

网络出版时间:2016-11-24 13:52

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.01.002

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20161124.1352.004.html>

发酵豆粕替代鱼粉对洛氏鲮生长、饲料利用及非特异性免疫指标的影响

闫磊¹, 祖岫杰², 吴莉芳¹, 全亚男¹, 邢秀苹¹, 林佳洁¹, 王洪鹤¹

(1 吉林农业大学 动物科学技术学院, 吉林 长春 130118; 2 吉林省水产科学研究院, 吉林 长春 130033)

【摘要】【目的】研究发酵豆粕替代鱼粉对洛氏鲮生长发育的影响, 为优化洛氏鲮饲料配方提供参考。【方法】以体质量(8.06±0.95) g/尾的洛氏鲮为研究对象, 以鱼粉和发酵豆粕为蛋白源, 糊精与面粉为糖源, 玉米油、鱼油为脂肪源, 纤维素为填充物, 配制成5种等氮(粗蛋白含量为380.0 g/kg)、等能(总能为15.20 MJ/kg)的半精制饲料, 其中发酵豆粕替代鱼粉的比例分别为0.0%(对照), 16.5%, 33.0%, 49.5%和66.0%, 将600尾洛氏鲮随机分成5组, 分别用上述5种饲料进行为期8周的饲养试验。试验结束后采用国标方法测定其肌肉营养成分, 并采用试剂盒测定洛氏鲮血清中碱性磷酸酶(AKP)、超氧化物歧化酶(SOD)及溶菌酶(LZM)的活性。【结果】在本试验条件下, 随着发酵豆粕替代鱼粉比例的增加, 洛氏鲮的终末体质量、体质量增加率及特定生长率、蛋白质沉积率均呈下降趋势, 当发酵豆粕替代鱼粉的比例为49.5%和66.0%时, 洛氏鲮终末体质量、体质量增加率、特定生长率及蛋白质沉积率均显著低于对照组($P<0.05$); 当发酵豆粕替代鱼粉的比例为66.0%时, 其饲料效率、蛋白质效率显著低于对照组($P<0.05$)。随着发酵豆粕替代鱼粉比例的增加, 洛氏鲮肌肉中的粗蛋白质量分数呈下降趋势, 其中49.5%和66.0%豆粕替代组洛氏鲮肌肉中的粗蛋白质量分数均显著低于对照组($P<0.05$), 而各组洛氏鲮肌肉中的水分、粗脂肪和粗灰分差异均不显著($P>0.05$)。发酵豆粕替代鱼粉的比例为49.5%和66.0%时, 洛氏鲮血清中的SOD和LZM活性显著低于对照组($P<0.05$), 而AKP活性在各组之间差异不显著($P>0.05$)。【结论】在本试验条件下, 洛氏鲮配合饲料中发酵豆粕替代鱼粉的比例不超过33.0%时, 其对洛氏鲮生长、饲料利用及非特异免疫指标均无显著影响。

【关键词】 洛氏鲮; 发酵豆粕; 生长发育; 饲料利用; 非特异性免疫

【中图分类号】 S965.199; S963.71

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)01-0007-07

Effects of replacing fish meal with fermented soybean on growth performance, feed utilization and non-specific immune indexes of *Phoxinus lagowskii* Dybowski

YAN Lei¹, ZU Xiujie², WU Lifang¹, QUAN Yanan¹,

XING Xiuping¹, LIN Jiajie¹, WANG Honghe¹

(1 College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China;

2 Fisheries Science Research Institute of Jilin Province, Changchun, Jilin 130033, China)

Abstract: 【Objective】The research investigated the effects of replacing fish meal with fermented soybean on growth performance, feed utilization and non-specific immune response of *Phoxinus lagowskii* Dybowski. 【Method】Fermented soybean meal were used to replace 0.0 (control), 16.5%, 33.0%, 49.5%, and 66.0% of fish meal in five iso-caloric (total energy of 15.20 MJ/kg) and iso-nitrogenous (crude pro-

【收稿日期】 2015-09-08

【基金项目】 吉林省科技厅科技发展规划项目(20160204019NY, 20130409013CB)

【作者简介】 闫磊(1989—), 男, 吉林长春人, 在读硕士, 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: wang136716026@qq.com

【通信作者】 吴莉芳(1970—), 女, 吉林农安人, 教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事水产动物营养与饲料研究。

