

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

向 泉^{1,2}, 周兴华¹, 陈 建¹, 李代金¹, 王文娟¹, 周小秋^{2*}

- (1. 西南大学荣昌校区水产系, 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室,
水产科学重庆市市级重点实验室, 重庆 402460;
2. 四川农业大学动物营养研究所, 四川 雅安 625014)

摘要: 试验分别以豆粕替代 0(对照组)、20%、40%、60%、80%、100% 的鱼粉蛋白设计出 6 种等氮等能的饲料配方, 按照配方配制试验饲料(A1、A2、A3、A4、A5 和 A6)。将 540 尾体质量为(14.67±0.51) g 的齐口裂腹鱼随机分为 6 个试验组, 每组 3 个重复, 每个重复 30 尾试验鱼, 分别投喂 6 种不同的试验饲料, 养殖时间为 45 d。结果表明, 豆粕蛋白替代水平对齐口裂腹鱼的生长有显著影响。豆粕替代鱼粉蛋白的比例为 60% 时, 试验鱼的增重率(WGR)、特定生长率(SGR)、饲料蛋白效率(PER)均达到最高(分别为 118.08%、1.95%/d 和 207.22%), 饵料系数(FCR)最小(1.27)($P<0.05$)。与其余各试验组相比, 替代比例为 100% 的试验组的 WGR、SGR、PER 显著降低, FCR 显著升高($P<0.05$)。通过二次多项式回归分析可知, 齐口裂腹鱼生长性能最佳时豆粕蛋白替代比例为 34.25%~45.46%; 随着豆粕替代鱼粉蛋白比例的增大, 鱼体水分、粗灰分、肥满度差异不显著($P>0.05$), 粗蛋白在豆粕蛋白替代水平为 60% 时达到最高(15.53%), 但在豆粕蛋白替代比例小于 80% 时试验鱼体粗蛋白、粗脂肪含量无显著差异($P>0.05$), 肝体指数则随豆粕蛋白替代水平增加而增大, 但在 0~80% 之间均无显著差异($P>0.05$)。随着豆粕蛋白替代比例的增加, 超氧化歧化酶(SOD)的活性有一定的波动, 在豆粕蛋白替代比例为 40% 达到最高, 豆粕蛋白替代比例在 20%~60% 时, 溶菌酶(LSZ)的活性逐渐升高, 但各组间及与对照组间的差异不显著($P>0.05$), 谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)随着豆粕替代比例增加而逐渐升高, 但豆粕蛋白替代比例小于 80% 时差异不显著($P>0.05$)。豆粕蛋白替代比例为 100% 时 AST、ALT 活性显著高于其余各试验组($P<0.05$)。说明饲料中豆粕替代一定比例鱼粉蛋白可促进齐口裂腹鱼的生长, 提高对饲料蛋白的代谢和免疫能力, 但豆粕替代鱼粉蛋白比例超过 80% 则可引起肝损伤或组织病变。在本试验条件下, 综合考虑其生长指标、体成分及免疫指标, 齐口裂腹鱼的饲料中豆粕对鱼粉蛋白的最大替代比例为 80%, 当其替代比例为 34.25%~45.46% 时可获得最佳生长效果。

关键词: 齐口裂腹鱼; 生长性能; 体组成; 血液生化指标

中图分类号: S 963.31⁺³

文献标志码: A

鱼粉由于蛋白质含量高, 氨基酸组成平衡及抗营养因子少, 一直被作为水产饲料的重要蛋白源。但近年来, 由于水产养殖规模的日益增大, 对

鱼粉的需求量也不断增大, 而全球鱼粉的年产量却日趋下降, 其价格居高不下, 使水产饲料成本一直在高位运行; 同时鱼粉中磷含量较高, 大多数鱼

收稿日期: 2011-08-20

修回日期: 2011-12-28

资助项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2009C165); 西南大学水产养殖学科基金(SC1002)

通讯作者: 周小秋, E-mail: xqzhouqq@tom.com

类对其利用率不高,饲料中过多使用鱼粉会造成养殖水体环境的污染^[1],陈立侨等^[2]认为适宜的动植物蛋白比既可提高中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)的生长速度,降低成本,也可减轻对养殖水环境的污染。钟国防等^[3]报道,饲料中添加10%的玉米蛋白粉时,暗纹东方鲀(*Fugu obscurus*)的溶菌酶比活力及其C-型溶菌酶基因mRNA的表达量达到最高。因此,寻求优质的蛋白源替代鱼粉一直是水产饲料领域研究的热点之一。豆粕是一种蛋白质含量较高,氨基酸组成较为平衡的植物性蛋白源,其价格低廉,来源广泛,已经在水产饲料中有广泛的应用。据报道,饲料中大豆分离蛋白替代40%的鱼粉时,虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的生长及饲料转化率^[4]达到最佳,短盖巨脂鲤(*Colossoma brachypomum*)饲料中适宜的动植物蛋白比为1:1.67^[5],点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)生长过程中适宜的动植物蛋白比为3.0:1~2.2:1^[6]。但豆粕中含有的胰蛋白酶抑制因子、大豆凝集素等抗营养因子也会影响动物肠道的微生态环境,妨碍对营养物质的消化和吸收^[7],因而限制了豆粕在水产动物饲料中的使用。

齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)是长江上游的一种底层冷水性鱼类,肉质细嫩,营养价值丰富,味道鲜美^[8-9],是我国重要的经济鱼类。近年来

