

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2010.00094

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

韩涛¹ 王骥腾¹ 王勇^{2,3} 田丽霞² 刘永坚²

(1. 浙江海洋学院渔业学院, 舟山 316000; 2. 中山大学生命科学学院, 广州 510275; 3. 广东海大集团, 广州 511400)

摘要: 设计4种等能等氮试验饲料, 对照组以鱼粉为单一蛋白源, 处理组分别以鱼蛋白水解物替代鱼粉蛋白的17%、34%和51%, 军曹鱼(*Rachycentron canadum*)稚鱼的初始重为(3.79±0.22) g, 实验在室内流水养殖系统中进行6周的饲养试验, 每种饲料随机3个重复。试验结果显示不同水平鱼蛋白水解物对试验鱼的存活率没有显著影响($P>0.05$), 除了以鱼蛋白水解物替代鱼粉蛋白51%组外, 其他各组的增重率(WG)和饲料摄入量(FI)都是随着饲料中鱼蛋白水解物替代鱼粉蛋白量的增加而增加。试验结果表明, 在军曹鱼稚鱼饲料中用鱼蛋白水解物替代34%的鱼粉蛋白对于军曹鱼稚鱼的生长和饲料摄入量具有一定的促进作用。军曹鱼稚鱼血浆中胆固醇含量随着饲料中鱼蛋白水解物添加水平的升高而升高, 而血浆中的总蛋白含量则无此规律, 各处理组血浆中的甘油三酯无显著差异($P>0.05$)。

关键词: 军曹鱼; 稚鱼; 鱼蛋白水解物(FPH); 生长

中图分类号: S963 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2010)01-0094-07

军曹鱼(*Rachycentron canadum*), 隶属鲈形目、鲈亚目、军曹鱼科、军曹鱼属, 俗称海鲷或海龙^[1]。军曹鱼骨少肉多、脂肪含量高, 富含n-3和n-6系列的高不饱和脂肪酸, 具有极高的营养价值, 备受日本及欧美市场的青睐, 并在中国大陆和台湾地区及东南亚等地掀起了养殖热潮^[2]。目前已开展军曹鱼的营养学研究包括军曹鱼幼鱼对于赖氨酸的研究^[3], 军曹鱼幼鱼饲料中用牛磺酸作为鱼粉替代蛋白促进军曹鱼生长的研究^[4], 军曹鱼幼鱼能利用高水平蛋白质和脂肪而不影响繁殖的研究^[5], 军曹鱼幼鱼饲料中用酵母替代鱼粉的研究^[6]; 而军曹鱼仔稚鱼的营养学研究相对较少^[7]。

以往研究发现虽然鱼粉中的蛋白质和氨基酸能够满足仔稚鱼的营养需求, 但是完整蛋白质(Intact protein)很难被仔稚鱼很好地利用。因为在仔稚鱼阶段其消化系统尚未发育完全, 消化道内的消化酶活性没有成鱼高, 这使得仔稚鱼对人工配合饲料中蛋白质的消化吸收产生了障碍^[8,9], 而饲料中的小肽则有助于仔稚鱼消化系统对微颗粒饲料的消化和吸收, 促进其生长, 提高成活率。鱼蛋白水解物(Fish pro-

tein hydrolysate, FPH)是用蛋白酶将鱼肉蛋白质进行水解并经过一系列的加工获得, 其中含有丰富的小肽和游离氨基酸, 尤其是二肽和三肽能够快速的被仔稚鱼肠道所吸收, 而不同的游离氨基酸可以作为鱼类良好的诱食剂^[10], 所以鱼蛋白水解物作为一种蛋白源添加在水产饲料中同时可以用作诱食剂, 改善饲料的适口性^[11]。目前尚未见到关于军曹鱼稚鱼对鱼蛋白水解物利用的研究报道。本研究探讨了饲料中不同比例鱼蛋白水解物替代鱼粉蛋白对军曹鱼稚鱼生长性能和体组成的影响, 研究结果以期对军曹鱼微颗粒饲料的开发提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

鱼蛋白水解物的制备采用木瓜蛋白酶水解法, 以新鲜六齿金线鱼(*Nemipterus virgatus*)为原料, 经多步处理后, 喷雾干燥制得黄褐色鱼蛋白水解物粉末。鱼蛋白水解物粗蛋白含量为55.5%(干重)。

