

文章编号: 1000-0615(2017)11-1756-10

DOI: 10.11964/jfc.20161110602

## 粪肠球菌对吉富罗非鱼的生长、体组成、消化酶活性及血液生理生化指标的影响

黄旺<sup>1</sup>, 李洪琴<sup>2,3</sup>, 罗莉<sup>1\*</sup>, 陈拥军<sup>1</sup>, 白富瑾<sup>1</sup>, 林肯<sup>1</sup>

(1. 西南大学动物科技学院, 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400715;

2. 新希望六和股份有限公司, 四川成都 610041;

3. 华中农业大学动物科技学院, 华中农业大学动物医学院, 湖北武汉 430070)

**摘要:** 为研究饲料中添加不同浓度的粪肠球菌对吉富罗非鱼生长、体组成、消化能力及血液生理生化指标的影响, 实验选用初始体质量为(50.59±0.59)g的吉富罗非鱼300尾, 随机分成5组, 每组设3个重复, 每个重复20尾鱼, 养殖实验期60 d。分别投喂实测含 $1.3 \times 10^2$ (对照组)、 $1.4 \times 10^5$ 、 $1.7 \times 10^6$ 、 $1.5 \times 10^7$ 和 $1.8 \times 10^8$  CFU/g粪肠球菌的5种等氮(36%)等脂(6.75%)的实验饲料。结果显示: ①罗非鱼的末均重(FBW)、增重率(WGR)、特定生长率(SGR)和尾均摄食量(FI)均在 $1.5 \times 10^7$  CFU/g组达到最大且显著高于对照组, 而饲料系数(FCR)显著低于对照组。以FBW、WGR和SGR为评价指标, 通过二次回归分析得出, 罗非鱼饲料的粪肠球菌适宜添加浓度范围为 $7.5 \times 10^7 \sim 1.1 \times 10^8$  CFU/g。②各添加组的全鱼粗蛋白含量均显著高于对照组,  $1.5 \times 10^7$  CFU/g组的粗脂肪含量显著高于对照组, 各组间全鱼水分和粗灰分含量无显著差异。 $1.5 \times 10^7$  CFU/g组的干物质、蛋白质和脂肪沉积率均达到最大值且显著高于对照组。③ $1.5 \times 10^7$ 和 $1.8 \times 10^8$  CFU/g组的肠脂肪酶活性均显著高于对照组, 而 $1.8 \times 10^8$  CFU/g组的肠道蛋白酶活性显著低于对照组; 各组间肠道淀粉酶活性无显著差异。④ $1.5 \times 10^7$  CFU/g组的平均红细胞体积、血红蛋白浓度和血小板数均显著低于对照组, 各组间红细胞数无显著差异。⑤ $1.8 \times 10^8$  CFU/g组的血清中胆固醇、葡萄糖和丙二醛含量显著低于对照组;  $1.5 \times 10^7$  CFU/g组血清中碱性磷酸酶活性显著高于对照组, 而谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性显著低于对照组。综上所述, 吉富罗非鱼(50~210 g)饲料中粪肠球菌的适宜添加浓度范围为 $7.5 \times 10^7 \sim 1.1 \times 10^8$  CFU/g, 但添加粪肠球菌对血液载氧能力有负面影响。

**关键词:** 吉富罗非鱼; 粪肠球菌; 生长性能; 体组成; 消化酶; 血液指标

中图分类号: S 965

文献标志码: A

益生菌是一类对宿主有益的活性微生物, 可改善寄主肠道微生物区系结构, 促进生长发育, 增强抗病能力, 提高宿主健康水平<sup>[1]</sup>。乳酸菌因其无毒、无抗药性、无残留及无副作用等特点, 是目前在动物饲料中运用最广的一类益生菌。粪肠球菌(*Enterococcus faecalis*)属乳酸菌(lactic acid bacteria)的肠球菌科(Enterococcaceae),

肠球菌属(*Enterococcus*), 是一种兼性厌氧的革兰氏阳性菌, 是动物肠道菌群的正常组成部分。粪肠球菌在畜禽饲料中的研究表明, 粪肠球菌可以提高畜禽的生长性能, 保护肝脾脏, 提高机体免疫能力, 改善肠道菌群组成, 降低腹泻率<sup>[2-4]</sup>。而粪肠球菌在水产饲料行业鲜有研究, 仅在斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)<sup>[5]</sup>、草鱼

收稿日期: 2016-11-03 修回日期: 2017-03-14

资助项目: “十二五”国家科技支撑计划(2011BAD26B01-3)

通信作者: 罗莉, E-mail: luoli1972@163.com

(*Ctenopharyngodon idella*)<sup>[6]</sup>、鲤(*Cyprinus carpio*)<sup>[7]</sup>和奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* ♂ × *O. aureus* ♀)<sup>[8]</sup>等方面有少量报道, 且这些实验均以单一添加水平进行研究, 其适宜的添加水平仍然未知。

吉富罗非鱼(GIFT *O. niloticus*)是我国重要的水产养殖品种和出口水产品, 具有生长快、产量高、耐低氧和遗传性状稳定等优点, 而目前关于粪肠球菌在吉富罗非鱼饲料中的应用研究还未见报道。

本实验拟通过在吉富罗非鱼饲料中添加不同浓度的粪肠球菌, 研究其对吉富罗非鱼的生长性能、体组成、消化能力和血液生理生化指标的影响, 科学评价并明确粪肠球菌在吉富罗非鱼饲料中的适宜添加浓度和利用利弊, 为粪肠球菌在实际生产中的合理应用提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

本实验所选用的粪肠球菌(麸皮为稀释载体)由武汉新华扬生物股份有限公司提供, 菌种浓度 $5 \times 10^9$  CFU/g。

吉富罗非鱼幼鱼购于重庆市北碚区歇马渔场。

### 1.2 实验饲料

根据吉富罗非鱼的营养需求, 实验基础饲料以鱼粉、豆粕、棉粕、菜粕、面粉、米糠、豆油等为主要原料进行配制。在基础饲料中分别添加0%(对照)、0.002%、0.020%、0.200%和2.000%的粪肠球菌(饲料中所含粪肠球菌实测浓度分别为 $1.3 \times 10^2$ 、 $1.4 \times 10^5$ 、 $1.7 \times 10^6$ 、 $1.5 \times 10^7$ 和 $1.8 \times 10^8$  CFU/g), 用麸皮进行调平, 配制成5种等氮(36%)等脂(6.75%)的实验饲料。实验饲料配方及主要营养水平见表1。饲料原料均过40目筛并用搅拌机搅拌均匀, 用饲料制粒机(无锡市华强饲料机械有限公司生产的HKJ250制粒机组)制成直径2 mm左右的饲料(由于粪肠球菌不耐高温, 所以制粒调质过程不加蒸汽, 整个制粒过程温度控制在60~70 °C), 自然冷却后用双层塑料袋包装并封口, 于-20 °C冰柜中保存备用。

