



## 不同工艺提取鳀蛋白质原料对黄颡鱼生长性能和生理健康的影响

吕 斌<sup>1</sup>, 叶元土<sup>1\*</sup>, 孙 飞<sup>1</sup>, 吕 昊<sup>1</sup>, 易皓明<sup>1</sup>, 石瑶瑶<sup>1</sup>, 郁 浓<sup>1</sup>,  
蔡春芳<sup>1</sup>, 吴 萍<sup>1</sup>, 王灵华<sup>2</sup>, 吴代武<sup>3</sup>, 浦琴华<sup>4</sup>

(1. 苏州大学基础医学与生物科学学院, 江苏 苏州 215123;

2. 浙江亿丰海洋生物制品有限公司, 浙江 玉环 317600;

3. 浙江丰宇海洋生物制品有限公司, 浙江 舟山 316000;

4. 浙江一星实业股份有限公司, 浙江 海盐 314300)

**摘要:** 为了比较不同生产工艺得到的酶解鳀鱼浆 (HFP)、鳀鱼溶浆 (SW)、酶解鳀鱼溶浆 (HSW)、低温烘干鳀鱼粉 (L-FM) 和常规烘干鳀鱼粉 (H-FM) 在饲料中的应用效果。以初始体质量为 (17.69±0.09) g 的黄颡鱼幼鱼为养殖对象, 以 30% 的秘鲁超级蒸汽鱼粉 (FM 组) 为对照, 在实验日粮中分别添加酶解鳀鱼浆、鳀鱼溶浆、酶解鳀鱼溶浆、低温烘干鳀鱼粉和常规烘干鳀鱼粉, 经过 8 周池塘网箱养殖实验, 比较 5 种不同生产工艺得到的鳀鱼蛋白质原料对黄颡鱼生长性能的影响。结果显示, ①与 FM 组相比, L-FM 和 H-FM 组的特定生长率 (SGR) 和饲料系数 (FCR) 均无显著差异; ②以 FM 组为对照, HFP25 实验组的 SGR 降低了 3.30%, FCR 升高了 5.36%, 无显著差异, 而 HFP45 和 HFP65 组的 SGR 分别降低了 10.99%、20.33%, FCR 分别升高了 21.43%、41.96%, 差异显著, 并且随着日粮中 HFP 添加量的增加, SGR、蛋白沉积率 (PRR) 和脂肪沉积率 (FRR) 均呈现下降趋势, 差异显著; ③HFP45、SW 和 HSW 3 组实验饲料的结果中, HFP 具有最高的 SGR, 而 SW 的 SGR 最低, 差异不显著。经酶解处理后的 HSW 较 SW 组 SGR 升高了 2.25%, 差异不显著, 体组成方面, 鱼体水分、蛋白、脂肪和总磷含量变化不显著, 灰分变化显著。研究表明, 在黄颡鱼生长性能和饲料利用效率方面, FM、L-FM 和 H-FM 之间无显著性差异, 但 L-FM 在黄颡鱼健康方面优于 H-FM; 在黄颡鱼日粮中实际添加 7.1% 的酶解鳀鱼浆 (干物质) 可以完全替代 30% 的鱼粉, 在鱼体生长速率、饲料效率和血清指标等方面具有一定的等效性; 日粮中过高添加量 HFP 会导致黄颡鱼生长速率和饲料效率的下降; 不同酶解蛋白原料中, HFP 对黄颡鱼的生长效果最好, SW 生长效果最差。此外, 经酶解处理后的 HSW 要优于 SW。本实验为有效提高海洋捕捞资源的利用率, 推进海洋生物蛋白新产品的开发, 并为饲料企业选择更有效的产品及其使用剂量提供研究基础和应用技术。

**关键词:** 黄颡鱼; 鳀鱼粉; 酶解鳀鱼浆; 酶解鳀鱼溶浆; 鳀鱼溶浆; 生长性能

中图分类号: S 963

文献标志码: A

收稿日期: 2021-06-28 修回日期: 2021-10-15

资助项目: 酶解鱼粉 (酶解鱼蛋白) 在黄颡鱼饲料中的应用研究专项 (P113410618)

第一作者: 吕斌 (照片), 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: lb1092214567@163.com

通信作者: 叶元土, 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: yeYT@suda.edu.cn



日本鳀 (*Engraulis japonicus*) 属温水性中上层鱼类, 广泛分布于西太平洋和西印度洋, 是中国东海和黄海沿岸鱼粉鱼油生产区的主要原料<sup>[1-2]</sup>。鱼粉属于资源有限的海洋蛋白质原料, 通过鱼粉生产技术升级 (如低温烘干)、蛋白酶酶解等技术方法提高海洋蛋白质原料的利用价值, 这对水产饲料的发展是一项很有意义的研究, 一方面可以提高海洋动物资源的利用率、节约资源; 另一方面, 在水产饲料中也要依据海洋动物蛋白质原料的质量特性, 科学利用海洋动物蛋白质资源。

鱼粉质量会因原料鱼种类、生产工艺和储存方式等因素产生差异。不同温度干燥的鱼粉营养价值差别较大, 直接影响饲料品质, 对水产动物的生长性能产生影响<sup>[3-4]</sup>。以鳀鱼粉生产过程中的压榨液或鳀全鱼为原料, 运用现代生物酶解技术, 可以得到水分含量约在 50% 的酶解鳀鱼浆、酶解鳀鱼溶浆等产品, 经酶解后的鳀鱼浆、鳀鱼溶浆中含有更多的游离氨基酸、分子肽以及特殊活性成分等生理营养因子, 并且有效保持了原料鱼的蛋白质和油脂的新鲜度, 降低高温对蛋白质和油脂的不利影响, 同时增强了饲料的诱食效果<sup>[5]</sup>。在饲料生产过程中, 鱼粉的品质、酶解蛋白的添加量以及蛋白原料的选择都直接影响饲料的质量和利用率, 对水产养殖业的健康持续发展具有重要意义。

本实验以秘鲁超级蒸汽鱼粉 (FM) (对照组)、低温烘干鳀鱼粉 (L-FM)、常规烘干鳀鱼粉 (H-FM)、酶解鳀鱼浆 (HFP)、酶解鳀鱼溶浆 (HSW)、鳀鱼溶浆 (SW) 为实验原料, 以黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 为实验对象, 经池塘网箱养殖实验, 研究鳀经不同加工工艺所得的蛋白原料对黄颡鱼生长性能、血清生化指标和体组成的影响, 探讨加工温度对鱼粉品质的影响、酶解蛋白物完全替代鱼粉的剂量以及酶解原料的选择等问题, 有效提高海洋捕捞资源的利用效率, 推进海洋生物蛋白新产品的开发, 并为饲料企业选择更有效的产品及其使用剂量提供研究基础和应用技术。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验原料

本实验所用秘鲁超级蒸汽鱼粉 (FM) 做为对照组, 其余原料均为浙江同一季节捕捞的日本鳀 (冻板) 加工而成。冷冻保存的日本鳀 (冻板鳀) 绞碎后, 在蒸煮机中 95 °C 蒸煮 40 min, 经双螺杆

压榨机压滤得到压榨饼和压榨液, ①压榨饼在烘干机 (蒸汽压力 0.1 MPa, 温度为 85~90 °C) 中干燥 1 h, 再通过热风干燥系统粉碎干燥 10~20 s 得到低温鳀鱼粉 (L-FM)。②压榨饼经过三级烘干得到的鱼粉为常规鳀鱼粉 (H-FM), 三级烘干机的参数: 每级干燥机中干燥 25 min、温度为 115~125 °C, 夹层蒸汽压力为 0.6~0.8 MPa。③压榨液经三相卧式离心机 (转速 3 500 r/min) 脱去油脂后得到压榨水, 压榨水经过真空浓缩得到水分含量 40%~50% 的实验用鳀鱼溶浆 (SW)。④压榨水加入蛋白酶, 经过酶解、水分浓缩后得到水分含量 40%~50% 的实验用酶解鳀鱼溶浆 (HSW)。⑤以冻板鳀为原料, 机械粉碎后 (颗粒细度 80~100 目) 转入酶解反应釜, 在 50~55 °C 下, 用复合蛋白酶酶解 2 h, 转入终止反应釜加温至 105 °C 进行酶灭活、灭菌 1 h, 真空浓缩得到含水量 40%~50% 的实验用酶解鳀鱼浆 (HFP)。

