

# 饲料中添加乳酸杆菌对幼建鲤生长性能和消化吸收功能的影响

刘羽 冯琳 陈岗富 刘扬 吴培 周小秋\*

(四川农业大学动物营养研究所, 鱼的营养与安全生产四川省高校重点实验室, 雅安 625014)

**摘要:** 本试验旨在研究饲料中添加乳酸杆菌对幼建鲤生长性能和消化吸收功能的影响。选择平均体重为(22.35 ± 0.06) g的健康幼建鲤720尾, 随机分成6组, 每组设3个重复, 每个重复40尾, 分别饲喂乳酸杆菌含量为0(对照组)、 $0.45 \times 10^7$ 、 $0.91 \times 10^7$ 、 $1.31 \times 10^7$ 、 $2.14 \times 10^7$ 和 $2.40 \times 10^7$  cfu/kg的试验饲料80 d。结果表明, 各乳酸杆菌组的末重、增重率和摄食量均显著或极显著高于对照组( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ )。当乳酸杆菌含量  $> 0.45 \times 10^7$  cfu/kg时, 幼建鲤蛋白质沉积率和脂肪沉积率均极显著提高( $P < 0.01$ ); 当乳酸杆菌含量  $> 0.91 \times 10^7$  cfu/kg时, 幼建鲤灰分沉积率极显著高于对照组( $P < 0.01$ )。饲料中添加乳酸杆菌可以显著或极显著提高幼建鲤肝脏和肠重、肝胰脏和肠蛋白质含量以及前、中、后肠皱襞高度( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ )。当乳酸杆菌含量  $> 0.45 \times 10^7$  cfu/kg时, 肠道糜蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性极显著升高( $P < 0.01$ ); 当乳酸杆菌含量  $> 0.91 \times 10^7$  cfu/kg时, 肠道胰蛋白酶活性显著升高( $P < 0.05$ )。对照组前、中、后肠碱性磷酸酶、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ -ATP酶、 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶以及全肠肌酸激酶活性显著或极显著低于各乳酸杆菌组( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ )。由此得出, 饲料中添加乳酸杆菌可以促进幼建鲤的生长, 同时促进其消化器官的生长发育, 提高幼建鲤的消化和吸收能力。以幼建鲤增重率为标识, 根据折线法确定的乳酸杆菌最适添加量为  $0.99 \times 10^7$  cfu/kg。

**关键词:** 幼建鲤; 乳酸杆菌; 生长性能; 消化吸收

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2011)08-1386-08

近年来, 由抗生素引发的药物残留、抗药性以及食品安全问题已引起人们的高度关注, 因此控制和减少抗生素的使用已成为重点。目前, 在动物上已开展了大量益生菌替代抗生素的研究, 也开发出一些微生态制剂并应用于饲料中。乳酸菌是一类以碳水化合物为原料发酵产生乳酸的细菌的总称, 是动物肠道中最重要的有益微生物之一, 其作为益生菌添加剂已开始于动物饲料中研究应用<sup>[1-6]</sup>。已有研究表明, 在普通鲤鱼<sup>[3-4]</sup>、虹鳟<sup>[5]</sup>和尼罗罗非鱼<sup>[6]</sup>等鱼类的饲料中添加乳酸杆菌能提高其生长性能。但关于饲料中添加乳酸杆菌对

鱼类消化吸收功能的影响尚缺乏系统深入的研究。因此, 本研究旨在探讨饲料中添加乳酸杆菌对幼建鲤消化吸收功能的影响及其适宜添加水平, 以期为生产实践提供指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

植物性乳酸杆菌预混剂(韩国 JSC Bio-teck 公司), 活菌数为  $1 \times 10^7$  cfu/g。

### 1.2 试验设计与饲料

选用720尾平均体重为(22.35 ± 0.06) g的

收稿日期: 2011-03-02

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费资助(201003020)

作者简介: 刘羽(1982—), 女, 重庆垫江人, 硕士研究生, 从事水生动物营养研究。E-mail: 602249228@qq.com

\* 通讯作者: 周小秋, 教授, 博士生导师, E-mail: zhouxq@sicua.edu.cn

健康幼建鲤,随机分成6组,每组设3个重复,每个重复40尾鱼,分别饲喂乳酸杆菌含量为0(对照组)、 $0.45 \times 10^7$ 、 $0.91 \times 10^7$ 、 $1.31 \times 10^7$ 、 $2.14 \times 10^7$ 和 $2.40 \times 10^7$  cfu/kg的试验饲料,试验期80 d。试验饲料以鱼粉、大米蛋白粉、豆粕为蛋白质源,其组成及营养水平见表1。所有试验原料经粉碎后过60目筛,混匀后加入33%的水进行冷压制粒,粒径为1.5 mm,自然风干后 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存备用,并取样检测活菌数量。

### 1.3 饲养管理

鱼苗购回驯化30 d后开始试验,试验鱼饲养于循环流水过滤水族箱( $90\text{ cm} \times 55\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ )中,水源为曝气自来水,水温为( $25 \pm 1$ )  $^{\circ}\text{C}$ , pH 7.0左右,溶氧保持在5 mg/L以上。试验期间每天投喂6次,保证每次饲喂30 min后有剩料,并使用小型抽料泵迅速抽吸剩料置于能滤水的塑料筐内,自然风干后称重,计算摄食量。

