

## 酶解植物蛋白对建鲤生长、肝胰脏和肠道发育及消化酶活性的影响

冯琳<sup>1,2</sup>, 杨义<sup>1</sup>, 周小秋<sup>1,2</sup>, 姜俊<sup>1,2</sup>, 刘扬<sup>1</sup>

(1. 四川农业大学动物营养研究所, 四川雅安 625014;

2. 动物抗病营养教育部重点实验室, 四川雅安 625014)

**摘要:** 试验考察了酶解植物蛋白对建鲤生长性能、肝胰脏和肠道发育及消化酶活性的影响。体质量为(9.18±0.21)g 的建鲤 900 尾, 随机分成 6 个处理组, 每组 3 个重复, 每个重复 50 尾, 分别饲喂酶解植物蛋白替代相应完整植物蛋白 0%、20%、40%、60%、80% 和 100% 的试验饵料, 试验期为 60 d。结果表明, 酶解蛋白替代完整蛋白 40% 时, 生长速度最快, 饵料系数最低, 摄饵量、蛋白和灰分沉积率最高; 替代比例在 60% 以下时, 肠重和肠皱襞高度、肠道脂肪酶、碱性磷酸酶、Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATP 酶的活性随着替代比例的上升而显著增加; 替代比例超过 60% 以后, 生长速度显著降低、饵料系数升高, 肠道酶活、皱襞高度、蛋白沉积率下降, 而肝胰脏谷草转氨酶活性、血氨浓度和脂肪沉积率升高( $P < 0.05$ )。结果表明, 适宜比例的酶解植物蛋白能促进建鲤生长、肝胰脏和肠道发育, 提高饲料利用率。

**关键词:** 建鲤; 酶解蛋白; 生长; 肝胰脏; 肠道

**中图分类号:** S963

**文献标识码:** A

蛋白质不仅是鱼体蛋白沉积的主要原料, 而且是主要供能物, 因此鱼类对蛋白质的需要量远高于陆生动物<sup>[1]</sup>。而鱼粉等鱼类消化利用率高的优质动物蛋白原料供应日益紧缺, 迫使广大养殖者采用利用率相对较低的植物性蛋白原料替代鱼粉。因此提高鱼类对蛋白质尤其是植物蛋白的利用率是目前水产养殖业面临的重大挑战。蛋白酶解法可使植物蛋白释放出具有生物活性小分子肽, 如具有抗氧化和自由基清除作用的活性肽<sup>[2]</sup>, 能降低植物蛋白的抗原性<sup>[3-4]</sup>。目前“豆奶”残渣、豆粕、菜粕、棉粕等单一原料酶解植物蛋白对鱼类生长和免疫影响有少量研究<sup>[5-6]</sup>。但这些研究主要是考查酶解植物蛋白对生产性能的影响, 而有关酶解植物蛋白对消化道功能的影响研究几乎没有涉及。新近的酶解混合植物蛋白原料产物分析表明其可改善氨基酸平衡度, 但尚无动物试验证实<sup>[7]</sup>。因此, 本试验研究了酶解混合植

物蛋白对建鲤(*Cyprinus carpio* Var. Jian)生产性能、肝胰脏和肠道生长发育, 及消化吸收等相关酶类的影响, 为其合理使用提供理论指导。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 动物与试验设计

体质量为(9.18±0.21)g 建鲤 900 尾, 随机分成 6 个处理组, 每组 3 个重复, 每个重复 50 尾, 分别饲喂 0%、20%、40%、60%、80% 和 100% 的酶解植物蛋白产物替代相应的完整植物蛋白的试验饲料(表 1), 试验期 60 d。酶解植物蛋白产物和完整植物蛋白的原料为组成和来源均相同的大豆浓缩蛋白和大米蛋白粉, 同时添加稳定化处理赖氨酸和蛋氨酸。酶解植物蛋白含 45% 粗蛋白, 三氯乙酸可溶氮 71%, 赖氨酸 2.7%, 蛋氨酸 1.3%。原料 60 目粉碎, 混匀后制成  $\phi = 1.5$  mm 的颗粒料, 自然风干。