E-mail: wulifang2915@126.com

tein content of 380.0 g/kg) diets, which used fish meal and fermented soybean as protein source, dextrin and flour as carbohydrate source, corn oil and fish oil as fat source, and cellulose as filler. Each diet was fed to *Phoxinus lagowskii* Dybowski with initial mean weight of (8.06 ± 0.95) g for 8 weeks. After the feeding trial, national standard methods were used for determining muscle nutrients, and kits were used to measure activities of serum alkaline acid enzyme (AKP), superoxide dismutase (SOD) and lysozyme (LZM). 【Result】 With the increase of fermented soybean ratio, final body weight, weight gain rate, specific growth rate and protein deposition rate decreased, and they were significantly lower than that of the control group when the ratios were 49.5% and 66.0% ($P < 0.05$). Protein efficiency and feed efficiency of 66.0% group were also decreased significantly ($P < 0.05$). The crude proteins in muscle of 49.5% and 66.0% groups were decreased significantly ($P < 0.05$), while there were no significant differences in moisture, crude fat, and crude ash ($P > 0.05$). The SOD and LZM activities in serum of 49.5% and 66.0% groups were significantly lower than that of the control group ($P < 0.05$), while AKP activities in 16.5%, 33.0% and 49.5% groups had no significant difference from that of the control ($P > 0.05$). 【Conclusion】 Replacement of less than 33.0% fish meal with fermented soybean had no significant effects on growth performance, feed utilization and non-specific immune indexes of *Phoxinus lagowskii* Dybowski.

Key words: *Phoxinus lagowskii* Dybowski; fermented soybean; growth performance; feed utilization; non-specific immune

洛氏鲮(*Phoxinus lagowskii* Dybowski) 又称拉氏鲮, 俗称柳根池, 隶属于鲤形目(Cypriniformes)、鲤科(Cyprinidae)、雅罗鱼亚科(Leuciscinae)、鲮属(*Phoxinus Agassiz*), 是我国特有的淡水名贵小型经济鱼类, 具有肉质细嫩、味道鲜美、营养价值高、适应范围广、抗病力强、耐低氧等特点, 是池塘、网箱及工业化养鱼的主要对象, 具有广阔的养殖发展前景。关于洛氏鲮的生物学^[1-2]、生态学^[3-4]、人工繁殖技术^[5]、池塘驯养技术^[6-7]及肌肉营养价值评价^[8]等已有研究, 而关于洛氏鲮配合饲料方面的研究尚鲜见系统报道。近年来, 随着集约化水产养殖的发展, 鱼粉资源短缺, 寻求鱼粉蛋白替代品已成为国际性研究课题^[9]。发酵豆粕(Fermented soybean meal)是一种抗营养因子含量少、营养价值高、可适量替代鱼粉的一种优质饲料蛋白源^[10]。目前, 国内外学者在发酵豆粕替代鱼粉方面开展了许多相关的研究, 所涉及的鱼类主要有石斑鱼(*Epinephelus*)^[11]、斑点叉尾鲴(*Ictalurus Punetaus*)^[12]、黑鲷(*Sparus macrocephalus*)^[13]、杂交罗非鱼(*Oreochromis spp*)^[14]、方正鲫(*Carassius auratus*)^[15]、卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus* Linnaeus)^[16]、比目鱼(*Platichthys stellatus*)^[17]等, 研究内容集中于发酵豆粕替代鱼粉对鱼生长性能^[16]、消化性能^[12]、肠道组织^[13]、血液生化指标^[13]的影响等方面, 而关于发酵豆粕替代鱼粉对洛氏鲮生长、饲料利用及非特异免疫的影响尚未见报道。为此, 本研究以洛氏鲮幼

鱼为对象, 利用不同比例的发酵豆粕替代鱼粉蛋白, 通过饲养试验, 探讨洛氏鲮配合饲料中发酵豆粕替代鱼粉的适宜比例, 分析发酵豆粕替代鱼粉对洛氏鲮肌肉营养成分及非特异免疫指标的影响, 旨在为合理开发利用大豆蛋白源及优化洛氏鲮饲料配方提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料的制备

以鱼粉和发酵豆粕(均由大连博仕奥生物科技有限公司提供)为蛋白源, 糊精和面粉为糖源, 玉米油、鱼油为脂肪源, 纤维素为填充物, 配制成 I (对照)、II、III、IV 和 V 5 种等氮(粗蛋白含量为 380.0 g/kg)、等能(总能为 15.20 MJ/kg)的半精制饲料, 其发酵豆粕替代鱼粉的比例分别为 0.0%(对照), 16.5%, 33.0%, 49.5% 和 66.0%。将所有原料粉碎过 0.246 mm(60 目)筛, 按表 1 配方称其质量, 混合均匀, 挤压成直径 2.0 mm 颗粒, 晒干后置于 -20℃ 冰柜中保存备用。

1.2 饲养管理

试验所用洛氏鲮购于吉林省蛟河市水产养殖场, 饲养试验在吉林农业大学水族生态室控温单循环养殖系统中进行, 饲养试验开始前先预饲 15 d, 饱食投喂对照组饲料, 然后挑选规格整齐、体质健壮的洛氏鲮鱼(体质量为 (8.06 ± 0.95) g/尾)600 尾, 随机分成 5 组, 每组 3 个重复, 每个重复放养洛氏鲮

