

不同加工处理大豆制品对鲤鱼鱼种生产性能的影响

王桂芹¹, 李子平¹, 孙丽², 郭贵良², 牛小天¹, 芦洪梅¹

(1 吉林农业大学 动物科技学院, 吉林 长春 130118; 2 吉林省长春市水产研究院, 吉林 长春 130214)

摘要:选择健康的体质量为(5.89 ± 0.36) g 鲤鱼 *Cyprinus carpio* 鱼种为试验鱼, 以生大豆粉和不同处理的大豆制品分别替代鱼粉, 大豆蛋白分别替代鱼粉蛋白的 50%, 配制 5 个等蛋白(可消化蛋白质量分数为 30%)、等能(可消化能 $15 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)的半精制饲料, 探讨饲料中不同处理的大豆制品对鱼粉蛋白的替代对鲤鱼生长、饲料利用和体组成的影响。结果表明: 平均增质量率热处理大豆组与对照组差异不显著($P > 0.05$), 生大豆组显著低于对照组($P < 0.05$), 化学钝化组、热处理大豆组和热乙醇浸提组之间没有显著差异($P > 0.05$), 但都显著高于生大豆组($P < 0.05$)。化学钝化组和热处理大豆组的蛋白效率与对照组差异不显著($P > 0.05$), 生大豆组的蛋白效率显著低于对照组、化学钝化组和热处理大豆组($P < 0.05$), 但与热乙醇浸提组没有显著差异($P > 0.05$)。热处理大豆组的饲料系数与对照组差异不显著($P > 0.05$), 但显著低于其他各组($P < 0.05$), 其他各组之间没有显著差异($P > 0.05$)。生大豆组显著影响鱼类的水分、脂肪和灰分的含量($P < 0.05$)。在该试验条件下, 热处理大豆组要好于其他各处理组。大豆抗营养因子对鱼类负面影响程度的顺序是抗胰蛋白酶抑制因子 > 凝集素 > 大豆抗原蛋白, 降低抗营养因子的负面影响程度的处理顺序是热处理 > 化学钝化 > 热乙醇浸提。

关键词: 鲤鱼; 抗胰蛋白酶抑制因子; 凝集素; 大豆抗原蛋白

中图分类号:S963

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2010)02-0095-05

Effects of Variously Processed Soybeans Meal on Production Performance of *Cyprinus carpio* Juveniles

WANG Gui-qin¹, LI Zi-ping¹, SUN Li², GUO Gui-liang², NIU Xiao-tian¹, LU Hong-mei¹

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

2 Changchun Academy of Fisheries Science, Changchun 130214, China)

Abstract: The effect of replacing fish meal with raw and variously processed soybeans meal on growth, feed utilization and carcass composition of common carp, *Cyprinus carpio* was evaluated in an 8-week trial. The common carp fingerlings [initial body mass (5.89 ± 0.36) g] were fed five isonitrogenous and isocaloric feeds containing 30% digestible protein and $15 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ digestible energy. Feeds contained SBM replace 50% of the fish meal protein, such as raw soybean (RSB), processed soybean by chemical inactivator, processed soybean by heating, processed soybean by heat alcohol respectively. Results showed that the dietary of RSB caused reduced growth ($P < 0.05$) and increased feed conversion ration (FCR). There is no significantly difference among five groups for feed intake, The growth performances of carp fed processed soybeans by chemical inactivator and by heating were significantly superior to those fed RSB, and similar to those fed soybean meal, RSB had no effect on growth, feed intake and FCR. It was concluded that the dietary RSB significantly inhibited the growth of carp, and the activity of soybean trypsin inhibitors could be reduced to the acceptable levels by processing of chemical inactivator and heating. Nutrient composition of fish muscle such as moisture, fat and ash content was significantly affected by raw soybean ($P < 0.05$). The effect of processing of heating on fish was superior to other groups. The degree of negative effect of soybean anti-nutritional factors on fish is anti-trypsin inhibitor > agglutinin > soybean antigen protein under the experimental condition, proper control can reduce the negative impact of soybean anti-nu-

收稿日期:2009-10-13

作者简介:王桂芹(1968—),女,副教授,博士,E-mail:wgqjlau@yahoo.com.cn

基金项目:吉林省科技攻关项目(200500046);国家自然科学基金(0671621)

tritional factors on fish, such as heating > processing of chemical inactivator > processed by heat alcohol.