收稿日期: 2006-11-20

资助项目: 国家自然科学基金(30771671); 教育部长江学者和创新团队发展计划(IRTO555); 四川省教育厅重点项目(07ZA068)

作者简介: 冯琳(1980-), 女, 四川石棉人, 博士研究生, 从事水生动物营养与免疫研究。E-mail: forest926412@tom.com

通讯作者: 周小秋, Tel:0835-2886085, E-mail: sicafishnutrition@tom.com

表 1 饲料配方组成与主要营养成分含量  
Tab. 1 Diet composition and nutrients content

成分 ingredients(g·kg <sup>-1</sup> )	组别 groups					
	0	20	40	60	80	100
完整蛋白 intact protein	711.1	568.9	426.7	284.4	142.2	0
酶解蛋白 protein enzymatic hydrolysates	0	142.2	284.4	426.7	568.9	711.1
淀粉 starch	220.8	220.8	220.8	220.8	220.8	220.8
大豆油 soy oil	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
鱼油 fish oil	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3
预混料 premix <sup>1</sup>	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
胆碱 choline	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
营养成分 nutrient content (%) <sup>2</sup>						
粗蛋白 crude protein	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
粗脂肪 crude lipid	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
ω3 + ω6	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
粗灰分 ash	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
赖氨酸 Lys	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
蛋氨酸 Met	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
有效磷 AP	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

注：1. 微量元素和维生素，参照 NRC(1993) 鲤营养需要；2. 粗脂肪、粗灰分、赖氨酸和蛋氨酸含量根据原料实测值计算；有效磷、ω3 + ω6 必需脂肪酸根据 NRC(1993) 饲料成份值计算

Notes: 1. Mineral and vitamin premix, reference NRC(1993) nutriment requirements of carp; 2. crude fat, ash, lys and met contents counted according to raw material measured value; ω3 + ω6 essential fatty acids contents counted according to NRC (1993)

## 1.2 饲养管理

试验在容积为 80 cm × 40 cm × 50 cm 的室内水簇箱中进行，自动循环水和自动增氧，溶氧保持在 5 mg·L<sup>-1</sup> 以上。鱼苗购回后，经驯化 30 d 后，开始试验。据鱼生长摄食情况确定和调整投喂量，投喂 30 min 后迅速抽取收集残料，计算摄食量和饲料系数。试验期间水温 (22 ± 1.5) °C，日投喂 8 次，分别在 07:00, 09:00; 11:00; 13:00; 15:00; 17:00; 19:00 和 21:00 时。

## 1.3 观测指标及测定方法

**增重、摄饵量、饲料系数** 试验前、后对鱼称重，试验结束时计算增重、摄饵量和饲料系数。

**鱼体成分** 试验前随机选取与试验鱼体重一致的鱼 8 尾用于体成分分析。试验结束时，每组取 8 尾鱼，经冷冻干燥后分别采用凯氏定氮法、索氏抽提法和灼烧法测定体蛋白、体脂、体灰分含量，并计算蛋白、脂肪和灰分沉积率。

$$\text{养分沉积率} = [(B - A) / I] \times 100\%$$

其中，B 为试验结束时鱼体中蛋白质(或脂肪或矿物质)总量(g)，A 为试验开始时鱼体中蛋白质(或脂肪或矿物质)总量(g)，I 为试验期蛋白质(或脂肪或矿物质)摄入总量(g)。

**肝胰脏和肠重、蛋白含量，肠皱襞高度** 每组取 24 尾鱼，称重后，分离肝胰脏、肠道分别称重，

计算肝体指数、肠体指数。试剂盒测定肝胰脏和肠蛋白含量(南京建成生物工程)。每组随机取 5 尾鱼分别取前、中、后肠的正中 1 cm 长左右肠样，10% 福尔马林固定，常规切片和 H. E 染色，目测微尺测定每段肠样中 10 个以上完整皱襞的高度。