40 尾,每组分别饲喂 I、II、III、IV、V 组饲料,进行为期 8 周的饲养试验。饲养试验期间保持水温在 $(19\pm 3)\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{NH}_3\text{-N}<0.3\text{ mg/L}$, $\text{DO}>6\text{ mg/L}$;每天投喂 2 次(09:00,16:00),投饵率为 3%~5%,投喂方式为人工撒饵。

表 1 供试饲料配方及主要营养成分(风干基础)

Table 1 Formulation and nutritional composition of experimental diets(air-dry basis)

项目 Item	成分 Component	饲料分组 Diet group				
		I	II	III	IV	V
配方 Formula	鱼粉/(g·kg ⁻¹)Fish meal	543.8	453.2	363.0	272.5	182.0
	发酵豆粕/(g·kg ⁻¹)Fermented soybean meal	0.0	107.8	215.7	323.5	431.4
	玉米蛋白粉/(g·kg ⁻¹)Corn protein powder	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
	面粉/(g·kg ⁻¹)Flour	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
	糊精/(g·kg ⁻¹)Dextrin	149.7	132.9	116.0	99.3	82.6
	微晶纤维素/(g·kg ⁻¹)Cellulose microcrystalline	40.5	37.5	34.3	31.3	28.2
	预混料/(g·kg ⁻¹)Premix	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	氯化胆碱/(g·kg ⁻¹)Choline chloride	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	聚黏宝/(g·kg ⁻¹)Poly sticky	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	玉米油/(g·kg ⁻¹)Corn oil	3.0	4.3	5.5	6.7	7.9
	鱼油/(g·kg ⁻¹)Fish oil	3.0	4.3	5.5	6.7	7.9
营养 Nutrient	粗蛋白/(g·kg ⁻¹)Crude protein	380.1	380.0	380.1	380.0	380.1
	粗脂肪/(g·kg ⁻¹)Crude lipid	60.0	60.1	60.1	60.0	60.0
	粗纤维/(g·kg ⁻¹)Crude fiber	40.0	40.1	40.0	40.1	40.0
	粗灰分/(g·kg ⁻¹)Ash	82.4	75.2	68.2	61.1	53.9
	总能/(MJ·kg ⁻¹)Calculated gross energy	15.20	15.21	15.20	15.21	15.20

1.3 样品的采集与测定

1.3.1 生长指标 饲养试验结束后,饥饿 24 h 称鱼体质量并测量体长。然后每缸活体解剖 10 尾,分别称其体质量、肝胰脏质量、内脏质量。按下面公式计算体质量增加率、特定生长率、饲料效率、蛋白质效率、蛋白质沉积率、肥满度、肝体比和脏体比等指标:

$$\text{体质量增加率(WG)}=\frac{(m_t-m_0)}{m_0}\times 100\%,$$
$$\text{特定生长率(SGR)}=\frac{(\ln m_t-\ln m_0)}{t}\times 100\%,$$
$$\text{饲料效率(FER)}=\frac{(m_t-m_0)}{m_1}\times 100\%,$$
$$\text{蛋白质效率(PER)}=\frac{(m_t-m_0)}{m_1\times w_p}\times 100\%,$$
$$\text{蛋白质沉积率(PPV)}=\frac{(m_t\times w_{p1}-m_0\times w_{p2})}{m_1\times w_p}\times 100\%,$$

$$\text{肥满度(CF,g/cm}^3\text{)}=\frac{m_t}{L^3}\times 100,$$
$$\text{肝体比(VI)}=\frac{m_H}{m_t}\times 100\%,$$
$$\text{脏体比(HI)}=\frac{m_v}{m_t}\times 100\%.$$

式中: m_0 、 m_t 分别为试验初始和终末鱼体质量(g), m_1 为摄入干饲料质量(g), t 为试验时间(d), w_p 为饲料粗蛋白质量分数(%), w_{p1} 、 w_{p2} 分别为试验初始

和终末鱼体蛋白质量分数(%), L 为体长(cm), m_H 为肝胰脏质量(g), m_v 为内脏质量(g);

1.3.2 非特异性免疫指标 饲养试验结束后,随机从每缸取洛氏鲮 20 尾,尾静脉取血,4℃条件下 3 000 r/min 离心 15 min,取上层血清于-80℃冰柜中保存备用。然后采用试剂盒(南京建成科技有限公司)测定碱性磷酸酶(AKP)、超氧化物歧化酶(SOD)及溶菌酶(LZM)活性。

1.3.3 肌肉营养成分 饲养试验结束后,每缸随机取洛氏鲮 10 尾,取侧线以上、背鳍以下肌肉,采用国标方法测定其营养成分。

1.4 数据统计与分析

采用 SPSS 20.0 软件对洛氏鲮生长、饲料利用及非特异性免疫指标数据进行方差分析,若方差分析结果显著,进一步用 LSD 和 Duncan's 法进行多重比较,以 $P<0.05$ 代表差异显著,试验结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 发酵豆粕替代鱼粉对洛氏鲮生长及饲料利用的影响

