

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200421002

http://www.yykxjz.cn/

敬庭森, 周明瑞, 李哲, 李玉林, 孙文波, 梁钧焯, 王新靓, 叶华, 成廷水, 罗辉. 大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、消化酶活性和抗氧化功能的影响. 渔业科学进展, 2021, 42(5): 149-157

JING T S, ZHOU M R, LI Z, LI Y L, SUN W B, LIANG J T, WANG X L, YE H, CHENG T S, LUO H. Effects of fish meal replacement with soy peptide protein on the growth performance, digestive enzymes, and antioxidant capacity of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(5): 149-157

大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、 消化酶活性和抗氧化功能的影响*

敬庭森¹ 周明瑞¹ 李哲¹ 李玉林¹ 孙文波¹ 梁钧焯¹
王新靓¹ 叶华¹ 成廷水^{2①} 罗辉^{1①}

(1. 西南大学水产学院 重庆 402460; 2. 北京九州互联农牧科技有限公司 北京 100029)

摘要 为研究大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)生长性能、体成分、消化酶活性和抗氧化功能的影响,以30%鱼粉组为对照组(A0),大豆小肽蛋白分别替代17%、33%和50%的鱼粉作为实验组(A17、A33和A50),配制4种等氮配合饲料。每组设置4个重复,每个重复饲养30尾平均体重为(3.7±0.6)g的黄颡鱼幼鱼,进行为期80d的饲养实验。结果显示,A17组生长性能与对照组无显著差异($P>0.05$),A33组除增重率(WGR)显著高于对照组外($P<0.05$),其余指标均与对照组无显著差异($P>0.05$)。A50组饵料系数(FCR)显著高于对照组和其他实验组($P<0.05$),增重率、特定生长率(SGR)及蛋白质效率(PER)显著低于对照组和其他实验组($P<0.05$)。各实验组肥满度(CF)和脏体比(VSI)与对照组无显著差异($P>0.05$)。大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼全鱼水分、灰分和粗蛋白含量无显著影响($P<0.05$);然而,当大豆小肽蛋白替代鱼粉水平从33%升高至50%时,鱼体粗脂肪含量显著降低($P<0.05$)。各实验组肠脂肪酶和肠淀粉酶活性显著高于对照组($P<0.05$),A33和A50组胃淀粉酶显著高于对照组($P<0.05$)。大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼肝胰脏丙二醛(MDA)活性无影响。综上所述,黄颡鱼配合饲料中鱼粉替代量小于33%时,黄颡鱼生长性能最佳,且对鱼体肝脏抗氧化功能无不利影响。本研究首次探究大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼生长等的影响,以期对黄颡鱼饲料配制和大豆小肽蛋白的使用等提供参考。

关键词 大豆小肽蛋白;黄颡鱼;生长性能;抗氧化功能

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2021)05-0149-09

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*),俗称黄辣丁,因味道细腻可口、无肌间刺而倍受欢迎。近年来,因其人工繁殖技术的提高和养殖技术的优化,其养殖规模扩大,产量逐步上升,产量以16.38%的速度增长,2019年全国产量达到50多万t(代云云等,2019)。黄颡

鱼市场价格相对稳定,消费市场良好。鱼粉因含鱼类所需各种必需氨基酸,消化吸收好,且含有“未知的生长因子”,被广泛用于水产配合饲料中。由于全球气候变暖、自然条件恶化,全球鱼粉产量下降,价格飞涨(陈丽纯,2018),进而引起水产品饲料成本上升。

* 中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2015C034; 5360300098)资助 [This work was supported by the Fundamental Research Funds for the Central Universities (XDJK2015C034; 5360300098)]. 敬庭森, E-mail: 260113369@qq.com

① 通讯作者: 罗辉, 副教授, E-mail: luohui2629@126.com; 成廷水, E-mail: cts@e-feed.com.cn

收稿日期: 2020-04-21, 收修改稿日期: 2020-05-11

国内外学者研究了许多其他原料替代鱼粉对鱼类生长等的影响,以寻求解决之道。目前,探究其他蛋白源替代鱼粉对黄颡鱼影响的研究较多,如杨严鸥等(2006)研究表明,豆粕替代30%鱼粉而对黄颡鱼生长无影响。罗嘉翔等(2017)指出,鸡肉粉替代20.84%鱼粉而对黄颡鱼生产性能无影响。文远红等(2013)研究发现,可以用蝇蛆粉替代黄颡鱼配合饲料中20%的鱼粉。李晨晨等(2018)研究表明,使用大豆浓缩蛋白替代20%的鱼粉而对黄颡鱼生产性能、消化酶、抗氧化酶活性等无不良影响。

小肽是通过酶解或发酵等工艺制成的含2~10个氨基酸的产品,不仅具有补充动物体氨基酸的功能,而且有调节食欲、改善生长性能、增强机体免疫等作用(McLean *et al.*, 1999; Iwasaki *et al.*, 2003; 邓岳松, 2004; 马嵩等, 2013)。已有研究证明,可以使用炼生肽替代黄颡鱼配合饲料中20%~50%鱼粉(唐武斌等, 2008)。羽毛肽粉添加量在10%以内可显著提高黄颡鱼摄食,促进生长(姚清华等, 2016)。小肽替代25%~75%鱼粉对西伯利亚鲟(*Acipenser baeri* Brandt)生长性能、体组成和血清生化指标均无显著影响(王常安等, 2010)。在异育银鲫(*Allogynogenetic crucian*)配合饲料中最高替代50%的鱼粉而对其生长性能和体组成无显著影响(於叶兵, 2008)。使用小肽豆粕替代25%的鱼粉而对青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)生长无不利影响(刘沛等, 2014)。大豆小肽蛋白是一种大豆蛋白小肽,比其他小肽具有更低的抗原和抗营养因子,具有更佳的适口性,但关于大豆小肽蛋白对黄颡鱼的影响的研究未见报道。本研究通过大豆小肽蛋白替代饲料中部分鱼粉,探究大豆小肽蛋白对黄颡鱼生长性能、体成分、消化酶和肝脏抗氧化功能的影响,以期为黄颡鱼饲料配制和大豆小肽蛋白的使用等提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 实验动物