由于过度捕捞等因素的影响,其野生种群数量急剧下降。为了保护、开发和持续利用这一水生动物资源,对于其人工繁殖技术^[10]及营养物质的需求已有一定的研究^[11-13]。本试验拟通过用豆粕替代不同比例鱼粉蛋白后的饲料对齐口裂腹鱼生长性能,饲料利用率,机体营养成分及血液生化指标等影响的研究,探讨齐口裂腹鱼饲料中适宜的豆粕替代比例,为优化齐口裂腹鱼的饲料配方及人工配合饲料提供理论基础和数据支持。

1 材料与方 法

1.1 试验饲料

试验饲料以鱼粉(粗蛋白含量为64.5%,粗脂肪含量为9.6%)为动物性蛋白源,豆粕(粗蛋白含量为44.3%,粗脂肪含量为1.8%)为植物性蛋白源,混合油脂(鱼油:豆油=1:1)为脂肪源。以豆粕蛋白分别替代0(对照组,A1)、20%(A2)、40%(A3)、60%(A4)、80%(A5)、100%(A6)的鱼粉蛋白,配制成6种等氮(蛋白水平为39%)等能(能值为13 kJ/g)的试验饲料,各原料经粉碎过60目筛,按配方准确称重,逐级放大混合,加水拌匀,用QRLS-150型电动绞肉机制成粒径1.0 mm颗粒饲料,于40~45℃下烘干至水分含量10%以下,保存在-20℃冰箱中备用。试验饲料组成及营养成分见表1。

表1 试验饲料的组成及营养水平(风干基础)
Tab. 1 Composition and nutrient levels of the experimental diets (air-dry basis) %

原料 ingredients	豆粕蛋白替代鱼粉蛋白的比例 replacement ratio of fish meal protein by soybean meal					
	0	20	40	60	80	100
鱼粉 fish meal	52.8	42.2	31.6	21.2	10.5	0
豆粕 soybean meal	0	15.5	29.4	43.8	58.6	71.0
混合油 ¹ mixed oil	4.6	5.0	5.2	5.6	5.9	6.2
玉米淀粉 maize starch	31.6	26.3	22.8	18.4	14.0	11.8
次粉 wheat middling	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
氯化胆碱 choline chloride	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
甜菜碱 betaine	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
复合预混料 ² compound premix	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
营养成分(%干物质) proximate composition						
粗蛋白 crude protein	39.64	39.88	39.46	39.35	39.25	38.25
粗脂肪 lipid	6.93	7.02	6.91	7.00	6.98	6.96
总能 ³ (kJ/g) GE	13.23	13.25	13.27	13.30	13.32	13.34

注:1) 混合油为1:1鱼油和豆油;2) 复合预混料为每1 kg饲料提供的矿物元素和维生素:K 28.0 mg, Ca 282.0 mg, Mg 9.0 mg, Zn 3.5 mg, Fe 24.0 mg, Cu 1.8 mg, I 0.25 mg, Se 0.02 mg, VA 8 000 IU, VC 200 mg, VD 900 IU, VE 60 mg, VK 5 mg, VB₁ 15 mg, 尼克酸 100 mg, 泛酸钙 40 mg, VB₆ 20 mg, VB₁₂ 5 mg, 肌醇 100 mg;3) 根据蛋白质、脂肪、碳水化合物的能量(17.0, 39.0, 17.0 kJ/g)计算能量。

Notes: 1) 1:1 mixture of fish oil and soybean oil, 2) The compound premix provides mineral and vitamin for a kilogram of diets: K 28.0 mg, Ca 282.0 mg, Mg 9.0 mg, Zn 3.5 mg, Fe 24.0 mg, Cu 1.8 mg, I 0.25 mg, Se 0.02 mg, VA 8 000 IU, VC 200 mg, VD 900 IU, VE 60 mg, VK 5 mg, VB₁ 15 mg, nicotinic acid 100 mg, Pantothenate acid 40 mg, VB₆ 20 mg, VB₁₂ 5 mg, inositol 100 mg, 3) Dietary gross energy (GE) levels were calculated using extra organ fuel values of 17.0, 39.0 and 17.0 kJ/g for protein, lipid and carbohydrate, respectively.

1.2 试验鱼与试验管理

试验用齐口裂腹鱼幼鱼购自四川峨眉冷水鱼场。购回用4%的食盐消毒后暂养在水泥池中并用对照组试验饲料暂养7 d后,选取体格健康、无畸形、体质量(14.67±0.51) g,的齐口裂腹鱼540尾,随机投入18个水族箱(规格为1.0 m×1.0 m×1.0 m),每箱30尾试验鱼。随机安排每3个水族箱为一个试验组。每天按3%~5%的投饲率投喂3次(8:00、12:30、17:00),投饵1 h后将残饵捞出烘干扣除。养殖时间共45 d。试验期间保持微流水,水温为15~20℃,水体pH=7.0~7.5,溶氧高于6.0 mg/L。

1.3 样品采集

试验开始时,测定试验鱼的初始体质量,试验结束后,停食1 d,测定各组试验鱼的终末体质量,每重复组中随机取出10尾鱼,其中3尾作全鱼的体成分分析,7尾试验鱼分别测定体质量后,用乙醚麻醉后采用尾静脉抽血法,取其全血置于离心管中,用肝素钠抗凝并以3 500 r/min离心15 min制备血清样品,置于-20℃冰箱保存待用,取血完毕后将鱼体解剖,记录肝脏与试验鱼酮体重量等指标。

