

doi: 10.7541/2019.062

鱼溶浆、酶解鱼溶浆和酶解鱼浆完全替代鱼粉对黄颡鱼生长的影响

周露阳¹ 吴代武² 高敏敏¹ 何杰¹ 孙飞¹ 郁浓¹ 叶元土¹
蔡春芳¹ 吴萍¹ 唐峰² 浦琴华³ 任胜杰¹

(1. 苏州大学基础医学与生物科学学院, 苏州 215123; 2. 浙江丰宇海洋生物制品有限公司, 舟山 316000;
3. 浙江一星实业股份有限公司, 海盐 314300)

摘要: 为了探究鱼溶浆、酶解鱼溶浆和酶解鱼浆完全替代鱼粉后对黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)生长的影响, 在黄颡鱼实用型日粮配方模式下, 以28%的日本级蒸汽鱼粉为对照(FM), 按照FM组鱼粉蛋白质量的15%、30%和45%三个梯度, 分别添加鱼溶浆(SW15、SW30和SW45)、酶解鱼溶浆(SWH15、SWH30和SWH45)、酶解鱼浆(FPH15、FPH30和FPH45)完全替代鱼粉, 设计共10组等氮等能日粮, 每组设定3个重复, 在池塘网箱中养殖初始体重(18.68±0.10) g/尾黄颡鱼60d。结果显示: (1)以FM为对照, SW的3个试验组黄颡鱼的SGR降低9.89%—20.33%($P<0.05$), FCR增加18.79%—44.85%($P<0.05$); SWH试验组中SWH15和SWH45的SGR相对FM组分别降低8.79%和14.84%, FCR相对FM组增加16.97%和27.88%, 差异显著($P<0.05$); FPH试验组中FPH15和FPH45的SGR相对FM组降低13.18%和15.38%, FCR相对FM组增加30.30%和29.70%, 差异显著($P<0.05$); (2)SWH30和FPH30组的SGR、FCR与FM组无显著差异($P>0.05$); (3)相对于SW, 同等添加量SWH的SGR增加4.40%—9.39%, FCR降低9.81%—15.31%($P<0.05$); (4)与FM组的FIFO值相比, SW30、SWH30和FPH30的FIFO值仅为0.67、0.61和0.60, 降低67.67%—70.15%($P<0.05$)。结果表明: 在黄颡鱼日粮中, 8.5%添加量的酶解鱼溶浆(干物质)、8.2%添加量的酶解鱼浆(干物质)可以完全替代鱼粉(28%), 而相应的FIFO值分别比鱼粉组降低了69.95%和70.15%; 酶解鱼溶浆对黄颡鱼的生长效果优于鱼溶浆。日粮中过高或过低添加量的鱼溶浆、酶解鱼溶浆和酶解鱼浆都会导致黄颡鱼的生长速度和饲料效率下降。

关键词: 鱼粉; 鱼溶浆; 酶解鱼溶浆; 酶解鱼浆; 黄颡鱼; 生长速度

中图分类号: S965.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2019)03-0504-13

中国水产饲料产量从1980年的 1.1×10^9 kg发展到2014年的 1.97×10^{11} kg, 增长了179倍^[1], 而近年来全球鱼粉等产品总量则基本维持在 4.5×10^9 — 5.0×10^9 kg左右(FAO, 2016)。全球渔获量的35%被用来作为生产鱼粉^[2]。饲料总量在逐年增长, 而鱼粉生产量基本不变, 导致鱼粉供给不足的矛盾日益突出。水产饲料工业后续发展受到全球蛋白资源不足的限制。如何提高海洋捕捞鱼类作为饲料产品的利用效率, 在人工配合饲料中降低鱼粉的使用量, 寻找新型的鱼粉替代物就是一个重要的研究课题。这类工作的重大意义在于, 既可以减轻对海洋鱼类资源的捕捞压力, 实现渔业资源的可持续发展, 又因为饲料

中鱼粉用量的减少而降低人工配合饲料的成本。

利用海洋捕捞渔获物开发新型的蛋白质原料尤其是酶解蛋白质原料等日益受到关注。酶解鱼浆是以海洋捕捞的小杂鱼全鱼为原料, 绞碎后加入外源性的蛋白酶或利用原料中自身的酶, 经过酶解、减压浓缩制作成水分含量为42%—46%的浆状产品。鱼溶浆是鱼粉生产过程中的副产物, 海洋捕捞的渔获物经过蒸煮后进行压榨, 得到压榨液和压榨饼(固形物), 压榨饼经过蒸汽管道烘干后得到脱脂的蒸汽鱼粉。压榨液经过油水分离后得到初级鱼油和液体部分(中国鱼粉生产者称为“鱼汤”), 液体部分经过减压、加温浓缩, 得到含水量为70%左

收稿日期: 2018-05-28; **修订日期:** 2018-09-15

基金项目: 酶解鱼溶浆等对黄颡鱼生长、健康和体色影响的研究(P113400617)资助 [Supported by the Effects of Stickwater Hydrolysate et al on Growth, Health and Body Color of Yellow Catfish (P113400617)]

作者简介: 周露阳(1992—), 男, 浙江宁波人; 硕士研究生; 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: 598731905@qq.com

通信作者: 叶元土(1964—), 教授, 硕士生导师; 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: yeyt@suda.edu.cn

右的鱼溶浆。在早期的鱼粉生产中, 鱼溶浆被返回到压榨饼, 一起经过蒸汽管道烘干后, 得到返浆的鱼粉, 即半脱脂蒸汽鱼粉。现在, 把这类鱼溶浆进一步减压、加温浓缩至水分含量为55%左右, 即为本试验所使用的鱼溶浆^[3]。近年来, 一些鱼粉生产企业以这类鱼溶浆为原料, 采用酶解生产工艺, 加入木瓜蛋白酶、菠萝蛋白酶等蛋白质水解酶, 在50—55℃酶解3—5h, 得到本试验中使用的酶解鱼溶浆。酶解鱼浆和酶解鱼溶浆都称为海洋生物水解蛋白。

海洋生物水解蛋白相对于鱼粉拥有更多溶于水的蛋白质、小肽和游离氨基酸等。海洋水解蛋白直接应用于饲料中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, 尤其是肉食性鱼类中已得到初步的应用, 并取得良好的养殖效果。其主要特点是维护原料鱼体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^[4]。

FIFO值是评价渔业捕捞的野生鱼转化为养殖鱼、虾效率的实用性评价指标^[5]。海洋蛋白源对鱼粉的替代可以有效地减小FIFO指数, 特别是在肉食性鱼类饲料中, 例如鲑(*Salmo salar*)(从1995—2006, FIFO从7.5下降到4.9)、鳟(*Salmo playtcephalus*)(从6.0下降到3.4)。随着水产饲料技术的发展, FIFO值会随着鱼粉和鱼油在水产饲料配方中添加量的减少而下降^[6]。

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)隶属鲶形目、鲿科、黄颡鱼属。因为黄颡鱼的市场价格高, 养殖黄颡鱼可以获得更高的经济效益, 黄颡鱼在中国很多地区都有养殖、养殖量也逐年增长。目前的黄颡鱼配合饲料中还主要以蒸汽鱼粉作为主要蛋白质原料, 其使用量一般为28%—35%。鉴于海洋水解蛋白部分替代鱼粉获得良好的养殖效果, 而在无鱼粉日粮中直接添加海洋水解蛋白的研究还很少。本试验以黄颡鱼为试验对象, 以蒸汽鱼粉为对照, 比较研究鱼溶浆、酶解鱼溶浆、酶解鱼浆对黄颡鱼生长速度、饲料效率的影响, 探讨这类新型水解蛋白原料取代鱼粉的可行性及其在水产饲料中的养殖效果、添加量。

