

文章编号: 1674-5566(2009)02-0160-07

混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼幼鱼生长、营养物质消化率及血清非特异性免疫的影响

刘 勇¹, 冷向军¹, 李小勤¹, 李 惠², 刘爱君¹

(1 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2 宁波市宁海县海洋与渔业局, 浙江 宁波 315600)

摘 要:以含 9% 鱼粉的基础饲料为对照组, 以 0%, 4.8%, 9.6%, 14.4% 混合发酵蛋白(鲜杂鱼:豆粕=1:1) 分别替代饲料中 0%, 3%, 6%, 9% 鱼粉(相当于鱼粉用量的 0/3, 1/3, 2/3, 3/3) 配制四组等氮、等能饲料, 饲养奥尼罗非鱼, 考察混合发酵蛋白替代鱼粉对鱼体生长、营养物质消化率、体组成及血清非特异性免疫的影响。共进行 3 个试验, 试验 I、II 分别以奥尼罗非鱼稚鱼 [(1.00 ± 0.05) g]、鱼种 [(17.57 ± 1.06) g] 为试验对象, 分别进行为期 8 周和 4 周的饲养试验; 试验 III 测定了奥尼罗非鱼鱼种对饲料干物质及蛋白质消化率。结果表明: 试验 I 中, 混合发酵蛋白替代鱼粉用量 1/3、2/3 时, 奥尼罗非鱼增重率、饲料效率、特定增长率较对照组无显著差异 (P > 0.05); 混合发酵蛋白全部替代鱼粉后鱼体生长性能显著降低, 增重率较对照组降低 5.2% (P < 0.05); 试验 II 中各组奥尼罗非鱼增重率、饲料效率、特定增长率无显著差异 (P > 0.05), 但随着混合发酵蛋白替代鱼粉用量的增加, 增重率、饲料效率、特定增长率有降低趋势; 各组间在肌肉组成及消化道蛋白酶活性上无显著差异 (P > 0.05); 与对照组相比, 混合发酵蛋白的使用能提高血清超氧化物歧化酶活性, 而对碱性磷酸酶活性无影响。在饲料营养物质消化率方面, 混合发酵蛋白不同比例替代鱼粉后对饲料干物质消化率, 蛋白质消化率无显著影响 (P > 0.05)。上述研究表明: 混合发酵蛋白可替代奥尼罗非鱼稚鱼饲料中 2/3 鱼粉(占饲料 6%) 及奥尼罗非鱼鱼种饲料中的全部鱼粉(占饲料 9%), 而不影响机体生长性能。

关键词:混合发酵蛋白; 奥尼罗非鱼; 蛋白酶活性; 消化率; 非特异性免疫

中图分类号: S 963 **文献标识码:** A

Effect of fermented mixture-protein replacing fish meal on growth, apparent digestibility coefficients and serum non-specific immunity of tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)

LIU Yong¹, LENG Xiang-jun¹, LIXiao-qin¹, LIHui², LIU Ai-jun¹

(1. College of Fisheries and Life Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Ninghai County Oceanic and Fishery Bureau, Zhejiang Province Ningbo 315600, China)

Abstract: Three experiments were conducted to evaluate the effect of replacing fish meal with fermented mixture-protein (FMP) on tilapias. The tilapias were fed with four isonitrogenous and isocaloric feeds. The control feed was formulated to contain 9% fish meal whereas in the other three feeds FMP was included at 4.8, 9.6, 14.4% to replace 1/3, 2/3, 3/3 of the fish meal. In EXP. I, Eight hundred and forty juvenile

收稿日期: 2008-07-11

基金项目: 上海市重点学科建设项目 (Y1101)

作者简介: 刘 勇 (1982-), 男, 四川内江人, 硕士研究生, 专业方向为水产动物营养与饲料研究。E-mail: y-liu@stmail.shou.edu.cn