Key words: *Cyprinus carpio*; trypsin inhibitor factors; soybean agglutinin; soybean antigenic protein

鱼粉是鱼类最重要的蛋白源,其短缺是饲料工业面临的最大难题,寻找植物蛋白代替鱼粉蛋白是水产研究和开发的热点。全脂大豆含蛋白质35%~37%,脂肪16%~20%,是典型的高能量高蛋白饲料,营养价值高,必需氨基酸较为平衡,其价格合理和资源量丰富,是一种优良的饲用蛋白质资源,但较高比例的替代鱼粉可降低鱼类对营养物质的消化利用,对鱼类的生产性能产生负面影响^[1]。其主要原因之一是大豆中存在多种对鱼类健康和生产性能不利影响的抗营养因子(Antinutritional factors, ANFs),如胰蛋白酶抑制因子、凝集素及大豆抗原蛋白等,它们抑制鱼类的摄食、酶的活性、产生毒素、结合有益物质,影响鱼类对营养物质的消化吸收、代谢和生长,限制了其在水产动物饲料中的广泛应用,一般不宜直接饲喂,需通过不同加工处理,使这些抗营养因子失活,从而安全饲喂。目前大豆蛋白在水产饲料应用的研究中,主要集中在鱼类对各种大豆制品蛋白质消化、吸收以及其对鱼类生长的影响上,而对大豆胰蛋白酶抑制因子、大豆凝集素和大豆抗原蛋白等主要抗营养因子对鱼的抗营养机理方面只是进行了初步的研究^[2-4]。生大豆主要含有抗胰蛋白酶抑制因子、凝集素和大豆抗原蛋白;热处理大豆中则使胰蛋白酶抑制因子、凝集素这些对热不稳定的抗营养因子有效失活,大豆抗原蛋白等热稳定抗营养因子仍然存在;化学钝化大豆使胰蛋白酶抑制因子有效失活,但含有凝集素和大豆抗原蛋白等抗营养因子;乙

醇浸提大豆主要含有抗胰蛋白酶抑制因子和凝集素,主要去除的是大豆抗原蛋白^[5-7]。本试验以鲤鱼*Cyprinus carpio*为研究对象,了解其对不同加工处理方法的大豆的反应敏感程度,旨在了解主要抗营养因子的不同和叠加对鲤鱼生长、饲料利用和体组成的影响,为生大豆和加工大豆制品这一高能高蛋白饲料在水产养殖中广泛应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以鱼粉为动物蛋白源,以生大豆和不同大豆制品为植物蛋白源,鱼油、大豆油及糊精为能源,纤维素为填充物来配制半精制日粮。用热处理大豆粉(蒸汽105℃、10 min)、化学钝化大豆粉(0.03 mol/L的亚硫酸钠75℃处理1 h)和热乙醇浸提大豆粉(80℃热乙醇处理1 h)分别替代鱼粉蛋白。各种大豆粉和鱼粉的概略养分、氨基酸组成及抗营养因子见表1。其中抗胰蛋白酶抑制因子和大豆凝集素分别采用Liu等^[8]的方法和植物凝集素效价法^[9]测定。试验设计大豆蛋白分别替代50%的鱼粉蛋白的等氮(可消化蛋白质量分数为30%)、等能(可消化能为15 kJ·g⁻¹)的各试验组和全鱼粉为蛋白源的对照组的饲料(表2)。饲料原料经粉碎过60目筛,按配方称质量、均匀混合,DGP40-II型饲料膨化机(河北邢台)挤压成直径为1.0 mm颗粒,晒干后置于-4℃冰柜中保存、备用。

表1 鱼粉和各种大豆粉的概略养分、氨基酸组成和抗营养因子

Tab. 1 Proximate composition and essential amino acid profile (dry mass) and antinutritional factors of fish meal and raw and variously processed soybeans meal