本实验使用的黄颡鱼幼鱼购自重庆市荣昌区直升镇升发渔业股份合作社,采购后暂养于西南大学水产学院循环水养殖室,每天 08:00、12:00 和 18:00 用黄颡鱼商品饲料进行为期 14 d 的驯养。驯养期间,持续供氧,保持水体溶氧在 6.5~6.8 mg/L 之间, pH 为 7.0~8.5,水温为 28℃~31℃。最后选择 1000 尾体重为(3.7±0.5) g 黄颡鱼用于正式实验。

1.2 饲料配制与实验设计

本研究以 30%鱼粉组为对照,采用单因素实验设计饲料配方,共 4 种等氮饲料(表 4)。鱼粉、进口鸡

肉粉和血球蛋白粉为动物蛋白来源,豆粕、棉粕和玉米蛋白粉等为植物蛋白来源。用玉米淀粉平衡饲料组成。大豆小肽蛋白的添加量分别为 0、6.6%、13.1%和 19.6%,使大豆小肽蛋白分别替代 0、17%、33%和 50%的鱼粉。用 CaH_2PO_4 补足各组饲料中的总磷水平,用豆油补足各组饲料的脂肪水平。其中,大豆小肽蛋白(速习肽)由江苏智荟生物科技有限公司提供。大豆小肽蛋白营养成分见表 1,大豆小肽蛋白氨基酸组成见表 2,大豆小肽蛋白分子量见表 3,大豆小肽蛋白加工流程见图 1。将原料经 40 目粉碎后,再按照设计的配方逐级混匀后加入 7%的水,混匀后使用 SLLH300 小型平模制粒机制成直径为 2 mm 的沉性颗粒饲料,自然冷却后置于-20℃冰箱中待用。

表 1 大豆小肽蛋白营养成分

Tab.1 Nutritional components of soy peptide protein

组分 Components	含量 Content/%	组分 Components	含量 Content/%
粗蛋白 Crude protein (N*6.25)	50	粗灰分 Crude ash	7
水分 Moisture	8	钙 Ca	0.3
粗纤维 Crude fiber	3	总磷 Total phosphorus	0.8
粗脂肪 Crude lipid	1		

表 2 大豆小肽蛋白氨基酸组成

Tab.2 The amino acid composition of soy peptide protein

氨基酸 Amino acids	含量 Content/%	氨基酸 Amino acids	含量 Content/%
赖氨酸 Lys	3.38	组氨酸 His	1.28
蛋氨酸 Met	0.82	亮氨酸 Leu	3.92
胱氨酸 Cys	0.89	酪氨酸 Tyr	1.87
蛋+胱 Met+Cys	1.71	缬氨酸 Val	2.39
苏氨酸 Thr	1.96	丙氨酸 Ala	2.29
色氨酸 Trp	0.68	天门冬氨酸 Asp	5.51
谷氨酸 Glu	9.43	甘氨酸 Gly	2.10
异亮氨酸 Ile	2.25	丝氨酸 Ser	2.42
精氨酸 Arg	3.57	苯丙氨酸 Phe	2.55

表 3 大豆小肽蛋白分子量

Tab.3 Composition of soy peptide protein

分子量 Molecular weight /D	含量 Content/%
>10,000	4
3000~10,000	7
1000~3000	13
186~1000	37
<186	39

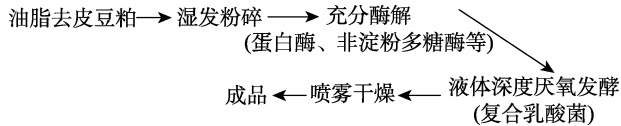


图 1 大豆小肽蛋白的加工流程

Fig.1 Production process of soy peptide protein

表 4 实验饲料配方及营养成分含量(%干物质基础)
Tab.4 Formulation and nutrient composition of test diets (%DM basis)

原料 Ingredients	组别 Groups			
	A0	A17	A33	A50
面粉 Flour	18	18	18	18
豆粕 Soybean meal	15	15	15	15
棉粕 Cottonseed meal	5	5	5	5
鱼粉 Fish meal	30	25	20	15
进口鸡肉粉 Chicken meal	8	8	8	8
血球蛋白粉 Hemoglobin powder	2	2	2	2
玉米蛋白粉 Corn gluten powder	6	6	6	6
玉米淀粉 Corn starch	10.2	7.8	5.5	3.2
大豆小肽蛋白 Soy peptide protein	0	6.6	13.1	19.6
粘合剂 Adhesive	0.5	0.5	0.5	0.5
磷酸二氢钙 CaH ₂ PO ₄	2.0	2.3	2.7	3.0
豆油 Soy bean oil	2.0	2.5	2.9	3.4
氯化胆碱 Choline chloride	0.3	0.3	0.3	0.3
预混料 Premix ¹	1	1	1	1
合计 Total	100	100	100	100
粗蛋白质 CP /%	41.64	41.68	41.68	41.67
赖氨酸 Lys /%	2.42	2.43	2.43	2.43
蛋氨酸 Met /%	0.92	0.89	0.85	0.82
Met+Cys /%	1.34	1.34	1.34	1.34
粗脂肪 Crude lipid /%	6.42	6.47	6.43	6.49
总磷 Total phosphorus	1.61	1.61	1.63	1.62
总能 Gross energy / (MJ·kg ⁻¹)	19.87	19.91	19.91	19.95