### 1.3 实验饲养管理

正式实验前, 先将实验鱼经浓度3%的食盐溶液消毒后, 在室内循环水水族箱中暂养, 以基础饲料驯化一周。选择体质健壮、质量均匀

[(50.59±0.59) g]的罗非鱼300尾, 随机分为5个组, 每组3个重复, 每个重复放养20尾。实验鱼饲养于西南大学动物科技学院国家实验示范中心循环水养殖系统的玻璃水族缸(水体容积为400 L)中, 水源为曝气自来水。每天投喂3次(8:00、13:00、18:00), 日投喂量为鱼体质量的3%~5%, 保证每次投喂水族缸中无饲料剩余, 每隔2周对实验鱼进行1次称重, 再根据实验鱼的增重情况调整投喂量。早晚分别100%换水1次, 正式实验60 d。饲养期间光源为节能灯灯光, 光照时间为每天12 h, 水温22~28 °C, 溶解氧>6.0 mg/L, 氨氮含量<0.10 mg/L, 亚硝酸盐<0.10 mg/L, pH 6.6~7.0。

### 1.4 样品采集

养殖实验结束后, 实验鱼停食24 h, 每个处理组的每个重复随机选取3尾鱼用于体组成分析。3尾鱼尾静脉取血, 置于有抗凝血剂的PE管内, 用于测定血液生理指标。3尾鱼尾静脉采血, 于4 °C静置3 h后, 4000 r/min低温离心(4 °C) 10 min, 分离血清后于-80 °C保存, 用于血液生化指标测定。3尾鱼用于测定体高、体质量、体长并在冰盘中进行解剖, 取出内脏团, 分离出肝脏脏和肠道, 内脏团和肝脏脏称重, 用滤纸吸干肠道表面水分, 剪碎混匀后用液氮速冻, 保存于-80 °C冰箱中用于消化酶测定。本实验中抽血取样及解剖鱼体取样之前均用MS-222对实验鱼进行麻醉处理。

### 1.5 指标测定

**生长及形体指标测定** 养殖实验结束后, 停食24 h, 准确称量各缸鱼体质量和剩余饲料重, 计算其特定生长率(SGR)、饲料系数(FCR)、增重率(WGR)、肥满度(CF)和脏体比(VSI), 计算公式如下:

$$\text{存活率(survival rate, SR, \%)} = 100 \times N_t / N_0$$

$$\text{特定生长率(specific growth rate, SGR, \% / d)} = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

$$\text{尾均摄食量(feed intake, FI, g / 尾)} = W_f / N$$

$$\text{饲料系数(feed conversion ratio, FCR, g / g)} = F / (W_t - W_0)$$

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

$$\text{肥满度(condition factor, CF, g / cm}^3\text{)} = 100 \times W / L^3$$

**表 1 实验饲料配方及主要营养成分(风干基础)**  
**Tab. 1 Recipe and main nutritional components of the trial diet (air dry basis)** %

项目 item	添加水平/(CFU/g) addition levels				
	0	1.0×10 <sup>5</sup>	1.0×10 <sup>6</sup>	1.0×10 <sup>7</sup>	1.0×10 <sup>8</sup>
<b>原料 ingredients</b>					
鱼粉 fish meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
豆粕 soybean meal	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
棉粕 cottonseed meal	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
菜粕 rapeseed meal	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
面粉 wheat flour	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
米糠 rice bran	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
麸皮 wheat bran	2.000	1.998	1.980	1.800	0.000
豆油 soybean oil	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
磷酸二氢钙 Ca (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
氯化胆碱 choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
预混料 premix	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
防霉剂 mold inhibitor	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
抗氧化剂 antioxidant	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
粪肠球菌 <i>Enterococcus faecalis</i>	0.000	0.002	0.020	0.200	2.000
<b>合计 total</b>	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
<b>营养组成 nutrient composition</b>					
水分 moisture	10.38	10.25	10.53	10.23	10.13
粗蛋白 crude protein	36.37	35.55	36.31	36.12	35.98
粗脂肪 crude lipid	6.79	6.75	6.79	6.75	6.74
粗灰分 crude ash	5.57	5.56	5.59	5.56	5.55
粪肠球菌/(CFU/g)(实测) <i>Enterococcus faecalis</i> (measured)	1.3×10 <sup>2</sup>	1.4×10 <sup>5</sup>	1.7×10 <sup>6</sup>	1.5×10 <sup>7</sup>	1.8×10 <sup>8</sup>

注: 预混料为每kg全价日粮包含: 铁 150 mg; 铜 3.2 mg; 锌 34.1 mg; 锰 13.0 mg; 碘 5.7 mg; 硒 0.3 mg; 钴 12.4 mg; 维生素A 2000.0 IU; 维生素D 2000.0 IU; 维生素E 100.0 mg; 维生素K<sub>3</sub> 10.0 mg; 维生素B<sub>1</sub> 5.0 mg; 维生素B<sub>2</sub> 10.0 mg; 烟酸 100.0 mg; 维生素B<sub>6</sub> 10.0 mg; 泛酸钙 40.0 mg; 叶酸 5.0 mg; 维生素B<sub>12</sub> 0.02 mg; 生物素 1.0 mg; 维生素C 300 mg; 肌醇 100 mg

Notes: premix provided per kg of diet: Fe 150 mg; Cu 3.2 mg; Zn 34.1 mg; Mn 13.0 mg; I 5.7 mg; Se 0.3 mg; Co 12.4 mg; vitamin A 2000.0 IU; vitamin D 2000.0 IU; vitamin E 100.0 mg; vitamin K<sub>3</sub> 10.0 mg; vitamin B<sub>1</sub> 5.0 mg; vitamin B<sub>2</sub> 10.0 mg; niacin 100.0 mg; vitamin B<sub>6</sub> 10.0 mg; calcium pantothenate 40.0 mg; folic acid 5.0 mg; vitamin B<sub>12</sub> 0.02 mg; biotin 1.0 mg; vitamin C 300 mg; inositol 100 mg

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %)=  
100×W<sub>v</sub>/W  
式中, N<sub>t</sub>: 终末尾数; N<sub>0</sub>: 初始尾数; W<sub>0</sub>: 初始  
鱼体尾均重(g); W<sub>t</sub>: 终末鱼体尾均重(g); t: 养  
殖实验天数; W<sub>f</sub>: 总摄食量; N: 尾数; F: 尾  
均摄食量(g); W: 鱼体质量(g), L: 鱼体长  
(cm); W<sub>v</sub>: 内脏重(g)。

