

饲料大豆蛋白对鲤鱼生长及肌肉营养成分的影响

吴莉芳,秦贵信,张东鸣,王洪鹤,孙泽威,孙 玲

(吉林农业大学 动物科技学院,吉林 长春 130118)

[摘要] **【目的】**探讨大豆蛋白在鲤鱼饲料中的适宜替代量。**【方法】**以初始质量为(50.13±0.41) g的健康鲤鱼(*Cyprinus carpio*)为试验对象,在室内单循环控温养殖系统中进行8周生长试验,以鱼粉为动物蛋白源、去皮豆粕为植物蛋白源,去皮豆粕分别替代0%(CK),15%,30%,45%和60%的鱼粉蛋白,配制成5种等蛋白(360 g/kg)等能(15.2 MJ/kg)的半精制饲料,研究大豆蛋白对鲤鱼生长、饲料转化率及肌肉营养成分的影响。**【结果】**当大豆蛋白替代15%鱼粉蛋白时,PPV(蛋白质沉积率)显著高于对照组($P<0.05$),SGR(特定生长率)、FER(饲料效率)、PER(蛋白质效率)与对照组差异不显著($P>0.05$);当大豆蛋白替代30%,45%,60%鱼粉蛋白时,FER、PER与对照组差异不显著($P>0.05$);30%,45%大豆蛋白替代组PPV与对照组差异不显著($P>0.05$),60%大豆蛋白替代组SGR、PPV显著下降($P<0.05$)。另外,随着大豆蛋白替代比例的增加,鱼体的水分含量逐渐上升,其中45%和60%大豆蛋白替代组与对照组差异极显著($P<0.01$);粗蛋白、粗脂肪含量逐渐下降,其中60%大豆蛋白替代组与对照组差异显著($P<0.05$);各组之间灰分含量没有显著变化($P>0.05$)。随着大豆蛋白替代水平的提高,氨基酸、必需氨基酸和鲜味氨基酸总量均呈上升趋势,但各组间差异不显著($P>0.05$)。**【结论】**在本试验条件下,50~100 g鲤鱼的配合饲料蛋白水平为360 g/kg时,大豆蛋白替代鱼粉蛋白的最适量为15%,最大替代量为45%;过量添加大豆蛋白,将影响鲤鱼的生长及饲料转化率,使肌肉中蛋白质和脂肪的含量下降,但对肌肉中氨基酸含量的影响不显著。

[关键词] 鲤鱼;大豆蛋白;鲤鱼生长;肌肉营养成分;氨基酸

[中图分类号] S965.116.31⁺²

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2008)10-0067-07

Effect of dietary soybean protein level on the growth performance of carp and nutritional components in the muscle

WU Li-fang, QIN Gui-xin, ZHANG Dong-ming, WANG Hong-he, SUN Ze-wei, SUN Ling

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

Abstract: **【Objective】** The research investigated the suitable replacement level of soybean protein in *Cyprinus carpio* feed. **【Method】** The trial was carried out on healthy carp (*Cyprinus carpio*) with the initial weight (50.13±0.41) g in a controlled temperature single recirculating system for 8 weeks. Fish meal was used as animal protein sources while soybean protein was dehulled as plant protein sources. The carp was fed diets that contain different levels of soybean protein to replace fish meal (0%, 15%, 30%, 45% and 60%) as semi-refined feed with equal protein (360 g/kg) and energy (15.2 MJ/kg) to investigate the effects of different dietary soybean protein levels on the growth performance, feed conversion efficiency and nutritional components in the muscle. **【Result】** The results indicated that when soybean protein replaced

* [收稿日期] 2008-03-31

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(30430520)

[作者简介] 吴莉芳(1970-),女,吉林农安人,副教授,博士,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,吉林长春市人,教授,博士,博士生导师,主要从事动物营养与饲料学研究。

fish meal by 15%, the productive protein values (PPV) in fed fish were significantly higher than that of control groups ($P < 0.05$), while specific growth rate (SGR), feed efficiency rate (FER), protein efficiency rate (PER) had no significant difference with control groups ($P > 0.05$); when soybean protein replaced fish meal by 30%, 45% and 60%, there were no significant differences in specific growth rate (SGR), feed efficiency rate (FER) and protein efficiency rate (PER) between the fish fed with these diets and the control groups ($P > 0.05$) but the productive protein value (PPV) of soybean replacement group was significantly lower than that of the control groups ($P < 0.05$). In addition, when the soybean protein replacing proportion was increasing, moisture in the carp went up, and there were significant differences in the carp fed with the diets when soybean protein replaced fish meal by 45% and 60% of soybean replacement group ($P < 0.01$); when protein and fat content gradually descended, there were significant differences in the carp fed with the diets when soybean protein replaced fish meal by 60% ($P < 0.05$); but the ash in every group had no differences ($P > 0.05$). The total amounts of amino acids and essential amino acids ascended but there were no significant differences in each group ($P > 0.05$), and flavor amino acid in each group had no significant differences, either ($P > 0.05$). 【Conclusion】 Therefore, when the protein content was 36% the soybean protein replaced fish meal by 15%, the maximum replacement was 45% in the trial. Excessive soybean added in feed would affect the growth performance and feed efficiency rate. The protein and fat content in carp declined, but the amino acid content in carp was not significantly influenced.

