

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

王桂芹^{1,2}, 周洪琪¹, 陈建明³, 赵朝阳¹, 周 辉¹, 阎大伟¹, 冷向军¹, 叶金云³,
潘 茜³, 王友慧³

(1. 上海水产大学 生命科学与技术学院, 上海 200090; 2. 吉林农业大学 动物科技学院, 吉林 长春 130118; 3. 浙江省淡水水产研究所, 浙江 湖州 313001)

摘要:选择健康的翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker)为实验鱼,体质量 (12.84 ± 0.60) g。实验分为两部分进行。实验I以褐鱼粉为蛋白源,配制5个蛋白水平(31.04%、35.51%、40.89%、46.62%、50.33%)的等能、等必需氨基酸(EAA)平衡关联度的半精制饲料,探讨翘嘴红鲌对饲料蛋白的需求;经过8周饲养,实验I的结果表明,饲料蛋白含量对翘嘴红鲌的增重率、饲料效率和蛋白效率具有显著影响。方差分析表明,40.89%饲料蛋白组的鱼体增重率显著高于31.04%、35.51%饲料蛋白组($P < 0.05$),但是与46.62%和50.33%饲料蛋白组没有显著性差异($P > 0.05$);31.04%、35.51%和40.89%饲料蛋白组的蛋白效率显著高于46.62%和50.33%饲料蛋白组($P < 0.05$);40.89%、46.62%和50.33%饲料蛋白组的饲料效率显著高于31.04%和35.51%饲料蛋白组($P < 0.05$)。依据折线模型分析翘嘴红鲌的增重率,二次多项式回归分析蛋白质效率,适宜饲料蛋白水平为37.43%~41.15%。实验II以豆粕替代鱼粉,大豆蛋白分别替代0.0%、13.5%、27%、40.5%和54%的鱼粉蛋白,配制5个EAA关联度的等蛋白(40%)、等能($20 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)的半精制饲料,探讨翘嘴红鲌饲料中大豆蛋白对鱼粉蛋白的适宜替代量。结果表明,当大豆蛋白分别替代13.5%、27.0%和40.5%的鱼粉蛋白时,翘嘴红鲌的增重率和蛋白效率与对照组差异不显著($P > 0.05$),而且都显著高于54.0%替代组($P < 0.05$)。因此,本实验条件下,大豆蛋白对鱼粉蛋白的最大替代量为40.5%,饲料动、植物蛋白适宜比为3:2。[中国水产科学,2006,13(2):277~285]

关键词:翘嘴红鲌;饲料蛋白水平;大豆蛋白;增重率;蛋白质效率

中图分类号:S963 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2006)02-0277-09

翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker)俗称乌子、大白鱼等,在分类上隶属鲤形目(Cypriniformes),鲤科(Cyprinidae),鲌亚科(Culterinae),红鲌属。分布极广,是东南亚特有的一个类群,绝大多数属种产于中国,在中国的内陆水域如辽河、长江、珠江流域等地较多。因其生长快、肉质细嫩、肉味鲜美、氨基酸含量高等优点而备受青睐^[1],又因其人工繁殖技术已突破,现已成为极具养殖前景的水产养殖新品种。国内学者对翘嘴红鲌的研究主要在生物学、池塘养殖、鱼病防治、营养与饲料等方面。然而,关于翘嘴红鲌营养需求方面的研究报道很少^[1-4]。其中关于翘嘴红鲌鱼种对于饲料蛋白营养需求的研究结果相差很大,分别为48%~54%^[2]和41%^[4],有必要进一步研究其营养需求。蛋白质

是鱼类生长和维持生命的必需营养物,又是饲料中最昂贵的部分。由于鱼粉资源有限和价格上涨,因此利用植物蛋白源替代鱼粉已成必要。本实验以鱼粉和豆粕为蛋白源,探讨翘嘴红鲌鱼种对饲料蛋白的营养需要量以及饲料中大豆蛋白对鱼粉蛋白的适宜替代量,为研制翘嘴红鲌人工配合饲料提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料

以(水养殖级产品)秘鲁进口褐鱼粉为动物蛋白源,以(“四海”牌机榨豆粕)大豆粉为植物蛋白源,鱼油、大豆油及糊精为能源,纤维素为填充物配制半精制日粮。

收稿日期:2005-04-14; 修订日期:2005-09-26。

基金项目:浙江省重大科技攻关项目(2002C12016);浙江省湖州市科技重点项目(2003GN04)。

作者简介:王桂芹(1970-),女,副教授,博士生,从事鱼类营养和饲料科学的研究。E-mail:wggilau@sobu.com

通讯作者:周洪琪(1942-),从事水产动物营养与饲料的研究。E-mail:hqzhu@shfu.edu.cn

1.1.1 实验 I - 饲料蛋白营养需求 配制 5 种不同蛋白水平 (30%、35%、40%、45%、50%) 的等能、等 EAA 平衡关联度的饲料 (表 1)。采用灰色关联分析法计算 EAA 的平衡关联度^[5] (饲料中 9 种 EAA 的模式与鱼体所需的 9 种 EAA 模式的接近程度), 其中翘嘴红鲌对 9 种 EAA 需要量以实测的翘嘴红鲌肌肉 EAA 组成为依据, 饲料原料的 9 种 EAA 的组成为实测数据。