饲料配方和大致成分分析如表1所示, 以白鱼粉(新西兰产)和自制鱼蛋白水解物作为主要蛋白源,

收稿日期: 2008-12-01, 修订日期: 2009-05-10

作者简介: 韩涛(1980—), 男, 浙江萧山人; 讲师; 主要从事水产动物营养与饲料学研究。E-mail: hantaowin@yahoo.com.cn

通讯作者: 刘永坚, 主要从事水产动物营养与饲料学研究。E-mail: Ls59@zsu.edu.cn

鱼油和大豆卵磷脂为主要脂肪源, α -淀粉为主要糖源, 添加无机盐和维生素, 并补充蛋氨酸、色氨酸等配制试验饲料。以鱼蛋白水解物替代 0%、17%、34% 和 51% 的鱼粉蛋白配制成 4 种等氮等能的微颗粒饲

料, 分别为饲料 1、饲料 2、饲料 3 和饲料 4。将原料称重、混和均匀后, 使用双螺杆挤条机制成颗粒直径为 0.8 mm 的试验饲料, 在室温条件下风干 24h, 贮藏在 -20°C 冰箱中备用。

表 1 试验饲料配方及营养组成(%干物质)

Tab. 1 Formulation and proximate chemical composition of experimental diets (% dry weight)

原料 Ingredient	饲料 FPH (%)			
	饲料 1 (0%)	饲料 2 (17%)	饲料 3 (34%)	饲料 4 (51%)
白鱼粉 Fish meal	67.00	55.61	44.22	32.83
鱼蛋白水解物 Fish protein hydrolysate	0.00	14.40	28.79	43.19
大豆磷脂 Soybean lecithin	5.00	5.00	5.00	5.00
鱼油 Fish oil	15.66	10.44	5.22	0.00
α -淀粉 α -starch	2.00	2.00	2.00	2.00
纤维素 CM-cellulose	0.14	2.35	4.57	6.78
复合维生素 ^a Vitamin mix	3.20	3.20	3.20	3.20
复合矿物盐 ^b Mineral mix	4.00	4.00	4.00	4.00
蛋氨酸 D-Methionine	1.00	1.00	1.00	1.00
色氨酸 D-Tryptophan	0.50	0.50	0.50	0.50
甜菜碱 Betaine	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素 E V _E	0.05	0.05	0.05	0.05
维生素 C V _C	0.45	0.45	0.45	0.45
营养水平 Proximate composition (%)				
水分 Moisture	9.17	9.72	10.51	10.66
粗蛋白 Crude protein	47.12	47.58	47.88	47.18
粗脂肪 Crude lipid	22.12	22.56	23.63	23.82
灰分 Ash	5.46	13.36	11.87	10.36
能量 Energy(mJ/g)	20.88	21.14	21.19	21.92

a 维生素预混剂 Vitamin mix (g/kg 饲料): 维生素 A retinol (A), 2.5; 维生素 C Ascorbic acid (C), 50; 维生素 D₃ Cholecalciferol (D), 6.25; 维生素 E Tocopherol (E), 25; 维生素 K₃ Menadione, 2.5; 维生素 B₁ Thiamin (B₁), 0.25; 核黄素 Riboflavin (B₂), 1; 泛酸钙 Racemic calcium pantothenate, 5; 维生素 B₆ Phridoxine (B₆), 0.75; 维生素 B₁₂ Cyanocobalamine (B₁₂), 2.5; 烟酸 Niacin, 2.5; 叶酸 Niacin, 0.25; 生物素 Biotin, 2.5; 纤维醇 Inositol, 75; 氯化胆碱 Choline chloride, 500; 纤维素 CM-cellulose, 324g; b 矿物质预混剂 Mineral mix (g/1000g 料): KCl, 90; KI, 0.04; Ca(HPO₄)₂·2H₂O, 500; NaCl, 40; CuSO₄·5H₂O, 3; ZnSO₄·7H₂O, 4; CoSO₄·7H₂O, 0.02; FeSO₄·7H₂O, 20; MnSO₄·H₂O, 3; CaCO₃, 215; MgSO₄·7H₂O, 124

1.2 试验鱼和养殖管理

养殖试验在国家“863”海水养殖种子工程南方基地(湛江)营养试验室进行, 试验鱼取自基地大东海育苗场。正式开始试验前, 按照健康状况和体重 (3.79 ± 0.22)g 进行选择, 然后随机地配到 12 个 300 L 的圆形玻璃纤维缸中, 放养的密度为 15 尾/缸。每种饲料使用 3 个平行。饲养试验持续 6 周, 每天投喂 3 次(08:30、12:00 和 17:30)至饱食。在试验开始前和试验结束时分别对每缸鱼进行称重和计数。养殖试验使用流水系统, 不间断地提供沙滤海水(15 L/min)。试验期间对水质数据进行监测。试验期间的水温维