实验饲料及全鱼常规营养成分的测定 水  
分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分含量分别采用105 °C

烘箱干燥法(GB/T 6435-2006)、凯氏定氮法(GB/T  
6432-1994)、索氏抽提法(GB/T 6433-1994)、550 °C  
灼烧法(GB/T 6438-1992)进行测定。

饲料营养成分沉积率测定 干物质、蛋白  
质、脂肪和灰分沉积率(RRi):

$$RRi (\%) = 100 \times (W_t \times CNi - W_0 \times COi) / (F \times CFi)$$

式中, CNi: 终末鱼体干物质、蛋白质、脂肪和  
灰分; COi: 初始鱼体干物质、蛋白质、脂肪和  
灰分; CFi: 饲料干物质、蛋白质、脂肪和灰分。

血液生理指标的测定 白细胞数(WBC)、红细胞数(RBC)、平均红细胞体积(MCV)、血红蛋白浓度(HGB)、平均红细胞血红蛋白浓度(MCHC)和血小板数(PLT)均采用mindrany BC-2800Vet血液分析仪进行测定。

血清生化指标的测定 总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、碱性磷酸酶(ALP)、葡萄糖(GLU)、谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)均采用四川新健康成生物股份有限公司生产的试剂盒, 用OLYMPUS AU400全自动生化分析仪进行测定; 总抗氧化能力(T-AOC)和丙二醛(MDA)均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定。

消化酶的测定 肠道蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定。

## 1.6 数据处理

实验结果用SPSS 22.0对数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 用Duncan氏多重比较分析组间差异显著性程度, 显著水平为( $P<0.05$ )。数据用平均值±标准差(mean±SD)形式表示。并用二次模型对FBW、WGR和SGR与饲料粪肠球菌添加浓度进行回归分析。

## 2 结果

### 2.1 饲料中添加粪肠球菌对吉富罗非鱼生长性能和饲料利用的影响

随着饲料中粪肠球菌的添加水平逐渐增高, FBW、WRG和SGR均呈现先增加后减少的

趋势, 且都在 $1.5 \times 10^7$  CFU/g组达到最大值, 分别较对照组增加了13.05%、19.56%和11.17%( $P<0.05$ ), 而FCR则达到最低值, 较对照组降低了4.88%( $P<0.05$ ),  $1.5 \times 10^7$  CFU/g组的摄食量较对照组显著增加( $P<0.05$ ), 粪肠球菌的添加浓度对存活率无显著影响( $P>0.05$ )(表2)。

将粪肠球菌添加浓度与FBW、WGR、SGR、FI和FCR进行相关性分析, 发现其与FBW、WGR、SGR呈极显著正相关, 与FCR呈显著正相关。采用二次曲线回归方程拟合FBW ( $y_1$ )、WGR ( $y_2$ )和SGR ( $y_3$ )分别于饲料粪肠球菌添加浓度( $x$ )之间的关系, 得到 $y_1=(-1 \times 10^{-14})x^2+2 \times 10^{-6}x+189.06$  ( $R^2=0.9936$ ,  $P<0.01$ )、 $y_2=(-2 \times 10^{-14})x^2+3 \times 10^{-6}x+212.29$  ( $R^2=0.9941$ ,  $P<0.01$ )和 $y_3=(-9 \times 10^{-17})x^2+2 \times 10^{-8}x+1.96$  ( $R^2=0.9953$ ,  $P<0.01$ )。再经极值分析分别得到3个最佳浓度分别为 $1 \times 10^8$ 、 $7.5 \times 10^7$ 和 $1.1 \times 10^8$  CFU/g, 由此得出吉富罗非鱼获得最佳生长性能时饲料中粪肠球菌的适宜添加量范围为 $7.5 \times 10^7 \sim 1.1 \times 10^8$  CFU/g。

### 2.2 饲料中添加粪肠球菌对吉富罗非鱼全鱼体组成、饲料营养素沉积率及形体指标的影响

随着饲料中粪肠球菌添加水平的增加, 全鱼的粗蛋白和粗脂肪含量均呈现先增加后减少的趋势(表3)。其中, 粗蛋白含量在 $1.7 \times 10^6$  CFU/g组达到最大值, 且各添加组较对照组均有显著增加( $P<0.05$ ); 粗脂肪含量在 $1.5 \times 10^7$  CFU/g组达到最大且显著高于对照组( $P<0.05$ ); 各实验组全鱼水分和灰分含量无显著差异( $P>0.05$ )。

表 2 饲料中添加粪肠球菌对吉富罗非鱼生长性能、饲料利用和形体指标的影响

Tab. 2 Effect of *E. faecalis* supplementations on growth performance, feed utilization and morphologic indices of GIFT *O. niloticus*

	存活率/% SR	终末均重/g FBW	增重率/% WGR	特定生长率 /(%/d) SGR	尾均摄食量/g FI	饲料系数 FCR
$1.3 \times 10^2$ CFU/g	100	190.0±7.1 <sup>a</sup>	214.2±15 <sup>a</sup>	1.97±0.08 <sup>a</sup>	159.4±7.7 <sup>a</sup>	1.23±0.02 <sup>b</sup>
$1.4 \times 10^3$ CFU/g	100	189.6±4.6 <sup>a</sup>	212.6±5.5 <sup>a</sup>	1.96±0.03 <sup>a</sup>	159.6±3.5 <sup>a</sup>	1.24±0.01 <sup>b</sup>
$1.7 \times 10^6$ CFU/g	100	190.8±6.6 <sup>a</sup>	215.6±8.4 <sup>a</sup>	1.98±0.05 <sup>a</sup>	155.3±3.6 <sup>a</sup>	1.22±0.05 <sup>b</sup>
$1.5 \times 10^7$ CFU/g	100	214.8±8.5 <sup>c</sup>	256.1±13.9 <sup>c</sup>	2.19±0.07 <sup>c</sup>	181.2±10.2 <sup>b</sup>	1.17±0.02 <sup>a</sup>
$1.8 \times 10^8$ CFU/g	100	195.9±3.8 <sup>b</sup>	224.6±5.7 <sup>b</sup>	2.03±0.03 <sup>b</sup>	161.1±0.2 <sup>a</sup>	1.19±0.03 <sup>ab</sup>
相关系数( $r$ ) related coefficient		0.997	0.997	0.998	0.960	0.986
$P$		0.006	0.006	0.005	0.078	0.028