1.4 指标测定与方法

饲料原料及试验鱼体样本均在105℃烘干至恒重,然后进行生化测定,全鱼的粗蛋白质的测定采用凯氏定氮法,粗脂肪的测定采用索氏提取法,粗灰分的测定采用550℃灼烧法^[14],血清溶菌酶(LSZ)活性采用比浊法^[15],超氧化物歧化酶(SOD)采用连苯三酚自氧化法测定^[16],谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)的活性采用改良的赖氏法测定^[17]。

增重率(weight gain ratio, WGR, %)= $(W_t - W_0) / W_0 \times 100$

$W_0 / \times 100 / W_0$

特定生长率(specific growth ratio, SGR, %/d)= $(\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100$

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER, %)= $(W_t - W_0) 100 / F \times P$

饲料系数(feed conversion ratio, FCR)= $F / (W_t - W_0)$

成活率(survival rate, SR, %)= $100 \times (N_t - N_0) / N_0$

肝体比(hepatopancreas somatic index, HSI, %)= $100 \times \text{肝重} / W_t$

肥满度(condition factor, CF, g/cm³)= $100 \times W_t / L_t^3$
式中, W_0 为试验开始时鱼体质量(g); W_t 为试验结束时鱼体质量(g); N_0 为试验开始时鱼的尾数; N_t 为试验结束时鱼的尾数; F 为饲料摄入量(g); P 为饲料粗蛋白质含量(%); t 为养殖试验天数(d); L_t 为试验结束时鱼的体长(cm)。

1.5 数据处理

采用SPSS Statistics 17.0软件对数据统计分析。先对数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),若组间差异显著,再用Duncan氏法进行多重比较,显著水平以 $P < 0.05$ 计。以回归的二次多项式来拟合WGR、SGR、PER、FCR与豆粕替代鱼粉蛋白比例间的相关关系。试验数据以平均值±标准差(mean±SD)表示。

2 结果

2.1 豆粕替代鱼粉蛋白对齐口裂腹鱼生长及饲料利用率的影响

随着豆粕蛋白替代鱼粉蛋白比例的升高,试验鱼的WGR、SGR均呈先升后降的趋势(表2)。当豆粕蛋白替代60%的鱼粉蛋白(A4)时,试验鱼的WGR、SGR均达到最高(分别为118.08%和1.95%/d),

表2 豆粕替代鱼粉对齐口裂腹鱼生长及饲料利用率的影响

Tab. 2 Effects of dietary fish meal replaced by soybean meal on growth and feed utilization in *S.prenanti*

组别 groups	初均体质量/g IAW	末均体质量/g FAW	增重率/% WGR	特定生长率/ (%/d) SGR	蛋白质效率/% PER	饲料系数 FCR	成活率/% SR
A1	14.57±0.21	28.47±0.53 ^b	95.46±1.03 ^b	1.67±0.06 ^b	184.61±10.30 ^b	1.37±0.08 ^{bcd}	100±0.00
A2	14.51±0.11	29.46±0.29 ^b	103.03±0.97 ^b	1.77±0.11 ^b	178.88±6.17 ^b	1.41±0.05 ^{bc}	100±0.00
A3	14.90±0.58	32.30±0.87 ^a	116.92±2.77 ^a	1.94±0.03 ^a	191.28±4.35 ^b	1.32±0.03 ^{dc}	99±1.00
A4	14.73±0.53	32.12±1.40 ^a	118.08±8.80 ^a	1.95±0.40 ^a	207.22±10.20 ^a	1.27±0.07 ^d	100±0.00
A5	14.63±0.09	29.75±0.74 ^b	103.36±4.14 ^b	1.78±0.09 ^b	181.61±2.61 ^b	1.46±0.06 ^b	98±1.00
A6	14.54±0.06	26.11±0.21 ^c	79.58±2.07 ^c	1.46±0.03 ^c	148.21±2.68 ^c	1.69±0.05 ^a	99±1.00

注:1.表格中所给数据为平均数及3个重复的标准差。2.同列肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Notes: 1. Values are means and standard deviation of three replicates; 2. In the same column, values with same small letter superscripts or no letter superscripts mean no significant differences ($P > 0.05$) different small letter superscripts mean significant differences ($P < 0.05$). The same as below.

较 A1 组分别提高了 23.70% 和 16.77% ($P < 0.05$), 并显著高于 A2、A4 和 A5 组 ($P < 0.05$)。蛋白质效率 (PER) 也在 A4 时达到最大 (为 207.22%), 较 A1 提高了 12.25% ($P < 0.05$), 且显著高于其余试验组 ($P < 0.05$), 但 A1 与 A2、A3、A5 差异不显著 ($P > 0.05$), FCR 在 A4 时达到最小 (1.27), 较 A1 降低了 7.30%, 除与 A1 差异不显著外 ($P > 0.05$), 与其余各试验组差异显著 ($P < 0.05$); 豆粕替代鱼粉蛋白比例为 100% 的全豆粕组 (A6) 的 WGR、SGR、PER 则显著低于其余各试验组, 而 FCR 则显著高于其余各试验组 ($P < 0.05$)。说明豆粕蛋白替代一定比例鱼粉蛋白能有效地促进试验鱼的生长, 提高其生长转化利用率。本试验中试验鱼的成活率不受豆粕蛋白替代比例的影响。

