

文章编号: 1674-5566(2009)02-0167-07

饲料中大豆产品对杂交鲟幼鱼生长和免疫的影响

徐奇友¹, 王常安¹, 周长海², 许红¹, 郑秋珊¹, 孙大江¹

(1 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070;

2 黑龙江省抚远县水产技术推广站, 黑龙江 抚远 156429)

摘要:以体质量为 (75.0 ± 4.3) g 的杂交鲟 (*Acipenser schrenckii* ♂ × *Acipenser baeri* ♀) 为对象, 用膨化大豆代替鱼粉配成动植物蛋白比为 1:1.70(G1)、1:1.25(G2)、1:1.00(G3)、1.25:1(G4) 和 1.45:1(G5) 的 5 种等氮等能饲料, 研究其对幼鲟生长和免疫的影响。6 周的饲养实验表明, 大豆蛋白所占比例增加后, 各处理组杂交鲟生长性能差异不显著 ($P > 0.05$), 其中 G4 表现较好, G4 结束时体质量、增重率、特定增长率分别较 G5 提高 9.29%、17.34% 和 11.69%, 投饲系数下降 22.95%。血浆 SOD 活力随大豆蛋白比例的增加呈升高趋势, 在 G1 时达最高值 (123.87 ± 23.17) U/mL 显著高于其余各处理 ($P < 0.05$), 随动物蛋白比例增加肝脏和血浆 MDA 含量显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 增加, 在 G4 时达最高值, 但 G5 又极显著下降 ($P < 0.01$)。与 G5 相比, G1 和 G2 血浆总蛋白含量显著提高 ($P < 0.05$), G1-G4 血浆球蛋白含量均显著升高 ($P < 0.05$)。实验结果显示, 动植物蛋白比从 1.25:1 到 1:1.70 对杂交鲟生产性能无显著影响, 大豆蛋白比例增加后, 免疫功能改善。

关键词:大豆蛋白; 鱼粉; 杂交鲟; 生长; 免疫

中图分类号: S 963.1 **文献标识码:** A

Effects of soy product on the growth performance and immunity of young hybrid sturgeon (*Acipenser schrenckii* ♂ × *A. baeri* ♀)

XU Qi-you¹, WANG Chang-an¹, ZHOU Chang-hai², XU Hong¹, ZHENG Qiu-shan¹, SUN Da-jiang¹

(1 Heilongjiang River Fishery Institute of Chinese Academy of Fishery Sciences Harbin 150070, China;

2 Fuyuan County Fisheries Technology Popularizing Station of Heilongjiang Province Fuyuan 156429, China)

Abstract: Studies were conducted to reveal the effects of different animal-plant protein ratios in the diet on the growth performance and immunity of young hybrid sturgeon (*Acipenser schrenckii* ♂ × *Acipenser baeri* ♀) [initial body (75.0 ± 4.3) g] by replacing fishmeal with extruded soybean. Five isonitrogenous and isoenergetic diets were designed by replacing fish meal with extruded soybean; fish were fed for 6 weeks. The experiment showed that growth performances of all the groups were not influenced ($P > 0.05$). At the end of the experiment the final weight, daily gain rate and special growth rate of G4 increased by 9.29%, 17.34%

收稿日期: 2008-05-23

基金项目: 国家公益性行业科研专项 (2008326001); 黑龙江水产研究所基本科研业务费专项 (2007HSYZX-YZ-07)

作者简介: 徐奇友 (1969-), 男, 黑龙江鸡东人, 副研究员, 博士, 主要从事动物营养与饲料学研究。E-mail: xueqiyou@sina.com

通讯作者: 许红, E-mail: xuhong16888@sina.com

and 11.69% respectively and the feed conversion ratio of G⁴ decreased by 22.95% compared with G⁵. With the increasing of plant protein, the activities of plasma superoxide dismutase increased and reached the peak (123.87 ± 23.17) U/mL at G¹ ($P < 0.05$); with the increasing of animal protein, liver and plasma malondialdehyde increased significantly ($P < 0.05$) or very significantly ($P < 0.01$) and reached the peak at G⁴, but decreased very significantly at G⁵. Compared with G⁵, plasma total protein content of G¹ and G² increased significantly ($P < 0.05$), plasma globulin increased significantly from G¹ to G⁴. The experiments showed that growth performance was not influenced when changing animal:plant protein ratio from 1:25:1 to 1:1:70, and immunity increased by increasing soybean protein content.