### 1.4 指标测定

#### 1.4.1 生长性能

试验开始和结束时对试验鱼称重,计算增重率。试验期间记录每天的投饲量,收集残饵并烘干称重,试验结束后计算摄食量和饲料效率。试验前随机选取与试验鱼体重一致的10尾鱼,试验结束时每重复随机选取5尾鱼,经冷冻干燥后分别用凯氏定氮法、索氏抽提法和高温灼烧法测定鱼体蛋白质、脂肪和灰分含量,并计算鱼体蛋白质、脂肪和灰分的沉积率。

增重率 (weight gain ratio, WGR) =

$$100 \times [\text{终末鱼重}(\text{g}/\text{尾}) - \text{初始鱼重}(\text{g}/\text{尾})] / \text{初始鱼重}(\text{g}/\text{尾});$$

饲料效率 (feed efficiency, FE) =

$$100 \times \text{增重}(\text{g}/\text{尾}) / \text{摄食量}(\text{g}/\text{尾});$$

蛋白质沉积率 (productive protein value, PPV) =

$$100 \times [\text{终末鱼体蛋白质总量}(\text{g}) - \text{初始鱼体蛋白质总量}(\text{g})] / \text{试验期内蛋白质摄入总量}(\text{g});$$

脂肪沉积率 (productive lipid value, PLV) =

$$100 \times [\text{终末鱼体脂肪总量}(\text{g}) - \text{初始鱼体脂肪总量}(\text{g})] / \text{试验期内脂肪摄入总量}(\text{g});$$

灰分沉积率 (productive ash value, PAV) =

$$100 \times [\text{终末鱼体灰分总量}(\text{g}) - \text{初始鱼体灰分总量}(\text{g})] /$$

试验期内灰分摄入总量(g)。

#### 1.4.2 肝胰脏和肠重及蛋白质含量

试验结束时,每个重复选取体重接近的25尾鱼,分离出肝胰脏与肠道,称重后经液氮速冻后, $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存备用。每个重复随机选5尾鱼的肝胰脏和肠道,用考马斯亮蓝法测定其蛋白质含量。

#### 1.4.3 肠道皱襞高度

试验结束时,每个重复选取体重接近的5尾鱼,分离前、中和后肠,分别固定于10%福尔马林溶液中,常规切片和HE染色,用目视测微尺测定肠道皱襞高度。

#### 1.4.4 肠道消化酶和刷状缘酶活性

每个重复随机选5尾鱼的肠道,加入重量体积比为10:1生理盐水后在冰浴中先用剪刀剪碎,再经超声波细胞破碎制成组织匀浆,经 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$   $6\ 000 \times g$ 离心20 min后收集上清液,保存于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,用于测定肠道消化酶(胰蛋白酶、糜蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶)和刷状缘酶(碱性磷酸酶、 $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATP酶、 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶和肌酸激酶)活性,用相应试剂盒(南京建成生物工程研究所生产)测定,具体操作按试剂盒说明书进行。

### 1.5 数据分析

试验数据用SPSS 11.5进行方差分析,结合Duncan氏法进行多重比较,检验组间差异显著性,结果以平均值 $\pm$ 标准差表示。

## 2 结果

### 2.1 生长性能

由表2可知,各乳酸杆菌组的末重、增重率和摄食量均显著或极显著高于对照组( $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ ),且 $0.45 \times 10^7$  cfu/kg组亦极显著低于乳酸杆菌含量 $\geq 0.91 \times 10^7$  cfu/kg的各组( $P < 0.01$ )。当乳酸杆菌含量为 $2.40 \times 10^7$  cfu/kg时,其饲料效率显著高于对照组( $P < 0.05$ ),其他各组间差异不显著( $P > 0.05$ )。乳酸杆菌含量 $> 0.45 \times 10^7$  cfu/kg时,幼建鲤蛋白质沉积率和脂肪沉积率均极显著提高( $P < 0.01$ ),而乳酸杆菌含量 $> 0.91 \times 10^7$  cfu/kg时,幼建鲤灰分沉积率极显著高于对照组( $P < 0.01$ )。以幼建鲤增重率为标识,根据折线法确定的乳酸杆菌最适添加量为 $0.99 \times 10^7$  cfu/kg ( $y = 0.000\ 005x + 341.97$ ,  $R^2 = 0.992$ ;  $y_{\max} = 391.67$ )。

表 1 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)