注: 不同小写字母表示具有显著性差异( $P<0.05$ ), 下同

Notes: different letters indicate significant difference( $P<0.05$ ), the same below

表3 饲料中添加粪肠球菌对吉富罗非鱼全鱼体组成(鲜重)、饲料营养素沉积率和形体指标的影响

**Tab. 3 Effect of *E. faecalis* supplementations on body composition (fresh weight), nutrient deposition efficiency and morphologic indices of GIFT *O. niloticus***

添加水平 (CFU/g) addition levels	水分/% moisture	粗蛋白/% crude protein	粗脂肪/% crude lipid	灰分/% ash	干物质 沉积率/% DMRR	蛋白质 沉积率/% PRR	脂肪 沉积率/% LRR	灰分 沉积率/% ARR	脏体比/% VSI	肥满度/% CF
1.3×10 <sup>2</sup>	71.05±1.49	16.63±0.17 <sup>a</sup>	8.80±0.30 <sup>b</sup>	3.67±0.04	30.76±0.26 <sup>a</sup>	48.51±0.45 <sup>a</sup>	155.03±1.41 <sup>b</sup>	61.70±0.8 <sup>a</sup>	9.63±1.08 <sup>a</sup>	3.94±0.34 <sup>a</sup>
1.4×10 <sup>5</sup>	70.68±0.73	17.08±0.19 <sup>bc</sup>	8.43±0.13 <sup>ab</sup>	3.88±0.13	31.02±0.27 <sup>a</sup>	50.09±0.46 <sup>ab</sup>	147.60±1.09 <sup>a</sup>	66.09±0.71 <sup>bc</sup>	10.39±1.30 <sup>ab</sup>	4.19±0.3 <sup>ab</sup>
1.7×10 <sup>6</sup>	69.98±2.14	17.37±0.19 <sup>b</sup>	8.67±0.16 <sup>b</sup>	3.88±0.28	31.64±0.96 <sup>a</sup>	50.18±1.59 <sup>ab</sup>	150.53±4.01 <sup>ab</sup>	65.03±2.27 <sup>b</sup>	10.52±1.41 <sup>ab</sup>	4.01±0.36 <sup>a</sup>
1.5×10 <sup>7</sup>	69.56±2.00	17.21±0.42 <sup>bc</sup>	9.47±0.38 <sup>c</sup>	3.80±0.08	33.45±0.61 <sup>b</sup>	52.19±0.94 <sup>c</sup>	170.16±3.27 <sup>c</sup>	67.54±1.21 <sup>bc</sup>	10.03±1.14 <sup>ab</sup>	4.35±0.27 <sup>b</sup>
1.8×10 <sup>8</sup>	71.16±1.10	17.01±0.06 <sup>b</sup>	8.23±0.34 <sup>a</sup>	3.86±0.13	31.38±0.67 <sup>a</sup>	51.51±1.12 <sup>bc</sup>	148.01±2.97 <sup>a</sup>	68.17±1.54 <sup>c</sup>	10.83±1.09 <sup>b</sup>	4.38±0.33 <sup>b</sup>

饲料DMRR、PRR和LRR随饲料中粪肠球菌添加水平的增加均呈先增高后降低的趋势,均在1.5×10<sup>7</sup> CFU/g组达到最大,分别较对照组增加了8.75%、7.59%和9.56%( $P<0.05$ ); ARR呈逐渐增加的趋势,且各添加组均显著高于对照组( $P<0.05$ )(表3)。VSI和CF随饲料中粪肠球菌添加水平的增加而增加,其中1.8×10<sup>8</sup> CFU/g组分别较对照组增加了12.46%和11.17%( $P<0.05$ )(表3)。

### 2.3 饲料中添加粪肠球菌对吉富罗非鱼肠道消化酶活性的影响

1.5×10<sup>7</sup>和1.8×10<sup>8</sup> CFU/g组的肠道脂肪酶活性分别较对照组提高了49.12%和85.41%( $P<0.05$ ),其他各添加组与对照组无显著差异( $P>0.05$ );饲料中添加粪肠球菌后在一定程度上降低肠道蛋白酶活性,其中1.8×10<sup>8</sup> CFU/g组的肠道蛋白酶活性显著低于对照组( $P<0.05$ );各实验组肠道淀粉酶活性无显著差异( $P>0.05$ )(表4)。

### 2.4 饲料中添加粪肠球菌对吉富罗非鱼血液生理指标的影响

饲料中添加粪肠球菌显著降低血液中的

WBC、MCV、HGB、MCHC和PLT( $P<0.05$ ),其中1.8×10<sup>8</sup> CFU/g组的WBC、MCV、HGB、MCHC和PLT分别较对照组降低13.61%、8.67%、18.41%、8.12%和42.08%。各组血液中的RBC无显著差异( $P>0.05$ )(表5)。

### 2.5 饲料中添加粪肠球菌对吉富罗非鱼血清生化指标的影响

随着饲料中粪肠球菌添加水平的增加,各添加组的血清TC和TG含量呈下降趋势,且均在1.8×10<sup>8</sup> CFU/g组达到最低,较对照组分别降低了23.48%和28.42%( $P<0.05$ )(表6);血清中的GLU含量和ALP活性均呈先增加后减少的趋势,1.5×10<sup>7</sup> CFU/g和1.8×10<sup>8</sup> CFU/g组的GLU含量显著低于对照组( $P<0.05$ ),1.7×10<sup>6</sup> CFU/g组的ALP活性最高且较对照组增加了32.07%( $P<0.05$ );各添加组的ALT和AST活性均显著低于对照组,其中1.7×10<sup>6</sup> CFU/g组分别较对照组降低了53.75%和38.68%( $P<0.05$ );1.8×10<sup>8</sup> CFU/g组的血清MDA含量较对照组显著降低( $P<0.05$ ),其余各组无显著差异( $P>0.05$ );血清中T-AOC活性有增加的趋势,但未达到显著水平( $P>0.05$ )。

表4 饲料中添加粪肠球菌对吉富罗非鱼消化酶活性的影响

**Tab. 4 Effect of *E. faecalis* supplementations on digestive enzyme activity of GIFT *O. niloticus***

添加水平/(CFU/g) addition levels	淀粉酶/(U/g prot) amylase	脂肪酶/(U/g prot) lipase	蛋白酶/(U/g prot) protease
1.3×10 <sup>2</sup>	180.39±7.92	12.54±0.71 <sup>a</sup>	326.68±6.49 <sup>b</sup>
1.4×10 <sup>5</sup>	171.69±5.89	12.70±2.33 <sup>a</sup>	344.38±22.73 <sup>b</sup>
1.7×10 <sup>6</sup>	174.06±4.70	12.22±0.4 <sup>a</sup>	341.04±60.42 <sup>b</sup>
1.5×10 <sup>7</sup>	173.94±5.62	18.70±2.86 <sup>b</sup>	305.19±17.71 <sup>ab</sup>
1.8×10 <sup>8</sup>	178.07±3.82	23.25±3.63 <sup>c</sup>	271.29±6.25 <sup>a</sup>