1.1.2 实验 II - 豆粕替代鱼粉 豆粕替代鱼粉实

验中大豆蛋白分别替代 0.0%、13.5%、27.0%、40.5% 和 54.0% 的鱼粉蛋白, 配成 5 种等氮 (粗蛋白为 40%)、等能 (总能为 $20 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)、不同 EAA 平衡关联度的实验饲料 (表 2)。表 3 为实验饲料 EAA 组成。

1.1.3 实验饲料制造 饲料原料经粉碎过 60 目筛, 按配方称重、均匀混合, 挤压成直径为 1.5 mm 颗粒, 晒干后置于 $-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰柜中保存、备用。

表 1 饲料蛋白营养需求实验的饲料配方及主要营养成分

Tab.1 Formulations and proximate chemical compositions of the diets in the experiment of dietary protein requirement

组成 Composition	蛋白质水平/% Dietary protein level				
	30	35	40	45	50
配方成分/% Ingredients(DW)					
鱼粉 Fish meal	38.81	45.28	51.75	58.22	64.69
鱼油 Fish oil	2.29	1.98	1.67	1.36	1.05
玉米油 Corn oil	2.29	1.98	1.67	1.36	1.05
氯化胆碱 Choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
糊精 Dextrin	47.83	41.6	35.37	29.14	22.91
维生素预混料 ^① Vitamin premix	1	1	1	1	1
无机盐预混料 ^② Mineral premix	2	2	2	2	2
磷酸二氢钙 Calcium hydrogen phosphate	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
微晶纤维素 Cellulose microcrystalline	2.77	3.15	3.53	3.91	4.19
黏合剂 Binder	2	2	2	2	2
营养组成/% Proximate composition(DW)					
粗脂肪 Crude lipid	7.96	7.86	8.19	8.08	7.97
灰分 Crude ash	7.96	8.81	9.52	10.40	12.00
蛋白质 Crude protein	31.04	35.51	40.89	46.62	50.33
计算总能 Calculated gross energy ($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)	19.59	19.71	20.01	20.20	20.13
蛋白质/能量比 Protein/energy ratio ($\text{g} \cdot \text{MJ}^{-1}$)	15.84	18.02	20.44	23.08	25.00
EAA 平衡关联度 Relativity of EAA balance	0.734 8	0.734 8	0.734 8	0.734 8	0.734 8

注: ①维生素预混料 (mg/kg 饲料): 盐酸硫胺素, 60; 核黄素, 200; 叶酸, 15; 盐酸吡哆醇, 40; 尼克酸, 800; 泛酸钙, 280; 肌醇, 400; 生物素, 6; Vit E, 400; Vit B₁₂, 0.1; Vit A, 1.2; Vit D₃, 0.05; Vit C, 200.

②无机盐预混料 (g 或 mg/kg 饲料): $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1.6 g; Ferric citrate, 0.8 g; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.4 g; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 6 mg; $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 3 mg; KI, 3 mg; $\text{Na}_2\text{Se}_2\text{O}_3$, 0.2 mg; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 4 mg; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 2 mg; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 7.4 g; KCl, 2.6 g.

③根据蛋白质、脂肪、碳水化合物的能量 ($23.6 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, $39.5 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, $17.2 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) 计算饲料的能量^[6].

Notes: ① Vitamin premix (mg/kg diet): Vitamin premix (mg/kg diet) thiamin HCl, 60; riboflavin 200; folic acid 15; pyridoxine HCl 40; nicotinic acid 800; calcium pantothenate 280; inositol 400; biotin 6; vitamin E 400; cynocobalamin 0.1; retinal acetate 1.2; cholecalciferol 0.05; ascorbic acid, 200.

② Mineral premix (mg/kg diet): $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1.6 g; Ferric citrate, 0.8 g; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.4 g; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 6 mg; $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 3 mg; KI, 3 mg; $\text{Na}_2\text{Se}_2\text{O}_3$, 0.2 mg; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 4 mg; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 2 mg; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 7.4 g; KCl, 2.6 g.

③ Dietary energy was calculated based on the energy of protein, lipid and carbohydrate ($23.6 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, $39.5 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, $17.2 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)^[6].

表 2 豆粕替代鱼粉实验的饲料配方及营养成分

Tab.2 Formulations and proximate compositions of diets in the experiment of replacement of fish meal by soybean cake

