

不同大豆蛋白源对埃及胡子鲇生长、饲料利用及体成分的影响

吴莉芳 安丽影 秦贵信 王洪鹤 孙 玲

(吉林农业大学动物科技学院, 长春 130118)

EFFECTS OF DIFFERENT DIETARY SOYBEAN PROTEIN SOURCES ON GROWTH, FEED UTILIZATION AND BODY COMPOSITION IN *CLARIAS LAZERA*

WU Li-Fang AN Li-Ying QIN Gui-Xin WANG Hong-He and SUN Ling

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

关键词: 埃及胡子鲇; 大豆蛋白源; 生长; 鱼粉; 替代

Key words *Clarias lazera*; Soybean protein sources; Growth; Fishmeal Replacement

中文分类号: S963.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2009)06-1214-05

鱼粉 (Fish meal, FM) 是水产饲料中应用最广泛的蛋白源^[1]。随着人类对水产品需求的不断增加以及集约化水产养殖业的迅猛发展, 目前世界鱼粉的供应已不能满足日益增长的养殖需求。因此, 降低水产养殖动物配合饲料中鱼粉含量, 开发新型蛋白源, 成为亟待解决的问题。利用植物蛋白源替代鱼粉降低饲料成本是水产动物营养与饲料研究的热点。目前, 关于在鱼类配合饲料中用植物蛋白替代鱼粉蛋白的相关研究已有较多报道, 但主要集中在虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)^[2-5]、大西洋鲑 (*Salmo salar* L.)^[6,7] 和军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[8] 等肉食性鱼类上, 而对杂食性鱼类的相关报道相对较少^[9,10]。大豆蛋白源是水产饲料应用最多的植物蛋白源之一。但是, 大豆蛋白中含有抗营养因子 (Antinutritional factors, ANF), 大豆蛋白中主要的抗营养因子有蛋白酶抑制因子 (Protease inhibitors)、大豆凝集素 (Soybean agglutinin)、大豆抗原 (Soybean antigen)、植酸 (Phytic acid)、大豆寡糖 (Soybean oligosaccharide)、致甲状腺肿因子 (Goitrogens)、单宁 (Tannins)、皂苷 (Saponins)、异黄酮 (Isoflavones)、抗维生素因子 (Antivitamin factors) 等。在饲料中过量添加大豆蛋白不仅会影响鱼类的摄食、生长, 而且会引起鱼类的死亡。鱼类食物的来源和组成不同对体成分会产生不同的影响。鱼体的营养组成是反映鱼类的营养水平和生理状态较为重要的指标。鱼类饲料营养组成对鱼类生产起着关键性的作用, 不同饲料的组成对鱼体的生化组成影响较大。因此, 在不影响或能够提高鱼产量的前提下, 配制水产饲料除

了满足水产动物营养需求外, 还必须考虑影响水产品营养成分的营养因素, 这既是提高饲料市场竞争力的需要, 也是改善人类生活品质的需要。因此, 有必要研究不同大豆蛋白源对鱼类生长、饲料利用和体组成的影响。

埃及胡子鲇 (*Clarias leather*) 又称革胡子鲇, 隶属于鲇形目 (Siluriformes)、胡鲇科 (Clariidae)、胡鲇属 (*Clarias*)。原产于非洲的尼罗河流域, 我国广东省淡水水产良种场 1981 年从埃及引进, 并在人工繁殖、养殖方面获得成功, 在全国迅速推广。它是一种深受人们喜爱的淡水名贵的经济鱼类, 是一种很有养殖前途的优良高产品种。因此, 本试验以埃及胡子鲇为研究对象, 在其幼鱼的配合饲料中分别以 20% 的全脂豆粉和 20% 去皮豆粕替代鱼粉蛋白, 探讨不同大豆蛋白源对埃及胡子鲇生长、饲料利用和体成分的影响, 以期为水产动物营养研究和合理开发利用大豆蛋白源提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验饲料及制作 以鱼粉 (长春市兴华饲料厂提供) 为动物蛋白源、全脂豆粉 (利用大豆丰交 7607 实验室自行磨制) 和去皮豆粕 (长春市兴华饲料厂提供) 分别为植物蛋白源, 鱼油、玉米油、糊精为能源, 纤维素为填充物, 配制成等氮 (粗蛋白质量分数为 40%)、等能 (15.8 MJ/kg) 的 3 种半精制饲料 (表 1)。其中, 全脂豆粉和去皮豆粕分别替代鱼粉蛋白的 20%。饲料 (Diet 1) 为对照组, 饲料 (Diet 2) 为 20% 全脂