表 2 表明,在本试验条件下,随着发酵豆粕替代鱼粉比例的增加,洛氏鲮的终末体质量、体质量增加率及特定生长率、蛋白质沉积率均呈下降趋势,饲料 II、III 处理组洛氏鲮的终末体质量、体质量增加率和

特定生长率、蛋白质沉积率与对照组(CK)差异不显著($P>0.05$),而饲料Ⅳ、Ⅴ处理组洛氏鲮的终末体质量、体质量增加率、特定生长率及蛋白质沉积率均显著低于对照组(CK)($P<0.05$);发酵豆粕替代鱼

粉比例为 66.0%时洛氏鲮饲料效率、蛋白质效率均显著低于对照组(CK)($P<0.05$)。不同饲料组间相比,洛氏鲮肝体比、脏体比和肥满度差异不显著($P>0.05$)。

表 2 发酵豆粕替代鱼粉对洛氏鲮生长及饲料利用的影响

Table 2 Effects of replacing fish meal with fermented soybean in diets on growth and feed utilization of *Phoxinus lagowskii* Dybowski

组别 Group	初始体质量/g Initial mean body weight	终末体质量/g Final mean body weight	体质量增加率/% Weight gain rate	特定生长率/% Specific growth rate	饲料效率/% Feed efficiency
I (CK)	8.04±0.03 a	16.62±0.75 a	1.07±0.10 a	1.30±0.08 a	68.15±4.80 a
Ⅱ	8.05±0.12 a	15.59±3.64 ab	0.94±0.47 ab	1.15±0.44 ab	67.69±7.82 a
Ⅲ	8.12±0.06 a	13.97±1.91 ab	0.72±0.23 ab	0.96±0.24 ab	63.92±6.92 a
Ⅳ	8.10±0.16 a	12.57±1.48 b	0.55±0.17 b	0.78±0.19 b	56.75±8.85 ab
Ⅴ	8.00±0.06 a	11.71±1.37 b	0.46±0.18 b	0.67±0.22 b	49.23±4.43 b

组别 Group	蛋白质效率/% Protein efficiency	蛋白质沉积率/% Protein deposition rate	肝体比/% Hepatosomatic index	脏体比/% Viscerasomatic index	肥满度/(g·cm ⁻³) Condition factor
I (CK)	1.79±0.13 a	35.42±0.43 a	3.00±0.26 a	17.88±1.80 a	1.79±0.86 a
Ⅱ	1.78±0.21 a	34.03±4.07 a	2.90±0.68 a	16.81±2.17 a	1.49±0.32 a
Ⅲ	1.68±0.18 a	29.32±5.01 ab	2.95±0.42 a	15.49±2.15 a	1.45±0.06 a
Ⅳ	1.49±0.23 ab	24.30±2.33 bc	2.72±0.67 a	16.23±2.93 a	1.64±0.37 a
Ⅴ	1.30±0.12 b	19.37±2.81 c	2.60±0.42 a	14.87±3.05 a	1.54±0.18 a

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下表同。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$. The same below.

2.2 发酵豆粕替代鱼粉对洛氏鲮肌肉营养成分的影响

从表 3 可以看出,随着发酵豆粕替代鱼粉比例的增加,洛氏鲮肌肉中的粗蛋白质量分数呈下降趋势,其中发酵豆粕替代鱼粉比例较小的饲料Ⅱ和Ⅲ

组洛氏鲮的粗蛋白质量分数与对照组(CK)差异不显著($P>0.05$),而Ⅳ和Ⅴ组的粗蛋白质量分数显著低于对照组(CK)($P<0.05$)。不同饲料组间相比,洛氏鲮肌肉中的水分、粗脂肪和粗灰分质量分数差异不显著($P>0.05$)。

表 3 发酵豆粕替代鱼粉对洛氏鲮肌肉营养成分的影响

Table 3 Effects of replacing fish meal with fermented soybean in diets on nutritional composition in muscle of *Phoxinus lagowskii* Dybowski

组别 Group	水分 Moisture	粗蛋白 Protein	粗脂肪 Lipid	粗灰分 Ash	%
I (CK)	77.04±0.43 a	18.46±0.62 a	1.41±0.09 a	2.65±0.09 a	
Ⅱ	77.40±1.08 a	17.98±0.97 ab	1.42±0.10 a	2.61±0.10 a	
Ⅲ	78.26±1.13 a	17.26±0.97 ab	1.43±0.08 a	2.61±0.10 a	
Ⅳ	78.38±1.16 a	16.77±0.79 b	1.43±0.10 a	2.57±0.10 a	
Ⅴ	78.96±1.24 a	16.57±0.84 b	1.45±0.08 a	2.54±0.13 a	

