

# 豆粕替代鱼粉对青鱼幼鱼生长及生理生化指标的影响

毛盼<sup>1</sup>, 胡毅<sup>1,3</sup>, 李金龙<sup>1</sup>, 黄云<sup>1</sup>, 肖调义<sup>1</sup>, 艾庆辉<sup>2</sup>

(1. 湖南农业大学动物科学技术学院, 长沙 410128;

2. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 青岛 266003;

3. 益阳益华水产品有限公司, 湖南益阳 413000)

**摘要:** 以初始体重(5.90 ± 0.01) g的青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)为研究对象,用豆粕替代不同水平鱼粉,配制5种等氮等能的实验饲料,分别为30%鱼粉(对照组)、25%鱼粉、20%鱼粉、15%鱼粉和15%鱼粉+晶体氨基酸,试验持续8周。结果显示:当鱼粉含量为15%时,其增重率、特定生长率、肌肉鲜味氨基酸含量和总氨基酸含量显著低于对照组,而饲料系数则显著高于对照组,添加晶体氨基酸对青鱼生长无显著改善;各处理组间甘油三酯(TG)、总蛋白(TP)、总胆固醇(TC)含量及谷丙转氨酶(ALT)活性无显著差异,但15%鱼粉组和15%鱼粉+晶体氨基酸组的青鱼的血糖含量和谷丙转氨酶活性显著高于对照组。结果表明,青鱼幼鱼实用饲料中鱼粉含量以不低于20%为宜,添加晶体氨基酸对青鱼幼鱼的生长无改善作用。

**关键词:** 青鱼(*Mylopharyngodon piceus*); 豆粕; 鱼粉; 生长; 晶体氨基酸

中图分类号: S963.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-6907-(2013)05-0050-07

## Effects of fish meal replacement by dietary soybean meal levels on growth and biochemical indices in juvenile *Mylopharyngodon piceus*

MAO Pan, HU Yi<sup>1,3</sup>, LI Jin-long<sup>1</sup>, HUANG Yun<sup>1</sup>, XIAO Tiao-yi<sup>1</sup>, Ai Qing-hui<sup>2</sup>

(1. College of Animal Technology, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China;

2. The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

3. Yiyang Yihua Aquatic Products Co. Ltd, Yiyang 413000, Hunan, China)

**Abstract:** An 8-week feeding experiment was conducted to evaluate the effect of dietary soybean meal (SBM) levels on growth and some blood physiological-biochemical indices in juvenile black carp [initial average weight of (5.90 ± 0.01) g.] A typical diet with 30% fish meal (FM) was used as the control. The other experimental diets in which fish meal was replaced by different levels of soybean meal were formulated with 25% FM, 20% FM, 15% FM and 15% FM added with crystalline amino acids (CAA) respectively on an isocaloric basis. The results showed that the weight gain rate and specific growth rate of juvenile black carp were significantly lower than those fed control diet when fish fed the diet with FM level up to 15%, and growth performance of juvenile black carp could not be improved by adding CAA. The delicious amino acid (DAA) and total amino acid (TAA) contents of muscle were significantly reduced in fish fed diet with FM level up to 15% than those fed control diet. No significant differences in serum triglyceride (TG), total cholesterol (TC), total protein (TP) contents and ALT activity were observed among dietary treatments, but GLU content and AST activity in serum were significantly higher in 15% FM diet and 15% FM + CAA diet than those fed control diet. Based on these observations above, the fish meal content for juvenile black carp should not be less than the level of 20%, and supplementations of CAA in low fish meal diet could not improve the growth performance of juvenile black carp.

**Key words:** *Mylopharyngodon piceus*; soybean meal; fish meal; growth; crystalline amino acids

收稿日期: 2013-03-13; 修订日期: 2013-06-05

资助项目: 国家星火计划重大专项(2011GA770007); 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室开放课题(KLM201203); 湖南省科技重大专项(2010FJ1007)

第一作者简介: 毛盼(1989-),女,硕士研究生;专业方向为水产动物营养与饲料。E-mail: 625235924@qq.com

通讯作者: 胡毅。E-mail: huyi740322@163.com

鱼粉(FM)因具有蛋白含量高、氨基酸组成平衡、适口性良好等特点被看作是水产养殖动物的优质蛋白源,近年来,渔业资源日益紧缺,鱼粉价格不断上涨,如何在降低鱼粉用量的情况下不影响鱼类正常的生长效果成为了水产动物营养与饲料学的研究热点<sup>[1]</sup>。与鱼粉相比,豆粕是一种价格低廉、蛋白质含量丰富、来源广泛的植物蛋白源,然而豆粕中存在胰蛋白酶抑制因子和大豆凝集素等抗营养因子,尤其是某些必需氨基酸缺乏或不足,如赖氨酸、蛋氨酸等<sup>[2]</sup>,限制了其在一些淡水鱼类饲料中的用量。已有研究报道在饲料中添加晶体氨基酸可以有效解决豆粕等植物蛋白源氨基酸不平衡的问题,但是饲料中添加晶体氨基酸的作用效果会因为鱼的种类、饲料组成以及投饲频率的不同存在着差异<sup>[3]</sup>。

