

# 饲料中添加溶菌酶对草鱼生长性能和抗感染能力的影响

邢思华<sup>1</sup> 华雪铭<sup>1</sup> 朱站英<sup>1,2</sup> 沈彦萍<sup>3</sup> 王军<sup>1,4</sup> 于宁<sup>1,2</sup> 沈文婧<sup>3</sup>

1. 上海海洋大学水产与生命学院/农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306;  
2. 杭州海皇饲料开发有限公司, 杭州 311100; 3. 上海沈李科工贸有限公司, 上海 200436;  
4. 南京市溧水县农业局, 溧水 211200

**摘要** 在基础饲料中分别添加溶菌酶制品 0(对照)、100、200、300、400 和 500 mg/kg, 每组设置 5 个重复, 饲喂草鱼(6.93±0.27 g) 60 d, 旨在根据草鱼的生长性能和抗感染能力评价溶菌酶的添加效果, 并确定其适宜用量。结果表明, 饲料中添加溶菌酶对草鱼生长性能和抗感染能力有显著影响。试验前 45 d, 试验组的草鱼特定生长率显著低于对照组; 60 d 时, 100~300 mg/kg 组的草鱼特定生长率与对照组差异不显著, 400 mg/kg 组和 500 mg/kg 组显著低于对照组。各试验组草鱼的饲料系数随饲料中溶菌酶含量的增加呈现先降低再升高的趋势, 200 mg/kg 组饲料系数最低。通过腹腔注射的方法对草鱼进行嗜水气单胞菌攻毒, 结果表明, 200~500 mg/kg 组的草鱼死亡率显著低于对照组和 100 mg/kg 组。饲用溶菌酶对草鱼内源免疫酶活性和内源消化酶活性有一定的刺激作用。抑菌试验结果表明, 该溶菌酶制品对常见革兰氏阴性菌有明显的抑菌作用。综合草鱼的生长性能和抗感染能力, 认为该试验条件下溶菌酶制品在草鱼饲料中的适宜添加量为 200~300 mg/kg。

**关键词** 溶菌酶; 草鱼; 生长性能; 抗感染; 内源酶

**中图分类号** S 963.73<sup>+</sup>2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)06-0731-06

近年来, 食品安全越来越受到人们的重视。水产动物药物残留<sup>[1]</sup>、激素含量超标以及耐药性<sup>[2-3]</sup>等问题, 已经在很大程度上制约了我国水产养殖业的发展, 开发新的安全型饲料添加剂或药物成为水产养殖健康发展的必然要求和趋势。溶菌酶(lysozyme)就是新型安全型饲料添加剂的一种, 专一作用于目的微生物的细胞壁而不能作用于其他物质<sup>[4]</sup>。现今, 国内外高度关注溶菌酶, 已经将溶菌酶应用于医药<sup>[5]</sup>和食品行业<sup>[6]</sup>, 在畜禽饲料中的应用也取得了很好的效果。程时军等<sup>[7]</sup>研究表明, 添加溶菌酶制剂能改善动物生产性能和预防某些疾病。邵春荣等<sup>[8]</sup>经饲喂肉仔鸡证明, 溶菌酶可用于防治肠胃炎、消化不良及化脓性过程, 另外还可起到非专用性生长激素的作用。张世卿等<sup>[9]</sup>也认为添加溶菌酶可降低肉仔鸡采食量、料重比, 提高日增重。郭志强等<sup>[10]</sup>研究表明溶菌酶可以提高肉兔的生产性能, 一定程度上可以替代抗生素使用。然而目前未见关于溶菌酶在水产动物饲料中应用的报道。

由于水产动物养殖环境的特殊性, 一旦得病, 特别是细菌性疾病, 很容易大范围传染。在健康养殖中, 预防疾病比起治病来显得更为重要。鉴于溶菌酶具有调节水产动物免疫功能和抑菌的作用, 推测其作为饲料添加剂可以增强水产动物的免疫力而起到预防疾病的效果。因此, 笔者选择易感性较强的草鱼为试验对象, 研究口服溶菌酶对草鱼生长性能和抗感染能力的影响, 以期初步确定溶菌酶在草鱼饲料中的适宜添加量及其在水产饲料中应用的可能性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验用鱼和试验设计