2.3 发酵豆粕替代鱼粉对洛氏鲮非特异性免疫指标的影响

由表 4 可知,用发酵豆粕替代鱼粉比例为 16.5%和 33.0%的饲料Ⅱ和Ⅲ饲喂洛氏鲮时,其血清中的 SOD 和 LZM 活性与对照组(CK)差异不显著($P>0.05$);而用发酵豆粕替代鱼粉比例为 49.5%和 66.0%的饲料Ⅳ和Ⅴ饲喂洛氏鲮时,其血清中的 SOD 和 LZM 活性显著低于对照组(CK)($P<0.05$)。本试验条件下,洛氏鲮血清中的 AKP 活力在各饲料组间差异不显著($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 发酵豆粕对洛氏鲮生长及饲料利用的影响

Md 等^[18]研究表明,用 45%和 60%的发酵大豆粉和扇贝副产品共混物(质量比为 3:2)替代鱼粉饲喂真鲷幼鱼(*Pagrus major*)时,试验期体质量增加率和特定生长率显著下降,其中 60%发酵大豆粉替代组饲料效率下降显著,这与本试验结果相似。刘兴旺等^[16]用 60.8%的发酵豆粕替代鱼粉蛋白,显著降低了卵形鲳鲹的体质量增加率和饲料利用率。陈宇航等^[19]研究表明,用比例大于 33%的发酵豆粕

替代红鱼粉饲喂异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*),试验 60 d 后会导致其体质量增加率、特定生长率(SGR)、饲料效率(FE)等显著下降。胡亮等^[20]在花鲈(*Lateolabrax japonicus*)配合饲料中,用 50% 发酵豆粕替代鱼粉,饲喂 8 周后终末平均体质量、成活率、相对体质量增加率、特定增长率、摄食率、蛋白质转化效率均显著下降。Twibell 等^[21]研究表明,饲料中大豆蛋白含量的提高会导致鱼类摄食率下

表 4 发酵豆粕替代鱼粉对洛氏鲮非特异性免疫指标的影响

Table 4 Effects of replacing fish meal with fermented soybean in diets on non-specific immune indexes of *Phoxinus lagowskii* Dybowski

组别 Group	AKP/ (U · mL ⁻¹)	SOD/ (U · mL ⁻¹)	LZM/ (μg · mL ⁻¹)
I (CK)	1.05±0.23 a	179.83±9.49 a	2.26±0.55 a
II	1.09±0.18 a	168.52±15.71 ab	3.06±0.24 a
III	1.10±0.07 a	162.23±7.55 ab	2.30±1.00 a
IV	1.22±0.33 a	135.82±33.95 b	1.16±0.07 b
V	1.17±0.01 a	138.33±24.55 b	1.13±0.09 b

本研究还发现,发酵豆粕替代鱼粉比例为 66.0%时,洛氏鲮的饲料效率、蛋白质效率均显著低于对照组,说明在洛氏鲮配合饲料中,发酵豆粕替代量过高会影响饲料的利用效率和蛋白质利用率,这主要是由于发酵豆粕中含有大豆抗营养因子所致。豆粕经微生物发酵后,大部分的抗营养因子被分解,但其并不能被完全消除,仍有部分存在或者未被灭活。彭辉才^[23]在 2 种发酵豆粕中检测出 β-伴大豆球蛋白和大豆球蛋白,亦证明了这一点。另外,发酵豆粕高比例替代洛氏鲮配合饲料中的鱼粉蛋白,会使饲料中的植物性蛋白含量过高,导致饲料中的氨基酸比例失衡、适口性下降^[24]、饲料蛋白利用率降低,使鱼的生长受阻。

在本试验中,发酵豆粕替代鱼粉对洛氏鲮肝体比、脏体比和肥满度均无显著影响($P>0.05$)。程成荣等^[14]的研究表明,发酵豆粕替代饲料中的鱼粉比例不超过 80%时,各试验组杂交罗非鱼的肝体比和肥满度与对照组无显著差异,与本试验结果相似。

3.2 发酵豆粕对洛氏鲮肌肉营养成分的影响

鱼体的肌肉营养成分反映了鱼类的营养水平和生理状态,易受饲料成分、饲养环境、饲喂技术等因素的影响。本研究表明,在发酵豆粕替代鱼粉比例为 49.5%和 66.0%时,洛氏鲮肌肉中的粗蛋白质量分数显著低于对照组,这主要是由于发酵豆粕中残留有大豆抗营养因子,影响了蛋白质的沉积所致。胡亮等^[22]的研究表明,花鲈饲料中 50%的白鱼粉被发酵豆粕替代后,试验鱼肉质的硬度、咀嚼力及黏性力等品质均有所变差,并显著低于对照组,这与本试

验结果相似。艾庆辉等^[22]也认为,植物蛋白替代动物蛋白在一定范围内是可行的,超过适宜添加量则会引起水生动物生长性能急剧下降。本试验表明,当饲料中发酵豆粕替代鱼粉比例为 49.5%和 66.0%时,洛氏鲮的终末体质量、体质量增加率、特定生长率及蛋白质沉积率均显著低于对照组,说明发酵豆粕替代比例超过 49.5%后会降低洛氏鲮的生长性能。