Key words: *Cyprinus carpio*; soybean protein; growth performance; muscular nutritional component; amino acid

随着集约化水产养殖业的发展,配合饲料应用稳定增长,对原料的需要量逐渐增加,饲料蛋白源供应不足问题日益突出^[1]。鱼粉(fish meal, FM)是水产饲料中应用最广泛的蛋白源^[2],但目前世界鱼粉的供应已不能满足日益增长的水产养殖需求。近年来,世界鱼粉年产量一直维持在 600~700 万 t,而世界水产养殖业却以每年平均 11% 的速度增长。中国是世界上最主要的鱼粉市场,而且占有很大优势,但鱼粉短缺问题在我国却更为严重,2003 年进口鱼粉 80 万 t,2004 年进口鱼粉 112 万 t,2005 年进口鱼粉 158 万 t,进口量已占世界鱼粉产量的 1/4、贸易量的 1/3 以上。因此寻求鱼粉蛋白源的替代品,已成为一个国际性的重要研究课题^[3]。以大豆蛋白源替代鱼粉,是近十年来水产界的研究热点之一。大豆蛋白消化吸收率高、营养全面、价格合理、资源丰富,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),不仅会影响鱼类的摄食、生长,而且会引起鱼类的死亡。目前,虽然已经对一些鱼类进行了大豆蛋白替代鱼粉蛋白的相关研究,但多集中在大西洋鲑(*Salmo salar* L.)和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)等肉食性鱼类上^[4-5],而对鲤鱼等杂食性鱼类的相关研究仅见零星报道。鲤鱼(*Cyprinus carpio*)隶属于鲤形目(Cypriniformes)、鲤科(Cyp-

rinidae)、鲤亚科(Cyprinidae)、鲤属(*Cyprinus*),是我国目前主要的淡水经济鱼类养殖品种之一。因此,本研究以鲤鱼幼鱼为试验对象,通过生长试验,在鲤鱼饲料中利用不同比例大豆蛋白替代鱼粉蛋白,探讨鲤鱼饲料中大豆蛋白替代鱼粉蛋白的适宜替代量,分析大豆蛋白对鲤鱼肌肉营养成分的影响,旨在为配制质优价廉的鲤鱼人工配合饲料提供基础资料,为大豆蛋白在水产饲料中的合理开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料的配制

以鱼粉为动物蛋白源,去皮豆粕为植物蛋白源,鱼油、玉米油、糊精为能源,纤维素为填充物配制 5 种等蛋白(360 g/kg)、等能(15.2 MJ/kg)的半精制饲料。其中,去皮豆粕替代鱼粉的质量分数分别为 0%(CK), 15%, 30%, 45%, 60%。原料经粉碎过 0.246 mm(60 目)筛,按配方(表 1)称重,混合均匀,挤压成直径为 2.5 mm 的颗粒,晒干后置于 -4 ℃ 冰柜中保存备用。各配方鲤鱼饲料的营养水平(计算值)见表 2。

1.2 试验鱼及其饲养管理

试验鲤鱼鱼种来自吉林省农安县太平池水库渔场,试验前挑选体质健壮、规格整齐、鳍鳞完整的鲤

鱼种 700 尾,暂养于吉林农业大学动物室的室内控温单循环系统中。该系统由 56 个 230(型号)缸组成,每缸加水至容积的 3/4,用循环泵进行水质过滤,暂养时投喂饲料粗蛋白含量为 360.2 g/kg 的试验对照组饲料,饱食投喂,驯化 15 d。饲养试验从 2007-07-08~2007-09-02,为期 8 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),

每个饲料组设置 3 个重复,每个重复放养 30 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,水温控制在(22±3)℃,溶解氧(DO)维持在 5.0~8.0 mg/L,pH 值 7.0~8.0,氨氮含量小于 0.3 mg/L。日投饵率视鱼群摄食情况变动于 3%~6%,日投饵 2 次(9:00,16:00),投饵方法为人工手撒。

