

日粮中鱼蛋白水解物对黄颡鱼生长、体成分和血清生理指标的影响

吴代武¹, 何杰¹, 叶元土^{1*}, 蔡春芳¹,
吴萍¹, 罗其刚¹, 浦琴华²

(1. 苏州大学基础医学与生物科学学院, 江苏苏州 215123;
2. 浙江一星实业股份有限公司, 浙江海盐 314300)

摘要: 为了探讨鱼蛋白水解物对黄颡鱼生产性能的影响, 以日本鳊粉为对照, 以实用型黄颡鱼饲料配方模式为基础开展实验: ①以30.5%鱼粉为对照(FM), 在相同配方模式下, 以6%鱼蛋白水解物(MPH6)替代20%的鱼粉; ②以30.5%鱼粉为对照(FM), 在无鱼粉日粮中分别添加3%(FPH3)、6%(FPH6)、12%(FPH12)鱼蛋白水解物; 共设计5组等氮等能实验日粮, 在池塘网箱中养殖黄颡鱼[初始体质量(30.08±0.35)g] 60 d。结果显示: 与FM相比, FPH12在SGR、FCR、PRR和FRR方面均无显著差异, 而MPH6、FPH3、FPH6组SGR降低了15.45%~24.39%, FCR升高了32.14%~42.86%, MPH6、FPH6差异显著, 在PRR和FRR方面, MPH6、FPH3、FPH6组PRR降低了21.11%~27.78%, MPH6组FRR降低了41.51%; 全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分各组间差异不显著, FPH3、FPH6、FPH12肌肉多种游离氨基酸水平显著高于FM, 其中Thr、Val、His与其在日粮中的水平显著相关; FPH6组HSI显著低于FM, 鱼蛋白水解物对CP、VSI、肠体比的影响不显著; 血清AST、ALT、HDL、LDL、TP、CHOL、TG无显著差异, FPH3组ALB显著低于FM。研究表明: 黄颡鱼日粮中, 12%鱼蛋白水解物(干物质)与30.5%鱼粉在生长速度、饲料效率、血清生理指标等方面具有一定的等效性; 过高的植物蛋白日粮影响了黄颡鱼的生产性能; 饲喂鱼蛋白水解物日粮使黄颡鱼肌肉游离氨基酸的含量升高, 特别是呈味氨基酸的含量增加。

关键词: 黄颡鱼; 鱼蛋白水解物; 鱼粉; 生长; 氨基酸

中图分类号: S 963.5

文献标志码: A

传统的鱼蛋白水解物是在水产品加工的副产品(如鱼骨、内脏等)中加入蛋白水解酶制得的, 营养成分因原料选择不同而变化较大^[1]。鱼蛋白水解物的养殖效果已得到初步研究, 它能有效促进真赤鲷(*Pagrus major*)^[2-3]、大西洋鲑(*Salmo salar*)^[4]的生长, 但是对牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[5]、大西洋鳕(*Gadus morhua*)^[6]、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[7]的生长尚无明显作用。日粮中鱼蛋白水解物水平需要保持在合适范围, 在高植物蛋白中添加5%水解蛋白物, 虹鳟(*Oncor-*

hynchus mykiss)^[8]的生长受阻, 当水解蛋白物添加量从10%升高到19%, 舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)生长也会降低^[9]。

鱼的肝胰脏、肠道等组织中含有丰富的内源蛋白酶^[10], 能酶解自身蛋白质^[11], 如果以冰冻日本鳊(*Engraulis japonicus*)为原料, 经粉碎、酶解得到鱼蛋白水解物, 直接用于水产饲料, 可有效保持鱼蛋白水解物新鲜度和鱼体特殊活性成分, 这在部分海水鱼类饲料、尤其是肉食性鱼类中得到初步的应用, 取得很好的养殖效

收稿日期: 2016-07-16 修回日期: 2016-09-19

资助项目: 国家自然科学基金(31172417)

通信作者: 叶元土, E-mail: yeyt@suda.edu.cn

果。其主要特点是维护原料鱼的蛋白质和油脂新鲜度、保持海水鱼类原料对养殖动物生长的优势,同时也增加了饲料的诱食效果。

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)隶属鲶形目(Siluriformes)、鲿科(Bagridae)、黄颡鱼属(*Pelteobagrus*),是一种优质名贵经济鱼类,偏肉食性,人工养殖对鱼粉蛋白依赖度较高。随着鱼粉资源日渐衰竭,鱼粉在饲料中的添加量受到了限制,急需找到办法缓解这一危机。日粮中减少鱼粉用量会降低鱼类生长^[12],植物蛋白缺乏游离氨基酸,在一定程度上影响了替代鱼粉的效果,而鱼蛋白水解物游离氨基酸水平远高于鱼粉^[13],日粮中少量的鱼蛋白水解物即可满足游离氨基酸供应,同时鱼蛋白水解物避免了鱼粉高温蒸煮、烘干等生产环节,油脂的氧化程度较低,但挥发性盐基氮高^[13],其对黄颡鱼生长的作用有待验证。本实验用冰冻日本鳀制备鱼蛋白水解物,在无鱼粉或高鱼粉日粮中添加鱼蛋白水解物,从氨基酸组成上分析其对黄颡鱼生长、体成分和血清生理指标的影响,评价鱼蛋白水解物的营养价值,为鱼蛋白水解物在水产动物营养研究、饲料生产等方面提供理论依据,以期利用鱼蛋白水解物开发更适合饲料需求的产品。

1 材料与方法

1.1 实验原料及日粮制备

实验用鱼粉、冰冻日本鳀来自荣成市海圣饲料有限公司,鱼蛋白水解物以冰冻日本鳀为原料,实验室制备^[13],用粉碎机低温(4℃)绞碎,55℃恒温酶解9h,于-20℃冷冻保存备用。对鱼蛋白水解物、鱼粉的营养组成进行实测分析(表1)。

本实验采用黄颡鱼实用配方模式进行配方设计。①以30.5%鱼粉为对照,以鱼蛋白水解物(干物质)替代20%的鱼粉设计实验饲料MPH6,研究在常规黄颡鱼饲料中,鱼蛋白水解物替代20%鱼粉后的养殖效果;②以30.5%鱼粉为对照,在无鱼粉的日粮中分别添加3%(FPH3)、6%(FPH6)和12%(FPH12)的鱼蛋白水解物(干物质),以植物蛋白、猪肉粉、血球粉等为主要蛋白质满足黄颡鱼的营养需求,在无鱼粉日粮中,研究以鱼蛋白水解物提供鱼粉来源的生物胺、牛磺酸、

表1 鱼粉、鱼蛋白水解物化学组成(干物质基础)

项目 items	鱼蛋白水解物 fish protein hydrolysate	鱼粉 fish meal
水分 moisture	75.81	6.14
粗蛋白 crude protein	59.51	67.84
粗脂肪 crude fat	18.35	10.05
灰分 ash	14.21	17.49
磷 phosphorus	2.08	2.13

不饱和脂肪酸等鱼粉特殊有效成分(包括未知生长因子等)满足黄颡鱼生理代谢的需要,在这个模式下是否可以获得理想的生长效果。实验配方中,以豆油平衡各实验饲料中脂肪(能量)含量,以磷酸二氢钙提供磷源保持各实验配方总磷含量,以米糠粕保持实验饲料配方比例平衡。在FM与MPH6配方之间各主要原料配比保持基本一致,在FM与FPH3、FPH6、FPH12配方之间,大豆浓缩蛋白、棉籽蛋白、血球粉等按照一定比例变化,以保持各实验组饲料的氨基酸平衡性。玉米蛋白粉作为黄颡鱼饲料色素来源在各配方中保持一致。