试验于 2010 年 8—10 月在上海南汇区果园养殖场进行。试验用草鱼选用当年夏花, 放于试验池中用基础饲料养殖 1 个月, 使其适应试验条件。试验分为 6 组, 每组 5 个重复, 每个重复 70 尾(初质量 6.93±0.27 g), 随机放入 2.5 m×0.75 m×1.0 m 的网箱内养殖, 每 4 个网箱架在 1 个 3.0 m×4.0 m

收稿日期: 2012-03-27

基金项目: 上海市教委创新项目(10YZ126)、上海高校创新团队(第二期)建设项目和上海市宝山区科学技术委员会产学研合作项目

邢思华, 硕士研究生, 研究方向: 水产动物营养与免疫. E-mail: h51555@126.com

通讯作者: 华雪铭, 博士, 副教授, 研究方向: 水产动物营养与免疫. E-mail: xmhua@shou.edu.cn

的水泥池内,养殖水深 0.6 m。每个饲料组的溶菌酶(蛋清溶菌酶,初始活性  $7.4 \times 10^5$  U/g)添加量分别为 0、100、200、300、400 和 500 mg/kg。饲料原料全部通过 0.425 mm 网筛,按照表 1 配方逐级混匀后制成直径为 1.5 mm 的颗粒饲料,经破碎后使用。饲养试验结束后,选择体质健壮,规格均匀的试验鱼进行攻毒试验。

表 1 对照饲料原料组成及主要营养成分

Table 1 Formulation and nutrient composition of the basal diet

项目 Item	含量/% Content
成分 Ingredient	
豆粕 Soybean meal	23.36
菜籽粕 Rapeseed meal	18.91
小麦麸 Wheat bran	15.00
次粉 Wheat middling	15.00
面粉 Flour	11.72
鱼粉 Fishmeal	6.24
米糠 Rice bran	5.00
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	1.50
氯化胆碱(50%) Choline chloride	1.00
大豆油 Soybean oil	1.00
复合矿物质 Mineral premix	0.50
复合多维 Vitamin premix	0.50
食盐 NaCl	0.27
营养水平 Nutrient levels	
粗蛋白 Crude protein	29.00
粗脂肪 Ether extract	5.26
粗纤维 Crude fibre	6.00
磷 P	1.06
钙 Ca	0.86
灰分 Ash	4.56
干物质 Dry matter	87.55

## 1.2 饲养管理

饲养水源为经过 0.125 mm 筛绢过滤后的天然河水,水温为室温(26~34 °C),自然光照;24 h 充气,每天换水 1/3 左右,使溶解氧控制在 6~12 mg/L,氨氮<0.5 mg/L。

试验过程中每天按照鱼体总质量的 3% 左右投喂,参照前一天的摄食情况,酌情增加或减少投喂量。每天投喂 4 次(06:00,10:00,15:00,19:00),每次分 3 轮投喂,每次投喂时间控制在 30 min 左右。投喂完 1 h 检查摄食情况,以无残饵为宜。

## 1.3 指标测定

饲养试验结束后,称取每重复组草鱼总质量,计算特定生长率和饵料系数。每个重复组随机取 10 尾草鱼分别测量草鱼体长和体质量。然后抽取血液,4 °C 静止 12 h 后 3 000 r/min 离心制备血清,并采集这 10 尾草鱼的肠道、肝脏、头肾和脾脏,并称质量。

1) 生长指标。饲料系数(FCR)、鱼体肥满度

(CF)、特定生长率(SGR)、肠体比(IBE)、肝体比(LBI)、头肾指数(HRI)、脾脏体指数(HSI)等指标计算公式参考赵巧娥等<sup>[11]</sup>的方法。

2) 内源酶指标。溶菌酶 Lsz 采用冰浴终止法测定,即样品和底物在冰水浴条件下混匀 570 nm 处测量透光度,然后 37 °C 水浴 30 min,混匀后冰水浴 20 min 终止反应,570 nm 处测量透光度。计算公式:溶菌酶活性  $A = [(T_{\text{样品}} - T_{0\text{样品}}) / (T_{\text{标准}} - T_{0\text{标准}})] \times$  标准管酶活力。蛋白酶采用福林酚法、淀粉酶和 SOD 采用南京建成试剂盒、碱性磷酸酶 ALP 使用全自动生化分析仪测定。