%

项目 Items	乳酸杆菌含量 <i>L. fermentum</i> contents/(cfu/kg)					
	0	$0.45 \times 10^7$	$0.91 \times 10^7$	$1.31 \times 10^7$	$2.14 \times 10^7$	$2.40 \times 10^7$
原料 Ingredients						
鱼粉 Fish meal	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
豆粕 Soybean meal	21.55	21.55	21.55	21.55	21.55	21.55
大米蛋白粉 Rice gluten meal	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40
$\alpha$ -淀粉 $\alpha$ -starch	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
面粉 Flour	13.70	13.70	13.70	13.70	13.70	13.70
鱼油 Fish oil	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
大豆油 Soybean oil	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
DL-蛋氨酸 DL-Met(98%)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
赖氨酸 Lys	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (22%)	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
乙氧基喹啉 Ethoxyquin (30%)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
羧甲基纤维素 Carboxymethyl cellulose	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
矿物质预混料 Mineral premix <sup>1)</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素预混料 Vitamin premix <sup>2)</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
乳酸杆菌预混料 <i>L. fermentum</i> premix <sup>3)</sup>	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>4)</sup>						
粗蛋白质 CP	33.30	33.30	33.30	33.30	33.30	33.30
粗脂肪 EE	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11
粗灰分 Crude ash	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22
赖氨酸 Lys	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
蛋氨酸 Met	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
有效磷 AP	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
乳酸杆菌 <i>L. fermentum</i> /(cfu/kg)	0.00	$0.45 \times 10^7$	$0.91 \times 10^7$	$1.31 \times 10^7$	$2.14 \times 10^7$	$2.40 \times 10^7$

<sup>1)</sup>每千克矿物质预混料含 One kilogram of mineral premix contains:  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (21.70% Fe) 152.284 0 g,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (25.00% Cu) 2.400 0 g,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (22.50% Zn) 26.648 0 g,  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (31.80% Mn) 8.176 0 g, KI (3.8% I) 5.788 0 g,  $\text{NaSeO}_3$  (1.00% Se) 5.000 0 g,  $\text{CaCO}_3$  799.704 0 g。

<sup>2)</sup>每千克维生素预混料含 One kilogram of vitamin premix contains: VA 醋酸酯 retinyl acetate (500 000 IU/g) 0.800 g, VD<sub>3</sub> (500 000 IU/g) 4.800 g, DL-生育酚醋酸酯 DL-tocopherol acetate (50%) 20.000 g, 亚硫酸烟酰胺甲萘醌 menadiene sodium bisulfite (50%) 0.200 0 g, 硝酸硫胺素 thiamin nitrate (98%) 0.063 g, 钴胺素 cyanocobalamin (10%) 0.010 g, D-生物素 D-biotin(20%) 0.500 g, 核黄素 riboflavine (80%) 0.625 g, D-泛酸钙 calcium-D-pantothenate(98%) 2.511 g, 盐酸吡哆醇 pyridoxine hydrochloride (98%) 0.755 g, 烟酸 niacin (98%) 2.857 g, 肌醇 inositol(98%) 52.857 g, 叶酸 folic acid (96%) 0.521 g, 玉米淀粉 corn starch 913.501 g。

<sup>3)</sup>每千克乳酸杆菌预混料含 One kilogram of *L. fermentum* premix contains: 组 1 group 1, 乳酸杆菌制剂 *L. fermentum* preparation 0.000 g, 玉米淀粉 corn starch 1 000.000 g; 组 2 group 2, 乳酸杆菌制剂 *L. fermentum* preparation 16.700 g, 玉米淀粉 corn starch 983.300 g; 组 3 group 3, 乳酸杆菌制剂 *L. fermentum* preparation 33.300 g, 玉米淀粉 corn starch 966.700 g; 组 4 group 4, 乳酸杆菌制剂 *L. fermentum* preparation 50.000 g, 玉米淀粉 corn starch 950.000 g; 组 5 group 5, 乳酸杆菌制剂 *L. fermentum* preparation 66.700 g, 玉米淀粉 corn starch 933.300 g; 组 6 group 6, 乳酸杆菌制剂 *L. fermentum* preparation 83.300 g, 玉米淀粉 corn starch 916.700 g。

<sup>4)</sup>粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分和乳酸杆菌为实测值,其余为计算。CP, EE, crude ash and *L. fermentum* were measured values, while others were calculated values.

表2 饲料中添加乳酸杆菌对幼建鲤生长性能的影响

Table 2 Effect of *L. fermentum* supplementation on growth performance of juvenile Jian carp

