ± 0.22 ^a	2.82 ± 0.29 ^{ab}	2.52 ± 0.23 ^a	3.23 ± 0.14 ^b	2.40 ± 0.19 ^a

注:同行无字母或肩标相同字母表示差异不显著($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.4 日粮不同水平的肌醇对团头鲂幼鱼肌肉和肝脏中脂肪含量的影响

由表5可以看出,随着饲料中肌醇含量的增加,肝脏中的脂肪含量呈降低的趋势。与对照组相比,100 mg/kg、200 mg/kg、400 mg/kg、800 mg/kg、1 600 mg/kg肌醇添加组显著降低了肝脏脂肪含量($P < 0.05$),其中800 mg/kg和1 600 mg/kg肌醇添加组的脂肪含量显著低于100 mg/kg肌醇

添加组($P < 0.05$);与对照组相比,400 mg/kg和800 mg/kg肌醇添加组显著降低了肌肉脂肪含量($P < 0.05$),其中400 mg/kg试验组肌肉中的脂肪含量显著低于100 mg/kg、200 mg/kg和1 600 mg/kg肌醇添加组($P < 0.05$);400 mg/kg和800 mg/kg肌醇添加组的肌肉粗蛋白含量显著高于对照组($P < 0.05$);肌肉粗灰分含量差异不显著($P > 0.05$)。

表5 饲料中肌醇水平对团头鲂幼鱼肌肉和肝脏中脂肪含量的影响

Tab. 5 Effects of various inositol levels on content of fat in liver and muscle of juvenile *M. amblycephal*(mean \pm SE, n=9)

肌醇添加量/(mg/kg)	0	100	200	400	800	1 600
肝脏脂肪含量/%	15.53 \pm 0.97 ^c	12.03 \pm 0.92 ^b	10.53 \pm 0.59 ^{ab}	9.78 \pm 0.46 ^{ab}	8.50 \pm 0.47 ^a	8.26 \pm 0.73 ^a
肌肉脂肪含量/%	0.92 \pm 0.05 ^c	0.84 \pm 0.03 ^c	0.81 \pm 0.00 ^{bc}	0.59 \pm 0.04 ^a	0.70 \pm 0.04 ^{ab}	0.79 \pm 0.05 ^{bc}
肌肉水分/%	76.70 \pm 0.23	76.67 \pm 0.32	76.38 \pm 0.46	76.52 \pm 0.35	76.63 \pm 0.32	76.44 \pm 0.17
肌肉粗蛋白含量/%	16.22 \pm 2.65 ^a	18.37 \pm 1.12 ^{ab}	18.89 \pm 1.15 ^{ab}	19.15 \pm 1.42 ^b	19.03 \pm 0.45 ^b	18.67 \pm 0.10 ^{ab}
肌肉粗灰分含量/%	1.51 \pm 0.09	1.37 \pm 0.03	1.49 \pm 0.02	1.36 \pm 0.02	1.37 \pm 0.10	1.31 \pm 0.05

注:同行无字母或肩标相同字母表示差异不显著($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 肌醇对团头鲂幼鱼生长性能的影响

本试验中的团头鲂幼鱼在试验过程中并没有表现出明显的症状,如体表出血、鳍条腐烂等,且各组之间的存活率无显著性的差异,表明团头鲂幼鱼自身能够合成一定量的肌醇来满足自身的生理需要。这与肌醇在斑点叉尾鲟、杂交条纹鲈、亚洲鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*) 以及鲍鱼 (*Haliotis discus hannai*) 上的研究结果相类似^[10,18-20],它们不需要在饲料中添加肌醇就能正常生长,这可能是由于鱼体本身或者鱼体肠道中的某些微生物能够合成肌醇来满足其自身生长^[10,18],从而减少鱼类对肌醇的依赖性。