收稿日期: 2008-11-27 修订日期: 2009-07-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30430520) 资助

作者简介: 吴莉芳 (1970-), 女, 吉林农安人; 博士, 副教授; 主要从事水产动物营养与饲料学研究。E-mail: wulifang2915@yahoo.com.cn

通讯作者: 秦贵信 (1956-), 男, 博士, 教授, 博士生导师; 主要从事动物营养与饲料学研究。E-mail: guixin@public.cc.cn

豆粕组, 饲料 (Diet 3) 20% 去皮豆粕组。试验饲料原料经粉碎过 60 目筛, 按配方称质量, 混合均匀, 挤压成直径 2.5 mm 颗粒, 晒干后置于 - 4℃ 冰柜中保存备用。

1.2 试验鱼与饲养管理 试验用埃及胡子鲇鱼种来自吉林省长春市小南渔场, 试验前挑选体质健壮、规格整齐的埃及胡子鲇鱼种 300 尾, 暂养于室内控温单循环养殖系统中, 该系统由 56 个 230 (型号) 缸组成, 每缸加水 3/4 体积, 用循环泵进行水质过滤, 暂养时投喂饲料蛋白质质量分数 40.05% 的试验对照组饲料, 饱食投喂, 驯化 15 d。饲养试验从 2007 年 9 月 8 日到 2007 年 10 月 20 日, 为期 6 周。试验开始之前停止投喂 24 h, 然后称量鱼体质量 (精确到 0.01 g), 每个饲料处理组设置 3 个重复, 每个重复放养 20 尾, 放养前用 20 mg/L 的高锰酸钾水溶液药浴 10 min, 整个试验期保持水质稳定, 水温 (20±3)℃, 各项理化指标维持在: 溶解氧 (DO) 5.0—7.0 mg/L; pH 7.0—8.0; 氨氮 < 0.3 mg/L。日投饵率视鱼群摄食情况变动于 2%—4%, 日投饵 2 次 (9:00, 16:00), 投饵方法为人工手撒。

1.3 样品的收集、测定与计算 试验结束前停食 24 h 后称体质量 (精确到 0.01 g), 活体解剖取出内脏和肝胰脏, 称其质量 (精确到 0.01 g)。计算肝体比 (Hepatosomatic index, *HSI*)、脏体比 (Viscerasomatic index, *VI*)、特定生长率 (Specific growth rate, *SGR*)、饲料效率 (Feed conversion efficiency, *FCE*)、蛋白质效率 (Protein efficiency ratio, *PER*)、蛋白质沉

积率 (Protein productive value, *PPV*) 等指标。以上各参数的计算公式如下:

$$\text{肝体比 (HDI)} = \text{肝胰脏质量} / \text{体质量}$$
$$\text{脏体比 (VI)} = \text{内脏质量} / \text{体质量}$$
$$\text{特定生长率 (SGR)} = (L_n W_t - L_n W_0) \times 100 / t$$
$$\text{饲料效率 (FCE)} = (W_t - W_0) \times 100 / I_t$$
$$\text{蛋白质效率 (PER)} = (W_t - W_0) \times 100 / I_t \times P$$
$$\text{蛋白质沉积率 (PPV)} = (W_t \times P_1 - W_0 \times P_2) / (I_t \times P)$$

其中: W_t (g)、 W_0 (g) 分别为终末和初始体质量; t (d) 为试验时间; I_t (g) 为摄入干饲料质量; P 、 P_1 、 P_2 分别是饲料、终末鱼体、初始鱼体中蛋白质含量 (%)。