通讯作者: 冷向军, E-mail: xleng@shou.edu.cn

tilapias[initial body weight (1.00 ± 0.05) g] were divided randomly to twelve pools($2.0 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$) and fed to satiation for eight weeks and each tank contained seventy fish; In the EXP. II, two hundred and seventy-six fingerling tilapias[initial body weight (17.57 ± 1.06) g] were divided randomly to twelve tanks($0.8 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$) and fed to satiation for four weeks and each tank contained twenty-three fish; EXP. III was conducted to evaluate apparent digestibility coefficients for tilapias and the condition was same as EXP. II. The results showed that replacing 1/3, 2/3 fish meal with FMP didn't affect the growth of juvenile tilapia ($P > 0.05$); but the weight gain rate was decreased by 5.2% compared with control group when the fish meal was completely replaced ($P < 0.05$) (EXP. I); There were no significant differences in terms of weight gain rate(WGR), specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR) among all groups in EXP. II ($P > 0.05$); No significant differences were observed in dry matter moisture lipid of muscle and the activities of protease in intestine among four groups ($P > 0.05$) (EXP. II); The activities of SOD were increased by using FMP in diets($P < 0.05$) (EXP. II). There was no significant difference in the term of apparent digestibility coefficients of different levels of fermented mixture protein replacing fish meal($P > 0.05$) (EXP. III). Results above showed that 2/3 and 3/3 fish meal could be replaced by FMP in the diet of juvenile and fingerling tilapia respectively, which didn't affect the growth of the fish.

Key words: fermented mixture protein; tilapia; activities of protease; apparent digestibility coefficients; non-specific immunity

鱼粉是水产饲料中最为重要的蛋白源。近年来,由于资源的衰竭和饲料工业发展对鱼粉需求的不断增加,使得鱼粉价格不断上扬。替代鱼粉蛋白源的研究一直是水产动物营养与饲料学的研究热点。豆粕等植物性蛋白源是替代鱼粉的重要蛋白源,但存在抗营养因子及氨基酸不平衡等问题,发酵是提高其营养价值的有效途径;另一方面,相当部分低质鱼类以及水产品加工废弃物未被有效利用,造成资源浪费。若能将二者混合发酵,则可充分利用资源,发挥蛋白质的互补效应,同时提高植物蛋白的营养价值。目前,国外已有将杂鱼和豆粕混合发酵,并用于饲养尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的报道,其研究表明,发酵杂鱼-豆粕(2:1)可完全替代尼罗罗非鱼饲料中鱼粉,而不影响机体生长^[1]。到目前为止,国内尚无生产发酵动植物蛋白混合物并用于水产饲料的报道。

本试验以奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)为研究对象,考察鲜杂鱼-豆粕发酵混合物替代鱼粉对鱼体生长、肌肉成分、营养物质消化率、消化道蛋白酶活性及血清非特异性免疫的影响,为发酵蛋白在水产饲料中的合理应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与试验饲料

本研究由3个试验组成,试验I、II分别为奥尼罗非鱼稚鱼、鱼种的养殖试验,试验III为消化试验。

试验I、II:以含9%鱼粉的基础饲料为对照组,以鲜杂鱼-豆粕发酵混合物分别替代饲料中0%,3%,6%,9%鱼粉(相当于鱼粉用量的0/3,1/3,2/3,3/3),配制四组等氮、等能饲料。饲料原料粉碎过40目筛,混合均匀后以挤压机制成直径1 mm颗粒,晾干备用。饲料组成及营养成分见表1。

混合发酵蛋白由上海爱旺生物科技有限公司提供。为鲜杂鱼-豆粕(1:1)混合于110℃下发酵而得,发酵产物粗蛋白含量44.25%,粗脂肪含量7.92%,灰分含量6.79%。所用鲜杂鱼来源于象山石浦,豆粕粗蛋白含量40.32%,粗灰分6.14%,属三级豆粕。