验结果相似。刘兴旺等^[16]用 17.6%,31.4%,45.1%和 60.8%的发酵豆粕替代鱼粉蛋白配制饲料投喂卵形鲳鲹后,其肌肉中的水分、粗蛋白、粗脂肪及灰分均未受到显著影响。而 Moyano 等^[25]的研究表明,植物蛋白替代鱼粉并不影响鱼体肌肉成分,这与本试验结果有一定差异,这种差异可能是由于所用植物蛋白的种类和鱼的品种不同引起的。

3.3 发酵豆粕对洛氏鲮非特异性免疫指标的影响

AKP 是鱼类生理活动及疾病诊断的重要指标之一,在机体内参与磷酸基团的转移、代谢,并与 RNA、DNA 及蛋白质的代谢有关^[26-27]。本研究表明,在本试验条件下的洛氏鲮配合饲料中,发酵豆粕替代鱼粉对其血清 AKP 活性影响不显著。刘勇等^[28]研究发现,混合发酵蛋白(m (鲜杂鱼): m (豆粕)=1:1)对奥尼罗非鱼幼鱼血清 AKP 活性无显著影响。宋文新^[29]对黑鲷幼鱼的研究也表明,发酵豆粕替代鱼粉对其血清 AKP 活性影响不显著。

SOD 广泛存在于细胞浆及线粒体基质中,是清除活性氧自由基的重要抗氧化酶类,其活性的高低与水产动物的免疫能力密切相关,对于增强吞噬细胞吞噬防御能力和水产动物本身的免疫功能具有重要意义^[30]。本研究表明,与对照组相比,发酵豆粕替代鱼粉比例达到 49.5%和 66.0%时,洛氏鲮血清中的 SOD 活性显著下降。Francis 等^[31]研究表明,豆粕及豆粕产物会降低血清的 SOD 活力。付晶晶等^[32]的研究表明,豆粕等蛋白替代 40%和 60%鱼粉会导致花鲈机体的抗氧化能力显著下降。彭翔等^[13]研究指出,当发酵豆粕替代鱼粉蛋白质的比例

超过 30% 时,黑鲷血清中的 SOD 活性会显著下降。

LZM 可以破坏细菌的细胞壁,有抗菌消炎、提高吞噬活力的作用,是一种重要的非特异免疫因子^[33]。本研究发现,发酵豆粕替代鱼粉比例达到 49.5% 和 66.0% 时,洛氏鲮血清中的 LZM 活性显著下降,表明此时洛氏鲮的抗病能力有所减弱。刘勇等^[34]的研究也表明,豆粕替代鱼粉会显著降低罗非鱼血清中的 LZM 活性。Burrells 等^[35]研究也发现,在虹鳟的饲料中添加一定量的豆粕蛋白,随着豆粕添加量的增加虹鳟的非特异性免疫力显著下降。