生长试验结束后, 从每个饲料处理组中随机取各种鱼类 10 尾, 取侧线以上、背鳍以下的肌肉, 捣碎, 混合均匀。- 80℃ 冰箱保存备用。

水分 (Moisture) 测定采用 105℃ 恒温烘干失重法 (GB/T 6435-1986); 粗蛋白 (Crude protein) 测定采用凯氏定氮法 (GB/T 6432-1994); 粗脂肪 (Crude lipid) 测定采用索氏乙醚抽提法 (GB/T 6433-1994); 粗灰分 (Ash) 测定采用马福炉灼烧法 (GB/T 6438-1994) 测定。

1.4 统计分析 试验数据采用 SPSS (12.0) 软件对所有指标进行方差分析, 若差异显著, 再用 Duncan's 多重比较分析组间差异显著性程度。

表 1 饲料配方及主要营养成分 (风干基础)
Tab. 1 Formulation and nutritional composition of experimental diets (air-dry basis)

配方及其营养成分 Ingredients and proximate composition		Diet 1	Diet 2	Diet 3
配方成分 Ingredients (%)	鱼粉 Fish meal	62.10	52.20	52.80
	全脂豆粕 (Full-fat soybean powder FFSBM)	—	22.57	—
	去皮豆粕 (Dehulled soybean meal DSBM)	—	—	17.52
	糊精 Dextrin	27.4	18.23	19.38
	玉米油 Corn oil	1.50	—	1.80
	鱼油 Fish oil	1.50	—	1.80
	氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50	0.50
	维生素预混料 Vitamin premix	1.00	1.00	1.00
	无机盐预混料 Mineral premix	1.50	1.50	1.50
	微晶纤维素 Cellulose microcrystalline	4.00	3.50	3.20
	黏合剂 Binder	0.50	0.50	0.50
营养成分 Proximate composition	粗蛋白 Crude protein (%)	40.05	40.26	40.65
	粗脂肪 Crude lipid (%)	6.50	6.70	6.58
	粗纤维 Crude fiber (%)	4.31	4.42	4.36
	粗灰分 Ash (%)	7.08	6.64	6.70
	总能 Calculated gross energy (MJ/kg)	15.86	16.0	15.90

注: 1. 维生素预混料 (mg/kg 饲料): 叶酸, 10; 泛酸钙, 60; 肌醇, 1000; 生物素, 2.5; 盐酸硫胺素, 60; 盐酸吡哆醇, 200; 核黄素, 40; VA, 25000 IU; VD, 5000 IU; VE, 1200; VK, 5; VC, 2000; VB₁₂, 4; 2. 无机盐预混料: MnSO₄·H₂O, 60 mg; MgSO₄·7H₂O, 1040 g; ZnSO₄·H₂O, 50 g; CuSO₄·5H₂O, 8 mg; FeSO₄·7H₂O, 75 g; AlCl₃·6H₂O, 3 mg; CaCO₃, 3 g; NaH₂PO₄·2H₂O, 500 g; CoCl₂·6H₂O, 2 mg; Na₂Se₂O₃, 0.03 mg; KCl, 2.3 g; NaF, 1 g; KI, 0.04 g; 3. 根据蛋白质、脂肪、碳水化合物能量 (23.6 kJ/g, 39.5 kJ/g, 17.2 kJ/g) 计算饲料的能量
Notes: 1. Vitamin premix (mg/kg diet): folic acid 10; calcium pantothenate 60; inositol 1000; biotin 2.5; thiamine HCl 60; pyridoxine HCl 200; riboflavin 40; retinal acetate 25000 IU; cholecalciferol 5000 IU; vitamin E 1200; vitamin K 5; ascorbic acid 2000; cyanocobalamin 4; 2. Mineral premix (mg/kg diet): MnSO₄·7H₂O, 60 mg; MgSO₄·7H₂O, 1040 g; ZnSO₄·H₂O, 50 g; CuSO₄·7H₂O, 8 mg; FeSO₄·7H₂O, 75 g; AlCl₃·6H₂O, 3 mg; CaCO₃, 3 g; NaH₂PO₄·2H₂O, 500 g; CoCl₂·6H₂O, 2 mg; Na₂Se₂O₃, 0.03 mg; KCl, 2.3 g; NaF, 1 g; KI, 0.04 g; 3. Dietary energy was calculated based on the energy of protein, lipid and carbohydrate (23.6 kJ/g, 39.5 kJ/g and 17.2 kJ/g)