表 5 饲料中添加粪肠球菌对吉富罗非鱼血液生理指标的影响

Tab. 5 Effect of *E. faecalis* supplementations on blood physiological indices of GIFT *O. niloticus*

添加水平/ (CFU/g) addition levels	白细胞数/( $\times 10^9$ /L) WBC	红细胞数/( $\times 10^{12}$ /L) RBC	平均红细胞体积/(fL) MCV	血红蛋白浓度/(g/L) HGB	平均红细胞血红蛋白浓度/(g/L) MCHC	血小板数/( $\times 10^9$ /L) PLT
$1.3 \times 10^2$	171.2 $\pm$ 0.64 <sup>b</sup>	1.44 $\pm$ 0.15	173.10 $\pm$ 3.9 <sup>b</sup>	105.00 $\pm$ 7.81 <sup>b</sup>	422.3 $\pm$ 23.7 <sup>b</sup>	25.33 $\pm$ 0.58 <sup>c</sup>
$1.4 \times 10^5$	161.6 $\pm$ 6.09 <sup>ab</sup>	1.51 $\pm$ 0.15	160.63 $\pm$ 3.25 <sup>a</sup>	92.67 $\pm$ 4.16 <sup>a</sup>	384.3 $\pm$ 14.7 <sup>a</sup>	18.00 $\pm$ 2.65 <sup>b</sup>
$1.7 \times 10^6$	159.4 $\pm$ 6.94 <sup>ab</sup>	1.51 $\pm$ 0.22	158.03 $\pm$ 3.93 <sup>a</sup>	85.50 $\pm$ 3.54 <sup>a</sup>	383.5 $\pm$ 12.1 <sup>a</sup>	14.00 $\pm$ 1.73 <sup>a</sup>
$1.5 \times 10^7$	158.3 $\pm$ 9.78 <sup>ab</sup>	1.37 $\pm$ 0.06	162.30 $\pm$ 4.45 <sup>a</sup>	86.67 $\pm$ 2.52 <sup>a</sup>	403.5 $\pm$ 5.7 <sup>ab</sup>	14.33 $\pm$ 1.53 <sup>ab</sup>
$1.8 \times 10^8$	147.9 $\pm$ 11.25 <sup>a</sup>	1.40 $\pm$ 0.13	158.10 $\pm$ 1.61 <sup>a</sup>	85.67 $\pm$ 7.09 <sup>a</sup>	388.0 $\pm$ 3.6 <sup>a</sup>	14.67 $\pm$ 2.89 <sup>ab</sup>

表 6 饲料中添加粪肠球菌对吉富罗非鱼血清生化指标的影响

Tab. 6 Effect of *E. faecalis* supplementations on serum biochemical indices of GIFT *O. niloticus*

添加水平/ (CFU/g) addition levels	总胆固醇/ (mmol/L) TC	甘油三酯/ (mmol/L) TG	葡萄糖/ (mmol/L) GLU	碱性磷酸酶/ (U/L) ALP	谷丙转氨酶/ (U/L) ALT	谷草转氨酶/ (U/L) AST	丙二醛/ (nmol/L) MDA	总抗氧化能力/ (U/mL) T-AOC
$1.3 \times 10^2$	3.62 $\pm$ 0.22 <sup>c</sup>	0.95 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.45 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	15.59 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>	62.7 $\pm$ 3.90 <sup>d</sup>	53.00 $\pm$ 1.58 <sup>d</sup>	4.93 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	2.32 $\pm$ 0.19
$1.4 \times 10^5$	3.54 $\pm$ 0.11 <sup>c</sup>	0.90 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	3.69 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	19.41 $\pm$ 0.78 <sup>b</sup>	29.0 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	40.33 $\pm$ 0.82 <sup>b</sup>	5.27 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>	2.30 $\pm$ 0.19
$1.7 \times 10^6$	3.52 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	0.90 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	3.93 $\pm$ 0.13 <sup>d</sup>	20.59 $\pm$ 1.10 <sup>b</sup>	29.0 $\pm$ 1.67 <sup>a</sup>	32.50 $\pm$ 1.64 <sup>a</sup>	5.33 $\pm$ 0.24 <sup>b</sup>	2.35 $\pm$ 0.12
$1.5 \times 10^7$	3.16 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>	0.89 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	2.74 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	19.37 $\pm$ 1.06 <sup>b</sup>	37.4 $\pm$ 2.07 <sup>b</sup>	46.80 $\pm$ 2.49 <sup>c</sup>	4.95 $\pm$ 0.34 <sup>b</sup>	2.51 $\pm$ 0.14
$1.8 \times 10^8$	2.77 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	0.68 $\pm$ 0.13 <sup>a</sup>	2.77 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>	15.95 $\pm$ 1.09 <sup>a</sup>	42.0 $\pm$ 0.82 <sup>c</sup>	66.50 $\pm$ 5.05 <sup>c</sup>	3.25 $\pm$ 0.27 <sup>a</sup>	2.51 $\pm$ 0.07

### 3 讨论

刘玉林等<sup>[6]</sup>发现, 草鱼饲料中添加粪肠球菌可以显著提高草鱼SR、WGR及SGR, 同时还显著降低FCR。本实验中, 在饲料中添加适量粪肠球菌( $1.5 \times 10^7$  CFU/g)后显著提高了吉富罗非鱼的WGR、SGR、FI、饲料利用效率和肥满度, 同时显著增加吉富罗非鱼鱼体粗蛋白和粗脂肪含量及增强对饲料中的各营养素的沉积作用。这个结果与粪肠球菌在斜带石斑鱼<sup>[5]</sup>和奥尼罗非鱼<sup>[8]</sup>中的研究效果一致。本实验发现, 在饲料中添加适量粪肠球菌( $1.8 \times 10^8$  CFU/g)后, 罗非鱼肠道脂肪酶活性提高, 血清中总胆固醇、甘油三酯含量显著降低, 全鱼粗脂肪含量增加, 脂肪沉积率显著提高, 由此可知, 粪肠球菌可以促进鱼体内脂肪的合成代谢, 增加鱼体中脂肪的蓄积, 提高了罗非鱼对饲料脂肪的利用, 进而提高了生长性能和饲料利用率。另有研究表明, 粪肠球菌可以在消化道定植, 保护肠道黏膜, 在分泌L型乳酸的同时能将多种碳水化合物的无氮浸出物转化为乳酸, 增强肠道的消化吸收能力; 同时还会产生维生素、氨基酸、促生长因子等多种营养物质, 显著提高动物的生长速率