蛋白和灰分含量在 6 种蛋白原料中无差异, 但 HSW 的脂肪含量最高, SW 的脂肪含量最低 (表 1)。原料的不同分子量小肽分布见表 2, HFP 和 HSW 中分子量低于 500 u 的小肽分别占 75.57% 和 72.30%, SW 只占 49.95%。HFP 和 HSW 中分子量大于 10 000 u 的小肽均低于 1%, 而 SW 却占 18.42%, 酶解工艺对蛋白原料小肽分子量分布具有重要作用。原料在日粮配方中的添加量如表 3 所示。HFP、HSW 和 SW 的游离氨基酸含量远高于 FM 组, 分别是 FM 组的 5.51、7.97 和 4.70 倍, 肽含量也远高于 FM 组, 分别是 FM 组的 6.19、3.51 和 4.53 倍, 牛磺酸含量是 FM 组的 2.02、4.37 和 3.98 倍, HFP、HSW 和 SW 的水解氨基酸含量保持在 45%~60% (表 4)。

### 1.2 实验饲料

日粮营养水平按照等氮等脂等磷的标准, 实验日粮原料组成如表 3 所示。①在日粮中分别添加 30% 的 FM、L-FM 和 H-FM。②以 30% 的 FM 为对照, 按照对照组鱼粉蛋白质量的 25%、45% 和 65% 3 个剂量梯度, 在无鱼粉日粮中添加 7.1% (HFP25)、13.3% (HFP45) 和 19.3% (HFP65) 的酶解鳀鱼浆 (干物质)。③以 HFP45 组添加的酶解鳀鱼浆蛋白含量为基准, 在无鱼粉日粮中添加 15.7% SW、15.5% HSW 等相同蛋白含量的蛋白原料 (干物质)。共计 8 组实验日粮。以美国鸡肉粉、棉籽蛋白和大豆浓缩蛋白为主要蛋白质满足黄颡鱼的蛋白需

表 1 原料组成及营养水平 (干物质基础)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of basal material (dry matter)

营养成分/% nutrients	FM	L-FM	H-FM	HFP	HSW	SW
水分 moisture	10.89	8.03	6.37	46.86	48.70	45.80
粗蛋白 crude protein	66.62	66.62	66.42	67.37	63.80	61.83
粗脂肪 crude lipid	6.85	8.06	8.56	8.09	19.58	3.86
灰分 ash	14.30	16.79	15.46	17.16	16.81	15.46
磷 phosphorus	1.5	2.09	2.00	0.94	1.11	0.87
挥发性盐基氮/(mg/100g) TVBN	75.60	105.6	65.3	308.00	354.20	359.70
酸溶蛋白 <sup>a</sup> ASP	9.24	/	/	55.89	40.84	42.16
肽含量 <sup>b</sup> peptide content	7.35	/	/	45.47	25.78	33.28
游离氨基酸 FAA	1.89	1.08	2.51	10.42	15.06	8.88

注: <sup>a</sup>代表酸溶蛋白含量, 由浙江丰宇海洋生物制品有限公司 (中国, 舟山) 进行分析, 通过凯氏定氮法测得 (GB/T 22729—2008); <sup>b</sup>代表由浙江丰宇海洋生物制品有限公司 (中国, 舟山) 使用高效液相色谱仪 (高效凝胶过滤色谱法) 测得 (GB/T 22729—2008); “/” 表示未进行测量; 下同  
Notes: <sup>a</sup> represents content of acid-soluble protein was measured by Zhejiang Fengyu Marine Biological Products Co. LTD, determined by the Kjeldahl method (GB/T 22729-2008); <sup>b</sup> represents peptide molecular weight distribution was measured by HPLC (high performance size exclusion chromatography) in the Zhejiang Fengyu Marine Biological Products Co. LTD (GB/T 22729-2008); “/” means no measurement; the same below

表 2 原料蛋白的肽分子量分布

Tab. 2 Peptide molecular weight distribution of raw protein

肽分子量分布/ peptide molecular weight distribution	FM	HFP	HSW	SW	%
>10 000	9.53	0.36	0.25	18.42	
5 000~10 000	6.18	1.85	2.40	8.13	
3 000~5 000	6.21	2.36	3.07	6.23	
2 000~3 000	4.33	2.63	3.30	4.12	
1 000~2 000	5.12	6.66	7.72	6.59	
500~1 000	5.30	10.57	10.69	6.56	
180~500	36.54	54.11	52.85	28.89	
<180	26.79	21.46	19.45	21.06	

求, 鱼蛋白酶解物提供的氨基酸、生物胺和不饱和脂肪酸满足鱼类生长发育所需的生理代谢需求。在无鱼粉日粮中利用豆油平衡各组实验组之间的脂肪含量, 磷酸二氢钙平衡各实验组之间的总磷含量, 米糠粕保持实验配方比例平衡。

日粮所有原料经粉碎后过 60 目筛, 各种原料称量后逐级混匀, 加入豆油和适量水后在搅拌机中混匀, 用制粒机加工制粒成直径 1.5 mm、长度 2~4 mm 的颗粒饲料, 制粒室温度保持在 70~80 °C, 原料湿度为 15%~20%。饲料风干后放入密封袋中, 置于 -20 °C 冰箱中保存备用, 各组实验日粮的游离氨基酸含量如表 4 所示。L-FM、H-FM 与 FM 中 18 种氨基酸组成的相关系数分别为 0.896 8、0.785 2, L-FM 和 H-FM 的牛磺酸含量升高, 分别是 FM 组的 1.36 和 2.68 倍; 日粮组中的游离氨基酸含量与酶解蛋白添加量呈正相关, 且

显著高于对照组日粮。

### 1.3 实验鱼养殖与饲养管理

养殖实验在浙江一星实业股份有限公司的养殖基地中进行, 在总面积为 40 m×60 m 的养殖池塘中设置实验网箱 (规格为长 1.5 m×宽 1.5 m×深 2 m) 24 个, 以海盐县长山河为水源, 养殖池塘中设置一台功率 1.5 kW 的叶轮式增氧机。

实验用黄颡鱼幼鱼选购于浙江省湖州农业合作社, 选择其中规格整齐、体色健康和体质量为 (17.69±0.09) g 的黄颡鱼幼鱼 960 尾, 随机分成 8 组, 每组设置 3 个重复, 每个网箱 40 尾。每日投喂 2 次 (06:00—08:00 和 16:30—18.30), 日投喂量为黄颡鱼体质量的 3%~5%, 每 2 周随机挑选 10 个网箱称量鱼体质量进行估算, 调整投喂量, 共投喂 8 周。

表 3 实验日粮原料组成与营养水平 (干物质基础)

Tab. 3 Composition and nutrient levels of the experimental diets (dry matter)

原料/ (g/kg) ingredient	FM	L-FM	H-FM	HFP25	HFP45	HFP65	HSW	SW
米糠粕 rice bran meal	79	94	95	70	73	75	129	45
美国鸡肉粉 American chicken meal	72	71	71	152	130	109	123	129
棉籽蛋白 cottonseed protein	72	71	71	152	130	109	123	129
大豆浓缩蛋白 soybean protein concentrate	72	71	71	152	130	109	123	129
米糠 rice bran	150	150	150	150	150	150	105	150
玉米蛋白粉 corn gluten meal	50	50	50	50	50	50	50	50
面粉 flour	125	125	125	125	125	125	125	125
鳀鱼粉 FM	300							
低温鳀鱼粉 L-FM		300.0						
常规鳀鱼粉 H-FM			300.0					
酶解鳀鱼浆 HFP				71	133	193		
酶解鳀鱼溶浆 HSW							155	
鳀鱼溶浆 SW								157
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	31	23	24	37	37	37	35	38
豆油 soybean oil	19	15	13	11	12	13	2	18
沸石粉 zeolite meal	20	20	20	20	20	20	20	20
预混料 premix <sup>a</sup>	10	10	10	10	10	10	10	10
原料合计 total material	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
营养成分(干物质基础)% nutrient composition (dry matter)								
干物质 dry matter	90.17	90.89	91.38	91.60	92.10	92.59	92.14	92.43
粗蛋白 crude protein	47.88	47.62	47.33	47.20	46.93	46.72	46.93	46.75
粗脂肪 crude lipid	10.58	10.48	10.37	10.34	10.28	10.23	10.34	10.25
灰分 ash	16.12	16.09	15.68	15.34	15.82	16.29	16.50	15.67
磷 phosphorus	1.92	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.87	1.85