2 结 果

2.1 不同大豆蛋白源对埃及胡子鲇生长及饲料利用的影响

本试验研究结果表明,在埃及胡子鲇配合饲料中,利用不同大豆蛋白源替代鱼粉蛋白对其生长及饲料利用具有显著的影响(表 2)。当全脂豆粉 20% 替代鱼粉蛋白时,埃及胡子鲇的特定生长率和饲料效率显著降低 ($P < 0.05$),蛋白质效率、蛋白质沉积率极显著降低 ($P < 0.01$); 去皮豆粕 20% 替代鱼粉蛋白时,对埃及胡子鲇特定生长率、饲料效率、蛋白

质效率、蛋白质沉积率影响不显著 ($P > 0.05$); 不同大豆蛋白源对埃及胡子鲇肝体比和脏体比影响不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 不同大豆蛋白源对鲤鱼肌肉主要营养成分的影响

本试验研究结果表明,不同大豆蛋白源对埃及胡子鲇肌肉中主要营养成分的影响不同(表 3)。当全脂豆粉 20% 替代鱼粉蛋白时,埃及胡子鲇肌肉中粗蛋白含量显著下降 ($P < 0.05$),当去皮豆粕 20% 替代鱼粉蛋白时,埃及胡子鲇肌肉中粗蛋白含量显著升高 ($P < 0.05$); 不同大豆蛋白源对埃及胡子鲇肌肉中粗脂肪和粗灰分含量影响不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 饲料中不同大豆蛋白源对埃及胡子鲇生长、饲料利用的影响 (平均值 $\pm$ 标准差)
Tab. 2 Effects of different sources of soybean protein in diets on growth and feed utilization of *C. leuiscus* (Mean $\pm$ SD)

指标 Index	大豆蛋白替代鱼粉蛋白的质量分数 Replacement of fish meal protein by soybean protein (% 蛋白)		
	Diet 1 (0.0)	Diet 2 (20% FFBSM)	Diet 3 (20% DSBM)
初始质量 Initial mean body weight (g)	13.09 $\pm$ 0.04 ^a	13.07 $\pm$ 0.04 ^a	13.02 $\pm$ 0.05 ^a
终末质量 Final mean body weight (g)	44.75 $\pm$ 0.22 ^b	38.58 $\pm$ 0.56 ^a	44.26 $\pm$ 0.43 ^b
特定生长率 Specific growth rate (%)	3.07 $\pm$ 0.02 ^b	2.71 $\pm$ 0.04 ^a	3.06 $\pm$ 0.03 ^b
饲料效率 Feed efficiency ratio	80.65 $\pm$ 1.17 ^b	61.14 $\pm$ 0.73 ^a	78.88 $\pm$ 1.10 ^b
蛋白质效率 Protein efficiency ratio	2.02 $\pm$ 0.03 ^B	1.54 $\pm$ 0.02 ^A	1.97 $\pm$ 0.08 ^B
蛋白质沉积率 Protein productive value (%)	33.92 $\pm$ 0.79 ^B	24.56 $\pm$ 0.21 ^A	34.68 $\pm$ 0.98 ^B
脏体比 Visceromatic index (%)	6.36 $\pm$ 0.27 ^a	6.03 $\pm$ 0.28 ^a	6.09 $\pm$ 0.07 ^a
肝体比 Hepatomatic index (%)	1.63 $\pm$ 0.07 ^a	1.66 $\pm$ 0.08 ^a	1.65 $\pm$ 0.06 ^a