持在(28.9 ± 1.5) $^{\circ}\text{C}$, 盐度为 30‰, 溶解氧大于 7 mg/L, 采用自然光照, 保持各养殖缸具有相近的光强。每缸各放置 1 个气石, 每 2 周清洁 1 次养殖缸。

1.3 样品采集和分析

养殖试验开始前取 18 尾鱼作初始样, 冷藏以便进行鱼体组成的化学分析。试验结束后, 每缸取 3 尾鱼用于全鱼体组成分析。取样前, 鱼被禁食 24h。另外每一养殖缸取 6 尾鱼毁髓后单独称重, 迅速取出消化腺体和肌肉。内脏、肝脏和肠系膜脂肪被称重用于计算肝体比(HSI)、内脏比(VSI)和肠脂比(IPF)。样本经液氮冰冻后贮藏在 -70°C 用于随后的

分析,使用经过肝素钠处理的注射器从围心腔取血,取到的血样马上冷冻离心(10000 r/min, 12min),取上层血浆并置于-70℃冰箱保存以备分析生化指标。所有饲料、鱼体组成和组织样的化学组成分析按照 AOAC^[12]的方法进行。使用自动凯氏定氮仪(Buchi B-324/K-437, Switzerland)测定粗蛋白。通过在 105℃的烘箱中干燥至恒重测定水分。采用索氏脂肪抽提仪(Tecator SoxtemHT6, Tecato AB)测定饲料粗脂肪含量。按照 Folch, *et al.*^[13]的方法测定组织脂肪。通过在马福炉中 550℃灼烧 7h 测定灰份,氧弹式热量计(WHR-15)测定能量。

1.4 统计方法

数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示,试验结果用 SPSS 12.0 软件包进行处理,在单因素方差分析(One way ANOVA)的基础上,采用 Duncan 氏多重

比较法检验组间差异($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼生长及饲料利用的影响

表 2 可以看出,鱼蛋白水解物替代鱼粉蛋白对军曹鱼稚鱼的存活率并无显著影响,但显著地影响增重率和特定生长率,饲料 3 组的增重率最大,显著高于饲料 4 组,饲料 1 和各组之间均无显著差异;饲料 3 组的饲料摄入量最高,显著高于饲料 1、4 组,饲料 2、3 组之间无显著差异;各组之间的饲料系数和蛋白质效率不受饲料处理的影响,各组之间均无显著差异;饲料 4 组的鱼体能量保留率最高,其次是饲料 2 组,饲料 2、4 组的鱼体能量保留率显著高于饲料 1、3 组,饲料 1、3 组间无显著差异。

表 2 鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼生长、存活、饲料摄入量、饲料效率、蛋白质效率和能量保留率的影响
Tab. 2 Effects of dietary fish protein hydrolysate on the growth, survival rate, feed intake, FCR, PER and EPV of larvae cobia

	饲料 FPH (%)			
	饲料 1 (0%)	饲料 2 (17%)	饲料 3 (34%)	饲料 4 (51%)
增重率 WG (%)	1775.2±91.05 ^{ab}	1901.0±125.52 ^b	1999.6±106.0 ^b	1586.0±210.02 ^a
存活率 SR (%)	97.7±3.8	100	97.7±3.8	100
饲料摄入量 FI (g)	1124.8±76.12 ^{ab}	1202.7±49.69 ^{bc}	1322.5±55.94 ^c	990.5±101.03 ^a
饲料系数 FCR (g/g)	1.15±0.02	1.08±0.08	1.18±0.03	1.12±0.07
蛋白质效率 PER (%)	1.84±0.04	1.92±0.15	1.83±0.04	1.99±0.12
能量保留率 EPV (%)	31.22±0.89 ^a	36.05±3.18 ^b	32.02±1.67 ^a	36.66±2.02 ^b

注: 同列数据上标不同表示组间存在显著差异($P < 0.05$), 下同; 增重率 WG (%) = $100 \times (\text{终末体重} - \text{初始体重}) / \text{初始体重}$; 存活率 SR (%) = $100 \times \text{试验结束时鱼尾数} / \text{试验开始时放鱼尾数}$; 饲料系数 FCR = $\text{摄食量(g)} / (\text{试验结束时鱼重(g)} - \text{试验开始时鱼重(g)})$; 蛋白质效率 PER (%) = $(\text{试验结束时鱼重(g)} - \text{试验开始时鱼重(g)}) / \text{蛋白质摄入量(g)}$; 能量保留率 EPV (%) = $(\text{试验结束时鱼重(g)} \times \text{试验结束时鱼体能量} - \text{试验开始时鱼重(g)} \times \text{试验开始时鱼体能量}) / \text{总能量摄入} \times 100$