Key words: soy protein; fish meal; hybrid sturgeon; growth performance; immunity

鱼粉是水生动物饲料中重要的动物蛋白源。然而,随着世界海洋渔业资源的下降,鱼粉的产量也逐渐减少,寻找植物蛋白源替代鱼粉已成为水产饲料研究的热点。大豆不仅蛋白质含量高,且氨基酸种类比较平衡,与鱼类需求相近,使用最为广泛,但由于大豆中存在大量抗营养因子,这些因子会降低鱼类对蛋白质的利用,因而限制了大豆蛋白源在水生动物饲料中的应用。大豆经膨化处理,其中的抗营养因子被消除,蛋白质、淀粉及纤维结构改变,营养物质易与消化酶接触,饲料的营养价值提高^[1],因此膨化大豆是替代动物蛋白源的优质蛋白来源。近年来,一些学者在罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* Linnaeus)^[2]、南方鲇 (*Silurus meridionalis* Chen)^[3]、澳洲鳎 (*Anguilla australis australis* Richardson)^[4]、金鲈 (*Perca flavescens* Mitchell)^[5]、虹鳟 (*Salmo gairdnerii* Richardson)^[6]、鲤 (*Cyprinus carpio* Linnaeus)^[7]、牙鲈 (*Paralichthys olivaceus* Temminck et Schlegel)^[8]等鱼类饲料的研究发现,合适的动植物蛋白比例 (Animal:plant protein ratio A:P)更适合鱼类生长。因此我们通过用膨化大豆代替鱼粉,研究不同动植物蛋白比对杂交鲟幼鱼生长和免疫的影响,旨在为鲟配合饲料的配制和生产提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料

实验在哈尔滨市苗种场进行。杂交鲟 (*Acipenser schrenckii* ♀ × *Acipenser baeri* ♂) [体质量为 (75.0 ± 4.3) g]由黑龙江省抚远县水产技术推广站提供,膨化大豆由哈尔滨普凡饲料公司生产。

1.2 生长实验

实验共分5个处理,每处理设3个重复,每个重复120尾鱼。5个处理鱼粉含量分别为0%、5%、10%、15%和20%,用膨化大豆代替鱼粉配成动植物蛋白比为1:1.70 (G¹)、1:1.25 (G²)、1:1.00 (G³)、1.25:1 (G⁴)和1.45:1 (G⁵)的5种等氮等能饲料,同时调整豆粕、大豆分离蛋白、大豆磷脂、鱼油和结晶氨基酸使各处理粗纤维、磷脂、蛋氨酸、赖氨酸、苏氨酸和必需脂肪酸含量基本一致,实验基础饲料配方及营养水平见表1。饲料原料过80目筛,用鼓型混合机混合后膨化制粒,颗粒直径为3 mm,置于-20℃冰箱中备用。

杂交鲟饲养于室内圆柱型玻璃钢水槽(直径2 m,水深50 cm)中,用实验饲料驯化15 d后开始实验。每水槽取30尾经饥饿24 h后的鱼测量其体质量和体长作为生长指标初始值。实验用水为循环混合水(电场余热水和深井水混合),水温19.0~23.0℃,溶氧大于6 mg/L。每天投喂6次,以饱食而无剩料为原则。实验共进行42 d。实验结束后,鱼空腹24 h,称量每水槽鱼总重,取30尾测量体质量和体长。