3) 体外消化试验。取 5 尾对照组草鱼的肠道和肝胰脏,使用 pH 7.2 PBS 匀浆后 3 000 r/min 离心,取上清液即为粗酶液。粗酶液稀释 100 倍后与室温保存的溶菌酶制品的水溶液(0.01 g/mL)37 °C 预热后按体积 1:9 混合,反应 30 min,测定溶菌酶制品与粗消化酶液反应前后的溶菌酶活力。

4) 体外抑菌试验。细菌接种方式为扩散培养,即将 2 mL  $1.3 \times 10^6$  cfu/mL 的菌液(嗜水气单胞菌 *Aeromonas hydrophila*、哈维氏弧菌 *Vibrio harveyi*、溶藻弧菌 *algicidal bacteria*、副溶血弧菌 *Bibrio parahemolyticus* 和金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus*)混入 200 mL 培养基中倒平板培养 24 h 后进行抑菌试验。抑菌方式采用平板分布法:将吸水纸剪成直径 0.5 cm 的圆纸片,灭菌后贴在营养琼脂平板上,滴加 50  $\mu$ L 不同质量浓度(2、4、8、16 mg/mL)的溶菌酶水溶液。每个浓度梯度 4 个重复。30 °C 培养 24 h 后测定抑菌圈直径。

5) 攻毒试验。饲养试验结束后,每组选取体质健壮、规格均匀、个体差异不显著的草鱼进行嗜水气单胞菌的抗感染试验。每试验组选取 50 尾草鱼,随机分成 3 组,每组 15 尾草鱼。嗜水气单胞菌取自上海海洋大学水生动物病原库,接种于营养琼脂平板(培养温度 30 °C)培养 48 h 后,用生理盐水冲洗稀释至  $10^9$  cfu/mL 备用。每尾腹腔注射 0.5 mL 菌液;另选取剩下 5 尾,腹腔注射 0.5 mL 生理盐水,作为空白对照。试验鱼在 100 cm  $\times$  50 cm  $\times$  45 cm 的周转箱内暂养 48 h 后开始试验。观察 120 h (120 h 死亡趋于稳定)内各组草鱼死亡情况并记录。试验期间全部投喂草鱼基础组饲料。试验水温 18~22 °C。

## 1.4 数据处理

用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析,影响

显著者采用 Duncan's 法以 0.05 水平进行多重比较。试验结果以平均数±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲料中添加溶菌酶对草鱼生长性能的影响

养殖试验进行 60 d,养殖过程中所有重复组的成活率为 100%。

饲料中的溶菌酶制品含量对草鱼的生长有显著

影响。在摄食饲料的前 45 d,试验组的特定生长率均显著低于对照组,第 60 天时 100~300 mg/kg 组的特定生长率与对照组相比无显著差异,而 400~500 mg/kg 组的特定生长率显著低于对照组。

饲料中的溶菌酶制品含量对草鱼肥满度的影响显著。与对照组相比,试验组的肥满度都有所下降,当溶菌酶制品含量大于 300 mg/kg 时,试验组的肥满度显著低于对照组(表 2)。

表 2 饲料添加溶菌酶对草鱼特定生长率和肥满度的影响<sup>1)</sup>

Table 2 Effect of Lsz added to diets on SGR and CF of *Ctenopharyngodon idellus*

组别/(mg/kg) Group	特定生长率 SGR			肥满度 CF		
	30 d	45 d	60 d	30 d	45 d	60 d
0	2.76±0.17 bc	2.47±0.17 c	2.00±0.08 c	171.44±6.79 b	200.92±0.48 c	211.05±4.18 d
100	2.24±0.25 a	2.27±0.14 b	1.95±0.14 c	162.17±6.08 a	193.29±5.84 bc	214.97±0.14 d
200	2.83±0.19 c	2.22±0.18 b	1.89±0.14 c	174.13±7.84 b	194.37±0.20 bc	206.85±0.89 d
300	2.49±0.14 b	2.13±0.12 b	1.77±0.17 c	157.03±5.75 a	188.06±7.35 b	194.03±7.52 b
400	2.46±0.22 b	1.84±0.18 a	1.48±0.18 b	161.39±7.67 a	170.42±7.48 a	173.76±7.32 b
500	3.06±0.24 d	1.95±0.16 a	1.28±0.20 a	179.27±9.85 b	172.23±5.74 a	158.08±8.22 a

1) 同列数据不同字母表示差异显著(P<0.05)。表 3,5,6,7 同。In the same column, values with different letter mean significant difference (P<0.05). The same as Table 3,5,6,7.