Note: Means with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$), The same as the follows; WG: weight gain = $100 \times (\text{final body weight} - \text{initial body weight}) / \text{initial body weight}$; SR: survival ratio = number of survivors at the end of the experiment / number of larvae at start; FCR: feed conversion ratio = g dry feed consumed/g wet weight gain; PER: protein efficiency ratio = fish wet weight gain / protein intake; EPV: energy retention = $100 \times (\text{final body weight} \times \text{final body energy} - \text{initial body weight} \times \text{initial body energy}) / \text{energy intake}$

2.2 鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼生物学指标的影响

表 3 的结果表明,饲料处理显著影响内脏比和肝体比指数,饲料 3 组的鱼体内脏比数值最低,它显著低于饲料 4 组,饲料 1、2 组和饲料 3、4 组之间差异不显著;饲料 1 组的肝体比指数最高,它显著高于饲料 3、4 组,饲料 2 组和各组均无显著差异;军曹鱼稚鱼肠脂比指数和肥满度的数值不受饲料中鱼蛋白水解物替代鱼粉蛋白的影响,各组之间差异不显著。

2.3 鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼体组成的影响

从表 4 可见,饲料中鱼蛋白水解物替代鱼粉蛋白显著影响军曹鱼稚鱼鱼体水分及脂肪含量,饲料

1 组鱼体水分含量最高,其次是饲料 2 组,饲料 1 组的鱼体水分含量显著高于饲料 3、4 组;饲料 1 组的鱼体的脂肪含量最低,它和饲料 3 组无显著差异,但显著低于饲料 2、4 组;军曹鱼稚鱼鱼体的粗蛋白和灰分含量不受饲料中鱼蛋白水解物替代鱼粉蛋白的影响,各处理组之间差异不显著。

从表 4 可见,军曹鱼稚鱼鱼体背部肌肉的水分、粗脂肪、粗蛋白和灰分含量不受饲料中 FPH 替代鱼粉蛋白水平的影响,各处理组之间差异不显著。从表 4 可见,试验鱼肝脏中的水分和粗脂肪含量差异显著,饲料 1 组肝脏的水分含量最低,它显著低于

饲料 3 组, 饲料 2 组和其他各组之间无显著差异, 饲料 1 组肝脏中脂肪含量最高, 它显著高于饲料 3、4 组, 饲料 2 组和其他各组之间均显著无差异。

2.4 鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼血浆蛋白、胆固醇和甘油三酯含量的影响

由表 5 可见, 饲料处理显著影响血浆中的总蛋

白含量, 饲料 2 组的 TG 最低, 它显著低于饲料 1、4 组, 饲料 3 组和其他各组之间无显著差异; 饲料 4 组组血浆中的总胆固醇含量显著高于其他三组, 饲料 1、2、3 组之间无显著性差异; 军曹鱼稚鱼血浆中的甘油三酯含量不受饲料中鱼蛋白水解物替代鱼粉的影响, 各组之间差异不显著。

表 3 鱼蛋白水解物添加水平对军曹鱼稚鱼内脏比、肠脂比、肝体比、肥满度的影响
Tab. 3 Effects of dietary fish protein hydrolysate on the viserosomatic index, intraperitoneal fat ratio, hepatosomatic index and condition factor of larvae cobia

	饲料 FPH (%)			
	饲料 1 (0%)	饲料 2 (17%)	饲料 3 (34%)	饲料 4 (51%)
内脏比 VSI	11.33±0.26 ^{ab}	11.18±0.15 ^{ab}	10.22±1.39 ^a	11.84±0.75 ^b
肠脂比 IPF	0.86±0.19	0.79±0.19	0.80±0.28	0.84±0.17
肝体比 HIS	2.71±0.22 ^b	2.36±0.13 ^{ab}	2.26±0.16 ^a	2.26±0.26 ^a
肥满度 CF	0.95±0.01	1.02±0.10	0.98±0.08	1.04±0.17

注: 内脏比指数 Viscerosomatic index, VSI (%)=100×内脏重(g)/全鱼体重(g); 肠脂比指数 Intraperitoneal fat ratio, IPF (%)=100×肠道脂肪重(g)/全鱼体重(g); 肝体比指数 Hepatosomatic index, HIS (%)=100×肝脏重(g)/全鱼体重(g); 肥满度 Condition factor, CF=100×体重(g)/体长³(cm³)