以二次多项式来拟合 WGR、SGR、PER、FCR 与豆粕蛋白替代比例间的相关关系 (图 1~图 4)。以抛物线回归可知, 齐口裂腹鱼 WGR、SGR、PER 的回归方程分别为: $Y = -0.0121X^2 + 1.1002X + 92.117$ ($R^2 = 0.9362$); $Y = -0.0002X^2 + 0.0137X + 1.6318$ ($R^2 = 0.9399$); $Y = -0.0133X^2 + 1.0706X + 175.96$ ($R^2 = 0.7231$)。在抛物线的最高点分别获得齐口裂腹鱼 WGR、SGR、PER 的最大值, 此时对应的豆粕替代鱼粉蛋白的比例分别为 45.46%、34.25% 和 41.18%。FCR 的回归方程为: $Y = 9E-05X^2 - 0.0069X + 1.4237$ ($R^2 = 0.8326$), 则 PCR 最小时豆粕替代鱼粉蛋白的比例应为 38.33%。因此, 满足齐口裂腹鱼的 WGR、SGR、PER 最大, FCR 最小时的豆粕替代鱼粉蛋白的比例应为 34.25%~45.46%。

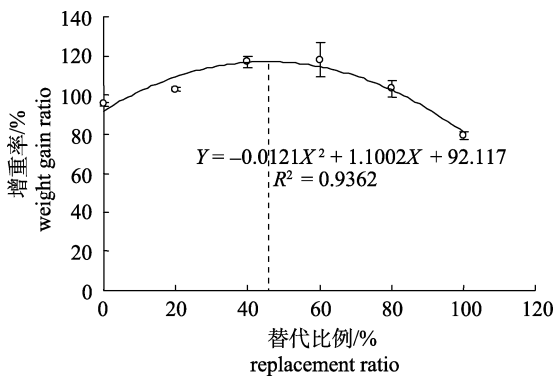


图 1 齐口裂腹鱼增重率与豆粕替代比例的关系
Fig. 1 Relationship between weight gain ratio and the soybean replacement ratio in diet of *S. prenanti*

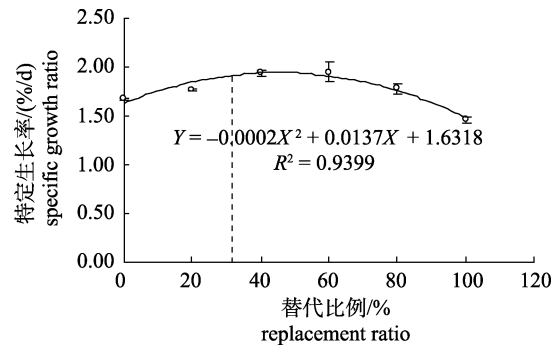


图 2 齐口裂腹鱼特定生长率与豆粕替代比例的关系
Fig. 2 Relationship between specific growth ratio and the soybean replacement ratio in diet of *S. prenanti*

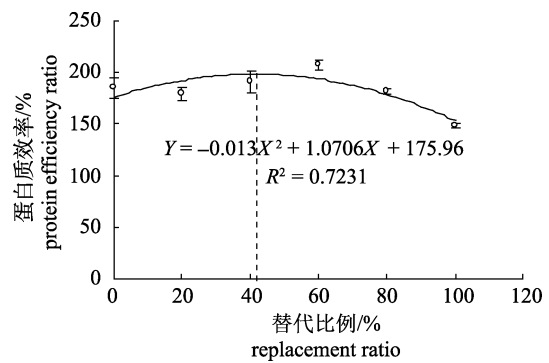


图 3 齐口裂腹鱼蛋白质效率与豆粕替代比例的关系
Fig. 3 Relationship between protein efficiency ratio and the soybean replacement ratio in diet of *S. prenanti*

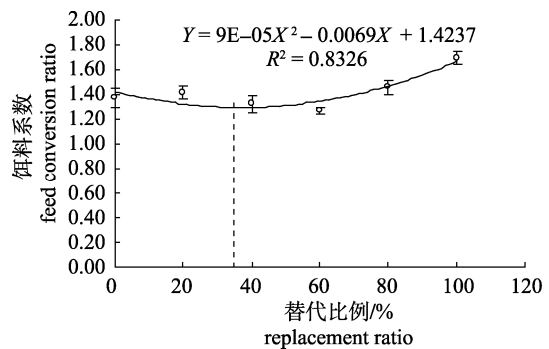


图 4 齐口裂腹鱼饵料系数与豆粕替代比例的关系
Fig. 4 Relationship between feed conversion ratio and the soybean replacement ratio in diet of *S. prenanti*

2.2 豆粕替代鱼粉蛋白对齐口裂腹鱼体成分及肝体指数的影响

豆粕替代水平对全鱼水分、粗灰分、肥满度无显著影响 ($P > 0.05$) (表 3)。豆粕蛋白替代比例小于 80% 时鱼体粗蛋白和粗脂肪的含量差异不显著 ($P > 0.05$), 但豆粕蛋白替代比例为 100% 的 A6 中鱼

体粗蛋白和粗脂肪的含量显著低于 A1 组($P<0.05$); 试验鱼肝体指数则随豆粕替代鱼粉蛋白比例的增加而增加, 豆粕蛋白替代比例在 0~80%时试验鱼肝体指数差异不显著($P>0.05$), 但 A6 组却显著高于其余各组($P<0.05$); 说明豆粕蛋白替代比例在 0~80%时并未对试验鱼的体成分和肝脏发育产生不利影响。