肌醇可以作为饲料添加剂促进鱼类的生长,相关研究表明,在罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* \times *O. aureus*) 幼鱼、鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*)、牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*)、大西洋鲑 (*Salmo salar*) 及真鲷中分别添加 400 mg/kg、500 mg/kg、800 ~ 1 200 mg/kg、300 mg/kg 和 550 ~ 900 mg/kg 的肌醇,能够显著增加鱼体饲料利用,促进生长^[8,21-24]。这与 JIANG 等^[25]在幼建鲤 (*Cyprinus carpio* var. Jian) 中添加 535.8 mg/kg 肌醇能够显著提高其增重率的研究结果是一致的。本试验中,400 mg/kg 肌醇添加组的末均重、增重率和特定增长率显著高于对照组,饵料系数显著低于对照组;这可能是由于饲料中添加适量的肌醇能够促进团头鲂幼鱼对饲料中脂肪的利用,进而加强了饲料的利用价值,促进团头鲂幼鱼的生长。同时也可以看出,团头鲂幼鱼对肌醇的需要量较上述其他几种鱼类有所不同,这可能是由于鱼类食性的差异引起的。一般来说,肉食性或杂食性的鱼类摄取的食物中含有较高的脂肪,脂肪代谢所必需的肌醇量也会相对升高;而草食性的团头鲂

幼鱼摄取的草类中脂肪含量较低,因此,团头鲂幼鱼快速生长的肌醇需要量相对较少。本研究中,800 mg/kg 和 1 600 mg/kg 肌醇添加组的增重率和特定增长率都有一定程度的降低,饵料系数相应升高,但却无显著性的差异,可能是由于饲料中过多的肌醇影响了鱼类对其它营养物质的吸收,进而影响鱼类的生长,有待进一步研究。

3.2 肌醇对团头鲂幼鱼血清生化指标的影响

肌醇是动物细胞内磷脂的构成成分,在脂肪代谢过程中起到促进肝脏脂肪分解的重要作用^[21]。而肝脏合成的内源性脂类、肠道吸收的外源性脂类及脂肪组织的贮存、脂肪的动用都必须先运输到血液再到其他组织发挥作用^[26],因此血脂水平能够反映全身脂类的代谢状态。相关的研究表明,在草鱼和奥尼罗非鱼中分别添加 200 ~ 1 600 mg/kg 和 200 mg/kg 的肌醇,能促进血清中胆固醇及低密度脂蛋白的显著升高^[3,27]。本试验中,800 mg/kg 肌醇添加组的胆固醇水平显著大于 200 mg/kg、1 600 mg/kg 肌醇添加组和对照组,其原因可能是饲料中添加的肌醇能够促进团头鲂幼鱼肝脏中脂肪的分解,进而产生饱和脂肪酸,从而提高肝脏中胆固醇的水平,增加血液胆固醇水平^[28],通过本试验也发现了 800 mg/kg 和 1 600 mg/kg 试验组比对照组显著降低了肝脏的脂肪含量,也印证了这一结果。100 mg/kg、200 mg/kg、400 mg/kg 和 800 mg/kg 肌醇添加组与对照组相比,显著提高了低密度脂蛋白胆固醇浓度,胆固醇必须和脂蛋白结合才能运送到体内各部分,低密度脂蛋白胆固醇可以把肝脏中的胆固醇经血液运送到全身各细胞发挥作用,肝脏中胆固醇水平的升高促使低密度脂蛋白胆固醇水平的升高,因此,血清中的低密度脂蛋白胆固醇显著升高。有报道指出,饲料中添加适量的肌醇,能够促进团头鲂幼鱼体内脂肪的分解,产生