参考文献

- [1] 张永泉,白庆利,徐伟,等.黑龙江流域绥芬河水系洛氏鲮个体繁殖力的研究[J].水产学杂志,2015,28(1):29-33.
Zhang Y Q, Bai Q L, Xu W, et al. Individual fecundity of minnow *Phoxinus lagowskii* Dybowski collected in Suifen River in Heilong River valley [J]. Chinese journal of fisheries, 2015, 28 (1): 29-33.
- [2] 王茂林,李保民,姜玉声,等.本溪太子河流域洛氏鲮个体繁殖力研究[J].长江大学学报(自然科学版),2013,10(29):28-32.
Wang M L, Li B M, Jiang Y S, et al. Rockwell minnow individual fertility study Taizi River in Benxi [J]. Journal of Yangtze University(Nat Sci Edit), 2013, 10(29): 28-32.
- [3] 康鑫,张远,张楠,等.太子河洛氏鲮幼鱼栖息地适宜度评估[J].生态毒理学报,2011,6(3):310-320.
Kang X, Zhang Y, Zhang N, et al. Assessment of habitat suitability of juvenile *Phoxinus lagowskii* Dybowski in Taizi River [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2011, 6(3): 310-320.
- [4] 张永泉,尹家胜,马波,等.温度和流速对洛氏鲮呼吸代谢的影响[J].生态学报,2015,35(17):1-9.
Zhang Y Q, Yin J S, Ma B, et al. Effects of temperature and water velocity on the respiratory metabolism and behavior of *Phoxinus lagowskii* Dybowski [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(17): 1-9.
- [5] 张永泉,徐伟,席庆凯,等.洛氏鲮的人工繁殖[J].安徽大学学报(自然科学版),2015,42(4):1-6.
Zhang Y Q, Xu W, Xi Q K, et al. The artificial propagation of *Phoxinus lagowskii* Dybowski [J]. Journal of Anhui University(Natural Science Edition), 2015, 42(4): 1-6.
- [6] 王春清,吕树臣,何玉华,等.东北地区柳根鱼的池塘驯养技术[J].饲料工业,2014,35(6):27-28.
Wang C Q, Lü S C, He Y H, et al. Pond breeding technology of Minnow *Phoxinus lagowskii* Dybowski in the area of north-east [J]. Feed Industry, 2014, 35(6): 27-28.
- [7] 程湘军.野生柳根鱼池塘人工驯养技术[J].黑龙江水产,2010(1):20-22.
Cheng X J. Breeding technology of Minnow *Phoxinus lagowskii* Dybowski [J]. Aquaculture of Heilongjiang, 2010(1): 20-22.
- [8] 张永泉,尹家胜,杜佳,等.洛氏鲮肌肉某些营养成分分析和肉质蛋白质营养价值评价[J].营养学报,2013,35(4):406-410.
Zhang Y Q, Yin J S, Du J, et al. Analysis of some nutritional components and evaluation of muscle protein of *Phoxinus lagowskii* Dybowski [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 35(4): 406-410.
- [9] Hardy R W, Kissil G W M. Trends in aquaculture feeding [J]. Feed Mix, 1997, 5: 31-33.
- [10] 宋文新,邵庆均.发酵豆粕在水产动物饲料中的应用[J].粮食与饲料工业,2009(11):28-30.
Song W X, Shao Q J. Application of fermented soybean meal in feeds for aquatic animals [J]. Cereal & Feed Industry, 2009 (11): 28-30.
- [11] 邹文超.凡纳滨对虾和斜带石斑鱼饲料中大豆蛋白替代鱼粉的研究[D].福建厦门:集美大学,2014.
Zou W C. Research on fishmeal replacement with soybean protein in the diets of *Litopenaeus vannamei* and *Epinephelus coioides* [D]. Xiamen, Fujian: Jimei University, 2014.
- [12] 李惠,黄峰,胡兵,等.发酵豆粕替代鱼粉对斑点叉尾鲴生长和饲料表观消化率的影响[J].淡水渔业,2007,37(5):41-44.
Li H, Huang F, Hu B, et al. Effects of replacement of fish meal with fermented soybean in the diet for Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) on growth performance and apparent digestibility of feed [J]. Freshwater fisheries, 2007, 37(5): 41-44.
- [13] 彭翔,宋文新,周凡,等.发酵豆粕替代鱼粉对黑鲷胃肠道和血清指标的影响[J].江苏农业学报,2012,28(5):1096-1103.
Peng X, Song W X, Zhou F, et al. Effects of fermented soybean meal replacing fish meal on gastrointestinal tract and serum indexes in black sea bream [J]. Jiangsu Journal of Agriculture Science, 2012, 28(5): 1096-1103.
- [14] 程成荣,刘永坚.杂交罗非鱼饲料中发酵豆粕替代鱼粉的研究[J].广东饲料,2004,13(2):26-27.
Cheng C R, Liu Y J. Hybrid tilapia feed fermented soybean meal of fish meal replacement [J]. Guangdong Feed, 2004, 13 (2): 26-27.
- [15] 黄雄斌,李国富.方正鲫饲料中发酵豆粕和豆粕替代鱼粉的研究[J].湖南农业科学,2010(13):143-145,148.
Huang X B, Li G F. The replacement of fishmeal by fermented soybean meal and soybean meal compound diets of *Carassius auratus* [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2010 (13): 143-145, 148.
- [16] 刘兴旺,王华朗,张海涛,等.豆粕和发酵豆粕替代鱼粉对卵形鲳鲷摄食生长的影响[J].中国饲料,2010(18):27-29,36.
Liu X W, Wang H L, Zhang H T, et al. The effects of replacing fish meal in the diets with unfermented and fermented defatted soybean meal (FSBM) on feed intake, growth and feed utilization juvenile Pompano (*Trachinotus ovatus* Linnaeus) [J]. China Feed, 2010(18): 27-29, 36.
- [17] Song Z D, Li H Y, Wang J Y, et al. Effects of fishmeal replacement with soy protein hydrolysates on growth perform-