饲料原料	w/%								
	干物质	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	缬氨酸	苏氨酸	精氨酸	蛋氨酸	异亮氨酸
鱼粉	90.00	65.50	6.10	10.40	3.25	2.87	3.91	1.71	2.68
生大豆	87.00	35.50	17.30	4.50	1.61	1.38	1.97	0.63	1.42
化学钝化大豆	90.54	36.46	17.73	5.65	1.58	1.38	1.98	0.62	1.41
热处理大豆	90.83	37.73	17.38	4.90	1.65	1.40	2.02	0.62	1.44
热乙醇浸提大豆	90.85	37.23	17.08	5.25	1.63	1.40	2.08	0.63	1.45
饲料原料	w/%				抗胰蛋白酶抑制因子/(mg·g ⁻¹)			植物凝集素活性/(U·g ⁻¹)	
	亮氨酸	苯丙氨酸	赖氨酸	组氨酸					
鱼粉	4.99	2.71	5.22	1.75	0.00			0.00	
生大豆	2.62	1.57	1.77	0.72	35.24			102.00	
化学钝化大豆	2.59	1.52	1.78	0.73	0.00			72.00	
热处理大豆	2.66	1.61	1.80	0.76	3.21			0.00	
热乙醇浸提大豆	2.70	1.62	1.84	0.76	20.36			58.00	

表2 鲤鱼试验饲料配方及营养组成(干质量)

Tab. 2 Formulation and proximate chemical composition of experimental diets (dry mass) of *Cyprinus carpio*

组别	配方成分比例/%						
	生大豆	化学钝化大豆	热乙醇浸提大豆	热处理大豆	鱼粉	鱼油	玉米油
鱼粉组					48.03	3.58	3.58
生大豆组	42.89				24.42	0.17	0.17
化学钝化组		42.89			24.42	0.17	0.17
热乙醇浸提组			42.89		24.42	0.17	0.17
热处理大豆组				42.89	24.42	0.17	0.17

组别	配方成分比例/%						
	氯化胆碱	维生素预混料	无机盐预混料	磷酸二氢钙	糊精	纤维素	粘合剂
鱼粉组	0.50	1.00	2.00	0.50	33.89	4.92	2.00
生大豆组	0.50	1.00	2.00	0.50	23.35	3.00	2.00
化学钝化组	0.50	1.00	2.00	0.50	23.35	3.00	2.00
热乙醇浸提组	0.50	1.00	2.00	0.50	23.35	3.00	2.00
热处理大豆组	0.50	1.00	2.00	0.50	23.35	3.00	2.00

组别	营养组成						
	w(粗蛋白)/%	w(粗脂肪)/%	w(粗灰分)/%	w(可消化蛋白)/%	可消化能 ¹⁾ / (kJ·g ⁻¹)	w(可消化蛋白)/(g·MJ ⁻¹)	
鱼粉组	34.8	8.7	9.24	31.11	15.40	20.20	
生大豆组	35.6	9.2	8.27	30.37	15.46	19.64	
化学钝化组	35.4	9.4	8.46	30.18	15.46	19.52	
热乙醇浸提组	34.1	8.5	8.24	30.63	15.46	19.81	
热处理大豆组	34.7	8.6	8.19	30.43	15.46	19.68	

1) 鱼粉蛋白的消化率为 89%, 大豆蛋白消化率为 83.15%, 可消化能按蛋白质 16.8 kJ·g⁻¹, 脂肪 37.8 kJ·g⁻¹, 糖 16.8 kJ·g⁻¹ 来计算^[10].

1.2 饲养管理

试验鱼来自吉林长春 2814 渔场, 为同一批人工孵化的 1 龄鱼种。试验前暂养于室内水族箱中, 挑选健壮、规格均匀的幼鱼 1 500 尾。放室内水族箱中驯化, 投喂可消化蛋白质量分数为 30% 的试验饲料作为驯化饲料, 饱食投喂, 驯化 15 d。饲养试验为期 8 周。试验开始之前, 停止投喂 1 d, 然后挑选体格健壮、规格均匀的称体质量(精确至 0.01 g)和量体长, 随机放养在室内水族箱中, 每种饲料处理设 3 个重复, 每个重复 30 尾鱼, 日投喂率为体质量的 2.5% ~ 4.0%, 视水温、摄食情况作适当调整。每天投喂 2 次(9:00 和 17:00), 投喂后收集残饵、称质量, 计算饲料摄食率。试验期间水温为 23 ~ 30 °C, pH 为 7.1 ± 0.1, 溶解氧大于 5 mg·L⁻¹, 氨氮小于 0.5 mg·L⁻¹。

1.3 样品收集与测定

试验前随机抽取 30 尾鱼, 作为估计初始鱼体生化组成的样品。试验结束前停食 24 h 后分别对各组鱼进行称质量(精确到 0.01 g)、量体长, 计算增质量率(m_g), 并随机从各组中抽取 6 尾鱼作为生化分析的样品。测定鱼躯体(空壳)的营养成分, 水分含量测定采用 105 °C 恒温烘干失水法(GB/T6435—1994),