草鱼摄食含溶菌酶饲料 60 d 后,饲料系数随溶菌酶制品含量的增加先降低再升高。200 mg/kg 组的饲料系数显著低于对照组,400 和 500 mg/kg 组饲料系数反而有所升高(表 3)。

表 3 饲料添加溶菌酶对草鱼饲料系数的影响(60 d)

Table 3 Effect of Lsz added to diets on FCR of *C. idellus* (60 d)

组别/(mg/kg) Group	投饲量/g Feeding quantity	饲料系数 FCR
0	1 802.36±106.88 b	2.23±0.33 bc
100	1 840.48±44.51 b	1.95±0.24 ab
200	1 820.40±59.25 b	1.72±0.08 a
300	1 784.00±41.33 b	1.90±0.13 ab
400	1 856.12±56.15 b	2.34±0.18 cd
500	1 689.80±69.08 a	2.51±0.36 d

### 2.2 饲料中添加溶菌酶对草鱼抗感染能力的影响

感染嗜水气单胞菌后,对照组的死亡率为 60.0%。饲料中添加溶菌酶对草鱼抗感染能力的影响显著,除 100 mg/kg 组与对照组无显著差异外,200~500 mg/kg 组死亡率(26.7%~10.0%)比对照组都有显著降低(P<0.05)。

### 2.3 溶菌酶制品的抑菌作用

溶菌酶制品对受试 5 种细菌的抑菌效果明显(表 4),抑菌圈清晰圆滑,尤其是对金黄色葡萄球菌和溶藻弧菌;在不同的溶菌酶质量浓度下,对 5 种菌的抑制效果基本一致;对同一种细菌而言,抑菌效果随溶菌酶制品质量浓度的增大有增强的趋势。

表 4 不同浓度的溶菌酶制品对常见病原菌抑菌效果<sup>1)</sup>

Table 4 Antibacterial effect on common pathogenic bacteria with different Lsz content

溶菌酶溶液 质量浓度/(mg/mL) Lsz content	抑菌圈直径/cm Antibacterial circle diameter				
	嗜水气单胞菌 <i>Aeromonas hydrophila</i>	哈维氏弧菌 <i>Vibrio harveyi</i>	溶藻弧菌 <i>Algicidal bacteria</i>	副溶血弧菌 <i>Bibrio parahemolyticus</i>	金黄色葡萄球菌 <i>Staphylococcus aureus</i>
16	1.98±0.01 ab	1.76±0.04 a	2.28±0.01 b	1.84±0.03 a	2.38±0.01 b
8	1.78±0.01 a	1.63±0.01 a	2.05±0.01 b	1.74±0.02 a	2.26±0.01 b
4	1.57±0.06 a	1.43±0.01 a	1.84±0.01 b	1.55±0.02 a	2.16±0.03 b
2	1.28±0.01 a	1.24±0.17 a	1.58±0.02 a	1.31±0.14 a	1.80±0.05 b

1) 同行数据不同字母表示差异显著(P<0.05)。Within the same row, values with different letter mean significant difference (P<0.05) .

### 2.4 饲料中添加溶菌酶对草鱼内源酶活性的影响

饲料中添加溶菌酶饲养草鱼 60 d,仅 500 mg/kg 组对脾脏溶菌酶和脾脏 SOD 活力的影响显著,且具有最高的酶活性;血清 SOD 活性呈现随溶菌酶添加量的增大而增大的趋势;血清碱性磷酸酶

活力从 200 mg/kg 组开始比基础组有显著升高(表 5)。

饲料中添加溶菌酶 60 d 对草鱼肠道淀粉酶和肝胰脏蛋白酶活力也有显著影响,500 mg/kg 组的肠道淀粉酶活力显著高于基础组;200 mg/kg 和

表 5 饲料中添加溶菌酶对草鱼溶菌酶、SOD 的影响 (60 d)