¹⁾ 预混料添加比例为 1%，其每 kg 中含：维生素 A 300,000 IU；维生素 D₃ 150,000 IU；维生素 E 4000 mg；维生素 K₃ 450 mg；维生素 B₁ 800 mg；维生素 B₂ 850 mg；维生素 B₆ 650 mg；维生素 B₁₂ 2 mg；维生素 C 11,000 mg；肌醇 4000 mg；烟酰胺 3200 mg；D-泛酸钙 1700 mg；叶酸 130 mg；D-生物素 15 mg；胆碱 30 mg；镁 800 mg；铁 4500 mg；锰 850 mg；碘 120 mg；铜 650 mg；锌 7000 mg；硒 35 mg；钴 100 mg

¹⁾ The addition ratio of premix is 1%, containing per kg: Vitamin A 300,000 IU; Vitamin D₃ 150,000 IU; Vitamin E 4000 mg; Vitamin K₃ 450 mg; Vitamin B₁ 800 mg; Vitamin B₂ 850 mg; Vitamin B₆ 650 mg; Vitamin B₁₂ 2 mg; Vitamin C 11,000 mg; Inositol 4000 mg; Nicotinamide 3200 mg; D-calcium pantothenate 1700 mg; Folic acid 130 mg; D-biotin 15 mg; Choline 30 mg; Mg 800 mg; Fe 4500 mg; Mn 850 mg; I 120 mg; Cu 650 mg; Zn 7000 mg; Se 35 mg; Co 100 mg

实验在西南大学水产学院循环水养殖室内进行，设 1 个对照组 A0 和 3 个实验组(A17、A33 和 A50)，每个组设 4 个重复，每个重复放规格大小一致、无病

无伤、经过 14 d 驯养后的黄颡鱼 30 尾。浸泡消毒并称重后，随机放入 16 个规格为 1.0 m×0.6 m×0.6 m 的循环水养殖缸中。每天按时饲喂 3 次(08:00、12:00 和 18:00)，日投喂率按照鱼体总重的 3%，并根据摄食情况微调。根据每 2 周称重数据调整投喂量。保持水体温度 28℃~31℃，pH 为 7.0~8.5，溶氧(DO)为 6.5~6.8 mg/L，每天记录饲喂量、水温、死亡等情况。

1.3 样品采集

饲喂 80 d 后禁食 24 h，捞取鱼缸中所有黄颡鱼进行计数称重，再随机捞取 5 尾鱼，立即置于-80℃冰箱中冷冻保存，用于全鱼体成分检测分析，每缸随机选取 3 尾鱼测量其体长、体宽和体重后，将其置于冰盘上解剖出内脏团称重，再分离出肝胰脏、胃、肠道，液氮处理后于-80℃冰箱中冷冻保存备用。

1.4 指标测定

1.4.1 生长性能测定

$$\text{存活率(survival rate, SR, \%)} = 100 \times \left(\frac{n}{N} \right);$$

$$\text{增重率(weight gain rate, WGR, \%)} = 100 \times (W_t - W_o) / W_o;$$

$$\text{特定生长率(specific growth ratio, SGR, \% / d)} = 100 \times [\ln(W_t) - \ln(W_o)] / t;$$

$$\text{饵料系数(feed coefficient ratio, FCR, \%)} = 100 \times M / (W_t - W_o);$$

$$\text{蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER, \%)} = 100 \times (\overline{W_t} - \overline{W_o}) / I;$$

$$\text{肥满度(condition factor, CF)} = 100 \times W_t / L_t^3;$$

$$\text{脏体比(viscerosomatic index, VSI, \%)} = 100 \times W_v / W_t;$$

$$\text{肝体比(hepatosomatic index, HSI, \%)} = 100 \times W_l / W_t。$$

式中，*n* 是实验结束时实验鱼数量；*N* 是实验开始时实验鱼数量；*M* 是总摄食量；*W_t* 是实验结束时实验鱼体质量(g)；*W_o* 是实验开始时实验鱼体质量(g)；*W_F* 为投饲量(g)； $\overline{W_t}$ 为实验结束后的平均重量(g)； $\overline{W_o}$ 为实验正式开始时的平均重量(g)；*f* 为实验结束后黄颡鱼体所含蛋白质质量(g)；*I* 为实验期间每条黄颡鱼总摄食饲料蛋白质量(g)；*L_t* 为黄颡鱼体长(cm)；*W_v* 为内脏重(g)；*W_l* 为肝胰脏重(g)。

1.4.2 鱼体成分测定 将冷冻保存的鱼体打成鱼糜后，再根据以下国家标准方法进行测定：

水分采用 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》直接干燥法；灰分采用 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》高温灰化法；粗蛋白采用 GB 5009.5-2016

《食品中蛋白质的测定》半微量凯氏定氮法；粗脂肪采用 GB 5009.6-2016《食品中粗脂肪的测定》索氏提取法。

1.4.3 肝脏抗氧化指标、胃肠消化酶活性指标测定

肝脏丙二醛(MDA)及胃肠道消化酶活性均使用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行测定,样品处理、试剂配制及测定方法均严格按照试剂盒说明书进行。

1.5 数据处理

实验数据采用平均值±标准差(Mean±SD)表示,使用 SPSS 20.0 对所有数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),当差异显著($P<0.05$)时,则采用 Duncan 进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生产性能及形体指标的影响