1 材料与方法

1.1 饲料原料

鱼粉为秘鲁生产的日本级蒸汽红鱼粉, 其原料鱼种类主要为秘鲁鳀(*Peruvian anchovy*)。酶解鱼浆为以新鲜或冰冻的海洋捕捞的杂鱼(整鱼)为原

料, 机械打浆(颗粒细度80—100目)后转入容积为10000 L的酶解反应釜中, 加入工业蛋白酶(木瓜蛋白酶和菠萝蛋白酶混合物)在55℃酶解5h, 之后转入另一个反应釜中加热至95℃ 1h(灭活蛋白质酶、微生物), 减压蒸馏(70℃—80℃)浓缩到水分含量45%—50%的膏状物。鱼溶浆是海洋捕捞的杂鱼经过蒸煮后进行压榨, 得到压榨液和压榨饼(固形物), 压榨液经过油水分离后得到初级鱼油和液体部分, 液体部分经过减压、加温浓缩, 得到含水量为70%左右的鱼溶浆。鱼溶浆再经过酶解得到酶解鱼溶浆。酶解鱼浆、酶解鱼溶浆和鱼溶浆均为浙江省舟山丰宇生物有限公司生产的商业化产品。

鱼溶浆(SW)、酶解鱼溶浆(SWH)、酶解鱼浆(FPH)和鱼粉(FM)的营养成分见表1, 采用氨基酸分析测定不同样本水解氨基酸、游离氨基酸组成, 结果见表2。由表1和表2可知, SW、SWH和FPH的酸溶蛋白含量、肽含量和游离氨基酸含量显著高于FM($P<0.05$)。SW、SWH和FPH的酸溶蛋白含量分别为FM组的10.45、16.42和12.95倍, 肽含量分别为FM组的10.37、15.55和9.88倍, 游离氨基酸含量分别为FM组的11.13、23.44和37.96倍。不同分子量肽的含量在不同样本间也有很大的差异。用excel对SW、SWH和FPH的水解氨基酸组成与FM的水解氨基酸组成做correlation相关性分析(表2)发现SW、SWH和FPH的水解氨基酸成分与FM的水解氨基酸成分相关系数分别为0.9959、0.9964和0.9985, 具有很强的相关性。

1.2 试验日粮配方与饲料制备

按照等氮、等脂肪、等磷要求进行黄颡鱼试验日粮的配方设计, 配方见表3。以日粮中含28.0%的日本级秘鲁鱼粉(FM)为对照组, 按照鱼粉蛋白质质量的15%、30%和45%分别设计3个剂量梯度, 分别得到含SW4.1%、8.1%和12.2%, 含SWH4.2%、8.5%和12.7%, 含FPH 4.1%、8.2%和12.0%(以含水量10%计算样品占配方中的百分比)共9个试验日粮。

在试验配方中, 以混合油脂(鱼油:磷脂油:豆油=1:1:2)平衡试验日粮中脂肪含量, 以磷酸二氢钙平衡各试验配方总磷含量, 以米糠粕保持试验日粮原料的配方比例平衡。在3个梯度的日粮中, 大豆浓缩蛋白、棉籽蛋白、鸡肉粉(美国Tyson)按照一定比例变化, 以保持各试验组日粮的氨基酸平衡性。玉米蛋白粉作为黄颡鱼日粮蛋白质和色素来源而在配方中保持一致。

原料粉碎后过60目筛, 按照表3的配方进行日粮原料的配合。各类原料用混合机混合均匀后, 用华祥牌HKj200制粒机加工成制成直径1.5 mm, 长

3—5 mm的颗粒饲料。颗粒饲料采用自然风干的方式风干,在-20℃密封保存备用。

1.3 日粮游离氨基酸

由表4可知,9个试验组的游离氨基酸含量显著高于鱼粉对照组。在试验组中随着添加梯度的升高游离氨基酸的含量也升高。

1.4 试验鱼与养殖管理

养殖试验在浙江一星集团的养殖基地池塘网箱中进行。在面积为40 m×60 m的池塘中设置试验网箱(规格为长1.5 m×宽1.5 m×深2.0 m)30个,以海盐县长山河河水为水源。池塘中设置2套增氧机系统,在池塘中心位置设置1台1.5 kW的叶轮式增氧机,另设置1台2.2 kW、连接若干微孔增氧盘的鼓风机,微孔增氧盘(直径20 mm、材料为纳米曝气管)设置与网箱底部,投喂前使用网箱底部微孔增氧1h,其余时间一直使用叶轮式增氧。投喂期间关闭增氧设备。

试验用黄颡鱼(共3000尾)幼鱼购自浙江省湖州农业合作社,以对照组日粮,每天投喂3次(5:30—7:00、12:00—13:30、18:00—20:00)驯养2周。选取规格整齐的平均质量为(18.68±0.10) g黄颡鱼种1350尾,0.3%食盐溶液浸泡15min消毒后,随机分成10组,每

组设3个重复($n=3$),共30个试验单元(网箱),每个网箱投放45尾黄颡鱼。

各组试验日粮日投喂量为试验鱼体重的3%—5%,日投喂3次(5:30—7:00、12:00—13:30、18:00—20:00),三餐日粮的投喂比例为2:2:3。每10天估算1次鱼体增重量,调整试验日粮投喂量,正式投喂60d。

每天6:00和18:00测试并记录水温,试验期间水温25.5—34.4℃。每5天测定水下30 cm的水质指标,试验期间水体溶解氧浓度>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。

1.5 样品采集

在试验开始时,随机抽取黄颡鱼6尾,作为初始样本进行全鱼常规体成分分析。养殖60d后,停食24h进行试验采样:(1)对每个网箱黄颡鱼进行称重,计数,用于计算成活率、特定生长率和饲料系数。(2)从每个网箱随机抽取3尾鱼保留全鱼样品,用于进行常规体成分测定。(3)从每个网箱随机取10尾鱼,以1 mL的无菌注射器自尾柄静脉采血,将血样置于2 mL Eppendorf管中室温静置3h,随后用离心机在室温条件下3500 r/min离心10min。每尾黄颡

表1 原料营养成分表(g/100 g,干物质基础)

Tab. 1 Chemical compositions of ingredient (g/100 g, dry matter)

营养成分 Chemical composition (%)	FM	SW	SWH	FPH
水分Moisture	6.82	42.69	43.07	35.78
粗蛋白Crude protein	74.40	71.54	74.30	72.31
粗脂肪Crude fat	10.43	3.93	4.62	6.15
灰分Ash	14.40	14.88	14.13	14.61
磷Phosphorus	2.28	0.79	0.68	2.31
酸溶蛋白含量ASP ^a	4.11	42.97	67.48	53.24
肽含量Peptide content	3.66	37.96	56.93	36.16
肽分子量分布Peptide molecular weight distribution ^b (Da)				
>10000	0.31 ^c (7.44) ^d	8.34 (19.41)	0.77(1.14)	0.04(0.07)
5000—10000	0.26 (6.32)	3.94 (9.18)	2.98(4.41)	0.14(0.27)
3000—5000	0.23 (5.67)	2.28 (5.30)	3.88(5.75)	0.20(0.37)
2000—3000	0.14 (3.50)	1.57 (3.66)	4.00(5.93)	0.32(0.60)
1000—2000	0.22 (5.30)	2.33 (5.42)	8.41(12.46)	1.62(3.05)
500—1000	0.19 (4.58)	2.14 (4.98)	9.38(13.9)	5.64(10.59)
180—500	0.70 (16.99)	10.13(23.58)	21.96(32.55)	19.17(36.00)
<180	2.06 (50.20)	12.23(28.46)	16.10(23.86)	26.11(49.05)

注:^a酸溶蛋白含量,从江南大学分析测试中心分析(无锡,中国)采用凯氏定氮法(GB/T 22729-2008);^b从江南大学分析测试中心分析(无锡,中国)的高效液相色谱法测定(GB/T 22729-2008);^c样品中酸溶蛋白含量(g/100 g干物质基础);^d按面积归一法计算酸溶蛋白的百分比含量(相对比例)(g/100 g干物质基础)

Note: ^a The content of acid-soluble protein was analyzed by Kjeldahl method (GB/T 22729-2008) in the analysis and testing center of Jiangnan University (Wuxi, China); ^b The peptide molecular weight distribution was analyzed by HPLC (GB/T 22729-2008) in the analysis and testing center of Jiangnan University (Wuxi, China); ^c Content of acid soluble protein in the sample. (g 100/g, dry matter); ^d Calculating the percentage of acid-soluble protein (relative proportion) based on area normalization method (g 100/g, dry matter)

鱼取血清0.2 mL混合分装于0.5 mL Eppendorf管中, 每个网箱的血样作为1个样品, 用液氮速冻后于-50℃冰箱保存待测, 用于血清游离氨基酸和其他成分的分析。