项目 Items	乳酸杆菌含量 <i>L. fermentum</i> contents/(cfu/kg)					
	0	$0.45 \times 10^7$	$0.91 \times 10^7$	$1.31 \times 10^7$	$2.14 \times 10^7$	$2.40 \times 10^7$
初重 Initial weight/g	22.33 ± 0.05 <sup>Aa</sup>	22.34 ± 0.07 <sup>Aa</sup>	22.36 ± 0.07 <sup>Aa</sup>	22.36 ± 0.07 <sup>Aa</sup>	22.35 ± 0.04 <sup>Aa</sup>	22.36 ± 0.06 <sup>Aa</sup>
末重 Final weight/g	99.05 ± 4.61 <sup>Aa</sup>	103.58 ± 1.38 <sup>Ab</sup>	109.79 ± 1.63 <sup>Bc</sup>	109.45 ± 0.83 <sup>Bc</sup>	109.59 ± 0.56 <sup>Bc</sup>	110.82 ± 1.37 <sup>Bc</sup>
增重率 WGR/%	343.21 ± 20.85 <sup>Aa</sup>	363.45 ± 6.48 <sup>Ab</sup>	391.11 ± 7.19 <sup>Bc</sup>	389.62 ± 3.84 <sup>Bc</sup>	390.24 ± 2.46 <sup>Bc</sup>	395.7 ± 6.38 <sup>Bc</sup>
摄食量 FI/g	111.82 ± 0.78 <sup>Aa</sup>	117.97 ± 1.25 <sup>Bb</sup>	121.37 ± 0.10 <sup>Cc</sup>	121.75 ± 0.36 <sup>Cc</sup>	121.54 ± 0.59 <sup>Cc</sup>	122.04 ± 0.76 <sup>Cc</sup>
饲料效率 FE	68.59 ± 3.71 <sup>Aa</sup>	68.87 ± 0.75 <sup>Aa</sup>	72.03 ± 1.38 <sup>Aab</sup>	71.54 ± 0.91 <sup>Aab</sup>	71.77 ± 0.75 <sup>Aab</sup>	72.49 ± 1.62 <sup>Ab</sup>
蛋白质沉积率 PPV	32.04 ± 0.30 <sup>Aa</sup>	32.64 ± 0.41 <sup>Ab</sup>	34.26 ± 0.37 <sup>Bc</sup>	34.00 ± 0.22 <sup>Bc</sup>	34.09 ± 0.43 <sup>Bc</sup>	34.43 ± 0.44 <sup>Bc</sup>
脂肪沉积率 PLV	89.00 ± 3.10 <sup>Aa</sup>	92.62 ± 6.46 <sup>Aa</sup>	106.15 ± 7.37 <sup>Bb</sup>	105.79 ± 3.91 <sup>Bb</sup>	107.88 ± 4.07 <sup>Bb</sup>	108.57 ± 4.33 <sup>Bb</sup>
灰分沉积率 PAV	65.89 ± 3.58 <sup>Aa</sup>	68.28 ± 0.72 <sup>ABa</sup>	68.99 ± 1.36 <sup>ABCa</sup>	73.61 ± 0.91 <sup>Cb</sup>	72.38 ± 0.78 <sup>BCb</sup>	72.70 ± 1.58 <sup>BCb</sup>

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ), and with different capital letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.01$ ). The same as below.

## 2.2 消化器官生长发育

由表3可知,对照组肝胰脏重、肝胰脏蛋白质含量和肠蛋白质含量极显著低于其余各组 ( $P < 0.01$ ), 而乳酸杆菌含量  $> 0.45 \times 10^7$  cfu/kg 的各

组肠重极显著高于对照组和  $0.45 \times 10^7$  组 ( $P < 0.01$ ), 且  $0.45 \times 10^7$  组显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。

表3 饲料中添加乳酸杆菌对幼建鲤肝胰脏重、肝胰脏蛋白质含量、肠重和肠蛋白质含量的影响

Table 3 Effect of *L. fermentum* supplementation on hepatopancreas weight (HW), hepatopancreas protein content (HPC), intestine weight (IW) and intestine protein content (IPC) of juvenile Jian carp

项目 Items	乳酸杆菌含量 <i>L. fermentum</i> contents/(cfu/kg)					
	0	$0.45 \times 10^7$	$0.91 \times 10^7$	$1.31 \times 10^7$	$2.14 \times 10^7$	$2.40 \times 10^7$
肝胰脏重 HW/g	2.19 ± 0.27 <sup>Aa</sup>	2.68 ± 0.34 <sup>Bb</sup>	3.78 ± 0.49 <sup>Cc</sup>	3.65 ± 0.51 <sup>Cc</sup>	3.60 ± 0.56 <sup>Cc</sup>	3.73 ± 0.53 <sup>Cc</sup>
肝胰脏蛋白质含量 HPC/%	8.64 ± 0.27 <sup>Aa</sup>	9.46 ± 0.29 <sup>Bb</sup>	10.07 ± 0.25 <sup>BCc</sup>	10.04 ± 0.39 <sup>BCc</sup>	10.01 ± 0.42 <sup>BCc</sup>	10.19 ± 0.30 <sup>Cc</sup>
肠重 IW/g	2.11 ± 0.27 <sup>Aa</sup>	2.37 ± 0.29 <sup>Ab</sup>	3.00 ± 0.36 <sup>BC</sup>	3.00 ± 0.28 <sup>Bc</sup>	2.91 ± 0.38 <sup>Bc</sup>	2.99 ± 0.26 <sup>Bc</sup>
肠蛋白质含量 IPC/%	6.39 ± 0.32 <sup>Aa</sup>	7.03 ± 0.33 <sup>Bb</sup>	7.46 ± 0.22 <sup>Bc</sup>	8.22 ± 0.32 <sup>Cd</sup>	8.31 ± 0.38 <sup>Cd</sup>	8.40 ± 0.29 <sup>Cd</sup>

## 2.3 肠道皱襞高度

由表4可知,对照组和  $0.45 \times 10^7$  cfu/kg 组的幼建鲤前、中、后肠皱襞高度均极显著低于其余各

组 ( $P < 0.01$ ), 而对照组前、中、后肠皱襞高度亦极显著低于  $0.45 \times 10^7$  cfu/kg 组 ( $P < 0.01$ ), 其余各组间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表4 饲料中添加乳酸杆菌对幼建鲤前、中和后肠皱襞高度的影响

Table 4 Effect of *L. fermentum* supplementation on fold height in foregut, midgut and hindgut of juvenile Jian carp