表 4 鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼鱼体、背肌和肝脏一般成分分析
Tab. 4 Effects of dietary fish protein hydrolysate on the body, muscle and liver composition of larvae cobia

成分组成 Composition	饲料 FPH (%)			
	饲料 1 (0%)	饲料 2 (17%)	饲料 3 (34%)	饲料 4 (51%)
全鱼				
水分 Moisture (%)	71.64±0.60 ^b	70.31±0.51 ^a	71.06±0.24 ^{ab}	70.30±0.41 ^a
粗蛋白 Crude protein (w/w, %)	14.66±0.08	14.44±0.65	14.38±0.30	14.29±0.40
粗脂肪 Crude lipid (w/w, %)	9.39±0.44 ^{ab}	10.82±0.44 ^b	9.91±0.31 ^a	11.01±0.65 ^b
能量 Energy (kJ/g)	7.64±0.27 ^{ab}	8.09±0.25 ^{ab}	7.73± 0.08 ^a	8.30± 0.26 ^b
灰分 Ash (w/w, %)	3.17±0.15	3.03± 0.16	3.15±0.14	3.05±0.08
背肌				
水分 Moisture (%)	77.83±0.45	78.40±0.50	78.13±0.25	77.85±0.17
粗蛋白 Crude protein (w/w, %)	19.41±0.16	19.12±0.30	19.16±0.45	19.28±0.15
粗脂肪 Crude lipid (w/w, %)	2.11±0.32	1.73±0.27	1.81±0.09	1.98±0.19
灰分 Ash (w/w, %)	1.59±0.05	1.52±0.01	1.53±0.08	1.50±0.04
肝脏				
水分 Moisture (%)	44.84±2.53 ^a	48.62±0.80 ^{ab}	51.26±1.69 ^b	48.36±3.18 ^{ab}
粗蛋白 Crude protein (w/w, %)	8.29±5.52	7.36±3.40	8.27±5.04	7.82±4.06
粗脂肪 Crude lipid (w/w, %)	41.20±2.44 ^b	36.58±2.01 ^{ab}	34.61±2.04 ^a	35.41±4.02 ^a
灰分 Ash (w/w, %)	0.71±0.03	0.79±0.07	0.88±0.03	0.83±0.17

表 5 鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼血浆总蛋白、胆固醇和甘油三酯含量的影响
Tab. 5 Effects of dietary fish protein hydrolysate on the plasma biochemical compositions of larvae cobia

	饲料 FPH (%)			
	饲料 1 (0%)	饲料 2 (17%)	饲料 3 (34%)	饲料 4 (51%)
总蛋白 TP (g/L)	37.0.3±0.84 ^b	33.23±1.00 ^a	34.67±0.42 ^{ab}	35.47±2.11 ^b
胆固醇 CHOL (mmol/L)	2.77±0.38 ^a	3.02±0.29 ^a	3.24±0.77 ^a	4.42±0.27 ^b
甘油三酯 TRIG (mmol/L)	1.46±0.21	1.45±0.22	1.36±0.08	1.54±0.20

3 讨论

3.1 鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼的生长的作用

鱼处于仔稚鱼时期时生长速度相对较大,非洲鲷鱼和鲤鱼在第 1 天摄食外源性饲料时日增重达到 60%,在这个快速生长阶段鱼类需要获得大量的氨基酸用于构建体组织蛋白、积累能量和合成像核酸类的大分子物质^[14—18]。军曹鱼生长速度快,养殖半年可达 3—4 kg,本试验用鱼虽然处于稚鱼阶段,但已经可以饲喂人工配合饲料,这个时期的军曹鱼稚鱼需要大量的蛋白质用于物质代谢。