较多的饱和脂肪酸,脂肪酸是细胞膜磷脂的基底物质,不同种类的脂肪酸会影响甘油三酯合成极低密度脂蛋白过程中细胞膜的环境,可能影响着极低密度脂蛋白的合成和分泌^[29]。SHERIDAN^[30]也认为,大多数的鱼类与哺乳动物一样,肝脏中合成的内源性甘油三酯通过极低密度脂蛋白的形式向肝外组织运输。而本试验中,100 mg/kg、200 mg/kg、400 mg/kg 和 800 mg/kg 肌醇添加组的甘油三酯水平显著低于对照组,这也间接地证明了这一点。试验中 800 mg/kg 肌醇添加组的葡萄糖水平显著高于 100 mg/kg、400 mg/kg、1 600 mg/kg 试验组和对照组,可能是肌醇吸收后存在于鱼类的肝脏和血清中,并且与胆碱酯酶的活性有关,这有助于体内淀粉的消化,使葡萄糖水平升高,促进机体的新陈代谢^[8]。

3.3 肌醇对团头鲂幼鱼肝脏、肌肉中脂肪含量的影响

鱼类脂肪来源除了自身的代谢合成外,还能直接吸收饲料中的脂肪以及通过饲料中过量的蛋白质和糖类转化^[31-32]。肝脏作为脂肪的主要贮存部位^[33],在脂类的代谢过程中起着非常重要的调节作用。当脂肪在肝脏中蓄积过多却不能及时转运出去时,就容易引起肝脏代谢紊乱^[34],诱发脂肪肝。肌醇参与某些脂类的代谢,促进肝脏和其它组织中脂肪的新陈代谢,防止脂肪在肝脏中沉积^[35-36]。PERES 的研究结果表明,在尼罗罗非鱼幼鱼中添加适量的肌醇能够显著降低肝脏和肌肉中脂肪的含量^[8]。本研究中,400 mg/kg 和 800 mg/kg 试验组的肝脏和肌肉中的脂肪含量显著低于 100 mg/kg 肌醇添加组和对照组,而肌肉中的粗蛋白含量显著升高。原因可能是肌醇促进肝脏内的脂肪分解,产生较多的 n-3 脂肪酸^[3],n-3 和 n-6 多不饱和脂肪酸能够竞争性地与肝细胞膜上的不同酶结合,如果 n-3 和 n-6 脂肪酸缺乏或不平衡,就会导致鱼体肝细胞膜对脂肪的交换能力减弱,这样脂肪在肝脏中的沉积速度加快,脂肪含量升高;因此适宜的 n-3/n-6 脂肪酸比值可以提高肝细胞膜的流动性,降低肝细胞中脂肪的含量^[37]。这与 IBEAS 等^[38]的研究结果一致。肌肉中消耗脂肪,促进体内粗蛋白的沉积,提高了鱼体的生长。虽然本试验中的肝脏和肌肉中的脂肪含量处在正常水平范围内^[18,24,26,39],但肌醇对预防鱼类肝脏脂肪肝可能

起到了积极的作用。

综上所述,在本试验条件下,饲料中添加 200 ~ 400 mg/kg 肌醇在一定程度上有利于团头鲂幼鱼的生长,维持机体正常新陈代谢,并在降低肝脏脂肪和肌肉粗脂肪含量,增加肌肉粗蛋白等方面发挥一定的作用。以鱼体特定增长率和饵料系数为评价指标,经折线模型回归分析得到团头鲂幼鱼饲料中肌醇的适宜添加量分别为 294.4 mg/kg 和 284.9 mg/kg。

参考文献:

- [1] SHIAU S Y, SU S L. Dietary inositol requirement for juvenile grass shrimp, *Penaeus monodon* [J]. *Aquaculture*, 2004, 241: 1-8.
- [2] PERES H, LIM C, KLESIOUS P K. Growth, chemical composition and resistance to *Streptococcus iniae* challenge of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed graded levels of dietary inositol [J]. *Aquaculture*, 2004, 235: 423-432.
- [3] 文华, 赵智勇, 蒋明, 等. 草鱼幼鱼肌醇营养需要量的研究 [J]. *中国水产科学*, 2007, 14(5): 794-800.
- [4] MCLAREN B A, KELLER E, O'DONNELL D J, et al. The nutrition of rainbow trout: I. Studies of vitamin requirements [J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1947, 15: 169-178.
- [5] KITAMURA S, SUWA T, OHARA S, et al. Studies on vitamin requirements of rainbow trout: 2. The deficiency symptoms of fourteen kinds of vitamin [J]. *Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish*, 1967, 33: 1120-1125.
- [6] AOE H, MASUDA I. Water-soluble vitamin requirements of carp: II. Requirements for p-aminobenzoic and inositol [J]. *Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish*, 1967, 33: 674-680.
- [7] HALVER J E. Fish diseases and nutrition [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1953, 83: 254-261.
- [8] YONE Y, FURUICHI M, SHITANDA K. Vitamin requirements of the red sea bream: 1. Relationship between inositol requirements and glucose levels in diet [J]. *Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish*, 1971, 37: 149-155.
- [9] NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient Requirements of Fish [M]. National Academy Press, Washington, DC. 1993.
- [10] DENG D F, HEMRE G I, WILSON R P. Juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* female × *M. saxatilis* male) do not require dietary myo-inositol [J]. *Aquaculture*, 2002, 213: 387-393.
- [11] LI S, CAI W, ZHOU B. Variation in morphology and biochemical genetic markers among populations of blunt snout

- bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Aquaculture*, 1993, 111: 117-127.
- [12] KE H. Cultivation of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) in China [J]. *Fish Consumption Advisories-Technical Information*, 1986, 5: 1-5.
- [13] ZHOU Z, REN Z, ZENG H, et al. Apparent digestibility of various feedstuffs for blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2008, 14: 153-165.
- [14] SHAO X P, LIU W B, LU K L, et al. Effects of tribasic copper chloride on growth, copper status, antioxidant activities, immune responses and intestinal microflora of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fed practical diets [J]. *Aquaculture*, 2012, 338-341: 282-283.
- [15] TSAO W S. A biological study of *Megalobrama amblycephala* and *M. terminalis* of Liang-tse Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1960, 1: 57-78.
- [16] 农业部渔业局, 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 28.
- [17] 王少梅, 陈少莲, 崔奕波. 用氯仿-甲醇抽提法测定鱼体脂肪含量的研究 [J]. *水生生物学报*, 1993, 17(2): 193-196.
- [18] BURTLE G J, LOVELL R T. Lack of response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to dietary myo-inositol [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1989, 46: 218-222.
- [19] BOONYARATPALIN M, WANAKOWAT J. Effects of thiamin, riboflavin, pantothenic acid and inositol on growth, feed efficiency and mortality of juvenile sea bass [C]//KAUSHIK S J, LUGET P. *Fish Nutrition in Practice Paris: INRA. Les Colloques*, 1993, 61: 819-828.
- [20] MAI K, WU G, ZHU W. Abalone, *Haliotis discus hannai* Ino, can synthesize myo-inositol de novo to meet physiological needs [J]. *Journal of Nutrition*, 2001, 131: 2898-2903.
- [21] 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.
- [22] 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, 20(s): 98-102.
- [23] 李爱杰, 张道波, 魏万权, 等. 牙鲆幼鱼营养需要的研究 [J]. *浙江海洋学院学报*, 2001, 20(s): 6-10.
- [24] WAAGBØ R, SANDNES K, LIEØ. Effects of inositol supplementation on growth, chemical composition and blood chemistry in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fry [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1998, 4: 53-59.
- [25] JIANG W D, FENG L, LIU Y, et al. Growth, digestive capacity and intestinal microflora of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) fed graded levels of dietary inositol [J]. *Aquaculture Research*, 2009, 40: 955-962.
- [26] 黄世燕, 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.
- [27] 吴宏玉, 唐瞻杨, 杨鸿昆, 等. 肌醇对奥尼罗非鱼生长肝脏和肌肉脂肪含量及血清生化指标的影响 [J]. *南方农业学报*, 2011, 42(11): 1415-1419.
- [28] 闻芝梅, 陈君石. *现代营养学* [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1998: 45-53.
- [29] 闻治国, 侯水生, 谢明, 等. 肝脏极低密度脂蛋白合成和分泌的研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2011, 23(11): 1854-1861.
- [30] SHERIDAN M A. Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 1988, 90(4): 679-690.
- [31] LIE O, LIED E, LAMBERTSEN G. Feed optimization in Atlantic cod (*Gadus morhua*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1988, 78A: 49-52.
- [32] 林建斌. 鱼类脂肪肝的形成原因及抗脂肪肝因子 [J]. *江西水产科技*, 2006(2): 41-42.
- [33] 田娟, 文华, 曾令兵, 等. 草鱼食用鱼不同颜色肝脏脂肪肝程度的判断 [J]. *浙江大学学报*, 2011, 37(5): 557-564.
- [34] 龙勇, 田海军, 李林春. 鱼类营养性脂肪肝的发生与防治 [J]. *河北渔业*, 2007(2): 37-45.
- [35] 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.
- [36] HAYASHI E, MAEDA T, TOMITA T. The effect of myo-inositol deficiency on lipid metabolism in rats: I. The alterations of lipid metabolism in myo-inositol deficient rats [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1974, 360: 134-145.
- [37] 张强, 杨帆. 鱼类脂肪肝成因 [J]. *饲料广角*, 2012(4): 43-46.
- [38] IBEAS C, CEJAS J, GOMEZ T, et al. Influence of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids levels on juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*) growth and tissue fatty acid composition [J]. *Aquaculture*, 1996, 142: 221-235.
- [39] TOCHER D R, AGABA M, HASTINGS N, et al. Nutritional regulation of hepatocyte fatty acid desaturation and polyunsaturated fatty acid composition in zebrafish (*Danio rerio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2002, 24: 309-320.