- ance, blood biochemistry, gastrointestinal digestion and muscle composition of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*) [J]. Aquaculture, 2014, 4: 96-104.
- [18] Md A K, Shunsuke K, Manabu I, et al. Growth, nutrient utilization, oxidative condition, and element composition of juvenile red sea bream *pagrus major* fed with fermented soybean meal and scallop by-product blend as fishmeal replacement [J]. Fish Sci, 2011, 77: 119-128.
- [19] 陈宇航, 韩冬, 朱晓鸣, 等. 发酵豆粕替代红鱼粉对异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 的生长、氮磷利用及免疫应答的影响 [C]//中国水产学会. 2009 年中国水产学会学术年会论文摘要集. 海南海口: 中国水产学会, 2009: 118.
- Chen Y H, Han D, Zhu X M, et al. Effect of replacement of fishmeal by fermented soybean meal in diets the growth, phosphorus and nitrogen loading and immune response *Carassius auratus gibelio* [C]//China Society of Fisheries. 2009 Annual Meeting of Chinese Society of Fisheries Abstract Book. Haikou, Hainan; China Society of Fisheries, 2009: 118.
- [20] 胡亮, 薛敏, 吴秀峰, 等. 发酵豆粕替代鱼粉对花鲈生长、氮磷代谢及肉品质的影响 [C]//中国水产学会. 2009 年中国水产学会学术年会论文摘要集. 海南海口: 中国水产学会, 2009: 127.
- Hu L, Xue M, Wu X F, et al. Effect of fish-meal replacement by fermented soybean meal on growth, flesh quality, nitrogenous and phosphorus metabolism of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) under digestible amino acid profile [C]//China Society of Fisheries. 2009 Annual Meeting of Chinese Society of Fisheries Abstract Book. Haikou, Hainan; China Society of Fisheries, 2009: 127.
- [21] Twibell R G, Wilson R P. Preliminary evidence that cholesterol improves growth and feed intake of soybean meal-based diets in aquaria studies with juvenile channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. Aquaculture, 2004, 236: 539-546.
- [22] 艾庆辉, 谢小军. 水生动物对植物蛋白源利用的研究进展 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2005, 35(6): 929-935.
- Ai Q H, Xie X J. Advance in utilization of plant protein by aquatic animals [J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science Edition), 2005, 35(6): 929-935.
- [23] 彭辉才. 发酵豆粕营养价值评定的研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2008.
- Peng H C. Study on the nutritional value evaluation of fermented soybean meal [D]. Nanning: Guangxi University, 2008.
- [24] Kader M A, Koshio S, Ishikawa M, et al. Supplemental effects of some crude ingredients in improving nutritive values of low fishmeal diets for red sea bream, *Pagrus major* [J]. Aquaculture, 2010, 308: 136-144.
- [25] Moyano F, Cardenete C, De L H. Nutritive value of diets containing high percentage of vegetable proteins for trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquatic Living Resources, 1992, 5: 23-29.
- [26] Roubaty C, Portmann P. Relation between intestinal alkaline phosphatase activity and brush border membrane transport of inorganic phosphate, D-glucose and D-glucose-6-phosphate [J]. Pflügers Archiv European Journal of Physiology, 1988, 412: 482-490.
- [27] Giannini E G, Testa R, Savarino V. Liver enzyme alteration: a guide for clinicians [J]. Canadian Medical Association Journal, 2005, 172(3): 367-379.
- [28] 刘勇, 冷向军, 李小勤, 等. 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 [J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(2): 160-166.
- Liu Y, Leng X J, Li X Q, et al. Effect of fermented mixture-protein replacing fishmeal on growth, apparent digestibility coefficients and serum non-specific immunity of tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) [J]. Periodical of Ocean University of Shanghai, 2009, 18(2): 160-166.
- [29] 宋文新. 黑鲷幼鱼饲料中发酵豆粕部分替代鱼粉的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- Song W X. Partial replacement of fish meal by fermented soybean meal in diets for Juvenile Black Sea Bream, *Sparus macrocephalus* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009.
- [30] Hai D Q, Varga I S, Matkovic B. Effects of an organo phosphate on the antioxidant systems of fish tissues [J]. Acta Biologica Hungarica, 1995, 46: 39-50.
- [31] Francis G, Harinder P S M, Becker K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish [J]. Aquaculture, 2001, 199: 197-227.
- [32] 付晶晶, 马永萍, 黄燕华, 等. 豆粕部分替代鱼粉对花鲈生长、血清生化指标和抗氧化功能的影响 [C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会. 中国畜牧兽医学会动物营养学分会第七届中国饲料营养学术研讨会论文集. 郑州: 中国畜牧兽医学会动物营养学分会, 2014: 540.
- Fu J J, Ma Y P, Huang Y H, et al. Partial replacement of soybean meal to perch on growth, serum biochemical parameters and antioxidant function [C]//Animal Nutrition Branch of Chinese Association of Animal Science and Veterinary Medicine. Seventh China Symposium Proceedings Nutritional. Zhengzhou: Animal Nutrition Branch of Chinese Association of Animal Science and Veterinary Medicine, 2014: 540.
- [33] Fernandez T M A, Bejar J, Gallardo J B, et al. Molecular cloning and characterization of C-type lysozyme from Senegalese sole (*Solea senegalensis*) [J]. Aquaculture, 2007, 272 (S1): 255.
- [34] 刘勇, 冷向军, 李小勤. 发酵蛋白在水产饲料中的应用 [J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(1): 101-106.
- Liu Y, Leng X J, Li X Q. The application of fermented protein feed in aquatic feeds [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(1): 101-106.
- [35] Burrells C, Williams P D, Southgate P J, et al. Immunological, physiological and pathological responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to increasing dietary concentrations of soybean proteins [J]. Veterinary Immunology and Immunopathology, 1999, 72: 277-288.