实验配方以及营养成分实测值见表2,各組间蛋白质、脂肪、总磷、能量水平无显著差异。原料粉碎后过60目筛,混匀加适量水搅拌,华祥牌HKj200制粒机加工制成直径为1.5 mm,长3~5 mm的颗粒,风干后,-20℃密封保存。

用Sykam S-433D氨基酸分析仪测定得到各实验组饲料的水解氨基酸、游离氨基酸的结果见表3。鱼蛋白水解物会引起日粮多种氨基酸、生物胺含量变化($P<0.05$),高植物蛋白组游离氨基酸水平与其鱼蛋白水解物添加量正相关,FPH12多种游离必需氨基酸显著高于其他实验组($P<0.05$),FPH12腐胺为30.0 mg/kg,是FM的15.51%,FPH3、FPH6、FPH12组胺水平平均低于3.0 mg/kg,而FM、MPH6分别为322.0、229.0 mg/kg。

1.2 实验鱼与养殖管理

养殖实验在浙江一星养殖基地池塘网箱中进行,在面积为40 m×60 m的池塘中设置实验网箱(规格为1.0 m×1.5 m×1.5 m),以海盐县长山河为水源,池塘中设置1台1.5 kW的叶轮式增氧机,每天运行12 h。

表 2 实验日粮原料组成与营养水平

Tab. 2 composition and nutrient levels of the experimental diets

原料/% ingredients	组别 groups				
	FM	MPH6	FPH3	FPH6	FPH12
细米糠 fine rice bran	12.8	13.3	11.1	10.8	13.0
米糠粕 rice bran meal	0.0	0.0	5.6	6.6	6.0
豆粕 soybean meal	16.5	16.5	0.0	0.0	0.0
大豆浓缩蛋白 soy protein concentrate	0.0	0.0	19.0	18.0	16.0
棉粕 cottonseed meal	9.0	9.0	0.0	0.0	0.0
棉籽蛋白 cottonseed protein	0.0	0.0	19.0	18.0	16.0
玉米蛋白粉 corn gluten meal	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0
血球粉 blood powder	1.5	1.5	3.5	2.5	2.0
鱼粉 fish meal	30.5	24.8	0.0	0.0	0.0
鱼蛋白水解物 ¹ fish protein hydrolysate	0.0	6.0	3.0	6.0	12.0
猪肉粉 pork powder	3.0	3.0	8.5	8.5	7.0
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	2.9	2.8	3.8	3.6	3.2
沸石粉 zeolite powder	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
小麦 wheat	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
豆油 soybean oil	2.8	2.1	4.5	4.0	2.8
预混料 ² premix	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
合计 total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
营养水平(干物质基础) nutrient levels (DM basis)					
粗蛋白/% crude protein	40.23	40.23	40.63	40.41	40.35
总磷/% total phosphorus	1.87	1.86	1.85	1.85	1.85
灰分/% ash	8.27	8.23	5.45	5.78	6.36
粗脂肪/% crude lipid	8.27	8.22	8.25	8.26	8.27
能量/(MJ/kg) energy	19.72	19.36	19.94	19.59	19.52

注: 1. 鱼蛋白水解物以干物质参与配方计算; 2. 预混料为每千克日粮提供: 铜 25 mg, 铁 640 mg, 锰 130 mg, 锌 190 mg, 碘 0.21 mg, 硒 0.7 mg, 钴 0.16 mg, 镁 960 mg, 钾 0.5 mg, 维生素 A 8 mg, 维生素 B₁ 8 mg, 维生素 B₂ 8 mg, 维生素 B₆ 12 mg, 维生素 B₁₂ 0.02 mg, 维生素 C 300 mg, 泛酸钙 25 mg, 烟酸 25 mg, 维生素 D₃ 3 mg, 维生素 K₃ 5 mg, 叶酸 5 mg, 肌醇 100 mg

Notes: 1. Calculation of fish protein hydrolysate in the formula with dry matter. 2. provided the following per kg of diets: Cu 25 mg, Fe 640 mg, Mn 130 mg, Zn 190 mg, I 0.21 mg, Se 0.7 mg, Co 0.16 mg, Mg 960 mg, K 0.5 mg, VA 8 mg, VB₁ 8 mg, VB₂ 8 mg, VB₆ 12 mg, VB₁₂ 0.02 mg, VC 300 mg, calcium pantothenate 25 mg, niacin 25 mg, VD₃ 3 mg, VK₃ 5 mg, folacin 5 mg, inositol 100 mg

选取浙江一星养殖基地池塘培育的1冬龄、规格整齐、健康, 体质量为(30.08±0.35) g的黄颡鱼种300尾, 随机分成5组, 每组设3个重复(n=3), 每网箱20尾, 实验鱼网箱驯化适应两周后开始正式投喂。日投喂2次(07:00、16:00), 日投喂量为鱼体质量的3%~5%, 每10天估算1次鱼体增重量并调整投喂量。正式实验从2015年6月

2日—7月30日, 共计60 d, 养殖期间水温24.1~36.0 °C, 溶解氧浓度>7.0 mg/L, pH 8.0~8.4, 氨氮浓度<0.10 mg/L, 亚硝酸盐浓度<0.005 mg/L, 硫化物浓度<0.05 mg/L。

1.3 样品采集

正式养殖实验开始前, 从分组剩余的黄颡

表3 日粮氨基酸和部分生物胺组成

Tab. 3 amino acids and biogenic amines composition of experimental diets (DM basis)