1.6 样品分析方法

采用低温冷冻干燥法(LGJ-18B型冷冻干燥机, 北京四环科学仪器有限公司)干燥至恒重用于测定水分含量。所有样品蛋白质采用凯氏定氮法(GB 5009.5-2010; 所用消化仪: LNK 87 型, 江苏省宜兴市科教仪器研究所)测定; 脂肪含量用石油醚索氏抽提法(GB/T14772-2008; 所用仪器: KN 520型, 济南阿尔瓦仪器有限公司)测定; 用马弗炉(GB 5009.4—2010; 8-10TP型, 上海慧泰仪器制造有限公司)测定灰分; 采用分光光度法(ISO 6491-1998; L2S型, 上海仪电有限公司)测定原料和日粮总磷的含量。

游离氨基酸测定方法: (1)原料游离氨基酸, 日粮游离氨基酸测定: 取1 g样品, 加5 mL 5%磺基水杨酸, 涡旋3min充分混匀后, 12000 r/min、4℃离心10min, 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; (2)血清游离氨基酸: 取黄颡鱼血清0.4 mL, 加入5%磺基水杨酸 0.8 mL, 涡旋3min充分混匀, 4℃静置12h, 12000 r/min、4℃离心10min, 取上清液为提取液。提取液过0.45 μm水系微孔滤膜, 用(S-433D型, 德国Sykam有限公司)氨基酸分析仪分离测定。

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℃水解24h, 定容至100 mL, 取部分样品真空干燥, 以0.02 mol/L HCl等体积溶解即为提取液。提取液过0.45 μm水系微孔滤膜, 用(S-433D, 德国Sykam有限公司)氨基酸分析仪分离测定。

表 2 原料水解氨基酸、游离氨基酸成分表(干物质基础, g/100 g)

Tab. 2 Composition of hydrolyzed amino acids and free amino acids of raw material (dry matter, g/100 g)

指标Index	FM	SW	SWH	FPH	FM	SW	SWH	FPH
氨基酸AA	水解氨基酸HAA				游离氨基酸FAA			
必需氨基酸EAA								
缬氨酸Val	3.95	2.68	2.93	4.05	0.01	0.14	0.05	0.75
甲硫氨酸Met	2.24	1.30	1.54	2.08	0.02	0.05	0.50	1.05
亮氨酸Ile	3.57	1.97	2.18	3.38	0.01	0.11	0.74	1.44
异亮氨酸Leu	5.81	4.00	4.66	5.37	0.02	0.25	1.44	2.79
苯丙氨酸Phe	3.00	1.71	1.85	2.45	0.01	0.09	0.83	1.37
组氨酸His	2.28	2.36	3.45	3.13	0.00	1.03	0.38	0.32
赖氨酸Lys	5.37	4.92	5.05	5.13	0.02	0.45	0.77	2.58
精氨酸Arg	4.65	3.60	3.43	2.21	0.01	0.14	0.23	0.18
苏氨酸Thr	3.33	2.25	2.32	2.01	0.01	0.10	0.43	0.03
色氨酸Trp	ND	ND	ND	ND	0.00	0.77	1.79	1.16
非必需氨基酸NEAA								
酪氨酸Tyr	2.68	1.03	0.96	2.34	0.01	0.10	0.38	1.22
脯氨酸Pro	2.25	3.12	2.61	1.89	0.01	0.14	0.26	0.02
天冬氨酸Asp	7.32	5.33	5.33	6.72	0.02	0.06	0.08	0.56
丝氨酸Ser	2.88	1.95	1.95	1.87	0.00	0.08	0.05	0.03
谷氨酸Glu	10.52	9.88	10.42	9.94	0.01	0.05	0.03	0.06
甘氨酸Gly	3.97	6.87	6.53	4.37	0.27	0.07	0.48	0.24
丙氨酸Ala	4.66	5.80	6.03	5.31	0.02	0.23	0.91	1.68
半胱氨酸Cys	0.50	0.23	0.15	1.70	ND	ND	ND	0.03
牛磺酸Tau	ND	ND	ND	ND	0.01	1.17	1.19	1.56
总氨基酸ΣAA	68.99	59.01	61.39	63.95	0.45	5.01	10.55	17.08
r	1.0000	0.9959	0.9964	0.9985	—	—	—	—

注: r 是将SW、SWH、FPH的水解氨基酸成分分别对FM的水解氨基酸成分用excel做correlation分析, 分析SW、SWH、FPH相对FM的水解氨基酸相关性; ND表示无法测定, 色氨酸由于酸水解无法测定

Note: The r value indicates the correlation of hydrolyzed amino acids composition in SW, SWH and FPH to FM, respectively; “ND” indicates that it cannot be measured. Tryptophan cannot be detected because it is hydrolyzed by acid, and the content is too low to reach the minimum detection limit

2 结果

2.1 黄颡鱼生长速度和饲料效率

在池塘网箱中经过60d的养殖试验,得到10个试验组黄颡鱼生长速度和饲料效率的结果(表5)。

由表5可知:10个试验组的黄颡鱼成活率为94.81%—100%,各处理组间无显著差异($P>0.05$)。表明SW、SWH和FPH完全替代鱼粉后,没有对黄颡鱼的成活率造成影响。

以SGR代表黄颡鱼的生长速度,以FM组为对照,SW的3个试验组中SW15、SW30和SW45的SGR相对FM组分别下降12.64%、9.89%和20.33%,差异显著($P<0.05$),SWH和FPH试验组中SWH15和SWH45相对于FM组分别下降了8.79%和14.84%,FPH15和FPH45分别下降13.18%和15.38%,差异显著($P<0.05$)。而SWH30和FPH30的SGR与FM组无显著差异($P>0.05$)。结果表明,在黄颡鱼日粮中,

8.5%的SWH和8.2%FPH完全替代28.0%的鱼粉对黄颡鱼的生长速度无显著影响($P<0.05$)。

SW组的SGR与SWH和FPH组的比较,同等添加量下SWH和FPH组的SGR显著高于SW组($P<0.05$)。在同等添加梯度下的SWH和FPH组的SGR没有显著差异($P>0.05$)。结果表明同等添加量的酶解鱼溶浆和酶解鱼浆对黄颡鱼的生长效果优于鱼溶浆。

以FCR表示日粮利用效率,FCR变化规律与SGR相反。以FM为对照,添加SW的3个试验组FCR升高18.79%—44.85%,差异显著($P<0.05$);SWH45和SWH15分别比对照组高27.88%和16.97%,差异显著($P<0.05$),SWH30与对照组无显著差异($P>0.05$);FPH45和FPH15分别比对照组高29.70%和30.30%,差异显著($P<0.05$),FPH30与对照组无显著差异($P>0.05$)。

在3种蛋白源试验组中,添加量从15%升到

表3 试验日粮配方及化学组成(干物质基础)

Tab. 3 Formulation and proximate analysis of the experimental diets (dry matter)

原料Ingredient (g/kg)	FM	SW15	SW30	SW45	SWH15	SWH30	SWH45	FPH15	FPH30	FPH45
细米糠Fine rice bran	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
米糠粕Rice bran meal	150	76	81	85	76	79	83	84	96	107
美国鸡肉粉American chicken meal	65	161	145	129	161	145	129	160	143	127
棉籽蛋白Cottonseed protein	65	161	145	129	161	145	129	160	143	127
大豆浓缩蛋白Soybean protein concentrate	65	161	145	129	161	145	129	160	143	127
玉米蛋白粉Corn gluten meal	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
小麦Wheat	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
日本超级蒸汽鱼粉The Japanese super steam fish meal	280									
鱼溶浆Stickwater		41	81	122						
酶解鱼溶浆Stickwater hydrolysate					42	85	127			
酶解鱼浆Fish protein hydrolysate								41	82	120
磷酸二氢钙Ca(H ₂ PO ₄) ₂	5	17	18	19	17	19	20	14	12	11
沸石粉Zeolite meal	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
混合油脂Mixed oil	15	28	30	32	27	27	28	26	26	26
预混料Premix feed ¹	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
原料合计Total raw material	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
营养成分(干物质基础)Nutrient composition (dry matter, %)										
干物质Dry matter	91.94	92.96	93.18	93.41	92.96	93.20	93.43	88.85	85.00	81.14
蛋白质Protein	41.35	41.36	41.34	41.38	41.31	41.35	41.34	41.37	41.36	41.36
脂肪Fat	8.23	8.21	8.20	8.22	8.25	8.20	8.24	8.23	8.23	8.24
灰分Ash	11.01	11.35	11.83	12.32	11.24	11.71	12.09	11.07	11.29	11.59
磷Phosphorus	1.71	1.70	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71	1.70	1.70	1.72