大多数硬骨鱼在仔稚鱼时期能够较好的利用蛋白质水解物、小肽、游离形式的氨基酸^[7,19—21],而对完整蛋白质利用不佳。虽然本试验中用鱼蛋白水解物替代鱼粉蛋白的 17%和 34%组的增重率和特定生长率与对照组全鱼粉组无显著差异,但是随着鱼蛋白水解物替代比例的上升其鱼体的增重率有升高的趋势。到目前为止,很少有关于蛋白水解物促进鱼类幼鱼和成鱼的生长研究报道,因为当鱼类处于稳定生长阶段能够消化并利用完整蛋白质^[22],原因可能是因为仔稚鱼和幼鱼以及成鱼之间在消化道的发育成熟存在差异所造成的,并且幼鱼和成鱼的肠道要相对长于仔稚鱼,肠道内消化酶的分泌也更加完善^[23]。在大西洋鲑鱼、金鱼和鲤鱼仔稚鱼饲料中添加合适比例鱼蛋白水解物可以促进生长,但是在菱鲆幼鱼的饲料中用鱼蛋白水解物部分替代鱼粉却不能促进生长^[23—25]。本试验中鱼蛋白水解物部分替代鱼粉蛋白 51%组的生长有下降趋势,显著低于鱼蛋白水解物部分替代鱼粉蛋白 17%和 34%组, Cahu, *et al.*在对舌齿鲈稚鱼(*Dicentrarchus labrax*)研究也证明使用鱼肉水解蛋白替代鱼粉蛋白 58%时,阻碍了稚鱼的生长,降低了存活率^[26];同样地, Kolkovski, *et al.*在真鲷的仔稚鱼试验中也有类似的结果,他们认为可能是因为缩胆囊素(Cholecystokinin, CCK)的分泌所致^[27]。缩胆囊素和神经刺激一起调控胰酶的分泌,缩胆囊素的分泌会受食物中的蛋白质特性、链的长度和肠内蛋白酶活性的影响,高水平水解蛋白通过降低鱼体的胰酶活性,从而降低对微颗粒饲料的消化吸收,阻碍其生长发育^[9,26]。也有研究认为鱼类获得过量游离氨基酸同时会引起饱足感及在运输机制上造成竞争从而产生不利的影响。此外,仔稚鱼时期鱼体肠道对于游

离氨基酸吸收比蛋白质键结的氨基酸来得快,有些游离必需氨基酸过早的吸收会导致氨基酸吸收的不平衡,结果导致蛋白质利用不佳和幼体成长下降^[28]。

3.2 鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼的诱食作用

在仔稚鱼的配合饲料中添加一定量的二肽能够具有诱食剂的效果^[15],在本次试验中用鱼蛋白水解物部分替代鱼粉蛋白的 34%组的饲料摄入量要显著高于全鱼粉组, Cahu, *et al.*在舌齿鲈稚鱼的试验中也有相似的结果^[26]。在哺乳动物的日粮中添加酪蛋白水解物中发现酪蛋白水解物在体内能够释放活性肽类,这些活性肽能够促进体内的离子运输和提高矿物质的生物利用,并且这些活性肽具有刺激免疫调控因子作用,它能够增强免疫防御和细胞生长因子,刺激肠道细胞的再生从而加速了消化道的新陈代谢,增加了摄食量^[29—31]。

3.3 鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼的鱼体组成的影响

本次试验表明,在军曹鱼稚鱼的饲料中添加较高水平的鱼蛋白水解物组的鱼体水分和粗蛋白含量较低,这和刘峰等对大黄鱼稚鱼的研究结果相似,高水平鱼蛋白水解物添加造成鱼体生长发育缓慢,使鱼体的组成产生了相应的变化^[32]。Gerd, *et al.*^[33]在大西洋鲑鱼稚鱼的试验中鱼体成分中的粗脂肪含量与鱼体的生长速度成正相关,但在本次实验中未出现类似的现象,这可能是由于大西洋鲑鱼属于冷水性鱼类,而本次试验鱼军曹鱼属于暖水性鱼类,它们所处的水域环境之间的差异所造成。

3.4 鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼鱼体能量保留的影响

仔稚鱼为了适合其消化道形态和生理生化的特殊性,要求在代谢上有最大限度的运输效率和吸收营养,所以仔稚鱼对蛋白质、脂肪及维生素 C 的需要量要高于幼鱼^[34]。Stale, *et al.*在对大西洋鲑鱼稚鱼的试验中发现,随着饲料中的水解物添加量的增加,其能量保留也随着增加^[37],而在本次试验未有类似的结果。本次试验的军曹鱼稚鱼饲料中的蛋白质含量(约 47%)和脂肪含量(约 23%)大于军曹鱼幼鱼饲料中的最适蛋白质(44.5%)和脂肪含量(5.76%)^[35],而蛋白质的保留和能量保留都要低于对军曹鱼幼鱼试验中的值^[36],这可能是军曹鱼稚鱼体内对饲料中脂肪储存与幼鱼存在一定的差异性。