	组别 groups									
	水解氨基酸/(g/100 g) hydrolytic amino acids					游离氨基酸/(g/kg) free amino acids				
	FM	MPH6	FPH3	FPH6	FPH12	FM	MPH6	FPH3	FPH6	FPH12
赖氨酸 Lys	1.92 ^a	1.91 ^a	1.78 ^b	1.78 ^b	1.80 ^b	0.88 ^d	1.62 ^b	1.05 ^c	1.69 ^b	2.58 ^a
甲硫氨酸 Met	0.86 ^a	0.82 ^a	0.66 ^b	0.66 ^b	0.68 ^b	0.49 ^c	0.36 ^d	0.26 ^c	0.57 ^b	0.61 ^a
精氨酸 Arg	1.86 ^c	1.92 ^c	2.61 ^a	2.51 ^{ab}	2.40 ^b	1.18 ^c	2.1 ^d	2.43 ^c	2.96 ^b	3.53 ^a
苏氨酸 Thr	1.28	1.29	1.34	1.31	1.31	0.77 ^c	1.36 ^b	0.36 ^c	0.68 ^d	1.47 ^a
缬氨酸 Val	4.80 ^c	4.89 ^{bc}	5.29 ^a	5.15 ^{ab}	5.12 ^{ab}	1.17 ^c	1.7 ^b	0.51 ^c	0.99 ^d	1.81 ^a
亮氨酸 Ile	1.15	1.18	1.21	1.20	1.20	0.74 ^c	1.06 ^b	0.32 ^c	0.67 ^d	1.33 ^a
异亮氨酸 Leu	2.58 ^c	2.69 ^{bc}	2.92 ^a	2.78 ^{ab}	2.67 ^{bc}	1.77 ^d	2.79 ^b	0.92 ^c	1.96 ^c	3.96 ^a
色氨酸 Trp ¹						0.40 ^c	0.65 ^b	0.28 ^d	0.41 ^c	0.69 ^a
组氨酸 His	1.08 ^c	1.11 ^c	1.16 ^a	1.16 ^{ab}	1.15 ^{ab}	1.65 ^a	1.71 ^a	0.41 ^d	0.79 ^c	1.46 ^b
苯丙氨酸 Phe	1.54 ^d	1.48 ^d	1.87 ^a	1.77 ^b	1.67 ^c	0.66 ^d	1.16 ^b	0.41 ^c	0.80 ^c	1.50 ^a
总必需氨基酸 TEAA	17.07 ^b	17.29 ^b	18.88 ^a	18.32 ^a	18.01 ^{ab}	9.71 ^d	14.51 ^b	6.95 ^c	11.52 ^c	18.94 ^a
丝氨酸 Ser	1.44 ^c	1.46 ^c	1.72 ^a	1.66 ^{ab}	1.59 ^b	0.49 ^b	0.63 ^a	0.25 ^d	0.41 ^c	0.64 ^a
谷氨酸 Glu	5.25 ^c	5.36 ^c	6.41 ^a	6.15 ^{ab}	5.86 ^b	1.60 ^c	1.98 ^a	0.75 ^c	1.15 ^d	1.75 ^b
甘氨酸 Gly	1.74 ^c	1.79 ^{bc}	1.93 ^a	1.91 ^a	1.87 ^{ab}	0.86 ^a	0.83 ^a	0.28 ^d	0.44 ^c	0.74 ^b
丙氨酸 Ala	1.84	1.83	1.82	1.82	1.75	2.51 ^c	3.18 ^b	0.98 ^c	1.86 ^d	3.64 ^a
半胱氨酸 Cys	0.29 ^d	0.31 ^d	0.46 ^a	0.41 ^b	0.38 ^c	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
酪氨酸 Tyr	1.06 ^{bc}	1.00 ^c	1.14 ^a	1.08 ^b	1.03 ^{bc}	0.34 ^d	0.83 ^b	0.36 ^d	0.73 ^c	1.39 ^a
脯氨酸 Pro	1.55 ^c	1.67 ^d	2.02 ^a	1.92 ^b	1.79 ^c	0.66 ^a	0.59 ^b	0.18 ^c	0.30 ^d	0.50 ^c
天冬氨酸 Asp	2.9 ^b	2.94 ^b	3.27 ^a	3.21 ^a	3.15 ^a	1.01 ^c	0.81 ^d	0.82 ^d	1.10 ^b	1.94 ^a
天冬酰胺 Asn						1.72 ^c	1.91 ^b	2.69 ^a	2.71 ^a	1.82 ^{bc}
鸟氨酸 Orn						0.28 ^c	0.39 ^b	0.13 ^c	0.21 ^d	0.42 ^a
牛磺酸 Tau						4.84 ^a	4.81 ^a	0.60 ^d	1.17 ^c	2.12 ^b
总氨基酸 TAA	33.14 ^d	33.65 ^{cd}	37.66 ^a	36.48 ^{ab}	35.42 ^{bc}	24.02 ^c	30.47 ^b	13.99 ^c	21.60 ^d	33.90 ^a
尸胺/(mg/kg) Cad						526.3 ^a	513.5 ^a	139.5 ^d	252.5 ^c	485.1 ^b
组胺/(mg/kg) Hise						322.0 ^a	229.0 ^b	<3.0 ^c	<3.0 ^c	<3.0 ^c
腐胺/(mg/kg) Put						193.4 ^a	152.8 ^b	16.9 ^d	22.3 ^d	30.0 ^b

注: 1. 色氨酸由于酸水解无法测定; 表中同组数据不同字母表示差异显著($P<0.05$), 下同

Notes: 1. Tryptophan can't be determined for hydrolysis. Data in the same column with different letters indicate significantly different ($P<0.05$), the same below

鱼中随机抽取6尾鱼, 作为初始样本进行全鱼常规营养成分分析。养殖结束后, 停食24 h, 对每个网箱黄颡鱼进行称重, 计数, 计算成活率、特定生长率和饲料系数; 分析实验前后鱼体蛋白质、脂肪含量, 计算蛋白质沉积率、脂肪沉积率。

每个网箱随机取3尾鱼保留全鱼样品, 进行

常规营养成分测定; 随机取6尾鱼测定体质量、体长, 解剖取内脏团、肝胰脏称重, 测定肠长, 割取测线上侧肌肉, 全鱼和肌肉样品-20 °C保存待测。从每个网箱随机取10尾鱼, 用1 mL的无菌注射器尾柄静脉采血, 置于2 mL Eppendorf管中室温自然凝固3 h, 3500 r/min、室温离心10 min,

取未溶血清各0.2 mL混合后分装于0.5 mL Eppendorf管中,每个网箱作为1个样品,液氮速冻后于-50 °C冰箱保存待测。

1.4 理化分析

样品用粉碎机低温粉碎均匀,用LGJ-18B型冷冻干燥机干燥至恒重测定水分;凯氏定氮法(GB 5009.5-2010)测定粗蛋白含量;索氏抽提法(GB/T 14772-2008)测定粗脂肪含量;GB 5009.4-2010中方法测定灰分含量;能量采用XRY-1C型氧弹式热量计测定;血清谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)、高密度脂蛋白(HDL)、低密度脂蛋白(LDL)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、胆固醇(CHOL)和甘油三酯(TG)采用雅培C800全自动生化分析仪测定。

游离氨基酸、生物胺测定方法:取1.0 g样品,加入5%磺基水杨酸5 mL,涡旋3 min充分混匀,12 000 r/min、4 °C离心10 min,取上清液,沉淀用5%磺基水杨酸5 mL再次清洗离心,合并上清液即为提取液。提取液用Sykam S-433D型氨基酸分析仪分离测定,样品中的游离氨基酸、生物胺通过Li⁺交换树脂被淋洗液逐一淋洗下来,茚三酮衍生,反应物流入双通道光度计进行检测。仪器运行条件:检测波长设为570 nm,S2100压力3000~4000 kPa,洗脱液总流速0.45 mL/min,S4300反应器流速0.25 mL/min,分离柱柱温58~74 °C,反应器温度130 °C。

水解氨基酸测定方法:取0.1 g样品,加入6 mol/L HCL(0.1%苯酚m/V)10 mL,110 °C水解24 h,真空抽干后以0.02 mol/L HCL溶解即为提取液。提取液用Sykam S-433D型氨基酸分析仪分离测定,样品中的水解氨基酸通过Na⁺交换树脂被淋洗液逐一淋洗下来,茚三酮衍生,反应物流入双通道光度计进行检测。仪器运行条件同上。