注:¹ 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

Note:¹ Premix feed offered per kg diets: copper 25 mg, iron 640 mg, magnesium 130 mg, zinc 190 mg, iodine 0.21 mg, selenium 0.7 mg, cobalt 0.16 mg, magnesium 960 mg, potassium 0.5 mg, vitamin A 8 mg, vitamin B1 8 mg, vitamin B2 8 mg, vitamin B6 12 mg, vitamin B12 0.02 mg, vitamin C 300 mg, calcium pantothenate 25 mg, niacin 25 mg, vitamin D3 3 mg, vitamin K3 5 mg, folic acid 5 mg, inositol 100 mg

表 4 日粮游离氨基酸含量(干物质基础)
Tab. 4 Contents of free amino acids in feed (dry matter)

氨基酸FAA	日粮Feed (g/1000 g)									
	FM	SW15	SW30	SW45	SWH15	SWH30	SWH45	FPH15	FPH30	FPH45
必需氨基酸EAA										
缬氨酸Val	0.21	0.20	0.44	0.48	0.65	1.03	1.49	0.87	1.44	1.88
甲硫氨酸Met	0.12	0.14	0.24	0.32	0.35	0.57	0.81	0.49	0.87	1.11
亮氨酸Ile	0.16	0.20	0.25	0.27	0.49	0.83	1.19	0.68	1.17	1.55
异亮氨酸Leu	0.33	0.36	0.42	0.44	0.99	1.61	2.38	1.36	2.32	3.01
苯丙氨酸Phe	0.20	0.17	0.28	0.34	0.46	0.73	1.06	0.52	0.87	1.08
组氨酸His	0.09	0.03	0.03	0.03	0.05	0.08	0.47	0.09	0.13	0.05
赖氨酸Lys	0.24	0.27	0.35	0.40	0.50	0.76	1.14	1.15	2.02	2.57
精氨酸Arg	0.81	0.72	0.76	0.78	1.54	1.41	1.53	1.31	1.21	1.19
苏氨酸Thr	1.04	1.36	1.48	1.52	2.68	4.28	6.12	0.92	1.40	1.54
色氨酸Trp	0.45	0.02	0.11	0.13	0.05	0.14	0.84	0.35	0.60	0.36
非必需氨基酸NEAA										
酪氨酸Tyr	0.14	0.13	0.21	0.28	0.22	0.30	0.48	0.55	0.96	1.22
脯氨酸Pro	0.14	0.13	0.21	0.28	0.22	0.30	0.48	0.55	0.96	1.22
天冬氨酸Asp	0.85	0.74	0.97	1.05	1.26	1.30	1.46	2.02	2.68	3.27
丝氨酸Ser	0.08	0.07	0.09	0.11	0.12	0.13	0.16	0.08	0.08	0.07
谷氨酸Glu	0.45	0.44	0.53	0.69	0.98	1.38	1.85	1.17	1.60	2.06
甘氨酸Gly	0.11	0.13	0.35	0.47	0.35	0.60	0.46	0.21	0.23	0.24
丙氨酸Ala	0.43	0.39	0.50	0.55	1.02	1.58	2.00	1.03	1.53	1.95
半胱氨酸Cys	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
牛磺酸Tau	0.03	0.92	1.06	1.15	1.75	2.91	4.04	2.05	3.14	5.29
总氨基酸Sum	5.97	6.58	8.65	9.63	14.00	20.35	28.26	15.07	22.50	28.83

45%, 试验黄颡鱼的SGR都是先增加后降低, FCR先降低后增加, 呈现二次函数关系。

将SW、SWH和FPH组饲料中游离氨基酸含量与黄颡鱼SGR的关系作图(图 1)。由图 1可知: 随着游离氨基酸含量的增加, SGR变化趋势表现为先增加后降低。这说明饲料中少量过低或者过量的游离氨基酸含量都不利于试验黄颡鱼的生长。

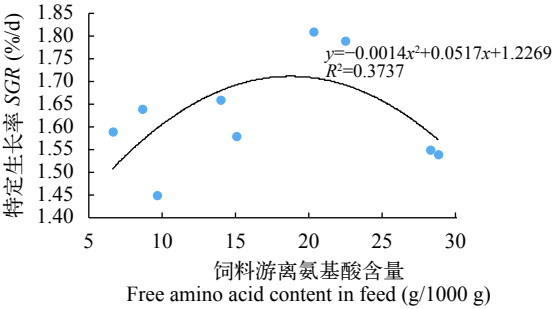


图 1 饲料游离氨基酸含量与SGR的关系(n=3)

Fig. 1 The relationship between free amino acid content of feed and SGR (n=3)

2.2 SW、SWH和FPH的FIFO值

根据日粮中海洋蛋白源的添加比例计算日粮

中FM、SW、SWH和FPH的FIFO值(表 6)。

由表 6可知, 试验组的FIFO值均低于FM组。这说明在黄颡鱼日粮中, 使用SW、SWH和FPH完全替代鱼粉, 可以显著降低FIFO值。与FM组的FIFO值相比, SW30、SWH30和FPH30的FIFO值仅为0.67、0.61和0.60, 降低67.67%—70.15%($P<0.05$)。这表明在相同养殖效果条件下, 使用适量的SW、SWH和FPH可以显著降低试验黄颡鱼的FIFO值, 实现对海洋生物蛋白资源的节约效果。

2.3 SW、SWH和FPH对黄颡鱼血液指标的影响

由表 7可知, 代表肝胰脏健康的指标: (1)与FM组比较, 谷草转氨酶含量在SW和SW45组中显著高于FM组($P<0.05$), SW30和SW15与FM组无显著差异($P>0.05$); 在SWH试验组中SWH30与FM组无显著差异($P>0.05$), SWH45和SWH15显著高于FM组($P<0.05$); FPH的3个组与FM组都没有显著差异($P>0.05$)。 (2)FM、SWH30、FPH30和SW30的谷丙转氨酶含量显著低于其他试验组($P<0.05$), 各梯度之间有先上升后下降的趋势。 (3)FPH15的总胆红素含量相对对照组显著降低($P<0.05$), 其他试验组与FM组无显著差异($P>0.05$)。代表血清营养素

表 5 黄颡鱼生长速度和日粮利用效率

Tab. 5 Growth performance and feed efficiency of yellow catfish ($n=3$)

指标Index	FM	SW15	SW30	SW45	SWH15	SWH30	SWH45	FPH15	FPH30	FPH45
初均重Initial mean weight (g)	18.66±0.06	18.65±0.02	18.69±0.12	18.65±0.05	18.64±0.10	18.65±0.06	18.65±0.10	18.61±0.01	18.69±0.05	18.67±0.03
末均重Final mean weight (g)	55.67±1.22 ^c	48.61±3.79 ^{ab}	50.36±2.21 ^b	44.54±3.70 ^a	50.83±2.44 ^{bc}	55.30±0.58 ^c	47.30±1.24 ^{ab}	48.01±2.30 ^{ab}	54.66±1.34 ^c	46.02±2.43 ^{ab}
成活率Survival (%)	98.52±2.57	97.78±2.22	94.81±3.40	98.52±2.57	99.26±1.28	98.52±2.57	99.26±1.28	95.56±3.85	98.52±2.57	100.00±0.00
特定生长率SGR (%)	1.82±0.04 ^d	1.59±0.14 ^{abc}	1.64±0.09 ^{bc}	1.45±0.14 ^a	1.66±0.21 ^{bc}	1.81±0.02 ^d	1.55±0.05 ^{ab}	1.58±0.08 ^{ab}	1.79±0.04 ^{cd}	1.54±0.12 ^{ab}
饲料系数FCR	1.65±0.03 ^a	2.14±0.30 ^{cd}	1.96±0.13 ^{bc}	2.39±0.33 ^d	1.93±0.41 ^{bc}	1.66±0.04 ^a	2.11±0.11 ^{cd}	2.15±0.24 ^{cd}	1.69±0.06 ^{ab}	2.14±0.26 ^{cd}
饱满度Condition factor	1.72±0.08 ^d	1.51±0.08 ^{bc}	1.58±0.07 ^c	1.47±0.07 ^{abc}	1.44±0.03 ^{ab}	1.56±0.04 ^c	1.40±0.05 ^a	1.37±0.07 ^a	1.55±0.06 ^c	1.38±0.04 ^a