Table 5 Effect of Lsz added to diets on Lsz and SOD of *C. idellus* (60 d)

组别/(mg/kg) Group	血清/(U/mL) Serum			脾脏/(U/g) Spleen	
	溶菌酶 Lsz	SOD	碱性磷酸酶 ALP	溶菌酶 Lsz	SOD
0	17.70±0.81 a	60.90±11.71 a	4.30±0.34 a	12.43±1.90 a	134.80±26.95 a
100	25.38±20.45 a	57.10±2.32 a	5.28±0.13 a	12.47±0.60 a	158.60±26.09 a
200	16.23±4.46 a	66.46±5.07 a	7.03±0.30 b	10.32±0.54 a	174.90±26.40 a
300	24.93±4.60 a	66.56±23.76 a	7.38±0.99 c	9.69±1.98 a	187.20±40.86 a
400	13.83±6.02 a	78.86±22.87 a	6.67±0.89 bc	14.16±1.53 a	181.80±61.08 a
500	20.66±0.86 a	115.2±3.57 b	6.16±0.36 b	30.45±16.71 b	272.20±74.25 b

表 6 饲料中添加溶菌酶 60 d 对草鱼淀粉酶、蛋白酶的影响 (60 d)

Table 6 Effect of Lsz added to diets on amylase and proteinase of *C. idellus* (60 d)

U/g

组别/(mg/kg) Group	肠道 Intestine		肝胰脏 Hepatopancreas	
	淀粉酶 Amylase	蛋白酶 Proteinase	淀粉酶 Amylase	蛋白酶 Proteinase
0	304.7±68.4 a	346.63±45.68 a	333.1±49.4 a	368.81±13.74 a
100	302.4±66.4 a	359.42±2.64 a	305.9±26.8 a	331.46±9.63 a
200	294.5±59.5 a	396.49±31.45 a	398.1±10.1 a	645.67±23.32 c
300	332.8±38.4 ab	377.24±55.25 a	310.6±87.7 a	635.13±81.95 c
400	300.2±40.9 a	299.93±30.37 a	279.9±80.1 a	463.04±31.53 b
500	420.9±62.4 b	346.90±42.81 a	346.2±99.5 a	527.68±51.55 b

300 mg/kg 组的肝胰脏蛋白酶活力显著高于其他组;肠道蛋白酶、肝胰脏淀粉酶活性在各组之间无显著差异(表 6)。

### 2.5 肝胰脏和肠道对溶菌酶的体外消化试验

草鱼消化道所分泌的消化酶对溶菌酶制品活力的影响因消化道位置的不同而异。经过粗酶液的作用,溶菌酶制品的溶菌酶活力显著降低( $P<0.05$ ),由消化前的  $3.91 \times 10^5$  U/g 下降为  $3.44 \times 10^5$  U/g (中前肠)、 $3.22 \times 10^5$  U/g (肝胰脏) 和  $2.88 \times 10^5$

U/g(后肠),即草鱼后肠粗酶液对溶菌酶活力的影响最为显著。

### 2.6 饲料中添加溶菌酶对草鱼内脏体指数的影响

饲料中添加溶菌酶 60 d 对草鱼头肾指数和脾脏体指数有显著影响,尤其在溶菌酶制品低添加水平(100 或 200 mg/kg)时可以显著提高头肾和脾脏体指数(表 7)。肝体比在对照组和其他组之间无显著差异;对照组的肠体比与 300 mg/kg 组和 500 mg/kg 组有显著差异。

表 7 饲料中添加溶菌酶对草鱼内脏器官的影响

Table 7 Effect of Lsz added to diets on internal organs of *C. idellus*

组别/(mg/kg) Group	头肾指数 HRI	脾脏体指数 HSI	肝体比 LBI	肠体比 IBI
0	0.004 4±0.000 37 a	0.003 7±0.000 76 a	0.016±0.002 7 ab	0.043±0.001 9 c
100	0.005 6±0.000 17 b	0.003 9±0.000 66 a	0.018±0.002 4 b	0.045±0.001 7 c
200	0.004 6±0.000 45 ab	0.005 0±0.000 68 b	0.018±0.002 3 b	0.043±0.001 3 c
300	0.004 2±0.000 67 a	0.004 0±0.000 42 a	0.016±0.001 6 ab	0.035±0.002 8 a
400	0.004 1±0.000 53 a	0.004 7±0.000 82 ab	0.015±0.001 3 a	0.044±0.003 3 c
500	0.005 1±0.000 61 ab	0.004 6±0.000 91 ab	0.016±0.001 9 ab	0.040±0.002 6 b