1.5 计算方法

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

饲料系数(feed conversion ratio, FCR)= $W_a / (W_1 - W_0)$

蛋白质沉积率(protein retention rate, PRR, %)= $100 \times (P_1 - P_0) / W_p$

脂肪沉积率(fat retention rate, FRR, %)= $100 \times (F_1 - F_0) / W_f$

肥满度(condition factor, CF, g/cm³)= $100 \times W / L^3$

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %)= $100 \times W_h / W$

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %)= $100 \times W_v / W$

肠体比(intestinal length/body length)= L_i / L

式中, W_t 、 W_i 分别为终末均重(g)、初始均重(g), t 为饲养天数(d), W_1 、 W_0 分别为终末总体质量(g)、初始总体质量(g), W_a 为投喂饲料总质量(g), P_1 、 P_0 分别为终末体蛋白质质量(g)、初始体蛋白质质量(g), W_p 为蛋白质摄入总质量(g), F_1 、 F_0 分别为终末体脂肪质量(g)、初始体脂肪质量(g), W_f 为脂肪摄入总质量(g), W 为鱼体质量(g), W_v 为鱼体内脏团质量(g), W_h 为鱼体肝胰脏质量(g), L 为鱼体长(cm), L_i 为肠长。

1.6 数据统计与分析

原始数据经Excel 2003初步整理后,用SPSS 18.0进行单因子方差分析(One-Way ANOVY),同时进行Duncan氏多重比较分析实验数据的差异显著性,结果以平均值±标准差(mean±SD)表示,以 $P < 0.05$ 为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 鱼蛋白水解物对黄颡鱼生长及饲料利用的影响

养殖过程中黄颡鱼成活率各处理间无显著差异($P > 0.05$)(表4)。以SGR表示黄颡鱼生长速度,结果显示,以FM为对照,FPH12差异不显著($P > 0.05$),MPH6、FPH6降低了24.39%、23.58%,差异显著($P < 0.05$)。对于饲料效率,FPH12与FM组FCR差异不显著($P > 0.05$),而MPH6、FPH3、FPH6差异显著($P < 0.05$),升高了32.14%~42.86%。MPH6、FPH3、FPH6组PRR显著低于FM和FPH12($P < 0.05$),降低了21.11%~27.78%;MPH6组FRR比FM低了41.51%($P < 0.05$),FPH3、FPH6、FPH12无显著变化($P > 0.05$)。

上述结果显示,在黄颡鱼常规饲料中,以鱼蛋白水解物替代20%的鱼粉使黄颡鱼的生长速度下降、饲料效率降低;在无鱼粉的黄颡鱼日粮中,以12%鱼蛋白水解物(干物质)作为鱼粉产品替代物,其生长速度和饲料效率与30.5%鱼粉组无显著性差异。预示着12%鱼蛋白水解物(干物质)与30.5%的鱼粉对于黄颡鱼的生长速度、饲料效益具有一定的等效性。

2.2 鱼蛋白水解物对黄颡鱼体成分的影响

各实验组黄颡鱼体成分方面, MPH6全鱼粗脂肪比FM低了13.13%, 但差异不显著($P>0.05$), 显示以鱼蛋白水解物(干物质)替代20%的鱼粉, 使黄颡鱼全鱼脂肪含量有降低的趋势。FM与其他无鱼粉日粮的鱼蛋白水解物实验组相比, 水分、粗蛋白、灰分含量无显著差异($P>0.05$)(表5)。

对于形体指标, FPH3、FPH6、FPH12黄颡鱼肥满度、肠体比高于FM, 但无显著差异($P>0.05$), 脏体比没有明显变化($P>0.05$), FPH6肝体比显著低于FM($P<0.05$), 其他组无显著差异

($P>0.05$)。

FPH3、FPH6、FPH12黄颡鱼肌肉中的游离氨基酸含量随鱼蛋白水解物水平的升高, 游离His、Ser含量降低($P<0.05$)(表6), 而Tyr、Tau升高($P<0.05$); 与FM相比, FPH6、FPH12的Thr、His、Gly、Ser、Ala、Asp及TFAA均显著升高($P<0.05$), MPH6各种游离氨基酸水平与FM均无显著差异($P>0.05$)。肌肉中Tau与其在日粮水平关系见图1, FPH3肌肉Tau水平显著低于FM组($P<0.05$)。

对日粮必需氨基酸与其在肌肉中游离含量

表4 鱼蛋白水解物对黄颡鱼生长、饲料效率的影响

Tab. 4 Effects of FPH on growth of *P. fulvidraco*

$n=3$

	组别 groups				
	FM	MPH6	FPH3	FPH6	FPH12
初始均重/g IBW	30.15±0.28	30.23±0.34	30.25±0.43	29.95±0.18	30.10±0.35
终末均重/g FBW	63.2±4.8 ^a	52.9±3.7 ^b	56.5±2.1 ^{ab}	52.9±4.6 ^b	60.2±7.1 ^{ab}
成活率 SR	100±0	96.7±2.9	100±0	100±0	100±0
特定增长率/(%/d) SGR	1.23±0.14 ^a	0.93±0.13 ^b	1.04±0.06 ^{ab}	0.94±0.13 ^b	1.15±0.17 ^{ab}
与对照组比较/% compared with control	—	-24.39	-15.45	-23.58	-6.50
饲料系数 FCR	2.8±0.6 ^b	4.0±0.4 ^a	3.7±0.3 ^a	3.9±0.3 ^a	2.9±0.3 ^b
与对照组比较/% compared with control	—	42.86	32.14	39.29	3.57
蛋白质沉积率/% PRR	18.0±2.6 ^a	13.3±2.4 ^b	13.0±1.0 ^b	14.2±0.7 ^b	18.0±2.3 ^a
脂肪沉积率/% FRR	52.9±2.6 ^a	30.9±7.8 ^b	39.2±4.8 ^{ab}	41.5±12.5 ^{ab}	49.4±17.0 ^{ab}

注: “—”表示低于对照组

Notes: “—”represented lower than control group

表5 鱼蛋白水解物对黄颡鱼体成分和形体指标的影响(平均值±标准差)

Tab. 5 Effects of FPH on body composition and body parameters of *P. fulvidraco* (mean±SD)

%

	组别 groups				
	FM	MPH6	FPH3	FPH6	FPH12
体成分 body composition					
水分 moisture	68.6±1.4	68.5±1.6	69.4±2.3	66.8±1.3	67.3±1.4
粗蛋白 crude protein	17.0±0.4	17.1±1.1	16.7±1.0	17.5±0.3	17.4±0.8
粗脂肪 crude lipid	9.9±0.8	8.6±1.1	9.2±1.2	10.0±1.3	9.6±2.1
灰分 ash	4.57±0.26	4.56±0.09	4.56±0.38	4.66±0.12	4.35±0.18
形体指标 body parameters					
肥满度 CF	2.07±0.09	2.09±0.12	2.17±0.01	2.16±0.10	2.14±0.12
肝体比 HSI	1.85±0.45 ^a	1.77±0.08 ^{ab}	1.73±0.15 ^{ab}	1.39±0.15 ^b	1.56±0.07 ^{ab}
脏体比 VSI	7.6±0.5	6.1±0.7	7.0±1.2	7.4±1.0	7.2±1.4
肠体比 intestinal length/body length	0.75±0.08	0.74±0.13	0.81±0.06	0.81±0.08	0.77±0.05

表 6 鱼蛋白水解物对黄颡鱼肌肉游离氨基酸组成的影响(平均值±标准差)
Tab. 6 Free amino acid composition, free taurine in *P. fulvidraco* filets (mean±SD)