和饲料利用率<sup>[9-12]</sup>。此外, 粪肠球菌可以将蛋白质分解为酰胺和氨基酸<sup>[13]</sup>, 并使饲料中的纤维变软<sup>[14]</sup>, 进而提高对饲料营养物质的转化吸收率。

以FBW、WGR、SGR为评价指标, 通过二次回归分析发现, 饲料中粪肠球菌的添加量范围在 $7.5 \times 10^7 \sim 1.1 \times 10^8$  CFU/g时, 罗非鱼生长性能达到最佳。当过量添加粪肠球菌( $1.8 \times 10^8$  CFU/g)时, 罗非鱼生长性能和饲料利用效果有下降的趋势。其原因可能是粪肠球菌作为一种条件性致病菌, 过量添加会导致鱼体内菌群比例失调, 微生态平衡被打破, 从而导致生产性能下降<sup>[15]</sup>; 此外, 粪肠球菌产生过量的外源酶可能抑制了鱼体内源酶的活性, 进而降低了内源酶对营养物质的分解消化作用, 抑制了鱼体生长<sup>[16]</sup>。

肠道是鱼类主要的消化器官, 其黏膜上含有大量可水解各种营养物质的消化酶, 消化酶活性的高低直接影响到鱼类对饲料的利用程度。研究表明, 饲料中添加的乳酸菌可通过产生消化酶、提高自身的消化酶活性及刺激肠道产生应激性分泌来提高动物消化能力<sup>[11, 17-18]</sup>, 粪肠球菌作为乳酸菌的一种, 也具备相应的生理功能。本实验中, 饲料中添加粪肠球菌可以显著提高吉富罗非鱼肠道脂肪酶活性, 但却显著降

低了肠蛋白酶活性。说明粪肠球菌主要是通过提高脂肪酶的活性来促进脂肪代谢,进而达到促进生长和提高饲料利用效率的目的。此外,实验中肠道取样时将内容物排出,所测酶活性为肠道内源酶活性,而粪肠球菌分泌的外源蛋白酶抑制了内源蛋白酶活性<sup>[16]</sup>;粪肠球菌对不同发育阶段的鱼的益生作用的差异性也是一个重要原因<sup>[19-20]</sup>。

鱼类血液的生理指标是衡量机体营养和健康状况的重要指标。白细胞是机体非特异性免疫的重要部分,同时还参与机体的特异性免疫,因此WBC的大小可以反映机体的免疫能力的强弱;而RBC、MCV、HGB、MCHC是衡量鱼类血液运输氧气能力的主要指标;血小板在机体止血、伤口愈合和炎症反应等生理过程中发挥着重要作用<sup>[21]</sup>。本实验饲料中添加粪肠球菌( $1.8 \times 10^8$  CFU/g)后罗非鱼血液中的白细胞数显著降低;各添加组的血液中MCV、HGB、MCHC均显著低于对照组,即饲料中添加粪肠球菌会降低血液运输氧气的能力,即鱼体耐低氧的能力降低,而由于实验过程氧气充足,故未对实验鱼的生长造成影响;各添加组PLT均显著低于对照组,说明粪肠球菌对罗非鱼的机体损伤自身修复作用存在不利影响。粪肠球菌对实验动物在免疫能力、氧气运输能力和机体损伤修复能力方面的不良影响还暂未见报道,其具体机理还有待进一步研究。

鱼类的血清生化指标与鱼体的代谢、营养状况及疾病有密切联系,被广泛用于评价鱼体的生理状况。血清中TC和TG含量是反映机体脂质代谢功能是否正常的主要指标。本实验中,饲料中添加粪肠球菌可以显著降低吉富罗非鱼血清中TC和TG的含量,且降低作用随添加水平的增加而增大。王文梅等<sup>[22]</sup>认为,乳酸菌可以通过调控HMG-CoA还原酶和CYP7A1来降低TC的合成,同时能够影响尼曼—匹克C1型类似蛋白1、脂类代谢相关基因的表达以及降低胆酸的吸收,以此达到降低TC含量的作用。此外,乳酸菌在机体内可将TC紧紧地结合在细胞膜上,进而吸收到细胞里,最终随着菌体和粪便被排出机体,从而达到了降低TC的效果<sup>[23]</sup>,而本实验中 $1.5 \times 10^7$  CFU/g组的脂肪沉积率的显著提高是摄食量显著增加的结果。GLU是机体内的主要供能物质,同时也是机体组织的重要组成部分。在本实验中,粪肠球菌添加浓度达到 $1.5 \times 10^7$  CFU/g

时,血清中GLU含量显著降低。一般情况下,当机体内的合成代谢活动增强时,血清中的GLU含量会下降。有研究认为乳酸菌可以增强罗非鱼的合成代谢活动,促进鱼体对蛋白质和脂肪等营养物质的积累<sup>[8]</sup>。

ALP在机体的代谢中有非常重要的作用,其活性大小在一定程度上可以反映动物的生长代谢速度的快慢<sup>[24]</sup>。本实验中,饲料中适量添加粪肠球菌( $1.4 \times 10^5 \sim 1.5 \times 10^7$  CFU/g)显著增加血清ALP含量。ALT和AST是动物机体内重要的氨基酸转氨酶,主要分布于肝细胞中,血液中含有较低,但肝脏受损时,ALT和AST会从肝细胞中释放到血液中,从而造成在血清中的转氨酶含量升高,其升高程度与肝脏受损程度呈正相关。本实验中,随着粪肠球菌添加水平的增加,ALT和AST活性均呈先降低后增加的趋势,说明饲料中添加适量的粪肠球菌对肝脏有保护作用,但随着其添加量继续增加,则会对肝脏产生不利的影响。

T-AOC是一个用于衡量生物机体抗氧化系统状况的综合性指标,它可以在一定程度上反映出机体自由基代谢的情况。MDA是机体自由基触发脂质过氧化反应后的终产物,它可以使含氨基的蛋白质、核酸等物质发生交联并失活,因此它可以间接反映细胞的受损程度<sup>[25]</sup>。本实验中,饲料中添加粪肠球菌( $1.8 \times 10^8$  CFU/g)后血清中MDA含量显著降低,对机体T-AOC无显著影响,说明粪肠球菌可以在一定程度上增强吉富罗非鱼的抗氧化能力,降低机体内脂质过氧化和肝脏细胞受损程度。有研究表明,乳酸菌可以通过产生超氧化物歧化酶和谷胱甘肽来清除机体自由基、过氧化氢以及提高抗脂质氧化的能力<sup>[26]</sup>。