试验III:试验饲料同试验I,其中各组饲料添加0.5% CaCO_3 作指示剂,相应减少次粉用量。

1.2 试验用鱼

试验I:奥尼罗非鱼平均体重(1.00 ± 0.05) g,试验分为4个处理组,每处理组3个重复,每重复

70尾鱼,共 840尾鱼。

试验Ⅱ:奥尼罗非鱼平均体重(17.57±1.06)g。试验分为4个处理组,每处理组3个重复,每重复23尾鱼,共276尾鱼。

试验Ⅲ:试验Ⅱ养殖结束后,除用于采样的鱼外,其它均用于消化试验,平均体重(31.43±0.95)g。每处理组3个重复,每重复17尾鱼,共204尾鱼。

表1 试验饲料组成及营养成分含量

Tab. 1 Composition of and nutritional level experimental diets

原料成分	对照组	1/3 FMP*	2/3 FMP*	3/3 FMP*
混合发酵蛋白	0.00	4.80	9.60	14.40
鱼粉	9.00	6.00	3.00	0.00
豆粕	20.00	20.00	20.00	20.00
菜粕	24.00	24.00	24.00	24.00
棉粕	10.00	10.00	10.00	10.00
麸皮	10.20	9.10	8.00	6.90
次粉	21.45	20.65	19.85	19.05
豆油	1.00	1.00	1.00	1.00
鱼油	1.50	1.60	1.70	1.80
多维**	0.25	0.25	0.25	0.25
多矿**	0.50	0.50	0.50	0.50
胆碱	0.30	0.30	0.30	0.30
磷酸二氢钙	1.80	1.80	1.80	1.80
合计	100	100	100	100
营养组成				
粗蛋白	32.09	31.86	31.54	31.28
粗脂肪	4.96	4.89	4.93	4.97
粗灰份	7.87	7.79	7.52	7.23

注: *表示维生素预混料和微量元素预混料在每千克饲料添加量为(mg/kg饲料): V_A 6 000 IU/kg V_D 2 000 IU/kg V_E 50 V_K 5. V_{B1} 15. V_{B2} 15. V_{B3} 25. V_{B5} 30. V_{B6} 10. V_{B7} 0.2 V_{B11} 3. V_{B12} 0.03. inositol 100. V_C 100; Zn 80. Fe 150. Cu 4. Mn 20. I 0.4. Co 0.1. Se 0.1. Mg 100; ** FMP表示混合发酵蛋白(Fermented mixture protein)。下表同此

1.3 饲养管理

试验Ⅰ:于上海海洋大学南汇特种养殖场进行,试验鱼随机分到12个水泥池(2.0 m×1.5 m×1.2 m),每池70尾,水深0.7 m。基础饲料驯化一周,待鱼摄食正常后开始试验,日投喂3次(8:30, 12:30, 16:30),投饵量为体重6%~8%,并根据水温、摄食情况调整。每天连续充气,实验期间水温24~28℃, DO>5 mg/L, NH₃-N<0.3 mg/L。饲养时间为2007年8月21日—10月17日,为期8周。

试验Ⅱ:于上海海洋大学鱼类养殖实验室进行,试验用鱼随机分到12口自动充气控温循环的水族箱中(0.8 m×0.5 m×0.5 m),每箱23尾,基础饲料驯化一周,待鱼摄食正常后开始试验,日投喂3次(8:30, 12:30, 16:30),投饵量为体重4%~6%;试验期间水温(26±1)℃, DO>5 mg/L, NH₃-N<0.3 mg/L。饲养时间为2007年11月13日—12月10日,为期4周。

试验Ⅲ(消化试验):在试验Ⅱ养殖试验结束后,进行为期两周的粪样采集,用于营养物质消化率测定。各组投喂含0.5% C₁₈O₂的试验饲料,连续收集10 d粪便。在每次投饵后2 h用虹吸管收集粪便,取具包膜、结构完整者,于60℃烘干后置于干燥器内备用。饲养管理同试验Ⅱ。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生长指标(试验Ⅰ、Ⅱ)

于试验结束后饥饿24 h称量鱼体重(精确到0.01 g),计算其增重率、饲料效率、成活率等:

增重率(WGR)=(末重-初重)(g)/初重(g)×100%;

特定生长率(SGR)=(ln末均重-ln初均重)/饲养天数(d)×100%;

饲料系数(FCR)=总投饲量(g)/(末重-初重)(g);

饲料效率 (FE) = (末重 - 初重) (g) / 总投饲量 (g) × 100%;

成活率 (SR) = 试验末鱼尾数 / 试验初鱼尾数 × 100%。

1.4.2 肌肉成分测定

试验 II 饲养试验结束后,每池取鱼 3 尾,冰盘上取背部白肌于 -20℃ 下保存。肌肉成分的测定包括水分、粗蛋白、粗脂肪。水分测定:105℃ 烘干法;粗蛋白测定:凯氏定氮法;粗脂肪测定:索氏抽提法。

1.4.3 免疫指标

试验 II 饲养试验结束后,每池随机取鱼 3 尾于尾静脉处抽血,6 000 r/min 离心 10 min,取上层血清,冷冻备用,分别测定超氧化物歧化酶 (SOD)、溶菌酶 (LSD) 和碱性磷酸酶 (AKP) 活性。