注: 特定生长率($SGR, \% / d$)= $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$; 式中, W_t 、 W_0 分别表示终末均重、初始均重, t 为饲养天数; 饲料系数(FCR)= $\text{饲料消耗量} / \text{鱼体增加质量}$; 饱满度($CF, \%$)= $1000 \times \text{体质量} / \text{体长}^3$
Note: Specific growth rate ($SGR, \% / d$) = $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$; in the formula, W_t , W_0 respectively indicate the end mean weight, the initial weight, t is the number of days; Feed conversion ratio (FCR) = Feed consumption / fish weight gain; Condition factor ($CF, \%$) = $1000 \times \text{body mass} / \text{body length}^3$

表 6 黄颡鱼FIFO值

Tab. 6 FIFO value of yellow catfish (fish in/fish out rate, $n=3$)

指标Index	FM	SW15	SW30	SW45	SWH15	SWH30	SWH45	FPH15	FPH30	FPH45
饲料中的使用比例Use ratio in diet formula (g/1000 g)	280.0	41.0	81.0	122.0	42.0	85.0	127.0	41.0	82.0	120.0
日粮中计算的活鱼量The amount of living fish calculated in the Diet (g/1000 g)	1258.4	184.3	364.0	548.3	188.8	382.0	570.8	184.3	368.5	539.3
Fish in g1	5033.7	737.1	1456.2	2193.3	755.1	1528.1	2283.1	737.1	1474.2	2157.3
Fish out g2	2505±54.8 ^c	2251±114 ^{abc}	2188±170 ^{ab}	2004±167 ^a	2288±290 ^{bc}	2489±26.1 ^c	2128±55.8 ^{ab}	2161±104 ^{ab}	2460±60.4 ^c	2116±147 ^{ab}
Fish in/fish out	2.01±0.04 ^d	0.33±0.02 ^a	0.67±0.05 ^b	1.10±0.10 ^c	0.33±0.05 ^a	0.61±0.01 ^b	1.07±0.03 ^c	0.34±0.02 ^a	0.60±0.01 ^b	1.02±0.07 ^c
与鱼粉组比较Compared with fish meal group (%)	0.00	-83.58	-66.67	-45.27	-83.58	-69.65	-46.77	-83.08	-70.15	-49.25

注: 1. Fish in值=计算的活鱼量 g/1000 g 日粮×3 个平行单元试验消耗日粮量; 2. 根据国际鱼粉生产水平, 每1000 g活鱼可生产鱼粉222.5 g鱼粉, 假设酶解虾浆、酶解鱼浆(粉)产出值同样为222.5 g/1000 g; 3. 活鱼量Fish out: 3个平行单元试验产出活鱼总量

Note: 1. Fish in = g/1000 g calculation of fish diet *3 parallel test unit consumption of dietary; 2. According to the current international production efficiency of fish meal, 222.5 g commercial fish meal can be produced by 1000 g fish. Therefore, in this study, we assumed that the yield value of shrimp protein hydrolysis, fish protein hydrolysis (meal) is 222.5 g/1000 g; 3. Fish out: Total fish yield from 3 parallel experiments; 4. FIFO = Fish in/fish out

的指标: (1)在总蛋白含量中, SWH30与FM组没有显著差异($P>0.05$), 其他各组相对FM组总蛋白含量都有降低, 其中FPH45和FPH15最低。(2)在葡萄糖含量中SWH45相对FM组显著降低($P<0.05$), 其他各组与FM组无显著差异($P>0.05$), 其中FPH15的葡萄糖含量最高, SWH45的葡萄糖含量最低。(3)在胆固醇含量中, 所有试验组相对FM组都有降低, 其中SW15最低; FM、SW30和SWH45的甘油三酯含量最高, SWH45、SW15以及FPH三个试验组相对FM组显著降低($P<0.05$)。

上述结果表明, 过高添加量的SW、SWH和FPH会使试验黄颡鱼的谷草转氨酶活性升高, 过高或者过低添加SW、SWH和FPH都会使谷丙转氨酶活性升高。SW、SWH和FPH能降低试验黄颡鱼的胆固醇和甘油三酯含量。这说明在试验日粮中过高或者过低添加SW、SWH和FPH会对试验黄颡鱼的健康造成不利影响。而适量添加SW、SWH和FPH不会对黄颡鱼的健康造成不利影响。

2.4 SW、SWH和FPH对黄颡鱼体成分的影响

由表 8 可知: 各试验组黄颡鱼的水分没有显著差异($P>0.05$); FM组的蛋白含量最高, SW组, 以及FPH中的FPH45和FPH15显著低于FM组($P<0.05$); FPH15的脂肪含量显著低于对照组($P<0.05$), 其他各组与对照组没有显著差异($P>0.05$); SW45和SWH15组的灰分显著高于对照组($P<0.05$), 其他各组与对照组相比没有显著差异($P>0.05$)。

上述结果表明在日粮中过高或者过低添加SW、SWH和FPH会降低试验黄颡鱼的蛋白质含量。添加8.5%的SWH和8.2%的FPH对黄颡鱼的体成分没有显著影响。

3 讨论

生命起源于海洋, 海洋捕捞的渔获物生产的饲料原料如鱼粉可能含有水产养殖动物所必需的营养物质成分, 酶解鱼溶浆和酶解鱼浆是以海洋捕捞渔获物为原料生产的新型蛋白质原料。本试验将少量海洋水解蛋白配合陆生动物蛋白和植物蛋白与鱼粉做对比试验, 探讨这类新型蛋白质原料替代鱼粉, 节约海洋鱼粉资源, 降低饲料成本的目的。

3.1 在黄颡鱼日粮中8.5%的SWH和8.2%的FPH可完全替代28.0%的鱼粉

本试验得到的重要结果是: 在黄颡鱼日粮中, 以8.5%的SWH和8.2%的FPH(干物质)可完全替代28.0%的鱼粉, 而前者的蛋白质量仅为后者的30%。这个结果显示, SWH、FPH与FM相比较, 已

经超越了蛋白质营养价值的作用(其蛋白质量仅为鱼粉蛋白质量的30%), SWH和FPH中的活性物质对黄颡鱼的生长、代谢等产生了更大的生理作用。

海洋水解蛋白直接应用于饲料中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, 尤其是肉食性鱼类中已得到初步的应用, 并取得良好的养殖效果。其主要特点是维护原料鱼体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^[4]。已有研究表明, 在日粮中添加适量的海洋水解蛋白可提高鱼类生长速度和存活率^[7, 8], 减少病害^[9, 10], 增强消化酶活性^[11, 12], 促进氮的吸收^[13], 诱导非特异性免疫^[14, 15]。这些生理学效应的产生主要认为是因为海洋蛋白源含有丰富的水溶性蛋白质、小肽以及游离氨基酸, 以及一些可能存在的未知成分。例如, 牛磺酸是动物体内广泛存在的有机酸, 对肠道发育、促进生长有重要的作用^[16, 17]; 游离氨基酸, 特别是Glu、Ala、Pro、Leu和Tau等味觉相关的氨基酸, 具有刺激食欲的作用^[18, 19]。本试验的试验材料鱼溶浆、酶解鱼溶浆和酶解鱼浆的物质组成比例见表 1 游离和水解氨基酸含量见表 2, 与鱼粉比较鱼溶浆、酶解鱼溶浆和酶解鱼浆的酸溶蛋白含量分别为鱼粉的10.45、16.42和12.95倍; 肽含量分别为鱼粉组的10.37、15.55和9.88倍; 游离氨基酸含量分别为鱼粉的11.13、23.44和37.96倍; 牛磺酸含量分别为鱼粉的117、119和156倍。样本中氨基酸模式与鱼粉比较, 相关系数分别为0.9959、0.9964和0.9985, 没有显著性的差异。这个结果显示, 虽然氨基酸模式没有显著性的差异, 但鱼溶浆、酶解鱼溶浆、酶解鱼浆较鱼粉含有更多的酸溶蛋白、肽、游离氨基酸、牛磺酸等, 甚至含有我们目前未知的物质类型。可以认为, 与鱼粉比较, 鱼溶浆、酶解鱼溶浆和酶解鱼浆含有更多的可消化蛋白、肽和氨基酸, 也含有更多的生物活性物质如牛磺酸、小肽等, 这些活性物质在无鱼粉日粮中提供水产所需要的特殊成分, 这些成分在饲料诱食性、促进生长、维护鱼体生理健康等方面应该具有很大的生理作用, 因此, 这类酶解鱼蛋白原料应该具有比鱼粉更好的养殖效果。在Tang等^[20]对大黄鱼(*Pseudosciaena crocea* R.)的研究结果显示: 在65%的鱼粉日粮中用酶解鱼浆替代5%、10%和15%的鱼粉, 试验组日粮带来的游离氨基酸使大黄鱼生长加快, 免疫力提升。Espe等^[21]在49%的鱼粉日粮中添加5%的酶解鱼浆, 大西洋鲑鱼(*Salmo salar* L.)生长显著升高。Hevroy等^[22]在对大西洋鲑的研究中发现: 日粮中缺乏酶解鱼浆, 大西洋鲑鱼生长降低, 酶解鱼浆水平升高, 生长