2.3 豆粕替代鱼粉蛋白对齐口裂腹鱼血液学指标的影响

豆粕蛋白替代比例在 0~60%时, 溶菌酶(LSZ)活性差异不显著($P>0.05$), 但显著高于 A5、A6($P<0.05$), LSZ 活性在 A3 达到最高(3.55 $\mu\text{g}/\text{mL}$); 随着豆粕蛋白替代比例的增加, 超氧化歧化酶(SOD)的活性有一定的波动, 在 A3 达到最高, 较对照组提高了 16.10%, 且 A3 与 A4 差异不显著($P>0.05$), 而与其余各组差异显著($P<0.05$); 豆粕蛋白替代比例在 20%~100%时, 谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)随着豆粕替代比例增加而逐渐升高, 但豆粕蛋白替代比例在 20%~80%时各试验组间及各试验组与 A1 差异不显著($P>0.05$)。豆粕蛋白替代比例为 100%时 AST、ALT 活性最高,

且显著高于其余各试验组($P<0.05$) (表 4)。

3 讨论

3.1 豆粕替代鱼粉蛋白对齐口裂腹鱼生长及饲料利用率的影响

蛋白质是水产动物生长过程中的必需物质, 是构成动物机体的成分, 同时还能鱼类提供能量。目前在水产动物饲料中用植物蛋白源部分或全部替代鱼粉已成为研究的热点。但水产动物饲料中植物蛋白的添加比例受养殖鱼种类、食性及规格等多方面因素的影响^[18-19]。Delbert 等^[20]认为, 杂食性鱼类对含有植物原料的配合饲料的可接收程度一般都比较低, 对鱼粉及其它动物来源的蛋白原料的依赖性一般比肉食性鱼类小。高荣兵等^[21]报道点蓝子鱼(*Siganus guttatus*)饲料中豆粕与鱼粉的比例不宜大于 1:2, 陆阳等^[22]研究表明, 饲料中膨化豆粕的替代比例为 26.9%时, 虹鳟幼鱼可获得最佳生长效果, 刘襄河等^[23]认为要获得最佳的养殖效益, 牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)饲料中豆粕的适宜添加量应为 16%。本试验中, 以 WGR、SGR、PER、FCR 分别与豆粕蛋白替代比例拟合后, 豆粕替代

表 3 豆粕代替鱼粉蛋白对齐口裂腹鱼体成分及形体指数的影响(以湿重计)

Tab. 3 Effects of dietary fish meal protein replaced by soybean meal on composition of whole body and the morphological measurements in *S. prenanti* (wet weight basis) %

组别 groups	水分 moisture	粗蛋白质 crude protein	粗脂肪 crude lipid	粗灰分 crude ash	肝体指数 HSI	肥满度 CF
A1	73.41±0.45	15.42±0.04 ^{ab}	2.47±0.10 ^a	5.13±0.11	1.27±0.05 ^b	1.33±0.02
A2	73.47±0.38	15.38±0.12 ^{ab}	2.39±0.07 ^{ab}	5.22±0.12	1.34±0.06 ^b	1.34±0.04
A3	73.53±0.30	15.35±0.15 ^{ab}	2.34±0.06 ^{ab}	5.37±0.13	1.30±0.07 ^b	1.34±0.05
A4	73.51±0.39	15.53±0.07 ^a	2.37±0.09 ^{ab}	5.39±0.22	1.36±0.06 ^b	1.36±0.03
A5	73.24±0.15	15.32±0.08 ^{ab}	2.35±0.10 ^{ab}	5.38±0.17	1.38±0.04 ^b	1.34±0.03
A6	73.39±0.34	15.26±0.11 ^b	2.28±0.05 ^b	5.36±0.27	1.49±0.07 ^a	1.35±0.05

表 4 豆粕代替鱼粉对齐口裂腹鱼免疫指标的影响

Tab. 4 Effect of dietary fish meal protein replaced by soybean meal on immunological indices of *S. prenanti*

组别 groups	溶菌酶/($\mu\text{g}/\text{mL}$) LSZ	超氧化歧化酶/(U/mL) SOD	谷草转氨酶/(U/L) AST	谷丙转氨酶/(U/L) ALT
A1	3.43±0.42 ^a	301.77±9.91 ^b	344.92±4.48 ^b	17.70±0.14 ^b
A2	3.27±0.09 ^a	281.62±12.73 ^{bc}	339.73±11.75 ^b	17.21±0.14 ^b
A3	3.55±0.41 ^a	359.35±12.11 ^a	355.83±24.39 ^b	17.85±1.55 ^b
A4	3.09±0.15 ^a	337.61±13.06 ^a	365.97±13.18 ^b	18.22±0.17 ^b
A5	2.52±0.23 ^b	263.87±10.28 ^c	369.07±22.33 ^b	18.47±0.25 ^b
A6	2.26±0.41 ^b	252.78±8.58 ^d	387.86±18.87 ^a	22.29±1.69 ^a

鱼粉蛋白比例在 34.25%~45.46%。说明用添加一定比例豆粕的饲料甚至比完全使用鱼粉的饲料饲喂齐口裂腹鱼的效果好,究其原因可能有:(1) 由于饲料中豆粕、鱼粉等植物蛋白之间的互补效应,提高了饲料中氨基酸的平衡程度。在适宜的替代范围内,加入一定量的植物蛋白可使饲料中氨基酸配比更合理,更适合齐口裂腹鱼的营养需要,从而达到促生长的作用;(2) 齐口裂腹鱼为杂食性鱼类,本身对鱼粉的依赖性不如肉食性鱼类高,对豆粕等植物性蛋白原料有较高的消化利用率。当饲料中豆粕的替代比例为 100%时,试验鱼的 WGR、SGR、PER 显著降低,而 FCR 则显著提高。可能是豆粕中赖氨酸、蛋氨酸含量偏低,且蛋氨酸的消化利用率也较低,当由于饲料中豆粕添加比例太高后,使得饲料中必需氨基酸的比例失衡,造成大量氨基酸被分解,降低饲料蛋白质的利用率,从而影响齐口裂腹鱼对饲料蛋白质的利用及体蛋白质的合成速度;同时豆粕中含有抗胰蛋白酶、凝集素等营养因子,降低了饲料的适口性,降低水产动物的摄食量,影响水生动物的消化酶活性^[24],降低蛋白质等营养物质的消化吸收,使其生长受阻。