组成 Composition	大豆蛋白对鱼粉蛋白的替代量/% Replacement of fish meal protein by soybean protein				
	0.0	13.5	27.0	40.5	54.0
配方成分/% Ingredients (DW)					
鱼粉 Fish meal	51.75	44.77	37.78	30.79	23.81
豆粕 Soybean cake	0.00	11.30	22.6	33.90	45.20
鱼油 Fish oil	1.67	1.79	1.90	2.01	2.13
玉米油 Corn oil	1.67	1.79	1.90	2.01	2.13
氯化胆碱 Choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
维生素预混料 Vitamin premix	1	1	1	1	1
无机盐预混料 Mineral premix	2	2	2	2	2
磷酸二氢钙 Calcium hydrogen phosphate	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
糊精 Dextrin	35.37	29.46	24.76	20.06	15.36
纤维素 Cellulose microcrystalline	3.53	4.90	5.06	5.21	5.38
黏合剂 Binder	2	2	2	2	2
营养成分/% Proximate composition(DW)					
粗蛋白 Crude protein	40.89	40.79	40.43	41.20	41.82
粗脂肪 Crude lipid	8.19	8.08	7.76	7.80	7.84
灰分 Crude ash	9.52	9.31	8.59	7.87	7.02
计算总能 Calculated gross energy ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$)	20.01	20.02	20.04	20.22	20.42
蛋白质/能量比 Protein/energy ratio($\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$)	20.44	20.38	20.17	20.37	20.48
EAA 平衡关联度 Relativity of EAA Balance	0.753 5	0.761 0	0.722 4	0.690 7	0.677 1

注:维生素预混料、无机盐预混料及饲料能量计算同表 1。

Note: The vitamin premix, mineral premix and calculation of dietary energy were the same as those in table 1.

表 3 豆粕替代鱼粉的实验饲料 EAA 组成(蛋白)

Tab.3 Essential amino acid compositions of diets in the replacement experiment of fish meal by soybean cake

氨基酸 Amino acid	大豆蛋白对鱼粉蛋白的替代量/% Replacement of fish meal by soybean protein					参考值 Reference value
	0.0	13.5	27.0	40.5	54.0	
蛋氨酸 Met	2.52	2.75	2.3	2.06	1.41	2.8
赖氨酸 Lys	6.26	6.45	6.2	5.87	4.21	8.12
精氨酸 Arg	6.46	6.42	6.6	6.48	4.71	6.46
组氨酸 His	2.2	2.21	2.3	2.21	1.6	2.53
苯丙氨酸 Phe	3.91	3.87	4	4.03	2.94	4.12
亮氨酸 Leu	7.95	8.04	7.9	7.74	5.57	9.01
异亮氨酸 Ile	4.16	4.19	4.2	4.1	2.97	4.44
缬氨酸 Val	4.06	4.12	4.1	3.96	2.85	4.21
苏氨酸 Thr	4.3	4.41	4.3	4.1	2.94	4.73

注:①色氨酸因酸水解未检测到。

②参考值为翘嘴红鲌肌肉的必需氨基酸组成。

Note: ① No tryptophan was detected because of acid hydrolysis.

② The reference value was the EAA composition of the white muscle of *Erythroculter ilishaeformis*.

1.2 实验鱼与饲养管理

翘嘴红鲌来自浙江淡水水产研究所,为同一批人工孵化的2龄鱼种。实验前挑选健壮、规格均匀的翘嘴红鲌幼鱼700尾,暂养于室内水泥池中,投喂饲料蛋白含量为40%的实验饲料,饱食投喂,驯化15 d。饲养实验从2004年7月1日至2004年8月27日,为期8周。实验开始之前,停止投喂1 d,然后称量鱼体质量(精确至0.01 g)和测量鱼体长,随机放养在室内水泥池中(1.6 m×2.8 m×1.4 m),每饲料组处理设置3个重复,每个重复20尾鱼,日投喂率为鱼体质量的2.5%~4.0%,视水温、摄食情况作适当调整。每天投喂两次(9:00, 17:00),投喂后2 h收集残饵。每天24 h充气。实验期间水温为23~30 ℃, pH (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

实验结束前停食24 h后称鱼体质量(精确到0.01 g)、量鱼体长,计算增重率(WG)、肥满度(CF)、蛋白质效率(PER)、肝体比(HI)、脏体比(VI)。每组取鱼10尾,吸干鱼体表的水分后,取侧线以上、背鳍以下的白肌,测定其营养成分。常压干燥法测定水分,凯氏定氮法测定粗蛋白质,索氏抽提法测定粗脂肪,干灰化法测定粗灰分。

1.4 统计分析

采用SPSS(10.0)软件进行单因素方差分析,用Duncan's进行多重比较,分别用折线模型及二次多

项式回归来拟合WG、PER与饲料蛋白水平之间的关系^[7-8]。

2 结果

2.1 饲料蛋白水平对翘嘴红鲌生长、饲料利用的影响

经过8周饲养,各组实验鱼成活率均为100%。但饲料蛋白水平对翘嘴红鲌的WG具有显著的影响($P<0.05$),WG随着饲料蛋白水平的提高呈先升高后稳定的趋势(表4),当饲料蛋白质水平从31.04%升到40.89%时,WG随之升高;然而40.89%、46.62%和50.33%饲料蛋白组的WG差异不显著($P>0.05$)。以折线模型分析,翘嘴红鲌获得最大WG的饲料蛋白水平为41.15%(图1)。当饲料蛋白水平由31.04%升高到50.33%时,31.04%、35.51%和40.89%饲料蛋白组的PER显著高于46.62%和50.33%饲料蛋白组($P<0.05$)。根据二次多项式回归分析,饲料蛋白水平为37.43%时的蛋白效率最高(图2)。饲料效率也受到饲料蛋白水平的显著影响,40.89%饲料蛋白组饲料效率显著高于31.04%和35.51%的饲料蛋白组($P<0.05$),但与46.62%和50.33%饲料蛋白组没有显著性差异($P>0.05$)。各饲料组的肝体比为0.60~0.62、脏体比为5.97~6.83、肥满度为0.94~0.97,饲料组之间没有显著性的差异($P>0.05$)。