项目 Items	乳酸杆菌含量 <i>L. fermentum</i> contents/(cfu/kg)					
	0	$0.45 \times 10^7$	$0.91 \times 10^7$	$1.31 \times 10^7$	$2.14 \times 10^7$	$2.40 \times 10^7$
前肠 Foregut	803.7 ± 15.6 <sup>Aa</sup>	929.4 ± 13.6 <sup>Bb</sup>	1056.8 ± 12.1 <sup>Cc</sup>	1064.2 ± 19.3 <sup>Cc</sup>	1066.7 ± 4.2 <sup>Cc</sup>	1069.7 ± 4.5 <sup>Cc</sup>
中肠 Midgut	489.6 ± 13.3 <sup>Aa</sup>	586.0 ± 3.8 <sup>Bb</sup>	654.4 ± 5.0 <sup>Cc</sup>	655.3 ± 3.0 <sup>Cc</sup>	654.3 ± 4.8 <sup>Cc</sup>	660.9 ± 8.3 <sup>Cc</sup>
后肠 Hindgut	543.3 ± 8.4 <sup>Aa</sup>	637.0 ± 3.6 <sup>Bb</sup>	704.4 ± 3.7 <sup>Cc</sup>	707.2 ± 8.0 <sup>Cc</sup>	708.0 ± 2.8 <sup>Cc</sup>	710.9 ± 2.4 <sup>Cc</sup>

μm

## 2.4 肠道消化酶和刷状缘酶活性

由表 5 可知,对照组和  $0.45 \times 10^7$  cfu/kg 组的肠道糜蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性极显著低于其余各组 ( $P < 0.01$ ),其余各组间差异不显著

( $P > 0.05$ );与对照组相比,乳酸杆菌含量  $> 0.91 \times 10^7$  cfu/kg 的各组肠道胰蛋白酶活性显著升高 ( $P < 0.05$ )。

表 5 饲料中添加乳酸杆菌对幼建鲤肠道胰蛋白酶、糜蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性的影响  
Table 5 Effect of *L. fermentum* supplementation on the activities of trypsin, chymotrypsin, lipase and amylase in intestine of juvenile Jian carp

项目 Items	乳酸杆菌含量 <i>L. fermentum</i> contents/(cfu/kg)					
	0	$0.45 \times 10^7$	$0.91 \times 10^7$	$1.31 \times 10^7$	$2.14 \times 10^7$	$2.40 \times 10^7$
胰蛋白酶 Trypsin/( $\Delta$ A/min)	$2.99 \pm 0.18^{Aa}$	$3.07 \pm 0.04^{Ab}$	$3.09 \pm 0.07^{Ab}$	$3.15 \pm 0.07^{Ab}$	$3.13 \pm 0.07^{Ab}$	$3.14 \pm 0.06^{Ab}$
糜蛋白酶 Chymotrypsin/( $\Delta$ A/min)	$2.94 \pm 0.27^{Aa}$	$3.98 \pm 0.35^{Bb}$	$7.02 \pm 0.36^{Cc}$	$6.92 \pm 0.44^{Cc}$	$7.05 \pm 0.41^{Cc}$	$7.26 \pm 0.55^{Cc}$
脂肪酶 Lipase/(U/g)	235.01 $\pm 15.11^{Aa}$	350.38 $\pm 24.36^{Bb}$	525.57 $\pm 19.11^{Cc}$	508.48 $\pm 17.87^{Cc}$	499.93 $\pm 24.36^{Cc}$	504.21 $\pm 38.81^{Cc}$
淀粉酶 Amylase/(U/g)	1 551.52 $\pm 39.51^{Aa}$	1 660.60 $\pm 25.35^{Bb}$	1 739.39 $\pm 34.55^{Cc}$	1 745.45 $\pm 34.55^{Cc}$	1 721.21 $\pm 39.51^{Bc}$	1 751.52 $\pm 49.79^{Cc}$

由表 6 可知,对照组前、中、后肠碱性磷酸酶、 $Na^+, K^+$ -ATP 酶、 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶以及全肠肌酸激酶活性显著或极显著低于各乳酸杆菌组 ( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ )。当乳酸杆菌含量达到  $0.91 \times$

$10^7$  cfu/kg 后,前、中、后肠碱性磷酸酶、 $Na^+, K^+$ -ATP 酶、 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶活性无显著变化 ( $P > 0.05$ )。当乳酸杆菌含量达到  $1.31 \times 10^7$  cfu/kg 时,全肠肌酸激酶活性无显著变化 ( $P > 0.05$ )。

表 6 饲料中添加乳酸杆菌对肠道碱性磷酸酶、 $Na^+, K^+$ -ATP 酶、 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶和肌酸激酶活性的影响  
Table 6 Effect of *L. fermentum* supplementation on the activities of alkaline phosphatase (AKP),  $Na^+, K^+$ -ATPase,  $\gamma$ -glutamyl transpeptidase ( $\gamma$ -GT) and creatine kinase (CK) in intestine of juvenile Jian carp U/g