表 1 鲤鱼饲养试验饲料配方

Table 1 Diet formulation of *C. carpio*

g/kg

日粮组成 Diet composition	大豆蛋白替代鱼粉蛋白的质量分数/% The percent of fish meal protein replaced by soybean protein				
	0(CK)	15	30	45	60
鱼粉 Fish meal	558.5	471.0	384.0	296.0	224.0
去皮豆粕 Dehulled soyabean meal DSBM	—	117.5	234.9	352.4	469.9
糊精 Dextrin	339.5	299.3	268.8	239.2	197.9
玉米油 Corn oil	10.0	12.1	14.4	16.7	17.1
鱼油 Fish oil	10.0	12.1	14.4	16.7	17.1
氯化胆碱 Choline chloride	5	5	5	5	5
维生素预混料 Vitamin premix	10	10	10	10	10
无机盐预混料 Mineral premix	20	20	20	20	20
纤维素 Cellulose microcrystalline	42.0	48.0	43.5	39.0	34.0
黏合剂 Binder	5	5	5	5	5

注:①维生素预混料向每 kg 饲料提供:叶酸 15 mg,泛酸钙 80 mg,肌醇 400 mg,生物素 1.0 mg,盐酸硫胺素 60 mg,盐酸吡哆醇 20 mg,核黄素 20 mg,VA 2.0 mg, VD1.6 mg, VE100 mg, VK 0.7 mg, VC 500 mg, VB12 0.3 mg。②无机盐预混料向每 kg 饲料提供: MnSO₄·H₂O 37.6 mg, MgSO₄·7H₂O 4.1 g, ZnSO₄·7H₂O 0.88 g, CuSO₄·5H₂O 8 mg, FeSO₄·7H₂O 0.8 g, AlCl₃·6H₂O 3 mg, CaCO₃ 0.75 g, NaH₂PO₄·2H₂O 6.78 g, CoCl₂·6H₂O 24.8 mg, Na₂Se₂O₃ 0.24 mg, KCl 1.9 g。

Note: ①Vitamin premix supplied the following per kilogram of diet: folic acid 15 mg, calcium pantothenate 80 mg, inositol 400 mg, biotin 1.0 mg, thiamin hydrochloric acid 60 mg, pyridoxine hydrochloric acid 20 mg, riboflavin 20 mg, retinal acetate 2.0 mg, chelecalciferol 1.6 mg, vitamin E 100 mg, vitamin K 0.7 mg, ascorbic acid 500 mg, cynocobalamin 0.3 mg。②Mineral premix supplied the following per kilogram of diet: MnSO₄·7H₂O 37.6 mg, MgSO₄·7H₂O 4.1 g, ZnSO₄·7H₂O 0.88 g, CuSO₄·7H₂O 8 mg, FeSO₄·7H₂O 0.8 g, AlCl₃·6H₂O 3 mg, CaCO₃ 0.75 g, NaH₂PO₄·2H₂O 6.78 g, CoCl₂·6H₂O 24.8 mg, Na₂Se₂O₃ 0.24 mg, KCl 1.9 g。

表 2 各配方鲤鱼饲料的营养水平

Table 2 Level of different diet formulations of *C. carpio*

营养水平 Nutrition level	大豆蛋白替代鱼粉蛋白的质量分数/% The percent of fish meal protein replaced by soybean protein				
	0(CK)	15	30	45	60
粗蛋白/(g·kg ⁻¹) Crude protein	360.2	360.1	360.4	360.1	360.6
粗脂肪/(g·kg ⁻¹) Crude lipid	51.1	50.9	51.1	51.4	51.1
粗纤维/(g·kg ⁻¹) Crude fiber	44.8	44.7	44.7	44.7	44.8
灰分/(g·kg ⁻¹) Crude ash	63.7	53.6	43.8	33.7	48.0
总能(MJ·kg ⁻¹) Gross energy	15.26	15.60	15.90	15.10	15.00

1.3 样品的收集与测定

试验结束前停食 24 h 后称鱼体质量(精确到 0.01 g),每缸活体解剖 10 尾鱼,取出内脏和肝、胰脏,称重(精确到 0.01 g)。计算肝体比(Hepatosomatic index, HI)、脏体比(Viscerasomatic index, VI)、特定生长率(Specific growth rate, SGR)、饲料效率(Feed efficiency ratio, FER)、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:

$$\text{肝体比}/\% = (\text{肝胰脏重}/\text{鱼体质量}) \times 100\%$$

$$\text{脏体比}/\% = (\text{内脏重}/\text{鱼体质量}) \times 100\%$$

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

$$\text{饲料效率} = (W_t - W_0) \times 100 / I_t$$

$$\text{蛋白质效率} = (W_t - W_0) \times 100 / I_t \times P$$

$$\text{蛋白质沉积率}/\% = [(W_t P_1 - W_0 P_2) / (I_t \times P)] \times 100\%$$

式中:W_t、W₀分别为终末和初始鱼体质量(g),t为试验时间(d),I_t(g)为摄入干饲料量,P、P₁、P₂分别

是饲料、终末鱼体、初始鱼体中的蛋白质含量(%)。

生长试验结束后,每组随机取鱼 10 尾,吸干鱼体表的水分后,取侧线以上、背鳍以下的肌肉,测定其营养成分。水分(Moisture content)测定采用 105 ℃ 恒温烘干失重法(GB/T6435—1986),粗蛋白(Crude protein)测定采用凯氏定氮法(GB/T6432—1994),粗脂肪(Crude fat)测定采用索氏乙醚抽提法(GB/T6433—1994),粗灰分(Crude ash)测定采用马福炉灼烧法(GB/T6438—1994),以上指标的单位(%)均为占肌肉鲜重的质量分数。氨基酸(Amino acid)采用氨基酸自动分析仪(GB/T14965—1994)测定。

1.4 数据统计与分析

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,再采用 Duncan's 多重比较分析组间的差异显著程度。

表 3 饲料中大豆蛋白替代鱼粉蛋白对鲤鱼生长与饲料利用的影响

Table 3 Effect of replacement of fish meal by soybean protein on growth, feed utilization of *C. carpio*

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				
	0(CK)	15	30	45	60
初始质量/g Initial mean body weight	50.13±0.31	50.10±0.62	50.27±0.57	50.17±0.32	49.97±0.42
终末质量/g Final mean body weight	87.83±4.38 ABbc	91.30±4.12 Bc	84.40±3.21 AaBb	84.03±0.36 AaBb	79.39±2.14 Aa
SGR/%	1.08±0.09 bc	1.15±0.11 c	1.00±0.06 ab	0.98±0.01 ab	0.89±0.04 a
FER	61.13±3.08 ab	63.72±0.96 b	60.07±5.40 ab	59.66±4.51 ab	54.97±3.58 a
PER	1.78±0.09 ab	1.83±0.03 b	1.74±0.16 ab	1.71±0.13 ab	1.59±0.10 a
PPV	31.47±2.45 b	36.44±2.02 a	33.05±2.37 b	27.09±1.22 b	18.00±0.40 c
VI/%	10.95±1.15 a	11.62±0.13 a	10.62±0.14 a	10.48±1.23 a	9.36±0.81 a
HI/%	4.13±0.05 a	3.94±0.60 a	3.68±0.27 a	3.64±0.31 a	3.47±0.25 a

注:同行数据后标不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$),标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Data in a row with a different superscript capital letter indicate difference at $P<0.01$, which with different superscript letter are different at $P<0.05$.

2.2 大豆蛋白对鲤鱼肌肉主要营养成分的影响

表 4 表明,随着大豆蛋白替代比例的升高,鱼体水分逐渐上升,其中大豆蛋白替代鱼粉蛋白的质量分数为 45% 和 60% 组与对照组差异极显著($P<$

2 结果与分析

2.1 大豆蛋白对鲤鱼生长及饲料利用的影响

表 3 结果表明,当大豆蛋白替代鱼粉蛋白的质量分数为 15% 时,PPV 显著高于对照组($P<0.05$);SGR、FER、PER 虽然高于对照组,但与对照组差异不显著($P>0.05$)。当大豆蛋白替代鱼粉蛋白的质量分数为 30% 和 45% 时,SGR、FER、PER、PPV 与对照组差异均不显著($P>0.05$)。当大豆蛋白替代鱼粉蛋白的质量分数为 60% 时,SGR、PPV 显著低于对照组($P<0.05$);FER、PER 也低于对照组,但与对照组差异不显著($P>0.05$)。各组鲤鱼的肝体比为 3.47~4.13,脏体比为 9.36~11.62,与对照组相比,大豆蛋白替代鱼粉蛋白对鲤鱼肝体比和脏体比无显著影响($P>0.05$)。

0.01);粗蛋白和粗脂肪含量随大豆蛋白替代比例升高均逐渐下降,其中大豆蛋白替代鱼粉蛋白的质量分数为 60% 组与对照组差异显著($P<0.05$);各组之间灰分没有显著变化($P>0.05$)。

表 4 饲料中大豆蛋白替代鱼粉蛋白对鲤鱼肌肉营养成分的影响

Table 4 Effect of replacement of fish meal by soybean protein on nutrient ingredients in the muscle of *C. carpio*