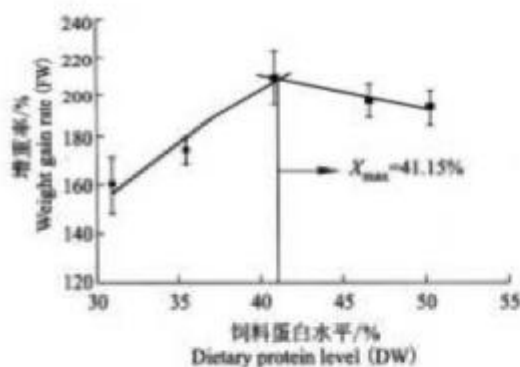


图1 翘嘴红鲌饲料蛋白质水平(X)与增重率(Y)的关系($n=3$)

Fig.1 Relationship between dietary protein levels (X) and weight gain (Y) of *Erythroculter ilishaeformis* ($n=3$)

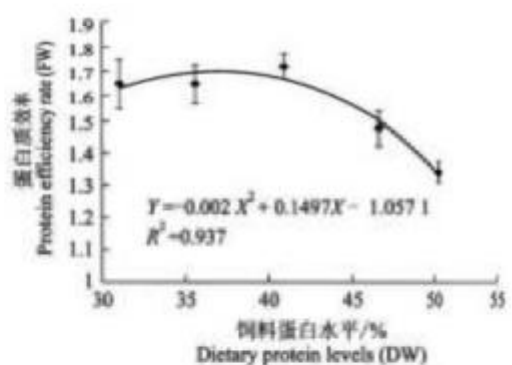


图2 翘嘴红鲌饲料蛋白质水平(X)与蛋白质效率(Y)的关系($n=3$)

Fig.2 Relationship between dietary protein levels (X) and protein efficiency rate (Y) of *Erythroculter ilishaeformis* ($n=3$)

表4 饲料蛋白水平对翘嘴红鲌生长、饲料利用的影响

Tab.4 Effects of dietary protein levels on growth and feed utilization of *Erythroculter ilishaeformis* $\bar{X} \pm SD; n=3; FW$

项目 Item	饲料蛋白水平/% Dietary protein level				
	31.04	35.51	40.89	46.62	50.33
初始体质量/g Initial body weight	12.97±0.55	12.96±0.65	12.66±0.48	13.07±0.57	12.79±0.47
末体质量/g Final body weight	33.70±1.34	35.60±2.13	39.15±0.86	38.84±1.34	37.56±0.60
增重率/% Weight gain rate	160.06±11.98 ^b	174.45±5.52 ^b	209.47±14.66 ^a	197.22±8.52 ^a	193.86±8.78 ^a
蛋白质效率/% Protein efficiency rate	1.65±0.10 ^a	1.65±0.08 ^a	1.72±0.03 ^a	1.48±0.058 ^b	1.34±0.027 ^c
饲料效率/% Feed efficiency	51.27±3.13 ^a	58.45±2.85 ^b	70.30±1.40 ^a	69.21±2.64 ^a	67.40±1.35 ^a
肥满度 Condition factor	0.97±0.05	0.96±0.03	0.95±0.04	0.94±0.06	0.95±0.05
脏体比/% Viscerosomatic index	6.83±0.84	6.15±0.80	6.04±0.76	6.01±0.95	5.97±0.83
肝体比/% Hepatosomatic index	0.62±0.09	0.62±0.09	0.61±0.09	0.60±0.08	0.60±0.1

注:表中同行不同字母表示差异显著($P<0.05$).Note: Means in a row with a different superscript letter indicate difference at $P<0.05$.

2.2 饲料蛋白水平对翘嘴红鲌白肌成分的影响

饲料蛋白水平对翘嘴红鲌白肌水分含量影响不显著($P>0.05$)(表5),但是对白肌蛋白含量具有显著影响($P<0.05$),白肌蛋白含量随着饲料蛋白水平的提高而增加,当饲料蛋白大于35.51%时,白肌

的蛋白含量差异不显著($P>0.05$)。肌肉中脂肪的含量随着饲料蛋白水平的提高而显著减少($P<0.05$)。白肌灰分含量随饲料蛋白水平的提高呈递增趋势,50.33%饲料蛋白组的白肌灰分含量达到了最大值1.38%。

表5 饲料蛋白水平对翘嘴红鲌白肌成分的影响

Tab.5 Effects of dietary protein levels on nutrient ingredients in white

muscle of *Erythroculter ilishaeformis* $\bar{X} \pm SD; n=10$

饲料蛋白水平/% (DW) Dietary protein level	水分/% (FW) Moisture	蛋白质/% (FW) Protein (wet weight)	脂肪/% (FW) Lipid (wet weight)	灰分/% (FW) Ash (wet weight)
31.04	78.05±0.35	17.32±0.69 ^b	1.31±0.04 ^{ab}	1.26±0.01 ^b
35.51	78.2±0.48	18.31±0.45 ^a	1.40±0.05 ^a	1.28±0.04 ^b
40.89	78.12±0.44	18.34±0.16 ^a	1.24±0.04 ^b	1.31±0.01 ^{ab}
46.62	78.54±0.09	18.18±0.29 ^{ab}	1.12±0.06 ^c	1.35±0.02 ^{ab}
50.33	78.01±0.11	18.00±0.63 ^{ab}	0.98±0.08 ^d	1.38±0.10 ^a

注:表中同行不同字母表示差异显著($P<0.05$).Note: Means in a row with a different superscript letter indicate difference at $P<0.05$.