注: <sup>a</sup>代表预混料为每千克饲料包含维生素A 8 mg, 维生素B<sub>1</sub> 8 mg, 维生素B<sub>2</sub> 8 mg, 维生素B<sub>6</sub> 12 mg, 维生素B<sub>12</sub> 0.02 mg, 维生素C 300 mg, 维生素D<sub>3</sub> 3 mg, 维生素K<sub>3</sub> 5 mg, 叶酸 5.0 mg, 泛酸 25 mg, 烟酸 25 mg, 肌醇 100 mg, 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

Notes: <sup>a</sup> premix contains (per kg of diet) V<sub>A</sub> 8 mg, V<sub>B1</sub> 8 mg, V<sub>B2</sub> 8 mg, V<sub>B6</sub> 12 mg, V<sub>B12</sub> 0.02 mg, V<sub>C</sub> 300 mg, V<sub>D3</sub> 3 mg, V<sub>K3</sub> 5 mg, folic acid 5.0 mg, pantothenic acid 25 mg, nicotinic acid 25 mg, inositol 100 mg, 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

每 5 天测定水下 30 cm 处的水质指标。养殖实验期间水温保持在 24~35 °C, 水体溶解氧 > 6 mg/L, pH 为 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。

#### 1.4 样品采集

在正式实验开始前, 随机从剩余的黄颡鱼中抽取 6 尾鱼, 作为初始鱼样本进行全鱼常规体成分分析。养殖实验结束后禁食 24 h 采样: ①对每个网箱中的黄颡鱼进行计数、称重和体长测量, 用于计算黄颡鱼的存活率、特定增长率、肥满度和饲料系数。②从每个网箱中选取黄颡鱼雄鱼、雌鱼各 2 尾, 用于进行常规体成分的计算。③从每个网箱中随机抽取 10 尾, 用 1 mL 无菌注射器

从尾柄进行采血, 置于 2 mL Eppendorf 管中, 在室温条件下静置 3 h, 再用离心机以 3 500 r/min 离心 10 min, 取上层澄清血清 0.2 mL 于 0.5 mL 扎孔 Eppendorf 管中用液氮迅速冷却后于 -50 °C 冰箱保存, 用作血清常规指标分析。④每个网箱抽取 10 尾鱼, 解剖称取内脏团和肝胰脏质量, 将肝胰脏于 -50 °C 冰箱中保存备用。

#### 1.5 样品测定与分析

将冷冻保存的全鱼样品解冻, 按比例加水后低温粉碎均匀, 采用低温真空冷冻干燥法测定样品水分含量; 日粮和样品中蛋白质含量采用凯氏定氮法测定; 粗脂肪含量采用石油醚索氏抽提器法测定; 用马弗炉测定样品灰分; 采用分光光度

表 4 原料和日粮中氨基酸的含量 (干物质基础)

Tab. 4 Contents of amino acids in raw material and feed (dry matter)

指标 index	原料水解氨基酸/(g/100 g) hydrolyzed amino acid of ingredient				原料游离氨基酸/(g/100 g) free amino acid of ingredient				日粮游离氨基酸/(g/1 000 g) free amino acid of feed							
	FM	HFP	HSW	SW	FM	HFP	HSW	SW	FM	L-FM	H-FM	HFP25	HFP45	HFP65	HSW	SW
缬氨酸 Val	3.62	2.69	3.09	2.49	0.10	0.79	0.80	0.75	0.43	0.33	0.57	0.67	1.31	1.73	1.42	1.52
甲硫氨酸 Met	0.43	0.76	0.47	0.39	0.03	0.56	0.70	0.40	0.18	0.11	0.18	0.32	0.79	1.14	0.84	0.76
亮氨酸 Leu	5.07	4.06	4.44	3.76	0.16	1.52	1.55	1.12	0.68	0.50	0.89	1.32	2.47	3.43	2.80	2.63
异亮氨酸 Ile	3.12	1.98	2.26	1.74	0.08	0.59	0.73	0.54	0.33	0.25	0.42	0.59	1.09	1.42	1.08	1.07
苯丙氨酸 Phe	2.80	2.25	2.48	1.52	0.09	0.65	0.75	0.46	0.38	0.23	0.48	0.65	1.20	1.67	1.32	0.97
组氨酸 His	2.45	4.38	4.13	1.58	0.04	0.54	0.88	0.21	0.07	0.08	0.26	0.66	0.59	0.55	0.42	0.35
赖氨酸 Lys	6.81	5.65	6.77	3.92	0.14	0.54	0.99	0.42	0.69	0.57	1.07	1.33	2.07	2.69	1.47	1.20
精氨酸 Arg	4.00	3.18	3.33	4.31	0.14	0.75	0.84	0.18	1.11	1.14	1.43	4.60	2.69	3.01	2.53	2.20
苏氨酸 Thr	9.27	9.37	10.38	8.60	0.11	0.46	0.87	0.51	0.41	0.35	1.14	1.44	2.25	2.89	2.04	2.31
色氨酸 Trp	/	/	/	/	0.02	0.40	0.56	0.17	0.04	0.41	1.21	0.87	0.13	0.08	0.08	0.07
酪氨酸 Tyr	2.23	1.47	1.45	0.72	0.07	0.46	0.83	0.15	0.37	0.24	0.43	0.51	0.88	1.21	0.79	0.23
脯氨酸 Pro	1.73	2.88	1.78	1.55	0.11	0.23	0.45	0.39	0.93	0.64	1.73	1.20	1.33	1.70	0.33	1.26
天冬氨酸 Asp	1.68	1.95	1.73	1.30	0.11	0.56	0.86	0.33	1.09	0.86	1.33	1.06	1.54	1.86	1.57	1.20
丝氨酸 Ser	5.56	5.74	7.01	5.93	0.10	0.41	0.84	0.28	0.36	0.27	0.50	1.23	2.10	2.67	1.70	1.75
谷氨酸 Glu	5.01	4.79	4.67	3.89	0.01	0.03	0.01	0.01	0.41	0.38	0.51	1.24	1.55	1.65	1.62	1.27
甘氨酸 Gly	1.16	2.28	1.15	0.79	0.02	0.17	0.31	0.19	0.24	0.23	0.02	0.45	0.82	1.12	0.36	0.58
丙氨酸 Ala	3.27	6.45	5.27	4.62	0.13	0.83	1.05	0.98	1.01	0.93	1.95	1.79	3.04	3.94	2.59	3.22
半胱氨酸 Cys	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.07	0.15	0.09	0.04	0.00	0.01	0.02	0.16	0.20	0.14	0.09
牛磺酸 Tau <sup>a</sup>	/	/	/	/	0.43	0.87	1.88	1.71	0.91	1.24	2.44	3.30	5.09	5.72	2.98	5.50
R	/	/	/	/	—	2.02	4.37	3.98	—	1.36	2.68	3.63	5.59	6.29	3.27	6.04
总氨基酸 TAA	58.23	59.93	60.42	47.10	1.89	10.42	15.06	8.88	9.69	8.78	16.56	23.25	31.12	38.68	26.08	28.18
r	—	0.873 4	0.946 4	0.915 6	—	0.543 0	0.838 6	0.853 8	—	0.896 8	0.785 2	0.703 7	0.703 6	0.707 9	0.672 3	0.635 5