从表 5 可以看出,经过 80 d 的饲养实验后, A33

和 A50 组的 SR 低于其他组,但各组 SR 无显著差异($P>0.05$)。只有 A17 组的 FCR、SGR 和 PER 均与对照组无显著差异($P>0.05$)。A33 组除 WGR 显著高于对照组外($P<0.05$),其余各指标均与对照组无显著差异($P>0.05$)。A50 组的 FCR 显著高于其他组($P<0.05$),WGR、SGR 及 PER 显著低于其他组($P<0.05$)。大豆小肽蛋白部分替代鱼粉对黄颡鱼 CF 和 VSI 无显著影响($P>0.05$),但替代组 VSI 均高于对照组,且随着替代比例上升,CF 逐渐下降,HSI 逐渐上升($P>0.05$)。

2.2 大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼体成分的影响

大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼体成分的影响见表 6。大豆小肽蛋白替代黄颡鱼饲料中不同比例鱼粉后,随替代水平上升,其水分含量逐渐上升,但差异不显著($P>0.05$)。各组灰分无显著差异($P>0.05$)。各实验组粗蛋白含量均大于对照组,但无显著差异($P>0.05$)。随着替代水平上升,各组粗脂肪含量逐渐下降,且 A50 组显著小于对照组($P<0.05$)。

表 5 大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生产性能的影响

Tab.5 Effects of soy peptide protein on the growth performance of juvenile yellow catfish *P. fulvidraco*

指标 Index	A0	A17	A33	A50
初均重 AIW /g	3.65±0.12	3.65±0.08	3.66±0.03	3.69±0.07
末均重 AFW /g	16.69±2.04 ^b	16.28±0.86 ^b	17.21±1.41 ^b	13.97±1.36 ^a
成活率 SR /%	100.00±0.00	100.00±0.00	95.25±5.68	90.75±10.75
饵料系数 FCR	1.52±0.22 ^a	1.53±0.08 ^a	1.45±0.14 ^a	1.92±0.26 ^b
增重率 WGR /%	356.50±45.60 ^b	345.25±13.60 ^b	370.75±36.85 ^c	278.25±30.32 ^a
特定生长率 SGR /%	1.89±0.13 ^b	1.87±0.04 ^b	1.93±0.10 ^b	1.66±0.11 ^a
蛋白质效率 PER /%	168.70±25.28 ^b	161.76±8.27 ^b	172.83±17.84 ^b	132.90±16.63 ^a
脏体比 VSI /%	8.57±0.28	9.60±0.33	8.68±0.31	9.31±0.38
肥满度 CF	1.95±0.05	1.96±0.06	1.91±0.05	1.86±0.05
肝体比 HSI /%	1.47±0.15	1.85±0.10	1.78±0.08	1.70±0.07

注:表中同行数据肩标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同

Note: The different letters of the shoulder of the peer data indicate significant difference ($P<0.05$). The same as below

表 6 大豆小肽蛋白对黄颡鱼幼鱼全鱼营养成分的影响(%干物质)

Tab.6 Effects of soy peptide protein on the whole-body and muscle compositions of juvenile yellow catfish *P. fulvidraco* (% dry matter)

指标 Index	A0	A17	A33	A50
水分 Moisture	72.07±0.54	72.36±0.55	73.36±0.51	74.39±0.56
灰分 Ash	7.60±0.41	7.82±0.26	7.60±0.14	7.53±0.34
粗蛋白 Crude protein	53.32±1.16	53.60±0.66	57.38±1.37	54.84±1.14
粗脂肪 Crude lipid	30.22±0.91 ^b	28.92±0.87 ^b	27.93±0.78 ^b	25.60±1.42 ^a

2.3 大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼消化酶活性的影响

由表 7 可知, 大豆小肽蛋白替代一定比例鱼粉使黄颡鱼胃蛋白酶活性下降, 但无显著影响

($P>0.05$), 肠脂肪酶和肠淀粉酶活性显著升高($P<0.05$), 各实验组胃淀粉酶活性均高于对照组, 其中, A33 和 A50 显著高于对照组($P<0.05$), A33 和 A50 组胃脂肪酶活性显著高于对照组($P<0.05$)。

表 7 大豆小肽蛋白对黄颡鱼幼鱼消化酶活性的影响

Tab.7 Effects of soy peptide protein on digestive enzymes of juvenile yellow catfish *P. fulvidraco* /(U·mg⁻¹ prot)

指标 Index	A0	A17	A33	A50
肠脂肪酶 Intestinal lipase	234.56±15.29 ^a	277.01±12.34 ^b	252.19±10.46 ^b	268.82±8.56 ^b
肠淀粉酶 Entero-amylase	0.39±0.08 ^a	0.69±0.16 ^b	0.81±0.23 ^b	0.70±0.33 ^b
胃蛋白酶 Pepsase	51.77±6.87	39.34±2.98	40.17±1.64	45.31±3.17
胃脂肪酶 Gastric lipase	319.14±11.36 ^a	315.38±18.23 ^a	344.50±10.11 ^b	361.59±8.42 ^b
胃淀粉酶 The stomach of amylase	1.37±0.65 ^a	1.66±0.13 ^{ab}	2.29±0.17 ^{bc}	2.99±0.81 ^{bc}