4 小 结

综合本次试验结果来看, 在军曹鱼稚鱼饲料中用鱼蛋白水解物替代部分鱼粉蛋白可以有一定的促生长和增加摄食量的功能, 但过高替代会对军曹鱼稚鱼产生不良的影响, 建议军曹鱼稚鱼饲料中鱼蛋白水解物替代鱼粉的量在 17%—34%之间。

参考文献:

- [1] Tang B G, Chen G, Zhang J D, *et al.* Effect of diets on growth, activity of digestive enzymes and body composition of larval cobia, *Rachycentron canadum* [J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 2007, **31**(4): 610—614 [汤保贵, 陈刚, 张健东, 等. 饲料系列对军曹鱼仔鱼生长、消化酶活力和体成分的影响. 水生生物学报, 2007, **31**(4): 610—614]
- [2] Liao I C, Huang T S, Tsai W S, *et al.* Cobia culture in Taiwan: current status and problems [J]. *Aquaculture*, 2004, **237**: 155—165
- [3] Zhou Q C, Wu Z H, Chi S Y, *et al.* Dietary lysine requirement of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2007, **273**: 634—640
- [4] Angela N L, McLean E, Gaylord T G, *et al.* Taurine supplementation to alternative dietary proteins used in fish meal replacement enhances growth of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2007, **271**: 401—410
- [5] Steven R C, Michael H S, Ewen M. Juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) can utilize a wide range of protein and lipid levels without impacts on production characteristics [J]. *Aquaculture*, 2006, **261**: 384—391
- [6] Angela N L, Craig S R, McLean E. Replacement of fish meal in cobia (*Rachycentron canadum*) diets using an organically certified protein [J]. *Aquaculture*, 2006, **257**: 393—399
- [7] G. Salze, McLean E, Schwarz M H, *et al.* Dietary mannan oligosaccharide enhances salinity tolerance and gut development of larval cobia [J]. *Aquaculture*, 2008, **274**: 148—152
- [8] Yúfera M, Kolkovski S, Fernández-Díaz C, *et al.* Free amino acid leaching from a protein-walled microencapsulated diet for fish larvae [J]. *Aquaculture*, 2002, **214**: 273—287
- [9] Cahu C, Rønnestad I V, 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**: 295—308
- [10] Zambonino, Infante J L, *et al.* Partial substitution of Di- and tripeptides for native proteins in sea bass diet improves *Dicentrarchus labrax* larval development [J]. *J. Nutr*, 1997, **127**: 608—614
- [11] Hardy R W. Fish hydrolysates: production and use in aquaculture feeds [A]. In: Akiyama D M, Tan R K H (Eds.), *Proc Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop* [C]. Singapore: American Soybean Association. 1991, 109—115
- [12] AOAC. In: Official methods of analysis of the association of official analytical chemists [M]. 16th edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, 1995
- [13] Folch, *et al.* A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. *J. Biol. Chem.*, 1957, **226**: 497—509
- [14] Hollet A, Hayes F R. Protein and fat of the salmon egg as sources of energy for the developing embryo [J]. *Can. J. Res*, 1994, **26**: 39—50
- [15] Dabrowski K. Ontogenetical aspects of nutritional requirements in fish [J]. *Comp Biochem Physiol. A*, 1986, **85**: 639—655
- [16] Wright P A, Wright P A, Fyhn H J, *et al.* Ontogeny of nitrogen metabolism and excretion. In: Wright P A, Anderson P M (Eds.), *Fish Physiology* [M]. Academic Press, London. New York. 2001. 149—200
- [17] Flynn N E, Meininger C J, Haynes T E, *et al.* The metabolic basis of arginine nutrition and pharmacotherapy [J]. *Biomed. Pharmacother*, 2002, **56**: 238—427
- [18] Rønnestad I, Tonheim S K. The supply of amino acids during early feeding stages of marine fish larvae: a review of recent findings [J]. *Aquaculture*, 2003, **227**: 147—164
- [19] Rojas-García C, Rønnestad I. Assimilation of dietary free amino acids, peptides and protein in post-larval Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) [J]. *Mar. Biol*, 2003, **142**: 801—808
- [20] Dabrowski K, Lee K J, Rinchard J. The smallest vertebrate, teleost fish, can utilize synthetic dipeptide-based diets [J]. *J. Nutr*, 2003, **133**: 4225—4229
- [21] Harada K. Feeding attraction activities of L-dipeptides for abalone, oriental weatherfish and yellowtail [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1989, **55**: 1629—1634
- [22] Langar H, Guillaume J. Augmentation of protein synthesis and degradation by poor dietary amino acid balance in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *J. Nutr*, 1993, **123**: 1754—1761
- [23] Szlaminska M, Escaffre A M, Charlon N, *et al.* Preliminary data on semisynthetic diets for goldfish *Carassius auratus* L. larvae [M]. In: Kaushik S J, Luquet P (Eds.), *Fish Nutrition in Practice*. 1991
- [24] Berge G, Storebakken T. Fish protein hydrolysate in starter diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry [J]. *Aquaculture*, 1996, **145**: 205—212
- [25] Oliva-Teles A, Cerqueira A L, Gonçalves P. The utilization of diets containing high levels of fish protein hydrolysate by turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 1999, **179**: 195—201
- [26] Cahu C, Zambonino Infante J L, Quazuguel P, *et al.* Protein hydrolysate vs. fish meal in compound diets for 10-day old sea bass *Dicentrarchus labrax* larvae [J]. *Aquaculture*, 1999, **171**: 109—119