注:表中同行不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$),同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)
Note means in a row with a different superscript capital letter indicate difference at $P < 0.01$, which with different superscript letter are different at $P < 0.05$

表 3 饲料中不同大豆蛋白源对埃及胡子鲇肌肉营养成分的影响 (湿重, 平均值 $\pm$ 标准差)
Tab. 3 Effect of different sources of soybean protein on nutritional composition in the muscle of *C. leuiscus* (Mean $\pm$ SD)

大豆蛋白替代鱼粉蛋白的质量分数 A content of fish meal protein by soybean protein (%)	水分 Moisture	粗蛋白 Protein	粗脂肪 Lipid	粗灰分 Residue
Diet 1 (0.0)	78.35 $\pm$ 0.05 ^B	16.97 $\pm$ 0.12 ^b	2.84 $\pm$ 1.37 ^a	1.81 $\pm$ 0.06 ^a
Diet 2 (20% FFBSM)	78.74 $\pm$ 0.15 ^C	16.50 $\pm$ 0.22 ^a	2.92 $\pm$ 0.07 ^a	1.75 $\pm$ 0.04 ^a
Diet 3 (20% DSBM)	77.66 $\pm$ 0.13 ^A	17.52 $\pm$ 0.16 ^c	2.91 $\pm$ 0.02 ^a	1.74 $\pm$ 0.07 ^a

注:表中同列不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$),同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)
Note means in a line with a different superscript capital letter indicate difference at $P < 0.01$, which with different superscript letter are different at $P < 0.05$

3 讨 论

3.1 不同大豆蛋白源对埃及胡子鲇生长及饲料利用的影响

鱼类生长是生物体通过同化作用进行物质积累、细胞分裂或增生、体积增大,动物真生长是结构、组织(如肌肉、骨骼)器官的体积、蛋白质量的增加。鱼类的生长与饲料、水温、水质、光照等有密切关系。本研究以埃及胡子鲇为试验对象,在水温、水质、光照等生态条件相同的条件下,利用不同大豆蛋白源替代鱼粉蛋白进行生长试验,结果表明,不同的大豆蛋白源对埃及胡子鲇生长及饲料利用影响不同。当全脂豆粉 20% 替代鱼粉蛋白时,埃及胡子鲇的特定生长率和饲料效率、蛋白质效率、蛋白质沉积率均下降。大量的研

究也表明,与鱼粉蛋白相比,大豆蛋白在饲料中过量使用会导致鱼类生长性能降低。这在肉食性鱼类虹鳟^[11]、大西洋鲑^[12]、军曹鱼^[13]、南方鲇 (*Silurus meridionalis*)^[14]、翘嘴红鲌 (*Erythroneura ilishafomis*)^[15]和杂食性鱼类鲤鱼^[16,17]等鱼类上已经得到证明。而当去皮豆粕 20% 替代鱼粉蛋白时,对埃及胡子鲇特定生长率、饲料效率、蛋白质效率、蛋白质沉积率影响不显著。这主要是由于不同的大豆蛋白源饲料的适口性不同及所含抗营养因子的量不同,对鱼类的抗营养作用也不同。去皮豆粕 (Dehulled soyabean meal DSBM) 是大豆经清理、调质、破裂、去皮、压片后,在特定条件下用有机溶剂正己烷 (Hexane) 及其同类碳氢化合物脱脂,再经烘烤、粉碎后制成的粉状物。去皮豆粕经过去皮浸油工艺对大豆抗

营养因子中的热敏感因子(蛋白酶抑制因子、大豆凝集素等)钝化效果较好。在本试验条件下,虽然去皮豆粕组饲料中含有一定量的热稳定因子(如大豆抗原等),但其含量尚未引起埃及胡子鲇生长受阻及饲料利用率下降。本试验用的全脂豆粉(Full-fat soybean powder FFSBM)利用丰交7607实验室自行磨制,饲料颗粒是采用冷制粒,饲料的适口性差,并且抗营养因子全部存在,使埃及胡子鲇的摄食量降低,并影响其对蛋白质、矿物质等营养物质的消化利用。大豆抗营养因子危害动物的器官主要是肠道。本研究关于肠道病理方面的变化需通过组织学方法进一步进行研究。