2.4 大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼肝脏抗氧化酶活性的影响

由图 2 可知, 大豆小肽蛋白替代鱼粉对肝脏 MDA 含量无显著影响($P>0.05$), 随着替代比例上升, MDA 含量呈现先下降后上升的趋势。

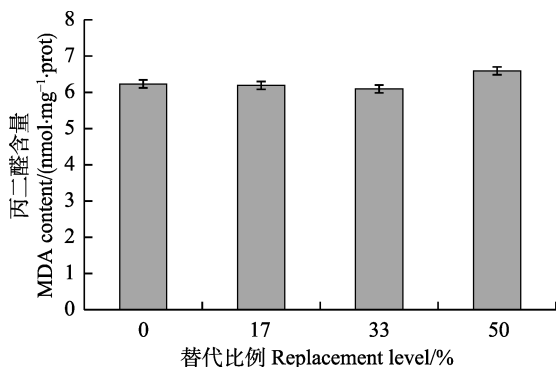


图 2 大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼 MDA 的影响
Fig.2 Effects of replacement fish meal by soy peptide protein on MDA content of juvenile yellow catfish *P. fulvidraco*

3 讨论

3.1 大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼生长性能和形态学指标的影响

本研究中, A0、A17 和 A33 组的 SGR、PER 及 FCR 无显著差异, 但当小肽替代量达 50% 时, 其 WGR、SGR 及 PER 显著低于其他 3 组, 其 FCR 显著高于其他组。说明大豆小肽蛋白可以替代少于 50% 的鱼粉而对黄颡鱼生长不产生影响, 更高替代水平则会对黄颡鱼生长有抑制作用。该结果与於叶兵(2008)在异育银鲫、唐武斌等(2008)在黄颡鱼中的研究结果相似, 即小肽可以部分替代鱼粉而不影响黄颡鱼生长。

小肽的转运机制被发现后, 国内外研究者对其转运方式等进行了详细研究, 发现小肽能作为氮源, 增加其他氨基酸的沉积, 消除游离氨基酸之间的竞争(Jrke *et al.*, 1992), 并且小肽在肠道中可直接被吸收(曲永洵, 1996), 从而加速动物生长, 提高其生长性能。但小肽的吸收会受到本身添加量的影响(袁书林等, 2002), 即当小肽添加达到一定含量时, 会抑制自身的作用, 进而限制了其利用率。此外, 植物蛋白源因氨基酸组成不平衡、适口性较差而限制鱼粉替代比例(朱筛成等, 2019)。大豆小肽蛋白是将大豆通过发酵和酶解技术而制成, 虽然比发酵豆粕和酶解豆粕具有更好的性能, 但其与动物蛋白中所含如牛磺酸等小分子物质含量的差别可能会影响其替代量(Aksnes *et al.*, 2006)。CF、HSI 和 VSI 是反映鱼体肥瘦情况和生长状况的重要指标(杜学海等, 2019), 降低 VSI, 提高 CF, 对水产生产有重要意义。本研究中, 实验组 VSI 均高于对照组, 随替代比例上升, CF 逐渐下降, HSI 逐渐降低。这可能是由于植物蛋白替代鱼粉所产生的不利因素(Yue *et al.*, 2008), 随着植物蛋白含量上升, 肝脏中脂肪蓄积, 从而引起 HSI 上升(石西等, 2014)。

3.2 大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼体成分的影响

体成分能够直接反映动物生长状态, 并且间接体现出饲料质量。优质蛋白源更易被机体所利用, 且对体蛋白质和水分影响不大(李二超等, 2009)。在本研究中, 实验组水分含量和粗蛋白含量与对照组差异不显著, 说明大豆小肽蛋白可以作为鱼粉替代源被黄颡鱼消化吸收。并且粗蛋白质的含量与 WGR 有一定的关联性, 这与 Kim 等(1995)在鲤鱼(*Cyprinus carpio*)的研究结果一致, 可能是由于小肽可直接被机体吸收, 用于加速蛋白质合成(陆丞等, 2015)。随替代比例上

升, 鱼体脂肪含量逐渐降低, 且均低于对照组, 这与张改改等(2019)对大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)、姜柯君(2013)对星斑川鲮(*Platichthys stellatus*)的研究结果一致。大豆肽有促进脂肪和能量代谢的作用, 并抑制体内脂肪沉积(侯丽, 2012)。

3.3 大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼消化酶活性的影响

鱼体消化酶活性能反映鱼体消化能力, 进而反映出饲料营养水平以及消化道发育状态(张琴等, 2014)。雷光高等(2008)研究表明, 在饲料中添加适宜水平小肽能提高牙鲮(*Platichthys stellatus*)幼鱼肠道淀粉酶活性。许培玉等(2005)研究表明, 添加适量小肽提高凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)消化酶活性。在本研究中, 各实验组的肠脂肪酶, 淀粉酶活性均显著高于对照组, 这与上述研究结果一致。添加小肽不仅能够加速物质消化, 并且能够维持消化道中黏膜的正常结构和功能, 进而促进消化酶的分泌(成艳波等, 2017)。本研究中, 胃蛋白酶含量与对照组无差异, 这一结果与赵书燕等(2016)在添加小肽对石斑鱼(*Epinephelus akaara*)的研究结果一致。并且胃淀粉酶、胃脂肪酶活性均高于对照组, 这一结果与 Infante 等(1997)在黑鲈的研究一致, 可能是大豆小肽蛋白中部分小肽能够直接刺激肠道激素受体进而促进酶的分泌(陈路等, 2004), 及其中的酶解蛋白肽能够给消化酶的合成提供完整的氮架(丁辉景等, 2007)。因此, 大豆小肽蛋白也具有提高消化酶的能力。