#### 4 小结

本实验条件下,吉富罗非鱼(50~210 g)饲料中的粪肠球菌适宜添加量为 $7.5 \times 10^7 \sim 1.1 \times 10^8$  CFU/g。在 $1.4 \times 10^5 \sim 1.8 \times 10^8$  CFU/g添加范围内可以显著提高罗非鱼的生长性能、降低饲料系数、增加营养素沉积、提高肠道脂肪酶活性、改善肝脏健康水平和增强机体抗氧化能力等;但是会降低吉富罗非鱼的血液载氧能力、白细胞和血小板数量。

黄旺与李洪琴为共同第一作者。

## 参考文献:

- [ 1 ] Zar J L B, de Blas I, Ruiz-Zarzuela I, *et al.* The role of probiotics in aquaculture[J]. *Veterinary Microbiology*, 2006, 114(114):173-186.
- [ 2 ] Scharek L, Guth J, Reiter K, *et al.* Influence of a probiotic *Enterococcus faecium* strain on development of the immune system of sows and piglets [J]. *Veterinary Immunology And Immunopathology*, 2005, 105(1-2):151-161.
- [ 3 ] 魏清甜, 李平华, 汪涵, 等. 粪肠球菌替代抗生素对保育仔猪生长性能、腹泻率、体液免疫指标和肠道微生物数量的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2014, 37(6): 143-148.
- Wei Q T, Li P H, Wang H, *et al.* Effect of dietary *Euterococcus faecalis* replacing of antibiotic on growth performance, diarrhea rate, humoral immunity and intestinal microflora of nursery pigs[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2014, 37(6): 143-148(in Chinese).
- [ 4 ] 温建新, 邵峰, 单虎. 乳酸L-68型粪肠球菌对肉鸡生产性能和免疫功能的影响[J]. *中国微生态学杂志*, 2008, 2(20): 161-163.
- Wen J X, Shao F, Shan H. Effect of *Enterococcus faecium* cernelle 68 on the growth performance and immune function of the broiler[J]. *Chinese Journal of Microecology*, 2008, 2(20):161-163(in Chinese).
- [ 5 ] Sun Y Z, Yang H L, Ma R L, *et al.* Effect of *Lactococcus lactis* and *Enterococcus faecium* on growth performance, digestive enzymes and immune response of grouper *Epinephelus coioides*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2012, 18(3): 281-289.
- [ 6 ] 刘玉林, 吴建军. 粪链球菌对草鱼生长及其养殖池塘水质的影响[J]. *长江大学学报(自然科学版)*, 2012, 9(1): 31-34.
- Liu Y L, Wu J J. Effect of *Streptococcus faecalis* on growth of grass carp and water quality of cultural pond[J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2012, 9(1): 31-34(in Chinese).
- [ 7 ] 刘翠玲. 饲料中添加微生态制剂、抗菌肽及其复合制剂对鲤鱼生长、消化和非特异性免疫相关酶活性的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- Liu C L. Effect of probiotics, antimicrobial peptides and their mixture on growth performance, digest ability and activity of the nonspecific immunity enzymes of the common carp (*Cyprinus carpio*) [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015(in Chinese).
- [ 8 ] 周晓波, 黄燕华, 曹俊明, 等. 5种乳酸菌对罗非鱼生长性能、体成分、血清生化指标及肠道菌群的影响[J]. *动物营养学报*, 2014, 7(26):1-9.
- Zhou X B, Huang Y H, Cao J M, *et al.* Effects of 5 Kinds of Lactobacillus on Growth Performance, Body Composition, Serum Biochemical Indices and Intestinal Microflora of Tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 7(26):1-9(in Chinese).
- [ 9 ] Gatesoupe F J. The effect of three strains of lactic bacteria on the production rate of rotifers, *Brachionus plicatilis*, and their dietary value for larval turbot, *Scophthalmus maximus*[J]. *Aquaculture*, 1991, 96(3-4): 335-342.
- [10] 江永明, 付天玺, 张丽, 等. 微生物制剂对奥尼罗非鱼生长及消化酶活性的影响[J]. *水生生物学报*, 2011, 35(6): 998-1004.
- Jiang Y M, Fu T Y, Zhang L, *et al.* Effect of feeding microorganisms on growth performance and the activities enzymes of *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35(6): 998-1004(in Chinese).
- [11] 王国霞, 黄燕华, 周晔, 等. 乳酸菌对凡纳滨对虾幼虾生长性能、消化酶活性和非特异性免疫的影响[J]. *动物营养学报*, 2010, 22(1): 228-234.
- Wang G X, Huang Y H, Zhou Y, *et al.* Effects of lactobacillus on growth performance, digestive enzyme activities and non-specific immunity of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2010, 22(1): 228-234(in Chinese).
- [12] Abe F, Ishibashi N, Shimamura S. Effect of administration of *Bifidobacteria* and *Lactic acid bacteria* to newborn calves and piglets[J]. *Journal of Dairy Science*, 1995, 78(12): 2838-2846.
- [13] 荆祎, 李光玉, 刘晗璐, 等. 不同乳酸杆菌添加剂对水貂生长性能、营养物质消化率、氮平衡及血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2013, 25(9): 2160-2167.
- Jin W, Li G Y, Liu H L, *et al.* Effects of different *Lactobacillus* additives on growth performance, nutrient digestibility, nitrogen balance and serum biochemical indices of minks[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(9): 2160-2167(in Chinese).