注: R=(原料、实验日粮中牛磺酸含量)/(鱼粉、鱼粉日粮中牛磺酸含量); “—”代表对照组不进行计算; r使用Excel的CORREL函数计算得出,是HFP、HSW和SW相对FM组18种氨基酸组成的相关系数; “/”表示无法测定,色氨酸由于酸水解无法测定; “通过氨基酸分析仪经离子交换色谱分离和茚三酮柱后衍生化,于330 nm波长下测定

Notes: R=(taurine content in raw materials and test diets)/(taurine content in fish meal and fish meal diet); “—” represents the control group was not calculated; calculated using CORREL functions in Excel, the correlation of amino acids composition of HFP, HSW and SW relative to FM, respectively; “/” indicates that it cannot be measured, tryptophan cannot be determined due to acid hydrolysis; <sup>a</sup> separated by ion exchange chromatography and derivatized with ninhydrin column by amino acid analyzer, determined at 330 nm wavelength

法测定原料和日粮中总磷的含量; TVBN 采用微量滴定法测定; 游离氨基酸和水解氨基酸均使用 S-433D 氨基酸分析仪分离测定。血清谷草转氨酶、谷丙转氨酶、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、总蛋白、白蛋白、胆固醇、甘油三酯采用雅培 C800 全自动生化分析仪测定。

## 1.6 指标测定

成活率 (SR)、特定生长率 (SGR)、饲料系数 (FCR)、蛋白沉积率 (PRR)、脂肪沉积率 (FRR)、肥满度 (CF)、肝体比 (HSI)、脏体比 (VSI) 等生长性能指标计算公式:

$$SR(\%) = (N_t / N_0) \times 100\%$$

$$SGR(\%) = [(\ln W_t - \ln W_0) / t] \times 100\%$$

$$FCR = F / (W_t - W_0)$$

$$PRR(\%) = [(W_{pt} - W_{p0}) / W_p] \times 100\%$$

$$FRR(\%) = [(W_{ft} - W_{f0}) / W_f] \times 100\%$$

$$CF(\%) = (W_t / L^3) \times 100\%$$

$$HSI(\%) = (W_z / W_t) \times 100\%$$

$$VSI(\%) = (W_v / W_t) \times 100\%$$

式中,  $N_t$  为实验末黄颡鱼数量 (尾);  $N_0$  为黄颡鱼初始数量 (尾);  $W_t$  为实验终末均体质量 (g);  $W_0$  为实验初始均体质量 (g);  $t$  为实验天数 (d);  $F$  为每尾鱼平均总摄食量 (g);  $W_{pt}$  为实验终末鱼体蛋白质质量 (g);  $W_{p0}$  为实验实验终末初始鱼体蛋白质质量 (g);  $W_p$  为每尾鱼摄入的实验日粮总蛋白含量

(g);  $W_{fi}$  为实验终末鱼体脂肪质量 (g);  $W_{f0}$  为实验初始平均体脂肪质量 (g);  $W_f$  为每尾鱼摄入的实验日粮总脂肪质量 (g);  $L$  为终末平均体长 (cm);  $W_z$  为实验终末平均肝胰脏质量 (g);  $W_v$  为实验终末平均内脏团质量 (g)。

### 1.7 数据分析

实验数据用平均值±标准差 (mean±SD,  $n=3$ ) 表示, 采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 同时利用 Duncan 氏法比较分析各组间的数据。差异显著性水平为  $P<0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 黄颡鱼生长性能和饲料效率

经池塘养殖 8 周, 3 组实验中黄颡鱼 SR 为 90.67%~99.17%, 各实验组间 SR 均无显著差异 ( $P>0.05$ ) (表 5)。鱼粉对比实验中, 与 FM 组相比, L-FM 和 H-FM 组的 SGR、FCR、PRR 和 FRR 均无显著差异 ( $P>0.05$ ), L-FM 组的 SGR 增加了 2.20%, FCR 降低了 3.57%, 而 H-FM 组的 SGR 降低了 0.55%, FCR 增加了 1.33%。在 PRR 和 FRR 方面, L-FM 组均呈现出下降, 而 H-FM 组 PRR 上升, FRR 降低; 梯度实验中, 与 FM 组相比, HFP25 组的 SGR 降低了 3.30%, FCR 升高了 5.36%, 无显著差异 ( $P>0.05$ ), HFP45 和 HFP65 组的 SGR 分别降低了 10.99%、20.33%, 差异显著 ( $P<0.05$ )。HFP25 组的 PRR 降低了 7.37%, 而 FRR 上升了 14.43%, 差异均不显著 ( $P<0.05$ ); 原料实验中, HFP45、HSW 和 SW 组中 SGR、FCR、PRR 和 FRR 均无

显著性差异 ( $P>0.05$ )。3 组日粮中, HFP45 表现出最高的是 SGR, SW 组中 SGR 最低。

上述研究结果表明, 低温鳕鱼粉对黄颡鱼生长速率的生长效果更好; 在黄颡鱼日粮中用 7.1% HFP 完全替代鱼粉对黄颡鱼的生长性能和饲料效率无显著影响 ( $P>0.05$ ); 酶解鳕鱼浆对黄颡鱼生长性能表现最好, 鳕鱼溶浆最差, 酶解鳕鱼溶浆效果优于鳕鱼溶浆。

### 2.2 黄颡鱼体成分

在鱼粉对比实验中, H-FM 组中的粗蛋白含量显著高于 L-FM 和 FM 组 ( $P<0.05$ ) (表 6)。与 FM 相比, L-FM 和 H-FM 组的脂肪含量降低, L-FM 差异不显著 ( $P>0.05$ ), H-FM 差异显著 ( $P<0.05$ )。各实验组在总磷含量方面均无显著差异 ( $P>0.05$ )。L-FM 和 H-FM 的灰分含量相比 FM 组升高, 其中 H-FM 差异显著 ( $P<0.05$ )。在形体指标方面, CF、HSI 和 VSI 均无显著差异 ( $P>0.05$ ); 在梯度实验中, 与 FM 组相比, HFP25 组在粗蛋白、粗脂肪、总磷和灰分含量方面均无显著差异 ( $P>0.05$ ), 黄颡鱼体成分中的粗蛋白、总磷和灰分含量随着酶解鳕鱼浆的增加呈现出上升趋势, 而脂肪含量呈现出下降趋势, 差异显著 ( $P<0.05$ )。在形体指标方面与对照组相比, HSI 和 VSI 均无显著差异 ( $P>0.05$ ), HFP25 组的 CF 显著下降 ( $P<0.05$ ); 在原料实验中, HFP45、HSW 和 SW 组的粗蛋白、粗脂肪和总磷含量方面均无显著差异 ( $P>0.05$ ), SW 组的灰分显著高于 HFP45 组 ( $P<0.05$ )。