青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)又名青鲢、乌青、螺蛳青等,是一种肉食性鱼类,具有生长快、性温和、产量高、肉味鲜美等特点,是我国传统淡水养殖的四大家鱼之一。目前,关于青鱼蛋白源替代的研究不多,孙盛明等<sup>[4]</sup>报道,用豆粕和菜粕混合蛋白可替代饲料中25%~50%的鱼粉,而不影响青鱼生长;周俊杰等<sup>[5]</sup>研究表明,饲料中棉粕可替代75%的豆粕而不会影响青鱼生长、饲料

利用和存活率;本课题组也开展过双低菜粕替代豆粕对青鱼幼鱼生长及生理生化指标影响的试验<sup>[6]</sup>,发现青鱼幼鱼饲料中双低菜粕的添加量不宜超过11%,但是其实用饲料中鱼粉的适宜添加量是多少,在低鱼粉饲料中添加晶体氨基酸对青鱼生长是否有效果,目前还未见相关研究报道。本实验以豆粕为鱼粉的替代蛋白源,按不同比例替代鱼粉,并在低鱼粉(15%FM)饲料基础上添加晶体氨基酸,研究其对青鱼幼鱼生长性能、体组成、肌肉氨基酸及血清生化指标的影响,以期为青鱼幼鱼配合饲料的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

以商品饲料配方为基础,配制一种以鱼粉、豆粕为主要蛋白源的实用饲料作为对照组,在此基础上分别用8%、16%、24%的豆粕(CP 44%)等氮替代饲料中5%、10%、15%的鱼粉(CP 64.92%),配制3种等氮等能的试验组饲料,并在第三组饲料的基础上添加晶体氨基酸(赖氨酸、蛋氨酸),制成第四组试验饲料,分别为30%FM(对照组)、25%FM、20%FM、15%FM和15%FM+CAA,配方组成见表1。饲料原料经粉碎过40目

表1 实验饲料组成及成分含量(% ,干重)  
Tab. 1 Ingredients of the experimental diet (% , dry weight)

项目	试验处理组					
	30% FM	25% FM	20% FM	15% FM	15% FM + CAA	
饲料原料	美国蒸汽鱼粉	30	25	20	15	15
	豆粕	8	16	24	32	32
	棉粕	12	12	12	12	12
	菜粕	8	8	8	8	8
	晶体赖氨酸					0.2
	晶体蛋氨酸					0.12
	米糠	5	5	5	5	5
	面粉	11.5	8	4.5	1	0.68
	次粉	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5
	a-淀粉	5	5	5	5	5
	豆油	2	2	2	2	2
	鱼油	0	0.5	1	1.5	1.5
	胆碱	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	磷酸二氢钙	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	预混料	1	1	1	1	1
营养组成 (% , DW)	粗蛋白	35.14	35.47	35.81	36.14	36.36
	粗脂肪	4.75	4.89	5.03	5.17	5.20
	粗灰分	9.65	9.58	9.47	9.53	9.55

注: 青岛玛斯特生物技术有限公司提供。

筛,微量成分采取逐级扩大法混合均匀,采用双螺旋压条机挤压出1.5 mm粒径饲料颗粒,于阴凉处

风干后置于-20℃冰柜中保存备用。饲料氨基酸组成见表2。

表2 实验饲料中氨基酸组成(%干重)  
Tab.2 Amino acid composition of the experimental diet(% , dry weight)

氨基酸	试验处理组				
	30% FM	25% FM	20% FM	15% FM	15% FM + CAA
蛋氨酸 Met	0.49	0.44	0.36	0.27	0.42
赖氨酸 Lys	1.84	1.75	1.68	1.63	1.82
苏氨酸 Thr	1.32	1.27	1.22	1.19	1.24
异亮氨酸 Ile	1.03	0.98	0.95	0.95	0.97
组氨酸 His	0.84	0.80	0.77	0.76	0.79
缬氨酸 Val	1.27	1.20	1.11	1.12	1.15
亮氨酸 Leu	2.32	2.22	2.14	2.13	2.23
精氨酸 Arg	1.97	1.92	1.89	1.92	1.98
苯丙氨酸 Phe	1.35	1.33	1.29	1.30	1.36
天冬氨酸 Asp	2.82	2.79	2.79	2.85	3.04
丝氨酸 Ser	1.51	1.48	1.47	1.48	1.56
谷氨酸 Glu	5.85	5.73	5.63	5.65	5.95
脯氨酸 Pro	1.48	1.32	1.31	1.32	1.34
甘氨酸 Gly	1.85	1.72	1.61	1.53	1.59
丙氨酸 Ala	1.79	1.68	1.57	1.49	1.55
酪氨酸 Tyr	1.25	1.27	1.24	1.25	1.27
鲜味氨基酸 DAA	12.31	11.92	11.60	11.52	12.13
必需氨基酸 EAA	12.43	11.91	11.41	11.27	11.96
总氨基酸 TAA	28.98	27.90	27.03	26.84	28.26