## 3 讨 论

### 3.1 溶菌酶对草鱼生长性能的影响

草鱼的肠道菌落对其消化有很重要的作用<sup>[12]</sup>。草鱼肠道内较多的菌落如气单胞菌<sup>[13]</sup>、弧菌<sup>[14]</sup>和芽孢杆菌<sup>[15]</sup>等能分泌蛋白酶、淀粉酶和纤维素酶等消化酶,帮助草鱼对食物进行消化<sup>[16-18]</sup>。而体外抑菌试验结果表明,该溶菌酶制品对常见气单胞菌和弧菌等有较强的抑菌作用。本试验用含有溶菌酶制品的饲料饲养草鱼 60 d 未表现出生长优势,可能与

溶菌酶抑制了肠道内气单胞菌和弧菌的增殖有关,同时随溶菌酶浓度增大而增强的抑菌效果也会导致在一定时间内草鱼的生长性能随溶菌酶制品添加量的增加而下降。草鱼摄食草类,其消化机能及对脂肪、碳水化合物的利用情况与肉食及杂食性鱼类存在很大差异<sup>[19]</sup>,养殖草鱼投喂的配合饲料中碳水化合物含量要求显著高于其他食性鱼类<sup>[20]</sup>。相关研究表明,草鱼饲料中淀粉含量较高,这是因为草鱼肠道中能分泌淀粉酶、纤维素酶<sup>[21]</sup>或能直接分解碳水化合物的微生物的大量存在<sup>[22]</sup>,可以有效利用这些

碳水化合物。因此,尽管本试验中 200~500 mg/kg 组的试验草鱼的肝胰脏蛋白酶比对照组明显提高,但是肝胰脏蛋白酶活性提高所带来的助消化作用比产酶菌落受到抑制带来的负面作用小的多。由于肠道微生态在经过一段时间后会慢慢趋于平衡,因此含溶菌酶饲料组的试验鱼在第 60 天的生长性能普遍优于前 45 d,而且当溶菌酶制品添加量在 100~300 mg/kg 时,草鱼的生长性能和对照组无显著差异,而饲料系数低于对照组,这可能也跟肠道菌落有关。这一点在肉鸡的试验中也得到了证实<sup>[7]</sup>。在 60 d 以后更长的时间内,试验组是否表现出比对照组更好的生长性能,还有待进一步研究。另外,酶制品在草鱼消化道中会被内源消化酶部分分解,削弱或抵消了内源蛋白酶的促消化作用,甚至可能出现溶菌酶制品在体内的分解代谢耗能大于摄入能量,从而影响生长性能。

### 3.2 溶菌酶提高草鱼抗感染能力的原因

草鱼的头肾和脾脏是最重要的免疫器官,是 T、B 淋巴细胞定居和对抗原刺激进行免疫应答的场所<sup>[23]</sup>。一般的观点是,免疫器官质量增加表示免疫能力增强<sup>[24]</sup>。有研究发现,溶菌酶可以在一定程度上提高某些免疫器官指数和抗体水平<sup>[9]</sup>,有增强动物免疫活化状况的趋势。本试验结果显示,100 mg/kg 组的头肾指数和 200 mg/kg 组的脾脏体指数有显著提高,说明饲料中添加适宜浓度的溶菌酶对草鱼的免疫器官有刺激作用。