表 7 三种原料对黄颡鱼血清生化指标的影响
Tab. 7 Effects of three kinds of raw materials on serum biochemical indices of yellow catfish (n=3)

指标Index	FM	SW15	SW30	SW45	SWH15	SWH30	SWH45	FPH15	FPH30	FPH45
谷草转氨酶AST (U/L)	264.3±30.7 ^{abc}	275.0±13.9 ^{abc}	263.3±62.8 ^{abc}	313.7±26.2 ^{cd}	308.0±2.7 ^{cd}	278.3±45.7 ^{abcd}	331.0±19.0 ^d	240.0±16.5 ^a	240.0±14.8 ^a	254.7±3.2 ^{ab}
谷丙转氨酶ALT (U/L)	11.00±2.00 ^{ab}	20.00±10.00 ^{cd}	11.67±3.21 ^{abc}	16.33±6.11 ^{abcd}	18.67±2.89 ^{bcd}	9.67±2.08 ^a	20.67±4.04 ^d	14.33±3.51 ^{abcd}	8.33±3.21 ^a	12.33±0.58 ^{abcd}
总胆红素T-Bil (μmol/L)	0.77±0.06 ^b	0.73±0.23 ^{ab}	0.77±0.12 ^b	0.70±0.00 ^{ab}	0.67±0.06 ^{ab}	0.70±0.17 ^{ab}	0.63±0.21 ^{ab}	0.50±0.00 ^a	0.53±0.06 ^{ab}	0.57±0.06 ^{ab}
总蛋白TP (g/L)	38.40±1.71 ^d	33.63±1.50 ^{ab}	33.87±0.47 ^{abc}	33.50±1.45 ^{ab}	36.10±2.00 ^{bc}	37.03±1.70 ^{cd}	35.03±0.84 ^{abc}	32.27±0.68 ^a	34.60±1.74 ^{abc}	32.40±3.40 ^a
葡萄糖GLU (mmol/L)	8.63±1.53 ^{bc}	7.60±1.39 ^{abc}	8.43±0.57 ^{bc}	6.57±1.53 ^{abc}	7.90±0.52 ^{abc}	8.17±0.15 ^{abc}	6.03±0.21 ^a	8.90±1.85 ^c	8.53±1.93 ^{bc}	6.47±0.38 ^{ab}
胆固醇CHOL (mmol/L)	6.70±0.91 ^d	4.27±0.16 ^a	4.94±0.85 ^{bc}	4.47±0.30 ^{ab}	4.69±0.26 ^{abc}	5.95±0.49 ^{cd}	5.83±1.34 ^{bcd}	4.72±0.46 ^{abc}	5.56±0.41 ^{abcd}	4.54±1.18 ^{abc}
甘油三酯TG (mmol/L)	9.13±1.32 ^b	7.20±1.95 ^{ab}	7.03±0.99 ^{ab}	9.13±0.64 ^b	5.67±0.49 ^a	8.47±1.27 ^b	5.20±0.75 ^a	5.77±0.12 ^a	6.20±1.93 ^a	5.87±0.06 ^a

表 8 SW、SWH和FPH对黄颡鱼体成分的影响(干物质基础)
Tab. 8 Effects of SW, SWH and FPH on body composition of yellow catfish (dry matter) (n=3)

指标Index	FM	SW15	SW30	SW45	SWH15	SWH30	SWH45	FPH15	FPH30	FPH45
干物质Dry matter (%)	32.89±1.15	35.66±2.90	31.58±2.16	31.67±1.00	34.37±3.26	33.67±1.44	34.19±2.51	34.20±3.78	32.44±3.70	32.02±1.07
蛋白质Crude protein (%)	56.03±0.87 ^b	50.33±2.55 ^a	50.27±1.23 ^a	50.71±1.81 ^a	53.13±1.38 ^{ab}	53.76±3.81 ^{ab}	51.84±4.18 ^{ab}	50.77±0.38 ^a	53.25±0.15 ^{ab}	50.73±2.99 ^a
脂肪Crude fat (%)	29.98±3.17 ^{ab}	35.07±3.54 ^{bc}	31.14±3.86 ^{abc}	27.50±2.41 ^a	31.55±0.85 ^{abc}	27.97±0.84 ^a	34.45±3.54 ^{bc}	35.30±3.28 ^c	33.04±0.72 ^{bc}	31.64±1.99 ^{abc}
灰分Ash (%)	12.67±0.79 ^a	13.68±0.49 ^{ab}	13.53±0.80 ^{ab}	14.42±1.07 ^b	14.24±0.39 ^b	13.46±0.94 ^{ab}	13.62±0.79 ^{ab}	13.70±0.15 ^{ab}	13.51±0.19 ^{ab}	13.95±0.49 ^{ab}

状态逐渐恢复。Khosravi等^[23]在对红鲷和牙鲆的研究结果显示: 在日粮中添加2%酶解虾浆和酶解鱼浆有利于提高红鲷(*Pagrus major*)和牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)生长, 增强非特异性免疫。在本试验中, SW、SWH和FPH的水溶性蛋白质、小肽以及游离氨基酸显著高于FM组, 利用海洋水解蛋白的优势配合陆生动物蛋白和植物蛋白与鱼粉做对比试验发现: 8.5%的SWH和8.2%的FPH与28%的FM组的黄颡鱼生长和存活率没有显著差异, 表明这个添加量与28%的鱼粉对黄颡鱼具有同等生长效果, 充分显示出酶解鱼溶浆、酶解鱼浆的产品优势。

本试验结果表明, 从生长速度和饲料系数作为评价指标, 黄颡鱼日粮中8.5%的酶解鱼溶浆和8.2%的酶解鱼浆(干物质)可完全替代28.0%的鱼粉。那么, 这个条件对黄颡鱼的生理健康是否会产生不良影响呢?