**肠蛋白酶、脂肪酶、碱性磷酸酶、Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATP 酶及肝胰脏、肌肉谷草转氨酶活和血氨** 采食 12 h 后，每组随机取 24 尾鱼，取肝胰脏、背侧肌肉、肠，用液氮冷冻，然后在 -70 °C 冰箱保存备测。蛋白酶的测定采用 Follin-酚法<sup>[8]</sup>，酶比活力表示为：每克组织每分钟水解酪蛋白产生 1 μg 酪氨酸的酶量为 1 个活力单位(μg·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)。脂肪酶的测定采用滴定法<sup>[9]</sup>，酶活力表示为：每克组织 15 min 内消耗 0.05 mol·L<sup>-1</sup> 的 NaOH 1 mL 为 100 个活力单位 (mL·g<sup>-1</sup>)。碱性磷酸酶、Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATP 酶和谷草转氨酶活用试剂盒测定(南京建成生物工程研究所)。Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATP 酶活力表示为：每小时每克组织分解 ATP 产生 1 μmol 无机磷的量为一个活力单位 [(P) μmol·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>]；碱性磷酸酶活力表示为：每克组织 15 min 内产生 1 mg 酚为 1 个活力单位 [(phen) mg·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>]；谷草转氨酶活力表示为：每克组织 1 min 内所生成的丙酮酸，使 NADH 氧化成 NAD<sup>+</sup> 而引起吸光度下降 0.001 为活力单位

( $\Delta A \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ )。鱼采食 6 h 后, 每组随机取 5 尾, 尾部血管采血, EDTA- $Na_2$  抗凝, 两点法测血氨(中生北控测试盒), 1 h 内测定完。

#### 1.4 统计分析

采用 SPSS 11.0 对试验数据进行方差分析并结合 Duncan 氏法多重比较。所有数据以平均值  $\pm$  标准差(mean  $\pm$  SD)表示。

## 2 结果

### 2.1 增重、摄饵量、饲料系数以及蛋白、脂肪和灰分沉积率

随着酶解蛋白比例增加, 增重和摄饵量显著提高( $P < 0.05$ ), 其中以 40% 组最高。当酶解蛋白比例超过 60% 后, 增重和摄饵量均下降( $P < 0.05$ )。饲料转化效率也受到酶解蛋白影响, 在酶

解蛋白为 40% 时, 饲料系数最低( $P < 0.05$ ) (表 2)。酶解蛋白对蛋白、灰分和脂肪沉积率均有显著影响( $P < 0.05$ )。其中蛋白和灰分沉积率随着酶解蛋白比例增加而上升, 当比例为 40% 时, 沉积率达最大值。而脂肪沉积率随着酶解蛋白比例增加而持续上升, 比例达 80% 以后, 趋于稳定(表 2)。

### 2.2 肠和肝胰脏重、体指数和蛋白含量

随着酶解蛋白比例增加, 肠和肝胰脏重量显著上升( $P < 0.05$ ); 在比例为 40% 时, 达到最大值, 随后呈下降趋势。肠和肝胰脏体指数随酶解蛋白比例增加而上升, 分别在比例为 40% 和 60% 时达到最大值。肠和肝胰脏蛋白含量随酶解蛋白比例增加呈先上升后下降的变化趋势(表 3)。