超氧化物歧化酶活性测定采用黄嘌呤氧化酶法;溶菌酶活性测定采用比浊法;碱性磷酸酶活性测定采用对硝基苯磷酸盐法。所用试剂盒均购自南京建成生物技术研究所。

1.4.4 消化道蛋白酶活力的测定

试验 II 饲养试验结束后,每缸随机取 3 尾鱼,冰盘上解剖。将胃和肠道 (鱼肠第一个弯曲之前部分) 排空食糜,装袋, -20℃ 冷冻保存,用于胃、肠蛋白酶活性测定。

胃、肠蛋白酶活力测定:采用福林-酚法测定^[2]。胃、肠蛋白酶活力以 1 g 鲜组织中所含酶在 pH 2.4 (肠: 7.0) 时每 1 min 水解酪素产生 1 μg 酪氨酸为一个酶活力单位 (U/g)。

1.4.5 消化率的测定

粗蛋白采用凯氏定氮法测定, C₂O₃ 采用湿式灰化定量法测定, 计算公式如下。

饲料总消化率: $D(\%) = [1 - B/B'] \times 100\%$;

粗蛋白消化率: $D(\%) = [1 - (A'/A \times B/B')] \times 100\%$ 。

(A、A' 分别表示饲料和粪便中粗蛋白含量; B、B' 分别表示饲料和粪便中 C₂O₃ 含量。)

1.5 数据处理

试验结果采用平均值 ± 标准差的形式, 数据统计采用 SPSS 11.5, 结果运用 DUCAN 法进行多重比较。显著水平取 P < 0.05。

2 结果

2.1 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼生长性能和饲料利用的影响

试验 I: 由表 2 可见, 对照组奥尼罗非鱼 (摄食 9% 鱼粉) 增重率、饲料效率、特定生长率均最高。随混合发酵蛋白替代鱼粉用量的增加, 鱼体增重率、饲料效率、特定生长率逐渐降低; 与对照组相比, 混合发酵蛋白代替 1/3、2/3 鱼粉用量对鱼体生长性能无显著影响 (P > 0.05), 但完全替代鱼粉后, 鱼体增重率下降 5.2% (P < 0.05), 饲料系数显著升高 (P < 0.05)。各组成活率无显著差异 (P > 0.05)

试验 II: 由表 3 可见, 各组奥尼罗非鱼增重率、饲料效率、特定增长率均无显著差异 (P > 0.05), 但随混合发酵蛋白替代鱼粉用量的增加, 增重率、饲料效率、特定增长率有降低趋势。

表 2 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼稚鱼生长性能及饲料利用的影响

Tab. 2 Effect of fermented mixture-protein replacing fish meal on growth performances and feed utilization of juvenile tilapia

组别	对照组	1/3 FMP	2/3 FMP	3/3 FMP
初均重 (g)	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00
末均重 (g)	13.48 ± 0.04 ^a	13.37 ± 0.19 ^a	13.15 ± 0.23 ^{ab}	12.83 ± 0.17 ^b
增重率 (%)	1248.21 ± 3.54 ^a	1230.48 ± 9.75 ^a	1215.00 ± 23.24 ^{ab}	1182.85 ± 18.16 ^b
饲料系数	1.28 ± 0.01 ^a	1.30 ± 0.12 ^{ab}	1.31 ± 0.03 ^{ab}	1.35 ± 0.02 ^b
饲料效率 (%)	78.36 ± 0.22 ^a	77.24 ± 0.61 ^a	76.28 ± 1.46 ^{ab}	74.25 ± 1.14 ^b
特定生长率 (%/d)	4.65 ± 0.01 ^a	4.62 ± 0.01 ^{ab}	4.60 ± 0.03 ^{bc}	4.56 ± 0.02 ^c
成活率 (%)	100	99.67	100	100

注: 同一行中具不同上标字母者表示差异显著 (P < 0.05)。下表同此

表 3 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼鱼种生长性能及饲料利用的影响
Tab. 3 Effect of fermented mixture-protein replacing fish meal on the growth performances and feed utilize of fingerling tilapia

组别	对照组	1/3 FMP	2/3 FMP	3/3 FMP
初均重 (g)	16.51±1.43	16.76±1.08	17.33±0.03	18.62±1.74
末均重 (g)	30.48±1.38	30.75±1.41	31.57±1.27	32.91±1.50
增重率 (%)	84.62±4.44	83.50±4.88	82.41±4.23	81.00±4.56
饲料系数	1.61±0.13	1.63±0.01	1.67±0.11	1.70±0.13
饲料效率 (%)	62.00±3.53	61.18±0.32	59.64±3.64	58.91±2.14
特定增长率 (%/d)	2.19±0.15	2.18±0.02	2.14±0.15	2.11±0.14
成活率 (%)	100	100	100	100