上述结果表明, 鱼粉的加工方式影响鱼体的

表 5 黄颡鱼生长速率和日粮利用效率

Tab. 5 Growth performance and feed efficiency of *P. fulvidraco*

指标 index	鱼粉对比实验 fish meal contrast experiment			梯度实验 gradient experiment			原料实验 ingredient experiment			
	FM	L-FM	H-FM	FM	HFP25	HFP45	HFP65	HFP45	HSW	SW
初均重/g IBW	17.70±0.13	17.72±0.17	17.70±0.08	17.70±0.13	17.63±0.14	17.67±0.04	17.64±0.01	17.67±0.04	17.67±0.12	17.73±0.08
末均重/g FBW	49.08±2.73	50.42±3.91	49.02±5.13	49.08±2.73 <sup>C</sup>	47.35±0.87 <sup>C</sup>	43.87±1.44 <sup>B</sup>	39.70±1.66 <sup>A</sup>	43.87±1.44	43.66±2.09	42.70±2.36
成活率 SR	99.2±1.4	95.0±0.0	95.0±5.0	99.2±1.4	95.0±4.3	92.5±8.7	96.3±3.8	92.5±8.7	90.7±3.2	92.5±7.5
特定增长率/(%/d) SGR	1.82±0.09	1.86±0.14	1.81±0.18	1.82±0.09 <sup>C</sup>	1.76±0.05 <sup>C</sup>	1.62±0.06 <sup>B</sup>	1.45±0.08 <sup>A</sup>	1.62±0.06	1.61±0.08	1.56±0.10
饲料系数 FCR	2.24±0.18	2.16±0.16	2.27±0.08	2.24±0.18 <sup>A</sup>	2.36±0.08 <sup>A</sup>	2.72±0.10 <sup>B</sup>	3.18±0.25 <sup>C</sup>	2.72±0.10	2.70±0.21	2.86±0.16
蛋白沉积率/% PRR	16.01±3.06	15.84±2.93	17.60±1.89	16.01±3.06 <sup>B</sup>	14.83±2.81 <sup>AB</sup>	12.56±2.50 <sup>AB</sup>	10.57±2.01 <sup>A</sup>	12.50±2.50	14.81±0.77	13.61±0.86
脂肪沉积率/% FRR	48.37±13.49	47.34±17.21	37.36±7.82	48.37±13.49 <sup>AB</sup>	55.35±8.14 <sup>B</sup>	35.44±7.49 <sup>B</sup>	9.10±2.25 <sup>A</sup>	35.44±7.49	34.16±2.15	32.77±9.46

注: 数据肩标不同字母或表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 下同; <sup>abc</sup> 作为鱼粉对比实验的肩标字母, <sup>ABC</sup> 作为梯度实验的肩标字母, <sup>ab</sup> 作为原料实验的肩标字母

Notes: Values with different superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ), the same below; <sup>abc</sup> was used as the superscript letter for the fish meal comparison experiment, <sup>ABC</sup> was used as the superscript letter of gradient experiment, <sup>ab</sup> was used as the superscript letter of the raw material experiment

表 6 FM、SPM、HSVM 对黄颡鱼体成分和形体指标的影响

Tab. 6 Effects of FM、SPM、HSVM on body composition of *P. fulvidraco*

指标 index	鱼粉对比实验 fish meal contrast experiment			梯度实验 gradient experiment			原料实验 ingredient experiment			
	FM	L-FM	H-FM	FM	HFP25	HFP45	HFP65	HFP45	HSW	SW
<b>体成分 body compositions</b>										
水分 moisture	68.32±2.70	70.41±2.24	71.21±0.78	68.32±2.70	70.21±1.03	70.57±0.86	72.52±1.01	70.57±0.86	71.63±0.20	71.67±1.71
粗蛋白 crude protein	50.17±0.99 <sup>b</sup>	51.93±2.65 <sup>a</sup>	56.96±0.80 <sup>b</sup>	50.17±0.99 <sup>AB</sup>	48.99±1.67 <sup>A</sup>	52.10±1.69 <sup>B</sup>	56.48±1.18 <sup>C</sup>	52.10±1.69	53.26±1.07	54.08±1.50
粗脂肪 crude lipid	30.35±0.93 <sup>b</sup>	28.94±2.65 <sup>ab</sup>	24.46±4 <sup>a</sup>	30.35±0.93 <sup>B</sup>	29.7±2.05 <sup>B</sup>	26.66±2.9 <sup>B</sup>	20.30±1.81 <sup>A</sup>	26.66±2.90	24.89±0.84	24.40±2.39
磷 phosphorus	1.48±0.03	1.53±0.09	1.53±0.02	1.48±0.03 <sup>AB</sup>	1.45±0.03 <sup>A</sup>	1.50±0.02 <sup>AB</sup>	1.53±0.06 <sup>B</sup>	1.5±0.02	1.55±0.05	1.48±0.04
灰分 ash	12.71±0.24 <sup>b</sup>	14.04±1.27 <sup>ab</sup>	14.84±0.85 <sup>b</sup>	12.71±0.24 <sup>A</sup>	13.26±0.96 <sup>A</sup>	13.80±1.24 <sup>A</sup>	15.82±0.56 <sup>B</sup>	13.80±1.24 <sup>a</sup>	15.04±0.44 <sup>ab</sup>	16.02±0.33 <sup>B</sup>
<b>形体指标 body parameters</b>										
肥满度 CF	2.10±0.07	1.91±0.01	1.92±0.17	2.10±0.07 <sup>B</sup>	1.97±0.06 <sup>A</sup>	2.06±0.03 <sup>AB</sup>	2.00±0.04 <sup>A</sup>	2.06±0.03 <sup>B</sup>	1.89±0.03 <sup>a</sup>	1.94±0.06 <sup>a</sup>
肝体比 HSI	1.84±0.10	1.76±0.07	1.83±0.19	1.84±0.10	1.80±0.05	1.84±0.11	1.85±0.06	1.84±0.11 <sup>B</sup>	1.72±0.01 <sup>a</sup>	1.85±0.06 <sup>B</sup>
脏体比 VSI	8.82±0.79	8.81±0.80	7.68±0.81	8.82±0.79	9.77±0.56	9.85±0.94	8.89±0.32	9.85±0.94 <sup>B</sup>	8.82±0.10 <sup>a</sup>	9.07±0.11 <sup>ab</sup>

蛋白、脂肪和灰分组成;高剂量的酶解鳀鱼浆不仅阻碍黄颡鱼生长发育,还会导致鱼体粗脂肪含量下降,灰分含量上升。不同蛋白原料的酶解蛋白显著影响鱼体灰分含量。

### 2.3 黄颡鱼的血清指标

代表肝脏功能的血清指标显示,鱼粉对比实验中,H-FM组的TP、ALB、AST和ALT含量高于L-FM组,差异不显著( $P>0.05$ ),FM组的AST含量显著低于H-FM组( $P<0.05$ );梯度实验中,随着酶解鳀鱼浆添加量的增加,AST、ALB含量增加,差异显著( $P<0.05$ ) (表7)。与对照组FM相比,HFP25组在TP、ALB和AST含量方面均无显著差异( $P>0.05$ );原料实验中,HSW、SW组的TP、

ALB、AST和ALT含量均高于HFP45组,其中ALT差异显著( $P<0.05$ )。以上表明,摄食高温鱼粉会对鱼体肝功能造成损伤。酶解鳀鱼浆添加量升高会对肝功能造成损伤。相同添加水平下,SW和HSW较HFP对鱼体肝功能的损伤更大。

代表血脂代谢功能的血清指标显示,鱼粉对比实验中,H-FM组的CHOL、TG和HDL含量高于L-FM组,差异不显著( $P>0.05$ ),LDL含量显著高于L-FM和FM组,差异显著( $P<0.05$ );梯度实验中,随着酶解鳀鱼浆添加量的增加,CHOL和HDL含量增加,差异显著( $P<0.05$ ),TG和LDL含量降低,差异不显著( $P>0.05$ )。与FM组相比,HFP25组的CHOL、LDL和HDL含量降低;原料实验中,相比SW和HSW组,HFP45组的CHOL、

表 7 不同原料对黄颡鱼血清生化指标的影响

Tab. 7 Effects of different raw materials on serum chemical indices of *P. fulvidraco*