蛋白质含量测定采用半微量凯氏定氮法(GB/T6432—1994), 灰分含量测定采用 550 °C 灼烧法(GB/T6438—1992), 脂肪测定采用索氏抽提法(GB/T6433—1994)。

1.4 计算和统计分析

$$\text{饲料摄食率} = 100\% \times m_{\text{干}} / (m_0 + m_t) \times 2^{-1} \times t^{-1};$$

$$\text{饲料系数} = m_{\text{干}} / (m_t - m_0 + m_d);$$

$$\text{平均增质量率} = 100\% \times (m_t - m_0 + m_d) / m_0;$$

$$\text{蛋白效率} = (m_t - m_0 + m_d) / m_{\text{干}} \times w_p$$

其中 $m_{\text{干}}$ 为摄入饲料的干质量(g); m_0 和 m_t 为初始鱼体质量(g)和终末鱼体质量(g); m_d 为死鱼的体质量(g); w_p 为饲料蛋白质的质量分数(%); t 为试验的时间(d)。

采用 SPSS 10.0 软件进行单因素方差分析, 用 Duncan's 多重比较分析组间差异显著性程度, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 不同处理的大豆制品对鲤鱼生长和饲料利用的影响

各试验组的存活率均超过 90%, 没有受到饲料

中不同大豆制品替代鱼粉蛋白的影响($P > 0.05$)。饲料的摄食率亦没有受到饲料中不同大豆制品替代鱼粉蛋白的影响($P > 0.05$)。平均增质量率热处理大豆组与对照组差异不显著($P > 0.05$),生大豆组显著低于对照组($P < 0.05$),化学钝化组、热处理大豆组和热乙醇浸提组之间没有显著差异($P > 0.05$),但都显著高于生大豆组($P < 0.05$)。化学钝化组和热处理大

豆组的蛋白效率与对照组差异不显著($P > 0.05$),生大豆组的蛋白效率显著低于对照组、化学钝化组和热处理大豆组($P < 0.05$),但与热乙醇浸提组没有显著差异($P > 0.05$)。热处理大豆组的饲料系数与对照组差异不显著($P > 0.05$),但显著低于其他各组($P < 0.05$),其他各组之间没有显著差异($P > 0.05$) (表3)。

表3 不同处理的大豆制品替代鱼粉对鲤鱼生长、饲料利用的影响¹⁾

Tab. 3 Effect of replacement of fish meal by raw and variously processed soybeans meal on growth and feed utilization of *Cyprinus carpio*

组别	初始体质量/g	终末体质量/g	平均增质量率/%	日饲料摄食率/%	蛋白效率	饲料系数	存活率/%
鱼粉组	5.57 ± 0.32a	23.73 ± 0.62a	328.45 ± 20.78a	2.76 ± 0.18a	2.58 ± 0.06a	1.26 ± 0.04c	95.56 ± 2.22a
生大豆组	5.87 ± 0.38a	16.70 ± 0.55d	188.25 ± 28.03c	3.13 ± 0.13a	1.70 ± 0.16c	1.71 ± 0.15a	91.11 ± 1.10a
化学钝化组	6.10 ± 0.21a	21.63 ± 0.72b	255.44 ± 8.83b	2.89 ± 0.19a	2.28 ± 0.15ab	1.53 ± 0.01ab	96.67 ± 3.32a
热处理大豆组	5.90 ± 0.29a	22.63 ± 0.50ab	285.21 ± 18.51ab	2.80 ± 0.16a	2.41 ± 0.13a	1.35 ± 0.03bc	96.67 ± 3.34a
热乙醇浸提组	6.03 ± 0.33a	19.53 ± 0.55c	224.90 ± 11.59bc	3.11 ± 0.19a	2.01 ± 0.04bc	1.65 ± 0.03a	95.56 ± 2.23a

1) 表中数据为平均数±标准误,同列数据后凡是一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$,Duncan's法)。