1.3 免疫指标测定

每处理分别随机抽取12尾鱼,每尾鱼分别测定各免疫指标。从实验鱼的尾静脉采血,用600 IU肝素钠抗凝制血浆,置于1.5 mL离心管中,-80℃冷冻保存。解剖取肝脏,按1:9的重量体积比(W/V)加入预冷生理盐水,然后用FJ-200CL高速组织匀浆机匀浆(15 000 r/min, 2 min),4℃条件下4 000 r/min

离心 10 min 去掉血细胞和血小板,取上清液放入 1.5 mL 离心管中, -80°C 冷冻保存。溶菌酶、超氧化物歧化酶 (SOD) 和丙二醛 (MDA) 按照南京建成生物工程有限公司试剂盒的操作步骤进行测定,溶菌酶、SOD、MDA 分别采用比色法、黄嘌呤氧化酶法、硫代巴比妥酸 (TBA) 法。血浆生化指标用全自动生化分析仪 (贝克曼 PmCX4, 德国) 采用试剂盒测定,总蛋白 (TP) 和白蛋白 (ALB) 用化学法,球蛋白 (GLB) 和白球比例 (A:G) 为计算值,碱性磷酸酶 (ALP)、尿素氮 (BUN) 分别用速率法和酶法。

表 1 基础饲料配方及营养水平

Tab 1 Formula and nutrient level of the diet

成分	组别				
	G1	G2	G3	G4	G5
次粉 /%	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
鱼粉 /%	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0
膨化大豆 /%	35.5	26.7	17.8	9.0	0.0
豆粕 /%	6.9	11.8	16.6	22.1	27.2
大豆浓缩蛋白 /%	11.1	8.3	5.8	2.8	0.0
大豆磷脂 /%	0.8	2.0	3.0	3.8	4.4
血粉 /%	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
肉骨粉 /%	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
玉米蛋白 /%	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
豆油 /%	0.0	0.4	1.45	2.6	3.9
进口鱼油 /%	1.0	1.2	0.8	0.4	0.0
蛋氨酸 /%	0.18	0.14	0.10	0.06	0.0
赖氨酸 /%	0.19	0.13	0.07	0.02	0.0
苏氨酸 /%	0.07	0.05	0.03	0.01	0.00
沸石 /%	0.06	0.08	0.15	0.01	0.30
预混剂 /%	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
合计 /%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
动植物蛋白比 A:P	1:1.70	1:1.25	1:1.00	1.25:1	1.45:1
粗蛋白 /%	43.03	43.00	43.07	43.08	43.03
粗脂肪 /%	9.07	9.12	9.10	9.10	9.12
磷脂 /%	1.11	1.13	1.11	1.13	1.10
粗纤维 /%	2.90	2.94	2.96	3.02	2.88
蛋氨酸 /%	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
赖氨酸 /%	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
苏氨酸 /%	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
饲料成本 (元每千克)	7.60	7.70	7.78	7.84	7.94

注: 1. 饲料中预混剂的质量分数为 1.2%, 包括: V_C 0.1%; 胆碱 0.2%; 抗氧化剂 0.025%; 防霉剂 0.05%; 甜菜碱 0.1%; 复合维生素 0.1%; 复合微量元素 0.5%; 镁 0.07%。2. 维生素和微量元素包括: V_E 60 mg/kg V_K 5 mg/kg V_A 15 000 IU/kg V_{D3} 3 000 IU/kg V_{B1} 15 mg/kg V_{B2} 30 mg/kg V_{B6} 15 mg/kg V_{B12} 0.5 mg/kg 烟酸 175 mg/kg 叶酸 5 mg/kg 肌醇 1 000 mg/kg 生物素 2.5 mg/kg 泛酸钙 50 mg/kg 铁 25 mg/kg 铜 3 mg/kg 锰 15 mg/kg 碘 0.6 mg/kg。3. 饲料成本为原料成本、加工费和利润之和