	组别 groups					
		FM	MPH6	FPH3	FPH6	FPH12
赖氨酸 Lys		0.50±0.09	0.53±0.09	0.43±0.09	0.50±0.07	0.68±0.16
甲硫氨酸 Met		0.05±0.01	0.04±0.00	0.04±0.01	0.05±0.01	0.05±0.01
精氨酸 Arg		0.09±0.02	0.08±0.01	0.07±0.01	0.08±0.01	0.11±0.02
苏氨酸 Thr		0.40±0.07 ^b	0.47±0.04 ^{ab}	0.60±0.06 ^a	0.57±0.10 ^a	0.58±0.10 ^a
缬氨酸 Val		0.10±0.03	0.11±0.02	0.18±0.02	0.13±0.01	0.13±0.03
亮氨酸 Ile		0.07±0.01	0.07±0.01	0.08±0.02	0.09±0.01	0.09±0.03
异亮氨酸 Leu		0.15±0.02	0.16±0.03	0.19±0.04	0.19±0.01	0.20±0.07
色氨酸 Trp		0.11±0.04	0.12±0.04	0.10±0.01	0.14±0.01	0.15±0.02
组氨酸 His		0.25±0.04 ^c	0.28±0.04 ^c	0.47±0.07 ^{ab}	0.51±0.02 ^a	0.40±0.02 ^b
苯丙氨酸 Phe		0.09±0.03	0.07±0.00	0.07±0.01	0.09±0.02	0.08±0.02
总必需游离氨基酸 TEFAA		1.82±0.13 ^c	1.93±0.08 ^{bc}	2.23±0.34 ^{abc}	2.35±0.12 ^{ab}	2.47±0.42 ^a
甘氨酸 Gly		1.05±0.42 ^b	1.51±0.23 ^b	3.58±1.06 ^a	3.07±0.50 ^a	3.07±0.61 ^a
酪氨酸 Tyr		0.09±0.01 ^{ab}	0.07±0.00 ^b	0.06±0.01 ^c	0.10±0.01 ^a	0.09±0.00 ^{ab}
丙氨酸 Ala		0.87±0.19 ^b	1.04±0.07 ^b	1.46±0.50 ^a	1.42±0.21 ^a	1.36±0.11 ^a
谷氨酸 Glu		0.09±0.03 ^b	0.13±0.06 ^{ab}	0.36±0.24 ^a	0.21±0.07 ^{ab}	0.18±0.10 ^{ab}
丝氨酸 Ser		0.19±0.02 ^c	0.24±0.02 ^c	0.52±0.08 ^a	0.46±0.09 ^a	0.36±0.05 ^b
鸟氨酸 Orn		0.23±0.07	0.25±0.03	0.23±0.08	0.27±0.06	0.27±0.03
天冬氨酸 Asp		0.11±0.03 ^b	0.12±0.01 ^b	0.16±0.05 ^{ab}	0.16±0.01 ^a	0.16±0.02 ^a
牛磺酸 Tau		2.5±0.1 ^a	2.4±0.1 ^a	2.0±0.2 ^b	2.3±0.1 ^{ab}	2.4±0.3 ^a
总游离氨基酸 TFAA		7.0±0.4 ^b	7.8±0.3 ^b	10.6±2.2 ^a	10.4±1.0 ^a	10.4±1.1 ^a

的变化作Pearson相关性分析, 检验双侧显著性, 样本量 $n=5$ (表7)。肌肉游离氨基酸组成变化与日粮必需氨基酸含量有关, 游离Thr、Val、His与其在日粮中的水平显著相关($P<0.05$)。

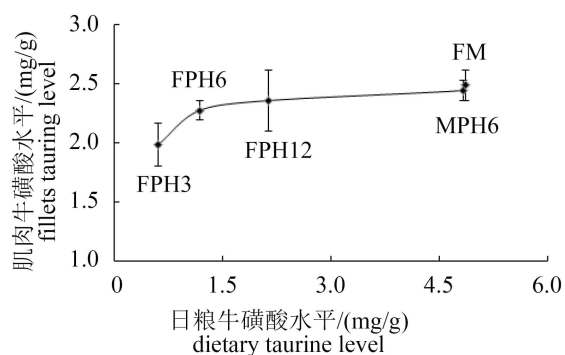


图 1 饲料牛磺酸与黄颡鱼肌肉牛磺酸含量的关系

Fig. 1 Effect of dietary taurine level on taurine in *P. fulvidraco* filets

2.3 鱼蛋白水解物对黄颡鱼血清理化指标的影响

与FM相比, FPH3、FPH6、FPH12黄颡鱼血清ALB水平降低(表8), FPH3差异显著($P<0.05$); MPH6组LDL、CHOL水平升高, 但不显著($P>0.05$), 各组的AST、ALT、HDL、TP、TG不受鱼蛋白水解物的影响($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 鱼蛋白水解物对黄颡鱼生长及饲料效率的影响

本实验条件下, 高植物蛋白日粮中添加12%鱼蛋白水解物, 黄颡鱼生长速度、饲料效率与30.5%鱼粉无明显差异, 显示出一定的等效关系, 这是本研究的主要结果, 丰富的游离氨基

酸或与其相关的未知活性成分可能是这种等效关系形成的主要原因。

依赖原料鱼自身的酶,以鱼体自溶为主要水解方式生产的鱼浆作为一个原料产品已经进入“饲料原料目录”补充目录中,表明这类产品相对于鱼粉是一个新产品。本研究是以日本鳀作为单一原料,依赖其自身的酶、提供酶解条件得到的产品类似于“饲料原料目录”中的鱼浆产品,但原料鱼为单一的日本鳀,因此我们称之为鱼蛋白水解物;本实验选用的鱼粉也是以日本鳀为主要原料、按照鱼粉生产工艺得到的鱼粉。由于原料鱼都为日本鳀,在原料组成上的差异不大,因此,所得产品化学组成、成分含量上的差异主要为生产工艺、以及生产工艺对产品质量变异的影响所造成的差异。鱼粉生产工艺中,主要经历了蒸煮、压榨脱水和脱脂、110℃左右的烘干过程,而鱼浆、鱼蛋白水解物保全了原料鱼的主要组成物质,也没有高温过程(高温可能导致热敏感物质的损失、导致油脂的氧化酸败,甚至可能导致肌胃糜烂素等有害物质的产生)。因此,鱼浆、鱼蛋白水解物与鱼粉比较,可能保全了更多的热敏感物质成分,

也避免了高温对鱼粉产品成分的影响,因此其在养殖水产动物的生产性能、鱼体健康等方面可能具有一定的优势。实验结果也显示,在黄颡鱼饲料中,12%鱼蛋白水解物(干物质)与30.5%的鱼粉在生产性能方面具有一定的等效性,一方面鱼蛋白水解物、鱼浆这类新产品开发具有很好的市场前景,可以显著降低饲料中鱼粉的使用量;另一方面,原料全物质组成、低温生产的鱼蛋白水解物能够更好地满足养殖的水产动物营养和生理的需要,获得理想的饲料养殖效果。

养殖水产动物对饲料中鱼粉具有一定的依赖性,与其他陆生动物蛋白质原料、植物性蛋白质比较,鱼粉蛋白质可消化性、氨基酸的平衡性、微量元素种类和含量、脂肪酸组成和含量等有较大的差异,鱼粉中一些特殊成分对养殖水产动物是必需的,除了营养素的必需之外,应该还有生理需要和代谢需要,但目前为止,对这类特殊成分还不完全清楚,于是归于“鱼粉未知生长因子”。本实验中,仅从游离氨基酸、牛磺酸、生物胺等几个方面做了分析,也得到一些结果,做了一定程度的分析。从全面解释