2.2 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼鱼种肌肉成分的影响

各组在肌肉水分、粗蛋白、粗脂肪含量上均无显著差异 ($P>0.05$) (表 4)。

表 4 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼鱼种肌肉成分的影响

Tab. 4 Effect of fermented mixture-protein replacing fish meal on muscle composition of fingerling tilapia (Exp. II)

组别	对照组	1/3 FMP	2/3 FMP	3/3 FMP
水分 (%)	77.50±0.16	77.57±0.43	77.40±0.41	77.63±0.32
粗蛋白 (%/DM)	87.26±0.93	87.21±0.28	86.88±0.75	86.88±0.71
粗脂肪 (%/DM)	4.43±0.40	4.70±0.28	4.76±0.23	5.16±0.99

2.3 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼鱼种血清非特异性免疫的影响

替代 2/3 鱼粉用量组溶菌酶活性显著低于对照组 ($P<0.05$), 其余各组间无显著差异 ($P>0.05$); 各混合发酵蛋白组超氧化物歧化酶活性均高于对照组; 碱性磷酸酶活性在各组间无显著差异 ($P>0.05$) (表 5)。

表 5 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼鱼种血清非特异性免疫的影响

Tab. 5 Effect of fermented mixture-protein replacing fish meal on activities of LSZ, SOD, AKP in serum of fingerling tilapia

组别	对照组	1/3 FMP	2/3 FMP	3/3 FMP
LSZ ($\mu\text{g/mL}$)	75.58±4.46 ^a	73.23±3.91 ^a	68.54±3.91 ^b	76.47±4.56 ^a
SOD (u/mL)	48.66±1.09 ^c	53.38±3.88 ^{ab}	54.39±3.38 ^a	50.53±1.54 ^{bc}
AKP (金氏 /100 mL)	1.71±0.20	1.67±0.23	1.64±0.25	1.72±0.10

2.4 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼鱼种消化道蛋白酶活性、饲料消化率的影响

各组在饲料干物质消化率、蛋白质消化率、肠蛋白酶活性上无显著差异 ($P>0.05$); 在胃蛋白酶活性方面, 混合发酵蛋白替代 1/3 鱼粉组较对照组显著降低 ($P<0.05$), 其后随替代量的增加, 活性逐渐升高 (表 6)。

表 6 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼鱼种消化道蛋白酶活性、饲料消化率的影响

Tab. 6 Effect of fermented mixture-protein replacing fish meal on activities of protease in intestine and stomach and the apparent digestibility coefficients of fingerling tilapia

组别	对照组	1/3 FMP	2/3 FMP	3/3 FMP
干物质消化率 (%)	52.26±0.63	52.09±0.53	52.01±1.03	53.19±2.48
蛋白消化率 (%)	73.16±0.39	71.51±0.99	72.53±0.98	72.56±1.07
胃蛋白酶 (U/g)	779.82±47.71 ^{ab}	711.15±30.11 ^c	730.27±63.07 ^{bc}	803.89±27.78 ^a
肠蛋白酶 (U/g)	2983.95±235.16	2965.13±378.40	2928.79±390.61	2832.57±471.34