3.2 豆粕替代鱼粉蛋白对齐口裂腹鱼体成分及肝体指数的影响

豆粕替代鱼粉蛋白后对鱼体成分的影响在不同试验中并不一致^[21,25]。随着豆粕替代水平的增加,齐口裂腹鱼全鱼的水分和粗灰分差异不显著,而其粗蛋白的含量有波动,在豆粕蛋白替代比例为 20%~80%时的试验组均与对照组无显著差异,这与段培昌等^[26]对星斑川鲮(*Platichthys stellatus*), Kausilk 等^[27]对虹鳟、樊月居等^[24]对仿刺参(*Apostichopus japonicas*)的研究结果一致。而试验鱼体脂含量在豆粕蛋白替代水平大于 80%显著小于对照组,但 Chou 等^[28]研究证明,豆粕蛋白部分替代鱼粉蛋白能显著提高军曹鱼肌肉中脂肪含量。仿刺参体壁中脂肪含量则随着用豆粕替代鱼粉比例的增加而呈先升后降的趋势^[24]。这些结果说明鱼类对各种营养物质的沉积规律受饲料蛋白原料的特性、饲料配制方法、试验饲料营养组成及试验鱼的种类等因素的影响;同时由于豆粕中非淀粉多糖和低聚糖含量较高,导致了饲料脂肪消化吸收率的下降,影响了脂肪在试验鱼体内的累积代谢率,使其脂肪含量随豆粕替代比例的升高而下降^[29]。随着豆粕

蛋白替代比例的增大,齐口裂腹鱼的肝体指数也逐渐增大,但豆粕蛋白替代水平在 20%~80%的试验组与对照组无显著差异,与大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)^[30]、翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)^[31]的一致,而全豆粕蛋白组的肝体指数则显著大于对照组及其余各试验组,其肥满度在各试验组与对照组之间均无显著差异,与向泉等^[5]、陆阳等^[21]的研究结果相一致。这些结果说明豆粕蛋白替代比例在一定范围内时,植物蛋白源不会对齐口裂腹鱼肝脏的发育产生影响,能使试验鱼保持良好的生理状态和正常的生长速度,但当替代比例超过一定限度则可能由于饲料中植物蛋白源中某些热稳定抗营养因子引起动物消化酶分泌的增多,加重肝脏的代谢负荷,引起肝脏代偿性增大^[23],影响鱼类的健康状况。

3.3 豆粕替代鱼粉蛋白对齐口裂腹鱼血液生化指标的影响

LSZ 是一种水解酶,是破坏细菌细胞壁的酶^[32],在引发和维持机体防御免疫的过程中起着重要的作用,可诱导和调节其它免疫因子的合成与分泌,其活性大小在一定程度上反映出鱼体抵抗细菌侵袭的能力^[33],且血清中溶菌酶活性的变化与其循环系统中白细胞的数量变化呈正相关关系^[34]。SOD 在生物体内起到清除活性氧自由基的作用,可以增强吞噬细胞的吞噬能力和促进免疫蛋白的产生^[35]。本试验中,豆粕蛋白替代比例在 20%~60%时,试验鱼的 LSZ、SOD 活性逐渐增大,当豆粕蛋白替代比例大于 80%时,LSZ、SOD 则显著降低。说明在一定范围内,豆粕替代鱼粉蛋白可有效提高齐口裂腹鱼的免疫能力,但替代比例过大,使鱼类肠道发生病变^[36],豆粕中的抗营养因子及氨基酸的不平衡可能降低鱼类对饲料的消化、吸收,鱼体在得不到良好的营养条件而使其免疫力机能有不同程度的降低^[37]。这与王崇等^[38]对异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*),张锦秀等^[36]对建鲤(*Cyprinus carpio var. Jian*)的研究结果相一致。

转氨酶是动物体内氨基酸代谢过程中的催化剂,参与体内蛋白质的代谢。AST 活性升高表明蛋白质合成代谢加强,分解代谢降低,有利于氮在动物体内的沉积,ALT 活性升高,则说明尿素生成加快,减少了氨基酸代谢废物对机体的毒害,所以 AST、ALT 的高低反映了动物对蛋白质合成和分解

代谢的状况^[39]。本试验中,豆粕蛋白替代比例低于80%时,试验鱼的AST、ALT活性逐渐增大。说明一定范围内的豆粕蛋白替代比例有利于饲料蛋白在齐口裂腹鱼体内的沉积,促进其生长。这与中华绒螯蟹^[40]、牙鲆^[23]及虹鳟^[22]等的研究结果相似。同时AST、ALT活性变化是反映肝细胞受损伤的主要敏感指标^[12]。与肝细胞的炎症、变性和坏死等密切相关。动物的生理机能正常时,AST、ALT主要存在于细胞内,而血清中的活性很低,当组织中毒、发生病变或者受损伤的组织范围较大,可能有大量的AST、ALT从细胞内逸出进入血液,使血清中的这两种转氨酶活性升高上升或活性突发性持续增强^[41]。本试验中,替代比例为100%时AST、ALT活性显著高于对照组,说明过高的植物蛋白比例使齐口裂腹鱼的肝脏产生一定的应激反应,受到了一定程度的影响。