2.2 不同处理的大豆制品对鲤鱼躯体组成的影响

生大豆组的水分含量显著高于对照组和其他替代组($P < 0.05$),热处理大豆组的水分含量和对照组没有显著差异($P > 0.05$),但显著低于其他替代组($P < 0.05$)。各试验组蛋白质含量没有显著差异($P > 0.05$)。生大豆组的脂肪含量显著低于对照组和热处理大豆组,但与其他各替代组没有显著差异($P > 0.05$)。生大豆组的灰分含量显著低于对照组,但各替代组之间没有显著差异($P > 0.05$) (表4)。

表4 饲料中不同处理的大豆制品替代鱼粉对鲤鱼躯干组成的影响¹⁾

Tab. 4 Effect of replacement of fish meal by soybean meal on nutrient ingredients in the carcass of *Cyprinus carpio* w/%

组别	水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分
鱼粉组	71.5 ± 0.50c	18.3 ± 0.22a	6.40 ± 0.12a	4.40 ± 0.06a
生大豆组	74.7 ± 0.31a	18.3 ± 0.28a	5.60 ± 0.17b	4.10 ± 0.06b
化学钝化组	73.1 ± 0.18b	18.0 ± 0.15a	5.93 ± 0.15ab	4.23 ± 0.03ab
热处理大豆组	71.6 ± 0.44c	18.6 ± 0.31a	6.23 ± 0.15a	4.27 ± 0.09ab
热乙醇浸提组	73.0 ± 0.20b	18.2 ± 0.41a	6.0 ± 0.12ab	4.3 ± 0.06ab

1) 表中数据为平均数±标准误,同列数据后凡是一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$,Duncan's法)。

3 讨论

鲤鱼对饲料的摄食率没有受到饲料中生大豆和不同大豆制品替代鱼粉蛋白的影响,表明摄食率不是影响生大豆和不同大豆制品对鲤鱼生长影响的主要因素,也表明鲤鱼对不同豆粉中的食欲抑制因子

反应不敏感,与 Murai 等^[1]报道的相同。生大豆主要含有胰凝乳蛋白酶抑制因子、凝集素和大豆抗原蛋白等抗营养因子,它们都对鱼类的生长产生抑制作用。

大豆胰凝乳蛋白酶抑制因子(Soybean trypsin inhibitors, TI)是大豆中的主要抗营养因子,它主要包括库尼兹胰凝乳蛋白酶抑制剂(KTI)和鲍曼-贝尔克胰凝乳蛋白酶抑制剂(BBI)2种,1分子的KTI可以抑制1分子的胰凝乳蛋白酶或1分子的糜蛋白酶,而1分子BBI可同时抑制各1分子的2种蛋白酶^[3]。在虹鳟^[4]、真鲷^[3]和大西洋鲑鱼^[11]饲料中添加纯化大豆胰凝乳蛋白酶抑制因子,随着大豆蛋白对鲤鱼^[12]饲料鱼粉蛋白替代量的增加,鱼肝胰脏和肠道的蛋白酶活性呈降低的趋势,降低蛋白质消化率,从而影响生长。大豆凝集素是大豆中唯一的含量较高的生物活性蛋白,主要存在于大豆子叶细胞的蛋白体内,约为大豆蛋白总量的10%,大豆凝集素还可以促进淋巴细胞分裂,加强巨噬细胞的分化和活动状态^[7]。由于大多数凝集素对肠道内的蛋白水解酶有抵抗性^[13],导致刷状缘膜紊乱、上皮微绒毛缩短^[14],导致血管通透性加大和血清蛋白流失增加,使营养成分用于合成肌肉等组织的营养成分减少,从而降低营养物质的消化吸收、降低了动物的生长性能。大豆抗原蛋白主要是通过破坏肠细胞的形态和结构、导致动物的肠道发生病理变化和过敏反应影响动物的免疫系统而发挥其抗营养作用的。大豆抗原对热相对稳定,很难将其活性降至无害水平,热处理乙醇浸泡等可将大豆致敏因子活性降至无害^[6]。随着大豆蛋白替代鱼粉蛋