2.3 饲料中豆粕替代鱼粉对翘嘴红鲌生长和饲料利用的影响

用豆粕替代部分鱼粉饲养鱼8周,当饲料中大豆蛋白分别替代13.5%、27%和40.5%鱼粉蛋白

时,翘嘴红鲌的WG、PER与对照组差异不显著(表6)($P>0.05$)。然而饲料中大豆蛋白对鱼粉蛋白替代量为54.0%时,翘嘴红鲌的WG和PER均显著低于对照组($P<0.05$)。豆粕替代对饲料效率也具

有相似的影响($P < 0.05$),大豆蛋白对鱼粉蛋白替代量为54.0%时,其饲料效率显著低于对照组($P < 0.05$)。

各饲料组翘嘴红鲮的肝体比为0.60~0.62、脏

体比为6.04~6.63、肥满度为0.92~0.95,豆粕替代鱼粉对翘嘴红鲮的肝体比、脏体比和肥满度没有显著性影响($P > 0.05$)。

表6 饲料中豆粕替代鱼粉对翘嘴红鲮生长和饲料利用的影响

Tab.6 Effects of replacement of fish meal by soybean cake on growth, feed utilization of *Erythroculter ilishaeformis*

$\bar{X} \pm SD; n=3$

项目 Item	大豆蛋白对鱼粉蛋白的替代量/% Replacement level of fish meal protein by soybean protein				
	0.0	13.5	27.0	40.5	54.0
初始体质量/g (FW) Initial body weight	12.66 ± 0.48	12.86 ± 0.77	12.87 ± 1.03	13.08 ± 0.80	12.79 ± 0.80
末体质量/g (FW) Final body weight	39.15 ± 0.86	40.70 ± 2.93	39.56 ± 1.97	38.17 ± 1.45	34.91 ± 1.52
增重率/% Weight gain rate	209.47 ± 14.66 ^{ab}	216.49 ± 8.68 ^a	209.18 ± 11.93 ^{ab}	192.21 ± 9.03 ^{bc}	175.88 ± 7.17 ^c
摄食率/g·kg ⁻¹ ·d ⁻¹ Ration level	1.49 ± 0.08	1.42 ± 0.14	1.45 ± 0.08	1.48 ± 0.06	1.58 ± 0.09
蛋白质效率/% Protein efficiency rate	1.72 ± 0.03 ^{ab}	1.83 ± 1.45 ^a	1.78 ± 0.08 ^{ab}	1.63 ± 0.05 ^b	1.43 ± 0.04 ^c
饲料效率/% Feed efficiency	70.30 ± 1.40 ^{ab}	74.77 ± 6.02 ^a	71.85 ± 3.0 ^{ab}	67.24 ± 2.16 ^b	59.82 ± 1.71 ^c
存活率/%/Survival rate	100.00 ± 0.0	98.30 ± 2.89	98.30 ± 2.89	98.30 ± 2.89	100.00 ± 0.0
肥满度 Condition factor	0.95 ± 0.04	0.94 ± 0.04	0.93 ± 0.06	0.94 ± 0.07	0.92 ± 0.03
脏体比/% Viscerosomatic index	6.04 ± 0.76	6.38 ± 0.86	6.43 ± 0.85	6.61 ± 0.80	6.63 ± 0.94
肝体比/% Hepatosomatic index	0.61 ± 0.09	0.60 ± 0.08	0.61 ± 0.08	0.62 ± 0.06	0.61 ± 0.08

注:表中同行不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Means in a row with a different superscript letter indicating difference at $P < 0.05$.

2.4 饲料中豆粕替代鱼粉对翘嘴红鲮白肌营养成分的影响

豆粕替代鱼粉饲养鱼8周,对翘嘴红鲮白肌的灰分和水分没有显著影响($P > 0.05$) (表7)。但是对白肌的蛋白质和脂肪的含量有显著影响($P < 0.05$)。当大豆蛋白替代鱼粉蛋白达到54.0%时,显著降低白肌的蛋白质含量($P < 0.05$),各替代组的白肌脂肪含量都显著低于对照组($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 翘嘴红鲮饲料的适宜蛋白质水平