动物体内的 SOD 在清除自由基和抗氧化损伤方面有很重要的作用<sup>[25]</sup>,而且对维持细胞的结构也有一定的意义<sup>[26]</sup>。本试验结果表明,溶菌酶对草鱼的血清和脾脏 SOD 活性有刺激作用,随着溶菌酶剂量的增加,SOD 活性有上升趋势。500 mg/kg 组试验草鱼的血清和脾脏 SOD 均比对照组有显著提高,说明溶菌酶制品对草鱼 SOD 活性有刺激作用,而且跟饲料中溶菌酶的含量有关。饲料中溶菌酶含量越高对 SOD 的刺激作用也越强。碱性磷酸酶是一种重要的代谢调控酶,直接参与含磷基团的代谢,能够改变病原体的表面结构,从而增强机体对病原体的识别和吞噬能力<sup>[27]</sup>。由本试验结果可以看出,随着饲料中溶菌酶含量的增加,试验草鱼的血清碱性磷酸酶活性增高,200~500 mg/kg 组表现出显著或极显著增高。攻毒试验的结果是试验动物免疫能力最直接的体现<sup>[28]</sup>,因此,溶菌酶对草鱼免疫器官和相关免疫酶的刺激是试验组草鱼对嗜水气单胞菌的抗

感染能力增强的重要原因。

从抑菌试验结果可以看出,该溶菌酶制品除对革兰氏阳性菌金黄色葡萄球菌有抑制作用外,对常见的水产动物病原菌革兰氏阴性致病菌也有明显的抑菌效果。本研究中的抗感染试验所用病原菌为嗜水气单胞菌,因此溶菌酶对嗜水气单胞菌的直接抑菌作用也能在很大程度上提高草鱼的抗感染能力。

### 参 考 文 献

- [1] 赵惠明,江秀明,林贤福.水产品体内抗生素残留分析研究现状[J].水产科学,2004,23(8):39-41.
- [2] 李爱杰.水产养殖中使用的抗菌药物及细菌耐药性[J].中国水产科学,2002,9(1):87-91.
- [3] 蔡丽娟,许宝清,林启存.水产致病性嗜水气单胞菌耐药性比较与分析[J].水产科学,2011,30(1):42-45.
- [4] 船津胜,鹤大典.溶菌酶[M].李兴福,荆永志,译校.济南:山东科技出版社,1982.
- [5] 张琇,吴发兴,孙谧,等.海洋微生物溶菌酶体外抗菌抗病毒活性研究[J].中国农业科学,2007,40(11):2626-2631.
- [6] 张新宝,陈红兵.溶菌酶的性质及其在食品防腐中的应用[J].江西食品工业,2008(4):42-45.
- [7] 程时军,马立保.溶菌酶对肉鸡食糜微生物数量、免疫和生产性能的影响[J].中国饲料,2010(19):20-24.
- [8] 邵春荣,包承玉,刘明智,等.自制饲用溶菌酶制剂饲喂肉鸡的效果[J].江苏农业科学,1996(1):57-58.
- [9] 张世卿,朱忠珂,王明成,等.玉米-豆粕日粮添加溶菌酶对肉仔鸡生长性能、代谢及免疫指标的影响[J].动物营养学报,2008,20(4):463-468.
- [10] 郭志强,谢晓红,易军,等.溶菌酶对断奶仔兔生产性能和腹泻的影响[J].中国饲料,2010(6):29-31.
- [11] 赵巧娥.饲料脂肪水平对鳃幼鱼生长、血液生化指标及消化生理的影响[D].武汉:华中农业大学水产学院,2011.
- [12] 黄玉柳.草鱼肠道细菌产消化酶能力的初步研究[J].江苏农业科学,2010(5):330-332.
- [13] 冯雪,吴志新,祝东梅,等.草鱼和银鲫肠道产消化酶细菌的研究[J].淡水渔业,2008,38(3):51-57.
- [14] RIMMER D W, WIEBE W J. Fermentative microbial digestion in herbivorous fishes [J]. J Fish Biol, 1987, 31(2): 301-305.
- [15] SAHA A K, RAY A K. Cellulase activity in rohu fingerlings [J]. Aquacult Int, 1998(8): 281-291.
- [16] 王瑞旋,冯娟.军曹鱼肠道细菌及其产酶能力的研究[J].海洋环境科学,2008,27(4):309-312.
- [17] RINGO E, BIRKBECK T H. Intestinal microflora of fish larvae and fry [J]. Aquac Res, 1999, 30(2): 73-93.
- [18] 张毅民,吕学斌,万先凯,等.一株纤维素分解菌的分离及其粗酶性质研究[J].华南农业大学学报,2005,26(2):69-72.
- [19] 樊海平,翁祖桐,林煜.鳊鱼肠道细菌对鱼粉降解和饲料消化率的影响[J].水利渔业,2006,26(1):77-78.
- [20] 汤伏生,朱晓燕,张兴忠.鲤鱼肠道细菌及其淀粉酶对宿主消化