注: 各组氨基酸含量为实测值; 色氨酸由于被水解无法测定。

## 1.2 饲养与管理

实验用的青鱼鱼苗从湖南省水产科学研究所购得,通过投喂商品饲料在室外水泥池中培育28 d,然后挑选健壮、规格整齐的健康青鱼于室内水族箱(300 L)中投喂基础饲料驯化1周,待青鱼摄食正常后,开始进行饲养实验,养殖周期为8周。实验青鱼的平均初始体重为(5.90±0.01)g,实验随机分成5组,每组3个重复,每水族箱放养青鱼30尾。水族箱为流水式系统,日投饵量为体质量的3%~5%,每天投喂2次(8:00—9:00,16:00—17:00),每2日换水1次,换水量占总体积的1/3并清除箱内粪便,日充气12 h,保证溶氧5.0 mg/L以上,实验期间水温控制在(28±4)℃,pH为(7.31±0.4)。

## 1.3 样品收集、分析与计算

### 1.3.1 生长指标

实验起始和结束时分别对各水族箱中青鱼进行计数、称重。增重率(WG)、特定生长率(SGR)、饲料系数(FCR)计算方法如下:

$$WG = (\text{试验结束尾均体质量} - \text{试验开始尾均体质量}) \times 100\% / \text{试验开始尾均体质量}$$

$$SGR = 100\% \times (\ln \text{试验结束尾均体质量} - \ln \text{试验开始尾均体质量}) / \text{试验周期}$$

$$FCR = \text{饲料消耗量} / \text{鱼体增加质量}$$

### 1.3.2 形态指标

肥满度(CF)、肝体比(HSI)、脏体比(VR)计算方法如下:

$$CF = \text{试验结束尾体质量}(\text{g}) \times 100\% \times \text{试验结束尾体长}(\text{cm})^{-3}$$

$$HSI = \text{肝胰脏质量} / \text{鱼体质量} \times 100\%$$

$$VR = \text{内脏质量} / \text{鱼体质量} \times 100\%$$

### 1.3.3 体成分和氨基酸

实验结束后,每水族箱随机取6~8尾置于-20℃冰箱冰冻作全鱼样品,鱼体常规成分测定参照文献<sup>[7]</sup>的方法。其中水分的测定采用105℃烘箱干燥恒重法,粗蛋白的测定采用凯氏定氮法,粗脂肪的测定采取索氏抽提法,粗灰分的测定采用550℃灼烧法。饲料和鱼体肌肉的氨基酸采用

Hetach L-8800 氨基酸自动分析仪在湖南农业大学生命科学楼分析测试中心测定。

1.3.4 血清生理生化指标

实验结束后鱼饥饿 24 h, 用 1 mL 无菌注射器自青鱼尾静脉采血, 每水族箱随机取 10 尾青鱼血液合并置于无菌离心管中 4 °C 静置过夜后, 以 3 500 r/min 离心 15 min, 取上层血清置于 -80 °C 超低温冰箱保存备用, 分别测定血糖( GLU)、甘油三酯( TG)、血清总蛋白( TP)、总胆固醇( TC)、谷草转氨酶( AST)、谷丙转氨酶( ALT)。

所用试剂盒均购自南京建成生物技术研究所。

1.4 数据统计分析

实验数据用“平均值 ± 标准差”表示, 结果采用 SPSS17.0 软件进行方差分析, 当差异显著时

( $P < 0.05$ ), 则采用 Duncan's 法进行多重比较。

2 结果

2.1 青鱼生长性能

由表 3 可见, 饲料中添加不同水平的豆粕对青鱼的成活率、内脏指数和肥满度没有显著影响, 但是显著影响了青鱼的生长和饲料系数( $P < 0.05$ ), 随着饲料中鱼粉含量的降低, 青鱼的终末体重、增重率和特定生长率有下降的趋势, 当鱼粉含量为 15% 时, 其生长性能显著低于对照组, 而饲料系数则显著高于对照组。与 15% FM 试验组相比, 添加晶体氨基酸的 15% FM + CAA 试验组青鱼生长性能并无改善( $P > 0.05$ )。

表 3 不同水平豆粕对青鱼生长性能的影响(平均值 ± 标准差,  $n = 3$ )

Tab. 3 Effects of different soybean meal levels on growth of the juvenile black carp (mean ± SD,  $n = 3$ )

实验饲料	30% FM	25% FM	20% FM	15% FM	15% FM + CAA
初始体重/g	5.91 ± 0.03	5.89 ± 0.01	5.91 ± 0.03	5.89 ± 0.03	5.94 ± 0.02
终末体重/g	19.32 ± 0.25 <sup>b</sup>	18.93 ± 0.57 <sup>b</sup>	18.89 ± 0.36 <sup>b</sup>	17.01 ± 0.10 <sup>a</sup>	17.51 ± 0.54 <sup>a</sup>
增重率/%	227.48 ± 6.77 <sup>b</sup>	221.26 ± 9.08 <sup>b</sup>	219.33 ± 8.55 <sup>b</sup>	187.85 ± 0.07 <sup>a</sup>	194.88 ± 9.97 <sup>a</sup>
特定生长率/(%/d)	0.89 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.87 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.86 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.73 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.76 ± 0.04 <sup>a</sup>
饲料系数	1.61 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.54 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.60 ± 0.09 <sup>a</sup>	2.01 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.90 ± 0.13 <sup>b</sup>
成活率/%	97.78 ± 3.85	100.00 ± 0.00	95.56 ± 7.70	97.78 ± 1.92	100.00 ± 0.00
脏体比/%	7.24 ± 0.40	7.27 ± 0.06	7.29 ± 0.28	7.11 ± 0.44	7.40 ± 0.11
肝体比/%	2.10 ± 0.05	2.09 ± 0.17	1.98 ± 0.05	1.91 ± 0.07	1.90 ± 0.01
肥满度/%	1.80 ± 0.06	1.80 ± 0.05	1.78 ± 0.07	1.78 ± 0.07	1.78 ± 0.06