1.4 统计分析方法

数据用平均值标准差 ($\bar{x} \pm sd$) 表示。

生物学指标计算方法如下:

$$\text{特定生长率 } (\% / \text{d}) (\text{SGR}) = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

$$\text{成活率 } (\%) (\text{SR}) = 100 \times N_f / N_i$$

$$\text{肥满度 } (\text{CF}) = W_t \times 10^2 / L_t^3;$$

$$\text{投饲系数 } (\text{FCR}) = F / (W_t - W_0);$$

$$\text{增重率 } (\%) (\text{WGR}) = 100 \times (W_t - W_0) / W_0.$$

$$\text{肝体指数 } (\%) = 100 \times W_L / W_t$$

脾体指数 (%) = $100 \times W_s / W_t$

其中: W_0 为实验开始时鱼体质量 (g); W_t 为实验结束时鱼体质量 (g); N_f 为终末尾数; N_i 为初始尾数; L_t 实验结束时鱼体长 (cm); W_L 肝脏质量 (g); W_s 脾脏质量; F 为饲料摄入量 (g); t 为饲养时间 (d)。

实验结果用 SPSS for Windows 13.0 过程进行单因素方差分析和 Duncan's 多重比较, 显著性水平为 0.05, 极显著性水平为 0.01。

2 结果

2.1 大豆蛋白代替鱼粉对杂交鲟生产性能的影响

各处理组在末体质量、增重率、特定生长率、成活率、肥满度和肝体指数均差异不显著 ($P > 0.05$), 而 G4 在实验结束时体质量、增重率、特定生长率和投饲系数都表现最好, G4 结束时体质量、增重率、特定生长率分别较 G5 提高 9.29%、17.34% 和 11.69%, 投饲系数下降 22.95%。G4 投饲系数略低于 G2 显著低于 G1、G3 和 G5 ($P < 0.05$) (表 2)。

表 2 大豆蛋白代替鱼粉对杂交鲟生产性能的影响

Tab. 2 Effects of replacing fishmeal with soy protein on performance of hybrid sturgeon

组别	初体质量 (g)	末体质量 (g)	增重率 (%)	特定生长率 (%/d)	成活率 (%)	肥满度	投饲系数	肝体指数 (%)	每公斤增重饲料费 (元)
G1	75.29±5.59	151.48±22.18	101.11±23.70	1.65±0.28	0.95±0.03	0.31±0.00	1.30±0.24 ^c	2.92±0.54	9.88
G2	75.19±0.86	162.57±6.03	116.16±5.83	1.84±0.06	0.93±0.08	0.31±0.02	1.00±0.04 ^{ab}	2.72±0.54	7.70
G3	76.04±0.81	155.11±14.50	103.92±18.03	1.69±0.22	0.91±0.05	0.32±0.01	1.26±0.24 ^{bc}	2.71±0.10	9.80
G4	74.99±3.83	167.46±13.21	123.43±16.13	1.91±0.17	0.93±0.03	0.32±0.02	0.94±0.07 ^a	2.86±0.02	7.37
G5	74.60±2.87	153.23±12.20	105.19±8.62	1.71±0.10	0.88±0.04	0.32±0.02	1.22±0.12 ^{bc}	2.90±0.26	9.69

注: 同列肩标不含相同字母表差异显著 ($P < 0.05$)。下表同此

2.2 大豆蛋白代替鱼粉对杂交鲟免疫指标的影响

不同动植物蛋白比饵料对鲟鱼肝脏 SOD 活力和脾体指数未产生显著影响 ($P > 0.05$)。血浆 SOD 活力随植物蛋白比例的增加呈升高趋势, 在 G1 时达最高值 (123.87 ± 23.17) U/mL 显著高于其它各处理 ($P < 0.05$); 而血浆溶菌酶活力除 G4 外, 其余各处理与 G5 差异不显著 ($P > 0.05$), G4 血浆溶菌酶活力显著低于 G3 和 G5 ($P < 0.05$), 与 G1、G2 差异不显著 ($P > 0.05$); 随动物蛋白比例增加肝脏和血浆 MDA 含量显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 增加, 在 G4 时达最高值, 但 G5 又极显著下降 ($P < 0.01$) (表 3)。