3.4 大豆小肽蛋白替代鱼粉对黄颡鱼肝脏抗氧化功能的影响

MDA 作为脂质过氧化的最终产物, 其含量能够反映机体中脂质过氧化程度和细胞受损情况, 其含量上升不利于机体健康(Mourente *et al.*, 1999)。本研究中, 大豆小肽蛋白替代鱼粉后不影响黄颡鱼肝脏丙二醛含量, 说明大豆小肽蛋白能够提高机体抗氧化活性, 进而提高机体对抗应激能力。这与张改改等(2019)使用酶解豆粕在大口黑鲈中的研究结果一致, 可能与大豆小肽中具有抗氧化性的功能小肽有关(邓成萍等, 2006)。

综上所述, 大豆小肽蛋白是大豆通过发酵和酶解的优质蛋白源, 大豆小肽蛋白替代鱼粉水平不超过33%时, 对黄颡鱼生产性能、形态学指标、体成分、消化酶活性和肝脏抗氧化功能无不利影响, 推荐在实际生产中使用该水平替代鱼粉。

参 考 文 献

- AKSNES A, HOPE B, ALBREKTSEN S. Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high plant protein diets. II: Flesh quality, absorption, retention and fillet levels of taurine and anserine. *Aquaculture*, 2006, 261(1): 320-326
- CHEN L C. Review of global fishmeal market and analysis of supply and demand. *China Fisheries*, 2018, 511(6): 67-71 [陈丽纯. 全球鱼粉市场回顾与供求现状分析. *中国水产*, 2018, 511(6): 67-71]
- CHEN L, ZHANG R J. Bioactive peptides (or oligopeptides) feed additive: Research and applications. *Acta Zoonutrientia Sinica*, 2004, 16(2): 12-14 [陈路, 张日俊. 生物活性肽(或寡肽)饲料添加剂的研究与应用. *动物营养学报*, 2004, 16(2): 12-14]
- CHENG Y B, ZHANG Y X, DONG Z Y, *et al.* Effects of dietary replacement of fish meal and soy protein by wheat gluten on plasma biochemical indices and liver anti-oxidative indices of *Nibeia japonica* and *Sparus macrocephalus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(3): 106-114 [成艳波, 张月星, 董智勇, 等. 小麦蛋白替代鱼粉及大豆蛋白对日本黄姑鱼(*Nibeia japonica*)和黑鲷(*Sparus macrocephalus*)血清生化指标及肝脏抗氧化指标的影响. *渔业科学进展*, 2017, 38(3): 106-114]
- DAI Y Y, YUAN Y M, YUAN Y, *et al.* Analysis on production status and development trend of *Pelteobagrus fulvidraco* industry in China. *Modern Business Trade Industry*, 2019(23): 23-24 [代云云, 袁永明, 袁媛, 等. 我国黄颡鱼产业生产现状与发展趋势分析. *现代商贸工业*, 2019(23): 23-24]
- DENG C P, XUE W T, SUN X L, *et al.* Functional properties of different molecular weight segments of soybean peptides. *Food Science*, 2006, 27(5): 109-112 [邓成萍, 薛文通, 孙晓琳, 等. 不同分子量段大豆多肽功能特性的研究. *食品科学*, 2006, 27(5): 109-112]
- DENG Y S. Effects of small plant active peptides added to feed on the growth of juvenile *Acipenser schrenckii*. *Inland Aquatic Product*, 2004, 29(10): 43 [邓岳松. 饲料中添加植物活性小肽对史氏鲟稚鱼生长的影响. *内陆水产*, 2004, 29(10): 43]
- DING H J, LIU G, ZHANG L. Research progress on absorption and utilization of small peptides in monogastric animals. *Feed Research*, 2007(4): 29-32 [丁辉景, 刘刚, 张力. 单胃动物小肽吸收利用的研究进展. *饲料研究*, 2007(4): 29-32]
- DU H X, ZHANG Y W, ZHOU Y M. Effects of chitosan-oligosaccharide on biological parameters, muscle composition and plasma biochemical parameters of *Megalobrama amblycephala*. *Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2019(10): 20-24 [杜学海, 张严伟, 周岩民. 低聚壳聚糖对团头鲂形体指标、肌肉成分及血浆指标的影响. *现代畜牧兽医*, 2019(10):