首先从黄颡鱼的体组成来看(表 8), 黄颡鱼日粮中8.5%的酶解鱼溶浆和8.2%的酶解鱼浆完全替代28.0%的鱼粉, 试验黄颡鱼的蛋白、脂肪和灰分含量没有显著差异。这说明用8.5%的酶解鱼溶浆和8.2%的酶解鱼浆完全替代鱼粉没有对黄颡鱼鱼体造成不利影响。其次, 血液成分是鱼体营养和生理健康的重要反应, 血液参数是评价鱼体生理和健康的重要指标。谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)是氨基酸代谢过程中两个重要的氨基转移酶。ALT主要在催化 α -酮戊二酸与天冬氨酸生成谷氨酸与草酰乙酸的反应过程中起氨基转移作用, 而AST主要在催化 α -酮戊二酸与丙氨酸生成谷氨酸与丙酮酸的反应过程中起氨基转移作用。当动物的生理机能处于正常情况下, ALT和AST主要存在于细胞内, 而血清中的活性很低。在各组织器官中, 以心肌细胞和肝细胞内的活性最高。但是当这些组织细胞受损时, 可能有大量的谷草转氨酶和谷丙转氨酶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, 因此通常根据血清中这两种转氨酶活性的变化判断肝脏等组织器官的功能状况, 这是目前评定肝脏健康与否的最具特异性和最广泛应用的指标^[24]。Tapiasalazar等^[25]的研究发现在饲料中过量的生物胺会使蓝虾(*Litopenaeus stylirostris*)血清中的AST和ALT含量上升, 对虾的健康产生了不利影响。在本试验中高添加量的鱼溶浆、酶解鱼溶浆和酶解鱼浆可能带来过量的生物胺使试验黄颡鱼的谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活性升高, 对试验黄颡鱼的健康产生了不利影响。Khosravi等^[26]在对红鲷的研究中发现: 在低鱼粉日粮中添加鱼蛋白水解物有利于降低试验鱼体的胆固醇水平, 因为

植物蛋白会导致粪便中胆汁酸排泄增加从而降低胆固醇。由以上结果可知: 黄颡鱼日粮中8.5%的酶解鱼溶浆和8.2%的酶解鱼浆完全替代28.0%的鱼粉对黄颡鱼的生理健康没有造成不良影响。

3.2 过低或过高添加量的SW、SWH和FPH会造成试验黄颡鱼生长降低

从本试验结果看, 鱼蛋白水解物不是添加越多越好, 在日粮中有适宜添加量。那么, 是什么因素导致过低、或过高添加量的酶解鱼蛋白原料对黄颡鱼生长造成不良影响呢? 目前, 对于同类研究中较多地关注日粮中游离氨基酸总量, 有研究认为过高的游离氨基酸总量会造成水产动物生长速度下降。Espe等^[27]在对大西洋鲑鱼的研究中发现: 在日粮中过量的游离氨基酸对鲑鱼的生长产生的不利影响, 其主要原因是鱼体对日粮游离氨基酸的吸收与对日粮水解氨基酸的吸收时间不同步, 游离氨基酸过早吸收会导致日粮总氨基酸吸收不平衡。因此, 过高水解度的酶解鱼浆因为游离氨基酸含量高而致使鱼体对日粮蛋白质利用率降低; 同时, Cudenne等^[28]在对从蓝鳕(*Micromesistius poutasou*)中提取鱼蛋白水解物体内和体外试验研究中发现, 过高的游离氨基酸具有饱食作用, 会降低动物摄食。在本试验中, 日粮游离氨基酸含量在不同日粮中的含量见表 4, 我们依据日粮中游离氨基酸含量(不包括鱼粉组)与黄颡鱼的生长速度SGR作图得到图 1, 从图 1可以直观地发现, 随着日粮中游离氨基酸含量的增加试验组黄颡鱼的SGR先增加后减少, 即过高或过低的日粮游离氨基酸含量均会导致SGR降低。这个结果表明, 日粮游离氨基酸含量有一个适宜的值, 在日粮中添加8.5%的酶解鱼溶浆和8.2%的酶解鱼浆带来的游离氨基酸含量就是本试验中的最佳适宜值。另外, 主要蛋白质原料、日粮中肽的分子量大小、含量对水产动物生长也是具有重大影响的。Kousoulaki等^[29]在对大西洋鲑鱼的研究中发现, 鲑生长受到酶解鱼蛋白分子大小的影响, 在低鱼粉日粮中添加5%不同分子量的鱼浆, 鲑生长最优时水溶蛋白分子量>10 kD, 大于或小于这个范围生长均有所降低, 当小肽的分子量<1000 Da, 游离氨基酸(<100 Da)约为90%时, 生长最差, 这意味着高游离氨基酸不利于鱼体生长。

至于日粮中游离氨基酸含量如何影响养殖动物生长速度的问题, 我们还在从转录组的基因差异表达、涉及氨基酸吸收转运的基因表达等方面进行研究, 将另文发表。

3.3 酶解鱼溶浆的生长效果为优于鱼溶浆

鱼溶浆经过酶解后游离氨基酸含量显著增加,

肽段分布也有显著变化。小分子肽段含量增加,大分子肽段含量减少。Cai等^[30]在对黄颡鱼幼鱼的研究中发现:用不同分子量的鱼蛋白水解物替代40%的鱼粉,发现经过超滤后的鱼蛋白水解物比没有经过超滤的鱼蛋白水解生长效果好。Carvalho等^[31]在对鲤(*Cyprinus carpio*)的试验中发现,可溶性蛋白和肽段的分子量大小影响鲤鱼幼体的生长。Wu等^[32]在对黄颡鱼的研究中也发现,鱼溶浆经过酶解后小分子肽段含量增加,有利于黄颡鱼的吸收,从而有利于黄颡鱼的生长^[32]。在本试验中,由表1可知鱼溶浆经过酶解后酸溶蛋白含量显著增加。在本试验中,SW、SWH和FPH的肽含量显著高于FM组,肽链分布也有很大的差异,其中SW组中>10000 Da、180—500 Da和<180 Da的肽链含量最多,分别占19.41%、23.58%和28.46%;SWH中1000—2000 Da、500—1000 Da、180—500 Da、<180 Da含量肽链含量最多,分别占12.46%、13.9%、32.55%和23.86%;FPH中500—1000 Da、180—500 Da、<180 Da的肽链含量最多,分别占10.59%、36%和49.05%。游离氨基酸含量也显著增加,Glu、Ala、Pro、Leu和Tau等味觉相关的氨基酸也显著增加(表4)。肽链分布和游离氨基酸含量的变化可能是造成酶解鱼溶浆生长效果优于鱼溶浆的主要原因。

因此,关于酶解鱼溶浆、酶解鱼浆新型产品的研发需要重点关注酶解条件的控制,酶解条件控制的关键点是产物中的有效的、适宜分子量的肽种类和含量。酶解鱼溶浆、酶解鱼浆产品质量控制指标可以是酸溶蛋白质含量、肽含量越高效果越好,而游离氨基酸总量控制在较低水平。

4 结论

在本试验条件下,黄颡鱼日粮中8.5%添加量的酶解鱼溶浆(干物质)、8.2%添加量的酶解鱼浆(干物质)可以完全替代28%鱼粉,而相应的FIFO值分别比鱼粉组降低了69.95%、70.15%。酶解鱼溶浆对黄颡鱼的生长效果优于鱼溶浆。日粮中过高、或过低添加量的鱼溶浆、酶解鱼溶浆、酶解鱼浆都会导致黄颡鱼的生长速度和饲料效率下降,日粮中过高的游离氨基酸对黄颡鱼的生长速度和饲料系数造成了不良影响。

参考文献:

[1] Ye Y T. Only meet the needs of development of aquaculture, to win the aquatic feed enterprise development opportunities [J]. *Feed Industry*, 2016, **37**(2): 1—9 [叶元土.

只有适应养殖业的发展需要,才能赢得水产饲料企业的发展机遇. 饲料工业, 2016, **37**(2): 1—9]