表 3 大豆蛋白代替鱼粉对杂交鲟免疫指标的影响

Tab. 3 Effects of replacing fishmeal with soy protein on immunity indexes of hybrid sturgeon

组别	血浆溶菌酶 (U/mL)	肝脏 SOD (U/mg)	血浆 SOD (U/mL)	肝脏 MDA (nmol/mg)	血浆 MDA (nmol/mL)	脾体指数 (%) SI
G1	10.29±4.45 ^{ab}	421.26±154.12	123.87±23.17 ^b	2.10±0.80 ^a	7.76±2.13 ^a	0.19±0.02
G2	11.23±3.97 ^{ab}	487.96±153.81	100.53±24.57 ^a	11.05±2.98 ^c	11.39±4.48 ^a	0.21±0.02
G3	13.24±9.91 ^b	431.30±60.58	82.57±28.48 ^a	8.54±1.65 ^b	17.93±4.80 ^b	0.19±0.01
G4	5.55±2.48 ^a	530.55±138.95	90.82±20.47 ^a	13.94±2.54 ^d	25.04±7.65 ^c	0.21±0.02
G5	12.21±7.98 ^b	380.67±154.12	87.23±21.28 ^a	7.35±1.27 ^b	11.51±4.02 ^a	0.16±0.03

2.3 大豆蛋白代替鱼粉对杂交鲟血浆生化指标的影响

植物蛋白所占比例增加后, 血浆总蛋白和球蛋白含量升高, 与 G5 相比, G1 和 G2 血浆总蛋白含量显著提高 ($P < 0.05$), G1~G4 血浆球蛋白含量均显著升高 ($P < 0.05$)。血浆白蛋白在 G2 时达到最高 (10.21 ± 0.54) g/L 与 G4、G5 差异不显著 ($P > 0.05$); G1 血浆白球比例显著低于其它各处理组 ($P <$

0.05);血浆尿素氮各处理组差异不显著 ($P>0.05$);血浆碱性磷酸酶活力 G1、G4显著高于其它处理组 ($P<0.05$,表 4)。

表 4 大豆蛋白代替鱼粉对杂交鲟血浆生化指标的影响

Tab 4 Effects of replacing fishmeal with soy protein on biochemical indexes of plasma of hybrid sturgeon

组别	总蛋白 (g/L)	白蛋白 (g/L)	球蛋白 (g/L)	白球比例	碱性磷酸酶 (IU/L)	尿素氮 (mmol/L)
G1	29.41±1.85 ^b	9.28±0.39 ^a	20.13±1.89 ^b	0.46±0.04 ^a	176.40±23.56 ^b	0.52±0.17
G2	29.01±1.69 ^b	10.21±0.54 ^b	18.93±1.44 ^b	0.54±0.05 ^b	136.60±33.33 ^a	0.67±0.27
G3	28.18±2.74 ^{ab}	9.49±1.07 ^a	18.50±1.91 ^b	0.52±0.03 ^b	137.20±28.53 ^a	0.56±0.25
G4	28.32±2.23 ^{ab}	9.65±0.71 ^{ab}	18.75±1.83 ^b	0.51±0.04 ^b	178.00±19.63 ^b	0.58±0.27
G5	26.46±1.87 ^a	9.53±0.83 ^{ab}	16.96±1.38 ^a	0.56±0.10 ^b	154.20±23.28 ^a	0.76±0.41