大豆蛋白替代鱼粉蛋白的质量分数/% Replacement of fish meal Protein by soybean protein	水分 Moisture	粗蛋白 Protein	粗脂肪 Lipid	粗灰分 Ash
0(CK)	78.41±0.25 A	17.19±0.06 b	1.64±0.05 b	1.83±0.04
15	78.72±0.34 A	17.09±0.09 b	1.60±0.03 b	1.89±0.02
30	79.00±0.30 A	16.97±0.67 b	1.59±0.05 b	1.86±0.04
45	79.89±0.31 B	16.70±0.10 b	1.55±0.01 b	1.85±0.03
60	80.06±0.42 B	15.64±0.33 a	1.42±0.02 a	1.85±0.03

注:同列数据后标不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$),标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Data in the same column with a different superscript capital letter indicate difference at $P<0.01$, which with different superscript letter are different at $P<0.05$.

由表 5 可知,随着大豆蛋白替代水平的增加,鲤 量均呈上升趋势,但各组间差异不显著($P>0.05$)。鱼肌肉中氨基酸总量、必需氨基酸和鲜味氨基酸总

表 5 饲料中大豆蛋白替代鱼粉蛋白对鲤鱼肌肉氨基酸组成的影响

Table 5 Effect of replacement of fish meal by soybean protein on amino acids in the muscle of *C. carpio*

氨基酸 Acid	大豆蛋白替代鱼粉蛋白的质量分数/% Replacement of fish meal protein by soybean protein				
	0(CK)	15	30	45	60
◇天门冬氨酸 Aspartic acid	1.85±0.09	1.84±0.09	1.84±0.04	1.84±0.04	1.89±0.01
* 苏氨酸 Threonine	0.80±0.04	0.80±0.04	0.79±0.04	0.80±0.03	0.81±0.01
丝氨酸 Serine	0.70±0.03	0.70±0.03	0.70±0.04	0.70±0.01	0.70±0.02
◇谷氨酸 Glutamic acid	3.14±0.16	3.13±0.16	3.08±0.18	3.18±0.11	3.28±0.01
◇甘氨酸 Glycine	0.77±0.04	0.78±0.02	0.79±0.04	0.80±0.02	0.81±0.02
◇丙氨酸 Alanine	1.08±0.06	1.08±0.04	1.08±0.04	1.10±0.01	1.08±0.04
* 缬氨酸 Valine	0.87±0.04	0.85±0.03	0.86±0.01	0.89±0.01	0.87±0.03
* 蛋氨酸 Met hionine	0.47±0.05	0.46±0.02	0.45±0.04	0.44±0.04	0.43±0.04
* 异亮氨酸 Isoleucine	0.82±0.05	0.81±0.04	0.82±0.02	0.83±0.04	0.84±0.01
* 亮氨酸 Leucine	1.48±0.07	1.47±0.06	1.50±0.05	1.50±0.05	1.53±0.01
* 酪氨酸 Tyrosine	0.58±0.08	0.60±0.02	0.60±0.04	0.58±0.06	0.58±0.05
* 苯丙氨酸 Phenylalanine	0.82±0.04	0.82±0.02	0.81±0.01	0.83±0.01	0.83±0.01
* 赖氨酸 Lysine	1.82±0.08	1.80±0.08	1.81±0.05	1.81±0.05	1.81±0.01
组氨酸 Histidine	0.64±0.05	0.67±0.05	0.70±0.02	0.68±0.04	0.73±0.03
精氨酸 Arginine	1.04±0.06	1.06±0.04	1.08±0.05	1.08±0.05	1.04±0.01
脯氨酸 proline	0.39±0.03	0.41±0.03	0.41±0.04	0.20±0.03	0.43±0.01
* 胱氨酸 Cystine	0.20±0.01	0.18±0.01	0.16±0.03	0.20±0.04	0.16±0.06
氨基酸总量∑TAA	17.47±0.95	17.46±0.76	17.51±0.57	17.66±0.52	17.96±0.14
必需氨基酸总量∑EAA	8.40±0.55	8.60±0.31	8.62±0.23	8.40±0.11	7.90±0.11
鲜味氨基酸总量∑DAA	6.36±0.82	6.83±0.31	6.80±0.33	6.90±0.19	7.10±0.22

注: * 示必需氨基酸;◇示鲜味氨基酸。

Note: * essential amino acids;◇ delicious amino acids.