项目 Items	乳酸杆菌含量 <i>L. fermentum</i> contents/(cfu/kg)					
	0	$0.45 \times 10^7$	$0.91 \times 10^7$	$1.31 \times 10^7$	$2.14 \times 10^7$	$2.40 \times 10^7$
碱性磷酸酶 AKP						
前肠 Foregut	$8.00 \pm 0.49^{Aa}$	$9.66 \pm 0.56^{Bb}$	$15.63 \pm 1.20^{Cc}$	$15.51 \pm 1.12^{Cc}$	$15.57 \pm 0.99^{Cc}$	$15.75 \pm 0.67^{Cc}$
中肠 Midgut	$5.11 \pm 0.47^{Aa}$	$6.34 \pm 0.35^{Bb}$	$9.72 \pm 0.71^{Cc}$	$9.91 \pm 0.59^{Cc}$	$9.85 \pm 0.79^{Cc}$	$9.85 \pm 0.84^{Cc}$
后肠 Hindgut	$1.17 \pm 0.14^{Aa}$	$1.60 \pm 0.14^{Bb}$	$2.65 \pm 0.17^{Cc}$	$2.65 \pm 0.17^{Cc}$	$2.71 \pm 0.26^{Cc}$	$2.71 \pm 0.26^{Cc}$
$Na^+, K^+$ -ATP 酶 $Na^+, K^+$ -ATPase						
前肠 Foregut	$189.33 \pm 13.57^{Aa}$	$226.83 \pm 5.21^{Bb}$	$231.40 \pm 13.18^{Bbc}$	$249.70 \pm 8.31^{Bc}$	$240.55 \pm 21.60^{Bbc}$	$242.38 \pm 14.10^{Bbc}$
中肠 Midgut	$179.27 \pm 13.10^{Aa}$	$211.28 \pm 21.30^{Bb}$	$231.40 \pm 20.60^{Bbc}$	$245.12 \pm 13.57^{Cc}$	$236.89 \pm 14.96^{Bc}$	$242.38 \pm 9.70^{Cc}$
后肠 Hindgut	$90.55 \pm 7.51^{Aa}$	$104.27 \pm 8.80^{Ab}$	$136.28 \pm 6.78^{Bc}$	$137.20 \pm 7.23^{Bc}$	$144.51 \pm 10.53^{Bc}$	$139.94 \pm 5.21^{Bc}$
$\gamma$ -谷氨酰转肽酶 $\gamma$ -GT						
前肠 Foregut	$60.37 \pm 1.83^{Aa}$	$63.09 \pm 0.93^{Ab}$	$66.46 \pm 1.77^{Cc}$	$65.91 \pm 1.97^{Bc}$	$66.46 \pm 2.23^{Cc}$	$66.60 \pm 0.89^{Cc}$
中肠 Midgut	$69.42 \pm 1.48^{Aa}$	$77.77 \pm 1.96^{Bb}$	$83.77 \pm 3.07^{Cc}$	$83.77 \pm 2.88^{Cc}$	$84.09 \pm 3.21^{Cc}$	$83.91 \pm 4.12^{Cc}$
后肠 Hindgut	$74.21 \pm 2.33^{Aa}$	$92.72 \pm 3.02^{Bb}$	$98.40 \pm 4.79^{Bc}$	$97.85 \pm 3.13^{Bc}$	$99.18 \pm 3.96^{Bc}$	$98.49 \pm 5.02^{Bc}$
全肠肌酸激酶 CK in whole intestine	$28.45 \pm 3.06^{Aa}$	$33.29 \pm 2.43^{Ab}$	$33.67 \pm 2.28^{Ab}$	$40.37 \pm 3.12^{Bc}$	$41.86 \pm 3.86^{Bc}$	$43.72 \pm 2.50^{Bc}$

## 3 讨论

### 3.1 饲料中添加乳酸杆菌对幼建鲤生长性能的影响

乳酸杆菌作为一种益生菌,适量的添加有利于人畜健康<sup>[7]</sup>。本研究发现,乳酸杆菌能极显著提高幼建鲤的增重率。Dhanaraj等<sup>[3]</sup>和Ramakrishnan等<sup>[4]</sup>的研究均表明,添加乳酸杆菌能提高普通鲤鱼的生长速度。此外,乳酸杆菌还能提高欧洲黑鲈<sup>[8]</sup>和金头鲷<sup>[9]</sup>的增重。上述结果说明饲料中添加乳酸杆菌能促进鱼类的生长。饲料中添加乳酸杆菌提高鱼类生长的原因可能与摄食量及饲料效率的提高有关。本研究结果发现,饲料添加乳酸杆菌能提高幼建鲤的摄食量和饲料效率。此结果与Ramakrishnan等<sup>[4]</sup>和Aly等<sup>[10]</sup>报道的饲料中添加乳酸杆菌能提高普通鲤鱼和尼罗罗非鱼的饲料利用率相一致。这说明饲料中添加乳酸杆菌可以通过提高饲料效率来促进鱼类生长。目前关于饲料中添加乳酸杆菌对鱼类摄食量影响的研究未见报道。鱼类的增重主要是由体内蛋白质、脂肪和灰分沉积引起。本研究结果表明,饲料中添加乳酸杆菌能极显著提高幼建鲤体内蛋白质、脂肪和灰分沉积率。由此可见,乳酸杆菌能促进幼建鲤的生长,提高其摄食量和饲料利用率,并增加体内蛋白质、脂肪和灰分的沉积。本研究以幼建鲤增重率为标识,根据折线法确定的乳酸杆菌最适添加量为 $0.99 \times 10^7$  cfu/kg。