鱼类对蛋白质需要量是指满足鱼体最大生长或鱼体蛋白质最大积蓄量所必需的最低蛋白质摄入

量。确定鱼类对某营养物质的需求量时,会因评定指标和统计方法的不同而产生差异^[7]。一般选用养殖效果为评定指标,养殖效果主要包括鱼的生长速率及其对饲料的利用率(如蛋白质效率等)^[10,19]。本实验分别采用增重率和蛋白质效率为指标,翘嘴红鲮饲料的适宜蛋白水平为37.43%~41.15%,接近于翘嘴红鲮幼鱼(体质量2.67~3.02 g)需求41%的饲料蛋白^[4],低于翘嘴红鲮稚鱼[体质量(0.45 ± 0.10) g]需求42.5%的饲料蛋白^[3],因本实验鱼较大,随着鱼的生长,其对饲料蛋白需求会有所降低,但是与赵吉伟等^[2]报道的差异较大,除了受鱼大小影响之外,可能是饲料组成、饲养时间、水温、饲养环境及投饲率的不同所致。另外,也低于一般

表7 饲料中豆粕替代鱼粉对翘嘴红鲌白肌成分的影响

Tab.7 Effects of replacement levels of fish meal by soybean cake on nutrient ingredients in the white muscle of *Erythroculter ilishaeformis*

大豆蛋白对鱼粉蛋白的替代量/% Replacement level of fish meal protein by soybean protein	水分/% Moisture	粗蛋白/% Protein	粗脂肪/% Lipid	粗灰分/% Ash
0	78.12±0.44	18.34±0.16 ^a	1.24±0.04 ^a	1.31±0.01
13.5	78.27±0.49	18.03±0.92 ^{ab}	1.1±0.01 ^b	1.32±0.03
27	78.59±0.51	17.69±1.02 ^{ab}	0.96±0.01 ^c	1.27±0.01
40.5	78.72±0.15	17.08±1.04 ^{ab}	0.98±0.03 ^c	1.22±0.09
54	78.42±0.39	16.58±0.61 ^b	0.94±0.02 ^c	1.33±0.09

注:表中同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。Note: Data in a row with a different superscript letter indicating difference at $P<0.05$.

肉食性鱼类对饲料蛋白质的需求量^[10-12],如青鱼夏花为41%^[11]、南方大口鲈(体质量43.73 g)为43%^[12]等。本实验饲料蛋白质过量,虽然翘嘴红鲌的增重不变,但蛋白效率和饲料效率显著降低,这与南方大口鲈的结果相似^[12],这是由于饲料中蛋白质过量、非蛋白源能量相对不足,使部分蛋白被氧化供能,从而导致蛋白质效率下降。甚至有些鱼类如青鱼^[11]、罗非鱼^[13]、金头鲷^[14]和鳊^[15]的生长还会迟缓,这也是由于饲料蛋白不仅影响蛋白质效率,而且还使蛋白质沉积率下降。

饲料蛋白在一定范围内,鱼体蛋白含量随饲料蛋白水平的升高而升高;但是,饲料蛋白过高而饲料能量相对不足时,多余的蛋白质将通过脱氨基作用氧化供能,从而使鱼体蛋白含量相对降低^[16],与本实验结果一致,过高饲料蛋白水平将导致蛋白质效率和蛋白质沉积率的下降。本实验饲料蛋白水平显著影响鱼体脂肪的含量,喂饲料蛋白低的白肌脂肪含量显著高于高饲料蛋白组,这与河鲈的研究结果一致^[17]。低蛋白饲料组因蛋能比过低,高能饲料的摄入会提高鱼类肝脏脂肪合成酶的活性,使未用于能源的糖在肝细胞转变为脂肪,并通过血液循环,转运到肝外贮存,从而促进了脂肪的沉积。

3.2 翘嘴红鲌饲料中大豆蛋白对鱼粉蛋白适宜替代量

本实验饲料中豆粕适量替代鱼粉对翘嘴红鲌的生长及饲料利用没有负面影响,但过量替代将抑制翘嘴红鲌的生长及其对饲料的利用。限制鱼类利用大豆蛋白因素之一是其适口性差,使鱼的摄食率降低^[18],但本实验各组的摄食没有显著差异,可能是

本实验设计的替代量较低,也可能与鲤鱼相似,对豆粉中的食欲抑制因子反应不敏感^[19]。艾庆辉等^[20]对南方大口鲈的研究也有相似的报道。其次,大豆蛋白的氨基酸不平衡,虽然翘嘴红鲌对必需氨基酸的需求量尚未确定,然而参考翘嘴红鲌白肌的氨基酸组成,随着饲料中大豆蛋白对鱼粉蛋白替代量的提高,蛋氨酸和赖氨酸含量的不足尤为突出,导致饲料必需氨基酸的不平衡,从而使高豆粕饲料的利用率差(表3),所以,只有适量替代才能使饲料氨基酸的配比符合鱼的需求,适合鱼的生长。如果大豆粉的饲料中添加蛋氨酸或赖氨酸就能提高对饲料的利用率,改善鱼的生长,如草鱼^[9]、大马哈鱼^[21]、鲤鱼^[19]、虹鳟^[22]等。此外,豆粕中的抗营养因子如抗胰蛋白酶能影响大西洋鲑鱼对蛋白质和脂肪的消化^[23]。豆粕还含有大约10%低聚糖和20%非淀粉多糖,影响大西洋鲑鱼对营养物质的消化,延长胃肠的排空时间,从而影响鱼的生长^[24-25]。因此,本实验条件下,大豆蛋白对鱼粉蛋白的最大替代量为40.5%。