3.2 不同大豆蛋白源对埃及胡子鲇肌肉主要营养成分的影响

用大豆蛋白源替代鱼粉蛋白不但影响鱼类的生长及饲料利用,还影响鱼体成分。本试验的研究结果表明,不同的大豆蛋白源对埃及胡子鲇肌肉主要营养成分的影响不同。当全脂豆粉20%替代鱼粉蛋白时,埃及胡子鲇肌肉中粗蛋白含量极显著下降;当去皮豆粕20%替代鱼粉蛋白时,埃及胡子鲇肌肉中粗蛋白含量显著升高。不同大豆蛋白源对埃及胡子鲇肌肉中粗脂肪和粗灰分的影响不显著。这主要是由于两种大豆蛋白源饲料的适口性不同及所含的抗营养因子的量不同所致。全脂豆粉是利用丰交7607实验室自行磨制,饲料颗粒是采用冷制粒,不但主要抗营养因子全部存在,而且使埃及胡子鲇摄食量降低,影响了埃及胡子鲇对饲料蛋白的利用、体蛋白的合成、蛋白质的沉积。Refstie S *et al.*报道,脱脂豆粕替代鱼粉蛋白20%时,显著降低大西洋鲑肌肉蛋白质含量^[19]。陈乃松等发现,随饲料中大豆蛋白添加量的提高,欧洲鳗鲡(*Anguilla Anguilla*)鱼体的蛋白质含量逐渐下降,脂肪则无明显变化^[20]。这与本研究的结果相类似。但关于大豆蛋白替代鱼粉蛋白对肌肉中粗脂肪含量的影响也有不同的报道。Luo Z *et al.*对石斑鱼(*Epinephelus coioides*)配合饲料中用发酵豆粕和豆粕部分替代白鱼粉进行研究,结果表明,饲喂豆粕组的石斑鱼肌肉中脂肪的含量下降。但组间差异不显著^[21]。Chou *et al.*在军曹鱼幼鱼的饲料中添加10%—60%大豆粉,结果表明,肌肉中脂肪的含量随大豆粉水平的增加而增加,而蛋白质含量表现为降低的倾向,但不是很明显^[8]。Kikuchi K报道,在适宜范围内,豆粕蛋白替代鱼粉蛋白不会影响牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)鱼体的生化组成^[22]。

参考文献:

- [1] Hardy R H. Aquaculture's rapid growth requirements for alternate protein sources. [J] *FeedM ana*, 1999, **50**: 25—28
- [2] Refstie S t l e, Kors i en y ind J, Storebakken T, *et al.* Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture*, 2000, **190**: 49—63
- [3] Xie S Q, Jokum sen A. Effect of replacement of fish meal by potato protein concentrate in the diet for rainbow trout on feeding rate, digestibility and growth [J]. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 1999, **23**(2): 127—133 [解绶后, Alfred Jokum sen. 饲料中土
- 豆蛋白替代鱼粉对虹鳟摄食率、消化率和生长的影响. 水生生物学报, 1999, **23**(2): 127—133]
- [4] Glen cross B D, Carter C G, Duijsen N, *et al.* A comparison of the digestibility of a range of lupin and soybean protein products when fed to either Atlantic salmon (*Salmo salar*) or rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2004, **237**: 333—346
- [5] Refstie S t l e, Helland S t l e J, Storebakken T. Adaptation to soybean meal in diets for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 1997, **153**: 263—272
- [6] Mundheim H, Aksnes A, Hope B. Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*Salmo salar* L.) fed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities [J]. *Aquaculture*, 2004, **237**: 315—331
- [7] Bakke M ckellep A M, Sanden M, Danielli A, *et al.* Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) Parr fed genetically modified soybeans and maize: Histological, digestive, metabolic, and immunological investigations [J]. *Research in Veterinary Science*, 2008, **84**(3): 395—408
- [8] Chou R L, Her B Y, Su M S, *et al.* Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum* [J]. *Aquaculture*, 2004, **229**: 325—333
- [9] Peres H, Lin C, Klesius P H. Nutritional value of heat-treated soybean meal for channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Aquaculture*, 2003, **225**: 67—82
- [10] Urün P A, Goncalves A A, Taveme-Thiele J J, *et al.* Soybean meal induces intestinal inflammation in common carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. *Fish and Shellfish Immunology*, 2008, **25**(6): 751—760
- [11] Sanden M, Bemtssen M H G, Kroglah A, *et al.* An examination of the intestinal tract of Atlantic salmon *Salmo salar* L. parr fed different varieties of soy and maize [J]. *Journal of Fish Diseases*, 2005, **28**: 317—330
- [12] Kroglah 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]. *Aquaculture Nutrition*, 2003, **9**: 361—371
- [13] Wang G J, Wu R Q, Xie J, *et al.* Partial replacement for fish meal with soybean meal in feed for Cobia *Rachycentron canadum* [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2005, **20**(4): 304—307 [王广军, 吴锐全, 谢骏, 等. 军曹鱼饲料中用豆粕代替鱼粉的研究. 大连水产学院学报, 2005, **20**(4): 304—307]
- [14] Ai Q H, Xie X J. The nutrition of silurus meridionalis. Effects of different levels of dietary soybean protein on growth [J]. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 2002, **26**(1): 57—65 [艾庆辉, 谢小军. 南方鲇的营养学研究: 饲料中大豆蛋白水平对生长的影响. 水生生物学报, 2002, **26**(1): 57—65]
- [15] Wang G Q, Zhou H Q, Chen J M, *et al.* Nutrition requirement of dietary protein and optimal replacement of fish meal protein by soybean protein in Erythroculter ilshaeformis juveniles [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, **13**(2): 277—285 [王桂芹, 周洪琪, 陈建明, 等. 翘嘴红鲌对蛋白的营养需求及豆

- 粕对鱼粉的适宜替代量. 中国水产科学, 2006 **13**(2): 277—285]
- [16] Wu L F, Qin G X, Zhang D M, *et al*. Effect of soybean protein level on the growth performance of carp and nutritional components in the muscle [J]. *Journal of Northwest A&F University*, 2008, **36**(10): 67—80 [吴莉芳, 秦贵信, 张东鸣, 等. 饲料大豆蛋白对鲤鱼生长及肌肉营养成分的影响. 西北农林科技大学学报, 2008, **36**(10): 67—80]
- [17] Zhang J X, Zhou X Q, Ni X Q, *et al*. Effects of soybean protein isolate on growth performance and intestine of *Cyprinus auratus* juveniles [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008, **32**(1): 84—89 [张锦秀, 周小秋, 倪学勤, 等. 分离大豆蛋白对幼建鲤生长及肠道的影响. 水产学报, 2008, **32**(1): 84—89]
- [18] Li D F. Soybean antinutritional factors [M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2003 [李德发. 大豆抗营养因子. 北京: 中国科学技术出版社. 2003]
- [19] Refstie S, Storebakken T, Baeverfjord G, *et al*. Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid levels [J]. *Aquaculture*, 2001, **193**: 91—106
- [20] Chen N S, Ai Q H, Wang D Z. Studies on soybean protein as a substitute for fish meal in formulated diets for *Anguilla anguilla* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1998, **22**(3): 283—287 [陈乃松, 艾庆辉, 王道尊. 欧洲鳗鲡配合饲料中大豆蛋白替代鱼粉的研究. 水产学报, 1998, **22**(3): 283—287]
- [21] Luo Z, Liu Y J, Mai K S, *et al*. Partial replacement of fish meal by soybean protein in diets for grouper *Epinephelus coioides* juveniles [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2004, **28**(2): 175—181 [罗智, 刘永坚, 麦康森. 石斑鱼配合饲料中发酵豆粕和豆粕部分替代白鱼粉的研究. 水产学报, 2004, **28**(2): 175—181]
- [22] Kikuchi K. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. *Aquaculture*, 1999, **179**: 3—11