表7 日粮中必需氨基酸与肌肉游离氨基酸水平Pearson相关性分析

Tab. 7 Correlation analysis of essential free amino acid in *P. fulvidraco* filets and amino acid in experimental diets

项目 items		赖氨酸 Lys	甲硫氨酸 Met	精氨酸 Arg	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	亮氨酸 Ile	异亮氨酸 Leu	组氨酸 His	苯丙氨酸 Phe	总必需氨基酸 TEAA
Pearson分析结果 Pearson analysis result	R^2	-0.017	-0.182	-0.152	0.892*	0.981*	0.751	0.495	0.903*	-0.180	-0.010
	P 值 P -value	0.978	0.770	0.807	0.042	0.003	0.144	0.397	0.036	0.772	0.987

注: *在0.05水平(双侧)上显著相关

Notes: * $P < 0.05$ (bilateral significant)

表8 鱼蛋白水解物替代鱼粉对黄颡鱼血清生理指标的影响(平均值±标准差)

Tab. 8 Effects of FPH on serum biochemical indices of *P. fulvidraco* (mean±SD)

项目 items	组别 groups				
	FM	MPH6	FPH3	FPH6	FPH12
谷草转氨酶/(U/L) AST	203.5±41.7	193.7±54.4	197.7±13.3	205.0±21.5	163.3±32.6
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	5.5±0.7	4.3±1.5	5.3±1.5	5.0±2.7	4.3±1.2
高密度脂蛋白/(mol/L) HDL	2.17±0.13	2.13±0.16	2.03±0.19	2.20±0.09	2.04±0.19
低密度脂蛋白/(mol/L) LDL	3.8±1.1	4.1±0.4	3.0±0.9	4.3±1.3	2.9±0.8
总蛋白/(g/L) TP	39.6±1.9	41.4±2.3	39.0±3.6	42.4±3.1	40.8±3.6
白蛋白/(g/L) ALB	12.1±0.3 ^a	10.9±1.1 ^{ab}	9.8±0.6 ^b	11.2±0.7 ^{ab}	10.8±0.9 ^{ab}
胆固醇/(mol/L) CHOL	8.4±1.5	8.5±1.3	7.5±2.3	9.7±2.2	6.8±1.8
甘油三酯/(mol/L) TG	5.6±0.5	5.0±1.7	5.4±2.6	7.0±2.0	5.2±1.6

鱼粉、鱼蛋白水解物对养殖水产动物的营养作用、生理作用角度考虑,还需要更深入、系统的研究。

鱼的生长与日粮游离氨基酸水平有关^[14-15],鱼体肠道对游离氨基酸的吸收比结合氨基酸快,游离氨基酸吸收过早会导致氨基酸吸收不平衡,致使蛋白质利用降低,游离氨基酸缺乏影响更明显;同时,游离氨基酸有重要的诱食作用,缺乏游离氨基酸的摄食促进物会导致凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的摄食率明显下降^[16]。研究表明,Tau可促进军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[17]等的生长,调节鱼体营养成分,当饲料中缺乏Tau时,普遍表现为生长不良^[18],其原因可能是Tau能有效提高鱼体对脂肪的消化吸收率,提高蛋白质利用率^[19]。植物蛋白缺乏游离氨基酸和牛磺酸,鱼蛋白水解物游离氨基酸水平高于鱼粉^[13],当高植物蛋白日粮鱼蛋白水解物低于12%时,总游离氨基酸水平低于对照组(表3),牛磺酸只有鱼粉组的12.40%~24.17%,这些可能导致FPH3、FPH6黄颡鱼生长降低,12%鱼蛋白水解物即可满足游离氨基酸的供应(表3),牛磺酸也不影响鱼体营养成分(图1),故生长不受影响。

本实验条件下,高鱼粉日粮中添加鱼蛋白水解物,养殖水产动物生长速度、饲料效率降低,日粮中高水平的小肽、游离氨基酸^[20-21],刺激肠道缩胆囊素(CCK)的分泌,CCK调控体内胰酶^[22]的代谢,降低采食^[23],长期摄入导致其生长发育受阻^[24]。蛋白质在水解过程中,小肽和游离氨基酸含量均会显著升高^[20, 25],但刺激CCK分泌的主要是小肽分子^[23],也有研究认为是过量的游离氨基酸在运输机制上竞争而产生的有害影响^[26]。

3.2 鱼蛋白水解物对黄颡鱼体成分的影响

研究表明,生长发育受阻时,鱼体的组成会发生相应变化^[27-28]。而本实验中,替代20%鱼粉的饲料中补充6%鱼蛋白水解物后,黄颡鱼全鱼脂肪和蛋白质含量没有明显降低。刘峰等^[29]在高鱼粉饲料中添加15%鱼蛋白水解物,对大黄鱼(*Larimichthys crocea*)的蛋白质、脂肪含量也无显著影响,但当鱼蛋白水解物添加量达30%时,大黄鱼的蛋白质、脂肪含量显著下降。

Katerina^[30]在低鱼粉日粮中添加5%鱼溶浆粉,大西洋鲑肌肉部分游离氨基酸水平升高,

本实验中,无鱼粉日粮添加3%~12%的水解鱼蛋白,肌肉多种游离氨基酸的含量也出现升高。呈味氨基酸为谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸,高植物蛋白组的呈味氨基酸均高于高鱼粉组,可能影响黄颡鱼的风味。黄颡鱼肌肉游离氨基酸变化与日粮必需氨基酸含量Pearson相关性较高,表明日粮氨基酸水平可促进肌肉中游离氨基酸的沉淀。

牛磺酸在动物肌肉中以游离态存在,日粮牛磺酸为0.6~1.2 mg/g时,黄颡鱼肌肉牛磺酸积累迅速升高(图1),随后饱和。Katerina^[30]的鱼溶浆粉研究中,日粮牛磺酸为0.8~3.9 mg/g时大西洋鲑肌肉牛磺酸积累没有明显变化,而日粮中添加0~1.5 g/100 g晶体牛磺酸,牙鲆^[31]、大菱鲆^[32]、裸盖鱼^[33](*Anoplopoma fimbria*)肌肉牛磺酸积累迅速升高,这表明牛磺酸的沉积与其日粮水平和添加方式有关,添加方式对牛磺酸吸收、累积的作用有待进一步研究。

3.3 鱼蛋白水解物对黄颡鱼血清生理指标的影响

血清蛋白水平与肝胰脏健康、营养状况密切相关^[34],其中,白蛋白在物质运输、维持血液渗透压方面具有重要作用。本研究中高植物蛋白日粮添加3%鱼蛋白水解物,血清白蛋白明显降低,而马利^[35]、吉红^[36]研究中,日粮组成对草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)、鲤(*Cyprinus carpio*)血清白蛋白影响不显著,这可能与鱼的食性有关。

胆固醇是体内重要的脂类物质,高密度脂蛋白和低密度脂蛋白是其主要运输者^[37],分别将胆固醇运入和运出肝脏。本实验中各实验组黄颡鱼血清胆固醇、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白含量与对照组均无显著性差异。日粮中植物蛋白含量过高会导致转氨酶大量释放到血液,引起血清转氨酶水平升高^[38],使非特异性免疫力下降。有研究表明,鱼蛋白水解物对大黄鱼的免疫力具有保护作用^[39],在一定程度上可减缓损伤。本研究中,高植物蛋白日粮添加少量的鱼蛋白水解物,黄颡鱼血清转氨酶水平无明显变化,不会降低鱼体免疫力,结果与之相似。