饲料中豆粕的适宜替代量因鱼的种类、食性、大小、大豆蛋白品质和养殖系统而异。杂食性的鲤鱼以去脂大豆蛋白为蛋白源、添加限制性氨基酸时,可以完全替代鱼粉^[26],鲈鱼以70%大豆粉替代鱼粉效果较好^[27],牙鲆可以利用去脂大豆蛋白替代45%的鱼粉蛋白^[28]。但海水肉食性黄尾鲷^[29]、虹鳟^[30]和石斑鱼^[31]饲料中大豆蛋白分别超过总蛋白的20%、25%和14%就会降低生长和饲料利用。本实验结果与南方大口鲈^[20]、军曹鱼^[32]相似。本实验条件下,饲料中动植物蛋白比为3:2。

本实验大豆蛋白替代54%的鱼粉蛋白时,翘嘴红鲌肌肉蛋白含量显著低于其他各替代组和对照组,因大豆蛋白的过量替代,使得饲料必需氨基酸比例失衡,从而影响鱼对饲料蛋白的利用、体蛋白的合成和蛋白质的沉积。这与对山川棘花鲈^[17]、黄尾鲮^[29]等的研究结果一致。另外,豆粕含有植酸,也会影响氨基酸等营养物质的消化、吸收和利用^[17,24]。随着饲料大豆蛋白替代量的增加,鱼肌肉脂肪含量降低,这与高大豆蛋白能降低脂肪的消化有关^[27-29],也与饲料的可消化能有关。虽然豆粕替代鱼粉的实验设计是等能、等蛋白的饲料组,但除了蛋白质、脂肪之外,含碳能源物质不同,高鱼粉组的含碳能源物质主要是糊精,而高豆粕组的含碳能源有糊精和豆粕中的非淀粉多糖,鉴于高豆粕组能有效利用的糊精水平较低,非淀粉多糖又不能被鱼所利用,因此,随着豆粕替代量的增加,饲料的可消化能会减少,脂肪沉积与饲料可利用能量有关,可消化能的不足会导致翘嘴红鲌肌肉脂肪沉积减少。

参考文献:

- [1] 尹洪滨,孙中武. 兴凯湖翘嘴红鲌肌肉营养成分分析[J]. 中国水产科学, 2003, 10(2): 82-84.
- [2] 赵吉伟,叶继丹. 饲料蛋白质含量对翘嘴红鲌生长的初步研究[J]. 水产学杂志, 2001, 14(2): 22-25.
- [3] 王桂芹,周洪琪,董水利,等. 翘嘴红鲌幼鱼最适蛋白需求量的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2004, 26(5): 22-28.
- [4] 陈建明,叶金云,王友慧,等. 翘嘴红鲌幼鱼对蛋白质的需要量[J]. 水产学报, 2005, 29(1): 83-86.
- [5] 江龙建,姜助平,周光宏. 应用灰色关联分析评价饲料蛋白质氨基酸平衡性[J]. 四川动物和兽医科学, 2001, 28(2): 120-124.
- [6] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996, 80-105.
- [7] Zeigoun I H, Ullrey D E, Magee D E, et al. Quantifying nutrient requirements of fish[J]. J Fish Res Board Can, 1976, 33: 169-172.
- [8] 林 鼎,毛永庆. 鲢鱼鱼种生长阶段蛋白质最适需要量的研究[J]. 水生生物学集刊, 1980, 7(2): 207-212.
- [9] 叶元士,林仕梅,罗 莉. 饲料必需氨基酸的平衡效果对草鱼生长的影响[J]. 饲料工业, 1999, 20(3): 39-42.
- [10] 钱雪桥,崔奕波. 养殖鱼类饲料蛋白质需要量的研究进展[J]. 水生生物学报, 2002, 26(4): 411-418.
- [11] 杨国华,李 军,郭履疆,等. 夏花青鱼饲料中最适蛋白质含量[J]. 水产学报, 1981, 5(1): 50-55.
- [12] 张文兵,谢小军,付世杰. 南方大口鲶饲料的最适蛋白质水平[J]. 水生生物学报, 2000, 24(6): 603-60.
- [13] Jauncey K. The effects of varying dietary protein level on growth food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapia [J]. Aquaculture, 1982, 27: 43-45.
- [14] Vergara J M, Fernandez-Palacios H, Robaina L, et al. The effects of varying dietary protein level on the growth, feed efficiency, protein utilization and body composition of gilthead sea bream fry [J]. Fishery Sci, 1996, 62: 620-623.
- [15] Santiago C B, Reyes Q S. Optimum dietary protein level of growth of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fry in static water system [J]. Aquaculture, 1991, 93: 155-165.
- [16] 邵庆均,苏小凤,许祥荣,等. 饲料蛋白水平对宝石鲮生长和体组成影响研究[J]. 水生生物学报, 2004, 28(4): 367-373.
- [17] Ballestrazzi R D, Lanari. The effect of dietary protein level and source on growth, body composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass[J]. Aquaculture, 1994, 127: 197-206.
- [18] Reigh R C, Ellis 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.
- [19] Murni 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.
- [20] 艾庆辉,谢小军. 南方鲈的营养学研究: 饲料中大豆蛋白水平对消化率及摄食率的影响[J]. 水生生物学报, 2002, 26(3): 215-219.
- [21] Bureau D P, Harris A M, Cho C Y. The effects of purified alcohol extracts from soy products on feed and growth of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1998, 161: 27-43.
- [22] Krogdahl A, Lea T B, Olli J J. Soybean proteinase inhibitors affect intestinal trypsin activities and amino acid digestibilities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Comp Biochem Physiol, 1994, 107A: 215-219.
- [23] Olli J J, Hjelmeland K, Krogdahl A. Soybean trypsin inhibitors in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*, L): effects on nutrient digestibilities and trypsin in pepsin in pyloric caeca homogenate and intestinal content [J]. Comp Biochem Physiol, 1994, 109A: 923-928.
- [24] Storebakken T, Shenar K D, Roem A J. Availability of protein, Phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. Aquaculture, 1998, 161: 365-379.
- [25] Refstie S C, Storebakken T, Roem A J. Feed consumption and conversion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with fish meal, extracted soybean meal with reduced content of oligosaccharides, trypsin inhibitors, lectins and soya antigens[J]. Aquaculture, 1998, 162: 301-312.
- [26] Viola S, Mokady U, Rappaport U, et al. Partial and complete replacement of fishmeal by soybean meal in feeds for intensive culture of carp[J]. Aquaculture, 1982, 26: 223-236.