### 3.2 饲料中添加乳酸杆菌对幼建鲤消化器官生长发育的影响

鱼类肝胰脏与肠道的生长发育状况会影响消化酶的分泌量与活力<sup>[11]</sup>。本研究发现,当乳酸杆菌含量为 $0.91 \times 10^7$  cfu/kg时,肝胰脏重比对照组提高72.60%。华雪铭等<sup>[12]</sup>研究发现,乳酸杆菌能提高暗纹东方鲀幼鱼肝胰脏重。上述结果说明饲料中添加乳酸杆菌可以促进鱼类肝胰脏的生长发育。鲤鱼为无胃鱼类,肠道是其进行营养物质消化的主要场所,肠道的正常生长发育是其发挥消化吸收功能的基础。肠重和肠道蛋白质含量可以反映肠道的生长发育状况。本试验结果表明,饲料添加乳酸杆菌能极显著提高幼建鲤肠道重和肠道蛋白质含量。由此可见,饲料中添加乳酸杆菌可以促进鱼类肠道的生长发育。

### 3.3 饲料中添加乳酸杆菌对幼建鲤消化吸收能力的影响

消化酶在鱼类消化过程中发挥重要作用。肠道是鱼类营养物质消化的主要场所,肠道内酶活力是反映其消化能力的重要指标<sup>[11]</sup>。本研究结果表明,饲料中添加乳酸杆菌能显著提高肠道糜蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶和胰蛋白酶活性。Suzer等<sup>[9]</sup>在金头鲷上的研究发现,饲料中添加乳酸杆菌能显著提高肠道胰蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性。这说明饲料中添加乳酸杆菌可以提高鱼类的消化能力。

肠道是鱼类吸收营养物质的主要场所。肠道皱襞高度可反映鱼类肠道吸收面积,从而间接反映肠道的吸收能力<sup>[13]</sup>。本研究结果发现,饲料中添加乳酸杆菌能极显著提高幼建鲤前、中和后肠皱襞高度。这说明饲料中添加乳酸杆菌可以通过提高肠道皱襞高度来提高鱼类肠道的吸收能力。碱性磷酸酶与脂类、氨基酸和葡萄糖等多种营养物质的吸收有关<sup>[14]</sup>,其活性被认为是鱼对营养物质吸收强度的标识<sup>[15]</sup>。 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ -ATP酶活性可间接反映小肠黏膜的吸收能力<sup>[16]</sup>。 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶通过参与 $\gamma$ -谷氨酰循环,在细胞内摄取氨基酸过程中具有重要作用<sup>[17]</sup>。 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶活性可以间接反映肠道对营养物质的吸收能力。肌酸激酶能够催化磷酸基团在二磷酸腺苷和磷酸肌酸间的可逆性转移,在细胞能量代谢过程中发挥重要作用<sup>[18]</sup>。从本试验结果可知,饲料中添加乳酸杆菌能显著或极显著提高幼建鲤前、中、后肠碱性磷酸酶、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ -ATP酶、 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶以及全肠肌酸激酶活性。这说明乳酸杆菌可能通过提高肠道碱性磷酸酶、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ -ATP酶、 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶和肌酸激酶活性而改善幼建鲤肠道吸收能力。

## 4 结论

① 饲料中添加乳酸杆菌能促进幼建鲤生长,其促生长作用与提高摄食量和饲料效率有关。

② 饲料中添加乳酸杆菌提高了幼建鲤消化吸收能力,消化能力的提高与其促进消化器官的生长发育,提高肠道蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性有关;吸收能力的提高与肠道皱襞高度和刷状缘酶活性的增加有关。