注: 同列右上角不同上标字母代表有显著差异 ( $P < 0.05$ ); 表 5, 表 6 同。

2.2 青鱼体成分

由表 4 可知, 豆粕不同比例替代鱼粉对青鱼全

鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量均无显著影响。

表 4 不同水平豆粕对青鱼体组成的影响(湿重)(平均值 ± 标准差,  $n = 3$ )

Tab. 4 Effects of different soybean meal levels on body composition of the juvenile black carp (wet weight) (mean ± SD,  $n = 3$ )

实验饲料	水分/%	粗蛋白/%	粗脂肪/%	灰分/%
30% FM	75.38 ± 0.66	15.13 ± 0.22	1.99 ± 0.11	2.78 ± 0.07
25% FM	75.41 ± 1.19	15.09 ± 0.29	1.97 ± 0.22	2.89 ± 0.02
20% FM	75.43 ± 1.92	15.07 ± 0.28	1.93 ± 0.26	2.84 ± 0.00
15% FM	74.66 ± 1.94	15.00 ± 0.38	1.93 ± 0.17	2.81 ± 0.06
15% FM + CAA	74.83 ± 1.34	15.00 ± 0.03	1.88 ± 0.19	2.74 ± 0.00

2.3 青鱼肌肉氨基酸的组成

由表 5 可看出, 各试验组青鱼幼鱼肌肉中 EAA 含量随着豆粕替代比例的增加有下降的趋势, 但差异不显著。其中 15% FM 试验组和 15% FM + CAA 试验组青鱼肌肉 Lys、Leu、DAA 总量及 TAA

含量与其余各组相比均显著降低, 而 DAA 中的 Asp 和 Glu 又以鱼粉含量较低的 15% FM 试验组和添加了晶体氨基酸的 15% FM + CAA 试验组显著降低, 其余氨基酸含量均差异不显著。

表5 不同水平豆粕对青鱼肌肉氨基酸的影响(%, 湿重)(平均值±标准差, n=3)  
 Tab.5 Effects of different soybean meal levels on amino acid composition of juvenile black carp muscle  
 (% , wet weight) ( mean ± SD , n =3)

氨基酸	试验处理组				
	30% FM	25% FM	20% FM	15% FM	15% FM + CAA
Met☆	0.56 ± 0.06	0.58 ± 0.06	0.55 ± 0.02	0.54 ± 0.02	0.53 ± 0.04
Lys☆	1.84 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.84 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.84 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.78 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.76 ± 0.02 <sup>a</sup>
Thr☆	0.91 ± 0.01	0.91 ± 0.01	0.90 ± 0.01	0.89 ± 0.01	0.89 ± 0.02
Ile☆	0.64 ± 0.01	0.64 ± 0.01	0.62 ± 0.02	0.61 ± 0.01	0.65 ± 0.06
His☆	0.74 ± 0.01	0.71 ± 0.03	0.76 ± 0.04	0.73 ± 0.04	0.71 ± 0.01
Val☆	0.71 ± 0.01	0.71 ± 0.01	0.71 ± 0.01	0.69 ± 0.00	0.69 ± 0.00
Leu☆	1.62 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.63 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.62 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.57 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.56 ± 0.00 <sup>a</sup>
Arg☆	1.13 ± 0.01	1.13 ± 0.01	1.13 ± 0.01	1.11 ± 0.01	1.11 ± 0.02
Phe☆	0.77 ± 0.00	0.78 ± 0.02	0.78 ± 0.01	0.75 ± 0.00	0.76 ± 0.01
Asp*	2.17 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.18 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.18 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.13 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.11 ± 0.01 <sup>a</sup>
Ser	0.89 ± 0.02	0.90 ± 0.01	0.88 ± 0.01	0.87 ± 0.01	0.87 ± 0.01
Glu*	3.30 ± 0.04 <sup>b</sup>	3.31 ± 0.01 <sup>b</sup>	3.31 ± 0.01 <sup>b</sup>	3.20 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.18 ± 0.01 <sup>a</sup>
Pro	0.53 ± 0.04	0.54 ± 0.03	0.55 ± 0.00	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01
Gly*	0.99 ± 0.03	1.00 ± 0.05	1.00 ± 0.02	0.95 ± 0.00	0.96 ± 0.01
Ala*	1.22 ± 0.03	1.22 ± 0.00	1.22 ± 0.04	1.21 ± 0.01	1.20 ± 0.01
Tyr	0.89 ± 0.01	0.89 ± 0.01	0.90 ± 0.02	0.89 ± 0.01	0.88 ± 0.00
DAA	7.67 ± 0.03 <sup>b</sup>	7.71 ± 0.05 <sup>b</sup>	7.69 ± 0.03 <sup>b</sup>	7.48 ± 0.04 <sup>a</sup>	7.43 ± 0.03 <sup>a</sup>
EAA	8.91 ± 0.11	8.91 ± 0.16	8.88 ± 0.04	8.64 ± 0.06	8.64 ± 0.11
TAA	18.87 ± 0.04 <sup>b</sup>	18.89 ± 0.01 <sup>b</sup>	18.89 ± 0.01 <sup>b</sup>	18.42 ± 0.00 <sup>a</sup>	18.38 ± 0.09 <sup>a</sup>