表 2 酶解植物蛋白对生产性能的影响  
Tab. 2 Effects of VPEH on growth performance

组别 groups	0	20	40	60	80	100
初重(g) initial body weight	9.2 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	9.2 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	9.2 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	9.2 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	9.2 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	9.2 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>
末重(g) final body weight	25.5 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	28.9 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	29.4 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	29.0 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	25.6 $\pm$ 0.5 <sup>b</sup>	23.1 $\pm$ 0.5 <sup>c</sup>
增重(g) weigh gain	16.3 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	19.7 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	20.2 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	19.9 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	16.4 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	13.9 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>
饲料系数 feed conversion rate	2.4 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	2.1 $\pm$ 0.0 <sup>de</sup>	2.1 $\pm$ 0.0 <sup>e</sup>	2.2 $\pm$ 0.0 <sup>d</sup>	2.3 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	2.5 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>
蛋白沉积率 productive protein value	19.0 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	22.7 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	22.5 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	21.4 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	19.4 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>	18.1 $\pm$ 0.2 <sup>d</sup>
脂肪沉积率 productive fat value	103.1 $\pm$ 0.5 <sup>d</sup>	114.3 $\pm$ 1.2 <sup>c</sup>	124.2 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	123.3 $\pm$ 1.3 <sup>b</sup>	133.9 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	135.3 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>
灰分沉积率 productive ash value	25.2 $\pm$ 0.2 <sup>e</sup>	29.8 $\pm$ 0.4 <sup>ab</sup>	30.4 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	29.5 $\pm$ 0.4 <sup>bc</sup>	29.1 $\pm$ 0.4 <sup>c</sup>	28.0 $\pm$ 0.2 <sup>d</sup>

注: 同列中不同上标字母表示差异显著( $P < 0.05$ ), 下同

Notes: The different superscripts in the same column means significant difference ( $P < 0.05$ ), the same as the follows

表 3 酶解植物蛋白对肝胰脏和肠道生长发育的影响  
Tab. 3 The effects of VPEH on hepatopancreas and intestine development

组别 groups	0	20	40	60	80	100
肠重(g) intestine weight	0.66 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>	0.81 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.81 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.77 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.68 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>	0.60 $\pm$ 0.03 <sup>d</sup>
肠体指数 intestine index	2.92 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	2.95 $\pm$ 0.18 <sup>ab</sup>	3.07 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	3.00 $\pm$ 0.23 <sup>ab</sup>	2.90 $\pm$ 0.32 <sup>b</sup>	2.89 $\pm$ 0.19 <sup>b</sup>
肠蛋白(%) intestine protein content	4.92 $\pm$ 0.23 <sup>e</sup>	5.07 $\pm$ 0.10 <sup>e</sup>	6.39 $\pm$ 0.14 <sup>d</sup>	8.18 $\pm$ 0.29 <sup>a</sup>	7.67 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	6.76 $\pm$ 0.21 <sup>c</sup>
肝胰脏重(g) hepatopancreas weight	0.63 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>	0.78 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.79 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.79 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.71 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	0.63 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>
肝体指数 hepatosomatic index	2.78 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup>	2.90 $\pm$ 0.16 <sup>b</sup>	3.00 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	3.07 $\pm$ 0.13 <sup>a</sup>	3.01 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	3.03 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>
肝胰脏蛋白含量(%) hepatopancreas protein content	12.56 $\pm$ 0.25 <sup>c</sup>	13.01 $\pm$ 0.13 <sup>c</sup>	14.04 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>	15.21 $\pm$ 0.53 <sup>a</sup>	14.04 $\pm$ 0.39 <sup>b</sup>	13.76 $\pm$ 0.35 <sup>b</sup>

注: 肠体指数 = 肠重  $\times$  100 / 体重; 肝体指数 = 肝胰脏重量  $\times$  100 / 体重

Notes: intestine index = intestine weight  $\times$  100 / body weight; hepatosomatic index = hepatopancreas weight  $\times$  100 / body weight

### 2.3 肠道酶活和皱襞高度

酶解蛋白比例在 60% 以下时, 对肠蛋白酶活无影响, 比例超过 60%, 蛋白酶活下降( $P < 0.05$ )。脂肪酶活随着酶解蛋白比例增加而上升,

比例达 60% 以后, 开始下降( $P < 0.05$ )。肠碱性磷酸酶和  $Na^+, K^+$ -ATP 酶活均随着酶解蛋白增加而上升, 酶解蛋白比例分别达到 60%、80% 以后, 开始显著下降( $P < 0.05$ ) (表 4)。