3 讨论

3.1 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼生长性能的影响

发酵工艺、原料来源及鱼类品种不同,发酵产物在鱼类饲料中的用量和作用效果也不一致。以乳酸菌发酵罗非小杂鱼豆粕(1:1)+15%鱼粉为主要蛋白源饲料,饲养鲶(*Clarias gariepinus*)(10.41~12.23 g)70 d与摄食商品饲料相比,鱼体增重率下降17.91%,特定生长率、蛋白质效率均显著降低,但与发酵罗非小杂鱼 畜禽粉(1:1)、发酵罗非小杂鱼 肉骨粉(1:1)等发酵组相比,各生长指标无显著差异^[3];以发酵罗非小杂鱼 豆粕(2:1)可完全替代尼罗罗非鱼[(56.2±3.7) g]饲料中鱼粉而不影响机体生长性能^[1]。其结果差异主要是发酵混合物中鱼粉与植物性蛋白比例不同所致,在尼罗罗非鱼饲料中,发酵混合物杂鱼:豆粕为2:1^[1],而在鲶鱼试验中是1:1^[3],鱼粉比例越高,其营养价值越高。本研究表明,在鱼苗阶段(1.0 g),以9.6%混合发酵蛋白替代饲料中6%鱼粉(相当于鱼粉用量2/3)时,对机体生长无显著影响;随着鱼体增长,机体对植物性蛋白耐受力逐渐增强,在鱼种(17.0 g)饲料中,混合发酵蛋白可完全替代饲料中鱼粉,而不影响奥尼罗非鱼生长性能。在相同的发酵动、植物性蛋白比(杂鱼:豆粕=1:1)条件下,本试验结果与Fagbenro等^[3]在鲶的结论不同,这主要与发酵条件有关,在鲶鱼上是以30℃发酵,而本试验以110℃发酵,发酵可清除非热敏性的大豆抗原(大豆球蛋白和α大豆球蛋白),高温更能有效降解豆粕中热敏性抗营养因子,如以130℃处理,豆粕中胰蛋白酶抑制因子由38.96 mg/g降低到1.05 mg/g以下,显著改善了鲶[4.98±0.09) g]生长性能^[4]。

3.2 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼饲料消化率及消化道蛋白酶活性的影响

饲料营养物质消化率是影响鱼体生长的重要因素。以乳酸菌发酵罗非小杂鱼 豆粕(2:1)混合物,产物可完全替代尼罗罗非鱼饲料中的鱼粉,而不影响饲料干物质、蛋白、能量表观消化率^[1];Fagbenro等^[5]报道,发酵虾头 豆粕混合物,产物蛋白质表观消化率较未发酵组提高19.16%。本试验中混合发酵蛋白所用豆粕粗蛋白含量40.32%,粗灰分6.14%,属三级豆粕,其蛋白质消化率较低,若未经处理,直接与鲜杂鱼混合用于饲料中,势必影响机体生长,降低饲料消化率。而经发酵后,各混合发酵蛋白组饲料干物质消化率和蛋白质消化率与对照组均无显著差异,可见混合发酵蛋白较其原料提高了营养价值。一方面在发酵中微生物将鲜杂鱼、豆粕中的蛋白质分解成鱼类易消化吸收的蛋白胨、多肽及氨基酸,并进一步合成氨基酸较平衡的菌体蛋白,提高产物适口性;另一方面,发酵降解了豆粕中抗营养因子、提高了饲料可利用率^[5]。这是混合发酵蛋白组奥尼罗非鱼生长性能与全鱼粉组相当的原因。

目前,关于发酵产物对鱼类蛋白酶活性的影响未见报道。研究表明,豆粕在饲料中的直接运用,其抗原蛋白,植物凝聚素,皂角苷等成分易造成肠微绒毛受损,消化酶活性降低^[6-7],严重时可导致营养物质消化吸收受阻^[8]。本次试验中,混合发酵蛋白替代鱼粉不影响肠蛋白酶活性,可见,发酵可削弱高豆粕对肠道消化器官的损伤,恢复肠道蛋白酶活性。而胃蛋白酶活性随发酵蛋白替代量的增加逐渐而升高,可能与发酵降低饲料pH有关^[1],较低pH有利于促进胃蛋白酶活性;也有可能是在发酵中产生大量肽类、寡糖、维生素等代谢产物,从而刺激相应的化学感受器诱导促进蛋白酶的分泌;此外是发酵产物中的有益微生物有利于消化道有益菌群的生长,改善消化道结构。这些方面有待进一步研究。

3.3 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼血清非特异性免疫的影响

溶菌酶、超氧化物歧化酶和碱性磷酸酶是动物非特异免疫的重要因子,在机体防御中发挥着重要作用。以25%豆粕取代饲料中18.67%鱼粉,舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)肠道 AKP活性降低16.27%^[9];饲料中高豆粕含量将降低虹鳟头肾巨噬细胞活性^[10]。可见,当饲料中豆粕达一定量时,将影响鱼类非特异性免疫。本次试验中,混合发酵蛋白全部取代鱼粉后,对血清 AKP活性无影响,与上述研究^[9]中高豆粕含量降低 AKP活性的结果不同,同时各发酵蛋白替代组的 SOD活性均高于对照组。这表明,发酵处理可削弱高豆粕含量对鱼类的不良影响,改善血清非特异免疫功能。其原因可能是发酵中一些微生物菌本身具有免疫调节作用,发酵后还可产生一些具生理活性的物质;此外,发酵可使蛋白