3 讨论

3.1 大豆蛋白代替鱼粉对鲟生长性能的影响

目前,植物蛋白代替鱼粉一直是水产饲料研究的热点,大豆蛋白由于氨基酸比例与鱼类需求相近,在一些水生动物中进行了深入的研究。在鱼类营养学研究发现,采用大豆蛋白部分替代饲料中的鱼粉,不影响其生长^[2-10],有的学者通过动植物蛋白比的研究发现,适宜的动植物蛋白比有利于鱼、虾和蟹的生长^[11],中华鲟(*Acipenser sinensis* Gray)实验表明动植物蛋白比为 1:1时取得较好的生长效果^[12]。但也有很多研究表明鲟饲料中当大豆蛋白比例增加鱼粉比例减少时鱼体产生采食量、增重率下降等不良反应。西伯利亚鲟(*Acipenser baeri* Brandt)饲料中用全脂大豆部分代替动物蛋白的研究发现,饲喂鱼粉组和肉骨粉组比全脂大豆部分取代鱼粉组有较好的食物转化率^[13];大豆分离蛋白组的小体鲟(*Acipenser ruthenus* Linnaeus)体增重和特定生长率不及鱼粉组^[14]。对于肉食性鱼类,在水体中所处的营养级较高,对高比例的植物蛋白很难适应,如南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen)蛋白水平为 48%,饲料中适宜的植物蛋白替代水平为 39%^[15]。本实验中,饲料的动植物蛋白比从 1.45:1到 1:1.7,杂交鲟增重率、特定生长率、成活率未产生显著影响($P>0.05$),与小体鲟^[16]、中华鲟^[12]的研究结果类似,这说明杂交鲟可以较好利用大豆蛋白。很多鱼类不能很好地利用大豆蛋白,其原因主要是以下 4 个方面:(1)氨基酸比例不平衡^[17];(2)磷含量不足^[17];(3)存在抗营养因子(蛋白酶抑制因子、凝集素和植酸等)^[18];(4)能量水平不足^[19]。此外,大豆经过膨化使热敏感抗营养因子如胰蛋白酶抑制因子、凝集素、脲酶、致甲状腺肿因子和抗维生素因子的氢键和其它次级键遭到破坏,引起多肽链原有空间构象发生改变而变性,变性后的蛋白质分子呈纤维状,增加与动物体内酶接触,利于动物消化吸收,提高饲料消化利用率,同时利用压力作用有效去除抗原蛋白。可见,消除不利因素后鱼类可以利用高比例的大豆蛋白,这既有利于降低饲料成本,又能充分利用饲料资源。用大豆蛋白完全代替鱼粉饲料,成本每千克可降低 0.34元,但每千克增重饲料费用却增加 0.19元,但大豆蛋白和鱼粉配合使用的 G2和 G4组却每千克降低 1.99和 2.32元。大豆蛋白和鱼粉按比例配合使用每千克增重饲料费用较低。

3.2 大豆蛋白代替鱼粉对鲟免疫和血液生化指标的影响

植物蛋白饲料中抗营养因子及分解产物影响动物免疫机能^[20-21]。从水产动物免疫机能的变化评价饲料原料是非常必要的。大豆蛋白是动物饲料中主要的植物蛋白源,但其中的致过敏反应蛋白、糖甙等能引起动物免疫机能发生改变。断奶仔猪采食含大豆蛋白质的日粮后,大约有 0.002%的抗原蛋白穿过小肠上皮细胞间或上皮细胞内的空隙完整地进入血液和淋巴,刺激肠道免疫组织,产生 T淋巴细胞介导的迟发型过敏反应,最终导致腹泻^[22]。大豆蛋白源同样也影响鱼类免疫系统。以不同水平的大豆蛋白替代鱼粉饲喂虹鳟(*Oncorhynchus mykiss* Walbaum)后表明,替代比例为 60%~70%时,肠道发生病变^[23]。大豆蛋白完全替代鱼粉时虹鳟的白细胞、血浆蛋白、血浆免疫球蛋白增多,粒细胞,单核细胞、巨噬细胞活性增强,可能预示要发生炎症或过敏反应^[24],大豆分离蛋白代替 20%鱼粉时虹鳟肝脏溶菌酶