- [2] Zhou Q C, Mai K S, Liu Y J, *et al.* Research progress of animal and plant protein sources instead of fish meal [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2005, **29**(3): 404—410 [周歧存, 麦康森, 刘永坚, 等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展. 水产学报, 2005, **29**(3): 404—410]
- [3] Bassompierre, Larsen, Zimmermann, *et al.* Comparison of chemical, electrophoretic and in vitro digestion methods for predicting fish meal nutritive quality [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2015, **4**(4): 233—239
- [4] Yun B, Ai Q, Xue H, *et al.* Effects of dietary squid soluble fractions on growth performance and feed utilization in juvenile Snakehead (*Ophiocephalus argus*) fed practical diets [J]. *The Israeli Journal of Aquaculture Bamid-geh*, 2014, **66**: 1—8
- [5] Jackson A. Fish in-fish out ratios explained [J]. *Aquaculture Europe*, 2009, **34**: 5—10
- [6] Albertgj T, Marc M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects [J]. *Aquaculture*, 2008, **285**(1): 146—158
- [7] Zhang L L, Liang M Q, Xu H G, *et al.* Effects of dietary krill hydrolysates on growth performance, body composition and related enzyme activities of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2017, **41**(3): 497—505 [张莉莉, 梁萌青, 徐后国, 等. 饲料中添加磷虾水解物对大菱鲆幼鱼生长性能、体组成及相关酶活性的影响. 水生生物学报, 2017, **41**(3): 497—505]
- [8] Huongthimy N, Raúl P, *et al.* Effect of diets containing tuna head hydrolysates on the survival and growth of shrimp *Penaeus vannamei* [J]. *Aquaculture*, 2012, **324**(3): 127—134
- [9] Liang M, Wang J, Chang Q, *et al.* Effects of different levels of fish protein hydrolysate in the diet on the non-specific immunity of Japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus* (Cuvieret Valenciennes, 1828) [J]. *Aquaculture Research*, 2006, **37**(1): 102—106
- [10] Zhou Q, Jin M, Elmada Z C, *et al.* Growth, immune response and resistance to *Aeromonas hydrophila*, of juvenile yellow catfish, *Pelteobagrus fulvidraco*, fed diets with different arginine levels [J]. *Aquaculture*, 2015, **437**: 84—91
- [11] Cahu C, Ronnestad 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
- [12] Srichanun M, Tantikitti C, Kortner T M, *et al.* Effects of different protein hydrolysate products and levels on growth, survival rate and digestive capacity in Asian seabass (*Lates calcarifer*, Bloch) larvae [J]. *Aquaculture*,

- 2014, (428—429): 195—202
- [13] Zheng K, Liang M, Yao H, *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
- [14] 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 [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. 水生生物学报, 2010, **34**(1): 94—100]
- [15] Bøgwald J, Dalmo R, Leifson R M, *et al.* The stimulatory effect of a muscle protein hydrolysate from Atlantic cod, *Gadus morhua* L. on Atlantic salmon, *Salmo salar* L. head kidney leucocytes [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 1996, **6**(1): 3—16
- [16] Omura Y, Inagaki M, *et al.* Immunocytochemical localization of taurine in the fish retina under light and dark adaptations [J]. *Amino Acids*, 2000, **19**(3—4): 593—604
- [17] Kim S K, Takeuchi T, Yokoyama M, *et al.* Effect of dietary taurine levels on growth and feeding behavior of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. *Aquaculture*, 2005, **250**(3—4): 765—774
- [18] Abtahi B. Behavioural responses of the Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) juveniles to free amino acid solutions [J]. *Marine & Freshwater Behaviour & Physiology*, 2007, **40**(3): 219—224
- [19] Carr W, III, Netherton J C, Gleeson R A, *et al.* Stimulants of feeding behavior in fish: analyses of tissues of diverse marine organisms [J]. *Biological Bulletin*, 1996, **190**(2): 149—160
- [20] 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 (Biomedicine & Biotechnology)*, 2008, **9**(9): 684—690
- [21] Espe M, Lemme A, Petri A, *et al.* Assessment of lysine requirement for maximal protein accretion in Atlantic salmon using plant protein diets [J]. *Aquaculture*, 2007, **263**(1—4): 168—178
- [22] Hevroy E M, Espe M, Waagbo R, *et al.* Nutrient utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed increased levels of fish protein hydrolysate during a period of fast growth [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2015, **11**(4): 301—313
- [23] Khosravi S, Bui H T D, Rahimnejad S, *et al.* Dietary supplementation of marine protein hydrolysates in fish-meal based diets for red sea bream (*Pagrus major*) and olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 2015, **435**: 371—376
- [24] Chen C, Huang F, Shu Q Y, *et al.* Effects of conjugated linoleic acid on growth, muscle composition, aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase activity of grass carp [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(3): 647—651 [陈晨, 黄峰, 舒秋艳, 等. 共轭亚油酸对草鱼生长、肌肉成分、谷草转氨酶及谷丙转氨酶活性的影响. 水生生物学报, 2010, **34**(3): 647—651]
- [25] Tapiasalar M, Cruzsuarez L E, Ricquemarie D, *et al.* Effect of fishmeal made from stale versus fresh herring and of added crystalline biogenic amines on growth and survival of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* fed practical diets [J]. *Aquaculture*, 2004, **242**(1—4): 437—453
- [26] 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
- [27] Espe M, Sveier H, Hogoy I, *et al.* Nutrient absorption and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed fish protein concentrate [J]. *Aquaculture*, 1999, **174**(1—2): 119—137
- [28] 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
- [29] Kousoulaki K, Olsen H J, Albrektsen S, *et al.* High growth rates in Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) fed 7.5% fish meal in the diet. Micro-, ultra- and nano-filtration of stickwater and effects of different fractions and compounds on pellet quality and fish performance [J]. *Aquaculture*, 2012, **338—341**(4): 134—146
- [30] Cai Z, Li W, Mai K, *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
- [31] Carvalho A P, Sá R, Oliva-Teles A, *et al.* Solubility and peptide profile affect the utilization of dietary protein by common carp (*Cyprinus carpio*) during early larval stages [J]. *Aquaculture*, 2004, **234**(1): 319—333
- [32] Wu D W, Zhou L Y, Gao M M, *et al.* Effects of stickwater hydrolysates on growth performance for yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. *Aquaculture*, 2018, **488**: 161—173

THE EFFECTS OF FISH MEAL REPLACEMENT ON GROWTH PERFORMANCE OF YELLOW CATFISH (*PELTEOBAGRUS FULVIDRACO*)

ZHOU Lu-Yang¹, WU Dai-Wu², GAO Min-Min¹, HE Jie¹, SUN Fei¹, YU Nong¹, YE Yuan-Tu¹,
CAI Chun-Fang¹, WU Ping¹, TANG Feng², PU Qin-Hua³ and REN Sheng-Jie¹

(1. School of Basic Medical Sciences and Biotechnology, Suzhou University, Suzhou 215123, China;

2. Zhejiang Feng Yu Marine Organism Products Co., Ltd., Zhoushan 316000, China;

3. Zhejiang Star Industrial Limited by Share Ltd, Haiyan 314300, China)

Abstract: To evaluate effects of stickwater, stickwater hydrolysate and fish protein hydrolysate to replace fish meal on the growth performance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*), ten isonitrogenous and isolipidic diets were formulated to feed 30 net cages of yellow catfish (18.68 ± 0.10 g) for 60 days. A semipurified diet containing 28% fish meal was formulated as a control (FM diet). Other nine non-fish meal diets were formulated with stickwater (SW15, SW30, SW45), stickwater hydrolysate (SWH15, SWH30, SWH45) or fish protein hydrolysate (FPH15, FPH30, FPH45), supplying approximate 15%, 30% or 45% fish meal protein of FM diet. (1) Compared with diet FM, diets SW decreased SGR by 9.89%—20.33% ($P < 0.05$), and increased FCR by 18.79%—44.85% ($P < 0.05$). Diet SWH15 and diet SWH45 decreased SGR by 8.79% and 14.84% respectively and increased FCR by 16.97% and 27.88% compared with those of the diet FM ($P < 0.05$). Diet FPH15 and diet FPH45 decreased SGR by 13.18% and 15.38%, and increased FCR by 30.30% and 29.70% compared with diet FM ($P < 0.05$); (2) No significant difference was noticed among diet SWH30, diet FPH30 and diet FM in SGR and FCR ($P > 0.05$); (3) The SGR of diets SWH additionally increased 4.40%—9.39% compared with diets SW, while the FCR decreased 9.81%—15.31% ($P < 0.05$); (4) Compared with diet FM, the FIFO of diet SW30, SWH30 and FPH30 were 0.67, 0.61 and 0.60, respectively, decreased by 67.67% to 70.15% ($P < 0.05$). These results indicated that 28% fish meal protein quality of 8.5% (with dry weight 90%) stickwater hydrolysate (diet SWH30) and 8.2% (with dry weight 90%) fish protein hydrolysate (diet FPH30) have similar growth performance with 28% fish meal in yellow catfish diet, and that the FIFO of these two diets were reduced by 69.95% and 70.15% compared with that of diet FM. The stickwater hydrolysate had better fish growth performance than stickwater. The growth performance and feed efficiency of yellow catfish were significantly decreased when the additive amount of stickwater and stickwater hydrolysate was not suitable.

Key words: Fish meal; Stickwater; Stickwater hydrolysate; Fish protein hydrolysate; Yellow catfish; Growth performance