Effects of dietary inositol on growth performance, physiological and biochemical indexes of serum and fat content in liver and muscle of juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*)

CUI Hong-hong^{1,2}, LIU Bo^{1,2}, GE Xian-ping^{1,2}, XIE Jun^{1,2}, LIAO Ying-jie^{1,2}, REN Ming-chun², CHEN Ru-li²

(1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, Jiangsu, China; 2. Key Laboratory of Genetic Breeding and Aquaculture Biology of Freshwater Fishes, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, Jiangsu, China)

Abstract: A 90-day growth experiment was conducted to investigate the dietary inositol requirement of juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*). The fish were randomly divided into six groups: a control group was fed with basal diet, and five treatment groups fed with basal diet supplemented with 100, 200, 400, 800, 1600 mg/kg inositol, respectively. Each diet was fed to triplicate groups of juvenile *M. amblycephala* with initial average body weight (3.4 ± 0.07) g. At the end of feeding trial, final average weight (FAW), weight gain rate (WRG) and specific growth rate (SGR) of fish fed diet 400 mg/kg inositol were significantly higher than those of the control ($P < 0.05$); while feed conversion rate (FCR) was significantly lower in the group supplemented with 400 mg/kg inositol ($P < 0.05$). The concentrations of glucose (GLU), cholesterol (TC) and low density lipoprotein (LDL-C) were higher in fish fed 800mg/kg inositol ($P < 0.05$) and concentration of triglyceride (TG) was significantly lower ($P < 0.05$) than that of the control ($P < 0.05$); In addition, the fat content in liver and muscle of the groups supplemented with 400, 800 mg/kg inositol were significantly lower than that of control ($P < 0.05$); whereas crude protein in muscle was significantly enhanced compared with the control ($P < 0.05$). No significant differences were observed in survival rate, hepatosomatic index (HSI), viscerosomatic ratio (VR), fullness coefficient (CF), high density lipoprotein (HDL-C), moisture and ash in muscle ($P > 0.05$) among the different groups. On the basis of SGR and FCR, the optimum dietary inositol requirement of juvenile *M. amblycephala* was estimated to be 294.44 mg/kg and 284.85 mg/kg, using broken-line regression analysis.

Key words: inositol; juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*); growth performance; biochemical index of serum; fat