指标 index	鱼粉对比实验 fish meal contrast experiment			梯度实验 gradient experiment			原料实验 ingredient experiment			
	FM	L-FM	H-FM	FM	HFP25	HFP45	HFP65	HFP45	HSW	SW
<b>肝脏功能</b>										
总蛋白/(g/L) TP	32.03±1.16	32.00±1.32	32.9±1.01	32.03±1.16	31.17±1.66	30.73±1.51	31.47±0.81	30.73±1.51	33.87±1.36	32.13±1.77
白蛋白/(g/L) ALB	9.73±0.64	9.50±0.87	11.03±0.84	9.73±0.64	9.50±0.87	9.00±0.60	9.70±1.21	9.00±0.60 <sup>a</sup>	10.63±0.55 <sup>B</sup>	9.00±0 <sup>a</sup>
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	4.33±0.58	5.00±1.00	5.33±1.15	4.33±0.58 <sup>AB</sup>	5.67±0.58 <sup>C</sup>	3.67±0.58 <sup>A</sup>	5.33±0.58 <sup>BC</sup>	3.67±0.58 <sup>a</sup>	10.33±1.15 <sup>B</sup>	9.00±1.73 <sup>B</sup>
谷草转氨酶/(U/L) AST	314.0±8.2 <sup>a</sup>	328.3±2.5 <sup>ab</sup>	336.3±11.0 <sup>b</sup>	314.0±8.2 <sup>AB</sup>	296.3±14.2 <sup>A</sup>	332.0±12.1 <sup>B</sup>	324.0±6.1 <sup>B</sup>	332.0±12.1	353.0±11.5	344.3±13.3
<b>血脂代谢功能/(mmol/L)</b>										
胆固醇 CHOL	4.66±0.53	4.32±0.54	4.54±0.26	4.66±0.53 <sup>B</sup>	3.66±0.56 <sup>A</sup>	3.85±0.39 <sup>AB</sup>	4.42±0.28 <sup>AB</sup>	3.85±0.39	4.13±0.49	4.16±0.33
甘油三酯 TG	4.60±0.46	3.93±0.38	4.20±0.44	4.60±0.46	5.03±0.35	5.83±0.96	4.70±1.06	5.83±0.96 <sup>B</sup>	3.47±0.23 <sup>a</sup>	4.77±0.98 <sup>ab</sup>
高密度脂蛋白 HDL	1.74±0.07	1.68±0.14	1.84±0.02	1.74±0.07 <sup>B</sup>	1.41±0.09 <sup>A</sup>	1.69±0.14 <sup>AB</sup>	1.73±0.27 <sup>B</sup>	1.69±0.14	1.84±0.13	1.65±0.09
低密度脂蛋白 LDL	0.50±0.04 <sup>a</sup>	0.67±0.02 <sup>b</sup>	0.80±0.05 <sup>c</sup>	0.50±0.04 <sup>B</sup>	0.41±0.13 <sup>AB</sup>	0.42±0.05 <sup>AB</sup>	0.27±0.09 <sup>A</sup>	0.42±0.05 <sup>a</sup>	0.86±0.03 <sup>c</sup>	0.67±0.09 <sup>B</sup>

HDL 和 LDL 含量降低, 其中 LDL 差异显著 ( $P < 0.05$ )。研究表明, 常规鳃鱼粉增加鱼体的血脂代谢, 对鱼体健康造成不利影响。低剂量的酶解鳃鱼浆有利于降低鱼体血脂代谢强度, 随着添加量增加, 血脂代谢强度增强, 对鱼体的负担增强。相同添加水平下与 SW 和 HSW 相比, HFP 更有利于鱼体的健康。

### 3 讨论

#### 3.1 海洋蛋白原料的差异

酶解鳃鱼浆和酶解鳃鱼溶浆中分子量低于 500 u 的小肽分别占 75.57% 和 72.30%, 而鳃鱼溶浆只有 49.95%, 酶解鳃鱼浆和酶解鳃鱼溶浆中分子量高于 10 000 u 的小肽占比低于 1%, 鳃鱼溶浆却多达 18.42% (表 2)。从氨基酸组成含量上看, 酶解鳃鱼浆、酶解鳃鱼溶浆、鳃鱼溶浆的水解氨基酸含量与鱼粉相比, 相关系数分别为 0.873 4、0.946 4 和 0.915 6, 游离氨基酸含量的相关系数为 0.543 0、0.838 6 和 0.853 8, 原料中牛磺酸含量分别是鱼粉的 2.02、4.37 和 3.98 倍, 牛磺酸在日粮中是鱼粉组的 3.27~6.29 倍 (表 4)。可以认为小肽和牛磺酸是生物活性因子中造成生长差异的主要因素, 也是影响酶解产品生物效价的重要原因, 由此可知, 酶解等工艺从分子层面改变蛋白质分子的组成和分布, 从而发挥出不同的营养效果。

低温鳃鱼粉组的黄颡鱼生长速率较对照组提升了 2.20%, 表明低温鱼粉组具有更好的生长性能 (表 5), 即 85~90 °C 加工而成的鱼粉较 115~125 °C 更适合黄颡鱼生长发育的营养需求。HFP25 组中 7.1% 的酶解鳃鱼浆可以完全替代 30% 的鱼粉, 大大节约海洋蛋白, 而黄颡鱼的生长速率相比 FM 组只降低了 3.30%, 酶解蛋白表现出的生物效价明显高于鱼粉。本实验确定了酶解蛋白添加量的适宜范围, 有利于减少饲料中鱼粉的使用量, 降低生产成本, 提高经济效益。酶解鳃鱼浆和酶解鳃鱼溶浆 2 种原料在黄颡鱼的生长速率方面无显著差异, 而未经酶解处理的鳃鱼溶浆组的黄颡鱼生长性能下降了 3.11%。因此, 在产品开发中要注重原料的选择以及生产工艺的应用, 加强对前沿新型工艺的研究和开发。在生产环节中注重产品蛋白、小肽、牛磺酸和微量元素等有效成分含量的变化, 避免生产过程中粉碎、升温、干燥以及过滤等工艺对营养物质的破坏, 并且在

饲料制作过程中要选择合适的环节进行添加, 既要避免饲料加工过程中高温条件对酶解产品的破坏, 又要保证酶解物质在饲料中充分发挥作用。

#### 3.2 鱼粉质量对黄颡鱼生长的影响

鱼粉是水产动物不可或缺的动物性蛋白质原料, 具有促进鱼类生长的“生物活性因子”, 主要包括核苷酸、活性小肽、牛磺酸等已知物质和一些“未知生长因子”。其次, 鱼粉在其营养组成上具有蛋白质含量高、氨基酸均衡、适口性好、易被水产动物消化及吸收等特点<sup>[6]</sup>。不同温度加工下的鱼粉其色泽、气味、TVBN (挥发性盐基氮)、油脂氧化和蛋白消化率均会发生变化<sup>[4,7]</sup>, 从而对水产动物的生长和健康产生影响<sup>[5]</sup>。

在鱼粉加工过程中, 蒸煮、干燥环节中温度过高会导致蛋白质焦化, 同时不饱和脂肪酸氧化酸败, 从而导致鱼粉蛋白质的消化利用率降低, 残留的鱼油氧化产物增多, 这可能是影响本实验结果的主要因素。有相关研究表明, 在对虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 和大西洋鲑 (*Salmo salar*) 的实验<sup>[8]</sup>中, 摄食高温鱼粉导致鱼类蛋白消化率显著降低, 这与温度升高导致巯基基团形成二硫键有关<sup>[9]</sup>。在 Aksnes 等<sup>[10]</sup>对大西洋庸鲽 (*Hippoglossus hippoglossus*) 的研究中, 同一蛋白原料加工的低温鱼粉 (70 °C) 和常规鱼粉 (100 °C), 其养殖实验结果显示, 常规鱼粉组的特定生长率和饲料效率显著低于低温鱼粉组。在对金头鲷 (*Sparus aurata*) 的研究中, 在不同脂肪水平条件下, 低温鱼粉组的金头鲷生长速率均显著高于常规鱼粉组<sup>[11]</sup>。因此, 高温加工导致的鱼粉蛋白质焦化和脂肪酸酸败是显著影响鱼粉质量的重要原因。鱼粉加工方式繁多, 根据传热媒介和烘干方式可以分为直火鱼粉和蒸汽鱼粉, 根据脱脂工艺可以分为全脂鱼粉、半脱脂鱼粉和脱脂鱼粉, 考虑加工温度、脂肪的质量以及微生物含量等多种因素对鱼粉质量的影响, 推荐在鱼粉加工过程中蒸煮温度控制在 80~90 °C, 时间控制在 20~30 min, 既减少因过高的温度、过长的时间导致的维生素等热敏感物质的热损失增加、氨基酸与糖类物质因美拉德反应的热损失增加、油脂不饱和脂肪酸的氧化酸败等, 又最大限度的减少蛋白质在微生物作用下腐败所产生的不安全物质。