白比例的增加,对大西洋鲑^[15-16]研究发现,鱼类上皮细胞损伤,导致血浆蛋白质漏入肠腔、绒毛脱落和隐窝肥大等,使肠道正常功能受到影响,对营养物质的吸收降低,影响其利用。本试验热处理大豆组和化学钝化大豆组主要去除抗胰蛋白酶抑制因子,结果其生长都显著高于生大豆组,含有抗胰蛋白酶抑制因子的生大豆组和热乙醇浸提组的体增质量都显著低于对照组,说明抗胰蛋白酶抑制因子的抗营养作用已影响到了鱼体的增质量;含有凝集素的生大豆组、化学钝化大豆组和热乙醇浸提组的体增质量都显著低于对照组,不含有凝集素的热处理组的体增质量与对照组没有显著的差异,表明凝集素的抗营养作用也影响到了体增质量;热乙醇浸提组的体增质量和生大豆组没有显著差异,与热处理组和化学钝化组也没有显著差异,表明大豆抗原蛋白对鱼类的负面影响程度不如大豆凝集素和大豆胰蛋白酶抑制因子。各处理组的鱼体肌肉营养成分与对照组没有显著差异,但与生大豆组比较,有明显改善。在本试验条件下,热处理大豆组要好于其他各处理组。大豆抗营养因子对鱼类负面影响程度的顺序是抗胰蛋白酶抑制因子>凝集素>大豆抗原蛋白,适当的处理可降低抗营养因子的负面影响。

参考文献:

- [1] MURAI T, OGATA H, KOUSUTARAK P, et al. Effects of amino acid supplementation and methanol treatment on utilization of soy flour in fingerling carp[J]. Aquac, 1986, 56(3/4): 197-206.
- [2] STALE R, TROND S, RIES J. Feed consumption and conversion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with fish meal, extracted soybean meal or soybean meal with reduced content of oligosaccharides, trypsin inhibitors, lectins and soya antigens[J]. Aquac, 1998, 162(1): 301-312.
- [3] HERNANDEZ M D, MARTINEZ F J, JOVER M, et al. Effects of partial replacement of fish meal by soybean meal in sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*) diet [J]. Aquac, 2007, 263(1-4): 159-167.
- [4] ROMARHEIM O H, SKREDE A, GAO You-ling. Comparison of white flakes and toasted soybean meal partly replacing fish meal as protein source in extruded feed for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquac, 2006, 256(1-4): 354-364.
- [5] WILSON R P, POE W E. Effects of feeding soybean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish [J]. Aquac, 1985, 46(1): 19-25.
- [6] BAJPAI S, SHARMA A, GUPTA M N. Removal and recovery of antinutritional factors from soybean flour [J]. Food Chem, 2005, 89(4): 497-501.
- [7] KRUGLUGER W T, LUCAS M, KOLLER G. Soybean agglutinin binds a 160-kDa rat macrophage membrane glycoprotein and enhances cell differentiation and activation [J]. Immunol Lett, 1996, 52(1): 53-56.
- [8] LIU Ke-shun, MARKAKIS P. Trypsin inhibition assay as related to limited hydrolysis of inhibitors [J]. Anal Biochem, 1989, 178(1): 159-165.
- [9] 彭建宗. 胰酶修饰兔红细胞对几种豆科植物凝集活性的影响[J]. 华南师范大学学报:自然科学版, 1999(3): 59-62.
- [10] 刘永坚, 刘栋辉, 田丽霞, 等. 饲料蛋白质和能量水平对红姑鱼生长和鱼体组成的影响[J]. 水产学报, 2002, 26(3): 242-246.
- [11] SVEIER H B O, KVAMME A J. Growth and protein utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) given a protease inhibitor in the diet [J]. Aquac Nutr, 2001, 7: 255-264.
- [12] ESCAFFRE A M, INFANTE J Z. Nutritional value of soy protein concentrate for larvae of common carp (*Cyprinus carpio*) based on growth performance and digestive enzyme activities [J]. Aquac, 1997, 153(1/2): 63-80.
- [13] BUTTLE L G, BURRELLS A C, GOOD J E. The binding of soybean agglutinin (SBA) to the intestinal epithelium of Atlantic salmon, *Salmo salar* and rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed high levels of soybean meal [J]. Vet Immunol Immunopathol, 2001, 80(3/4): 237-244.
- [14] VAN DEN INGH T S G A W, KROGDAHL A, Olli J J. Effects of soybean containing diets on the proximal and intestine in Atlantic salmon (*Salmo salar*): A morphological study [J]. Aquac, 1991, 94(4): 297-305.
- [15] BAEVERFJORD G, KROGDAHL A. Development and regression of soybean meal induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., distal intestine: A comparison with the intestines of fasted fish [J]. J Fish Dis, 1996, 19: 375-387.
- [16] KROGDAHL A, BAKKE 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.

【责任编辑 柴 焰】