- 20–24]
- HOU L. Research progress of soybean peptides and sports medicine. *Gansu Medical Journal*, 2012, 31(12): 907–909 [侯丽. 大豆多肽与运动医学研究进展. *甘肃医药*, 2012, 31(12): 907–909]
- INFANTE Z J L, CAHU C L, PERES A. Partial substitution of Di- and Tripeptides for native proteins in sea bass diet improves *Dicentrarchus labrax* development. *Journal of Nutrition*, 1997, 127(4): 608–614
- IWASAKI H, EMI M, EZURA Y, *et al.* Association of a Trp16Ser variation in the gonadotropin releasing hormone signal peptide with bone mineral density, revealed by SNP-dependent PCR typing. *Bone*, 2003, 32(2): 185–190
- JIANG K J. Effects of dietary small peptides levels on growth performance, muscle quality, physiological and biochemical indexes in juvenile starry flounder. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2013, 22–26 [姜柯君. 小肽对星斑川鲮(*Platichthys stellatus*)幼鱼生长、肌肉品质和生理生化指标的影响. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2013, 22–26]
- JRKE W, MATTHEWS J C, DIRIENZO D B, *et al.* Peptide absorption: A review of current concepts and future perspectives. *Journal of Animal Science*, 1992, 70(10): 3248–3257
- KIM J D, KIM K S, SONG J S, *et al.* Effects of dietary full-fat soybean levels on growth performance and feed utilization and phosphorus excretion of carp (*Cyprinus carpio*). *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 1995, 8(6): 587–594
- LEI G G, YE J D, SONG B B, *et al.* Effects of small peptides on the growth performance, digestive enzyme activities and oxidation resistance of *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Aquaculture*, 2008, 29(3): 1–4 [雷光高, 叶继丹, 宋奔奔, 等. 小肽对牙鲆幼鱼的生长、消化酶活性及肝脏抗氧化能力的影响. *水产养殖*, 2008, 29(3): 1–4]
- LI C C, HUANG W W, JIN M, *et al.* Effects of fish meal replacement with soybean protein concentrate on growth performance, feed utilization and digestive enzyme and antioxidant enzyme activities of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(1): 375–386 [李晨晨, 黄文文, 金敏, 等. 大豆浓缩蛋白替代鱼粉对黄颡鱼生长、饲料利用、消化酶和抗氧化酶活性的影响. *动物营养学报*, 2018, 30(1): 375–386]
- LI E C, CHEN L Q, GU S Z, *et al.* A review on methodology for evaluation of an aquaculture dietary protein source. *Marine Sciences*, 2009, 33(7): 113–117 [李二超, 陈立侨, 顾顺樟, 等. 水产饲料蛋白源营养价值的评价方法. *海洋科学*, 2009, 33(7): 113–117]
- LIU P, YE J Y, SHAO X P, *et al.* Effects of dietary replacement of fish meal by fermented soybean meal on growth performance and body composition of juvenile black carp (*Mylopharyngodon piceus*). *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2014, 33(1): 72–78 [刘沛, 叶金云, 邵仙萍, 等. 饲料中小肽豆粕替代鱼粉对青鱼幼鱼生长及其体组成的影响. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2014, 33(1): 72–78]
- LU Z, YING C Y, ZHENG B, *et al.* Research progress on physiological function of plant peptide and its application in feed. *China Feed*, 2015(12): 30–32 [陆蒸, 应朝阳, 郑斌, 等. 植物肽的生理功能及其在饲料中的应用研究进展. *中国饲料*, 2015(12): 30–32]
- LUO J X, HUANG W W, YUAN Y, *et al.* Effects of fish meal replacement with poultry by-product meal on growth performance, feed utilization, digestive enzyme activities and antioxidant capacity of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(11): 141–150 [罗嘉翔, 黄文文, 袁野, 等. 鸡肉粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、饲料利用、消化酶活性及抗氧化能力的影响. *动物营养学报*, 2017, 29(11): 141–150]
- LUO X, LUO Z, HUANG C, *et al.* Effect of substituting *Chlorella* sp. for regular fishmeal on growth, body composition, hepatic lipid metabolism and histology in crucian *Carp carassius auratus*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 39(3): 62–70 [石西, 罗智, 黄超, 等. 小球藻替代鱼粉对鲫生长、体组成、肝脏脂肪代谢及其组织学的影响. *水生生物学报*, 2014, 39(3): 62–70]
- MA S, LI X M. Research on the nutritional effect of small peptides on aquatic animals. *Heilongjiang Fisheries*, 2013(4): 16–18 [马嵩, 李明新. 小肽对水生动物的营养作用探讨. *黑龙江水产*, 2013(4): 16–18]
- MCLEAN E, RØNSHOLDT B, STEN C, *et al.* Gastrointestinal delivery of peptide and protein drugs to aquacultured teleosts. *Aquaculture*, 1999, 177(1/2/3/4): 200–247
- MOURENTE G, TOCHER D R, DIAZ E, *et al.* Relationships between antioxidants, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation products during early development in *Dentex dentex* eggs and larvae. *Aquaculture*, 1999, 179(1/2/3/4): 309–324
- QU Y X. Characteristics and application of soybean peptide. *China Oils and Fats*, 1996, 21(2): 3–5 [曲永洵. 大豆肽的特性及其应用. *中国油脂*, 1996, 21(2): 3–5]
- TANG W B, ZHU B K. Effects of source (R) peptide replacing fish meal on growth and feed utilization of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2008, 20(2): 133–139 [唐武斌, 朱邦科. 炼生肽(R)替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长及饲料利用的影响. *动物营养学报*, 2008, 20(2): 133–139]
- WANG C A, XU Q Y, XU H, *et al.* Effects of replacing fish meal with small peptides on growth and serum indices of *Acipenser baerii* Brandt. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2010, 25(8): 55–58 [王常安, 徐奇友, 许红, 等. 小肽替代鱼粉对西伯利亚鲟生长和血液生化指