表 4 酶解植物蛋白对肠道酶活的影响

Tab. 4 The effects of VPEH on enzymes activities of intestine

组别 groups	蛋白酶( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) protease	脂肪酶( $\text{mL}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) lipase	碱性磷酸酶( $\text{mg}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) AKP	$\text{Na}^+, \text{K}^+$ -ATP 酶( $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) $\text{Na}^+, \text{K}^+$ -ATPase
0	910.36 ± 18.02 <sup>a</sup>	2957.65 ± 84.85 <sup>c</sup>	12.13 ± 0.31 <sup>d</sup>	910.13 ± 27.30 <sup>c</sup>
20	896.25 ± 9.10 <sup>a</sup>	3407.30 ± 75.44 <sup>a</sup>	14.31 ± 0.29 <sup>b</sup>	955.93 ± 31.51 <sup>ab</sup>
40	888.14 ± 13.67 <sup>a</sup>	3449.31 ± 32.33 <sup>a</sup>	15.70 ± 0.43 <sup>a</sup>	963.37 ± 26.81 <sup>a</sup>
60	884.89 ± 15.34 <sup>a</sup>	3416.92 ± 37.96 <sup>a</sup>	15.95 ± 0.39 <sup>a</sup>	957.60 ± 12.02 <sup>ab</sup>
80	792.11 ± 14.52 <sup>b</sup>	3175.76 ± 40.36 <sup>b</sup>	13.29 ± 0.1 <sup>c</sup>	959.51 ± 17.73 <sup>bc</sup>
100	689.19 ± 29.04 <sup>c</sup>	3090.18 ± 79.59 <sup>b</sup>	12.02 ± 0.66 <sup>d</sup>	906.6 ± 20.92 <sup>c</sup>

酶解蛋白对肠皱襞高度有显著影响(表 5)。肠皱襞高度随着酶解蛋白比例增加,先上升后下降。40%和 60%组的前肠皱襞高度高于其它各组;完整蛋白组低于其它各组;60%组的中肠皱襞高度高于其它各组;完整蛋白和 100%酶解蛋白组最低;完整蛋白组的后肠皱壁高度高于其它各

组( $P < 0.05$ )。

#### 2.4 肝胰脏和肌肉的谷草转氨酶活和血氨浓度

随着酶解蛋白比例上升,肝胰脏谷草转氨酶活和血氨浓度上升( $P < 0.05$ ),比例分别达 60%、80%后趋于稳定;而肌肉转氨酶活则先上升后下降(表 6)。

表 5 酶解植物蛋白对肠皱襞高度的影响

Tab. 5 The effect of VPEH on the fold height of intestine

组别 groups	前肠( $\mu\text{m}$ ) foregut	中肠( $\mu\text{m}$ ) midgut	后肠( $\mu\text{m}$ ) hindgut
0	541.0 ± 4.8 <sup>d</sup>	313.0 ± 6.0 <sup>d</sup>	467.5 ± 10.0 <sup>a</sup>
20	581.5 ± 11.9 <sup>c</sup>	324 ± 7.1 <sup>c</sup>	425.0 ± 8.7 <sup>b</sup>
40	633.0 ± 9.0 <sup>a</sup>	341.0 ± 4.8 <sup>b</sup>	412.0 ± 3.7 <sup>b</sup>
60	641.0 ± 10.6 <sup>a</sup>	358.0 ± 8.6 <sup>a</sup>	373.0 ± 13.3 <sup>c</sup>
80	608.5 ± 6.81 <sup>b</sup>	335.0 ± 3.83 <sup>b</sup>	343.5 ± 8.9 <sup>d</sup>
100	573.0 ± 6.8 <sup>c</sup>	319.5 ± 8.4 <sup>cd</sup>	319.5 ± 5.0 <sup>e</sup>