- [14] 席兴军, 韩鲁佳, 原慎一郎, 等. 添加乳酸菌和纤维素酶对玉米秸秆青贮饲料品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(2): 21-24.  
Xi X J, Han L J, Yuan S Y L, *et al.* Effects of *Lactobacillus* and cellulase on the quality of corn stover silage[J]. Journal of China Agricultural University, 2003, 8(2): 21-24(in Chinese).
- [15] 刘延贺, 苑会珍. 不同营养及铜水平条件下芽孢杆菌微生物添加剂对猪免疫性能的影响[J]. 饲料工业, 1998, 19(10): 29-30.  
Liu Y H, Yuan H Z. Effects of different nutrition and copper levels on immune function of pigs under the condition of *Bacillus*[J]. Feed Industry, 1998, 19(10): 29-30(in Chinese).
- [16] 王爱民. 外源酶对异育银鲫消化道与肝胰脏酶活性、肠道组织及生产性能的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2003.  
Wang A M. Effects of exogenous enzymes on intestine and hepatic-pancreas enzymes activity, intestine tissue and performance of Allogynogenetic Crucian Carp[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2003(in Chinese).
- [17] Suzer C, Oban D, Kamaci H O, *et al.* Lactobacillus spp. bacteria as probiotics in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) larvae: effects on growth performance and digestive enzyme activities[J]. Aquaculture, 2008, 280(1-4): 140-145.
- [18] Askarian F, Kousha A, Salma W, *et al.* The effect of Lactic acid bacteria administration on growth, digestive enzyme activity and gut microbiota in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) and beluga (*Huso huso*) fry[J]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(5): 488-497.
- [19] 高进. 微生态制剂对大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)稚鱼生长、存活、消化酶活力及抗胁迫能力的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.  
Gao J. Effects of dietary probiotics or/and prebiotics on growth, survival, activities of digestive enzymes and stress resistance of large yellow croaker (*Pseudosciaerca crocea*) larvae[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010(in Chinese).
- [20] Tovar D, Zambonino J, Cahu C, *et al.* Effect of live yeast incorporation in compound diet on digestive enzyme activity in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae[J]. Aquaculture, 2002, 204(1-2): 113-123.
- [21] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州: 中山大学出版社, 2011.  
Lin H R. Fish Physiology[M]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press, 2011(in Chinese).
- [22] 王文梅, 许丽. 乳酸菌体外和体内降解胆固醇的机理及其应用[J]. 动物营养学报, 2014, 26(2): 295-303.  
Wang W M, Xu L. Lactic acid bacteria: mechanisms for cholesterol degradation in and *in Vivo* and its application[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(2): 295-303(in Chinese).
- [23] 王艳萍, 许女, 白小佳. 植物乳杆菌MA2对大鼠血脂代谢的影响[J]. 中国酿造, 2009, 28(10): 68-71.  
Wang Y P, Xu N, Bai X J. Effects of *Lactobacillus plantarum* MA2 on the blood lipid metabolism of rats[J]. China Brewing, 2009, 28(10): 68-71(in Chinese).
- [24] 罗莉, 李英文, 林仕梅, 等. 半胱胺对草鱼酮体代谢、转氨酶和碱性磷酸酶活性的影响[J]. 饲料广角, 2003(16): 33-35.  
Luo L, Li Y W, Lin S M, *et al.* Effect of Cysteamine on ketone body metabolism, aminotransferase and alkaline phosphatase activity of grass carp(*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Feed China, 2003(16): 33-35(in Chinese).
- [25] 张江巍. 乳酸菌抗氧化活性的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2006.  
Zhang J W. Antioxidative activity of Lactic acid bacteria[D]. Nanchang: Nanchang University, 2006(in Chinese).
- [26] 孟凡伦, 马桂荣, 孔健. 益生菌制剂在中国对虾养殖中的应用研究[J]. 山东大学学报(自然科学版), 1998, 33(1): 103-107.  
Meng F L, Ma G R, Kong J. Studies of probiotics preparation on the culture of *Penaeus chinensis*[J]. Journal of Shandong University (Natural Science Edition), 1998, 33(1): 103-107(in Chinese).

## Effects of *Enterococcus faecalis* on growth performance, body composition, blood physiological and biochemical indexes and digestive enzyme of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*)

HUANG Wang<sup>1</sup>, LI Hongqin<sup>2,3</sup>, LUO Li<sup>1\*</sup>, CHEN Yongjun<sup>1</sup>, BAI Fujin<sup>1</sup>, LIN Ken<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Reproduction and Development, Ministry of Education, College of Animal and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. New Hope Liuhe Limited Liability Company, Chengdu 610041, China;

3. College of Animal Science and Technology, College of Veterinary Medicine, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to investigate the effects of *Enterococcus faecalis* on growth performance, body composition, digestive ability and blood physiological and biochemical parameters of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*). 300 fish of initial body weight (50.59±0.59)g were randomly divided into 5 groups, and each group was fed to triplicate repeats of 20 fish for 60 days. Each group was fed five isonitrogenous (crude protein 36%) and isolipidic (ether extract 6.75%) diets which added respectively  $1.3 \times 10^2$  (control),  $1.4 \times 10^5$ ,  $1.7 \times 10^6$ ,  $1.5 \times 10^7$  and  $1.8 \times 10^8$  CFU/g (measured) *E. faecalis*. The results showed as follows: Compared with control group, the final body weight (FBW), weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR) and feed intake (FI) in the group of  $1.5 \times 10^7$  CFU/g reached a maximum and were significantly increased, and the feed conversion ratio (FCR) in this group was significantly reduced. Based on FBW, WGR and SGR, quadratic regression analysis projected the optimal concentration range for GIFT tilapia feed to  $7.5 \times 10^7$ – $1.1 \times 10^8$  CFU/g. Compared with control group, the whole body crude protein content in all addition groups was significantly increased, and the whole body crude fat content in the group of  $1.5 \times 10^7$  CFU/g was significantly increased, there was not significant difference of the whole body moisture and crude ash content among all groups. The dry matter, protein, fat and ash deposition rate in the group of  $1.5 \times 10^7$  CFU/g are significantly higher than the control group. Compared with control group, the intestinal lipase activity was significantly increased in the group of  $1.5 \times 10^7$  CFU/g and  $1.8 \times 10^8$  CFU/g and intestinal protease activity was significantly reduced in the group of  $1.8 \times 10^8$  CFU/g. Adding *E. faecalis* to feed had no significant effect on intestinal amylase activity. The mean corpuscular volume, hemoglobin concentration and the number of platelets in the group of  $1.5 \times 10^7$  CFU/g are significantly lower than the control group. The erythrocyte count was not significantly different among all groups. The serum cholesterol, glucose content and the content of malonaldehyde in the group of  $1.8 \times 10^8$  CFU/g were significantly reduced compared with control group. Compared with control group, the activity of alkaline phosphatase in the group of  $1.5 \times 10^7$  CFU/g was significantly increased, but the activities of glutamic pyruvic transaminase and glutamic pyruvic transaminase in this group were significantly reduced. In conclusion, the suitable concentration range of *E. faecalis* for GIFT tilapia feed is  $7.5 \times 10^7$ – $1.1 \times 10^8$  CFU/g, but adding *E. faecalis* has an adverse effect upon the ability of carrying oxygen of blood.

**Key words:** GIFT *Oreochromis niloticus*; *Enterococcus faecalis*; growth performance; body composition; digestive enzyme; blood indexes

**Corresponding author:** LUO Li. E-mail: luoli1972@163.com

**Funding projects:** National Technology Program in 12th Five-year Plan (2011BAD26B01-3)