3 讨论

3.1 大豆蛋白对鲤鱼生长及饲料利用的影响

从本研究结果可以看出,在鲤鱼幼鱼的人工配合饲料中添加一定量的大豆蛋白,可使鱼类的生长及饲料利用率得到提高,但过量添加将会抑制鱼类生长及对饲料的利用。Wee 等^[6]在尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的饲料中分别用 55% 的生大豆粉、58% 熟大豆粉、52% 脱脂大豆粉替代鱼粉,结果生大豆粉组的鲤鱼生长受到抑制,抑制程度随大豆粉的增加而加剧;熟大豆粉、脱脂大豆粉组的生长快于对照组。Dabrowski 等^[7]在虹鳟的饲料中利用 13%、25%、50% 的商品大豆粉替代鱼粉,结果表明,添加大豆粉 13% 时鱼的生长与对照组相似,25% 时抑制生长,50% 时生长萎缩,死亡率高;添加大豆粉使氨基酸的吸收率下降。Kikuchi 等^[8]对牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)的研究发现,以脱脂大豆粉替代 25% 的鱼粉蛋白时,其生长显著高于对照组,但以脱脂大豆粉替代 45% 的鱼粉蛋白时,牙鲆的生长和饲料利用率与对照组差异不显著。王广军等^[9]在军曹鱼(*Rachycentron canadum*)饲料中以

0%、5%、10%、20% 和 30% 的豆粕替代鱼粉进行生长试验,结果表明,当基础饲料中豆粕替代鱼粉的量不超过 10% 时,对军曹鱼的增重率、饲料系数、成活率及肥满度没有显著影响。王桂芹等^[10]在翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)的饲料中,利用不同比例大豆蛋白替代鱼粉蛋白,13.5%、27.0%、40.5% 替代组的增重率和蛋白质效率与对照组差异不显著。Escaffre 等^[11]研究表明,以鲤鱼鱼苗(体重 0.17 g 左右)为研究对象,当大豆蛋白替代鱼粉蛋白的水平高于 40% 时,其生长率显著下降。本试验鲤鱼饲料中大豆蛋白的替代比例高于虹鳟、军曹鱼、翘嘴红鲌等肉食性鱼类,主要是由于鲤鱼属于典型的杂食性鱼类,其消化道结构由口腔、咽、食道、肠等部分组成,在其食谱中存在一定的植物,可以消化一定的植物蛋白,因此,鲤鱼比肉食性鱼类能够更好地消化利用大豆蛋白,在其饲料中大豆蛋白替代鱼粉蛋白的适宜添加量高于肉食性鱼类。本研究结果表明,大豆蛋白的最大替代量 45% 高于 Escaffre 等^[11]的研究结果。这主要是由于本试验鲤鱼鱼种体重((50.13±0.41) g)高于 Escaffre 试验中鱼苗(0.17 g)的体重。随着鱼类的生长发育,消化系统的结构

和功能逐步完善,消化腺逐步形成,鱼类的消化能力将发生阶段性变化,鱼类的营养需求也不断变化。随着鱼类的生长,对大豆蛋白的利用能力将上升。因此,鱼类利用大豆蛋白的能力可能随着生长发育阶段的变化而发生阶段性变化。

限制鱼类有效利用大豆蛋白的原因之一可能是大豆蛋白中含有抗营养因子。大豆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, SBA)、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。虽然去皮豆粕经过加工后,一些热不稳定的抗营养因子(胰蛋白酶抑制因子、糜蛋白酶抑制因子、植物凝集素等)可以灭活至无害水平,但是仍然含有热稳定的抗营养因子(大豆抗原、异黄酮、植酸、寡糖、单宁等),大豆抗营养因子的存在,影响了饲料的适口性,使鱼类摄食率降低^[12],从而影响鱼类的生长。另外,大豆蛋白的过量添加,会使饲料中氨基酸含量不平衡,对鱼类的生长可能产生抑制作用。饲料中氨基酸的组成在很大程度上决定了饲料的营养价值。现已确认鱼类存在 10 种必需氨基酸,饲料中一旦缺乏这些氨基酸,会使构成蛋白质的各种氨基酸比例失衡,限制其他氨基酸的利用,多余的氨基酸通过脱氨基作用转化成能量消耗掉,从而造成蛋白质利用不合理。与鱼粉相比,大豆蛋白必需氨基酸含量低,尤其是含硫氨基酸较低,过量添加将影响鱼类对饲料中蛋白质的利用。大豆蛋白的过量添加,影响鲤鱼生长性能及饲料利用,也可能是由于鲤鱼饲料中必需脂肪酸(EFA)缺乏或不平衡所致,因为大豆蛋白的过量添加可能会使饲料中的必需脂肪酸缺乏或不平衡,导致鱼类饲料效率下降,生长受到影响。所以,在渔业生产中,大豆蛋白应适量替代鱼粉蛋白,使饲料中的氨基酸和脂肪酸配比趋于合理,适合鱼类的需求,从而达到促进鱼类生长的目的。