注: 色氨酸由于被水解无法测定, “\*” 示鲜味氨基酸 “☆” 示必需氨基酸。

## 2.4 青鱼血液生理生化指标

由表6可见, 随着饲料中鱼粉含量的降低, 血清中GLU含量和AST活性均呈现升高的趋势, 其中15% FM试验组与15% FM + CAA试验组GLU含量与AST活性显著高于对照组。各试验组血清TG

有随着豆粕含量的增加而升高的趋势, TP和TC含量则呈现降低的趋势, 以上3个指标在各组间差异均不显著, ALT活性在各试验组之间差异也不显著。

表6 不同水平豆粕对青鱼部分血液生理生化指标的影响(平均值±标准差, n=3)  
 Tab.6 Effects of different soybean meal levels on some blood physiological-biochemical index of  
 the juvenile black carp ( mean ± SD , n =3)

实验饲料	30% FM	25% FM	20% FM	15% FM	15% FM + CAA
GLU/( mmol/L)	6.67 ± 0.92 <sup>a</sup>	6.95 ± 1.64 <sup>a</sup>	8.47 ± 1.24 <sup>ab</sup>	9.86 ± 0.74 <sup>b</sup>	9.99 ± 1.37 <sup>b</sup>
TG/( mmol/L)	9.27 ± 1.06	9.61 ± 0.74	9.74 ± 1.42	10.34 ± 0.68	10.29 ± 1.26
TP/( g/L)	36.84 ± 3.39	34.92 ± 0.27	34.85 ± 1.89	33.57 ± 3.35	33.24 ± 7.20
TC/( mmol/L)	3.81 ± 0.08	3.65 ± 0.27	3.45 ± 0.48	3.37 ± 0.26	3.37 ± 0.37
AST/( U/L)	830.10 ± 41.38 <sup>a</sup>	909.78 ± 27.53 <sup>a</sup>	921.15 ± 21.54 <sup>a</sup>	1067.64 ± 96.72 <sup>b</sup>	1137.15 ± 86.72 <sup>b</sup>
ALT/( U/L)	527.63 ± 68.68	632.43 ± 125.60	612.11 ± 58.19	614.89 ± 82.33	640.39 ± 155.36

## 3 讨论

### 3.1 豆粕替代鱼粉对青鱼生长性能的影响

本研究发现, 豆粕替代不同水平鱼粉对青鱼的生长产生了一定的影响。30% FM对照组与25%

FM试验组青鱼均表现出较好的生长效果, 当饲料中鱼粉含量低于20%时, 可对青鱼生长产生不利影响, 其特定生长率显著低于对照组, 可见配方中鱼粉含量在20%以下时会抑制青鱼的生长, 这与孙盛明等<sup>[4]</sup>的研究结果相似。青鱼特定生长率的降低可能与饲料中豆粕降低了青鱼的适口性以及抗

营养因子存在和氨基酸不平衡有关<sup>[8-10]</sup>,有研究表明,饲料中必需氨基酸平衡程度与鱼体生长性能有正相关关系<sup>[11]</sup>,本试验中,随着豆粕替代鱼粉比例的增加,饲料中蛋氨酸和赖氨酸含量呈下降趋势,因此,高豆粕低鱼粉饲料导致青鱼的生长性能受到影响。

另外不同的鱼种对豆粕等植物蛋白源的耐受程度不同,青鱼属肉食性鱼类,其对鱼粉的依耐性较草食性和杂食性鱼类更强,而且本试验中试验对象为稚鱼,需要更多的能量来满足鱼体生长,当饲料中豆粕替代鱼粉过量时,难以吸收的非淀粉多糖含量增加,可消化能减少,这也是导致增重率下降的原因之一。