4 结论

在本实验条件下:

①植物蛋白过明显降低黄颡鱼生长,无

鱼粉日粮中添加12%鱼蛋白水解物,其生长速度、日粮效率与30%鱼粉组无显著变化,具有一定的等效性;

②鱼蛋白水解物游离氨基酸含量远高于鱼粉,添加12%鱼蛋白水解物黄颡鱼肌肉多种游离氨基酸水平明显升高,特别是呈味氨基酸。

参考文献:

- [1] Chalamaiah M, Kumar B D, Hemalatha R, *et al.* Fish protein hydrolysates: proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: a review[J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 3020-3038.
- [2] Bui H T D, Khosravi S, Fournier V, *et al.* Growth performance, feed utilization, innate immunity, digestibility and disease resistance of juvenile red seabream (*Pagrus major*) fed diets supplemented with protein hydrolysates[J]. Aquaculture, 2014, 418-419: 11-16.
- [3] Khosravi S, Rahimnejad S, Herault M, *et al.* Effects of protein hydrolysates supplementation in low fish meal diets on growth performance, innate immunity and disease resistance of red sea bream *Pagrus major*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2015, 45(2): 858-868.
- [4] Refstie S, Ollic J J, Standal H. Feed intake, growth, and protein utilisation by post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) in response to graded levels of fish protein hydrolysate in the diet[J]. Aquaculture, 2004, 239(1-4): 331-349.
- [5] Zheng K, Liang M, Yao H, *et al.* Effect of dietary fish protein hydrolysate on growth, feed utilization and IGF-I levels of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2012, 18(3): 297-303.
- [6] Aksnes A, Hope B, Høstmark Ø, *et al.* Inclusion of size fractionated fish hydrolysate in high plant protein diets for Atlantic cod, *Gadus morhua*[J]. Aquaculture, 2006, 261(3): 1102-1110.
- [7] Zheng K K, Liang M Q, Yao H B, *et al.* Effect of size-fractionated fish protein hydrolysate on growth and feed utilization of turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. Aquaculture Research, 2013, 44(6): 895-902.
- [8] Aksnes A, Hope B, Jönsson E, *et al.* Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high plant protein diets. I: Growth, growth regulation and feed utilization[J]. Aquaculture, 2006, 261(1): 305-317.
- [9] Kotzamanis Y P, Gisbert E, Gatesoupe F J, *et al.* Effects of different dietary levels of fish protein hydrolysates on growth, digestive enzymes, gut microbiota, and resistance to *Vibrio anguillarum* in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2007, 147(1): 205-214.
- [10] Siringan P, Raksakulthai N, Yongsawatdigul J. Partial purification and characterization of trypsin-like proteinases in Indian anchovy (*Stolephorus* spp.)[J]. Food Chemistry, 2007, 101(1): 82-89.
- [11] Siringan P, Raksakulthai N, Yongsawatdigul J. Autolytic activity and biochemical characteristics of endogenous proteinases in Indian anchovy (*Stolephorus indicus*)[J]. Food Chemistry, 2006, 98(4): 678-684.
- [12] 冷向军, 王冠, 李小勤, 等. 饲料中添加晶体或包膜氨基酸对异育银鲫生长和血清游离氨基酸水平的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(6): 743-748.
- [13] Leng X J, Wang G, Li X Q, *et al.* Supplemental effects of crystalline or coated amino acids on growth performance and serum free amino acids of allogynogenetic crucian carp[J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(6): 743-748 (in Chinese).
- [14] 吴代武, 税典章, 蔡春芳, 等. 鳀鱼鱼浆的酶解过程与营养成分的变化[J]. 饲料工业, 2015, 36(24): 25-30.
- [15] Wu D W, Shui D Z, Cai C F, *et al.* Nutrition changes associated with anchovy enzymolysis process[J]. Feed Industry, 2015, 36(24): 25-30 (in Chinese).
- [16] 吴代武, 叶元土, 蔡春芳, 等. 鱼溶浆粉替代鱼粉对草鱼生长及健康的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(7): 2094-2105.
- [17] Wu D W, Ye Y T, Cai C F, *et al.* Effects of fish meal replacement by stickwater meal on growth and health of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(7): 2094-2105 (in Chinese).
- [18] 罗其刚, 叶元土, 蔡春芳, 等. 日粮中添加鱼溶浆粉和鱼油对草鱼生长、肝脏脂肪含量和血清理化指标的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(6): 888-898.
- [19] Luo Q G, Ye Y T, Cai C F, *et al.* Effects of adding stickwater meal and fish oil into basal diets on grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) growth, liver fat content and serum indicators[J]. Journal of Fisheries of China, 2015,

- 39(6): 888-898 (in Chinese).
- [16] 胡俊茹, 李军勇, 曹俊明, 等. 摄食促进物对凡纳滨对虾生长及血清生化组成的影响[J]. 饲料工业, 2009, 30(18): 19-22.
- Hu J R, Li J Y, Cao J M, *et al.* Effect of feeding stimulants on growth performance and serum biochemical composition of *Litopenaeus vannamei*[J]. Feed Industry, 2009, 30(18): 19-22 (in Chinese).
- [17] 骆艺文, 艾庆辉, 麦康森, 等. 饲料中添加牛磺酸和胆固醇对军曹鱼生长、体组成和血液指标的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2013, 43(8): 31-36.
- Luo Y W, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effects of dietary taurine and cholesterol on growth performance, body composition and plasma metabolites in diets of cobia (*Rachycentron canadum* L.)[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(8): 31-36 (in Chinese).
- [18] 王和伟, 叶继丹, 陈建春. 牛磺酸在鱼类营养中的作用及其在鱼类饲料中的应用[J]. 动物营养学报, 2013, 25(7): 1418-1428.
- Wang H W, Ye J D, Chen J C. Taurine: Effect in fish nutrition and application in fish feed[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(7): 1418-1428 (in Chinese).
- [19] 刘晓军, 李珏声, 沈芳兰. 牛磺酸对大鼠蛋白质利用率、生长发育和辨别学习能力的影响[J]. 营养学报, 1996, 18(2): 149-154.
- Liu X J, Li J S, Shen F L. Effect of taurine on protein utilization, growth and cognitive ability in rats[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1996, 18(2): 149-154 (in Chinese).
- [20] Cai Z N, Li W J, Mai K S, *et al.* Effects of dietary size-fractionated fish hydrolysates on growth, activities of digestive enzymes and aminotransferases and expression of some protein metabolism related genes in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) larvae[J]. Aquaculture, 2015, 440: 40-47.
- [21] Wang Y, Chandra R, Samsa L A, *et al.* Amino acids stimulate cholecystokinin release through the Ca²⁺-sensing receptor[J]. American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology, 2011, 300(4): 528-537.
- [22] Cahu C, Rønnestad I, Grangier V, *et al.* Expression and activities of pancreatic enzymes in developing sea bass larvae (*Dicentrarchus labrax*) in relation to intact and hydrolyzed dietary protein; involvement of cholecystokinin[J]. Aquaculture, 2004, 238(1-4): 295-308.
- [23] Cudennec B, Fouchereau-Peron M, Ferry F, *et al.* *In vitro* and *in vivo* evidence for a satiating effect of fish protein hydrolysate obtained from blue whiting (*Micromesistius poutassou*) muscle[J]. Journal of Functional Foods, 2012, 4(1): 271-277.
- [24] 韩涛, 王骥腾, 王勇, 等. 饲料中不同水平鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼生长及体组成的影响[J]. 水生生物学报, 2010, 34(1): 94-100.
- Han T, Wang J T, Wang Y, *et al.* Effect of different fish protein hydrolysate (FPH) level of dietary supplements on growth and body composition of larvae of cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(1): 94-100 (in Chinese).
- [25] Liu Y L, Li X H, Chen Z J, *et al.* Characterization of structural and functional properties of fish protein hydrolysates from surimi processing by-products[J]. Food Chemistry, 2014, 151: 459-465.
- [26] Bakke-Mckellep A M, Nordrum S, Krogdahl Å, *et al.* Absorption of glucose, amino acids, and dipeptides by the intestines of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2000, 22(1): 33-44.
- [27] 楼宝, 毛国民, 骆季安, 等. 不同投饵率对黑鲟生长及体生化成分的影响[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(3): 230-235.
- Lou B, Mao G M, Luo J A, *et al.* Effects of feeding rate on growth and body biochemical composition of *Sparus macrocephalus*[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2007, 16(3): 230-235 (in Chinese).
- [28] 刘姚, 王永军, 田秀娥, 等. 摄食水平对泥鳅生长、饲料利用率和体成分的影响[J]. 饲料工业, 2011, 32(12): 26-28.
- Liu Y, Wang Y J, Tian X E, *et al.* Effect of ration levels on growth, feed utilization efficiency and body biochemical composition of *Misgurnus anguillicaudatus*[J]. Feed Industry, 2011, 32(12): 26-28 (in Chinese).
- [29] 刘峰, 麦康森, 艾庆辉, 等. 鱼肉水解蛋白对大黄鱼稚鱼存活、生长以及体组成的影响[J]. 水产学报, 2006, 30(4): 502-508.
- Liu F, Mai K S, Ai Q H, *et al.* Effects of dietary fish protein hydrolysate levels on growth, survival and body composition of larvae in *Pseudosciaena crocea*[J].