4 小结

本试验条件下,从齐口裂腹鱼的生长、体成分及血液学指标等方面综合分析可知,饲料中豆粕蛋白最大替代比例为80%时,不会影响齐口裂腹鱼的生长、体成分及血液学指标。通过二元多项式回归分析可知,齐口裂腹鱼饲料中豆粕替代鱼粉蛋白的适宜比例应为34.25%~45.46%。

参考文献:

- [1] Vielma J, Lall S P, Koskela J, *et al.* Influence of low dietary cholecalciferol intake on phosphorus and trace element metabolism by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum)[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology (Part A : Physiology)*, 1999, 122A(1): 117-125.
- [2] 陈立侨, 堵南山, 赖伟. 中华绒螯蟹种配饵中豆饼替代部分鱼粉的适宜含量[J]. *水产学报*, 1994, 18(11): 24-31.
- [3] 钟国防, 钱 曦, 华雪铭, 等. 玉米蛋白粉替代鱼粉对暗纹东方鲀溶菌酶活性及C-型溶菌酶 mRNA 表达的影响[J]. *水产学报*, 2011, 35(7): 1121-1128.
- [4] Wang Y Y, Yang Y H, Wang F, *et al.* Effects of replacing fish meal with soybean protein isolate on growth performance and nitrogen and phosphorus excretion of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35(1): 105-114.
- [5] 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.
- [6] 朱庆国. 不同动植物蛋白比配合饲料对点带石斑鱼生长的影响[J]. *福建水产*, 2007, (3): 1-5.
- [7] Ringo E, Sperstad S, Myklebust R, *et al.* Characterisation of the microbiota associated with intestine of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). The effect of fish meal, standard soybean meal and a bioprocessed soybean meal [J]. *Aquaculture*, 2006, 261(3): 829-841.
- [8] 温安祥, 曾静康, 何涛. 齐口裂腹鱼肌肉的营养成分分析[J]. *水利渔业*, 2003, 23(1): 13-15.
- [9] 周兴华, 郑曙明, 吴青, 等. 齐口裂腹鱼肌肉营养成分的分析[J]. *大连水产学院学报*, 2005, 20(1): 20-24.
- [10] 若木, 王鸿泰, 殷启云, 等. 齐口裂腹鱼人工繁殖的研究[J]. *淡水渔业*, 2001, 31(6): 3-5.
- [11] 段彪, 向泉, 周兴华, 等. 齐口裂腹鱼饲料中适宜脂肪需要量的研究[J]. *动物营养学报*, 2007, 19(3): 232-236.
- [12] 向泉, 陈建, 周兴华, 等. 5种脂肪源对齐口裂腹鱼生长性能及血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2010, 22(2): 498-504.
- [13] 何 雷, 冯 建. 齐口裂腹鱼幼鱼对蛋白质、脂肪和碳水化合物需要量研究[J]. *水生态学杂志*, 2008, 1(2): 76-80.
- [14] 贺建华. 饲料分析与检测 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 19-46.
- [15] Eills A E. Lysozyme assays[M]//Stolen J S, Fletcher T C, Anderson D P, *et al.*(Eds.). *Techniques in fish immunology*. New Jersey : SOS Publications, 1994: 101- 103.
- [16] 许雅娟, 赵艳景, 胡虹. 邻苯三酚自氧化法测定超氧化物歧化酶活性的研究[J]. *西南民族大学学报: 自然科学版*, 2006, 32(6): 1207-1209, 1212.
- [17] 陈钧辉, 陶力, 李俊, 等. 生物化学实验[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2006: 190-210.
- [18] Biswas A K, Kaku H, Ji S C, *et al.* Use of soybean meal and phytase for partial replacement of fish meal in the diet of red sea bream, *Pagrus major*[J]. *Aquaculture*, 2007, 267(1): 284-291.
- [19] 江仁党, 林建斌, 黄种持, 等. 不同动植物蛋白比饲料对虹鳟生长的影响[J]. *淡水渔业*, 2004, 34(3): 41-43.
- [20] Delbert M, Gatlin III. 大豆粕在杂食性淡水鱼类饲料中的应用[J]. *中国水产*, 2003, (6): 89-94.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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): 450-458.
- [24] 樊月居, 李晓东, 罗智, 等. 饲料中用豆粕替代鱼粉对仿刺参幼参生长、体成分及消化酶活性的影响[J]. *大连水产学院学报*, 2010, 25(1): 71-75.