质降解为一些具特殊功能活性的多肽、小肽物质,使得发酵产物对鱼类非特异性免疫产生影响。如:投喂含发酵豆粕 28%的饲料,能提高异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 血清总蛋白含量、血液中白细胞的吞噬百分比和吞噬指数,降低血清中谷丙转氨酶活性^[11];饲料中添加乳酸发酵豆粕 14.6%,能促进大西洋鲑胰岛素分泌,降低前肠细胞的皮外渗透,提高机体免疫防御能力^[12];在大西洋鲑 (*Salmo salar L.*)^[13]、大鳞鲃 (*Scophthalmus maximus*)^[14]饲料中添加免疫调节剂酵母葡聚糖,也得到类似结果。

本次研究表明:混合发酵蛋白可替代奥尼罗非鱼稚鱼饲料中 2/3 鱼粉 (占饲料 6%) 及奥尼罗非鱼鱼种饲料中的全部鱼粉 (占饲料 9%),而不影响机体生长性能。

试验得到上海爱旺生物科技有限公司资金资助,特此致谢!

参考文献:

- [1] Fagbenro O A, Jauncey K. Physical and nutritional properties of moist fish silage pellets as a protein supplement for tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Animal Feed Science Technology*, 1998, 71: 11-18.
- [2] 中山大学生物系生化微生物教研室. 生化技术导论 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 46-56.
- [3] Fagbenro O A, Jauncey K. Growth and protein utilization by juvenile catfish (*Clarias gariepinus*) fed dry diets containing co-dried lactic acid fermented fish silage and protein feedstuffs [J]. *Bioresource Technology*, 1995, 51(1): 29-35.
- [4] Peres H, Linb C, Klesius P H. Nutritional value of heat treated soybean meal for channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Aquaculture* 2003, 225: 67-82.
- [5] Fagbenro O A, Oluayo A, Bello O. Preparation, nutrient composition and digestibility of fermented shrimp head silage [J]. *Food Chemistry*, 1997, 60(4): 489-493.
- [6] Krogdahl A, Bakke-McKellep A M, Baeverfjord G. Effects of graded levels of standard soybean meal on intestinal structure, mucosal enzyme activities and pancreatic response in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) [J]. *Aquac Nutr* 2003, 9: 361-371.
- [7] Bakke-McKellep A M, Press C M, Baeverfjord G, et al. Changes in immune and enzyme histochemical phenotypes of cells in the intestinal mucosa of Atlantic salmon (*Salmo salar L.*), with soybean meal-induced enteritis [J]. *Fish Dis* 2000, 23: 115-127.
- [8] Nordrum S, Bakke-McKellep A M, Krogdahl A, et al. Effects of soybean meal and salinity on intestinal transport of nutrients in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Comp Biochem Physiol B* 2000, 125: 317-335.
- [9] Tibakli E, Hakin Y, Uni Z, et al. Effects of the partial substitution of dietary fish meal by differently processed soybean meals on growth performance, nutrient digestibility and activity of intestinal brush border enzymes in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Aquaculture* 2006, 261: 182-193.
- [10] Burrells C, Williams P D, Southgate P J, et al. Immunological, physiological and pathological responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to increasing dietary concentration of soybean proteins [J]. *Vet Immunol Immunopathol* 1999, 72: 277-288.
- [11] 陈 萱, 梁运祥, 陈昌福. 发酵豆粕饲料对异育银鲫非特异性免疫功能的影响 [J]. *淡水渔业*, 2005, 25(2): 6-8.
- [12] Refstie S, Sahlström S, Brathen E, et al. Lactic acid fermentation eliminates indigestible carbohydrates and anti-nutritional factors in soybean meal for Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture* 2005, 46(4): 331-345.
- [13] Jørgensen J B, Robertsen B. Peritoneal and head kidney cell response to intraperitoneally injected yeast glucan in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) [J]. *Fish Disease* 1993, 16: 313-325.
- [14] Baulhy M O D, Quentel C, Fournier V. Effect of long term oral administration of β -glucan as an immunostimulant or an adjuvant on some non-specific parameters of the immune response of turbot *Scophthalmus maximus* (Linnaeus) [J]. *Disease of Aquatic Organism*, 1996, 26: 139-147.