表 6 酶解植物蛋白对肝和肌肉谷草转氨酶活性及血浆氨浓度

Tab. 6 The effect of VPEH on GOT activities and plasma ammonia levels

组别 groups	肝胰脏谷草转氨酶活性( $\Delta\text{A}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) hepatopancreas GOT activities	肌肉谷草转氨酶活性( $\Delta\text{A}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) muscle GOT activities	血氨浓度( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) plasma ammonia
0	7183.70 ± 224.48 <sup>d</sup>	7143.74 ± 234.66 <sup>b</sup>	636.21 ± 14.33 <sup>c</sup>
20	7546.85 ± 245.84 <sup>c</sup>	7929.82 ± 246.77 <sup>a</sup>	655.28 ± 21.46 <sup>c</sup>
40	8689.82 ± 128.36 <sup>b</sup>	8047.38 ± 393.82 <sup>a</sup>	694.48 ± 88.21 <sup>bc</sup>
60	8958.23 ± 107.44 <sup>a</sup>	7868.64 ± 257.61 <sup>a</sup>	781.35 ± 119.08 <sup>b</sup>
80	9177.63 ± 119.10 <sup>a</sup>	6719.59 ± 282.17 <sup>b</sup>	1134.68 ± 39.15 <sup>a</sup>
100	9163.16 ± 140.82 <sup>a</sup>	6860.72 ± 297.84 <sup>b</sup>	1228.97 ± 28.84 <sup>a</sup>

### 3 讨论

#### 3.1 酶解植物蛋白对建鲤生长的影响

一定比例的酶解植物蛋白混合物替代完整植物蛋白可促进建鲤生长。本试验结果表明,酶解蛋白替代比例为 40%时,增重最大,饲料利用率最高。酶解“豆奶”残渣可提高建鲤生长速度,改善蛋白质效率<sup>[5]</sup>,酶解豆粕、菜粕、棉粕等单一原料产物促进异育银鲫生长,降低饲料系数<sup>[6]</sup>。这

些研究与本试验结果一致。酶解植物蛋白提高生长速率的原因在于其提高了建鲤摄饵量和饲料转化效率。本实验结果表明,酶解蛋白替代比例为 40%~60%时,建鲤的摄饵量提高,饲料系数下降。这一结果与异育银鲫上的研究一致<sup>[6]</sup>。关于酶解蛋白对摄饵量的影响在其它水生动物上有一些研究报道。在金鲈<sup>[10]</sup>、大西洋鲑<sup>[11]</sup>的饲料中分别使用酶解鱼粉蛋白,摄食量不同程度地提高。饲料中添加 5%酶解虾蛋白,金鲈的摄食量提高

一倍<sup>[10]</sup>。酶解植物蛋白提高摄食量和饵料转化率可能有以下原因:①酶解植物蛋白混合物提高了氨基酸平衡度,促进鱼类摄食,有利于蛋白质的合成。最新研究表明:大豆、芝麻和花生混合物酶解可显著提高必需氨基酸含量,改善其平衡程度<sup>[7]</sup>。酶解蛋白主要是各种小肽和 AA 的混合物,小肽和 AA 可直接被动物快速吸收,饲料消化吸收更快,从而促进摄食,提高饲料转化率。②小肽中的某些氨基酸残基和侧链对水生动物有特殊的诱食作用。本试验所用的酶解蛋白中四个氨基酸以下的小肽占 72.3%,这些小肽中可能含有具有诱食作用的小肽类。

### 3.2 酶解植物蛋白对建鲤消化功能的影响

酶解植物蛋白混合物可提高建鲤消化和吸收能力。鱼类消化器官的生长发育与消化功能密切相关。无胃鲤的肠道是营养物质消化吸收的唯一场所,肠道皱襞是其提高消化吸收面积的有效形式。