- Journal of Fisheries of China, 2006, 30(4): 502-508 (in Chinese).
- [30] Katerina K, Sissel A, Eyolf L, *et al.* The water soluble fraction in fish meal (stickwater) stimulates growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) given high plant protein diets[J]. Aquaculture, 2009, 289(1-2): 74-83.
- [31] Kim S K, Matsunari H, Takeuchi T, *et al.* Effect of different dietary taurine levels on the conjugated bile acid composition and growth performance of juvenile and fingerling Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*[J]. Aquaculture, 2007, 273(4): 595-601.
- [32] Qi G S, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effects of dietary taurine supplementation to a casein-based diet on growth performance and taurine distribution in two sizes of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. Aquaculture, 2012, 358-359: 122-128.
- [33] Johnson R B, Kim S K, Watson A M, *et al.* Effects of dietary taurine supplementation on growth, feed efficiency, and nutrient composition of juvenile sablefish (*Anoplopoma fimbria*) fed plant based feeds[J]. Aquaculture, 2015, 445: 79-85.
- [34] Yildirim M, Lim C, Wan P J, *et al.* Growth performance and immune response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed diets containing graded levels of gossypol-acetic acid[J]. Aquaculture, 2003, 219(1-4): 751-768.
- [35] 马利, 黄峰, 吴建开, 等. 不同菜粕水平对草鱼生长、血清生化指标和毒素残留的影响[J]. 水产学报, 2005, 29(6): 798-803.
- Ma L, Huang F, Wu J K, *et al.* Effects of different rapeseed meal levels on growth, serum biochemical indices and toxins residues in *Ctenoparyngodon idellus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(6): 798-803 (in Chinese).
- [36] 吉红, 朱天和, 周继术. 日粮中鱼粉添加量对鲤鱼种生长、生物学性状及血清生化指标的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(7): 33-39.
- Ji H, Zhu T H, Zhou J S. Effect of dietary fishmeal amount on growth performance, biological characteristics, and serum biochemical parameters in common carp *Cypinus carpio*[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2008, 36(7): 33-39 (in Chinese).
- [37] 史连义. 胆固醇的跨膜外向转运及调控[J]. 医学研究生学报, 2009, 22(2): 198-200, 204.
- Shi L Y. The transmembrane extroversion transport and regulation of cholesterol[J]. Journal of Medical Postgraduates, 2009, 22(2): 198-200, 204 (in Chinese).
- [38] 叶元土, 蔡春芳, 丁晓峰, 等. 在饲料中直接添加菜籽对草鱼生长的影响[J]. 饲料工业, 2005, 26(2): 25-30.
- Ye Y T, Cai C F, Ding X F, *et al.* The influence of rapeseed in feed on the growth of grass carp[J]. Feed Industry, 2005, 26(2): 25-30 (in Chinese).
- [39] Tang H G, Wu T X, Zhao Z Y, *et al.* Effects of fish protein hydrolysate on growth performance and humoral immune response in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea* R.)[J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2008, 9(9): 684-690.

Effects of fish protein hydrolysate on growth, body composition and serum biochemical parameters of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)

WU Daiwu¹, HE Jie¹, YE Yuantu^{1*}, CAI Chunfang¹,
WU Ping¹, LUO Qigang¹, PU Qinhu²

(1. School of Biology & Basic Medical Sciences, Suzhou University, Suzhou 215123, China;

2. Star Industrial Co. Ltd, Haiyan 314300, China)

Abstract: The aim of this study was to investigate the effects of fish protein hydrolysate on yellow catfish growth, body composition and serum indicators. In practical yellow catfish formulation mode, a control with anchovy fish meal was prepared. ① A control diet containing 305 g commercial fish meal/kg diet (FM) was prepared, and 6% of fish protein hydrolysate partially replaced 20% fishmeal (MPH6) at the same formulation mode. ② With 305 g commercial fish meal/kg diet (FM) as the control, inclusion levels of FPH in 3% (FPH3), 6% (FPH6), 12% (FPH12) were added into non-fishmeal diets directly, and the five experimental diets were isonitrogenous, isolipidic and isoenergetic. The diets were fed triplicate groups of yellow catfish [initial body weight (30.08±0.35) g] for 60 days in outdoor farming system. The results showed that, the SGR, FCR, PRR and FRR of FPH12 have no significant difference with 30% FM, but MPH6, FPH3, FPH6 decreased by 15.45%–24.39%, FCR increased by 32.14%–42.86%. In PRR and FRR, the PRR of MPH6, FPH3, FPH6 decreased by 21.11%–27.78%, FRR of MPH6 decreased by 41.51% compared with FM. The moisture, crude protein, crude fat and ash of fish have no significant difference in all diets, and a variety of free amino acids in fillets of high plant protein dietary is significantly higher than that of FM, and partially the levels of Thr, Val, His in the dietary is significantly associated. There were no significant differences of HSI, CP, VSI, intestinal length/body length, AST, ALT, HDL, LDL, TP, CHOL, TG compared with FM, except the ALB of FPH3. So, there is a certain equivalence between 12% fish protein hydrolysate with FM on yellow catfish growth, feed utilization and indicators; too high plant protein has a significant negative impact on growth performance, and fish protein hydrolysate can elevate the levels of free amino acids in fillets, particularly flavor amino acids.

Key words: *Pelteobagrus fulvidraco*; fish protein hydrolysate; fish meal; growth; amino acid

Corresponding author: YE Yuantu. E-mail: yeyt@suda.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31172417)