#### 3.3 酶解蛋白添加量对黄颡鱼生长的影响

将植物和动物蛋白按一定比例合理搭配满足



鱼类生长发育所需的蛋白质, 酶解产品作为海洋生物蛋白和特殊营养因子的来源, 二者形成一种新型的“鱼粉”日粮模式。酶解鳀鱼浆中含有的小肽、牛磺酸等营养因子高于鱼粉, 牛磺酸是一种广泛存在于机体内的含硫氨基酸, 在促进鱼体的生长和摄食、改善肌肉品质、增加体蛋白质和脂肪沉积等方面具有重要作用<sup>[12-13]</sup>。另外, 游离氨基酸、小肽在增强鱼类的生长速率和蛋白质消化率<sup>[14-15]</sup>、增强消化酶活性<sup>[16]</sup>、减少疾病发生<sup>[17]</sup>和增强抗氧化能力<sup>[18-19]</sup>等方面也具有重要作用, 可以认为这是酶解鳀鱼浆的生物效价显著高于鱼粉的重要原因之一。酶解鳀鱼浆中除了蛋白质、脂肪等营养成分外, 氧化三甲胺、二甲基丙酸噻亭等特殊功能物质也可以当做鱼类生长的潜在物质。

周露阳等<sup>[20]</sup>对黄颡鱼的研究中, 在日粮中添加 8.2% 酶解鳀鱼浆完全替代鱼粉, 与 30% 鱼粉对照组相比末均重降低了 1.81%, 基本表现出了相同的生长性能。在吴代武等<sup>[21-22]</sup>的研究中, 日粮中添加 12% 酶解鳀鱼浆完全替代鱼粉, 相比 30.5% 的鱼粉对照组, 黄颡鱼表现出等价的生长性能, 且随着酶解鳀鱼浆的增加呈现下降趋势, 二者的实验结果与本实验一致。在 Wu 等<sup>[23]</sup>研究中, 随着酶解蛋白添加量从 8% 增加到 24%, 黄颡鱼的生长性能和饲料效率显著下降, 在尖吻鲈 (*Lates calcarifer*)<sup>[24]</sup> 和大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)<sup>[25]</sup> 的生长实验中也表现出了相同的变化趋势。推测这种变化趋势可能与高水平的游离氨基酸刺激肠道分泌胆囊收缩素 (CCK) 有关<sup>[26]</sup>, CCK 作为调控体内胰酶的激素<sup>[27]</sup>, 可以促使鱼体产生饱腹感<sup>[28]</sup>, 这可能是黄颡鱼摄食降低导致生长性能下降的一个重要原因。此外, 过多游离氨基酸在肠道中吸收速度过快导致分解代谢不同步也可能是生长速率下降的主要原因。因此, 建议在黄颡鱼饲料中酶解鳀鱼浆的添加量控制在 7%~8%, 饲料中活性小肽、牛磺酸等特殊营养因子应保持在一个适宜的范围内, 过低过高都不利于鱼类的生长发育。此外, 产品研发中可以将酶解、发酵、超微粉碎和过滤等技术纳入考虑, 通过加工技术的研发和应用改进产品质量, 推动产业升级。

### 3.4 蛋白原料对黄颡鱼生长的影响

本实验结果显示, 酶解鳀鱼浆、酶解鳀鱼溶浆和鳀鱼溶浆 3 种原料对黄颡鱼的生长性能表现出了一定的差异, 3 种蛋白原料的小肽、牛磺酸等特殊营养因子含量与鳀鱼粉相比显著提高, 并

且在水解氨基酸和游离氨基酸组成方面也产生了较大的变化。另一方面, 酶解工艺显著影响着蛋白原料的肽分子分布。

周露阳等<sup>[20]</sup>对黄颡鱼的研究中, 在日粮中添加鱼溶浆、酶解鱼溶浆以及酶解鱼浆, 结果显示, 日粮中添加鱼溶浆的实验组生长效果最差, 添加酶解鱼溶浆的实验组具有最好的生长效果。吴代武等<sup>[22]</sup>研究发现, 在日粮中添加鳀鱼粉、金枪鱼粉和鳕鱼排粉后, 黄颡鱼生长性能出现明显差异, 认为不同种类的蛋白原料对鱼类的生长性能具有重要影响。对真赤鲷 (*Pagrus major*)<sup>[29]</sup> 和牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 的<sup>[30]</sup> 研究发现, 在日粮中仅添加 2.0%~3.5% 的蛋白水解物对鱼体的生长发育、饲料利用效率以及增强非特异性免疫功能等方面具有促进作用, 表明不同种类的酶解蛋白表现出的功能效果存在差异。酶解虾蛋白、酶解鲑鱼蛋白等偏风味的添加剂在日粮配方中比例较低, 不足以作为日粮中基础蛋白质来源, 但可以当做特殊海洋营养因子补充鱼类生长所需的营养, 改善饲料的营养水平, 增强鱼类的生长性能。

## 4 结论

相同配方下, 与常规鳀鱼粉组相比, 摄食低温鳀鱼粉的黄颡鱼其生长性能和饲料效率相对较好, 并且在鱼体健康指标方面要优于常规鳀鱼粉组。在黄颡鱼日粮中添加 7.1% 酶解鳀鱼浆, 以大豆浓缩蛋白、棉籽蛋白和美国鸡肉粉作为补充蛋白源, 完全替代 30% 鱼粉, 对鱼体的生长速率、饲料效率和血清生化指标没有显著影响, 与鱼粉组相比表现出一定的等效关系; 而日粮中酶解鳀鱼浆添加量过高, 会导致黄颡鱼生长速率和饲料效率下降。不同蛋白原料的酶解产品对黄颡鱼的生长性能影响不同, 在不同酶解蛋白原料中, 酶解鳀鱼浆对黄颡鱼的生长效果最好。此外, 经酶解后的酶解鳀鱼溶浆效果优于鳀鱼溶浆。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] 钱好, 蒋科技, 王希挺, 等. 中国鱼粉鱼油来源及利用[J]. 渔业信息与战略, 2020, 35(2): 91-100.  
Qian Y, Jiang K J, Wang X T, et al. Sources and utilization of fish meal and fish oil in China[J]. Fishery Information & Strategy, 2020, 35(2): 91-100 (in Chinese).