研究表明,酶解植物蛋白混合物提高了建鲤前肠和中肠的皱襞从而增强了消化吸收能力。这些作用是酶解植物蛋白混合物促进了建鲤肠道和肝胰脏生长发育的结果。在本研究中,酶解植物蛋白混合物提高了建鲤肠道和肝胰脏蛋白含量、重量、体指数。酶解植物蛋白混合物的这些作用与其易消化、吸收,降低鱼类消化负担,低抗原性和产生生物活性肽有关。由于蛋白预先进行了消化,可能降低了鱼类对蛋白质的消化负担,蛋白酶分泌的需要量降低。研究表明酶解植物蛋白混合物降低了肠道的蛋白酶活。大豆抗原蛋白能引起建鲤肠道炎症反应从而导致肠黏膜受损,影响营养物质的消化吸收和生长<sup>[12]</sup>,酶解大豆可以降低大豆抗原性,且其中的胰蛋白酶抑制因子活性显著下降<sup>[3-4]</sup>。酶解植物蛋白还可产生一些具有抗氧化和自由基清除作用的活性肽,对机体起到保护作用<sup>[2]</sup>。

鱼类的消化能力与其消化酶活力密切相关,酶活越强表明消化能力越强<sup>[13]</sup>。本研究结果表明,酶解植物蛋白混合物可以提高建鲤脂肪酶活,从而提高脂肪消化。碱性磷酸酶参与了营养物质的吸收过程,如脂肪、葡萄糖、钙和无机磷<sup>[14]</sup>。Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATP 酶分解 ATP 产生能量,以维持钠和钾的逆浓度梯度的转运,为钠离子偶联吸收提供电化学势能储备。营养物质,如氨基酸和葡萄糖吸收与 Na<sup>+</sup> 吸收通过 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATP 酶相偶

联。本试验结果表明,酶解植物蛋白混合物能提高建鲤肠道碱性磷酸酶和 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATP 酶酶活,促进肠粘膜的发育,从而提高了建鲤对营养物质的消化吸收能力。

### 3.3 酶解植物蛋白混合物的适宜使用量

本试验研究发现,酶解植物蛋白超过 60% 后,建鲤生长速度下降;其比例为 100% 时,增重最低。这可能与氨基酸分解增加有关。转氨酶在蛋白质代谢中起重要作用,其活性常用于评价必需氨基酸的利用情况<sup>[15]</sup>。从本试验结果可知,酶解植物蛋白过量后,肝中谷草转氨酶活和血氨浓度升高,说明酶解蛋白比例过量,氨基酸分解增加,利用下降;酶解植物蛋白替代完整蛋白的比例分别为 42.25%、44.57% 时建鲤生长速度最快、饲料利用率最高。过量使用酶解蛋白,氨基酸分解增加,建鲤生长速度降低。综上所述,适宜比例的酶解植物蛋白混合物可以促进建鲤肠道和肝胰脏发育,提高肠道消化吸收能力,改善饲料利用率,提高生长速度。

### 参考文献:

- [1] Halver J E, Hardy R W. Fish nutrition [M]. California: Academic Press, 2002: 9-10.
- [2] Li Y, Jiang B, Zhang T, *et al.* Antioxidant and free radical-scavenging activities of chickpea protein hydrolysate (CPH) [J]. Food Chemistry, 2008, 106: 444-450.
- [3] Penas E, Prestamo G, Polo F, *et al.* Enzymatic proteolysis under high pressure of soybean whey: analysis of peptides and the allergen Gly m 1 in the hydrolysates [J]. Food Chemistry, 2006, 99: 569-573.
- [4] Kuba M, Tana C, Tawata S, *et al.* Production of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides from soybean protein with *Monascus purpureus* acid proteinase [J]. Process Biochemistry, 2005, 40: 2191-2196.
- [5] Wong M H, Tang L Y, Kwok F S L. The use of enzyme-digested soybean residue for feeding common carp [J]. Biomedical and Environmental Sciences, 1996, 9: 418-423.
- [6] 刘文斌,詹玉春,王 恬. 四种饼粕酶解蛋白对异育银鲫的营养作用研究 [J]. 中国粮油学报, 2007, 22(5): 108-112.
- [7] Radha C, Kumar P R, Prakash V. Preparation and