③ 以幼建鲤增重率为标识,根据折线法确定

的乳酸杆菌最适添加量为  $0.99 \times 10^7$  cfu/kg。

### 参考文献:

- [ 1 ] 孙建广,张石蕊,譙仕彦,等. 发酵乳酸杆菌对生长肥育猪生长性能和肉品质的影响[J]. 动物营养学报,2010,22(1):132-138.
- [ 2 ] 倪学勤,曹希亮,曾东,等. 猪源约氏乳酸杆菌 JJB3 和枯草芽孢杆菌 JS01 对仔猪肠道分泌型免疫球蛋白 A 和菌群的影响[J]. 动物营养学报,2008,20(3):275-280.
- [ 3 ] DHANARAJ M, HANIFFA M A, SINGH S V A, et al. Effect of probiotics on growth performance of koi carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Journal of Applied Aquaculture, 2010, 22(3):202-209.
- [ 4 ] RAMAKRISHNAN C M, HANIFFA M A, MANOHAR M, et al. Effects of probiotics and spirulina on survival and growth of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. The Israeli Journal of Aquaculture, 2008, 60(2):128-133.
- [ 5 ] PANIGRAHIA A, KIRON V, KOBAYASHI T, et al. The viability of probiotic bacteria as a factor influencing the immune response in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture, 2005, 243:241-254.
- [ 6 ] EL-HAROUN E R, GODA A M, CHOWDURY M A K. Effect of dietary probiotic Biogen<sup>®</sup> supplementation as a growth promoter on growth performance and feed utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L) [J]. Aquaculture Research, 2006, 37:1473-1480.
- [ 7 ] GUARNER F, SCHAAFSMA G F. Probiotics [J]. International Journal of Food Microbiology, 1993, 39:237-238.
- [ 8 ] CARNEVALI O, SULPIZIO R, GIOACCHINI G, et al. Growth improvement by probiotic in European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*, L.), with particular attention to IGF-1, myostatin and cortisol gene expression [J]. Aquaculture, 2006, 258:430-438.
- [ 9 ] SUZER C, COBAN 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, 2008:116-124.
- [ 10 ] ALY S M, AHMED Y, GHAREEB A, et al. Studies on *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus acidophilus*, as potential probiotics, on the immune response and resistance of *Tilapia nilotica* (*Oreochromis niloticus*) to challenge infections [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2008, 25:128-136.
- [ 11 ] 林浩然. 鱼类生理学 [M]. 广州:广东高等教育出版社,1998:37-43.
- [ 12 ] 华雪铭,周洪琪,张宇峰,等. 饲料中添加壳聚糖和益生菌对暗纹东方鲀幼鱼生长及部分消化酶活性的影响 [J]. 水生动物学报,2005,29(3):299-305.
- [ 13 ] OLLI J J, KROGDAHL A. Nutritive value of four soybean products as protein sources in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) reared in fresh water [J]. Animal Science, 1994, 44(3):185-192.
- [ 14 ] CUVIER-PÉRES A, KESTEMONT P. Development of some digestive enzymes in Eurasian perch larvae *Perca fluviatilis* [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2001, 24(4):279-285.
- [ 15 ] SUZER C, AKTULUN S, COBAN D, et al. Digestive enzyme activities in larvae of sharpnose seabream (*Diplodus puntazzo*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology—Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2007, 148(2):470-477.
- [ 16 ] VEILLETTE P A, YOUNG G. Temporal changes in intestinal  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase activity and *in vitro* responsiveness to cortisol in juvenile chinook salmon [J]. Comparative Biochemistry and Physiology—Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2004, 138(3):297-303.
- [ 17 ] 张军民. 谷氨酰胺对早期断奶仔猪肠道的保护作用及其机理研究 [D]. 博士学位论文. 北京:中国科学院,2005.
- [ 18 ] 王坤. 实用酶学诊断学 [M]. 上海:医科大学出版社,2000.

# Effect of *Lactobacillus fermentum* Supplementation on Growth Performance, Digestive and Absorptive Function of Juvenile Jian Carp (*Cyprinus carpio* var. Jian)

LIU Yu FENG Lin CHEN Gangfu LIU Yang WU Pei ZHOU Xiaoqiu\*

(Animal Nutrition Institute, Sichuan Agricultural University, Fish Nutrition and Safety Production, University  
Key Laboratory of Sichuan Province, Ya'an 625014, China)

**Abstract:** The experiment was aimed to investigate the effects of *Lactobacillus fermentum* supplementation on growth performance, digestive and absorptive function of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). In 80 days of feeding trial, a total of 720 juvenile Jian carp with average body weight of ( $22.35 \pm 0.06$ ) g were randomly allocated to 6 groups with 3 replicates per group and 40 fish per replicate. The fish in the 6 groups were fed 6 experimental diets containing graded levels of *L. fermentum*: 0 (control group),  $0.45 \times 10^7$ ,  $0.91 \times 10^7$ ,  $1.31 \times 10^7$ ,  $2.14 \times 10^7$  and  $2.40 \times 10^7$  cfu/g diet, respectively. The results showed as follows: the final body weight, weight gain ratio and feed intake in *L. fermentum* supplementation groups were significantly higher than those in control group ( $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ). When *L. fermentum* supplementation  $> 0.45 \times 10^7$  cfu/g, the productive protein value and productive lipid value of juvenile Jian carp were significantly increased ( $P < 0.01$ ); when *L. fermentum* supplementation  $> 0.91 \times 10^7$  cfu/g, the productive ash value of juvenile Jian carp was significantly increased, too ( $P < 0.01$ ). *L. fermentum* supplementation could significantly enhance the weight and protein content of hepatopancreas and gut, and fold height in foregut, midgut and hindgut of juvenile Jian carp ( $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ). When *L. fermentum* supplementation  $> 0.45 \times 10^7$  cfu/g, the activities of chymotrypsin, lipase and amylase in gut were significantly increased ( $P < 0.01$ ); when *L. fermentum* content  $> 0.91 \times 10^7$  cfu/g, the trypsin activity in gut was significantly increased, too ( $P < 0.05$ ). Compared with those in control group, the activities of alkaline phosphatase,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase and  $\gamma$ -glutamyl transpeptidase in foregut, midgut and hindgut, and creatine kinase in gut of juvenile Jian carp in *L. fermentum* supplementation groups were significantly increased ( $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ). These results indicate that *L. fermentum* supplementation can promote the growth, improve the growth and development of digestive organs and enhance the digestive and absorptive function of juvenile Jian carp. The optimal *L. fermentum* supplementation for maximum weight gain ratio of juvenile Jian carp is  $0.99 \times 10^7$  cfu/g diet based on broken-line regression. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(8):1386-1393]

**Key words:** juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian); *Lactobacillus fermentum*; growth performance; digestion and absorption

\* Corresponding author, professor, E-mail: zhouxq@sicua.edu.cn