3.2 大豆蛋白在鲤鱼饲料中的适宜添加量

鱼类饲料中大豆蛋白的适宜添加量,是指在该添加水平或该添加水平以下,鱼类的生长及饲料转化率与对照组差异不显著或高于对照组。即在此条件下,鱼类能够最大限度地利用大豆蛋白的量。饲料中大豆蛋白最适添加量与鱼的食性、种类、大小、水体环境及大豆蛋白的品质有关。不同食性的鱼类对大豆蛋白的利用存在较大差异。

本研究结果表明,在鲤鱼幼鱼人工配合饲料中,大豆蛋白替代 15% 鱼粉蛋白效果最佳,而大豆蛋白替代鱼粉蛋白的最大替代量为 45%。Viola 等^[13]报道,对杂食性鲤鱼以去皮大豆蛋白为蛋白源添加限制性氨基酸时,可以完全替代鱼粉。Webster 等^[14]研究报道,鲇鱼(*Ictalurus furcatus*)以大豆粉替代 70% 鱼粉效果较好。LUO 等^[15]在石斑鱼(*Epinephelus coioides*)幼鱼((9.4±0.1)g)的饲料中,利用发酵豆粕替代鱼粉,进行为期 56 d 的生长试验,结果表明,发酵豆粕替代鱼粉的最适量为 10%。叶继丹等^[16]以西伯利亚鲟(*Acipenser baeri*)幼鱼(40 g)为研究对象,在粗蛋白含量为 41% 的饲料中分别以 0%, 15%, 35%, 55% 豆粕替代鱼粉,结果表明,15% 的豆粕添加水平不影响幼鲟的生长。Chou 等^[17]研究发现,幼龄军曹鱼(32 g)饲喂粗蛋白含量为 48% 的饲料,当大豆粉替代鱼粉的比例由 40% 增加到 50% 时,与对照组相比,军曹鱼的体增重、饲料转化率、蛋白效率比、净蛋白利用率都存在显著差异,表明用大豆粉替代 40% 的鱼粉不会导致生长与蛋白利用的降低。

不同食性的鱼类,对大豆蛋白的利用率不同,因此,在饲料中的适宜添加量也不同,其主要原因是不同食性鱼类的消化器官结构不同。草食性鱼类对植物蛋白的适应性很好,杂食性鱼类对植物蛋白的适应性较好,肉食性鱼类对植物蛋白的适应性较差。由于饲料中大豆蛋白的适宜添加量因鱼类的食性不同而存在一定的差异,所以在渔业生产中,在不影响鱼类肉品质的前提下,对于不同食性鱼类的人工配合饲料,应使大豆蛋白以最大的替代量替代鱼粉蛋白以获得更高的经济效益。本试验条件下,大豆蛋白对鱼粉蛋白的最大替代量为 45%。

3.3 大豆蛋白对鲤鱼肌肉主要营养成分的影响

肌肉营养成分是衡量养殖产品肌肉品质的重要指标^[18]。确定某种鱼类是否具有经济价值,在很大程度上取决于鱼类可食部分(含肉率)、肌肉营养成分(蛋白质、脂肪、人体必需氨基酸种类和含量)以及味道鲜美度。在一定的生长发育阶段,鱼类肌肉的营养成分是相对恒定的,但肌肉主要营养成分既受遗传因子的影响,又受环境因子的控制。随着外界环境(饲料营养成分、食物组成、养殖水环境、养殖技术管理、加工技术等)的改变,鱼类肌肉主要营养成分也会发生相应的变化。