- 标影响. 中国粮油学报, 2010, 25(8): 55–58]
- WEN Y H, CAO J M, HUANG Y H, *et al.* Effects of fish meal replacement by maggot meal on growth performance, body composition and plasma biochemical indexes of juvenile yellow catfish (*Peltobagrus fulvidraco*). Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(1): 171–181 [文远红, 曹俊明, 黄燕华, 等. 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、体组成和血浆生化指标的影响. 动物营养学报, 2013, 25(1): 171–181]
- XU P Y, ZHOU H Q. Effects of small peptides on the protease and amylase activities of *Litopenaeus vannamei*. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(2): 133–137 [许培玉, 周洪琪. 小肽制品对凡纳滨对虾蛋白酶和淀粉酶活力的影响. 上海海洋大学学报, 2005, 14(2): 133–137]
- YANG Y O, ZHANG Y, PAN Z, *et al.* The effect of soybean meal replacing different protein level of fish meal to *Pelteobagrus fulvidraco* Richardson growth, ATP enzyme activity and immunity. Feed China, 2006(15): 43–45 [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. 饲料广角, 2006(15): 43–45]
- YAO Q H, YAN S A, GUO Q X, *et al.* Effect of feather peptide meal on growth, body composition, and digestive enzymes of darkbarbel catfish (*Pelteobagrus vadhelli*). Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2016, 31(6): 580–585 [姚清华, 颜孙安, 郭清雄, 等. 羽毛肽粉对瓦氏黄颡鱼稚鱼生长、体成分和消化酶活性的影响. 福建农业学报, 2016, 31(6): 580–585]
- YU Y B. Effect of small peptide replacement of fish meal on productivity of crucian carp and its composition. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(36): 171–173 [於叶兵. 小肽替代鱼粉对异育银鲫生产性能及鱼体组成的影响. 安徽农业科学, 2008, 36(36): 171–173]
- YUAN S L, CHEN H Y, YANG M J, *et al.* Research progress of small peptide nutrition. China Feed, 2002(8): 37–30 [袁书林, 陈海燕, 杨明君, 等. 小肽营养研究进展. 中国饲料, 2002(8): 37–30]
- YUE Y R, ZHOU Q C. Effect of replacing soybean meal with cottonseed meal on growth, feed utilization, and hematological indexes for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. Aquaculture, 2008, 284(1/2/3/4): 185–189
- ZHANG G G, LI X, CAI X B, *et al.* Effects of enzymatic hydrolyzed soybean meal on growth performance, liver function and metabolism of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(5): 1001–1012 [张改改, 李向, 蔡修兵, 等. 酶解豆粕替代鱼粉对大口黑鲈的生长性能、消化酶活性、肝脏功能及代谢的影响. 水生生物学报, 2019, 43(5): 1001–1012]
- ZHANG Q, XU M Z, TONG T, *et al.* Effect of different carbohydrate sources on daily weight growth and digestive enzyme activities of larval peanut worm (*Sipunculus nudus*). South China Fisheries Science, 2014, 10(1): 21–26 [张琴, 许明珠, 童潼, 等. 饲料中不同糖源对方格星虫稚虫日增重和消化酶的影响. 南方水产科学, 2014, 10(1): 21–26]
- ZHAO S Y, LIN H Z, HUANG Z, *et al.* Effect of small peptide supplementation at different protein levels on growth performance, digestive enzymes activities, serum biochemical indices and antioxidant abilities of grouper (*Epinephelus akaara*). South China Fisheries Science, 2016, 12(3): 15–23 [赵书燕, 林黑着, 黄忠, 等. 不同蛋白质水平下添加小肽对石斑鱼生长、消化酶、血清生化 and 抗氧化能力的影响. 南方水产科学, 2016, 12(3): 15–23]
- ZHU S C, LONG X W, XIANG C L, *et al.* Effects of dietary fishmeal replacement with protein mixtures on growth performance, physiological metabolism and biochemical composition of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). South China Fisheries Science, 2019, 15(2): 85–94 [朱筛成, 龙晓文, 向朝林, 等. 复合蛋白源替代鱼粉对中华绒螯蟹幼蟹生长性能、生理代谢和生化组成的影响. 南方水产科学, 2019, 15(2): 85–94]

(编辑 陈 辉)

Effects of Fish Meal Replacement with Soy Peptide Protein on the Growth Performance, Digestive Enzymes, and Antioxidant Capacity of Juvenile Yellow Catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)

JING Tingsen¹, ZHOU Mingrui¹, LI Zhe¹, LI Yulin¹, SUN Wenbo¹, LIANG Juntian¹,
WANG Xinliang¹, YE Hua¹, CHENG Tingshui²①, LUO Hui¹①

(1. College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 402460, China;

2. Beijing E-feed & E-vet Network Co., Ltd., Beijing 100029, China)

Abstract The aim of this study was to investigate the effects of fishmeal replacement by soy peptide protein on the growth performance, body composition, digestive enzymes activity, and antioxidant capacity of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). The control group (A0) received 30% fishmeal, and the experimental groups received soy peptide protein substitutes at 17%, 33%, and 50% (A17, A33, and A50), and four kinds (A0, A17, A33, and A50) of iso-nitrogen compound feeds were prepared. There were 4 replicates and 30 juvenile yellow catfish per group [average body weight: (3.7±0.6) g], and the experiment ran for 80 days. The results showed that there were no significant differences in the growth performance of A17 and the control group ($P>0.05$). The weight gain rate of A33 was significantly higher than the control group ($P<0.05$), but there were no other differences ($P>0.05$). In A50, the feed coefficient ratio was significantly higher than the other groups ($P<0.05$), while the weight gain rate, specific growth ratio, and protein efficiency ratio were significantly lower than the other groups ($P<0.05$). There were no differences in the viscerosomatic and hepatosomatic indexes ($P>0.05$). Soy peptide protein substitution did not affect the contents of water, ash, or crude protein in yellow catfish ($P>0.05$). However, when the level of soy peptide protein increased from 33% to 50%, the crude fat content decreased significantly ($P<0.05$). The activities of intestinal lipase and amylase were significantly higher in the treatment groups ($P<0.05$), and the activity of gastric amylase in A33 and A50 was significantly higher than the control group ($P<0.05$). Soy peptide protein substitution did not affect malondialdehyde (MDA) activity in the liver. In conclusion, when fishmeal replacement was less than 33%, the growth performance of yellow catfish increased and there were no adverse effects on the antioxidation capacity of the liver. This is the first study to explore the effects of soy peptide protein replacement on *P. fulvidraco* growth and provides a reference for feed preparation and soy peptide protein use.

Key words Soy peptide protein; *Pelteobagrus fulvidraco*; Growth performance; Antioxidant capacity

① Corresponding author: LUO Hui, E-mail: luohui2629@126.com; CHENG Tingshui, E-mail: cts@e-feed.com.cn