显著降低 ($P < 0.05$), 代替 10% 鱼粉时也表现出明显下降的趋势 ($P > 0.05$)^[25]。Burrells 研究表明高含量的大豆蛋白降低虹鳟的非特异性免疫^[26]。用豆粕分别替代 0、30%、50% 和 70% 的鱼粉饲喂黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco* Richardson), 处理组的溶菌酶、SOD 和 ATP 酶活力显著低于对照组 ($P < 0.05$)^[27]。本实验用血浆免疫和生化指标探讨大豆蛋白对杂交鲟免疫机能的影响, 结果表明, 当饲料的植物蛋白增加后, 血浆总蛋白和球蛋白增加, 血浆总蛋白、白蛋白和球蛋白具有维持血液渗透压, 运输作用及组成体液免疫防御系统等功能。动植物蛋白比为 1:1.7 和 1:1.25 处理组杂交鲟血浆总蛋白含量显著提高 ($P < 0.05$), 血浆球蛋白含量显著升高 ($P < 0.05$), 显示出用膨化大豆代替鱼粉后免疫状况得到改善。一些研究也表明, 用大豆蛋白代替鱼粉会提高鱼的免疫。海鲈 (*Dicentrarchus labrax* Linnaeus) 摄食含不同比例大豆蛋白后, 其血清总蛋白、免疫球蛋白也不同程度的增加^[28]。SOD 通过催化歧化反应来清除体内过量的 O_2^- ^[29], 本实验中植物蛋白增加时血浆 SOD 活力升高, 表明用膨化大豆代替鱼粉某种程度上减少鱼体氧自由基, 这也表明膨化大豆比例增加后杂交鲟免疫机能得到改善。其原因可能是膨化大豆经过膨化处理后抗营养因子和抗原蛋白含量较少, 同时本实验中鲟鱼也较大, 所以用膨化大豆替代鱼粉对免疫未产生不利的影响。

本实验表明, 动植物蛋白比从 1.25:1 到 1:1.70 杂交鲟生产性能无显著影响, 大豆蛋白比例增加后, 免疫机能改善。

参考文献:

- [1] 程宗佳. 膨化大豆在鱼饲料中的养分消化率 [J]. 渔业现代, 2006, (1): 39—41.
- [2] Deyab M S, Magdy M A. Complete replacement of fish meal by soybean meal with dietary L-Lysine supplementation for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2002, 33: 297—306.
- [3] Ai Q H, Xie X J. Effects of replacement of fish meal by soybean meal and supplementation of methionine in fish meal/soybean meal based diets on growth performance of the Southern catfish *Silurus meridionalis* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(4): 498—507.
- [4] Kenan E, Chris G C. Fish meal replacement by plant and animal by-products in diets for the Australian Short-finned Eel *Anguilla australis australis* (Richardson) [J]. Aquaculture Research, 2005, 36(5): 445—454.
- [5] Kasper C S, Watkins B A, Brown P B. Evaluation of two soybean meals fed to Yellow perch (*Perca flavescens*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2007, 13(6): 431—438.
- [6] Dabrowski K, Poczyczynski P. Effect of partially or totally replacing fish meal protein by soybean meal protein on growth, food utilization and proteolytic enzyme activities in Rainbow trout (*Salmo gairdneri*): New in vivo test for exocrine pancreatic secretion [J]. Aquaculture, 1989, 77: 29—49.
- [7] Kim J D, Kim K S, Song J S, et al. Effects of dietary full-fat soybean levels on growth performance and feed utilization and phosphorus excretion of Carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Asian Austral J Anim Sci, 1995, 8: 587—594.
- [8] Choi S M, Wang X J, Park G J, et al. Dietary dehulled soybean meal as a replacement for fish meal in fingerling and growing olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel) [J]. Aquaculture Research, 2004, 35(4): 410—418.
- [9] Murai T, Ogata H, Kosutarak P, et al. Effects of amino acid supplementation and methanol treatment on utilization of soy flour in fingerling carp [J]. Aquaculture, 1986, 56: 197—206.
- [10] Chou R L, Her B Y. Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile Cobia *Rachycentron canadum* [J]. Aquaculture, 2004, 229(1—4): 325—333.
- [11] 朱庆国. 不同动植物蛋白比配合饲料对点带石斑鱼生长的影响 [J]. 福建水产, 2007, 25(3): 1—5.
- [12] 庄平, 陈喜斌. 中华鲟幼鲟饲料中适宜动植物蛋白比的研究 [J]. 动物营养学报, 2002, 14(1): 61—64.
- [13] Ronyai A, Csengeri I, Vandi L. Partial substitution of animal protein with full-fat soybean meal and amino acid supplementation in the diet of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*) [J]. J Appl Ichthyol, 2002, 18: 682—684.
- [14] Ustaoglu S, Rennert B. The apparent nutrient digestibility of diets containing fish meal or isolated soy protein in Sterlet (*Acipenser ruthenus*) [J]. Int Rev Hydrobiol, 2002, 87(5—6): 577—584.
- [15] 艾庆辉, 谢小军. 南方鲇的营养学研究: 饲料中植物蛋白水平对生长的影响 [J]. 水生生物学报, 2002, 26(1): 62—64.
- [16] Antoni P, Jan M, Wojciech R. Partial substitution of fish meal with soybean protein concentrate and extracted rapeseed meal in the diet of sterlet (*Acipenser ruthenus*) [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2007, 22(1): 298—302.
- [17] NRC (National Research Council). Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes (revised edition) [R]. Washington D C:

National Academy Press 1993.

- [18] Liener I E. Toxic constituents of plant food-stuffs (2nd Edition) [M]. New York: Academic Press 1980.
- [19] Webster C D, Goodgame-Tiu L S, Tidwell J H. Total replacement of fish meal by soy bean meal with various percentages of supplemental L methionine in diets for Blue catfish *Ictalurus furcatus* (Linneus) [J]. *Aquaculture Research* 1995, 26, 299-306.
- [20] Christopher J B, Lena G. The acute phase response and innate immunity of fish [J]. *Developmental and Comparative Immunology* 2001, 25, 725-743.
- [21] Watts M, Munday B L, Burke C M. Immune responses of teleost fish [J]. *Aust Vet* 2001, 79(8), 570-574.
- [22] 李德发, 谯仕彦, 马永喜, 等. 大豆抗营养因子 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003, 33-146.
- [23] 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(3-4), 277-288.
- [24] Rumsey G L, Swicki A K, Anderson D P et al. Effect of soybean protein on serological response, non-specific defense mechanisms, growth and protein utilization in rainbow trout [J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 1994, 41(3-4), 323-339.
- [25] 徐奇友, 李 婵, 杨 萍, 等. 大豆分离蛋白和肉骨粉代替鱼粉对虹鳟生产性能和非特异性免疫指标的影响 [J]. *大连水产学院学报*, 2008, 23(1), 8-12
- [26] 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]. *Vet Immunol Immunopathol* 1999, 72(3-4), 277-288.
- [27] 杨严鸥, 张 艳, 潘 宙, 等. 豆粕替代不同水平的鱼粉对黄颡鱼饲料利用、ATP酶活性和免疫功能的影响 [J]. *饲料广角*, 2006, 15, 39-41.
- [28] Tulli F, Ranelli M, Tibaldi E et al. Feeding seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles with soybean products: effects on growth, feed utilization, serological response [J]. *Bollettino Societa Italiana di Patologia Ittica* 2000, 12(29), 3-9.
- [29] 徐立红, 张甬元, 陈宜瑜. 分子生态毒理学研究进展及其在水环境保护中的意义 [J]. *水生生物学报*, 1995, 19(2), 171-185.