本研究结果表明,随着大豆蛋白替代比例的升高,鲤鱼肌肉中蛋白质含量下降,60% 替代组与对照

组差异显著。这可能是由于大豆蛋白中含有抗营养因子,过量添加影响鱼类对饲料中蛋白质、氨基酸等营养物质的消化、吸收及合成。另外,大豆蛋白的过量使用,使饲料中的氨基酸比例失衡,因此影响了鱼类对饲料的利用、体蛋白质的合成和蛋白质的沉积。本研究结果还表明,随着大豆蛋白替代比例的升高,鲤鱼肌肉中脂肪含量下降,60%组与对照组差异显著。这是由于高大豆蛋白能降低鱼类对饲料中脂肪的消化^[19]。另外,随着大豆蛋白替代鱼粉蛋白比例的提高,饲料中各种大豆抗营养因子的含量也逐渐增加,不利于脂肪的沉积。研究表明,随着大豆蛋白替代比例的升高,鲤鱼鱼体的水分逐渐上升,45%和60%组与对照组差异极显著,灰分含量各组间差异不显著。衡量鱼类肌肉的营养价值,不仅要看蛋白质含量的高低,还要看组成蛋白质的氨基酸种类及其含量的高低。饲料中氨基酸的组成和含量,与动物本身的氨基酸组成和含量有类似处^[20]。因此,测定肌肉中氨基酸的组成与含量,能够为鲤鱼配合饲料的合理、优化研制提供基础资料和理论依据。从本试验结果可以看出,随着大豆蛋白替代鱼粉蛋白的比例升高,鲤鱼肌肉中氨基酸总量与对照组差异不显著。蛋白质营养价值的高低,取决于氨基酸含量及其组成,尤其取决于所含人体必需氨基酸(苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、蛋氨酸+胱氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸、赖氨酸、色氨酸)的种类、数量和组成比例。从本试验结果可以看出,随着大豆蛋白替代鱼粉蛋白比例的升高,鲤鱼肌肉中人体必需氨基酸总量有上升趋势,但与对照组差异不显著,动物蛋白质的鲜美在一定程度上取决于鲜味氨基酸(谷氨酸、天门冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸)的含量。鲜味氨基酸中谷氨酸和天门冬氨酸为呈鲜味的特征氨基酸,其中谷氨酸的鲜味最强;而甘氨酸和丙氨酸是呈甘味的特征性氨基酸。从本试验结果可以看出,随着大豆蛋白替代鱼粉蛋白的比例升高,鲤鱼肌肉中鲜味氨基酸的总量与对照组差异不显著。鱼肉营养价值主要取决于肌肉中蛋白质、脂肪、氨基酸组成及其含量的多少。从本研究结果可以看出,在鲤鱼幼鱼的人工配合饲料中,当大豆蛋白以15%、30%和45%的比例替代鱼粉蛋白时,鱼肉中蛋白质、脂肪、氨基酸组成及其含量与对照组差异不显著。因此,在鲤鱼的人工配合饲料中,添加一定量的大豆蛋白不会影响鱼类肌肉的营养价值。

4 结 论

1) 本试验条件下,在鲤鱼的人工配合饲料中,

大豆蛋白替代鱼粉蛋白的最大替代量为45%。

2) 在鲤鱼的人工配合饲料中,添加过量的大豆蛋白将影响鲤鱼的生长和肌肉的营养价值。

[参考文献]

- [1] Hardy R. Evaluating oilseed proteins for finfish diets [J]. *Feed Int*, 1996, 172: 22-26.
- [2] Hardy R H. Aquaculture's rapid growth requirements for alternate protein sources [J]. *Feed Mana*, 1999, 50: 25-28.
- [3] Hardy R W, Kissil G W M. Trends in aquaculture feeding [J]. *Feed Mix*. 1997, 5: 31-33.
- [4] Olli J J, Krogdahl A. Nutritive value of four soybean products as protein sources in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) reared in freshwater [J]. *Acta Agric Scand Sect A Anim Sci*, 1993, 44: 185-192.
- [5] Olli J J, Krogdahl A, Vabeno A. Dehulled solvent extracted soybean meal as a protein source in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. [J]. *Aquaculture Res*, 1995, 26: 167-174.
- [6] Wee K L, Sun S W. The Nutritive value of boiled full-fat soybean in pelleted feed for Nile tilapia [J]. *Aquaculture*, 1989, 81: 304-314.
- [7] Dabrowski K, Poczynskip. 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.
- [8] Kikuchi K, Kikuchi U. Use of defatted soybean meal as a substitute for meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 1999, 179: 3-11.
- [9] 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 [J]. *大连水产学院学报*, 2005, 20(4): 304-307.
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. (in Chinese)
- [10] 王桂芹, 周洪琪, 陈建明, 等. 翘嘴红鲌对饲料蛋白的营养需求及豆粕对鱼粉的适宜替代量 [J]. *中国水产科学*, 2006, 13(2): 277-285.
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 ilishaeformis* juveniles [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(2): 277-285. (in Chinese)
- [11] Escaffre A M, Infante J L Z, Cahu C L. Nutritional value of soy protein concentrate for larvae of common carp (*Cyprinus carpio*) based on growth performance and digestive enzyme activities [J]. *Aquaculture*, 1997, 153: 63-80.
- [12] Reigh R C, Ellic S C. Effects of dietary soybean and fish meal protein ratios on growth and body composition of red drum (*Sciaenops ocellatus*) fed isonitrogenous diets [J]. *Aquaculture*, 1992, 104: 279-292.

(下转第80页)