- [27] Kolkovski S, Tandler A. The use of squid protein hydrolysate as a protein source in microdiets forgilthead seabream *Spargus aurata* larvae [J]. *Aquac. Nutr*, 2000, **6**: 11—15
- [28] Plakas S M, and Katayama T. Apparent digestibilities of amino acids from three regions of the gastrointestinal tract of carp (*Cyprinus carpio*) after ingestion of a protein and a corresponding free amino acids diet [J]. *Aquaculture*, 1981, **24**: 309—314
- [29] Shah N P. Effects of milk-derived bioactives: an overview [J]. *Br. J. Nutr*, 2000, **84**(S1): 3—10
- [30] Steijns J M. Milk ingredients as nutraceuticals [J]. *Int. J. Dairy Technol*, 2001, **54**: 81—88
- [31] Meisel H, Fitz Gerald R J. Biofunctional peptides from milk proteins: mineral binding and cytomodulatory effects [J]. *Curr. Pharm. Des*, 2003, **9**: 1289—1295
- [32] 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 [刘峰, 麦康森, 艾庆辉, 等. 鱼肉水解蛋白对大黄鱼稚鱼存活、生长及体组成的影响. 水产学报, 2006, **30**(4): 502—508]
- [33] Gerd M B, Trond S. Fish protein hydrolyzate in starter diets for Atlantic salmon (*Salmon salar*) fry [J]. *Aquaculture*, 1996, **145**: 205—212
- [34] Konrad, Dabrowsk, Kyeong-Jun, et al. The smallest vertebrate, teleost fish, can utilize synthetic dipeptide-based diets [J]. *J. Nutr*, 2003, **133**: 4225—4229
- [35] Chou R L, Su M S, Chen H Y. Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2001, **193**: 81—89
- [36] Wang J T, Liu Y J, Mai K S. Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2005, **249**: 439—447
- [37] Stale R, Jan J O, Standald H K. 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**: 331—349

EFFECT OF DIFFERENT FISH PROTEIN HYDROLYSATE (FPH) LEVEL OF DIETARY SUPPLEMENTS ON GROWTH AND BODY COMPOSITION OF LARVAE OF COBIA (*RACHYCENTRON CANADUM*)

HAN Tao¹, WANG Ji-Teng¹, WANG Yong^{2,3}, TIAN Li-Xia² and LIU Yong-Jian²

(1. Fisheries College of Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000; 2. School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275; 3. Haid Group, Guangzhou 511400)

Abstract: 4 isonitrogenous and isoenergetic test diets were studied. The control diet contained only fish meal as the sole protein source. Fish Protein Hydrolysate (FPH) was used to partially replace fish meal. The replacement levels were 17%, 34% and 51% of the fish meal protein, respectively. Larvae cobia (*Rachycentron canadum*) with an initial weight of (3.79±0.22)g were randomly stocked in triplicate groups in 300L indoor flow-system tanks fed with the test diets for 6 weeks. No significant differences in survival were observed among dietary treatments ($P>0.05$). The results showed that the percent weight gain (WG) and feed intake (FI) were also positively linearly correlated to dietary FPH percentage, except the replacement levels were 51% of the fish meal protein group was the lowest. In conclusion, the tested FPH replacement fish meal protein 34% proved an efficient growth and feed intake stimulant in larvae of cobia *Rachycentron canadum*. Plasma total cholesterol concentrations increase with water FPH replacement fish meal protein, but the plasma total protein concentration did not have this regularity, among the dietary treatments groups the plasma triglyceride concentration were not significant ($P>0.05$).

Key words: Cobia (*Rachycentron canadum*); Larvae; Fish Protein Hydrolysate (FPH); Growth