- [25] 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 soybean protein products at medium or high lipid level[J]. *Aquaculture*, 2001, 193: 91–106.
- [26] 段培昌, 张利民, 王际英, 等. 新型蛋白源替代鱼粉对星斑川鲷幼鱼生长、体成分和血液学指标的影响[J]. *水产学报*, 2011, 35(5): 797–804.
- [27] Kaushik S J, Coves D, Dutton G, *et al.* Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*[J]. *Aquaculture*, 2004, 230: 391–404.
- [28] Chou R L, Her B Y, Su M S, *et al.* Substituting fishmeal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachytrichon canadum*[J]. *Aquaculture*, 2004, 229: 325–333.
- [29] Sheng H Q, He X Q. Effects of dietary animal and plant protein ratios and energy on growth and body composition of bream (*Megalobrama skolkovii* Dybowski) [J]. *Aquaculture*, 1994, 127: 189–196.
- [30] 王海英, 孙谧, 薛长湖, 等. 大菱鲆配合饲料中植物蛋白替代鱼粉的可行性研究[J]. *海洋科学*, 2008, 32(6): 9–12.
- [31] 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.
- [32] Mori K, Nakanishi T, Suzuki T, *et al.* Defense mechanisms in invertebrates and fish[J]. *Tanpakushitsu Kakusan Koso*, 1989, 34: 214–223.
- [33] 叶元土, 蔡春芳, 蒋蓉, 等. 鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕和花生粕对草鱼生长和生理机能的影响[J]. *饲料工业*, 2005, 26(12): 17–21.
- [34] Marja M, Antti S. Changes in plasma lysozyme and blood leucocyte levels of hatchery-reared Atlantic salmon and sea trout (*Salmo trutta* L.) during parr-smolt transformation[J]. *Aquaculture*, 1992, 106: 75–78.
- [35] Mccord J M, Fridovich I. Superoxide dismutase: an enzymatic function for erythrocyte hemocuprein [J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1969, 244: 6049–6055.
- [36] 张锦秀, 周小秋, 倪学勤, 等. 分离大豆蛋白对幼建鲤生长性能及肠道的影响[J]. *水产学报*, 2008, 32(1): 84–90.
- [37] 杨严鸥, 张艳, 潘宙, 等. 豆粕替代不同水平的鱼粉对黄颡鱼饲料利用、ATP酶活性和免疫功能的影响[J]. *饲料广角*, 2006, 15: 39–41.
- [38] 王崇, 雷武, 解绶启, 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): 740–747.
- [39] Yan Q, Xie S, Zhu X, *et al.* Dietary methionine requirement for juvenile rockfish, *Sebastes schlegelii*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2007, 13(3): 163–169.
- [40] 林仕梅, 罗莉, 叶元土, 等. 饲料蛋白能量比、非植酸磷水平对中华绒螯蟹氮、磷排泄和转氨酶活力的影响[J]. *中国水产科学*, 2001, 8(4): 62–66.
- [41] 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

Effect of dietary replacement of fish meal protein with soybean meal protein on the growth, body composition and hematology indices of *Schizothorax prenanti*

XIANG Xiao^{1,2}, ZHOU Xing-hua¹, CHEN Jian¹, LI Dai-jin¹, WANG Wen-juan¹, ZHOU Xiao-qiu^{2*}

(1. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, Department of Fisheries in Rongchang Campus, Southwest University, Chongqing 402460, China;

2. Animal Nutrition Institute, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effect of replacement of fish meal by soybean meal protein on the growth, body composition and hematology indices of juvenile *Schizothorax prenanti*. Healthy *S. prenanti* [with the initial weight (14.67 ± 0.51) g] were randomly divided into six groups with three replicates of 30 fish. Six isonitrogenous and isoenergetic diets were formulated to contain different levels of soybean meal based upon the basal diet to replace fish meal protein 0 (A1), 20% (A2), 40% (A3), 60% (A4), 80% (A5) and 100% (A6). The experiment lasted for 45 days. The results showed that the weight gain ratio (WGR), the specific growth ratio (SGR) and protein efficiency ratio (PER) were highest (118.08%, 1.95%/d, 207.22%, respectively), the feed conversion ratio (FCR) was the lowest (1.27) when the replacement ratio of fish meal protein by soybean meal was 60% ($P < 0.05$). The WGR, SGR, PER were significantly lower when the replacement ratio of fish meal protein of 100%, while the FCR was significantly higher than that of the other groups ($P < 0.05$). Based on quadratic regression analysis, the best replacement ratio of fish meal protein by soybean meal was 34.25%–45.46%. There were no significant difference in whole body moisture, crude ash and the condition factor (CF) with the replacement ratio of fish meal protein by soybean meal increased, the crude protein in whole body was highest (15.53%) when the replacement ratio of fish meal protein by soybean meal was 60%. The crude protein and lipid in whole body had no significant difference when the replacement ratio of fish meal protein by soybean meal was less than 80% ($P > 0.05$), while the hepatopancreas somatic index (HIS) increased as soybean meal protein ratio increased, but there were no significant differences when the replacement ratio of fish meal protein by soybean meal was 0–80% ($P > 0.05$). Superoxide dismutase (SOD) activities have a certain fluctuation as soybean meal protein ratio increased, at the same time, SOD activities were highest when the replacement ratio of fish meal protein by soybean meal was 40%. Lysozyme (LSZ) activities were gradually increased when the replacement ratio of fish meal protein by soybean meal was 20%–60% ($P > 0.05$). The aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) activities increased as soybean meal protein ratio increased, but there were no significant differences when the replacement ratio of fish meal protein by soybean meal was less than 80% ($P > 0.05$). The AST and ALT activities were significantly higher than the control group and other experimental groups ($P < 0.05$). Results of above show that a certain percentage soybean meal protein ratio in diet could promote the growth, and improve feed protein metabolism and immunity of *S. prenanti*. In conclusion, the maximum replacement ratio of fish meal protein by soybean meal was 80% in the diets of *S. prenanti*, and the most suitable replacement ratio of fish meal protein by soybean meal was 34.25%–45.46%.

Key words: *Schizothorax prenanti*; growth performance; body composition; serum biochemical indices

Corresponding author: ZHOU Xiao-qiu. E-mail: xqzhouqq@tom.com