有研究发现,在饲料中添加晶体氨基酸可以解决植物蛋白源必需氨基酸缺乏或不足的问题,从而促进鱼类的生长。Cheng等<sup>[12]</sup>在鱼粉含量仅15%的虹鳟饲料中添加0.4%~1.0%的晶体赖氨酸,虹鳟的生长达到了与32.1%高鱼粉对照组基本一致的水平。蒋艾青等<sup>[13]</sup>在含鱼粉(35%)、豆粕(47.5%)的饲料中添加0.2%组氨酸,青鱼增重率提高了11.2%。朱世成等<sup>[14]</sup>、刘长忠等<sup>[15]</sup>也报道了饲料中添加晶体赖氨酸、蛋氨酸可改善鲫的生长性能。但也有研究表明在饲料中补充晶体氨基酸对鱼类生长无改善作用<sup>[2]</sup>。本实验中,在低鱼粉(15% FM)饲料基础上添加晶体氨基酸,鱼体特定增长率与低鱼粉15% FM试验组差异不显著,表明补充晶体氨基酸对青鱼的生长性能无显著改善作用,这与罗运仙等<sup>[16]</sup>在草鱼、冷向军等<sup>[17]</sup>在鲤鱼、涂永锋等<sup>[18]</sup>在鲫中的研究结果相似,分析其原因主要是晶体氨基酸在水中易溶失,且晶体氨基酸与饲料中蛋白态氨基酸的吸收不同步导致青鱼生长效果不佳<sup>[3]</sup>。

### 3.2 豆粕替代鱼粉对青鱼品质的影响

豆粕替代鱼粉对鱼体成分的影响在不同的试验中结果并不一致<sup>[19-20]</sup>。本试验结果显示,随着饲料中鱼粉含量的降低,鱼体水分、粗蛋白质、粗脂肪和灰分含量均不受影响,这与对虹鳟<sup>[21]</sup>和大西洋鲑<sup>[22]</sup>的研究结果一致。随着饲料中豆粕替代鱼粉比例的增加,青鱼的肝体比指数有降低的趋势,但差异不显著,其脏体比指数和肥满度在各试验组与对照组之间也无显著差异,这与侯鑫等<sup>[23]</sup>在杂交罗非鱼、陆阳等<sup>[24]</sup>在虹鳟、刘襄河等<sup>[25]</sup>在牙鲆中的研究结果相似,说明该试验饲料能较好地满足青鱼的正常生长。

一般来说,鱼肉呈现的鲜美滋味取决于肌肉中4种鲜味氨基酸的含量<sup>[26]</sup>,即天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸。本试验中,豆粕替代不同比例鱼粉对青鱼肌肉EAA无显著影响,但15% FM试验组和15% FM + CAA试验组青鱼肌肉DAA和TAA显著低于其余各组,表明饲料中豆粕替代鱼粉比例控制在一定范围内不会对青鱼品质造成不利影响,但替代比例过高时,青鱼肉质的鲜美程度就会受到影响,且低鱼粉饲料中补充晶体氨基酸对青鱼肌肉氨基酸组成影响不显著,这与谭芳芳等<sup>[27]</sup>对草鱼的研究结果相似。

### 3.3 豆粕替代鱼粉对青鱼血液生化指标的影响

鱼类和其他动物一样,主要依靠非特异性的细胞免疫和体液免疫防御外来病原菌入侵<sup>[28]</sup>。鱼类血液的生化指标能够反映动物机体的健康状况和生理状况。在本实验中,饲料中豆粕含量越高,血清中的葡萄糖含量越高,青鱼生长就越差,这与王崇等<sup>[29]</sup>的研究结果相似,尤其是鱼粉含量较低的15% FM试验组和15% FM + CAA试验组青鱼生长状况显著差于其余各组,表明豆粕通过影响鱼体的糖代谢进而影响鱼的生长。TG是反映体内脂肪代谢水平的重要生理指标,其含量升高,表明肝脏中堆积脂肪较多,容易导致脂肪肝、肝肥大等症状。本试验中,TG的含量随饲料鱼粉含量的降低而升高,但是没有引起机体肝功能和脂肪代谢发生障碍,对鱼体的健康状况没有造成影响,这与陆阳等<sup>[24]</sup>研究结果较为相似。胆固醇是皮质类激素和性激素的前体,对机体糖代谢、蛋白质代谢和脂肪代谢有着重要的作用<sup>[30]</sup>。研究表明,植物产物会降低陆生动物体内的胆固醇含量,主要是由植物产物中的类雌激素异黄酮所致<sup>[31]</sup>。在本实验中,青鱼血清总胆固醇含量随着饲料中鱼粉含量的降低而下降,这与虹鳟<sup>[32]</sup>和舌齿鲈<sup>[33]</sup>中的研究结果一致,可能与豆粕可降低鱼体基础代谢有关。

血清总蛋白是血淋巴的主要化学物质之一,其含量变化与机体健康、营养和疾病等状况密切相关<sup>[34]</sup>。在本实验中,随着鱼粉含量的降低,血清总蛋白含量有一定程度的减少,这与陆阳等<sup>[24]</sup>、赵海祥等<sup>[35]</sup>的研究结果相似,分析原因可能与豆粕抗营养因子中的抗胰蛋白酶因子和植酸有关,有研究表明它们会抑制机体蛋白质的转化与沉积。转氨酶是体内氨基酸代谢过程中必不可少的“催化剂”,参与蛋白质代谢。AST主要存在于肝细胞线粒体内,ALT主要存在于肝细胞浆内,血清中AST