- [27] Webster C D, Yarey D H, Tidewell J H. Effect of partially or totally replacing fish meal with soybean meal on growth of blue catfish (*Ictalurus furcatus*) [J]. *Aquaculture*, 1992, 103: 141 - 152.
- [28] Kikuchi K. Use of defatted soybean meal as a substitute for meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 1999, 179: 3 - 11.
- [29] Shimeno M, Kusun H, Ando H, et al. The growth performance and body composition of young yellowtail fed with diets containing defatted soybean for a long period [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1993, 59: 821 - 822.
- [30] Kaushik S J, Cravedi J P, Lallier J P, et al. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 1995, 133: 257 - 274.
- [31] Lou Zhi, Liu Yong-jian, Mei Kang-sen. Partial replacement of fish meal by soybean protein in diets for grouper *Epinephelus coioides* juveniles [J]. *Fishery China*, 2004, 28(2): 175 - 181.
- [32] Chou R L, Her B Y. Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron cuneatum* [J]. *Aquaculture*, 2004, 229(1-4): 325 - 333.

Nutrition requirement of dietary protein and optimal replacement of fish meal protein by soybean protein in *Erythroculter ilishaeformis* juveniles

WANG Gui-qin^{1,2}, ZHOU Hong-qi¹, CHEN Jian-ming³, ZHAO Chao-yang³, ZHOU Hui¹, YAN Da-wei¹, LENG Xiang-jun¹, YE Jin-yun³, PAN Qian³, WANG You-hui³

(1. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090; 2. China College of Animal Science and Technology, Jilin Agriculture University, Changchun 130118, China; 3. Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China)

Abstract: The initial body weight of *Erythroculter ilishaeformis* was (12.84 ± 0.60) g. In the first trial, in order to investigate the optimum dietary protein requirement of topmouth culter, *Erythroculter ilishaeformis* Bleeker juveniles, five groups of diets with isoenergetic ($20 \text{ MJ} \cdot \text{g}^{-1}$ gross energy) and same relativity of essential amino acid balance containing different protein levels (31.04%, 35.51%, 40.89%, 46.62% and 50.33% DW) were prepared. In the second trial, five groups of diets with isonitrogenous (40% protein) and isoenergetic ($20 \text{ MJ} \cdot \text{g}^{-1}$ gross energy) and different relativity of essential amino acid balance with soybean protein replacing 0.0%, 13.5%, 27.0%, 40.5% and 54% of fish meal protein, were formulated to determine optimal replacement level of soybean protein to fish meal protein. After 8-week feeding, The weight gain, feed efficiency, protein efficiency rate were significantly influenced by dietary protein levels ($P < 0.05$). Weight gain of the fish fed on 40.89% protein diets were significantly higher than those of the fish fed on 31.04% and 35.51% protein diets respectively ($P < 0.01$). But there were not significant difference from those in the fish fed on 46.62% and 50.33% protein diets ($P > 0.05$). Based on broken-line and quadratic regression analysis of weight gain and protein efficiency rate, dietary protein level for juvenile *Erythroculter ilishaeformis* was 37.43% - 41.15%. In the second experiment, when the replacement level for fish meal protein by soybean protein was 13.5%, 27% and 40.5%, there were no significant difference in weight gain and protein efficiency ratio among the diets compared with control groups ($P > 0.05$), and were much higher than weight gain in the fish fed on 54% replacement of soybean protein ($P < 0.05$). It comes to the conclusion that 40.5% of fish meal protein can be replaced by soybean protein in the diet of *Erythroculter ilishaeformis*, and the animal-plant protein ratio was 3:2. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(2): 277 - 285]

Key words: *Erythroculter ilishaeformis* Bleeker; dietary protein level; soybean protein ratio; weight gain; protein efficiency rate

Corresponding author: ZHOU Hong-qi. E-mail: hyzhou@shfu.edu.cn