- 
- characterization of a protein hydrolysates from an oilseed flour mixture [J]. *Food Chemistry*, 2007, 106: 1166 – 1174.
- [8] 王宪泽. 生物化学实验技术原理和方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 178 – 182.
- [9] 李建武, 余瑞元. 生物化学实验原理和方法 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2002: 311 – 312.
- [10] Kolkovski S, Czesny S, Dabrowski K. Use of krill hydrolysate as a feed attractant for fish larvae and juveniles [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2000, 31(1): 81 – 88
- [11] Stale R, Jan J. Feed intake, growth, and protein utilisation by post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) in response to graded levels of fish protein hydrolysate in the diet [J]. *Aquaculture*, 2004, 239, 1 – 4, 331 – 338
- [12] 张锦秀, 周小秋, 刘 扬. 去皮豆粕对幼建鲤生长性能和肠道的影响 [J]. *中国水产科学*, 2007, 14 (2): 315 – 319.
- [13] Kumulu M, Jones D A. The effect of live and artificial diets on growth, survival, and trypsin activity in larvae of *Penaeus indicus* [J]. *J Aquacult Soc*, 1995, 26: 406 – 415.
- [14] Villanueva J, Vanacore R, Goicoechea O, *et al.* Intestinal alkaline phosphatase of the fish *Cyprinus carpio*: regional distribution and membrane association [J]. *J Exp Zool*, 1997, 279: 347 – 355.
- [15] 林仕梅, 罗 莉, 叶元土, 等. 饲料蛋白能量比、非植酸磷水平对中华绒螯蟹氮、磷排泄和转氨酶活力的影响 [J]. *中国水产科学*, 2001, 8(1): 62 – 66.

## **Effects of vegetable protein enzymatic hydrolysates on growth, hepatopancreas and intestine development, digestive enzymes of Jian carp (*Cyprinus carpio* Var. *Jian*)**

FENG Lin<sup>1,2</sup>, YANG Yi<sup>1</sup>, ZHOU Xiao-qiu<sup>1,2</sup>, JIANG Jun<sup>1,2</sup>, LIU Yang<sup>1</sup>

(1. *Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China*

2. *Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of China Ministry of Education, Ya'an 625014, China*)

**Abstract:** To obtain the function and eligible application of vegetable protein enzymatic hydrolysates (VPEH), 900 carps with an average initial weight of  $(9.18 \pm 0.21)$  g were divided into 6 groups, fed diets which were formulated with VPEH 0, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% of intact protein respectively for 60 d. The results indicated that when the VPEH in diet protein is 40%, the weight gain, feed intake, protein and ash productive values are higher than those of other groups, the feed conversion ration is lower. Intestinal weight and folds height, lipase, alkaline phosphatase and  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase activities enhance with VPEH levels increasing, until to 60% ( $P < 0.05$ ). When VPEH is over 60%, the weight gain, protein and ash productive values, enzymes activities and folds height of intestine decrease, while the glutamine-oxaloacetate transaminase in hepatopancrease, ammonia level in plasma and lipid productive values increase ( $P < 0.05$ ). It suggested that VPEH could promote Jian carp (*Cyprinus carpio* Jian) growth, hepatopancreas and intestine development, decrease feed conversion rate and when we add VPEH 42.25%, 44.57% in the diet respectively, the Jian carp's growth and feed gain achieve the highest level. The study first described the effects of VPEH in the new species Jian carp's diet, and investigation of the suitable addition in Jian carp diet.

**Key words:** Jian carp (*Cyprinus carpio* Var. *Jian*); protein enzymatic hydrolysates; growth; hepatopancreas; intestine