和 ALT 可以作为鱼类评价肝脏损伤程度的主要指标。当肝脏发生坏死或破坏时,会有大量的 AST 和 ALT 从细胞内逸出进入血液,使血清中转氨酶的活性升高<sup>[36]</sup>。在本试验中,随着鱼粉含量的降低,谷草转氨酶活性逐渐升高,当鱼粉含量 $\geq 20\%$ 时各组间差异不显著,但鱼粉含量低于 20% 时,谷草转氨酶活性显著高于其余各组,这与向泉等<sup>[37]</sup>、林仕梅等<sup>[38]</sup>的研究结果相似,说明在此鱼粉含量下青鱼肝功能受到一定程度的损伤,且添加晶体氨基酸对机体免疫无改善作用。

#### 4 结论

本试验结果表明,饲料中鱼粉含量低于 20% 时,显著降低了青鱼特定生长率,同时造成机体肝功能受损;在低鱼粉饲料中添加晶体氨基酸对青鱼幼鱼的生长性能、肌肉氨基酸和血液指标无显著改善作用。因此,根据对青鱼生长性能指标、鱼体成分、血液学指标和饲料成本等因素进行综合考虑,青鱼幼鱼饲料中鱼粉含量以不低于 20% 为宜。

#### 参考文献:

[1] 周歧存,麦康森,刘永坚,等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展[J]. 水产学报, 2009, 29(3): 404-410.

[2] 冷向军,李小勤,陈丙爱,等. 鱼类对晶体氨基酸利用的研究进展[J]. 水生生物学报, 2009, 33(1): 119-120.

[3] 邓君明,麦康森. 鱼类对晶体氨基酸利用效率的研究进展[J]. 云南农业大学学报, 2008, 23(4): 552-555.

[4] 孙盛明,叶金云,陈建明,等. 配合饲料中豆粕、菜粕替代鱼粉对青鱼鱼种生长、体组成的影响[J]. 浙江海洋学院学报, 2009, 28(1): 25-29.

[5] 周俊杰,黄超,胡毅,等. 饲料中棉粕对青鱼生长的影响[J]. 当代水产, 2010, (8): 66-67.

[6] 黄云,胡毅,肖调义,等. 双低菜粕替代豆粕对青鱼幼鱼生长及生理生化指标的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(1): 41-48.

[7] Williams S. Official Methods of Analysis [M]. 14th ed, Washington: Association of Official Analytical Chemists, 1984: 152-163.

[8] Robaina L, Moyano F J, Izquierdo M S, et al. Corn gluten and meat and bone meals as protein sources in diets for gillhead sea bream (*Sparus aurata*): nutrition and histological implications [J]. Aquaculture, 1998, 157(3-4): 347-359.

[9] Bureau D P, Harris A M, Cho C Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1999, 180(3-4): 345-358.

[10] Ai Q H, Xie X J. Effects of dietary soybean protein levels on energy budget of the southern catfish (*Silurus meridionalis*) [J]. Comp Biochem Physiol, 2005, 141(4): 461-469.

[11] Wilson R P, Poe W E. Relationship of whole body and egg essential amino acid pattern to amino acid requirement patterns in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Comp Biochem Physiol, 1985, 80(2): 385-388.

[12] Cheng Z J, Hardy R W, Usry J. Effect of lysine supplementation in plant protein-based diets on the performance of rainbow trout and apparent digestibility coefficients of nutrients [J]. Aquaculture, 2003, 215(1-4): 255-265.

[13] 蒋艾青,王晓华. 青鱼饲料中添加组氨酸的试验[J]. 中国水产, 2002, (2): 67-73.

[14] 朱世成,冯现维,段铭,等. 配合饲料中添加赖氨酸饲养鲫鱼的试验[J]. 饲料研究, 1999, (4): 5-6.

[15] 刘长忠,周克勇. 添加晶体氨基酸降低蛋白质水平对鲫鱼生产性能的影响[J]. 饲料工业, 2001, 22(6): 9-11.

[16] 罗运仙,谢骏,吕利群,等. 饲料中补充晶体或微囊赖氨酸对草鱼生长和血浆总游离氨基酸的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(3): 466-470.

[17] 冷向军,罗运仙,李小勤,等. 饲料中添加晶体或微囊氨基酸对鲤鱼生长性能的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(6): 1599-1605.

[18] 涂永锋,叶元士,宋代军,等. 游离异亮氨酸对鲫鱼的促生长作用[J]. 齐鲁渔业, 2004, 21(11): 41-43.

[19] 向泉,陈运生,聂科,等. 饲料中适宜动植物蛋白比对淡水白鲢生长的影响[J]. 饲料工业, 2004, 25(10): 52-54.

[20] 高荣兵,庄平,章龙珍,等. 豆粕替代鱼粉对点篮子鱼生长性能的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1534-1540.

[21] Davies S J, Morris P C. Influence of multiple amino acid supplementation on the performance of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), fed soya based diets [J]. Aquacult Res, 1997, 28(1): 65-74.

[22] Refstie S, Storebakken T, Baeveord 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 level [J]. Aquaculture, 2001, 193(1-2): 91-106.