- 的影响[J]. 水产学报, 1994, 18(4): 177-182.
- [21] 周金敏, 吴志新, 曾令兵, 等. 黄颡鱼肠道及养殖水体中菌群的分析[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(5): 613-617.
- [22] 曲艺. 芽孢杆菌对草鱼表观消化率、消化酶活性及组成的影响[J]. 武汉: 华中农业大学水产学院, 2011.
- [23] 王贤丽, 张玉喜, 孟亮, 等. 大菱鲆 T 淋巴细胞酪氨酸激酶 (LCK) 基因全长 cDNA 的克隆及表达分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(5): 660-667.
- [24] 卢明森, 陈孝焯, 吴志新, 等. 果寡糖对草鱼非特异性免疫功能的影响[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(2): 213-216.
- [25] PARIHAR M S, DUBEY A K, JAVERI T, et al. Changes in lipid peroxidation, superoxide dismutase activity, ascorbic acid and phospholipid content in liver of freshwater catfish *Heteropneustes fossilis* exposed to elevated temperature[J]. J Therm Biol, 1996, 21(6): 323-330.
- [26] 徐奇友, 王常安, 许红, 等. 饲料中添加谷氨酰胺二肽对哲罗鱼仔鱼肠道抗氧化活性及消化吸收能力的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 351-356.
- [27] 廖金花, 陈巧, 林丽蓉, 等. 鲍鱼碱性磷酸酶的分离纯化和性质研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2005, 44(2): 272-275.
- [28] 王秀华, 周凌云, 王玉娟, 等. 多效价载体疫苗免疫大菱鲆效果评价[J]. 中国水产科学, 2011, 18(4): 918-923.

## Effect of dietary lysozyme levels on growth and anti-infection ability of *Ctenopharyngodon idellus*

XING Si-hua<sup>1</sup> HUA Xue-ming<sup>1</sup> ZHU Zhan-ying<sup>1,2</sup>  
SHEN Yan-ping<sup>3</sup> WANG Jun<sup>1,4</sup> YU Ning<sup>1,2</sup> SHEN Wen-jing<sup>3</sup>

1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture / Shanghai Ocean University, College of Fisheries and Life Science, Shanghai 201306, China;
2. Shanghai Shenli Technology-Industry-Trade Co. Ltd, Shanghai 200436, China;
3. Hangzhou Haihuang Feed Development Co. Ltd, Hangzhou 311100, China;
4. Bureau of Agriculture of Lishui County in Nanjing, Lishui 211200, China

**Abstract** To evaluate the effect of dietary lysozyme on growth and anti-infection ability of grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*, fish with initial body weight  $6.93 \pm 0.27$  g were randomly divided into six groups and fed diets with 0 (control), 100, 200, 300, 400, 500 mg/kg dietary lysozyme respectively for 60 days. The results showed that the growth performance and anti-infection ability of grass carp were significantly affected by dietary lysozyme. In the first 45 days of the feeding trial, the specific growth rate (SGR) in all lysozyme-treated groups was significantly lower than that in the control group ( $P < 0.05$ ). At the end of the feeding trial, the SGR in the 100-300 mg/kg groups was not significantly different from the control, while the SGR in the 400 and 500 mg/kg groups was significantly lower than that in the control ( $P < 0.05$ ). Feed conversion ratio decreased first, then increased with the increment of the dietary lysozyme, with the lowest in the group of 200 mg/kg. After the tested fish was challenged with live *Aeromonas hydrophila* by intraperitoneal injection, mortality rate of the 200-500 mg/kg groups was significantly lower than that of the control and 100 mg/kg group. This study further indicated that activities of endogenous digestive and immune enzymes were enhanced by the dietary lysozyme to some extent. Lysozyme was also found to have strong inhibitory activity against common Gram negative bacteria in aquaculture by antimicrobial tests. In summary, the optimal level of dietary lysozyme was 200-300 mg/kg according to the growth performance and the anti-infection ability.

**Key words** lysozyme; *Ctenopharyngodon idellus*; growth; anti-infection ability; endogenous enzymes