- [2] 顾赛麒, 邹琳, 周振毅, 等. 包装方式对日本鳀鱼干品质特性的影响[J]. 水产学报, 2021, 45(7): 1054-1065.  
Gu S Q, Zou L, Zhou Z Y, *et al.* Effect of different packaging methods on the quality characteristics of dried *Engraulis japonicus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(7): 1054-1065 (in Chinese).
- [3] 吴代武, 唐峰, 胡彬, 等. 不同原料和干燥工艺对鱼粉质量的影响[J]. 饲料工业, 2020, 41(4): 29-34.  
Wu D W, Tang F, Hu B, *et al.* The impact of different raw materials and drying methods on the quality of fish meal[J]. Feed Industry, 2020, 41(4): 29-34 (in Chinese).
- [4] 彭侃, 罗其刚, 叶元土, 等. 鱼粉生产过程中蛋白质、油脂安全质量变化的初步研究[J]. 动物营养学报, 2015, 27(8): 2637-2648.  
Peng K, Luo Q G, Ye Y T, *et al.* Preliminary study on safety quality changes of protein and oil during production process of fish meal[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(8): 2637-2648 (in Chinese).
- [5] 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.  
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).
- [6] 王国霞, 陈冰, 孙育平, 等. 脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、营养素沉积率、血清生化指标和消化酶活性的影响[J]. 水产学报, 2020, 44(6): 987-998.  
Wang G X, Chen B, Sun Y P, *et al.* Effects of replacing fish meal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth performance, nutrient retention, serum biochemical parameters and digestive enzymes activity of juvenile *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(6): 987-998 (in Chinese).
- [7] 张金彪, 杨筱珍, 范朋, 等. 两种常见海水鱼高温贮存过程中挥发性盐基氮和生物胺含量变化[J]. 水生生物学报, 2012, 36(2): 284-290.  
Zhang J B, Yang X Z, Fan P, *et al.* Changes in total volatile basic nitrogen and biogenic amines in two common species of marine fish at high temperature[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(2): 284-290 (in Chinese).
- [8] Opstvedt J, Nygård E, Samuelsen T A, *et al.* Effect on protein digestibility of different processing conditions in the production of fish meal and fish feed[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(8): 775-782.
- [9] Opstvedt J, Miller R, Hardy R W, *et al.* Heat-induced changes in sulfhydryl groups and disulfide bonds in fish protein and their effect on protein and amino acid digestibility in rainbow trout (*Salmo gairdneri*)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1984, 32(4): 929-935.
- [10] Aksnes A, Mundheim H. The impact of raw material freshness and processing temperature for fish meal on growth, feed efficiency and chemical composition of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*)[J]. Aquaculture, 1997, 149(1-2): 87-106.
- [11] Vergara J M, López-Calero G, Robaina L, *et al.* Growth, feed utilization and body lipid content of gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed increasing lipid levels and fish meals of different quality[J]. Aquaculture, 1999, 179(1-4): 35-44.
- [12] 周铭文, 王和伟, 叶继丹, 等. 饲料牛磺酸对尼罗罗非鱼生长、体成分及组织游离氨基酸含量的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(2): 213-223.  
Zhou M W, Wang H W, Ye J D, *et al.* Effects of taurine supplementation on the growth, body composition and tissue free amino acid concentrations in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(2): 213-223 (in Chinese).
- [13] 王清滨, 王秋举, 杨翼羽, 等. 牛磺酸对投喂高脂饲料草鱼幼鱼生长、肌肉品质及抗氧化能力的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(7): 49-56,65.  
Wang Q B, Wang Q J, Yang Y Y, *et al.* Effect of taurine on growth, muscle quality and antioxidant capacity of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fed with high-fat diets[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2015, 43(7): 49-56,65 (in Chinese).
- [14] 代伟伟, 麦康森, 徐玮, 等. 饲料中赖氨酸和精氨酸含量对大菱鲆幼鱼生长、体成分和肌肉氨基酸含量的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(6): 876-887.  
Dai W W, Mai K S, Xu W, *et al.* Effects of lysine-arginine interaction on growth performance, body composition, and muscle amino acid levels of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(6): 876-887 (in Chinese).
- [15] 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.
- [16] Santos J F, Castro P F, Leal A L G, *et al.* Digestive enzyme activity in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L) submitted to different dietary levels of shrimp protein hydrolysate[J]. Aquaculture International, 2013, 21(3): 563-577.

- [17] Zhou Q C, 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 周露阳, 吴代武, 高敏敏, 等. 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[J]. *水生生物学报*, 2019, 43(3): 504-516.
- Zhou L Y, Wu D W, Gao M M, *et al.* The effects of fish meal replacement on growth performance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(3): 504-516 (in Chinese).
- [21] 吴代武, 何杰, 叶元土, 等. 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[J]. *水产学报*, 2017, 41(3): 415-427.
- Wu D W, He J, Ye Y T, *et al.* Effects of fish protein hydrolysate on growth, body composition and serum biochemical parameters of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(3): 415-427 (in Chinese).
- [22] 吴代武, 何杰, 汪冰, 等. 鳀鱼粉、金枪鱼粉、鳕鱼排粉和酶解鳀鱼浆对黄颡鱼生长及健康的影响[J]. *中国饲料*, 2018(1): 63-68.
- Wu D W, He J, Wang B, *et al.* Effects of anchovy, tuna, cod steak fish meals and anchovy hydrolysate on growth, serum biochemical parameters and the surface structure of gastric mucous in yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. *China Feed*, 2018(1): 63-68 (in Chinese).
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Xu H G, Mu Y C, Zhang Y, *et al.* Graded levels of fish protein hydrolysate in high plant diets for turbot (*Scophthalmus maximus*): Effects on growth performance and lipid accumulation [J]. *Aquaculture*, 2016, 454: 140-147.
- [26] Wang Y, Chandra R, Samsa L A, *et al.* Amino acids stimulate cholecystokinin release through the Ca<sup>2+</sup>-sensing receptor [J]. *American Journal of Physiology Gastrointestinal and Liver Physiology*, 2011, 300(4): G528-G537.
- [27] 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.
- [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] 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.
- [30] Khosravi S, Bui H T D, Rahimnejad S, *et al.* Dietary supplementation of marine protein hydrolysates in fishmeal based diets for red sea bream (*Pagrus major*) and olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 2015, 435: 371-376.

## Effects of protein ingredients obtained from Japanese anchovy by different processing technologies on yellow catfish growth performance and physiological health (*Pelteobagrus fulvidraco*)

LÜ Bin<sup>1</sup>, YE Yuantu<sup>1\*</sup>, SUN Fei<sup>1</sup>, LÜ Hao<sup>1</sup>, YI Haoming<sup>1</sup>, SHI Yaoyao<sup>1</sup>, YU Nong<sup>1</sup>,  
CAI Chunfang<sup>1</sup>, WU Ping<sup>1</sup>, WANG Linghua<sup>2</sup>, WU Daiwu<sup>3</sup>, PU Qinhua<sup>4</sup>

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

2. Zhejiang Yifeng Marine Biological Products Co., Ltd., Yuhuan 317600, China;

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

4. Zhejiang Star Industrial Co. Ltd., Haiyan 314300, China)

**Abstract:** In order to compare the effects of hydrolysate fish protein of anchovy (HFP), stickwater of anchovy (SW), hydrolysate stickwater of anchovy (HSW), low-temperature fishmeal (L-FM) and high-temperature fishmeal (H-FM) by different production processes in diets, juvenile *Pelteobagrus fulvidraco* with an initial body weight of (17.69±0.09) g were taken as experimental subjects. 30% super steam fishmeal (FM group) was used as control. HFP, SW, HSW, L-FM and H-FM were added into the test diet respectively, after 8 weeks culture experiment, the effects of 5 different production techniques of anchovy protein on growth performance of yellow catfish were compared. Among them, the addition levels of HFP in the diet were designed to be 25% (HFP25 group), 45% (HFP45 group) and 65% (HFP65 group) of the protein content of fish meal in the FM group. The HFP45 group was used as the reference, and the growth of SW and HSW groups with the same protein content was compared. 8 experimental diets were isonitrogenous and isolipid, with 3 replicates per group and 40 fish per replicate. The results showed that, ① taking the FM group as the control, SGR and FCR in L-FM and H-FM groups were not significantly different; ② the SGR of HFP25 group was decreased by 3.30%, and the FCR was increased by 5.36%, showing no significant difference. SGR of HFP45 and HFP65 groups was decreased by 10.99% and 20.33%, and the FCR was increased by 21.43% and 41.96%, respectively, with significant difference. SGR, protein retention rate (PRR) and fat retention rate (FRR) showed a decreasing trend with the increase of HFP level; ③ among the three protein ingredients of HFP, SW and HSW, HFP group had the highest SGR, and SW group had the lowest SGR, with no significant difference. SGR of HSW group after hydrolysis was 2.25% higher than SW group, with no significant difference. In body composition, there were no significant differences in moisture, crude protein, crude fat and total phosphorus among HFP45, HSW and SW groups, but ash contents were significantly different. The results also showed that there were no significant differences in growth performance and feed utilization of *P. fulvidraco* between FM, L-FM and H-FM, but the fish health was better than H-FM group. 7.1% HFP could replace 30% fish meal and there was certain equivalence in growth performance, feed utilization and serum biochemical indexes. High dose of HFP added into the diet will have negative effects on the growth and feed utilization. Among the different hydrolysate proteins, HFP had the best growth effect on yellow catfish, and SW had the worst. In addition, HSW after hydrolysis was better than SW. This experiment may provide a basis for improving the utilization efficiency of marine protein resources by studying marine protein materials with different processing technologies.

**Key words:** *Pelteobagrus fulvidraco*; anchovy fish meal; hydrolysate fish protein of anchovy; hydrolyzed stickwater of anchovy; stickwater of anchovy; growth performance

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

**Funding projects:** Application of Hydrolyzed Fish Protein in Feed of Yellow Catfish (P113410618)