[23] 侯鑫,梁桂英,阳会军,等. 杂交罗非鱼饲料中豆粕、发酵豆粕和晶体氨基酸替代鱼粉的研究[J]. 南方水产, 2009, 5(2): 28-31.

[24] 陆阳,杨雨虹,王裕玉,等. 不同比例膨化豆粕替代鱼粉对虹鳟生长、体成分及血液学指标的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(1): 221-227.

[25] 刘襄河,叶继丹,王子甲,等. 饲料中豆粕替代鱼粉比例对牙鲆生长性能及生化指标的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(3): 450-455.

[26] 潘英,王如才,罗永巨,等. 海水和淡水养殖南美白对虾肌肉营养成分的分析比较[J]. 饲料研究, 2010, 31(6): 828-834.

[27] 谭芳芳,叶元士,马红,等. 饲料中补充晶体和微囊氨基酸对草鱼氨基酸组成的影响比较[J]. 饲料研究: 自然科学版, 2001, (5): 65-69.

(下转第 67 页)

- acterization in environmental samples [A]. Univ Doz Dr Heribert Insam, May Andrea Rangger. *Microbial Communities: Functional Versus Structural Approaches* [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1997: 259-260.
- [12] Fontenot Q, Bonvillain C, Kilgen M. Effect of temperature, salinity, and carbon: nitrogen ratio on sequencing batch reactor treating shrimp aquaculture wastewater [J]. *Biores Technol*, 2007, 98: 1700-1703.
- [13] Christine A H, Bryan S G. Statistical analysis of the time-course of Biolog substrate utilization [J]. *J Microbiol Meth*, 1997, 30: 63-69.
- [14] Garland J L. Analytical approaches to the characterization of samples of microbial communities using patterns of potential C source utilization [J]. *Soil Biol Biochem*, 1996, 38(2): 213-221.
- [15] Hao L R, Fan Y, Hao Z O. *SPSS Practical Statistics Analysis* [M]. Beijing: China Water Power Press, 2003.
- [16] Anna C, Heilskov A, Marc A, et al. Benthic fauna bio-irrigation effects on nutrient regeneration in fish farm sediments [J]. *J Experim Mar Biol Ecol*, 2006, 339: 204-225.
- [17] 宋富, 陈艳卿, 乔建荣, 等. 常见沉水植物对草海水体(含底泥)总氮去除速率的研究 [J]. *环境科学研究*, 1997, 10(4): 47-50.
- [18] Staddon W J, Duchesne L C, Trevors J T. Microbial diversity and community structure of post disturbance forest soils as determined by sole-carbon-utilization patterns [J]. *Microb Ecol*, 1997, 34: 125-130.
- [19] Garland J L. Patterns of potential C source utilization by rhizosphere communities [J]. *Soil Biol Biochem*, 1996, 28: 223-230.

(责任编辑: 张潇崧)

(上接第56页)

- [28] 艾庆辉, 麦康森. 鱼类营养免疫研究进展 [J]. *水生生物学报*, 2007, 31(3): 425-430.
- [29] 王崇, 雷武, 解经启, 等. 饲料中豆粕替代鱼粉蛋白对异育银鲫生长、代谢及免疫功能的影响 [J]. *水生生物学报*, 2009, 33(4): 740-744.
- [30] 沈同, 王镜岩. *生物化学* [M]. 第二版. 高等教育出版社, 1996: 193-201.
- [31] Setchell K D R, Cassidy A. Dietary isoflavones: biological effects and relevance to human health [J]. *J Nutr*, 1999, 129(3): 758-767.
- [32] Kaushik S J, Cravedi J P, Lalles J P, et al. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1995, 133(3-4): 257-274.
- [33] Kaushik S J, Coves D, Dutto G, et al. Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European sea bass, *Dicentrarchus labrax* [J]. *Aquaculture*, 2004, 230(1-4): 391-404.
- [34] Yildirima M, Lima C, Wanb Peter J, et al. Growth performance and immune response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed diets containing graded levels of gossypolacetic acid [J]. *Aquaculture*, 2003, 219(1-4): 751-768.
- [35] 赵海祥, 冯健, 宁毅, 等. 大豆粕替代鱼粉在吉富罗非鱼稚鱼实用饲料中的效果评价 [J]. *动物营养学报*, 2011, 23(10): 1840-1845.
- [36] 孟兆娜, 陈玉春, 管雪婷, 等. 复方中草药对镜鲤 (*Cyprinus carpio L*) 血清转氨酶及红细胞抗氧化酶活性的影响 [J]. *东北农业大学学报*, 2010, 41(8): 75-80.
- [37] 向泉, 周兴华, 陈建, 等. 饲料中豆粕蛋白替代鱼粉蛋白对齐口裂腹鱼幼鱼生长性能、体成分及血液生化指标的影响 [J]. *水产学报*, 2012, 36(5): 723-728.
- [38] 林仕梅, 麦康森, 谭北平, 等. 菜粕、豆粕替代豆粕对奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) 生长、体组成和免疫力的影响 [J]. *水产学报*, 2007, 38(2): 168-171.

(责任编辑: 张红林)